



**HAL**  
open science

# Optimisation du processus de conception : proposition d'un modèle de sélection des méthodes pour l'aide à la décision

Nathalie Lahonde

► **To cite this version:**

Nathalie Lahonde. Optimisation du processus de conception : proposition d'un modèle de sélection des méthodes pour l'aide à la décision. Génie des procédés. Arts et Métiers ParisTech, 2010. Français. NNT : 2010ENAM0048 . pastel-00566196

**HAL Id: pastel-00566196**

**<https://pastel.hal.science/pastel-00566196>**

Submitted on 15 Feb 2011

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

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

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

## Doctorat ParisTech

# THÈSE

pour obtenir le grade de docteur délivré par

## l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers

### Spécialité " Génie Industriel "

*présentée et soutenue publiquement par*

**Nathalie LAHONDE**

le 8 décembre 2010

## Optimisation du processus de conception : Proposition d'un modèle de sélection des méthodes pour l'aide à la décision

Directeur de thèse : **Améziane AOUSSAT**

Co-encadrement de la thèse : **Jean-François OMHOVER**

### Jury

**M. Alain BERNARD**, Professeur, IRCCYN, Ecole Centrale de Nantes  
**M. Daniel BRISSAUD**, Professeur, G-SCOP, Université de Grenoble  
**M. Pierre LAGARRIGUE**, Professeur, Laboratoire de Génie Mécanique, CUFR Champollion  
**M. Emmanuel CAILLAUD**, Professeur, LGECO, INSA de Strasbourg  
**M. Améziane AOUSSAT**, Professeur, LCPI, Arts et Métiers ParisTech  
**M. Jean-François OMHOVER**, Maître de Conférences, LCPI, Arts et Métiers ParisTech

Président  
Rapporteur  
Rapporteur  
Examineur  
Examineur  
Examineur

T  
H  
È  
S  
E



## REMERCIEMENTS

Mes remerciements s'adressent tout d'abord à Messieurs **Daniel BRISSAUD** et **Pierre LAGARRIGUE** pour avoir accepté de juger et d'évaluer mes travaux. Vos commentaires apportent un éclairage supplémentaire à mon travail et les questions soulevées dans vos rapports m'ont permis de prendre plus de recul sur ma recherche.

Je remercie également **Alain BERNARD** et **Emmanuel CAILLAUD** d'avoir accepté d'être les examinateurs de cette thèse. J'avais déjà eu la chance de vous rencontrer lors de diverses conférences. Au-delà de votre expertise en matière de recherche, c'est aussi vos qualités humaines que j'ai su apprécier, et notamment votre calme et bonne humeur que vous m'avez communiquée.

Le résultat de ce travail de recherche ne serait pas ce qu'il est aujourd'hui sans le support de mes directeurs de thèse. Merci donc à **Améziane AOUSSAT** de m'avoir accueillie au sein du Laboratoire Conception de Produits et Innovation pendant ces trois années et de m'offrir la possibilité de continuer ce travail pendant un an supplémentaire. Malgré vos obligations et votre emploi du temps surchargé, vous avez toujours gardé votre porte ouverte pour répondre à mes questions et guider ce travail. Vos critiques et votre regard, parfois durs, m'ont permis de me surpasser et d'avancer dans la bonne direction. Merci à **Jean-François OMHOVER** qui m'a permis d'apporter une dimension supplémentaire à ce travail via l'apport de l'informatique et des techniques d'Intelligence Artificielle. J'ai beaucoup appris en travaillant à tes côtés. La première année a été difficile, le temps pour nous de bien saisir comment chacun fonctionnait. Je pense que c'est ce qui donne encore plus de poids à ce que nous avons entrepris et réalisé, et que nous pouvons être fiers du chemin parcouru. J'espère, et là je m'adresse à tous les deux, Améziane et Jean-François, que ce travail de trois ans n'est que le point de départ d'une longue et fructueuse collaboration.

Une thèse, c'est à la fois une course de vitesse et un marathon. Une course de vitesse parce qu'il faut arriver à faire tenir en l'espace de quelques années toute une démarche de recherche qui doit être construite, testée, explorée, adaptée, argumentée sans perdre de vue l'objectif à atteindre. Et un marathon car il faut être endurant et tenace quelque soit les difficultés rencontrées. Et pour cela, je tiens à remercier très sincèrement tous les doctorants du laboratoire. Merci à vous qui êtes présents aujourd'hui et qui l'avez toujours été durant ces trois années. Vous m'avez accompagnée pendant mes moments de remise en cause, de questionnement, de doutes. J'espère arriver à faire la même chose pour vous en retour.

De nombreuses personnes ont gravité autour de ce projet et m'ont fait bénéficier de leur expérience. Je pense à tous les permanents du laboratoire et aux personnes qui ont pris part aux expérimentations. Il serait bien trop long de tous les nommer. Les personnes sans doute se reconnaîtront.

Je remercie mes parents, Joëlle et Philippe Lahonde. Les valeurs et les qualités humaines que vous m'avez transmises sont de réels atouts pour continuer dans la voie que j'ai choisie, à savoir le goût du travail bien fait, la capacité de se remettre en cause et de toujours faire face aux difficultés. Je remercie ma sœur, Caroline sans qui je n'aurais jamais mis les pieds dans cette école. Merci à toi pour cela et pour tout le reste.

Enfin, merci à Pierre. C'est la personne qui a le plus de mérite ici aujourd'hui. Le mérite de m'avoir supportée pendant ces trois longues années. De tout mon cœur, merci.



# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION GENERALE .....</b>	<b>5</b>
<b>OBJECTIF ET PROBLEMATIQUE DE RECHERCHE .....</b>	<b>7</b>
<b>METHODOLOGIE DE RECHERCHE .....</b>	<b>8</b>
<b>ORIGINALITE ET APPORTS.....</b>	<b>9</b>
<b>STRUCTURE DU DOCUMENT.....</b>	<b>10</b>
<b>1 POSITIONNEMENT ET ENJEUX.....</b>	<b>13</b>
<b>1.1 POSITIONNEMENT SCIENTIFIQUE .....</b>	<b>16</b>
1.1.1 Génie industriel, ingénierie et science de la conception.....	16
1.1.2 Vers l'optimisation du processus de conception .....	18
1.1.3 Aide à la sélection des méthodes de conception .....	20
<b>1.2 ENJEUX DE CETTE RECHERCHE .....</b>	<b>23</b>
1.2.1 Enjeux économiques : Supporter le processus de développement .....	23
1.2.2 Enjeux scientifiques : Accroître la visibilité des résultats de recherche.....	28
1.2.3 Enjeux pédagogiques : Former aux méthodologies de conception .....	30
<b>1.3 CONCLUSION SUR LE POSITIONNEMENT ET LES ENJEUX.....</b>	<b>31</b>
<b>2 ETAT DE L'ART : LA SELECTION DES METHODES DE CONCEPTION.....</b>	<b>33</b>
<b>2.1 THEORIES ET METHODOLOGIES DE LA CONCEPTION .....</b>	<b>36</b>
2.1.1 Terminologie .....	36
2.1.2 Bref historique du domaine .....	40
2.1.3 Modèles de processus de conception .....	43
2.1.4 Synthèse .....	49
<b>2.2 IMPORTANCE DES METHODES ET DE LEUR SELECTION.....</b>	<b>51</b>
2.2.1 Méthodes de conception .....	51
2.2.2 Importance des méthodes .....	59
2.2.3 Sous utilisation en pratique.....	60
2.2.4 Focus sur la sélection .....	62
<b>2.3 GUIDES EXISTANTS D'AIDE A LA SELECTION DES METHODES.....</b>	<b>65</b>
2.3.1 Les guides existants.....	65
2.3.2 Principe de décomposition du processus.....	68
2.3.3 Principe de sélection par attributs .....	73
2.3.4 Insuffisance des guides .....	78
<b>2.4 AIDER A LA SELECTION DES METHODES.....</b>	<b>80</b>
2.4.1 Processus de sélection .....	80
2.4.2 Données, informations et connaissances dans la prise de décision .....	83
2.4.3 Facteurs influençant le choix des méthodes .....	86
2.4.4 Rôle des connaissances .....	89
<b>2.5 SYNTHESE DE L'ETAT DE L'ART .....</b>	<b>91</b>
<b>3 PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES DE MODELISATION .....</b>	<b>93</b>
<b>3.1 PROBLEMATIQUE : AIDER A LA SELECTION DES METHODES .....</b>	<b>96</b>
<b>3.2 HYPOTHESES DE MODELISATION.....</b>	<b>98</b>
3.2.1 Hyp 1 : Support des données descriptives et prescriptives.....	98
3.2.2 Hyp 2 : Intégration des connaissances théoriques et expérimentales.....	99

3.3	SYNTHESE DE LA PROBLEMATIQUE ET DES HYPOTHESES .....	101
3.4	PROPOSITION D'UN PREMODELE .....	102
<b>4</b>	<b>CONSTRUCTION DU MODELE ET PROPOSITION D'UN OUTIL.....</b>	<b>103</b>
4.1	OBJECTIFS DE L'EXPERIMENTATION .....	106
4.2	TRADUCTION DU BESOIN .....	108
4.2.1	Objectif de l'étape 1 .....	108
4.2.2	Entretiens avec les utilisateurs.....	108
4.2.3	Analyse Fonctionnelle .....	122
4.2.4	Conclusion de l'étape 1 .....	124
4.3	INTERPRETATION DU BESOIN .....	125
4.3.1	Objectif de l'étape 2 .....	125
4.3.2	Retour d'expérience .....	126
4.3.3	Travail bibliographique et évaluation heuristique .....	132
4.3.4	Résultat .....	139
4.3.5	Conclusion de l'étape 2 .....	140
4.4	DEFINITION DE LA SOLUTION .....	141
4.4.1	Objectif de l'étape 3 .....	141
4.4.2	Développement informatique.....	141
4.4.3	Résultats.....	144
4.4.4	Conclusion de l'étape 3 .....	157
4.5	EVALUATION DE LA SOLUTION .....	158
4.5.1	Objectifs de l'étape 4 .....	158
4.5.2	Evaluation heuristique .....	159
4.5.3	Tests utilisateurs .....	163
4.5.4	Conclusion de l'étape 4 .....	168
4.6	SYNTHESE DES APPORTS EXPERIMENTAUX .....	169
4.6.1	Synthèse globale de la démarche expérimentale .....	169
4.6.2	Synthèse de la démarche expérimentale par étape .....	170
<b>5</b>	<b>MODELE D'AIDE A LA SELECTION DES METHODES DE CONCEPTION.....</b>	<b>171</b>
5.1	PRESENTATION DU MODELE .....	173
5.2	APPORTS DU MODELE.....	176
5.2.1	Apport du modèle au développement d'un système d'aide à la sélection .....	176
5.2.2	Apport du modèle à l'optimisation du processus de conception .....	178
5.3	LIMITES DU MODELE.....	178
	<b>CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....</b>	<b>179</b>
	<b>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>187</b>
	<b>INDEX DES FIGURES.....</b>	<b>199</b>
	<b>INDEX DES TABLEAUX.....</b>	<b>203</b>
	<b>PRODUCTION SCIENTIFIQUE.....</b>	<b>205</b>
	<b>ANNEXES.....</b>	<b>207</b>

# Introduction générale



## Objectif et problématique de recherche

Le développement de produits nouveaux est une activité centrale pour la performance à long terme d'une entreprise. En effet, la conception de produits est devenue au fil des années une source majeure d'avantages compétitifs pour les sociétés industrielles devant la pression toujours plus forte exercée par le marché (réduction des cycles de développement, apparition de nouvelles technologies, etc.). Dans ce contexte, académiciens et praticiens se sont attachés à développer des modèles, méthodes, outils et techniques de manière à optimiser les performances et supporter les processus de conception et d'innovation baignés dans un univers complexe et changeant.

L'ambition première de cette recherche était de pouvoir modéliser le processus de conception de produits nouveaux de manière à tendre à son optimisation. Progressivement, et au travers des lectures bibliographiques, les méthodes de conception se sont imposées comme langage de modélisation. Un axe fort d'optimisation a alors pu être dégagé : celui de l'**optimisation du processus de conception par l'aide au choix des méthodes**. C'est ainsi qu'est née l'idée du développement d'une méthodologie prescriptive pour supporter les concepteurs dans la sélection des méthodes.

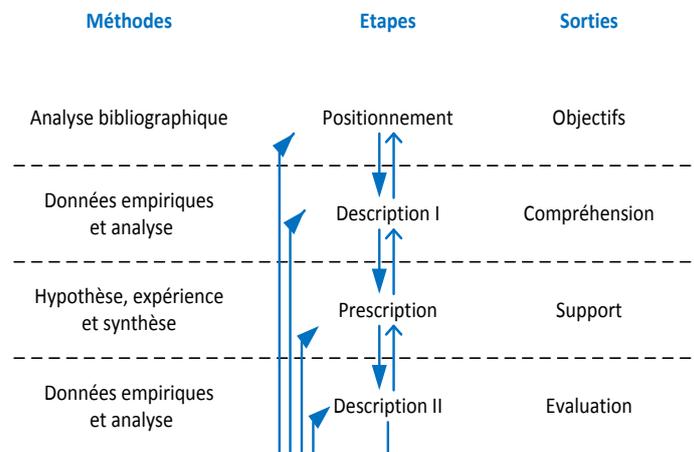
Ainsi, l'objectif principal de ce travail de recherche est de développer un **modèle de sélection des méthodes de conception**. Le développement de ce modèle n'a été possible que parce que nous avons défini au préalable quels sont les critères qui entrent en considération lors de la prise de décision. Ces facteurs, internes et externes au processus, aiguillent vers un choix optimal de méthodes, c'est-à-dire qu'ils orientent vers la sélection de méthodes adaptées au projet particulier. Nous avons par ailleurs mis en lumière le lien existant entre l'espace problème du contexte projet et l'espace solution des méthodes de conception disponibles. Ainsi, ce modèle, qui contient des données descriptives et prescriptives supportant le choix des méthodes, est en constante évolution de par la nature dynamique et évolutive des connaissances théoriques et expérimentales qui y sont intégrées.

Pour atteindre ce but, il nous a fallu franchir un certain nombre d'objectifs intermédiaires. La première étape a notamment consisté en la clarification des notions relatives aux méthodologies de conception, à savoir les termes de modèle, méthode, outil et technique. Ensuite, nous nous sommes attachés à connaître de manière précise quelle est la nature des méthodes de conception utilisées sur les projets, à quel moment intervient leur sélection et par quels moyens les concepteurs ciblent les méthodes qui vont être utilisées sur les projets. En définitive, nous avons cherché à définir l'offre méthodologique existante dans la littérature et comprendre en quoi la plupart de ces méthodes ne sont que rarement, voire pas du tout, utilisées en pratique. Notre travail nous a également amené à

clarifier le rôle des parties prenantes dans la sélection des méthodes. En particulier, nous avons pu définir qui utilise les méthodes et qui les choisit, mais aussi déterminer quel est notre cœur de cible pour le développement d'un système d'aide au choix des méthodes de conception. Nous nous sommes également attardés à comprendre en quoi une méthode peut être adaptée à un certain projet, mais inadaptée à un autre. Cette réflexion nous a notamment permis d'analyser les autres contributions relatives au choix des méthodes avec un œil critique.

## Méthodologie de recherche

La figure suivante (**Figure 1**) illustre les principales étapes de la Design Research Methodology (DRM), **méthodologie** proposée par (**Blessing and Chakrabarti, 2009**) **pour conduire une recherche en conception**. Cette méthodologie s'articule autour de quatre étapes clés et insiste sur la nécessité de problématiser les questions de recherche soulevées par l'analyse bibliographique et de positionner les travaux dans la communauté scientifique. Elle souligne également l'importance des études descriptives, alimentées par des observations et des analyses sur le terrain, pour aboutir à une compréhension plus fine du problème. Le modèle théorique se construit alors sur la base de ces analyses et permet le développement d'un outil support à la conception. Enfin, cette méthodologie nous rappelle l'importance de l'évaluation qui assure la validité des contributions proposées.



**Figure 1 : Méthodologie de recherche en conception (Blessing and Chakrabarti, 2009)**

Dans le cadre de cette recherche, nous adoptons une méthodologie de recherche reposant sur celle communément utilisée en développement de produits nouveaux (**Aoussat, 1990**). Ainsi, notre démarche de recherche peut se décomposer en quatre lots de travail.

La première étape de ce travail a été marquée par la lecture de **références bibliographiques** issues du domaine du génie industriel et des sciences de la conception. En particulier, l'analyse de la littérature sur les modèles de processus de conception nous a conduit à considérer le rôle majeur des

méthodes et à problématiser la question de leur sélection sur les projets de développement de produits nouveaux. Par ailleurs, plusieurs références complémentaires attestant de l'enjeu de cette question de recherche nous ont confortés dans le choix de cette direction. Enfin, un état de l'art sur les guides existants et une analyse de leurs limites nous a amené à formuler nos hypothèses de modélisation de l'aide aux choix des méthodes de conception.

La deuxième phase, de nature **empirique**, nous a amené à interroger des concepteurs et des chefs de projet de divers horizons à travers une série d'entretiens sur le sujet de la sélection des méthodes de conception. Ce travail de recherche nous a permis d'affiner notre compréhension du phénomène, en particulier de comprendre quels sont les acteurs impliqués dans la sélection, quelles sont les méthodes effectivement choisies, sur quels critères, à quel moment et en quoi cette activité est rendue délicate et propice à une optimisation. Les conclusions de ces enquêtes, ajoutées aux résultats d'une analyse *a posteriori* de rapports de projets de développement et d'une revue bibliographique complémentaire, nous a permis de construire un modèle d'aide à la sélection des méthodes de conception.

Ce modèle a servi de base au **développement informatique** d'un outil logiciel intitulé DesignManager. Ce guide offre la possibilité au concepteur de choisir une méthode adaptée au contexte du projet de développement de produit considéré, et au chef de projet d'organiser et d'agencer dans le temps les méthodes sélectionnées.

Enfin, les modules de cet outil ont été **testés** via des évaluations par des experts en méthodologies de conception et via des tests utilisateurs par des concepteurs novices, cœur de notre cible. Les résultats de ces tests nous ont alors permis de valider notre modèle d'aide à la sélection des méthodes de conception et nos hypothèses de modélisation.

## Originalité et apports

Les apports de cette recherche sont au nombre de trois. Premièrement, à l'issue de cette thèse, nous sommes en mesure de proposer un nouvel **outil guide d'aide à la sélection** des méthodes de conception. Cet outil n'a pour l'instant que la forme d'un démonstrateur, mais il n'en reste pas moins fonctionnel et utilisable sur les projets de développement de produits nouveaux.

Les **règles d'aide à la sélection** des méthodes de conception, qui sous-tendent le fonctionnement de DesignManager, constituent elles aussi un des apports majeurs de cette thèse ainsi qu'une originalité forte puisqu'à notre connaissance, aucun guide de ce type n'est supporté par des règles expertes.

Enfin, cet outil a été développé à partir du **modèle d'aide à la sélection des méthodes** qui constitue l'essentiel de notre apport de thèse de doctorat. Ce modèle représente une originalité importante de notre travail puisqu'il se propose de prendre en considération l'ensemble des dimensions du contexte projet et des caractéristiques des méthodes.

## Structure du document

Pour supporter notre argumentation, la structure de ce document ne suit pas l'ordre chronologique de la recherche tel qu'il a été présenté précédemment. Ce mémoire se décompose en sept parties distinctes. A cela s'ajoute quelques annexes.

### *Introduction générale*

Le présent chapitre introductif examine de manière succincte l'objet de notre recherche, c'est-à-dire, la sélection des méthodes de conception de produits, et notre objectif d'assistance aux concepteurs dans cette activité. Il donne les contours de la méthodologie de recherche appliquée dans le cadre de cette étude et expose brièvement l'originalité et les apports de cette recherche. Enfin, ce chapitre a également pour objet d'introduire les chapitres contenus dans ce document.

### *Chapitre 1 : Positionnement et enjeux*

Le chapitre 1 vise principalement à **positionner notre travail** au sein de la communauté scientifique du génie industriel et des sciences de la conception. Le thème de recherche exposé dans ce document, en lien avec la thématique de la sélection des méthodes de conception, est replacé par rapport aux travaux antérieurs du laboratoire et par rapport aux publications des autres structures de recherche travaillant sur ce sujet. Ce chapitre offre également l'occasion de revenir de manière plus précise sur les **enjeux** qui sous-tendent cette recherche et permet d'asseoir le thème de l'assistance au choix des méthodes comme voie d'optimisation du processus de conception et d'innovation.

### *Chapitre 2 : Etat de l'art*

L'état de l'art a été conduit suivant plusieurs volets. Le premier volet apporte les **bases terminologiques** nécessaires pour s'entendre sur les notions essentielles abordées dans le cadre de cette recherche, à savoir celles de méthodologie, modèle, méthode, outil et technique. Après un aperçu de l'**historique** et de l'évolution du domaine de l'ingénierie de la conception, nous illustrons à partir de plusieurs exemples, ce que nous désignons par « **modèle** » et détaillons leurs **atouts** et **limites**.

Le deuxième volet de l'état de l'art amène le problème de la sélection des méthodes de conception. Partant des **méthodes** existantes et de leur **importance** avérée pour supporter et encadrer les processus de conception et d'innovation, nous présentons les enquêtes qui attestent de leur **manque d'utilisation** en pratique. Après analyse des justifications associées, nous nous orientons progressivement sur la problématique de l'aide à la **sélection des méthodes** qui clôt cette seconde partie de l'état de l'art.

On rencontre dans la littérature de nombreux guides à vocation d'aide au choix des méthodes de conception. Ces outils sont développés par des structures publiques ou privées, académiques ou industrielles. La revue bibliographique des **guides d'aide à la sélection** des méthodes existants fait l'objet du troisième volet et s'achève par une **critique** de leurs avantages et inconvénients pour une utilisation en industrie.

Enfin, le dernier volet de l'état de l'art présente le phénomène de sélection des méthodes de conception comme **processus** à part entière. Ce processus de prise de décision fait intervenir des **facteurs** issus des caractéristiques du contexte projet et des méthodes, mais aussi des **connaissances** théoriques et expérimentales acquises par les concepteurs en matière de choix des méthodes. Les notions de « donnée » et « connaissance » manipulées dans cette section, font également l'objet de précisions d'ordre **terminologiques**.

### *Chapitre 3 : Problématique et hypothèses*

Le chapitre 3 énonce de manière précise la question fondamentale et centrale de notre recherche. Une fois notre **problématique** formulée, nous amenons nos **hypothèses** de modélisation de la sélection des méthodes de conception qui se scindent chacune en deux sous-hypothèses. La première hypothèse concerne la nature des données que doit contenir le modèle. L'autre se concentre sur l'origine des connaissances intégrées dans ce même modèle. Ce chapitre est entièrement supporté par l'analyse bibliographique exposée dans la partie état de l'art qui le précède.

### *Chapitre 4 : Construction du modèle et proposition d'un outil*

Le chapitre 4 détaille chaque étape de la méthodologie de conception de produits nouveaux (**Aoussat, 1990**) appliquée à la **construction du modèle** d'aide à la sélection des méthodes ainsi qu'au **développement d'un outil** logiciel. Cet outil est testé par des experts via des évaluations et par des concepteurs novices, cibles de l'outil, via des tests utilisateurs. Les résultats de ces évaluations permettent de stabiliser et de valider le modèle construit et les hypothèses de modélisation proposées.

### *Chapitre 5 : Modèle*

Le chapitre 5 présente le **modèle d'aide à la sélection des méthodes** de conception. Il résume ainsi en quelques pages la principale contribution de ce travail de recherche. Les **apports** du modèle au développement d'un système d'aide au choix et à l'optimisation du processus de conception ainsi que ses **limites** y sont alors examinés.

### *Conclusion générale et perspectives*

Une **conclusion** générale clôt ce document. Ce dernier chapitre résume les **principaux résultats** de cette recherche, met en exergue les contributions majeures et offre en **perspective** des directions consécutives à ce travail sur le plan du développement comme sur celui de la recherche.

### *Annexes*

La lecture des précédents chapitres est agrémentée par des renvois aux annexes. En effet, plusieurs documents sont joints en fin de document pour permettre de préciser au lecteur certaines **références bibliographiques** et de présenter des **résultats de recherche complémentaires**.

# 1 Positionnement et enjeux



## Introduction

Dans ce chapitre, nous allons procéder à un positionnement de nos travaux de recherche par rapport à la communauté scientifique du génie industriel d'une part, par rapport aux axes du laboratoire Conception de Produits et Innovation d'autre part, et enfin, par rapport aux travaux des autres structures de recherche visant l'aide à la sélection des méthodes de conception.

Nous nous attarderons en suivant sur les apports potentiels de cette recherche, d'abord sous l'angle économique, ensuite d'un point de vue recherche et enfin vis-à-vis d'une approche pédagogique.

Nous clôturerons ce chapitre par une synthèse qui reprendra en substance les éléments essentiels du positionnement et des enjeux de cette recherche.

## 1.1 Positionnement scientifique

### 1.1.1 Génie industriel, ingénierie et science de la conception

La définition communément admise de « **génie industriel** » (*industrial engineering* ou *engineering management*) est empruntée à l'Institute of Industrial Engineers (IIE) selon lequel :

*Le génie industriel concerne la conception, l'amélioration et l'installation de systèmes intégrés mettant en jeu des hommes, des matériaux, des équipements et de l'énergie. Il s'appuie tant sur les connaissances spécialisées et les aptitudes dans le domaine des mathématiques, de la physique et des sciences sociales que sur les principes et méthodes des sciences de l'ingénieur, ceci pour spécifier, prédire et évaluer les résultats de ce type de système.*

Cette définition met en exergue la pluridisciplinarité de ce domaine qui utilise, en les adaptant, les concepts, méthodes, mécanismes de pensée propres aux sciences exactes et naturelles ainsi qu'aux sciences humaines, économiques et sociales. Dans son ouvrage, (Gousty, 1998) se réfère au génie industriel comme étant l'interface entre l'univers de la technologie et celui du management.

A ce titre, le spécialiste de génie industriel gère aussi bien les fonctions techniques de l'entreprise que les fonctions managériales (planifier, organiser, diriger, contrôler) tout au long du cycle de vie du produit depuis l'analyse du besoin jusqu'au service après-vente, voire jusqu'à la récupération et/ou la gestion des déchets générés.

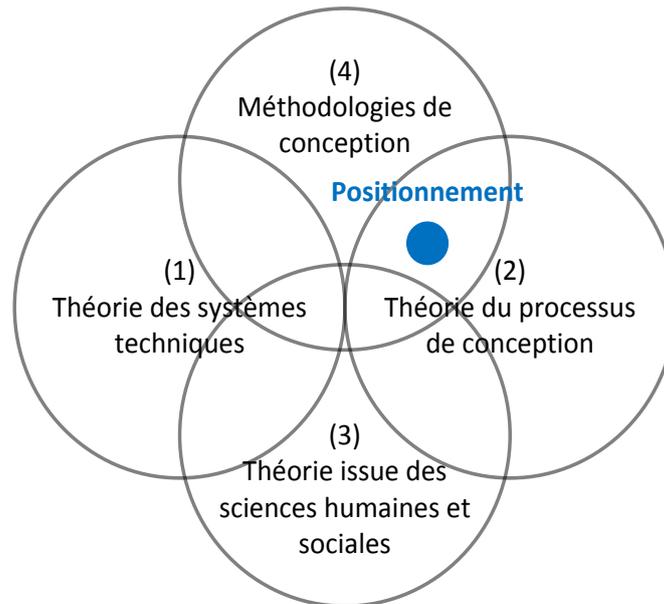
L'**ingénierie de la conception** (*engineering design*) est une branche du génie industriel. Elle est définie par (Hales and Gooch, 2004) de la manière suivante :

*L'ingénierie de la conception est le processus par lequel une idée ou besoin du marché est transformé en information détaillée qui permette à un produit ou système technique d'être produit.*

Conception et science ont traditionnellement été envisagées séparément. Or, depuis les années 60, de nombreuses publications attestent des passerelles qui peuvent exister entre ces deux domaines (Cross, 1993). Ainsi, certains chercheurs suggèrent le développement d'une **science de la conception** (*design science*), comme corpus de connaissance analytique, partiellement empirique, partiellement formalisable, à propos du processus de conception (Simon, 1991). (Hubka and Eder, 1996) en donnent les contours et proposent un découpage des thématiques abordées dans ce domaine en quatre catégories : la théorie des systèmes techniques (1) ; la théorie de la conception et théorie du

processus de conception (2) ; la connaissance appliquée issue des sciences humaines et sociales (3) et enfin, les méthodologies de conception (4).

Notre recherche se positionne à l'intersection des catégories de la **théorie du processus de conception (2)** et des **méthodologies de conception (4)** (Figure 2). Ce champ de connaissance est un domaine de recherche à part entière et est désigné sous l'acronyme anglais DTM (*Design Theory and Methodology*) (Tomiyama et al., 2009).



**Figure 2 : Positionnement au sein des sciences de la conception (Hubka and Eder, 1996)**

Notre objet de recherche principal est le processus de conception en lui-même. En effet, nous avons pour objectif d'établir, pour chaque nouveau projet de développement de produit, un processus de conception sur-mesure, adapté aux contraintes et enjeux du projet. En ce sens, nos travaux s'ancrent bien dans la théorie du processus de conception (2). Pour permettre de rendre spécifique ces modèles, nous nous appuyons sur les connaissances acquises dans le domaine des méthodologies de conception (4). Nous positionnons alors également nos travaux au cœur de ce deuxième champ de recherche.

Ainsi, en s'intéressant à la modélisation du processus de conception de produits et plus particulièrement à la sélection des méthodes qui en découle, notre recherche se positionne au sein de la communauté du génie industriel, et plus précisément au cœur de l'ingénierie et des sciences de la conception.

### 1.1.2 Vers l'optimisation du processus de conception

Le Laboratoire de Conception de Produits et Innovation (LCPI), laboratoire dans lequel se déroule ces travaux, se situe au sein de l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers. Dirigé par le Professeur Améziane Aoussat, il mène une recherche en génie industriel sur les processus de conception et d'innovation (AERES, 2009). Cette recherche est centrée sur les **étapes amont du processus**, phases pendant lesquelles les produits à développer sont encore définis de manière imprécise et floue. Dans leur article, (Segonds et al., 2009) clarifient cette notion de « conception amont » et la définissent comme étant le regroupement des « phases de définition et planification du projet, de recherche et de validation du concept » ainsi que « des premières étapes de la conception architecturale, jusqu'à la génération d'un tracé préliminaire ». La figure suivante (Figure 3), empruntée à (Mougenot, 2008), illustre bien ce que nous entendons par conception amont, c'est-à-dire le passage d'un état immatériel (idée, besoin) à un état matériel (maquette, prototype).

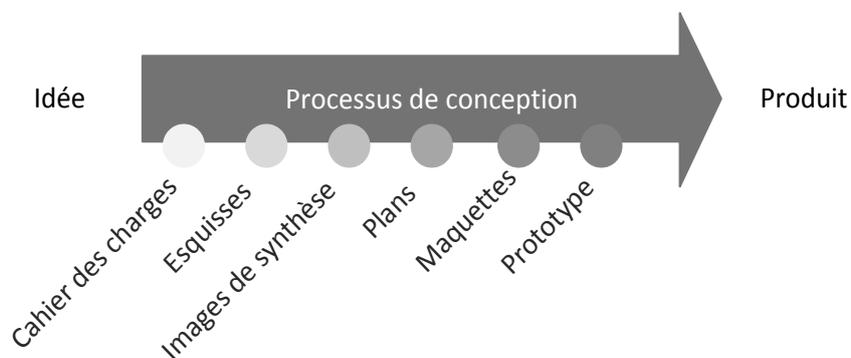


Figure 3 : La conception amont vue par (Mougenot, 2008)

Les travaux de recherche du laboratoire concourent tous à un objectif commun désigné au travers du thème fédérateur d'**optimisation du processus de conception et d'innovation**. Ils visent la numération du processus et le développement d'un modèle computationnel. Pour cela, deux approches complémentaires sont envisagées : l'approche *bottom up* consiste à agréger des modèles partiels en développement dans le laboratoire ; l'approche *top down* vise à définir un modèle générique du processus de conception. Dans cette recherche, nous nous positionnons dans cette deuxième perspective.

L'objectif d'optimisation du processus de conception et d'innovation se décline en **deux pôles** : un pôle métier et un pôle processus (LCPI, 2008).

Le processus de conception et d'innovation est par essence pluridisciplinaire. Ingénieurs, ergonomes, designers, mutualisent leurs compétences pour développer les produits de demain. Savoir intégrer et accueillir ces diverses disciplines au cœur de la conception permettrait aux entreprises de concevoir

des produits en phase avec les attentes et besoins réels du marché. Ainsi, les recherches s’inscrivant dans le **pôle métier** se proposent d’extraire, de formaliser et de modéliser les spécificités des différents métiers. Elles ont pour vocation de développer des méthodes à l’usage des concepteurs de métiers divers, comme par exemple l’ATC ou Analyse des Tendances Conjointes pour les designers (Bouchard et al., 1999). Hier avec les projets européens KENSYS (Mantelet, 2006) et TRENDS (Mougenot, 2008), aujourd’hui avec le projet GENIUS (Omhover et al., 2010), le laboratoire soutient activement depuis de nombreuses années ce pôle de recherche.

La conception de produits est un processus complexe. Cette complexité découle d’une part du produit à concevoir en lui-même, mais également de la pluridisciplinarité inhérente aux projets de conception amont. Etre en mesure de modéliser et de caractériser ce processus permettrait aux entreprises de développer leurs produits de manière plus efficace et efficiente. Ainsi, les recherches s’inscrivant dans le **pôle processus** se proposent de formaliser les divers processus individuels et collectifs qui interagissent au sein des projets de conception. Elles ont pour vocation de développer des méthodes à destination des chefs de projet, comme par exemple la méthode ADIP ou Analyse des Dysfonctionnements de l’Information dans le Projet (Gautier, 1995), méthode de management des risques dans l’entreprise. Hier avec le projet DIGITABLE (Buisine et al., 2007), aujourd’hui avec le projet MINIMAGE (Vervliet et al., 2009), les travaux du laboratoire participent à la modélisation des processus de conception et d’innovation.

Loin d’être cloisonnés, ces deux pôles s’enrichissent mutuellement. Dans cette recherche, nous défendons l’idée de pouvoir optimiser le processus de conception en aidant les concepteurs à choisir les méthodes et les outils qui conviennent le mieux à leur projet de développement de produit. Ainsi, ce travail de recherche est ancré dans le pôle processus, mais parce qu’on intègre également les connaissances et les pratiques métiers, on positionne nos travaux à l’intersection des deux domaines, avec une teinte plus marquée pour le pôle processus (Figure 4).

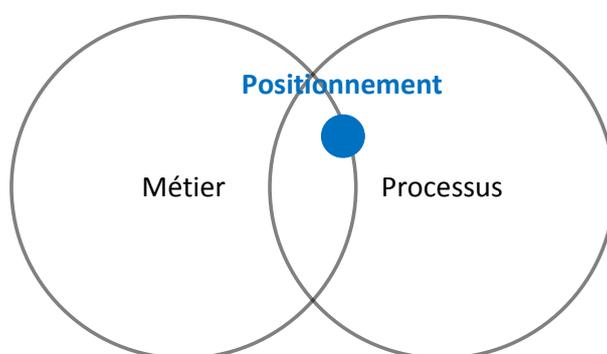


Figure 4 : Pôles de recherche pour le plan quadriennal 2010-2013 (LCPI, 2008)

### **1.1.3 Aide à la sélection des méthodes de conception**

#### **1.1.3.1 Au sein du Laboratoire Conception de Produits et Innovation**

La genèse de cette recherche est issue de plusieurs travaux antérieurs du Laboratoire Conception de Produits et Innovation. L'initiateur de cette réflexion est le Professeur Améziane Aoussat, à la direction de la présente thèse de doctorat. Déjà en 1990 (Aoussat, 1990), il défendait la nécessité d'une approche plurielle et de la collaboration inter disciplinaire. Ces prémisses ont donné naissance à de multiples travaux dont les apports respectifs sont synthétisés dans le mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches (Aoussat, 1996). Il évoquait alors, dans la continuité des ses précédentes études, l'importance de la modélisation du processus de conception et les enjeux associés à la formalisation de ce champ de connaissance.

Dans le même temps, Vadcard soutenait sa thèse de doctorat intitulée « Aide à la programmation de l'utilisation des outils en conception de produits » (Vadcard, 1996). Dans cette recherche, Vadcard partait du constat de la multiplicité des supports méthodologiques en conception. Ainsi, il en déduisait le besoin d'une plus grande lisibilité des éléments méthodologiques existants. Sa problématique s'exprimait alors de la manière suivante : « Comment aider à programmer l'utilisation des outils – pluridisciplinaires et opérants – en conception de produits ? ». A cette question, il mettait en vis-à-vis un jeu de deux hypothèses : la proposition d'une classification des outils de conception ; la description de ces outils à l'aide d'une « carte d'identité ». Cette thèse a fortement influencé nos travaux dans le cadre de cette recherche, notamment en ce qui concerne la standardisation de la description des méthodes et outils sur laquelle nous reviendrons de façon détaillée plus loin dans ce document.

Thouvenin (Thouvenin, 2002) est parti quant à lui d'une toute autre perspective, celle de la difficulté de la mise en place des moyens d'aide à l'innovation. Il a en particulier focalisé son attention sur l'accompagnement des PME-PMI dans l'innovation, ce qui l'a finalement amené à énoncer sa problématique de la manière suivante : « Comment optimiser l'accompagnement des PME pour l'innovation ? ». En réponse à cette question centrale, il a défendu son hypothèse du « Juste Nécessaire Méthodologique » ou comment choisir la méthodologique la plus juste, autrement dit la plus adéquate. Il est important à ce niveau de remarquer que cette hypothèse se rapproche de la culture *Lean* (que l'on peut traduire en français par l'adjectif « mince »). Ce courant a d'abord profondément bouleversé le domaine de la fabrication avec le *Lean Manufacturing*, avant de s'attaquer aujourd'hui à la conception avec le *Lean Product Development*. Autre courant de pensée que l'on peut associer à ce type de raisonnement est celui de *Just Need* défendu par Tichkiewitch dans son *keynote* présenté lors de la dernière conférence internationale CIRP Design (Tichkiewitch,

**2010**). Ainsi, bien que datant de 2002, les travaux de Thouvenin sont encore profondément ancrés dans les thématiques actuelles et à venir de l'ingénierie de la conception. Si l'on en revient à cette hypothèse du « Juste Nécessaire Méthodologique », on peut également remarquer qu'elle introduit la notion de « bonne méthode » ou encore de « méthode optimale ». Cette idée fondamentale a façonné l'ensemble de nos travaux, et nous la retrouverons essaimée au cœur de plusieurs chapitres de ce document.

Les derniers travaux en date relatifs à la thématique de l'aide au choix des méthodes, sont ceux de Benfriha (**Benfriha, 2005**). L'idée-force défendue dans cette thèse de doctorat était celle du besoin de numérisation du processus de conception de produits (à noter que cette idée découle directement du projet à long terme du laboratoire, partagé par l'ensemble de l'équipe de recherche et présenté dans le dossier de reconnaissance (**LCPI, 2008**)). Cette ambition l'a progressivement orienté vers la problématique de l'aide à la sélection des méthodes et outils de conception. L'hypothèse alors testée concernait celle de l'apport de techniques issues de l'ingénierie logicielle et plus particulièrement du domaine de l'Intelligence Artificielle (IA). Au terme de cette recherche, il est apparu que l'intégration de cette discipline devait se faire de manière plus progressive et l'idée de recourir à des techniques d'IA a été mise de côté lors de cette recherche, pour expérimenter dans un premier temps la numérisation de l'aide au choix des méthodes.

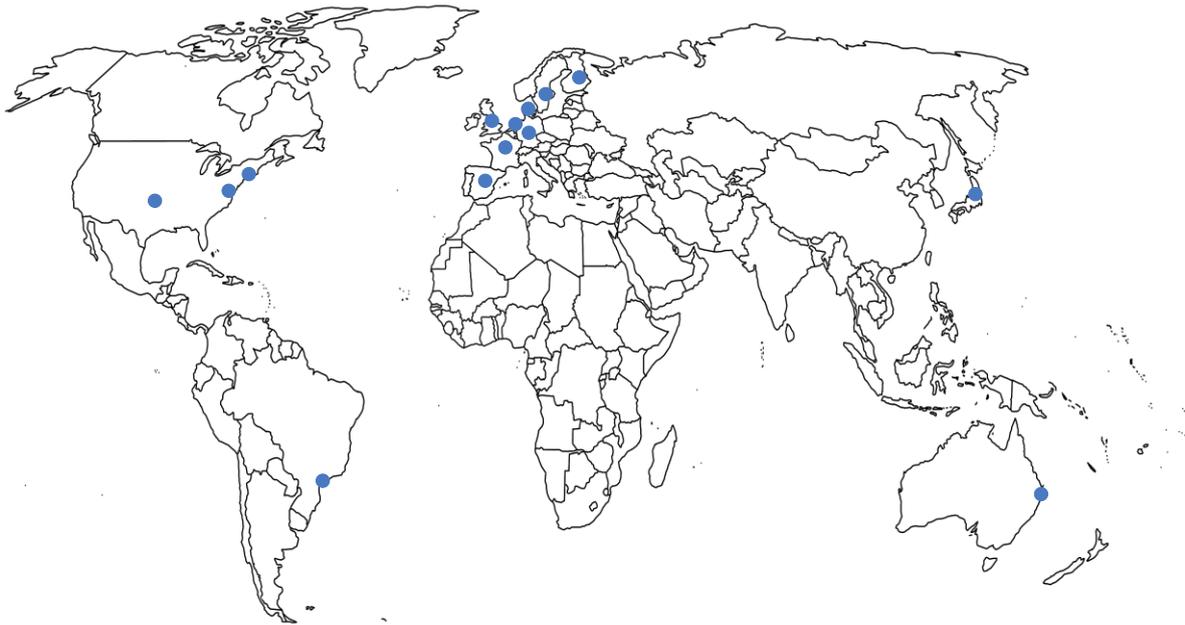
Finalement, se dégage de ces différents travaux de recherche une problématique commune de contribution à la modélisation du processus de conception par le biais de la sélection des méthodes et outils de développement de produits.

### **1.1.3.2 Dans les autres structures**

Nous avons déjà cité, aux détours de la présentation des travaux antérieurs du LCPI, plusieurs laboratoires nationaux et internationaux. Mais, ils ne sont pas les seuls à s'intéresser à cette thématique de l'aide à la sélection des méthodes de conception. Certains s'y intéressent en s'attaquant précisément à la question du choix des méthodes, d'autres en considérant le problème d'un point de vue plus global au niveau de l'intégration d'une méthode de conception, d'autres enfin, en s'attachant à comparer plusieurs méthodes entre elles.

En première ligne, l'école allemande, berceau de la méthodologie *Systematic Design* développée par Pahl and Beitz (**Pahl and Beitz, 2007**) a influencé (et influence encore) de nombreux autres laboratoires du vieux continent.

La figure ci-dessous propose une vue globale des laboratoires et autres structures qui travaillent sur la thématique de recherche de la sélection des méthodes de conception de produits (**Figure 5**).



Laboratoires	
Arts et Metiers ParisTech	Luleå University of Technology
Université de Technologie de Compiègne	INSA Strasbourg
Darmstadt University of Technology	Technical University of Braunschweig
University of Southampton	Ecole Nationale Supérieure en Génie des Systèmes Industriels de Nancy
University of Bremen	Worcester Polytechnic Institute
Royal College of Art	George Washington University
Ecole Centrale Paris	Osaka University
Université de Technologie de Belfort-Montbéliard	University of Oklahoma
Technical Research Centre of Finland	Universidade federal de Santa Catarina
Glasgow School of Art	The Open University
Loughborough University	Delft University of Technology
Surrey Institute of Art and Design	University of Cambridge
Universität Karlsruhe	Université technique du Danemark
Université Paul Verlaine	University of Kaiserslautern
Technical University Munich	Brisbane University of Technology
Organismes et Associations	
Association Française de l'Analyse de la Valeur	VDI
Association Française de NORmalisation	National Academy of Engineering
Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie	Institut national de l'environnement industriel et des risques
Netherlands Organisation for Applied Scientific Research	Design Council
Institute for Prospective Technological Studies Spain	

**Figure 5 : Liste non exhaustive des laboratoires et autres structures travaillant sur la thématique**

Le positionnement de ce travail de recherche étant dès à présent stabilisé, nous allons présenter dans la partie suivante les enjeux en lien avec cette thématique.

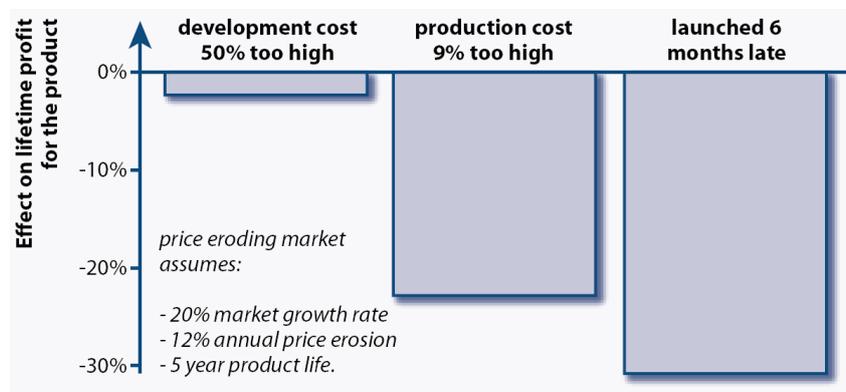
## 1.2 Enjeux de cette recherche

### 1.2.1 Enjeux économiques : Supporter le processus de développement

Pour bien comprendre quels sont les enjeux économiques liés au choix des méthodes de conception dans l'industrie, il convient de revenir sur plusieurs points : les enjeux de la conception d'une part ; l'importance des méthodes dans la structuration des processus de conception et d'innovation et leur manque d'utilisation dans l'industrie d'autre part ; et enfin, les bénéfices attendus d'une aide à la sélection des méthodes sur les résultats des projets de conception.

#### 1.2.1.1 Enjeux économiques et conception

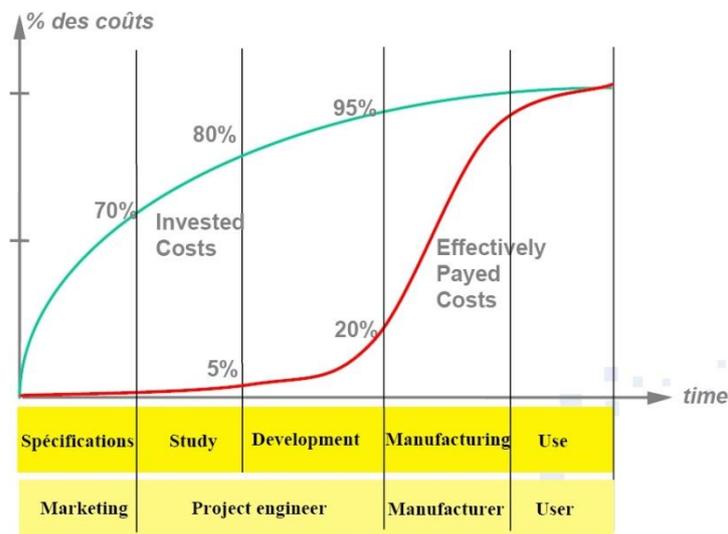
« La conception est une phase cruciale pour le succès du projet ». Ce sont dans ces termes que s'est exprimé Louis Schweitzer, alors PDG de Renault, dans une interview parue dans « les Echos » du 13 février 2002 ([Ministère de l'Economie des Finances et de l'Industrie, 2003](#)). Lors de cet entretien, il établit un lien direct entre le temps de développement des nouveaux produits, le temps de mise sur le marché et le chiffre d'affaires du constructeur automobile. Gagner du temps dans la conception, c'est agir directement sur le chiffre d'affaires de l'entreprise. En effet, il a été démontré dans une étude menée par le cabinet McKinsey and Company ([Department of Trade and Industry, 1994](#)) cité par ([Wynn, 2007](#)), qu'un décalage de six mois dans la mise sur le marché d'un produit peut conduire à une perte de près de 30% sur les profits ([Figure 6](#)).



**Figure 6 : Répercussions des coûts et des délais sur les profits**  
 ([Department of Trade and Industry, 1994](#))

De même qu'il existe une relation de cause à effet entre les temps de développement des produits et les temps de mise sur le marché, les décisions prises en amont des projets ont des conséquences significatives sur les coûts qui seront supportés jusqu'à la fin du cycle de vie du produit. Ces décisions n'ont pas de conséquences immédiates. Leurs effets sont étalés dans le temps. En définitive, les options retenues dès les phases d'avant-projet ont un impact sur les coûts de développement, d'après-vente, d'exploitation, de recyclage, etc. ([Garel, 2003](#)). Ainsi, ([AFITEP, 1995](#), [Tichkiewitch,](#)

**2010)** considèrent que près de 80% du coût complet d'un projet sont figés dès la fin de la conception, alors que seulement 5% des dépenses sont effectives (**Figure 7**). De plus, la possibilité d'avoir une influence sur les coûts décroît rapidement dès la fin des pré-études, et plus le temps passe, plus les modifications ont un coût relatif important.



**Figure 7 : Evolution des coûts engagés par le projet (Tichkiewitch, 2010)**

Agir en conception c'est aussi se donner les moyens d'innover. En effet, selon (**Forest et al., 1997**), la conception est le moteur de l'innovation, autrement dit « pas d'innovation sans conception ». Ainsi, progresser dans la compréhension, la description ou le pilotage du processus de conception permettra des avancées substantielles du processus d'innovation. Et les bénéfices de l'innovation, qu'elle soit incrémentale ou de rupture, dans un contexte de concurrence accrue sont nombreux : accroissement des parts de marchés, attractivité et compétitivité industrielle, etc.

Finalement, on perçoit bien les enjeux de la conception, à la fois sur le plan de l'optimisation du triptyque coût/qualité/délai comme sur celui du développement de la compétitivité des entreprises par l'innovation.

Or, si importantes soient elles, ces activités n'en demeurent pas moins complexes. (**Simon, 1991**) parle en particulier de « problème mal défini » (*ill-defined problem*) pour caractériser la conception. En effet, on travaille en développement de produits sur des systèmes en voie de définition lorsqu'il y a acte de conception. Selon (**Garel, 2003**), un projet est un processus où, au fur et à mesure de son avancement, les degrés de liberté diminuent tandis que le niveau de connaissance s'accroît. En d'autres termes, le groupe projet prend en amont les décisions qui figeront les orientations de la conception du futur produit, ce qui n'est bien évidemment pas sans risque sur le déroulement de l'étude.

Le caractère complexe de la conception se situe à plusieurs niveaux : celui du produit, celui de son processus de développement associé et celui de son environnement (concurrence, réglementations et normes, marché, etc.). Cette complexification résulte de la multiplication et de la personnalisation de l'offre, de l'intégration de nouvelles fonctions dans les produits, de l'implication de nouveaux champs de connaissance dans les processus. Associés à cela, les concepteurs doivent également concevoir en anticipant l'ensemble des contraintes émanant des diverses étapes du cycle de vie du produit, de la conception au démantèlement, en passant par la fabrication, le montage, le service après-vente du produit ; et toujours dans une optique de diminution des coûts, des temps de mise sur le marché et d'amélioration de la qualité.

Cette complexification des processus de conception de produits actuels associés à un accroissement des risques conduisent les concepteurs et les managers à utiliser diverses méthodes de conception, qui permettent de structurer les actions vers un objectif prédéfini.

### **1.2.1.2 Rôle des méthodes de conception**

Les atouts des méthodes de conception sont aussi multiples et variés que leur nombre est important. Elles permettent à la fois de raccourcir les délais de développement, de diminuer les coûts, de répondre aux exigences environnementales, etc. Ainsi, toute exigence industrielle a sa réponse en terme de méthodologie : par exemple la conception à coût objectif pour développer des produits à des coûts moindres ; créativité pour imaginer les produits de demain et avoir toujours une longueur d'avance sur ses concurrents ; *universal design* pour des produits accessibles au plus grand nombre, etc.

S'intéressant aux *bests practices* des entreprises innovantes, (Franke et al., 2009) ont démontré qu'il existe une corrélation positive entre d'un côté le succès des innovations et de l'autre la structuration des processus et l'application des méthodes (Figure 8). En effet, l'intégration des méthodes de conception en développement de produits permettant de structurer et de formaliser les processus de conception et d'innovation, il n'est pas étonnant de retrouver ces deux aspects sur le même le schéma.

Aussi, l'application des méthodes de conception est un indicateur de maturité utilisé de manière conventionnelle pour les projets d'innovation. En particulier, (Herrera-Hernandez et al., 2009) citent l'utilisation des méthodologies de conception comme facteur clé pour améliorer les processus.

Enfin, les méthodes de conception contribuent à la stratégie d'ensemble de l'entreprise et du développement de produit. C'est ce que Jones et Cross appellent la stratégie de conception (*design strategy*) dans (Jones, 1992, Cross, 2008).

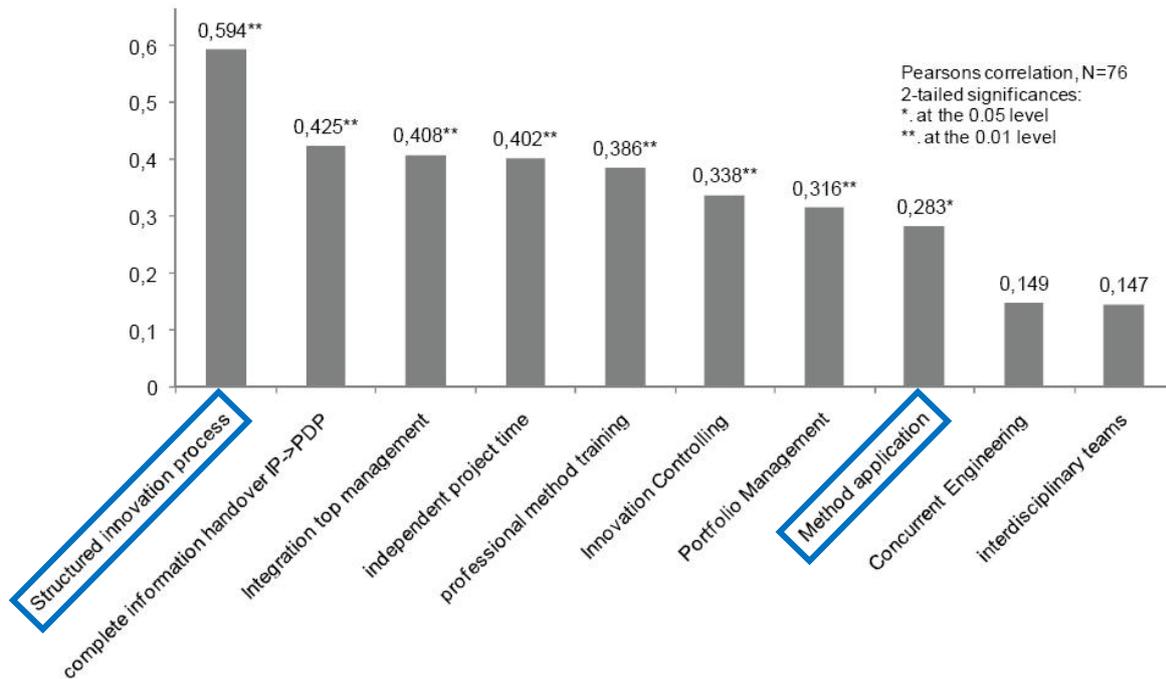


Figure 8 : Corrélation entre succès des innovations et stratégies (Franke et al., 2009)

### 1.2.1.3 Utilisation des méthodes en pratique

En dépit des multiples arguments en faveur des méthodes, de nombreuses études attestent du manque d'utilisation des méthodologies de conception en pratique. Ce constat est identique quelque soit le continent et/ou le type de méthode de conception considéré. On relève dans la littérature plusieurs exemples, comme (Bylund et al., 2003, López-Mesa, 2003, Tomiyama et al., 2009) qui s'intéressent à l'usage des méthodes de conception de manière générale, toute famille confondue. (Nielsen, 1994) se focalise plus particulièrement sur les méthodes dites d'utilisabilité, alors que (Tanco et al., 2008) mène une enquête sur l'utilisation des plans d'expérience. A chaque fois, les chercheurs aboutissent aux mêmes conclusions du manque d'utilisation des méthodes dans l'industrie. Aussi, dans une étude récente sur le système de management de l'innovation des entreprises, (Andrews et al., 2009) concluent également sur le manque de support à l'innovation en entreprise, notamment en matière d'application des méthodes.

Ainsi, on peut déduire de ces diverses enquêtes que le potentiel méthodologique mis à disposition est largement sous-exploité voire ignoré par les entreprises.

La question qui se pose alors est la suivante : D'où viennent ces réticences de la part des sociétés industrielles à utiliser les méthodes de conception développées par le monde académique ?

Une première esquisse de réponse que nous pouvons apporter ici est contenue dans la question. En effet, il s'agit pour les entreprises d'utiliser les résultats de recherche des laboratoires. Or, ces derniers ne sont pas soumis aux mêmes exigences et contraintes que le terrain industriel. De plus, les

laboratoires fournissent des recommandations qui se veulent génériques - ou en tout cas qui sont censées être généralisables à un ensemble de cas d'application - à des problèmes qui sont par essence particuliers. Les entreprises se demandent alors dans quelle mesure elles peuvent faire confiance à ces méthodes. Cette idée est soutenue par certains chercheurs eux-mêmes qui n'hésitent pas à déclarer que les méthodes actuelles ne sont tout simplement pas adaptées aux réalités du monde industriel (Tomiyama et al., 2009).

Nous évoquons ici cette possibilité. De plus, nous n'excluons pas l'idée qu'il est nécessaire de poursuivre les efforts vers des développements de méthodes plus enclines à une utilisation dans l'industrie. Néanmoins, nous n'irons pas plus loin dans cette réflexion car nous pensons que le domaine des méthodologies de la conception est vaste et dispose de méthodes adaptées. Cette diversité est un gage d'adaptabilité dans la mesure où les concepteurs sont capables de choisir correctement la ou les méthodes qui conviennent le mieux à leurs cas particuliers. Il se peut donc, que les entreprises n'utilisent pas les méthodes faute de savoir correctement les choisir. Ainsi, une aide à la sélection des « bonnes méthodes » pourrait alors profiter largement aux entreprises.

#### **1.2.1.4 De l'importance de la sélection des méthodes dans l'industrie**

Nous focalisons donc notre attention autour de la deuxième hypothèse selon laquelle la difficulté de la sélection serait à l'origine de la sous-utilisation des méthodes de conception. Celle-ci part du constat qu'il existe aujourd'hui de multiples réponses méthodologiques, et de l'hypothèse que la diversité de ces réponses permettrait de couvrir la majorité des demandes industrielles. Or, il semble difficile pour les novices du domaine de faire un choix éclairé parmi ces innombrables possibilités. (López-Mesa, 2003) précise à ce titre que les concepteurs jugent souvent difficile de sélectionner les méthodes adaptées à leur projet. Cette thèse est également soutenue par d'autres chercheurs, en particulier (Braun and Lindemann, 2003).

Cette sélection est d'autant plus importante qu'elle peut être à l'origine du succès comme de l'échec des processus de conception et d'innovation. En effet, en sélectionnant une méthode spécifique, l'objectif visé par le concepteur peut être par exemple de maîtriser les coûts de développement de son projet ou bien de recueillir les attentes des clients et utilisateurs finaux. En cela, elles peuvent être source d'avantages concurrentiels pour l'entreprise. Inversement, elles peuvent occasionner des effets négatifs tels que de la « sur-qualité » auxquelles s'associent des coûts de développement et des délais trop élevés. Car appliquer une méthode implique des coûts (nécessité de former ses équipes, d'investir dans du matériel informatique ou de nouveaux équipements, etc.) mais aussi du temps dans le déploiement de la méthodologie.

Une méthode n'est pas par essence bonne ou mauvaise. Mais elle le sera toujours compte tenu d'un contexte en particulier. L'exemple le plus saillant est celui de General Electrics, leader dans son domaine et qui utilise de façon systématique la méthode Six Sigma pour le développement de ses produits. Cette même méthode, appliquée dans un tout autre contexte, dans le cas présent il s'agit de l'entreprise 3M société fondatrice de l'incontournable post-it ([Business Week, 2007](#)), peut amener l'entreprise à de sévères difficultés. Ainsi, juger la pertinence d'une méthode devra toujours se faire en tenant compte des éléments du contexte.

La difficulté réside alors à recueillir des avis objectifs sur les méthodes, mais également à pouvoir qualifier voire quantifier le rendement de celle-ci en comparant ce qu'elle coûte à l'entreprise ou au projet avec ce qu'elle rapporte. A notre connaissance, peu de travaux se sont engagés sur cette question délicate. ([Nielsen, 1994](#)) a notamment entrepris de mesurer les coûts et bénéfices apportés par les méthodes d'utilisabilité sur des projets.

Selon ([Cattan, 2004](#)), parmi les facteurs qui contribuent à l'optimisation du coût d'un produit, le plus important est la ou les méthodes utilisées pour concevoir. Ainsi, Cattan établit un lien direct entre d'un côté le choix d'une méthode spécifique et les coûts associés supportés en conception.

### **1.2.2 Enjeux scientifiques : Accroître la visibilité des résultats de recherche**

L'enjeu scientifique de cette étude est double et concerne l'accroissement de la visibilité des résultats de recherche : des chercheurs pour les chercheurs eux-mêmes, mais également des chercheurs pour les praticiens en industrie. Ce besoin est né de deux constats ([Blessing and Chakrabarti, 2009](#)) : le premier s'intéresse au manque de vue d'ensemble de la recherche existante en ingénierie de la conception ; la deuxième considère la faible utilisation des résultats de recherche en pratique.

#### **1.2.2.1 Manque de vue d'ensemble des recherches en ingénierie de la conception**

La recherche en conception est une discipline relativement jeune. Ayant d'abord souffert d'un manque de reconnaissance en tant que domaine de recherche à part entière, ce champ disciplinaire voit aujourd'hui se multiplier les publications scientifiques et groupes de réflexion portant sur le sujet. Cette croissance exponentielle n'est pas sans conséquence sur la visibilité des résultats de ses recherches. ([Blessing and Chakrabarti, 2009](#)) attestent de ce manque et de la difficulté d'avoir une vue d'ensemble de la recherche en conception. Plus proche de notre sujet, ([Birkhofer, 2008](#)) plaide en faveur d'une remise en ordre des méthodes de conception.

Ainsi, se proposant de développer un guide d'aide à la sélection des méthodes, nos résultats vont dans le sens d'une clarification du domaine des méthodologies de conception. En effet, pour pouvoir

sélectionner une méthode appropriée, il nous faut définir précisément le périmètre d'application et les limites de chacune des méthodes. Finalement, ce guide permettra indirectement de démêler en partie le domaine des théories et méthodologies de conception et ainsi d'assurer une meilleure visibilité des résultats de recherche des chercheurs pour les chercheurs.

### 1.2.2.2 Faible utilisation des résultats de recherche en pratique

L'objectif de la recherche en conception est d'améliorer la conception au sens large et *a fortiori* en industrie. Selon (Blessing et al., 1998) cités par (Bylund et al., 2003), l'objectif de la recherche en ingénierie de la conception est de supporter l'industrie en développant de la connaissance, des méthodes et des outils susceptibles d'améliorer les chances de succès d'un produit.

Or, on constate un manque d'utilisation des résultats de recherche du domaine dans la pratique industrielle. Ce phénomène n'est pas nouveau et a déjà été rapporté par de multiples chercheurs, notamment (Reich, 1994) cité par (Blessing and Chakrabarti, 2009). En effet, la plupart des résultats de recherche restent au stade de la publication scientifique et ne se diffusent que très rarement dans l'industrie.

(Braun and Lindemann, 2003) désignent par la notion de transfert cette transmission de savoir méthodologique du monde académique où les méthodes sont imaginées et développées, au monde industriel où elles sont adaptées, appliquées à des cas divers et variés. Comme il a été défini précédemment, de nombreuses études constatent que ces méthodes ne sont que faiblement utilisées comparativement à l'offre méthodologique proposée par le monde académique. La première enquête que nous ayons trouvée sur ce sujet est celle réalisée en Allemagne dans les années 90 (Grabowski and Geiger, 1997) cités par (Geis et al., 2008) (Figure 9).

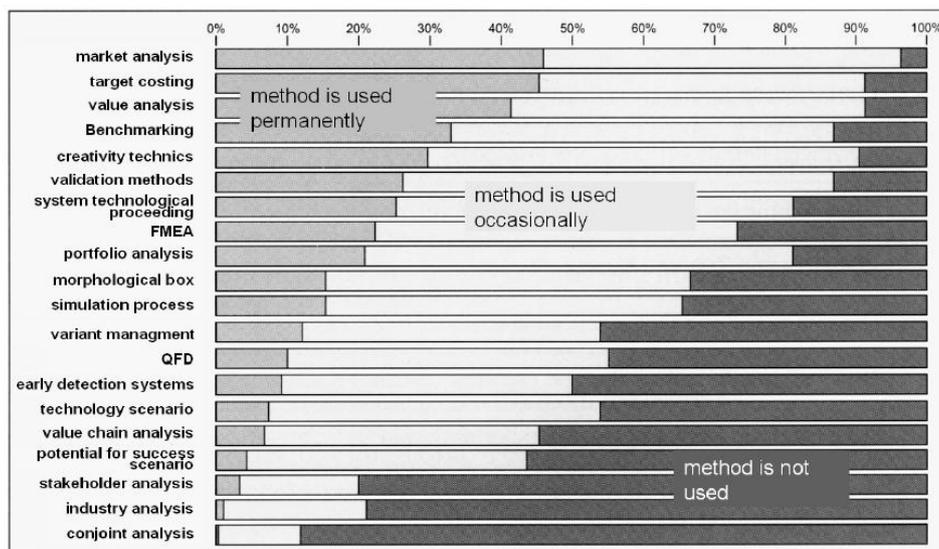


Figure 9 : Usage des méthodes en Allemagne (Grabowski and Geiger, 1997)

Finalement, concevoir un système d'aide à la sélection des méthodes de conception revient à encourager les industriels à utiliser des méthodes de conception. Ce système concourt ainsi à promouvoir les résultats de recherche des laboratoires et à améliorer leur visibilité auprès des praticiens. En définitive, en aidant les industriels à sélectionner les méthodes qui conviennent le mieux à leur projet, on contribue à faire reconnaître les travaux de recherche du domaine.

### **1.2.2.3 Obtention de données objectives sur les méthodes**

Un dernier enjeu en lien avec la perspective scientifique de cette recherche, un peu plus en marge que les deux premiers mais néanmoins important à souligner, concerne l'obtention de données objectives sur les méthodes.

En effet, il est actuellement difficile d'obtenir des renseignements neutres et objectifs sur les méthodes de conception (Tomiyama et al., 2009). Les publications relatent très souvent l'application à succès des méthodes et ne mentionnent que très rarement les difficultés et problèmes inhérents à leur mise en œuvre.

Ainsi, par le biais du système d'aide à la sélection des méthodes, nous souhaitons collecter des informations fiables sur les méthodes, sans aucun parti pris. Nous pourrions ainsi conseiller au mieux les industriels dans leurs interrogations et faire avancer d'un point de vue scientifique la recherche en conception.

### **1.2.3 Enjeux pédagogiques : Former aux méthodologies de conception**

L'enjeu pédagogique majeur en lien avec la problématique de l'aide à la sélection des méthodes concerne la formation des étudiants. D'après (Tomiyama et al., 2009), les industries estiment que ces derniers sont mal préparés au travail de conception dans l'industrie. Dans leur article, les auteurs précisent que les étudiants sont formés à des théories et méthodologies qui n'ont pas d'échos dans le monde de l'entreprise. Aussi, aider les étudiants à sélectionner les méthodes les plus adaptées à leur projet leur permettrait d'être force de proposition en matière de méthodologies de conception et d'innovation dans leur entreprise d'accueil.

## 1.3 Conclusion sur le positionnement et les enjeux

Dans ce premier chapitre, nous affirmons notre positionnement au cœur du domaine du génie industriel, et plus précisément au sein de l'ingénierie de la conception. Nos résultats de recherche sont voués à être intégrés dans le champ de recherche des théories et des méthodologies de la conception.

L'aide à la sélection des méthodes de conception possède de multiples enjeux selon que l'on se place du point de vue des industriels, des chercheurs ou bien des étudiants en conception.

Du côté économique, aider les concepteurs dans leur choix de méthodes de conception est susceptible d'apporter des améliorations substantielles dans le pilotage et l'optimisation du processus de conception. Sous un angle académique, un système d'aide au choix des méthodes permettrait aux chercheurs de diffuser plus largement leurs résultats de recherche et de créer une meilleure visibilité de leurs travaux auprès des industriels. Enfin, dans une perspective pédagogique, l'aide à la sélection des méthodes vient en support au reste de la formation des étudiants en génie industriel et leur apportent une ouverture méthodologique qu'ils pourront réexploiter une fois sur le marché du travail.

Finalement, l'idée-force qui sous-tend ce travail de recherche consiste à affirmer que l'aide à la sélection des méthodes de conception est une voie pour optimiser le processus de conception et d'innovation.



## **2 Etat de l'art : La sélection des méthodes de conception**



## Introduction

Le domaine de l'ingénierie de la conception est un champ de recherche relativement jeune qui manipule des notions interreliées sur lesquelles il est parfois difficile d'aboutir à un consensus terminologique. Face aux pressions exercées sur les projets, académiciens et praticiens ont développé des modèles de processus de conception pour permettre de pallier à la complexité intrinsèque des projets. Ces modèles, applicables quelque soit le secteur ou produit concerné, atteignent leurs limites car jugés trop abstrait pour correctement supporter les acteurs de la conception. Une façon de rendre ces modèles plus concrets est de les associer à des méthodes.

La sélection et l'utilisation consécutive des méthodes de conception dans les processus de développement de produits impactent le déroulement des projets. Ce choix est source d'optimisation dans la mesure où il peut conduire au succès ou à l'échec du projet. Cette prise de conscience, associée à une offre méthodologique toujours plus importante, suscite un intérêt croissant chez les chercheurs pour traiter ce sujet et développer des aides à la sélection des méthodes.

Depuis plusieurs années déjà, académiciens et praticiens ont développé des guides d'aide au choix des méthodes de conception. Les auteurs de ces outils sont issus de multiples domaines tels que l'ingénierie de la conception ou les sciences de gestion. Il en résulte un corpus de connaissances relativement hétérogène que nous tentons dans cet état de l'art de synthétiser et d'illustrer au moyen de quelques exemples. L'ensemble des contributions sont ensuite discutées et replacées par rapport aux attentes des concepteurs et utilisateurs de ces guides.

D'une certaine manière, la sélection des méthodes peut être analysée comme un processus de prise de décision influencé par des facteurs internes, externes et impliquant des connaissances théoriques et expérimentales. Ces éléments permettent d'entrevoir des pistes potentielles d'amélioration des guides d'aide à la sélection des méthodes de conception.

## 2.1 Théories et méthodologies de la conception

### 2.1.1 Terminologie

#### 2.1.1.1 Difficulté

Dans le domaine des **théories et des méthodologies de conception** (*Design Theory and Methodology* ou DTM en anglais), les auteurs emploient des termes qui désignent sensiblement la même chose, parfois même sans les avoir définis au préalable. Théorie, méthodologie, méta-méthode, méthode, méthode élémentaire, méthode globale, méta-outil, outil, outil méthodologique, technique, etc. en sont quelques exemples. Qui s'est intéressé à donner une définition précise à chacun de ces termes connaît la difficulté inhérente à cette entreprise. A première vue, il semble plutôt aisé de différencier une théorie d'une technique. Parfois même, le langage courant nous est d'une aide précieuse, les usages ayant plus ou moins stabilisé certains termes. Par exemple, on parlera plutôt d'outils de créativité, plus rarement de méthodes. Là où la tâche se complique, c'est quand il s'agit de distinguer pour d'autres familles, une méthode d'un outil, voire d'une technique ! Remonter jusqu'à la racine étymologique des mots nous apporte un éclairage important, mais malheureusement insuffisant pour bien en saisir les nuances :

- Une **théorie** (du grec « contempler, observer, examiner ») désigne couramment une idée ou une connaissance spéculative et vraisemblable, souvent basée sur l'observation ou l'expérience, donnant une représentation idéale, éloignée des applications ;
- La **méthodologie** est littéralement la « science (*logos*) de la méthode », le discours (*logos*) sur la méthode, la cartographie des méthodes ou tout simplement la méta-méthode ou méthode des méthodes ;
- Le mot **méthode** vient du grec ancien *methodos* qui signifie la poursuite ou la recherche d'une voie à réaliser quelque chose. Le mot est formé à partir du préfixe *meth-* « après, qui suit » et de *-odos* « chemin, voie, moyen » ;
- Une **technique** (du grec « art, métier, savoir-faire ») est une ou un ensemble de méthode(s).

Ainsi, d'un point de vue terminologique, règne une certaine confusion. Malgré plusieurs tentatives pour repenser en profondeur ces définitions et statuer définitivement sur ces termes, il semble clair qu'**aucun consensus** ne pourra être trouvé sur cet aspect. Les auteurs sont donc invités, à chaque fois que l'occasion se présente, à définir avec précision chacune de ces notions. Le lecteur, qui souhaiterait confronter les divergences de points de vue sur la question, pourra se référer aux travaux de [\(Araujo, 2001\)](#). Nous allons également pratiquer cet exercice dans les parties suivantes,

après une brève revue de littérature sur les classifications utilisées en théorie et méthodologie de conception.

### 2.1.1.2 Classification

Il existe de nombreuses classifications des théories et méthodologies de conception (par famille, domaine, etc.). Ici, nous nous centrons uniquement sur les catégorisations dans lesquelles les auteurs font référence au **degré d'abstraction** des méthodes.

#### 2.1.1.2.1 D'un point de vue macroscopique

(Tomiya, 1997) cité par (Tomiya et al., 2009) propose une **classification** des termes en quatre catégories et suivant deux axes (**Tableau 1**) : un axe « général/individuel » et un axe « abstrait/concret ».

	General	Individual
Abstract	Design theory	Math-based methods
	Design methodology	
Concrete	Methodology to achieve concrete goals	Design methods
	Process methodologies	

**Tableau 1 : Classification des théories et méthodologies de conception (Tomiya, 1997)**

Le terme « **général** » renvoie à une théorie (*domain-independent theory*) qui a donné naissance à une série de méthodes applicables quelque soit la discipline ou le domaine concerné par la conception (van Aken, 2000). Inversement, « **individuel** » fait référence à des méthodes qui ne s'appliquent que sur un périmètre bien circonscrit, comme par exemple une famille de produits en particulier. Ainsi, des méthodes développées spécifiquement pour la conception de moteur rentrent dans la case « individuel ». Par la suite, nous nous focalisons uniquement sur la partie « général » qui constitue le sujet de notre recherche.

L'axe « **abstrait/concret** » prend en considération le degré d'abstraction des méthodes. Au niveau d'abstraction le plus **élevé**, on retrouve les théories de la conception telles que la théorie générale de conception, nommée également GDT pour *General Design Theory* et introduite par (Yoshikawa, 1981) ; la théorie universelle de la conception, ou UDT pour *Universal Design Theory* (Lossack and Grabowski, 2000) ; et enfin, la théorie C-K ou *C-K Theory* décrite par (Hatchuel and Weil, 2003). Dans la case « **concret** », on rencontre plusieurs autres classes des méthodes : les méthodologies de conception que sont la conception systématique, plus connue sous sa terminologie anglaise *Systematic Design* de (Pahl and Beitz, 2007) ou l'approche TRIZ de (Altshuller, 2006) ; les méthodologies plus concrètes comme l'AMDEC, la matrice QFD, le *Design for Manufacturing* et autres méthodes déclinées du *Design for X* ; et enfin, les méthodologies de processus telle que l'ingénierie concourante par exemple.

Aussi, il existe une différence entre d'un côté les méthodologies de gestion de projet et de l'autre, les méthodologies centrées sur la démarche de conception en elle-même. Dans l'étude qui nous concerne, nous nous centrons sur la **démarche de conception**. Ainsi, nous ne tenons pas compte des méthodologies de processus, telles que les nomme (Tomiyama, 1997) dans sa classification.

Il est possible de faire un parallèle entre la terminologie utilisée par (Tomiyama, 1997) et celle employée par (Cross, 2008). En effet, Cross désigne par « théorie descriptive » ce que Tomiyama appelle « théorie de conception », et par « théorie prescriptive » ce que Tomiyama nomme « méthodologie de conception ». Dans notre étude, nous souhaitons établir des recommandations, c'est-à-dire des prescriptions. Ainsi, nous nous centrons à la fois sur les théories descriptives et sur les méthodologies de conception, soit en reprenant la classification de (Tomiyama, 1997) « *design methodologies* » et « *methodologies to achieve concrete goals* ».

#### 2.1.1.2.2 D'un point de vue microscopique

Si l'on focalise notre attention au niveau des méthodologies de conception, on observe **deux écoles** de pensées : celle qui fait une distinction franche entre les termes, et celle qui n'en fait pas. De manière générale, et à quelques exceptions près, la distinction méthode/outil est plutôt de culture française. En effet, les publications anglosaxonnes n'introduisent que très rarement ces nuances.

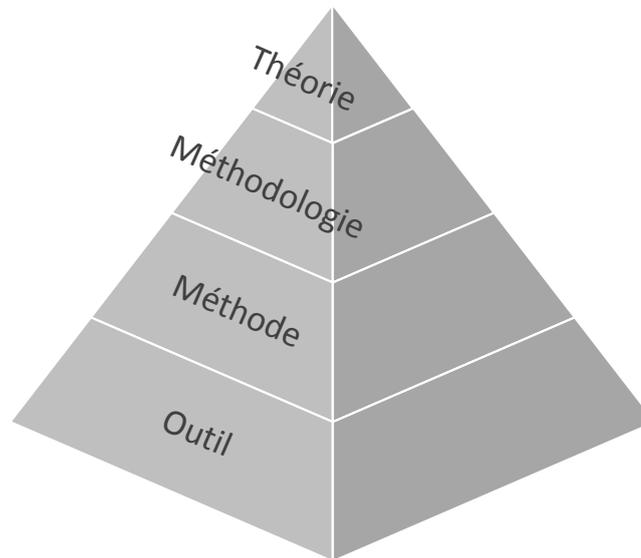
Ainsi, au sein même des méthodologies de conception, certains auteurs ne font **aucune distinction** entre les notions de méthode, outil, technique, etc. C'est le cas par exemple de (INERIS, 2006, Goodman et al., 2007, Cross, 2008) qui considèrent tous ces termes comme un ensemble formant un tout.

D'autres auteurs, au contraire, en font la **distinction** et proposent des catégorisations plus fines. C'est le cas par exemple de (Hurst, 1999) cité par (Araujo, 2001) qui introduit une hiérarchie entre les termes « méthode » et « outil », un outil de conception étant utilisé selon lui pour faciliter la mise en œuvre d'une méthode, ou étant de manière plus générale une aide dans l'application de cette méthode. Une relation identique entre ces deux termes est introduite par (Mann, 2002) sur l'exemple de TRIZ. De la même façon, (Lissandre, 1990) cité par (Pomian et al., 1997) distingue une méthode qui « propose une démarche cherchant à définir l'ordonnancement de toutes les activités à mener à bien pour atteindre un objectif final », d'une technique qui est un « procédé permettant de réaliser une ou plusieurs de ces activités ». Il précise alors qu'une méthode peut nécessiter l'emploi de plusieurs techniques. Ici encore, on retrouve une relation hiérarchique entre les termes « méthode » et « technique », cette fois-ci.

A partir de ces définitions, nous considérons comme **synonyme** les termes **outil, technique** et **aide**.

### 2.1.1.3 Positionnement

Maintenant que nous disposons d'une vue plus précise de ce à quoi font référence les termes utilisés dans le domaine des théories et des méthodologies de conception, nous établissons la **pyramide** suivante pour nous positionner sur un plan terminologique (**Figure 10**).



**Figure 10 : Classification des théories et méthodologies de conception**

Sur un plan **quantitatif**, il va donc exister un petit nombre de théories, de nombreuses méthodologies sur lesquelles vont s'appuyer quantité de méthodes, et une infinité d'outils.

Ces outils seront qualifiés d'« **outils méthodologiques** » quand il aura bijection entre ces outils et une même méthode ou méthodologie. Par exemple, les 9 écrans ou les hommes miniatures sont des outils méthodologiques de TRIZ, de même que la bête à cornes et la pieuvre sont des outils méthodologiques de l'Analyse Fonctionnelle.

Malgré toutes ces précautions, il n'en reste pas moins qu'il ne sera jamais aisé de définir avec précision le classement au niveau « outil », « méthode », « méthodologie » ou « théorie » car les **frontières entre les étages sont loin d'être nettes**. Un exemple saillant est celui de TRIZ. Si l'on s'en tient à l'acronyme, TRIZ est une théorie (qui signifie en russe « théorie de résolution des problèmes inventifs »). Néanmoins, TRIZ a une vocation prescriptive dans le processus de conception. C'est la raison pour laquelle nous classerons TRIZ dans le cadre de cette recherche parmi les méthodologies, quand bien même de nombreux auteurs y feront référence comme étant une méthode.

Finalement, dans cette classification, « **théorie** » fait référence aux modèles descriptifs du processus de conception, « **méthodologie** » aux modèles prescriptifs et « **méthode** », « **outils** » à des

méthodologies de conception plus concrètes que nous désignerons par le terme unique de « **méthodes de conception** » en référence à (Cross, 2008).

Ainsi, dans la suite de ce document, nous désignerons par « **méthode de conception** » une méthode :

- Utilisée en **phase de conception de produits**. Par ce critère, on renvoie à l'ensemble des méthodes appliquées en amont des projets, et pas seulement les méthodes qui permettent de développer (au sens de matérialisation) l'objet à concevoir. Ainsi, les méthodes issues du marketing et de l'ergonomie seront considérées ici comme étant des méthodes de conception ;
- Centrée sur la **démarche de conception**. On exclut ici les méthodologies de gestion de projet telle l'ingénierie concourante ;
- Dont l'objectif est d'**apporter des procédures rationnelles** en phase de conception de produits (Cross, 2008) ;
- Permettant d'**externaliser les pensées** des concepteurs (Jones, 1992, Cross, 2008) ;
- **Générale** au sens de (Tomiya, 1997) c'est-à-dire qu'elle ne se focalise pas sur une classe de produits en particulier mais qu'au contraire elle est transverse à tous les domaines (*domain-independent method*) ;
- Et **concrète**, c'est-à-dire figurant des les étages inférieurs de la pyramide présentée précédemment (Figure 10).

### 2.1.2 **Bref historique du domaine**

Bien souvent, on assimile la **fin de la seconde guerre mondiale** comme étant le **point de départ** du domaine des théories et méthodologies de la conception. En effet, les nouvelles techniques utilisées dans le développement des armes et des équipements de guerre ont intéressé de nombreux concepteurs. Ainsi, les développements scientifiques intervenus au cours de la guerre 39-45 ont conduit à la naissance de nouvelles méthodes du type recherche opérationnelle, ou encore à l'émergence des techniques d'objectivation de la prise de décision. Bien que le premier ouvrage consacré à la créativité soit apparu dès 1950 avec (Osborn, 1950), l'essor des méthodes de créativité est intervenu un peu plus tard, vers la fin de années 50, principalement aux Etats-Unis, en réponse au lancement du premier satellite 'Spoutnik' par l'Union Soviétique vécu alors comme un véritable choc pour les américains.

Il faudra attendre l'année 1962 pour que se déroule à Londres la **première conférence** dédiée aux méthodes de conception (*International Conference on Design Methods*). Le succès de cette dernière

confirme l'intérêt des scientifiques pour le domaine et officialise sa reconnaissance en tant que discipline de recherche. Elle marque également le début du mouvement des méthodes de conception (*Design Methods Movement*). En 1966, est créée la *Design Research Society*, encore en activité aujourd'hui. L'objectif de cette société, tel qu'il a été défini à sa création, est de promouvoir l'étude et la recherche dans le domaine de la conception, et ce dans toutes ses disciplines (art, architecture, design, ingénierie, etc.). La période qui s'étend de la fin de la seconde guerre mondiale au premier choc pétrolier de 1973 correspond aux « Trente Glorieuses ». Elle est caractérisée par une forte croissance industrielle et une production en masse favorable à l'émergence de nouvelles méthodes. Jusqu'à la fin des années 60, les premiers ouvrages relatifs aux théories et méthodologies de la conception font leur apparition (Asimow, 1962, Alexander, 1964, Archer, 1965, Simon, 1969, Jones, 1970). Les méthodes qui en découlent témoignent de l'effort des académiciens et praticiens du domaine pour rendre scientifique la conception.

L'enthousiasme pour une approche scientifique en conception est ensuite mise à mal dans les années 70. Cette **opposition** est à remettre dans le contexte social et culturel de la fin des années 60, où l'on assiste à un rejet massif des valeurs précédentes, quelque soit le domaine. Il n'en demeure pas moins que les nouvelles méthodes de conception ont quelque peu déçu. C'est ainsi que de nombreux chercheurs se détournent complètement du domaine, y compris certains de ses pionniers, en particulier Chris Alexander et John Chris Jones. Face à ces réactions négatives, Simon désigne la conception comme étant un problème mal défini (*ill-defined problem*) et établit les fondations d'une science de la conception comme un corpus de connaissances partiellement empirique et partiellement formalisable (Simon, 1969). Ainsi, il défend l'idée que ces problèmes ne pourront être résolus qu'en utilisant des méthodes originales développées spécifiquement pour cette discipline. Horst Rittel propose quant à lui la notion de génération de méthodes, et soutient l'idée que ces premières méthodes, qualifiées de première génération, ne sont que les prémisses du domaine, et que de nouveaux efforts doivent être apportés pour imaginer les méthodes de deuxième génération (Rittel, 1972).

Après les balbutiements des années 70, on assiste dès le début des années 80 à une **explosion de la recherche dans le domaine**. Nous sommes alors en plein cœur de la deuxième génération des méthodes de conception, qui se caractérise principalement par l'implication progressive des utilisateurs dans les prises de décisions. En 1979, est créé *Design Studies*, le premier journal consacré à la recherche en conception, suivi de *Design Issues* en 1984 et de *Research in Engineering Design* en 1989. En 1980, est créé par Vladimir Hubka le WDK (*Workshop-Design-Construction*) qui deviendra plus tard en 2000, la *Design Society*. La première conférence de la série ICED (*International Conference on Engineering Design*) se déroule en 1981 et bien d'autres suivront comme par exemple

celle de *CIRP Design* qui se tient 10 ans plus tard, soit en 1991, mais aussi les conférences *Design Theory and Methodology* organisée par la société américaine ASME (*American Society of Mechanical Engineers*), ou encore la conférence internationale *Design* qui a lieu tous les deux ans à Dubrovnik en Croatie. Cette période est marquée par l'apparition de nombreux ouvrages dans le domaine (Lawson, 1980, Hubka, 1982, Schön, 1983, Pahl and Beitz, 1984, French, 1985, Cross, 1989, Suh, 1990, Pugh, 1991, Ullman, 1992, Hubka and Eder, 1996).

**Aujourd'hui**, les méthodes de conception se font les échos des principales préoccupations qui gouvernent nos sociétés modernes (§ 2.2.1) : créativité et innovation, environnement et sûreté de fonctionnement, émotion et design, etc.

Ainsi, cette partie nous a donné l'occasion de retracer brièvement l'historique des théories et méthodologies de conception en revenant sur les **dates clés du domaine** (Figure 11).

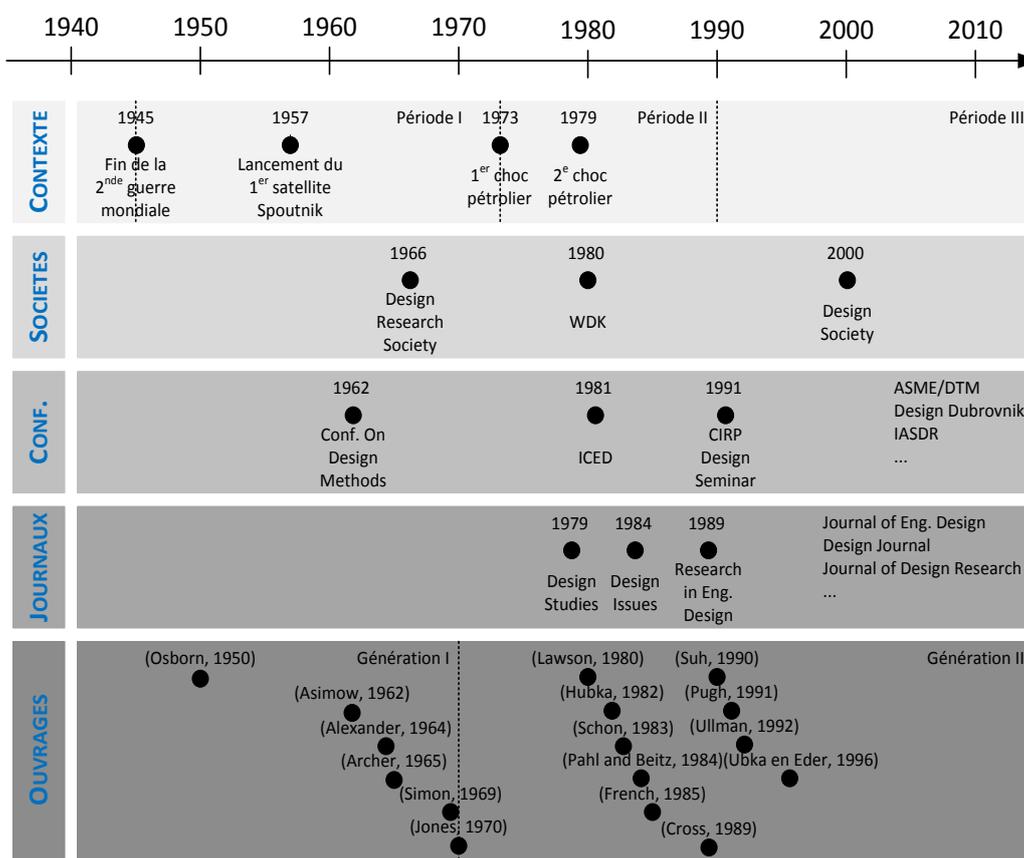


Figure 11 : Frise chronologique du domaine

Cet état de l'art s'appuie principalement sur trois publications majeures sur le sujet (Bayazit, 2004, Cross, 2007, McMahan, 2010). Finalement, on perçoit bien au travers cette chronologie que la conception est **champ de recherche relativement jeune**. Elle bénéficie, depuis de nombreuses années, des apports d'autres disciplines telles la psychologie, le management, l'économie, la sémantique, l'ergonomie, l'informatique, etc.

## 2.1.3 Modèles de processus de conception

### 2.1.3.1 Sélection des modèles

Plusieurs domaines de recherche se sont intéressés à la modélisation des processus de conception et d'innovation, si bien qu'il existe aujourd'hui de **nombreux modèles**. Certaines communications établissent des recueils de ces modèles ([van Aken, 2005](#), [Design Council, 2007](#), [Cross, 2008](#), [Tomiyama et al., 2009](#)). D'autres s'attachent à les comparer entre eux, soit deux à deux de manière détaillée ([Evrard et al., 2006](#), [Yang and Zhang, 2000](#), [Mann, 2002](#)), soit de manière plus globale ([Howard et al., 2008](#), [Vadcard, 1996](#), [Cavallucci, 1999a](#), [Perrin-Bruneau, 2005](#)).

Ces publications nous ont permis de sélectionner **cinq modèles**. Ils sont présentés dans les sections suivantes par ordre alphabétique en utilisant leur appellation anglaise qui est la plus communément utilisée dans la littérature scientifique. Ainsi, cet état de l'art ne se veut en aucun cas être exhaustif, mais permet d'illustrer nos propos avant d'aborder les intérêts et limites de ces approches.

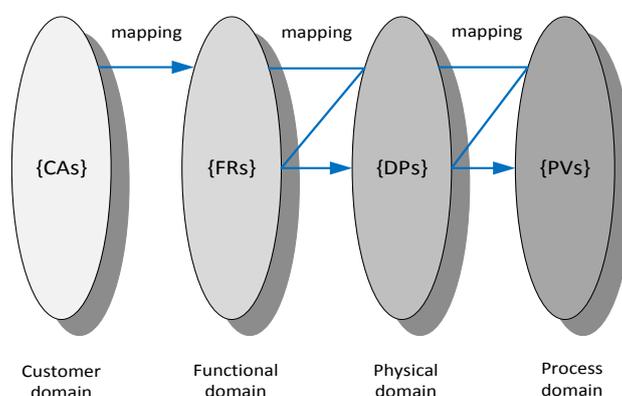
### 2.1.3.2 Exemples de modèles

- **Axiomatic Design**

L'**Axiomatic Design** est une méthodologie de conception développée par **Nam P. Suh** dans les années 90 alors qu'il était Professeur au MIT ([Suh, 1990](#)). Elle s'articule autour de trois grands principes que sont les axiomes, les domaines et le processus en zigzag.

Les **domaines** de l'Axiomatic Design sont au nombre de quatre ([Figure 12](#)).

1. Le domaine **client** dans lequel on retrouve les besoins du consommateur ou *Customer Attributes (CAs)* ;
2. Le domaine **fonctionnel** avec ses exigences fonctionnelles ou *Functional Requirements (FRs)* ;
3. Le domaine **physique** et ses paramètres de conception ou *Design Parameters (DPs)* ;
4. Le domaine du **procédé** avec les variables du process ou *Process Variables (PVs)*.



**Figure 12 : Les quatre domaines de l'Axiomatic Design**

Le processus de conception résulte des **itérations progressives** (ou zigzags) entre les différents domaines. En effet, les exigences fonctionnelles (FRs) sont déduites des attentes des clients (CAs), et la sélection des paramètres de conception (DPs) à partir des FRs impliquent les variables des procédés (PVs).

L'Axiomatic Design doit son nom aux **deux axiomes** (désigne une vérité indémontrable qui doit être admise) qui gouvernent selon Suh une conception acceptable :

- **Axiome 1 : l'axiome d'indépendance.** Il s'agit de maintenir l'indépendance des FRs. Dans une conception satisfaisante, les DPs et les FRs sont reliés entre eux de façon à ce qu'un DP spécifique puisse être ajusté pour satisfaire son exigence FR correspondante sans affecter les autres FRs. Le respect de l'axiome 1 assure que la conception sera ajustable, contrôlable et évitera des conséquences inattendues.
- **Axiome 2 : l'axiome informationnel.** Il s'agit de minimiser la complexité du système et les informations relatives au design du produit. Parmi les alternatives de conception qui respectent l'axiome 1, la meilleure solution est celle qui détient le minimum d'information. Le respect de l'axiome 2 assure que la conception sera robuste et maximisera les chances de succès.

Cette méthodologie connaît un succès important dans le domaine académique. Elle est employée sur des cas industriels comme le souligne les publications de la conférence internationale ICAD (*International Conference on Axiomatic Design*) dédiée à l'Axiomatic Design. Néanmoins, son apparente difficulté de mise en œuvre freine son transfert dans l'industrie. De même, on se rend compte que si cette méthodologie n'est pas suffisamment enseignée et expérimentée en formation, elle ne sera pas utilisée en pratique ([Tomiyama et al., 2009](#)).

- **Design For Six Sigma**

**Six Sigma** (6 Sigma ou  $6\sigma$ ) est une méthodologie de management structurée qui vise l'amélioration de la qualité et de l'efficacité des processus. Elle doit son nom à la lettre grecque  $\sigma$  qui désigne en statistique l'écart type. Dans cette approche, on s'assure que tous les éléments de sortie du processus considéré ne s'écartent pas à plus de 6 sigmas de la moyenne. Depuis sa création, Six Sigma a permis de réelles avancées comme en témoigne les travaux de ([Kwak and Anbari, 2006](#)). D'abord appliquée à des procédés industriels, elle a été étendue à tous types de processus, et en particulier au processus de conception au travers *Design For Six Sigma* (DFSS). Ainsi, **DFSS** repose tout comme Six Sigma sur les notions de client, de processus et de mesure. Dans la suite, nous

explicitons la démarche ICOV (*Identify Characterize Optimize Validate*) défendue par (Mader, 2002) (Figure 13).

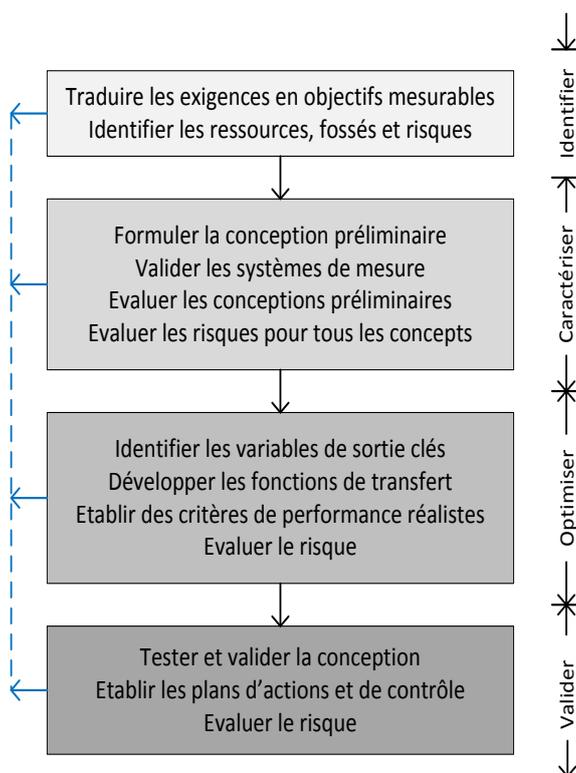


Figure 13 : Démarche ICOV de DFSS (Mader, 2002)

La phase d'**identification** consiste à développer une compréhension fine des exigences des clients et de les traduire en spécifications techniques. L'étape suivante consiste alors à identifier les ressources matérielles, temporelles, humaines, etc. ainsi que les lacunes éventuelles pour atteindre les cibles définies. Lors de la deuxième phase dite de « **caractérisation** », l'objectif est de développer les concepts et leurs plans de validation associés, de les tester et de les valider pour un développement ultérieur. Seuls les concepts qui répondront aux exigences spécifiées en phase d'identification tout en maintenant un degré de risque et de coût tolérable pourront être prolongés dans la phase suivante. La troisième phase consiste à **optimiser** les conceptions préliminaires validées lors de la caractérisation des concepts. Enfin, la dernière phase correspond au test et à la **validation** de la conception optimisée. Il s'agit alors de confirmer la validité de la solution vis-à-vis des exigences client (performance, fiabilité, etc.).

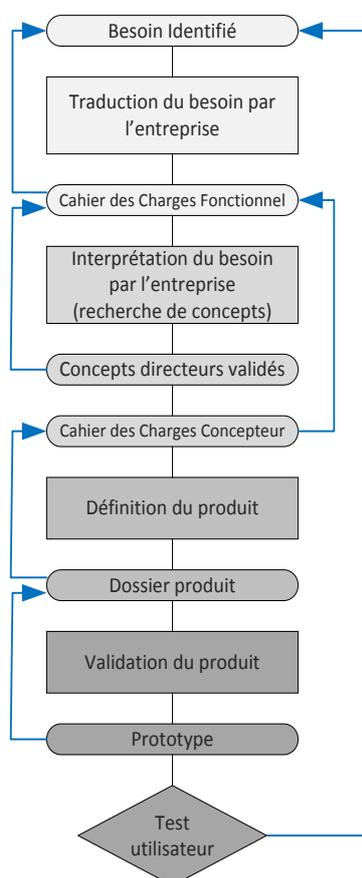
Les méthodes utilisées dans cette méthodologie sont relativement anciennes et connues depuis de nombreuses années. DFSS ne peut donc pas être considérée comme étant une méthodologie nouvelle par nature. De plus, on lui reproche souvent une certaine lourdeur dans sa mise en œuvre. Néanmoins, sa force réside dans une organisation et une succession logique des méthodes via une

stratégie cohérente. Ainsi, cette méthodologie connaît un succès toujours croissant bien que les pionniers de cette démarche (General Electrics, en particulier) semblent se détourner progressivement de DFSS pour accueillir de nouvelles méthodologies.

- **New Product Design**

**New Product Design** (NPD) est la traduction anglaise de la démarche de conception du Laboratoire Conception de Produits et Innovation (LCPI) des Arts et Metiers ParisTech. Cette démarche découle directement des travaux du Professeur Améziane Aoussat, Directeur du laboratoire (Aoussat, 1990, Aoussat, 1996, Aoussat and Le Coq, 1998, Aoussat et al., 2000).

NPD, ou encore désigné sous le nom de méthode globale de conception, s'articule autour de quatre phases que sont la traduction du besoin, l'interprétation du besoin, le développement et l'évaluation (ou validation) de la solution (Aoussat, 1990) (Figure 14) :



**Figure 14 : Démarche de conception de produits (Aoussat, 1990)**

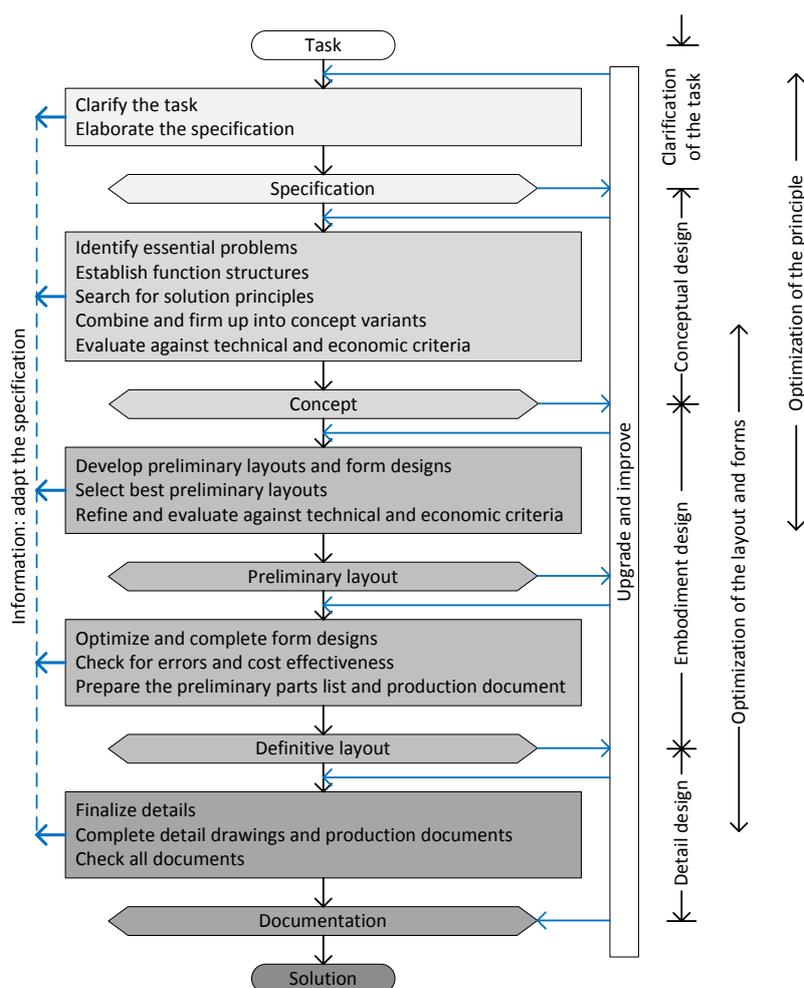
La première phase de **traduction du besoin** est initiée avec l'identification du besoin par l'entreprise et s'achève par la rédaction du Cahier des Charges Fonctionnel (CdCF). L'objectif est alors de « traduire » les attentes et besoins de l'entreprise en données exploitables pour une utilisation par les équipes de conception. La phase d'**interprétation du besoin** correspond à la génération de

concepts et de principes de solution via notamment des méthodes de créativité. Ensuite, la phase de **développement de la solution** amène progressivement le concept en une solution détaillée qui pourra alors être évaluée et validée dans la dernière phase de **validation de la solution**.

Cette méthodologie a fait l'objet de multiples expérimentations sur des projets académiques au travers des études d'élèves-ingénieurs et d'étudiants en Master de Recherche, mais aussi sur de nombreux projets industriels via l'activité TVR (Transfert et Valorisation de la Recherche) du laboratoire. Cette démarche met en exergue la nature pluridisciplinaire du processus de conception via l'intégration de méthodes issues des métiers du design, de l'ergonomie, du marketing, etc. C'est ce qui fait la spécificité et la force de ce modèle.

- **Systematic Design**

La méthodologie du **Systematic Design** développée par **Pahl and Beitz (Pahl and Beitz, 2007)**, ingénieurs issus de l'école allemande de la conception, s'articule autour de quatre grandes phases à l'intérieur desquelles se succèdent plusieurs étapes (**Figure 15**).



**Figure 15 : Démarche de conception développée par (Pahl and Beitz, 2007)**

La première phase correspond à la **planification** et à la **clarification** de la tâche de conception. Il s'agit alors d'élaborer le planning de développement du produit, d'analyser la situation du marché ainsi que celle de l'entreprise et de formaliser clairement la demande de développement. En phase de **conception générale**, l'objectif est de déterminer les principes de solution satisfaisant les exigences formulées précédemment. Celle-ci est réalisée en deux temps : il s'agit dans un premier temps de prendre du recul par rapport au problème posé et ensuite seulement, d'imaginer des principes répondant au besoin. A l'issue de la conception générale, on obtient un concept de solution évalué au regard des critères technico-économiques. Une fois le concept retenu, il devra faire l'objet d'une **conception enveloppe**. Il s'agit alors de développer et d'affiner la conception du produit jusqu'à l'amener à une définition telle qu'il sera possible de créer les plans de fabrication. La dernière phase correspond à celle de **conception détaillée** au cours duquel la documentation utile à la fabrication doit être élaborée. Ainsi, cette phase constitue la transition entre la conception et la fabrication.

Cette méthodologie connaît un large succès. Au niveau académique, c'est certainement la méthodologie la plus enseignée (Tomiyama et al., 2009). Au niveau industriel, elle a notamment servi de base au développement de normes allemandes.

- **TRIZ**

**TRIZ** est un acronyme russe traduit en français par « Théorie de la Résolution des Problèmes Inventifs » et en anglais par « *Theory of Inventive Problem Solving* » (Altshuller, 2004, Altshuller, 2006). Cette méthodologie englobe de nombreuses méthodes permettant de générer des solutions inventives lors de la résolution de problème. Développée en 1946 par Genrich Saoulovich **Altshuller**, TRIZ offre aux concepteurs une nouvelle façon d'aborder les problèmes de créativité et la recherche d'idées de manière générale. Elle s'appuie sur quatre sources d'analyse différentes : brevets, comportements psychologiques des inventeurs, outils et méthodes existants et littérature scientifique (Cavallucci, 1999b). De ces analyses, Altshuller en a déduit un certain nombre de lois d'évolution des systèmes techniques qui constitue le socle théorique des deux concepts fondamentaux et des outils de TRIZ.

TRIZ s'appuie sur deux concepts fondamentaux qui sont : l'évolution vers un résultat idéal final (connu aussi sous l'acronyme RIF) et la notion essentielle de contradiction.

Plusieurs outils TRIZ viennent enrichir la méthodologie. Parmi eux, on distingue plusieurs classes d'outils : les outils analytiques tels que les vépoles (ou analyse substance-champ) ou l'analyse des contradictions (technique ou physique); les outils de basés sur la connaissance accumulée via

l'analyse des brevets comme par exemple les 40 principes d'innovation ; les outils qui permettent de combattre l'inertie psychologique comme les opérateurs DTC (Dimension Temps Coût) ou les hommes miniatures, etc.

La méthodologie a donné naissance à ARIZ, démarche destinée à structurer la mise en application des concepts et des outils développés dans le cadre de TRIZ (Figure 16).

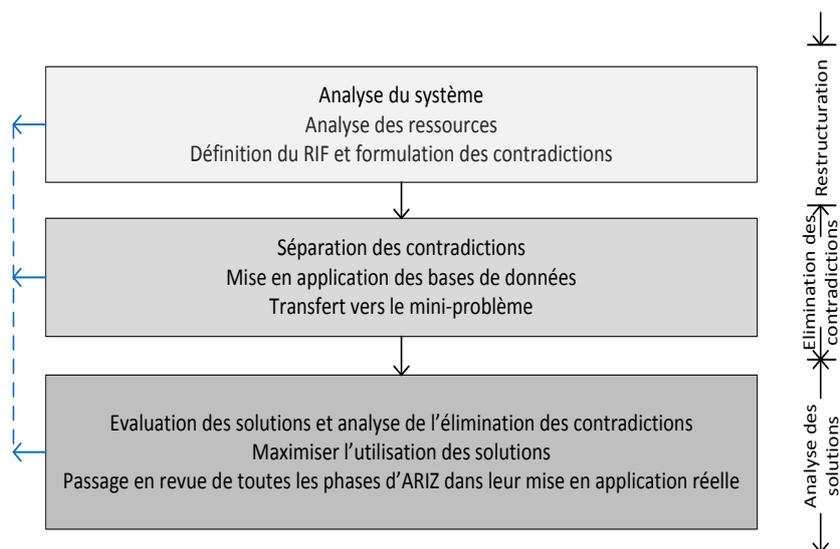


Figure 16 : Vue d'ensemble d'ARIZ d'après (Cavallucci, 1999b)

Finalement, l'un des principaux avantages de TRIZ est que malgré le fait qu'elle soit basée sur l'analyse des brevets, cette méthodologie s'affranchit tout à fait de l'industrie et du domaine d'origine. Les analyses qui en découlent mettent en évidence des principes fondamentaux simples et des effets physiques, chimiques, etc. disponibles dans la littérature et réexploitables dans d'autres domaines. Aujourd'hui, de nombreuses entreprises ont intégré TRIZ dans leur démarche d'innovation. Cette intégration est facilitée par la mise en version informatique de plusieurs outils de TRIZ comme par exemple TechOptimizer et Phenomenon de la société Invention Machine.

### 2.1.4 Synthèse

De l'analyse des modèles de processus de conception présentés précédemment, on se rend compte qu'ils proposent chacun une **décomposition qui leur est propre (Tableau 2)**. Ils disposent également de méthodes spécifiques assignées à chaque phase.

	Préparation	Identification	Conception1	Conception2	Fabrication
Axiomatic Design	Client	Fonctionnel	Physique		Process
Design For Six Sigma	Identification		Caract.	Opt.	Valid.
New Product Design	Traduction		Inter.	Dev.	Valid.
Systematic Design	Clarification		Conceptual	Embodiment	Detail
TRIZ		Restruct.	Elim.	Analyse	

Tableau 2 : Comparaison des modèles de processus de conception

Tous ces modèles portent un **regard différent sur le processus** de développement de produits. Le modèle NPD analyse le processus sous l'angle de la pluridisciplinarité, TRIZ sous l'angle de la créativité, DFSS sous l'angle de la qualité, etc.

Pour autant, certaines **similarités** peuvent être extraites de l'analyse de ces méthodologies. D'une part, comme cela vient d'être présenté, les auteurs de ces modèles font tous référence au processus par un découpage en phases, voire en étapes. D'autre part, la nature itérative du processus est à chaque fois mis en avant. Ensuite, ils font systématiquement référence à des méthodes de conception, méthodes qui sont variables d'un modèle à un autre. La définition des livrables est également un invariant de ces modèles. Enfin, ces méthodologies nous informent aussi sur la nécessité d'aborder un problème de conception en passant systématiquement par un raisonnement qui permet de s'affranchir des solutions existantes (via la définition fonctionnelle notamment).

De ces similarités, nous pouvons en déduire un certain nombre d'atouts et de faiblesses de cette approche du processus via des modèles. Du côté des **avantages**, ces modèles offrent aux concepteurs un cadre sur lequel ils ont la possibilité de se reposer. Ils leur permettent de définir et de planifier quelles doivent être les activités actuelles et à venir pour concevoir le nouveau produit. De plus, ces modèles étant génériques, ils peuvent être appliqués quelque soit le domaine de l'industrie considéré.

Or, cette généricité est à la fois leur atout, mais également leur **faiblesse** puisqu'il va souvent leur être reproché d'être trop abstrait pour pouvoir réellement guider les concepteurs dans leurs actions. On leur reproche également leur rigidité et donc leur manque de souplesse dans la définition des tâches.

Ainsi, tous les projets de développement ont en commun des activités, des phases qui permettent d'aboutir à la conception d'un produit. Ces caractéristiques communes ont été formalisées au travers des modèles de processus de conception valables quelque soit le domaine d'application et le type de produit considérés. Or, il n'en reste pas moins que chaque projet est unique.

Face aux spécificités des projets, les modèles de processus de conception sont alors jugés trop abstraits pour éclairer de manière précise les managers dans le pilotage et la gestion des activités.

C'est la raison pour laquelle académiciens et praticiens se sont intéressés de près aux méthodes de conception qui, tout en ayant un degré d'abstraction leur permettant d'être pertinentes quelque soit le produit à concevoir, rendent ces modèles de processus plus « concrets » et plus spécifiques au projet considéré.

## 2.2 Importance des méthodes et de leur sélection

### 2.2.1 Méthodes de conception

#### 2.2.1.1 Généralités

Il existe de nombreuses méthodes de développement de produits nouveaux utilisées par les différents acteurs de la conception (Tableau 3). Elles permettent de prendre en compte, dès les étapes amont, l'ensemble des contraintes liées aux phases du cycle de vie du produit (Figure 17).

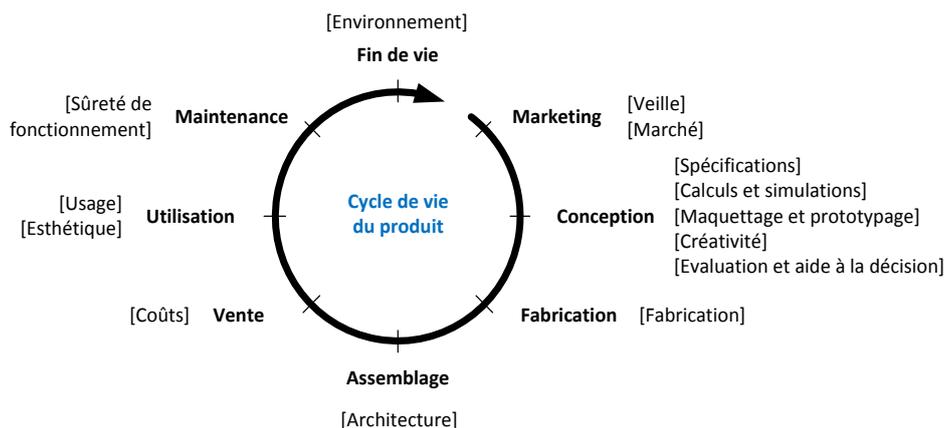


Figure 17 : Phases de cycle de vie du produit

Famille	Enjeux	Métier	Exemples de méthodes
Veille	Surveiller son environnement	Veilleur	Veille Concurrentielle
	Préparer et anticiper l'avenir		Veille Technologique
Marché	Satisfaire les besoins des consommateurs	Marqueteur	Enquêtes par sondage
	Assurer le succès commercial du produit		Opinions d'expert
Spécifications	Traduire le besoin du client et des utilisateurs dans un langage exploitable techniquement	Ingénieur	Analyse Fonctionnelle
			Interne et Externe
Calculs	Gain de temps et d'argent	Ingénieur	Résistance des Matériaux
			Simulation
Maquettage	Communiquer les idées	Projeteur	Prototypage Rapide
			Prototypage
Créativité	Innover et se démarquer de ses concurrents	Tous	Réalité Virtuelle
			Brainstorming
Evaluation	Trouver des solutions originales	Tous	Matrice de découverte
			Aide à la décision
Fabrication	S'assurer du bon déroulement du processus	Ingénieur	Vote pondéré
			Fabrication
Architecture	Réduire les coûts	Ingénieur	Matrice de décision
			Coûts
Usage	Réduire les coûts	Cost estimator	CFAO
			Esthétique
Sûreté de fonctionnement	Facilité de maintenance et d'assemblage	Ingénieur	Guidelines de fabrication
			Environnement
Environnement	Réduire les coûts	Ingénieur	Design Structure Matrix
			Coûts
Sûreté de fonctionnement	Réduire les coûts	Ergonome	Analyse de la Valeur
			Environnement
Environnement	Concevoir selon une approche centrée-utilisateur	Designer	Activity-Based Costing
			Environnement
Environnement	Satisfaire les fonctions dans conditions données	Ingénieur	Observation
			Environnement
Environnement	Prendre en compte l'environnement	Ingénieur	Tests utilisateurs
			Environnement
Environnement	Respecter la réglementation	Ingénieur	Rough
			Environnement
Environnement	Respecter la réglementation	Ingénieur	Planche de tendances
			Environnement
Environnement	Respecter la réglementation	Ingénieur	AMDEC
			Environnement
Environnement	Respecter la réglementation	Ingénieur	Soutien Logistique Intégré
			Environnement
Environnement	Respecter la réglementation	Ingénieur	Analyse du Cycle de Vie
			Environnement
Environnement	Respecter la réglementation	Ingénieur	ESQCV
			Environnement

Tableau 3 : Familles de méthodes de conception (extrait)

Dans la suite de cette section, nous abordons tour à tour chacune de ces familles. Il ne s'agit bien évidemment pas de toutes les lister, mais seulement de donner une vue d'ensemble de la diversité que recouvre ces supports et aides à la conception et à l'innovation.

### 2.2.1.2 Les différentes familles de méthodes

- **Veille**

La **veille** consiste à surveiller son environnement dans le but d'en extraire des informations pertinentes pour préparer et anticiper l'avenir. Avec l'arrivée sur le marché de nouveaux concurrents et de nouvelles technologies, le raccourcissement des cycles de vie du produit, etc. cette activité prend de plus en plus d'ampleur dans nos organisations industrielles. Dans l'innovation amont, elle permet d'analyser le marché, les technologies émergentes mais aussi la concurrence (**Benoit-Cervantes, 2008**). Ainsi, il existe plusieurs types de veille selon l'usage qui doit en être fait. Par exemple, la **veille technologique** concerne la technologie intégrée au produit, les procédés de fabrication ; la **veille stylistique**, la forme, l'esthétique ; la **veille concurrentielle**, les gammes de produits concurrents, les coûts ; la **veille réglementaire**, les normes et réglementations en vigueur sur une certaine classe de produit ; etc. Loin d'être cloisonnées, ces différentes veilles sont interdépendantes et doivent être combinées entre elles pour optimiser la recherche d'information.

- **Marché**

Bien souvent, c'est le **marché** qui dicte la décision de développer ou non un produit. Lorsque l'on s'intéresse aux définitions de l'innovation et de l'ingénierie de la conception, son rôle est largement mis en avant. Ainsi, pour pouvoir être défini comme innovant, le produit doit remplir deux critères : il doit être nouveau vis-à-vis de l'existant et connaître un succès commercial. La définition de (**Schumpeter, 1999**) nous rappelle à ce titre que l'innovation est indissociable des objectifs économiques et donc de l'existence d'un marché. Par ailleurs, l'ingénierie de la conception est considérée par beaucoup comme un processus partant d'une idée ou du besoin du marché (**Hales and Gooch, 2004**). Là encore, cette définition met en exergue le rôle du marché. Ainsi, le département marketing occupe une place centrale dans le développement d'un produit. Il s'appuie sur de nombreuses méthodes qui permettent d'analyser quantitativement et qualitativement le marché telles que les **enquêtes par sondage**, les **opinions d'experts** (**Kotler et al., 2003**). En cela, cette famille dispose de passerelles avec celle de l'usage puisqu'elle se base sur des méthodes communes telles que les entretiens, les questionnaires ou encore les groupes de discussion (*focus group*) (**Esteves, 2009**).

- **Spécifications**

On parle quelque fois de savoir perdre du temps pour savoir en gagner. Cet adage s'applique complètement à l'étape de **spécifications**. En effet, le cahier des charges fonctionnel, qui reprend en substance les spécifications, est un document contractuel passé entre le concepteur et son client, qui définit en termes techniques à quoi devra répondre le futur système. Il ne doit apparaître aucune ambiguïté, puisque les développements qui suivront se baseront sur ces spécifications. Les enjeux de cette étape sont doubles. D'une part, il s'agit de répondre aux attentes du client et des futurs utilisateurs, de n'oublier aucune fonction et d'anticiper les contraintes qui surviendront sur toutes les phases du cycle de vie du produit, de son développement jusqu'à sa fin de vie. En effet, oublier ne serait ce qu'une contrainte dans les spécifications pourra exiger de revoir l'ensemble du développement, ce qui n'est pas sans conséquences temporelles et financières. L'autre enjeu de cette étape est de savoir traduire dans un langage compréhensible et exploitable techniquement, les fonctions principales et contraintes (dans le cas de la mise en œuvre d'une **Analyse Fonctionnelle**) du système et de ne pas préjuger de solution de manière à laisser place au champ des possibles.

- **Calculs et simulations**

Dans certains secteurs, en particulier celui du transport, les **calculs** et les **simulations** occupent une part importante dans le processus de développement de produits. Qu'il s'agisse du domaine aérien, maritime, routier ou ferroviaire, la simulation numérique tient une place incontournable et gagne du terrain, comme en témoigne l'article de [\(Depailler et al., 2010\)](#) sur l'extension du périmètre de la simulation, de la conception à la certification. François Kubica, à la tête du processus de développement avions chez Airbus Industrie et interrogé dans l'article, précise à ce titre que près de 50% des essais de certification chez Airbus proviennent des calculs. Et cette tendance devrait s'accroître dans les années à venir. Gain de temps et d'argent, souplesse et élargissement du champ d'intervention, etc. les atouts ne manquent pas pour opter pour ce type d'outils.

- **Maquettage et prototypage**

**Maquettes** et **prototypes** sont aujourd'hui incontournables que l'on travaille en conception, fabrication ou marketing. Ces représentations intermédiaires de produit sont utilisées pour communiquer les idées, mais également pour réduire les risques d'itérations dans le processus de développement de produits [\(Ulrich and Eppinger, 2007\)](#). Si l'on prend le seul exemple du **prototypage rapide**, les enjeux sont de taille [\(Bernard, 2002\)](#). En effet, cette technologie permet d'obtenir un support physique de qualité, à moindre coût et dans un temps réduit, sur lequel il sera possible de réaliser des tests et ainsi, de corriger et valider rapidement les solutions envisagées en conception. En production, il permet de produire des objets en petite série pour lesquels la

fabrication de moule de fonderie par exemple, ne serait pas rentable. Enfin, côté marketing, il permet de séduire les futurs clients et de mieux vendre un produit par un rendu fidèle et l'intégration de couleurs. Ainsi, qu'ils soient de nature numérique ou physique, les maquettes et prototypes sont omniprésents à chaque stade de développement de produits nouveaux. Plusieurs études s'attachent à démontrer leurs apports respectifs et à comparer leurs avantages et inconvénients pour permettre de choisir quelle doit être la représentation de produit la plus pertinente (Söderman, 2005).

- **Créativité**

Qu'il s'agisse d'imaginer les produits de demain, séduire les futurs utilisateurs, se démarquer de ses concurrents, trouver des solutions originales répondant aux besoins, etc. la **créativité** est omniprésente en conception. Le dénombrement de ces méthodes est impossible à réaliser tant elles sont nombreuses. Dans son ouvrage, (VanGundy, 2005) détaille 101 techniques de génération d'idées. Sur internet, le wiki de MyCoted, entreprise spécialisée en créativité et innovation, en décrit plus de 180 (MyCoted, 2010). On y retrouve les méthodes de créativité dites aléatoires telles le **brainstorming** et ses dérivés (**brainwriting** ; **méthode 635** ; etc.) mais également les méthodes systématiques, comme par exemple la **matrice de découverte** ou l'**analyse morphologique**. On assiste aujourd'hui à l'émergence de nouvelles formes de méthodes de créativité poussées par l'informatique. On peut citer à titre d'exemple la suite de la société CREAX (CREAX, 2010) qui propose des logiciels de créativité assistée par ordinateur.

- **Evaluation et aide à la décision**

L'évaluation (au sens large du terme) tient une place centrale en conception de produits nouveaux (Yannou et al., 2008). En effet, chaque stade du processus donne lieu au développement de représentations intermédiaires (fiche idée, cahier des charges fonctionnel, maquette ou prototype). Ces représentations doivent alors faire l'objet d'évaluations minutieuses pour s'assurer du bon déroulement du processus de conception dans une logique de « bon du premier coup ». Les méthodes appartenant à cette classe sont extrêmement variables et balayent tout le champ des possibles allant des plus simples telles que le **vote pondéré** ou la liste des **avantages-inconvénients-intérêt**, au plus complexes du type **matrice de décision multicritères** ou encore la **méthode AHP** (*Analytical Hierarchy Process*).

- **Fabrication**

Prendre en compte dès la conception les contraintes de **fabrication** est essentiel pour le succès des processus de développement de produits nouveaux. En effet, comme nous l'avons vu précédemment, les décisions prises en amont des projets, ont des répercussions sur l'ensemble du

cycle de vie du produit (Garel, 2003), y compris dans sa phase de fabrication. Ainsi, l'influence des décisions de conception sont cruciales sur les coûts et les temps de production, mais également sur la qualité du produit final (Pahl and Beitz, 2007). Cette prise en compte est facilitée par des outils du type CFAO (Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur) et autres **guidelines** centrées sur des procédés de fabrication particuliers.

- **Architecture**

Dans son article, Ulrich (Ulrich, 1995) définit l'**architecture** produit comme étant la configuration par laquelle la fonction d'un produit est allouée aux composants physiques. Il précise cette définition à l'aide de trois notions essentielles à savoir l'agencement des éléments fonctionnels, l'allocation de ces éléments fonctionnels aux composants physiques, et la spécification des interfaces. Une architecture est dite « modulaire », par opposition à une architecture « intégrale », si à un composant physique (module) est assigné une fonction bien spécifique. La conception modulaire offre de multiples avantages tels que la réduction des coûts et des délais de conception, le développement d'un nombre plus important de variantes de produits, la facilité de maintenance et d'assemblage, etc. (Jose Flores, 2005). Les exemples qui tirent parti de ce type de conception sont des produits qualifiés de complexes. Face à des enjeux économiques avérés, des méthodologies de conception se sont développées sur ce sujet. La plus connue d'entre elle est certainement la Matrice Structurale de la Conception ou DSM (**Design Structure Matrix**) qui permet de représenter l'architecture produit (Harmel et al., 2006).

- **Coûts**

Comme il a été mentionné précédemment (§ 1.2.1.1), la phase de conception d'un produit est responsable à elle seule de plus de 75% des **coûts** engagés dans un projet (AFITEP, 1995). On perçoit alors toute la nécessité de prendre en considération les coûts dès les phases amont des projets. La prise en compte des coûts en conception est généralement désignée par l'expression « *Design for Cost* » (Angeniol, 2006). Ce courant a alors donné naissance à plusieurs méthodes de maîtrise des coûts en conception telles que l'**Analyse de la Valeur**, la **Conception à Coût Objectif**. Très souvent, les critères économiques sont couplés aux critères techniques et donne lieu à de nouvelles méthodologies (Camargo et al., 2008).

- **Usage**

La réussite d'un produit sur le marché est complexe car conditionnée par de multiples paramètres. L'**usage** mais aussi l'utilisabilité, c'est-à-dire la facilité d'utilisation des produits, s'assurent du haut degré d'acceptabilité du produit par l'utilisateur (Popovic, 1999). Ils sont donc gage, au même titre que les critères économiques, techniques et stylistiques, du succès d'une innovation. Longtemps

cantonnée aux phases aval du processus de développement de produits, l'évaluation n'est plus seulement perçue comme consécutive à la conception. On parle aujourd'hui d' « évaluation prospective » pour désigner une évaluation réalisée avant le début d'une nouvelle conception, mais aussi d' « évaluation itérative », c'est-à-dire une évaluation transverse intervenant à toutes les étapes du processus de développement de produits nouveaux (Brangier and Barcenilla, 2003). Cette prise de conscience de l'importance de l'usage en conception a donné lieu au développement de nombreuses méthodes (Nelson et al., 2009) inspirées des méthodes d'évaluation ergonomique classiques telles que les **observations**, les **tests utilisateurs** ou les **évaluations heuristiques**. L'intérêt croissant pour ce type de méthodologie et les perspectives importantes que laissent entrevoir les démarches de conception centrée utilisateur associées, laissent présager un avenir certain pour les méthodes d'évaluation ergonomique par l'usage.

- **Esthétique**

L'**esthétique** industrielle relève souvent de l'activité du designer. Selon l'International Council of Societies of Industrial Design, le design est « *une activité créatrice dont le but est de déterminer les qualités formelles des objets produits industriellement. Par qualités formelles, on ne doit pas seulement entendre les caractéristiques extérieures, mais surtout les relations structurelles et fonctionnelles qui font de l'objet une unité cohérente* » (ICSID, 2010). Ainsi, le designer prend en compte les aspects stylistiques du produit à concevoir, mais aussi ses qualités sensorielles et sémantiques (Christofol and Bouchard, 2008). Ainsi, les méthodes employées par le designer sont multiples, allant des outils de dessin tels les **croquis**, **esquisses** et autres **rough** et **story board**, vers des méthodes plus étendues telles que les **planches de tendances**.

- **Sûreté de fonctionnement**

La **sûreté de fonctionnement** a acquis sa notoriété dans les secteurs de la défense, de l'aéronautique, de l'espace, du nucléaire, puis dans les télécommunications et les transports (Mortureux, 2008) et son champ d'application ne cesse de croître. Dans son article, Mortureux définit la sûreté de fonctionnement comme étant l' « *aptitude d'une entité à satisfaire une ou plusieurs fonctions requises dans des conditions données* ». Ainsi, c'est une discipline qui englobe des notions fondamentales telles que les risques, la fiabilité, la maintenabilité, la disponibilité et la sécurité. En ce sens, les méthodes de sûreté de fonctionnement sont des méthodes dites de maîtrise des risques telles que l'**Analyse Préliminaire des Risques (APR)** ou encore **Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC)**, mais également des techniques de maintenance telles que celles du **Soutien Logistique Intégré (SLI)**.

- **Environnement**

Les préoccupations **environnementales** sont progressivement devenues une réalité pour plusieurs secteurs de l'industrie. Et cette tendance devrait se confirmer dans les années à venir et s'étendre à de nouveaux domaines. La directive européenne environnementale plus connue sous le nom de directive EuP, pour *Energy using Products*, en est une parfaite illustration. Comme son nom l'indique, cette directive s'intéresse aux produits consommateurs d'énergie et impose des exigences environnementales. Aujourd'hui centrée sur quelques familles de produits, telles que les chaudières, les télévisions ou encore les réfrigérateurs, le périmètre de cette directive est amené à s'étendre au fil des ans. D'autres législations, comme par exemple la législation Reach (*Registration, Evaluation and Authorization of Chemicals*) impose des contraintes pour les activités de conception (Brissaud et al., 2008). Pour faire face à ces nouvelles exigences, les concepteurs se forment à de nouvelles méthodes, comme par exemple l'**Analyse du Cycle de Vie**, qui permet d'analyser sur l'ensemble du cycle de vie les impacts environnementaux du produit. De plus en plus, les éditeurs de logiciels CAO prennent en compte ces préoccupations et développent des modules dédiés à la prise en compte des aspects environnementaux.

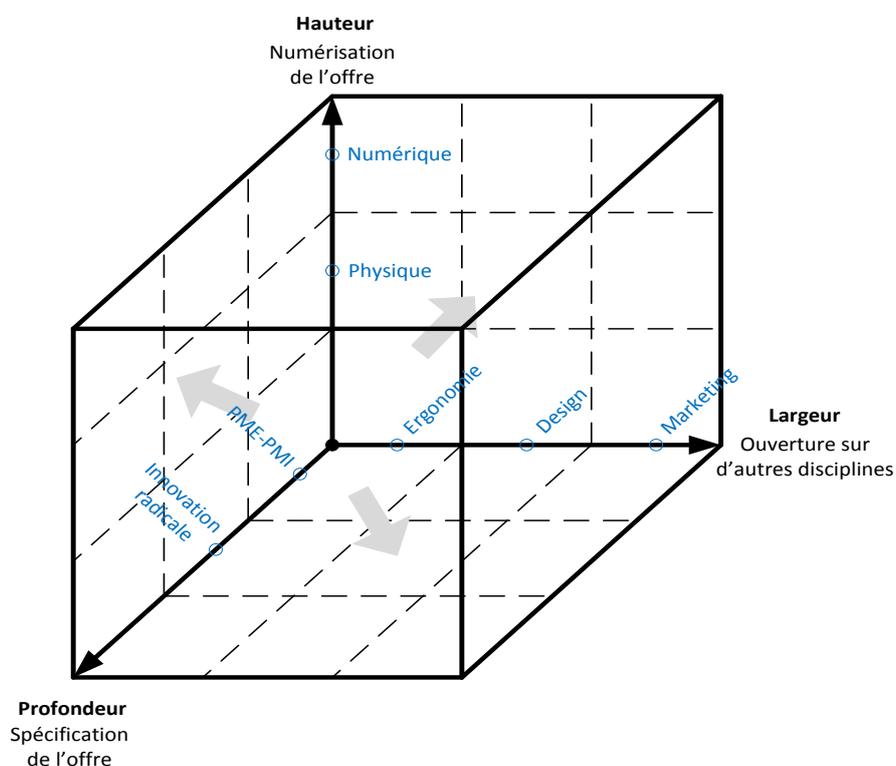
### 2.2.1.3 Tendances

Plusieurs tendances peuvent être extraites à la lecture de ces différents paragraphes. La première concerne l'**informatisation de l'offre méthodologique**, c'est-à-dire le passage des méthodologies de conception d'un format classique papier, physique à un format numérique, virtuel. Certains chercheurs, entre autres (Killander, 2001), affirment par ailleurs que l'informatisation est gage d'intégration des méthodes dans l'industrie. Ce constat explique alors que des recherches soient menées sur le sujet et aboutissent à de nouvelles méthodes sous forme logicielle. C'est le cas par exemple des méthodes telles que l'Analyse Fonctionnelle ou l'Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC). Aujourd'hui, l'offre logicielle est très segmentée et des efforts portent sur les interconnexions entre toutes ces méthodes comme en témoigne les recherches menées par l'éditeur de logiciel TDC Software (Durand, 2007). Ainsi, la numérisation occupe une place de plus en plus importante, et son périmètre ne cesse de croître. Elle bénéficie à tous les corps de métier.

Il est intéressant d'observer à quel point toute exigence en matière de conception et de développement de produits nouveaux donne naissance à de nouvelles méthodologies. Hier avec la prise en compte du facteur humain et des utilisateurs finaux dans la conception, aujourd'hui avec les pressions liées aux contraintes environnementales, demain avec la volonté de créer des produits et services associés, etc. Ainsi, la deuxième tendance concerne l'**ouverture sur de nouvelles disciplines**.

Enfin, la troisième tendance à prendre en compte concerne la **spécification de l'offre méthodologique**. En effet, les contextes étant tellement variables d'un projet à un autre, il est parfois difficile d'adapter une méthodologie à son propre cas d'étude. Ainsi, des recherches sont menées pour développer des méthodes *ad hoc* spécialement imaginées pour un contexte bien particulier tel que les PME-PMI, les projets d'innovation de rupture, etc.

Ainsi, on assiste à une **croissance exponentielle de l'offre méthodologique existante**. Cette croissance peut être modélisée sur trois axes (**Figure 18**). Le premier, l'axe horizontal, correspondrait à la largeur du champ des possibles méthodologiques. Etant donné que les méthodologies de conception explorent des domaines toujours plus variés comme le design, l'ergonomie, la psychologie, etc. et répondent à des exigences toujours plus fortes de la part de la réglementation en vigueur, telles les contraintes relatives à l'environnement, l'offre méthodologique est de plus en plus « large ». Le deuxième axe correspondrait à la profondeur du champ. Etant donné que les concepteurs et praticiens développent des méthodes toujours plus spécifiques à un domaine ou à un contexte particulier, telles que des méthodologies basées sur le concept d'Analyse du Cycle de Vie spécialement adaptées aux cas des PME-PMI, l'offre méthodologique est de plus en plus « profonde ». Enfin, dernier axe, l'axe vertical, pourrait correspondre à un changement de forme de l'offre méthodologique. Etant donné que les méthodes de conception tendent à être de plus en plus informatisées, l'offre méthodologique ne cesse de se multiplier.



**Figure 18 : Croissance de l'offre méthodologique**

Finalement, face à cette explosion de l'offre méthodologique existante, il devient de plus en plus difficile de sélectionner les méthodes de conception spécifiquement adaptées à un projet particulier. Mais comme nous allons le voir dans la partie qui suit, cette activité, bien que délicate, est importante et constitue une voie pour l'optimisation du processus de conception et d'innovation.

### **2.2.2 Importance des méthodes**

De manière générale, les méthodes de conception sont souvent citées comme facteurs de succès (*best practices*) des entreprises qui innovent (Frost, 1999) cité par (Boly, 2004, López-Mesa and Thompson, 2006). Ainsi, lorsque des enquêtes sont menées auprès des industries, le critère d'utilisation des méthodes de conception sur les projets constitue un indicateur de maturité clé du processus de conception et d'innovation de l'entreprise (Herrera-Hernandez et al., 2009).

En effet, l'utilisation des méthodes conduit à l'optimisation du processus de développement de produits et permet ainsi l'amélioration de la compétitivité des entreprises (Stetter and Lindemann, 2005). Cette optimisation intervient à plusieurs niveaux : au niveau du processus d'une part, mais également au niveau du produit d'autre part.

Au niveau processus, l'application des méthodes de conception permet d'accroître l'efficacité et l'efficience du processus de développement (Braun and Lindemann, 2003). De plus, la conception est un processus complexe, un problème mal-défini (*ill-defined problem*) (Simon, 1991) : les méthodes de conception permettent alors de pallier à cette complexité intrinsèque en formalisant, rationalisant le processus et en donnant un cadre aux activités pluridisciplinaires de la conception (Boly, 2004, López-Mesa and Thompson, 2006).

Au niveau produit, elles permettent la prise en considération des différentes contraintes (fabrication, maintenabilité, fin de vie, coût, etc.). Elles assurent également la prise en compte de l'utilisateur (final ou non) via le style, l'émotion, les usages, etc. pour des personnes novices ou expertes, valides ou en situation de handicap, etc. Ainsi, leur champ d'application est très large et recouvre l'ensemble des attentes et besoins des concepteurs.

Ainsi, les méthodes de conception participent à la stratégie globale de l'entreprise que Jones et Cross nomment « stratégie de conception » (*design strategy*) (Jones, 1992, Cross, 2008). Par exemple, si une entreprise décide d'axer sa stratégie sur l'écoconception et le développement durable, elle pourra faire appel à des méthodes du type ACV (Analyse du Cycle de Vie). Autre exemple, si une industrie souhaite entrer dans un marché avec des produits à bas prix, elle devra baser son processus sur une maîtrise scrupuleuse des coûts avec des méthodes du type AV (Analyse de la Valeur).

### 2.2.3 Sous utilisation en pratique

Malgré les avantages incontestés des méthodes dans l'optimisation globale du processus de conception et d'innovation, de nombreux auteurs font état d'un **manque d'utilisation des méthodes en pratique** (Rohatinsky, 2001, Stetter and Lindemann, 2005, Daalhuizen et al., 2008). Or, ce constat date de presque vingt ans. En effet, dès le début des années 90, certains chercheurs soulignaient déjà ce manque (Birkhofer, 1991).

Cette constatation découle d'**études empiriques** menées sur le terrain (Tableau 4). Certaines d'entre elles analysent l'utilisation des méthodes de conception de manière générale (Wright et al., 1995, Araujo et al., 1996, Chai and Xin, 2006, López-Mesa and Thompson, 2006). D'autres se concentrent sur une famille de méthodes bien spécifique comme celles de représentation (Johansson et al., 2001), celles de prise en compte de l'utilisateur (Vredenburg et al., 2002), les méthodes dites robustes (Arvidsson et al., 2003), les méthodes de sélection (Salonen and Perttula, 2005), celles de design (Self et al., 2009). D'autres encore, se focalisent sur l'étude d'une méthode en particulier comme la méthode ABC (*Activity-Based Costing*) (Innes et al., 2000) ou encore les plans d'expérience (Tanco et al., 2008). Ces observations sont unanimes quelque soit la zone géographique comme en témoigne l'étude de (Bruseberg and McDonagh-Philp, 2000) au Royaume-Uni, celle de (Römer et al., 2001) en Allemagne, celle de (Engelbrektsson and Söderman, 2004) en Suède, ou encore celle de (Fujita and Matsuo, 2005) au Japon.

Référence	Famille méthode	Géographie	Méthode recherche	Nombre
(Wright et al., 1995)	Général	UK	Questionnaire	36
(Araujo et al., 1996)	Général	UK	Questionnaire	36
(Bruseberg and McDonagh-Philp, 2000)	Utilisateur	UK	Entretien	5
(Innes et al., 2000)	Activity-Based Costing	UK>Grand groupe	Questionnaire	352 ; 177
(Johansson et al., 2001)	Représentation	Suède	Questionnaire	152
(Römer et al., 2001)	Représentation	Allemagne	Questionnaire	106
(Vredenburg et al., 2002)	Utilisateur	Europe	Questionnaire	103
(Arvidsson et al., 2003)	Robuste	Suède	Questionnaire	100
(Engelbrektsson and Söderman, 2004)	Représentation	Suède	Questionnaire	205
(Fujita and Matsuo, 2005)	Général	Japon	Questionnaire	221
(Salonen and Perttula, 2005)	Sélection	Finlande	Questionnaire	38
(Chai and Xin, 2006)	Général	Singapour	Entretien	10
(López-Mesa and Thompson, 2006)	Général	Suède>Volvo	Entretien	22
(Tanco et al., 2008)	Plans d'expérience	Espagne>Basque	Questionnaire	138
(Self et al., 2009)	Design	Général	Questionnaire	49

**Tableau 4 : Les enquêtes sur l'utilisation des méthodes de conception**

Cette observation est à relativiser car il existe une grande disparité dans la fréquence d'utilisation des méthodes, certaines étant utilisées beaucoup plus fréquemment que d'autres (López-Mesa and Thompson, 2006). Par exemple, le *brainstorming* et ses variantes ainsi que les méthodes de sélection de concepts sont effectivement utilisées en pratique, bien que pas toujours appliqués de manière satisfaisante. Or, il n'en reste pas moins qu'à côté de ces méthodes que nous pouvons qualifier de

« populaires », la majorité des méthodes de conception sont peu ou pas connues du tout des praticiens. De plus, sur ces méthodes bien connues, peu d'entre elles sont appliquées de manière systématique sur les projets bien que les manuels de qualité des entreprises décrivent le contraire.

Plusieurs justifications sont apportées dans la littérature pour tenter d'expliquer la sous-utilisation des méthodes en pratique. Dans son article, [\(Weber, 2008\)](#) donne en substance trois idées reçues qui altèrent l'image des méthodes de conception et freinent leur mise en place en entreprise. Tout d'abord, les théories et méthodologies de la conception apparaissent souvent comme étant trop **générales** et génériques pour être appliquées sur un cas industriel spécifique. On leur reproche également leur manque de flexibilité, et donc une certaine **rigidité**, pour être adaptées aisément en industrie. Aussi, les **efforts** (temps et ressources) à mettre en œuvre lors de l'application des méthodes de conception ne semblent pas toujours justifier leur utilisation industrielle. En effet, leur mise en place apparaît souvent fastidieuse et consommatrice en temps alors que leur gains ne sont ni immédiats, ni toujours à la hauteur des attentes. On soulève ici la difficulté de connaître avec précision - et ce, avant leur mise en œuvre - le rapport entre les efforts engagés lors de l'utilisation d'une méthode de conception d'une part, et les gains attendus d'autre part. Enfin, en marge de ses efforts, [\(Nielsen, 1994\)](#) reproche également la **complexité** inhérente des méthodes d'utilisabilité qui est selon lui, source d'intimidation et limite leur mise en œuvre en industrie. Cette critique pourrait éventuellement être étendue à l'ensemble des méthodes de conception.

[\(López-Mesa and Thompson, 2006\)](#) proposent quant à eux d'autres sources potentielles justifiant le manque d'utilisation des méthodes en pratique. Ces causes éventuelles viennent s'ajouter ou même renforcer la liste des faiblesses énoncée précédemment. Par exemple, ils soulignent à leur tour les efforts associés lors de la mise en place des méthodes en mettant en exergue le **manque de temps** dont disposent les concepteurs pour se former à de nouvelles méthodes. Ils précisent également le rôle très important que joue les parties prenantes en conception (les membres de l'équipe essentiellement) que les concepteurs doivent **convaincre** pour pouvoir appliquer une méthode. Aussi, ils suggèrent le rôle particulier des managers et de leurs encouragements pour soutenir l'application d'une méthode. Aussi, tout comme [\(Goodman-Deane et al., 2008\)](#), ils évoquent le manque d'attractivité des manuels et autres catalogues de méthodes qui sont très souvent complexes à aborder de prime abord. En effet, leur **format** manque de lisibilité et ne présente en aucune façon un caractère ludique qui pourrait soutenir la mise en œuvre des méthodes. [\(López-Mesa and Thompson, 2006\)](#) font à ce titre référence aux travaux de [\(Killander, 2001\)](#) qui démontre que l'informatisation des méthodes est un facteur important pour aider à l'implémentation de ces dernières.

Un autre élément important, qui joue certainement un rôle dans le frein à la mise en œuvre des méthodologies de conception, est le **nombre** conséquent des méthodes existantes. Cette idée est défendue en particulier par (Fagnoli and Sakao, 2008) qui soulignent la quantité importante des méthodes d'écoconception apparues ces dernières années dans la littérature. Le domaine perd alors en lisibilité pour qui est novice de ce champ de recherche. (Birkhofer, 2007) va quant à lui bien plus loin dans la critique, puisqu'il reproche même le nombre selon lui trop important des méthodes de conception existantes et soutient l'idée qu'il est nécessaire d'en réduire leur quantité pour gagner en attractivité et lisibilité.

Bien que cette idée soit sans doute pertinente pour justifier du manque d'utilisation des méthodes en pratique, nous pensons à l'instar de (Grisel and Duranthon, 2001) que cette quantité ne doit pas être à frein à leur utilisation, mais plutôt un gage d'adaptabilité et de richesse.

C'est ainsi que de nombreux chercheurs pointent du doigt le **manque de support** lors de la mise en œuvre de méthode, et en particulier lors de leur sélection. En effet, certains auteurs illustrent dans leurs écrits les erreurs de jugement dans le choix des méthodes qui ont pour conséquence de limiter leur efficacité mais également leur diffusion dans l'industrie. Ces mauvais choix sont en général dus à une méconnaissance des conditions d'application des méthodes, à une utilisation inadéquate au niveau temporel, à une sélection non optimale au regard des objectifs assignés, etc.

Finalement, la **sélection** des méthodes de conception est souvent désignée comme étant un facteur clé pour mener à bien l'implémentation des méthodes (López-Mesa and Thompson, 2006).

## **2.2.4 Focus sur la sélection**

Avant d'aborder plus en détail l'ensemble des enjeux qui sous-tendent la sélection des méthodes, nous allons énumérer dans un premier temps quelles sont les situations dans laquelle cette activité prend place au sein des organisations industrielles.

### **2.2.4.1 Différents niveaux de sélection**

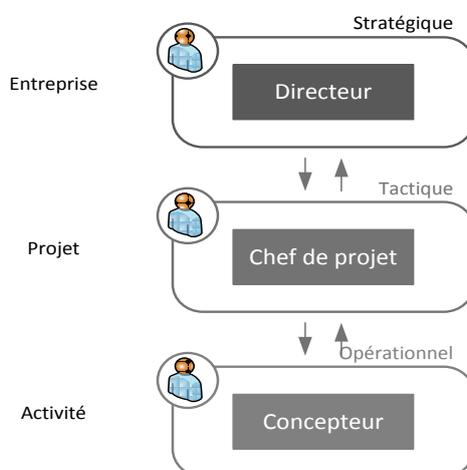
(Ernzer and Birkhofer, 2002) cité par (López-Mesa, 2003, López-Mesa and Thompson, 2006) ont développé un **modèle de sélection des méthodes** basé sur **trois étapes**. Selon eux, trois sélections successives doivent être réalisées pour assurer un choix de méthodes réussi : la sélection d'une base de méthodes ; la sélection au niveau stratégique et la sélection au niveau opérationnel.

Les **chercheurs et académiciens** réalisent la **première sélection**. Ils assurent le développement, l'évaluation et la validation des méthodes de conception. Dès que leurs recherches sont suffisamment matures et abouties pour une application industrielle, ils transfèrent les résultats de leurs recherches dans les entreprises. Certains travaux académiques se concentrent exclusivement

sur cette étape, en particulier (Birkhofer et al., 2001, Mulet and Vidal, 2001). Au **niveau stratégique**, la sélection est assurée par l'**entreprise**. Elle sélectionne, parmi les méthodes disponibles après le premier « filtre », celles qui correspondent à ses besoins. Enfin, à un **niveau opérationnel**, le **concepteur** est en charge de l'ultime étape de sélection des méthodes, méthodes qui seront finalement appliquées sur les projets industriels.

Ce découpage de la sélection des méthodes sur les deux derniers niveaux (stratégique et opérationnel) est cohérent avec la vision de (Araujo, 2001) qui distingue **deux situations d'acquisition des outils** de développement de produits dans l'industrie : l'acquisition au niveau de l'organisation industrielle et l'acquisition au niveau individuel.

Etant donné que nous visons essentiellement une **application industrielle** pour notre travail de recherche, nous nous focalisons sur ces deux derniers niveaux (stratégique et opérationnel) que nous enrichissons par un niveau intermédiaire (tactique). En effet, nous considérons que la sélection des méthodes de conception dans les organisations industrielles se situe à trois niveaux distincts : au **niveau de l'entreprise** ; au **niveau du projet** et au **niveau de la tâche ou de l'activité** individuelle. Dans le premier cas, il s'agit d'une sélection que l'on pourrait qualifier de stratégique, de tactique dans le deuxième et enfin d'opérationnelle dans le dernier cas. La personne qui est à l'origine de ces choix pourra être différente selon les niveaux. Selon nous, la vision stratégique de l'entreprise se répercute directement sur les directions de l'entreprise. Ainsi, l'acteur en charge de la sélection stratégique est le directeur (président directeur général, recherche et développement, innovation, etc.). Au niveau opérationnel, l'acteur qui assure le choix définitif des méthodes est le concepteur. Entre ces deux niveaux, nous intercalons la vision tactique du chef de projet (ou du responsable du processus de développement communément rattaché au service qualité de l'entreprise) qui réalise une présélection des méthodes utilisables sur les projets (Figure 19).

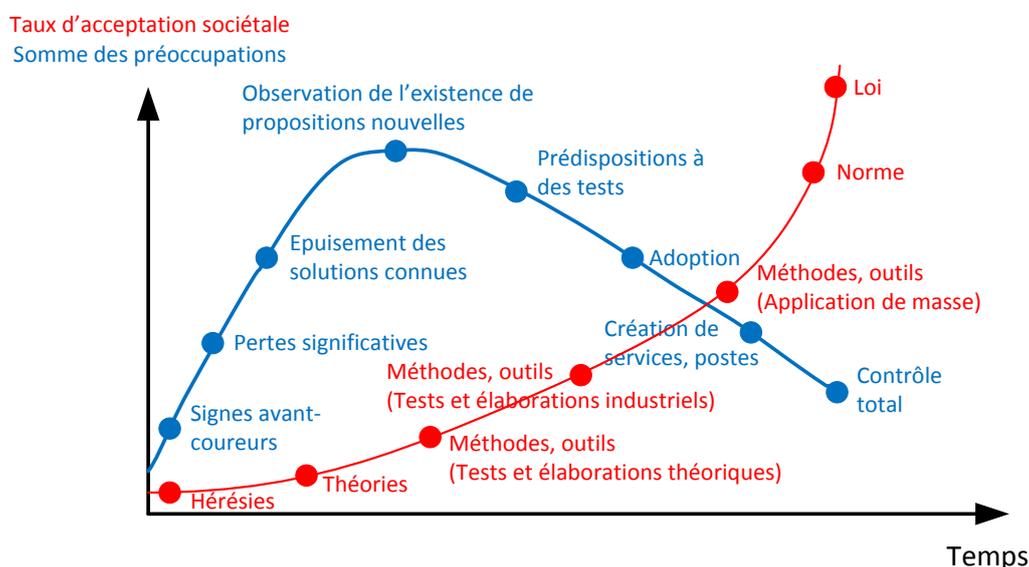


**Figure 19 : Différents niveaux de sélection**

Finalement, il existe **trois situations distinctes de sélection des méthodes de conception** : la sélection au niveau stratégique qui incombe au Directeur ; celle au niveau tactique qui revient au chef de projet ou responsable du processus développement de produits nouveaux ; et enfin, celle au niveau opérationnel qui appartient au concepteur-praticien. Bien évidemment, il existe de multiples connexions entre les différents niveaux.

#### 2.2.4.2 Acquisition et sélection de nouvelles méthodes

L'acquisition de nouvelles méthodes de conception dans les organisations industrielles est **essentielle** pour assurer la survie et la compétitivité des entreprises (Araujo, 2001). Certaines sociétés ont conscience de cet impératif de renouvellement qui leur permet de bénéficier d'une longueur d'avance sur leurs concurrents. Or, ces sociétés constituent malheureusement des exceptions, et bon nombre d'entreprises attendent de voir apparaître les premiers signes de faiblesses pour prendre des dispositions. La figure suivante (Figure 20) tirée des travaux de (Cavallucci, 2010) montre l'évolution du taux d'acceptation des méthodes et outils par les entreprises en fonction du temps. On observe que cette intégration dans les pratiques industrielles y est progressive et soutenue par l'élaboration de normes et de lois. Ainsi, l'application de la démarche d'Analyse de la Valeur qui était marginale dans les années 1980, constitue aujourd'hui la référence pour bon nombre de développements industriels.



**Figure 20 : Evolution du taux d'acceptation sociétale des méthodes et outils de conception ainsi que des préoccupations industrielles en fonction du temps (Cavallucci, 2010)**

Cet état de l'art nous a amené à progressivement considérer l'importance de la sélection des méthodes de conception dans l'industrie. La partie suivante étudie quels sont les guides existants permettant d'assister cette sélection.

## 2.3 Guides existants d'aide à la sélection des méthodes

### 2.3.1 Les guides existants

Nous désignons par l'expression « **guide d'aide à la sélection** » un outil permettant d'orienter la décision vers une option ou une autre, en l'occurrence ici, vers une méthode de conception ou une autre. Cette définition, volontairement très large, recouvre des systèmes très différents allant du tableau comparatif sur format papier, à des logiciels intégrant des techniques d'Intelligence Artificielle.

Dans cette section, nous présentons sommairement dans un premier temps les guides existants dans la littérature en mettant en avant la grande variabilité que peut balayer ce type de d'outils. Nous reviendrons dans un second temps en détail sur les mécanismes qui sous-tendent l'aide à la décision, mécanismes que nous illustrerons à l'aide de plusieurs exemples.

Pour une vue plus concise de cette synthèse bibliographique, le lecteur pourra se référer à la communication défendue à la conférence internationale CIRP Manufacturing sur le thème des guides existants d'aide à la sélection des méthodes de conception et de leurs manques associés ([Lahonde et al., 2009](#)).

Le besoin d'aide à la sélection des méthodes s'est fait ressentir très tôt dans l'histoire de l'ingénierie de la conception. En effet, les premiers guides sont apparus dans les normes **dès le milieu des années 80** ([AFNOR, 1985](#), [AFNOR, 1988](#)), soit quasiment avec l'émergence du domaine. Depuis, et avec l'apparition toujours constante de nouvelles méthodes sur le marché, le besoin en support à la sélection des méthodes s'est intensifié.

Il existe aujourd'hui de **nombreux guides** permettant d'aider au choix des méthodologies de conception. Le terme « méthodologie » est utilisé ici dans son acception la plus large, c'est-à-dire en incluant les méthodologies telles que définies précédemment ([§ 2.1.1.3](#)), les méthodes, les outils et les techniques. Parmi l'ensemble des guides rencontrés dans la littérature, nous avons pris soin de n'en sélectionner qu'une partie ([Annexe 1](#)), en s'assurant de conserver toute la diversité que recouvrent ces aides à la décision. Les 45 guides alors répertoriés sont ordonnés chronologiquement. Nous alertons à ce titre le lecteur sur le fait que certaines publications mentionnées correspondent à des rééditions d'ouvrages. C'est le cas par exemple de ([Pahl and Beitz, 2007](#)) qui est en réalité la 3<sup>e</sup> édition de l'ouvrage du même nom ou de ([Cross, 2008](#)) qui correspond à la 4<sup>e</sup> édition du livre.

De nombreux laboratoires de recherche se sont intéressés à la question de l'aide à la sélection des méthodes de conception. Ils ont alors conçu des guides pour supporter cette activité, certains

d'entre eux dans le cadre de programme de recherche. On peut citer à titre d'exemple le projet européen Presence développé conjointement par la Domus Academy, le Netherlands Design Institute et le Royal College of Art (Aldersey-Williams et al., 1999, Macdonald and Lebbon, 2001) ou encore le projet GINA piloté par l'Université Technique de Braunschweig en Allemagne (Franke et al., 2003, Franke and Deimel, 2004). Les travaux de ces chercheurs s'intègrent dans des disciplines variées allant de l'ingénierie de la conception, du génie mécanique à la production industrielle, en passant par l'informatique, les sciences de gestion et la psychologie. Il est intéressant de noter que ces types de développement ne sont pas l'apanage des seuls laboratoires de recherche. En effet, d'autres structures s'intéressent à cette problématique et ont elles aussi imaginé et conçu leurs propres guides. C'est le cas par exemple des organismes de normalisation tels que l'AFNOR (Association Française de Normalisation) en France ou le BSI (British Standards Institute) au Royaume-Uni. C'est aussi le cas d'autres associations telles que l'AFAV (Association Française pour l'Analyse de la Valeur), le VDI (Verein Deutscher Ingenieure) en Allemagne ou le NAE (National Academy of Engineering, 2002) aux Etats-Unis. Enfin, c'est le cas des ministères, tel que celui de l'équipement des transports et du logement en France (Ministère de l'Équipement des Transports et du Logement, 2001) ou de certains établissements publics à caractère industriel et commercial (EPIC) placés sous la tutelle de ministères tel que l'INERIS (Institut National de l'Environnement et des RISques) (INERIS, 2006). Pour finir, il n'est pas rare que les sociétés industrielles soient impliquées dans ce type de développement. Ainsi, cette brève analyse nous permet d'observer que de **nombreuses structures** se penchent sur ce besoin d'aide à la sélection des méthodes.

Les auteurs de ces guides sont issus de toute nationalité (européens, américains, australiens, japonais, etc.) ce qui révèle le **caractère universel** du besoin d'aide à la sélection des méthodes de conception. Le lecteur pourra à ce titre se reporter à la cartographie des structures travaillant sur le sujet de l'aide à la sélection présentée partie 1 (Figure 5).

Les résultats de ces guides sont ensuite rendus publiques au travers **divers canaux de communication** en fonction de la cible visée. Pour un public de chercheurs, ces guides sont communiqués au travers de thèses de doctorat ou d'habilitation à diriger des recherches, d'articles de conférence et de revue. Pour une cible de praticiens, ces guides sont communiqués au travers de normes et autres rapports de ministères et EPIC. Enfin, les ouvrages peuvent s'adresser aussi bien à un public de chercheurs que de praticiens.

Le **périmètre** de ces guides est très variable d'un système à un autre. En effet, ces outils pourront être conçus pour un usage large et transverse à plusieurs activités de la conception. Ils contiennent alors des méthodes appartenant à des familles différentes (désignées sous le terme « général » dans

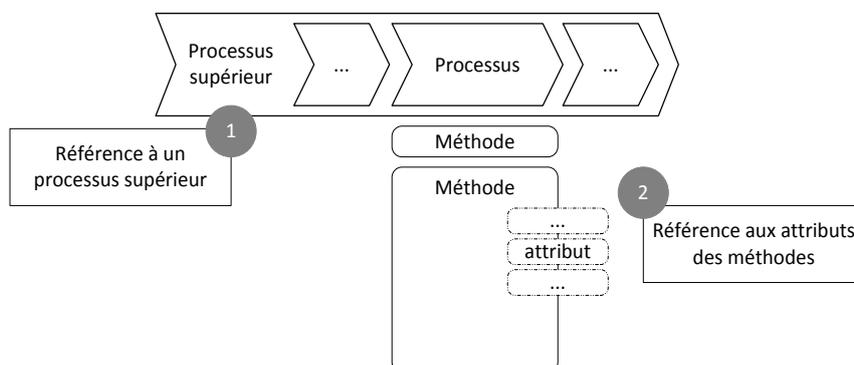
la colonne « périmètre » du tableau **Annexe 1**). Inversement, certains guides sont développés pour répondre à des besoins spécifiques à une activité de conception, telle que l'évaluation de l'utilisabilité par exemple (**Brangier and Barcenilla, 2003**) ou encore la génération d'idées (**VanGundy, 2005**) (désignées sous les termes « usage » et « créativité » dans la colonne « périmètre » du tableau **Annexe 1**).

Les guides relevés dans la littérature se focalisent la plupart du temps sur les **méthodes et outils** plutôt que sur les méthodologies ou même les théories de la conception (désignés sous le terme « méthode, outil » ou « outil, technique » dans la colonne « contenu » du tableau **Annexe 1**). En effet, ce sont au niveau des étages inférieurs de la pyramide **Figure 10** que se situe le besoin d'aide à la sélection. Ainsi, nous avons repéré seulement deux guides traitant du choix des méthodologies (**Martin and Bocquet, 1999, Boly, 2004**), et aucun abordant l'aide à la sélection de théories.

Toujours concernant le contenu, les guides présentés plus haut présentent une **base de données plus ou moins conséquente**. Le nombre de méthodologies oscille entre trois pour (**Martin and Bocquet, 1999**) et 250 pour (**Thoben et al., 1997**).

Le **format** des guides est également très divers d'un outil à un autre. La plupart des guides se présentent sous format papier. Quelques uns seulement sont sous format informatique (**Thoben et al., 1997, Universität Karlsruhe, 2001, Braun and Lindemann, 2003, Franke and Deimel, 2004, Shakeri and Brown, 2004, Benfriha, 2005**).

Plusieurs chercheurs se sont intéressés aux mécanismes qui gouvernent la sélection des méthodes de conception (**Braun and Lindemann, 2003, Franke and Deimel, 2004**). Selon eux, il existe deux **mécanismes de sélection (Figure 21)** : le premier est basé sur la décomposition d'un processus supérieur ; le deuxième est basé sur la notion d'attributs des méthodes. Le tableau **Annexe 1** montre qu'il y a une répartition équilibrée entre ces deux mécanismes. Nous reviendrons plus largement sur le fonctionnement de ces deux approches dans la section suivante.



**Figure 21 : Mécanismes de sélection des méthodes (Braun and Lindemann, 2003)**

Enfin, et ce paramètre est intrinsèquement lié au précédent, le **nombre de critères** entrant en jeu lors de la sélection diffère d'un outil à un autre. Les outils basés sur le mécanisme 1 ne tiennent compte que d'un seul critère pour le choix : celui de la phase ([Barnard et al., 2008](#)) ou de l'étape du processus de conception ([Dardy and Teixido, 2003](#)), voire le type de représentation intermédiaire ([Sagot, 1999](#)) ou l'objectif visé par l'utilisation de la méthode ([Boly, 2004](#)).

Pour la suite de cet état de l'art, nous avons choisi de reprendre en détail le fonctionnement de chacun des deux mécanismes de sélection des méthodes, de les illustrer à l'aide de quelques exemples, et de discuter leurs avantages et leurs inconvénients. De manière à assurer la représentativité des outils choisis pour les illustrations, nous avons créé un **mapping** des guides existants d'aide à la sélection des méthodologies de conception ([Annexe 2](#)).

Les outils figurant dans le tableau [Annexe 1](#) sont ainsi positionnés dans un mapping composé de deux axes. L'axe horizontal a trait au **contenu du guide (particulier/général)**, selon qu'il présente des méthodes appartenant à toutes les familles ou des méthodes issues d'une famille en particulier. L'axe vertical se focalise sur la **forme du guide (papier/logiciel)**, selon le support sous lequel il se présente.

Finalement, dans les parties qui suivent, nous détaillons pour le **mécanisme 1 basé sur la décomposition du processus**, les approches de ([Pahl and Beitz, 2007](#), [AFNOR, 1985](#), [Sagot, 1999](#), [Franke and Deimel, 2004](#)). Et pour le **mécanisme 2 centré sur la notion d'attributs de méthodes**, nous détaillerons celles de ([Jones, 1992](#), [Macdonald and Lebbon, 2001](#), [VanGundy, 2005](#), [Braun and Lindemann, 2003](#)).

## **2.3.2 Principe de décomposition du processus**

### **2.3.2.1 Présentation générale**

Le critère le plus fréquemment cité pour aider à la sélection des méthodes est celui de l'**état d'avancement** du projet. Ainsi, la majorité des guides existants consiste en un découpage du processus en unités élémentaires puis en la prescription de méthodes spécifiques particulièrement adaptées pour chaque phase ou chaque étape du projet. Il s'agit ici de l'approche classique très largement utilisée et documentée.

On trouvera dans cette famille l'ensemble des modèles prescriptifs du processus de conception, c'est-à-dire des modèles qui associent à la décomposition du processus une méthodologie adaptée. Ces guides se présentent sous la forme la plus élémentaire d'une aide au choix des méthodes : à chaque phase est associée une ou plusieurs méthodes adaptées. Ils pourront avoir un spectre général et proposer des méthodologies adaptées à la conception de produits au sens large du terme

(AFNOR, 1988, Quarante, 1994, Wodehouse and Bradley, 2006, Cross, 2008) ; ou bien avoir un focus particulier comme par exemple les méthodologies de conception centrée sur l'écoconception (Sarja et al., 1999, Tukker et al., 2001, Mathieux, 2002), la créativité (Carayannis and Coleman, 2005), le marché (van Kleef, 2006), etc.

Il existe plusieurs variantes de cette approche. La première consiste à associer une donnée supplémentaire à l'information principale pour étayer l'aide à la décision. Il s'agit dans certains cas de mentionner la fréquence d'utilisation d'une méthode sur une étape donnée (AFNOR, 1985). Une autre variante, qui se situe un peu dans la même lignée, est de spécifier à chaque étape les méthodes dites « principales » qui fournissent l'essentiel de l'information recherchée, et les méthodes dites « supports » ou « secondaires » qui permettent d'affiner voire d'enrichir les informations précédemment obtenues (Pahl and Beitz, 2007). Une dernière variante consiste à ne plus s'intéresser à la phase du processus à proprement parler mais à sa sortie, c'est-à-dire, aux représentations intermédiaires du produit. Les guides d'aide au choix des méthodes d'évaluation ergonomique sont particulièrement adaptés à ce type d'approche (Sagot, 1999, Maguire, 2001).

### 2.3.2.2 Illustrations

Selon (Pahl and Beitz, 2007), pour rendre le **processus** de conception logique et intelligible, ce dernier doit être **fractionné en phases**, et chacune de ces phases **décomposées en étapes**. Pour assister les concepteurs dans leur sélection de méthodes, il s'agit alors de définir quelles sont les **méthodes** de conception utilisables pour chaque étape. Ainsi, ce guide d'aide à la sélection des méthodes illustre bien le mécanisme 1 basé sur la décomposition du processus de développement de produits.

Sur la base du modèle de processus de conception présenté précédemment (2.1.3.2), les auteurs ont développé deux guides distincts : l'un centré sur la phase de conception générale (*conceptual design*), l'autre sur la phase de conception enveloppe (*embodiment design*). Dans cette section, nous illustrons leur approche par le **guide conçu pour la phase de conception générale (Figure 22)**.

Steps		Methods								
		Product planning Selecting the task	Clarifying the task Elaborating the specification	Abstracting to identify essential problems	Establishing function structures	Searching for working principles	Combining working principles	Selecting suitable combinations	Firming up into principle solutions	Evaluating principle solutions
Trend studies Market analysis		●	○							
Requirements list			●	○						
Abstraction				●	○					
Black box representation Function structure				○	●					
Literature search		○	○			●			○	
Analysis	natural systems				○	●				
	known solutions		○		●	●	●		○	
	mathematical – physical relationships				●	●				
Tests, measurements						●	●		●	
Brainstorming, Gallery method, Synectics		○				●				
Systematic study of physical processes						●				
Classification schemes						●	●			
Design catalogues						●	●			
Sketches Intuitive improvements						○	●		●	
Selection procedures					○	○	●	●	○	
Evaluation methods										●
Costing methods								○		●
Value analysis								○		○

Figure 22 : Aide au choix des méthodes dans la phase de conception générale (Pahl and Beitz, 2007)

Ce guide se présente sous la forme d'un **tableau à double entrées** avec en ligne, les **méthodes** utilisables en phase de conception générale et en colonne, les **étapes** appartenant à cette même phase. L'intersection entre chacune des lignes et des colonnes nous renseigne sur les méthodes qui peuvent être utilisées pour une étape donnée. Par ailleurs, Pahl and Beitz distinguent les **méthodes principales** des **méthodes support**. Par exemple, dans l'étape de recherche de principes de solutions (*searching for working principles*), neuf méthodes principales et deux méthodes support sont utilisables (la recherche bibliographique ou le *brainstorming* en méthodes principales et les croquis ou les esquisses en support).

Ce mécanisme, basé sur la décomposition du processus, constitue l'**approche classique** pour aider à la sélection des méthodes. Ainsi, les guides les plus anciens, tel que celui de l'AFNOR (AFNOR, 1985), représenté **Figure 23**, sont basés sur ce type de mécanisme.

Outils \ Utilisations	Analyse du besoin (exprimé, latent, potentiel)	Recherche des fonctions de service	Identification des fonctions techniques (d'une solution)
Méthodes d'inventaire systématique du milieu environnant	XX	XXX	X
Etude du cycle de vie du produit	XXX	XXX	X
Etude du comportement de l'utilisateur potentiel	XXX	XX	X
Etude des produits voisins, analogues, concurrents	XX	XXX	XX
Recherche intuitive	XX	XX	XX
Recherche des insatisfactions des produits existants	XXX	XXX	XX
Changement de point de vue systématique	XX	XXX	X
Critères d'appréciation et leurs niveaux	XXX	XX	
Diagramme FAST		XX	XXX
Tableaux achroniques		XX	XXX
Schémas de contact			XX
Graphes de produit			XX
Arbres ou graphes de fonctions		XX	XX
Schémas de flux		XX	XX
X Utilisation peu fréquente XX Peut être utilisé XXX Domaine traditionnel d'exploitation			

**Figure 23 : Aide au choix des outils de l'Analyse de la Valeur (AFNOR, 1985)**

Dans ce guide, et de la même façon que précédemment, les **outils** sont représentés en ligne, les **phases** de l'Analyse de la Valeur en colonne. Ainsi, au croisement de la colonne « Identification des fonctions techniques », on retrouve plusieurs recommandations d'outils, tel que le diagramme FAST. Ici, les auteurs n'ont pas différencié les méthodes principales des méthodes support, mais indique sur une échelle de 1 à 3, la **fréquence d'utilisation** des outils sur chacune des phases qui apporte une information complémentaire pour aider à la sélection.

Ainsi, (AFNOR, 1985) se base sur une décomposition du processus en phases et (Pahl and Beitz, 2007) sur une décomposition en étapes. (Sagot, 1999) propose quant à lui un guide en référence aux représentations intermédiaires du processus, ce qui constitue une autre variante du mécanisme 1 basé sur la décomposition du processus (Figure 24).

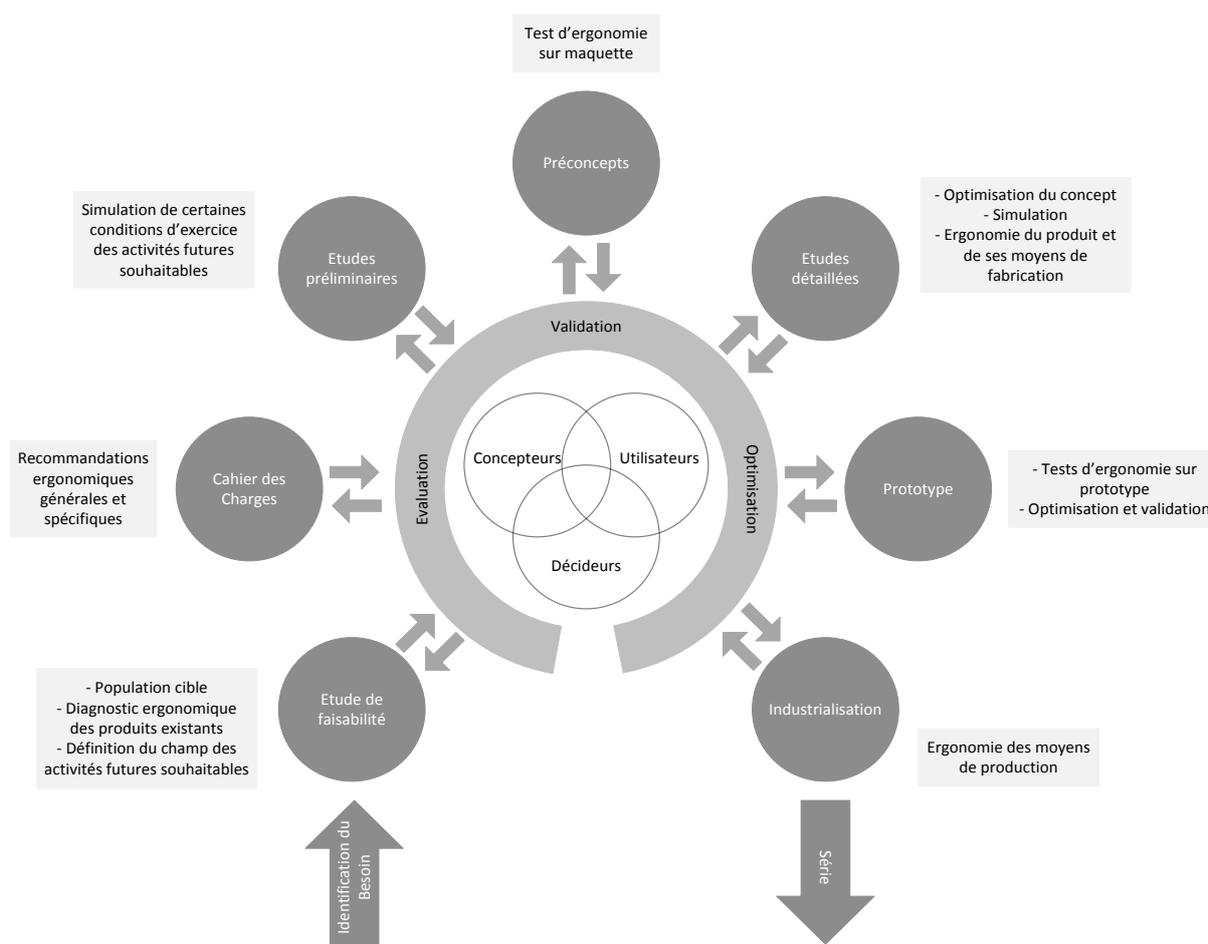


Figure 24 : Représentations intermédiaires et choix des méthodes (Sagot, 1999)

Sur les trois guides numériques d'aide au choix des méthodes de conception basés sur le mécanisme 1 de décomposition du processus (Thoben et al., 1997, Universität Karlsruhe, 2001, Franke and Deimel, 2004), un seul apporte selon nous une valeur ajoutée par rapport aux guides en format papier. Il s'agit du logiciel **Methodos** développé par l'Université de Braunschweig dans le cadre du projet GINA (Franke et al., 2003, Franke and Deimel, 2004).

En effet, ce guide apporte un éclairage supplémentaire au mécanisme puisqu'il rationalise l'assignation des méthodes aux étapes du processus de conception. Cette rationalisation s'effectue via la notion d'**activités de base** (*basic activities*). Ces activités, au nombre de treize, traduisent les caractéristiques intrinsèques des étapes et des méthodes. Parmi elles, on retrouve les activités de sélection, de combinaison ou encore d'analyse. Les activités relatives aux étapes peuvent être catégorisées en deux classes : les activités principales et les activités support en fonction de leur importance dans le déroulement de l'étape. Une méthode pourra alors être assignée à une étape si et seulement si il y a correspondance entre ses activités et les activités principales de l'étape. Ainsi, cinq méthodes de conception pourront être préconisées pour l'étape de recherche de principes de solution de la phase de conception générale, parmi elles, le *brainstorming* et l'analogie (Figure 25).

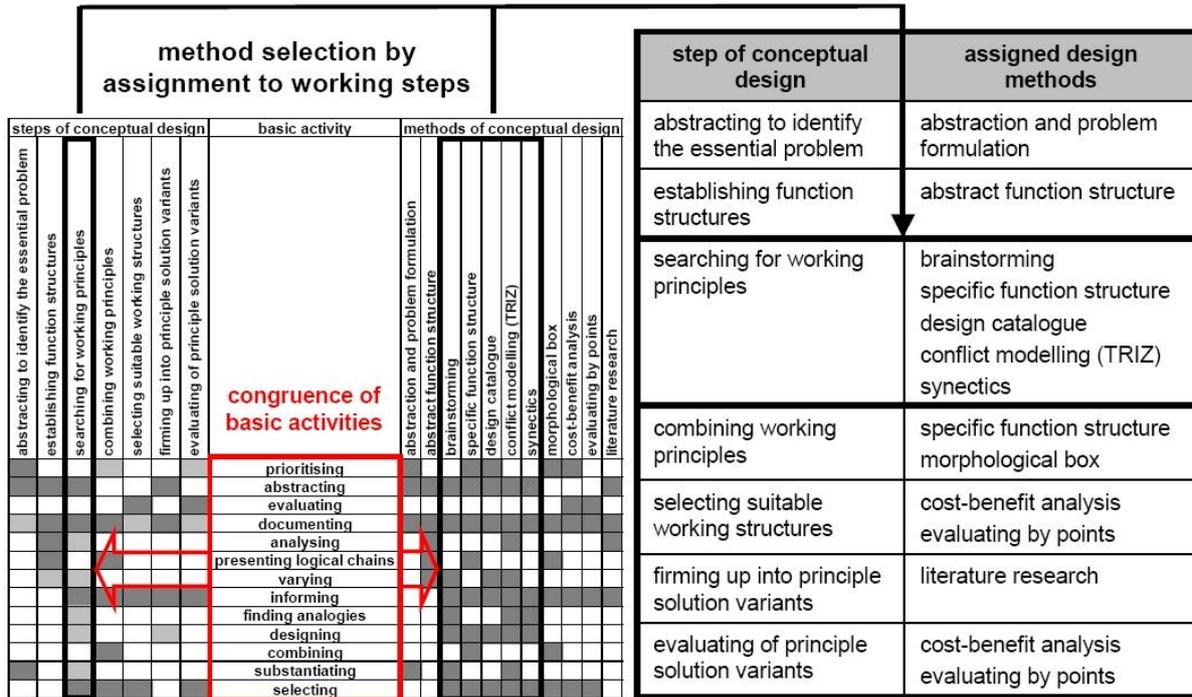


Figure 25 : Sélection des méthodes via les activités de base (Franke and Deimel, 2004)

### 2.3.3 Principe de sélection par attributs

#### 2.3.3.1 Présentation générale

Le principe de base de ce mécanisme est de comparer un ou plusieurs éléments du contexte projet avec les caractéristiques des méthodes. Ces caractéristiques sont nommées « **attributs** » dans diverses communications scientifiques (Braun and Lindemann, 2003, Franke and Deimel, 2004) pour faire référence au couple (attribut, valeur) très largement utilisé en génie logiciel. En effet, les auteurs de certains guides se sont appuyés sur cette notion d'attributs en vue d'un développement informatique de l'aide à la sélection.

Certains guides basés sur le mécanisme 2 faisant appel aux attributs des méthodes, découle directement de l'approche classique de décomposition du processus. Par exemple, le guide de Jones intitulé Input Output Chart (Jones, 1992) se base, non pas sur les phases du processus, mais sur leurs entrées et sorties.

De la même façon qu'il existe des guides basés sur le mécanisme 1 généraux (qui traitent des méthodes de conception de produits au sens large) et particuliers (avec un focus spécifique), il en va de même pour les aides fondées sur l'approche n°2.

Dans la catégorie des guides généraux, nous allons retrouver les travaux de (Jones, 1992) mais également ceux de (Vadcard, 1996, Martin and Bocquet, 1999, National Academy of Engineering, 2002, Fujita and Matsuo, 2005).

Concernant les guides ayant attrait à une catégorie de méthodes en particulier, (Stanton and Baber, 1996, Maguire, 2001, Plos et al., 2007) par exemple, se sont intéressés aux méthodes d'usage, (Thiebaud, 2003, VanGundy, 2005) aux méthodes de créativité, (INERIS, 2006) aux méthodes de sûreté de fonctionnement et (Schweitzer et al., 2009) aux méthodes pour développer des produits et services associés.

### 2.3.3.2 Illustrations

Le guide le plus ancien basé sur le mécanisme 2 d'attributs des méthodes que nous ayant relevé dans la littérature est l'Input Output Chart de Jones (Jones, 1992).

Selon Jones, la pertinence d'une méthode de conception peut être jugée en comparant d'un côté les données d'entrée de la méthode avec les informations dont dispose le concepteur, de l'autre les données de sortie avec les objectifs. Ce système d'aide au choix se positionne donc bien au cœur du mécanisme 2, avec les entrées et sorties des méthodes en rôle d'attributs et critères de sélection.

Ce guide se présente sous la forme d'une matrice carrée de sept cases de côté (Figure 26).

Output → Input ↓	1. Brief Issued	2. Design Situation Explored	3. Problem Structure Perceived or Transformed	4. Boundaries located, Sub-solutions Described and Conflicts Identified	5. Sub-solutions Combined into Alternatives Designs	6. Alternative Designs Evaluated and Final Design Selected
1. Brief Issued		3.1. Stating Objectives 3.2. Literature Searching 3.3. Visual Inconsistency 3.4. Interviewing Users 4.1. Brainstorming	3.2. Literature Searching 3.3. Visual Inconsistency search 3.4. Interviewing Users 4.1. Brainstorming 4.2. Synectics	3.3. Visual Inconsistency search 4.1. Brainstorming 4.4. Morphological Charts	3.3. Visual Inconsistency search 4.1. Brainstorming 4.2. Synectics	2.1. Strategy Switching 2.2. Matchett's FDM
2. Design Situation Explored			3.1. Stating Objectives 3.9. Data Reduction 5.1. Interaction Matrix 5.2. Interaction Net 5.8. Classification 6.4. Specification Writing		5.4. System Transformation 5.8. Functional Innovation 5.7. Alexander's Method	
3. Problem Structure Perceived or Transformed		3.2. Literature Searching 3.5. Questionnaires 3.6. Investigating User Behaviour 3.7. Systemic Testing 3.8. Selcting Measurement Scales 3.9. Data Logging		1.5. Boundary Searching 3.7. Systemic Testing 4.1. Brainstorming 4.4. Morphological Charts 6.2. Selecting Criteria 6.3. Ranking and Weighting...	4.1. Brainstorming 4.2. Synectics 5.4. System Transformation 5.6. Boundary Shifting	1.1. Systematic Search 1.2. Value Analysis 1.3. System Engineering 1.4. Man-machine System Designing 1.5. Boundary Seraching 1.6. Page's Strategy 1.7. CASA
4. Boundaries located, Sub-solutions Described and Conflicts Identified			4.2. Synectics 4.3. Removing Mental Blocks 5.3. AIDA 5.4. System Transformation 5.6. Boundary Shifting 5.8. ....		4.1. Brainstorming 4.2. Synectics 4.3. Removing Mental Blocks 5.3. AIDA	5.3. AIDA
5. Sub-solutions Combined into Alternatives Designs						1.2. Value Analysis 3.5. Questionnaires 3.6. Investigating User Behaviour 3.7. Systemic Testing 3.8. Selecting Measurement Scales 3.9. ....
6. Alternative Designs Evaluated and Final Design Selected						

Figure 26 : Input Output Chart (Jones, 1992)

Les en-têtes des lignes et des colonnes sont identiques. Ce sont les **représentations intermédiaires** produites aux différents stades du processus de conception. Elles représentent donc l'état d'avancement du projet, de l'énoncé initial (1. *brief issued*) à l'évaluation et à la sélection des alternatives de conception (6. *alternatives designs evaluated and final design selected*). Les lignes correspondent aux entrées (*input*) et les colonnes aux sorties (*output*). Au cœur de cette matrice, sont renseignées les méthodes de conception préconisées.

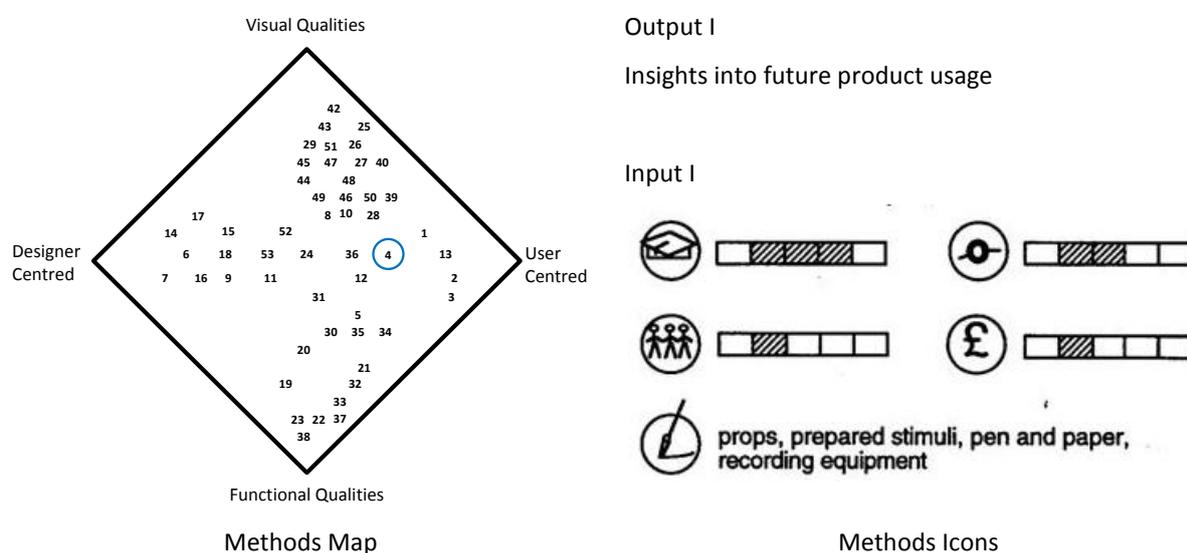
Pour pouvoir utiliser cette matrice, le concepteur doit **au préalable définir** quelles sont les **données disponibles** et quel est l'**objectif à atteindre**. En fonction de ces deux éléments, **plusieurs chemins possibles** pourront être envisagés. Par exemple, pour passer de l'énoncé initial (1. *brief issued*) à des solutions partielles (4. *boundaries located, sub-solutions described and conflicts identified*), le concepteur pourra emprunter le chemin le plus court, c'est-à-dire choisir parmi les méthodes préconisées à l'intersection de la ligne 1 et de la colonne 4 (*brainstorming*, par exemple). Il pourra également emprunter le chemin le plus long, si le cadre du projet le lui permet, et combiner les méthodes de recherche bibliographique (intersection de la ligne 1 et de la colonne 2), de rédaction des spécifications (intersection de la ligne 2 et de la colonne 3) et de l'analyse morphologique (intersection de la ligne 3 et de la colonne 4). Ou bien, le concepteur pourra opter pour une option intermédiaire (par exemple, intersection de la ligne 1 avec la colonne 3 puis de la ligne 3 avec la colonne 4). Ainsi, au-delà de l'aide au choix des méthodes, la matrice de Jones permet de construire ce qu'il nomme la stratégie de conception (*design strategy*).

Un autre exemple basé sur le mécanisme 2 mettant en jeu les attributs des méthodes, est le **Methods Lab** développé conjointement par la Domus Academy, le Netherland Design Institute et le Royal College of Art dans le cadre du projet Presence ([Aldersey-Williams et al., 1999](#), [Macdonald and Lebbon, 2001](#)).

Ce projet, achevé il y a quelques années, avait pour ambition de développer une meilleure compréhension des besoins et attentes des seniors. Dans ce cadre, les auteurs se sont plus spécifiquement intéressés aux **méthodes centrées utilisateur**. Par conséquent, le guide développé est dédié à cette famille de méthodes.

Le guide se compose de plusieurs volets (**Figure 27**). Le premier volet, intitulé **Method Map**, est une carte des 53 méthodes utilisateur collectées. Elle se présente sous forme de losange dans lequel sont répartis des numéros, chacun représentant une méthode particulière. Method Map situe alors la position relative des méthodes selon deux axes que sont les diagonales du losange. L'axe horizontal représente l'individu de référence dans la méthode. Ainsi, on retrouve à l'extrémité gauche, le concepteur : les méthodes suggérées ne nécessitent pas un recueil des besoins auprès des

utilisateurs finaux du produit, comme par exemple la technique du *role play*. L'extrémité droite correspond à l'utilisateur : les méthodes affichées sont recommandées dans le cas où un recueil précis et individualisé des besoins utilisateur est attendu, comme par exemple les sondages d'opinion. L'axe vertical représente le périmètre concerné par l'évaluation. Ainsi, on retrouve à l'extrémité haute, les qualités visuelles du produit avec les tests sémantiques ; à l'extrémité basse, les qualités fonctionnelles avec les tests physiques. L'autre volet, intitulé **Methods Icons**, s'utilise dans un deuxième temps, après présélection des méthodes via Method Map. Il renseigne le concepteur sur la sortie de la méthode ainsi que ses entrées, à savoir l'expertise requise pour mettre en œuvre la méthode, le temps à consacrer à son déploiement, le nombre de personnes à impliquer, le coût associé et enfin, le matériel nécessaire. Le niveau des ressources expertise, temps, homme et coût est évalué sur une échelle de 1 à 5.



**Figure 27 : Methods Lab par (Aldersey-Williams et al., 1999, Macdonald and Lebbon, 2001)**

L'exemple illustré **Figure 27** montre que la méthode des scénarios, qui correspond au numéro 4 dans le guide, est une méthode centrée utilisateur qui peut être utilisée indifféremment pour tester les qualités visuelles et fonctionnelles du produit. Elle permet de prévoir les usages du produit. Elle nécessite de la part du concepteur qui la met en œuvre une bonne expertise. Par contre, le temps à requérir est raisonnable. De plus, elle ne nécessite pas un nombre élevé de personnes pour sa mise en œuvre, ni même de matériel spécifique. Ainsi, c'est une méthode globalement peu coûteuse.

Dans un autre registre, VanGundy a également développé un guide d'aide au choix des méthodes, toujours basé sur le mécanisme 2 d'attributs, mais centré sur la famille des **méthodes de créativité**. Il s'agit de l'**Activity Selection Guide (VanGundy, 2005)**.

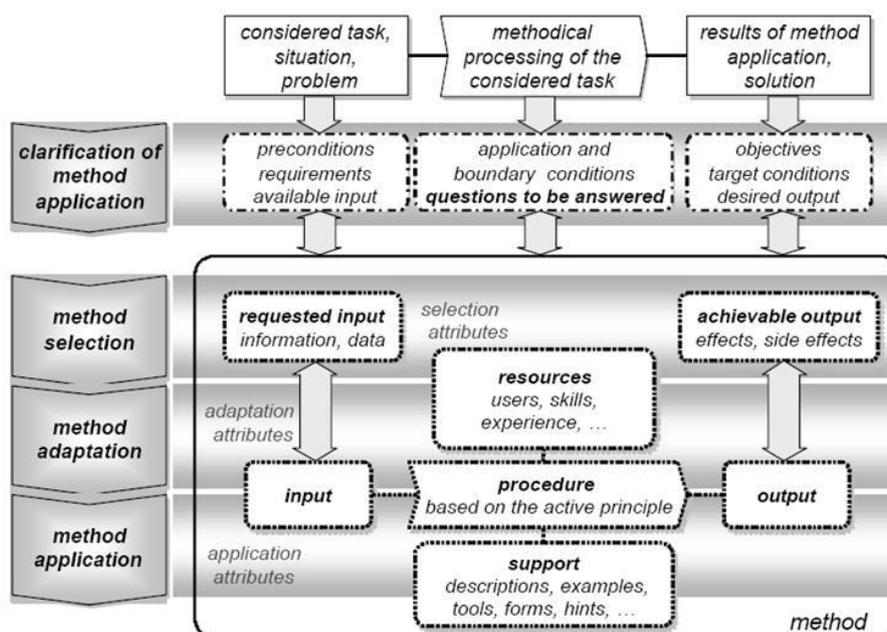
Ce guide regroupe un total de **101 méthodes** de créativité comparées entre elles à l'aide de **dix critères**. Le tableau suivant, extrait de l'Activity Selection Guide, nous donne un aperçu du guide pour la sous-famille des méthodes de créativité permettant la génération d'idées de base (*basic idea generation*) (**Tableau 5**).

Identification	I/G	BS/BW	Uses	Time	Stimuli	Quantity	Novelty	Difficulty	Energy	Fun factor
Bend It, Shape It	I, G	BS	NPS, PSI	30	R, UR	M	M	L	L	L
Brain Borrow	I, G	BS	NPS, PSI	45	R	M	L	L	L	L
Copy Cat	I, G	BS	PSI, A/M	45	UR	M	M	M	M	M
Dead Head Deadline	I, G	BS	Any	30	R	M	L	L	L	L
Get Crazy	I, G	BS	S, NPS, A/M	45	R, UR	M	H	M	H	H
Idea Diary	I, G	BS, BW	HR	45	R	H	L	L	L	L
Mental Breakdown	I, G	BS	S, HR	60	R	M	L	M	M	L
Music Mania	I, G	BW	A/M	30	UR	H	H	M	M	M
Name Change	I, G	BS	Any	30	R	M	M	M	L	L
Stereotype	I, G	BS	Any	30	UR	M	H	M	M	M
Switcheroo	I, G	BS	Any	30	R, UR	M	M	M	L	M
Wake Up Call	I, G	BS, BW	Any	45*	R, UR	H	M	L	M	L

Legend : I=Individual ; G=Group      BS=Brainstorming ; BW=Brainwriting  
 S=Strategy ; NPS=New Products/Processes/Services ; PSI=Product/Process/Service Improvements ;  
 A/M=Advertising/Marketing ; HR=Human Resources  
 \*Require participant priori activity  
 R=Related ; UR=Unrelated  
 L=Low ; M=Medium ; H=High

**Tableau 5 : Extrait de l'Activity Selection Guide (VanGundy, 2005)**

Le dernier exemple de guide basé sur le mécanisme 2 d'attributs de méthodes est le **Munich Model of Methods (Braun and Lindemann, 2003) (Figure 28)**.



**Figure 28 : Munich Model of Methods (Braun and Lindemann, 2003)**

Ce modèle a été imaginé dans une optique de numérisation de l'aide à la sélection des méthodes de conception. Il est basé sur trois éléments clés qui entrent en considération lors du choix : les **entrées requises** (informations, données) ; les **ressources** (utilisateurs, compétences, expérience, etc.) et les **sorties** (effets). Pour choisir convenablement une méthode, (Braun and Lindemann, 2003) suggèrent de comparer ces éléments avec les caractéristiques du projet.

### 2.3.4 Insuffisance des guides

En **synthèse**, ces huit exemples (quatre basés sur le mécanisme 1 de décomposition du processus de conception ; les quatre autres basés sur le mécanisme 2 de caractérisation des méthodes via la notion d'attributs) éclairent les approches utilisées par les auteurs des guides pour assister la sélection des méthodes de conception.

Bien que différents, ces mécanismes reposent tous les deux sur le **même principe de base** qui est de **comparer des éléments du contexte projet aux caractéristiques des méthodes** de conception.

Référence	Mécanisme	Éléments du contexte	Caractéristiques méthodes
(Pahl and Beitz, 2007)	1 – Processus	Phases du processus	Intitulé de la méthode
(AFNOR, 1985)	1 – Processus	Étapes du processus	Intitulé de la méthode
(Sagot, 1999)	1 – Processus	Représentations Intermédiaires	Intitulé de la méthode
(Franke and Deimel, 2004)	1 – Processus	Activités de base du processus	Activités de base des méthodes
(Jones, 1992)	2 – Attributs	Entrées des phases Sorties des phases	Entrées des méthodes Sorties des méthodes
(Macdonald and Lebbon, 2001)	2 – Attributs	Ressources du projet Type de qualités visées Centré utilisateur ou non	Ressources des méthodes Type de qualités Centré utilisateur ou non
(VanGundy, 2005)	2 – Attributs	Degré d'innovation	Quantité Nouveauté
(Braun and Lindemann, 2003)	2 – Attributs	Entrées disponibles Sorties désirées Ressources disponibles	Entrées requises Sorties obtenues Ressources requises

**Tableau 6 : Synthèse des exemples de guides de sélection des méthodes**

Le principal **avantage** du **mécanisme 1** basé sur la décomposition du processus réside dans sa simplicité de compréhension et d'utilisation. L'utilisateur du guide peut très rapidement converger vers une série de méthodes potentielles.

L'**inconvénient** majeur de ce type d'approche est qu'elle oblige à avoir la même décomposition du processus, ce qui est rarement le cas dans les faits. De plus, il est vrai que l'étape du processus de conception est un critère fondamental dans le choix des méthodes. Or, la sélection des méthodes est un processus complexe qui fait intervenir de nombreux critères et la progression du processus de conception en est un parmi d'autres. Ainsi, le mécanisme 1 ne peut être considéré que dans une première approximation, comme point de départ en quelque sorte. En effet, les résultats obtenus

devront encore être affinés avec d'autres critères. C'est ainsi que sont apparus des guides qui couplent à la fois une recherche par phase mais également par attributs.

D'une certaine manière, le **mécanisme 1** basé sur la décomposition du processus **peut être assimilé au mécanisme 2** qui fait intervenir le rôle des attributs dans l'aide au choix des méthodes. En effet, on peut considérer l'étape (ou phase) du processus comme étant l'attribut unique pour guider la sélection. De ce point de vue, l'approche n°1 n'est qu'un cas particulier de l'approche n°2.

En ce qui concerne le **mécanisme 2**, il s'avère que sélectionner une méthode tenant compte de ses attributs est un point de départ **confortable** pour converger rapidement vers une solution. En effet, alors que la catégorisation des méthodes par phase (mécanisme 1) est un travail délicat, la définition des attributs permet de pallier à cette difficulté et de caractériser beaucoup plus finement les méthodes. De plus, la modélisation des méthodes en couple attributs-valeurs peut être facilement transposée dans un système numérique.

Le principal **obstacle** à cette approche réside dans la définition des attributs et d'assigner à chacun une valeur pour une méthode considérée. Il s'agit bien évidemment pas de multiplier à l'infini les attributs, mais seulement ceux qui sont susceptibles de jouer un rôle dans le processus de sélection.

De notre état de l'art, découle la conclusion qu'il existe des **attributs généraux** qui se retrouveront quelque soit la méthode considérée (par exemple : le temps de mise en œuvre, l'expertise requise pour déployer la méthode, etc.) mais également des **attributs spécifiquement liés à une catégorie bien précise de méthode** (ex : les notions de quantité et de nouveauté pour les méthodes de créativité).

Ainsi, nous considérons que le mécanisme 2 basé sur la notion d'attributs de méthodes est une approche intéressante pour aborder l'aide à la sélection des méthodes.

Néanmoins, nous pensons que les auteurs de ces guides n'ont pas suffisamment accès leur réflexion sur le rôle des données et connaissances dans l'aide à la sélection. De même que les caractéristiques du contexte projet dans lequel se déroule les projets de conception sont quasi inexistantes dans leur proposition de guide.

Finalement, dans la dernière partie de notre état de l'art, nous allons donner en substance quelques pistes supplémentaires pour supporter l'aide à la sélection des méthodes de conception tenant compte des insuffisances relevées dans la bibliographie des guides existants d'aide à la sélection des méthodes de conception.

## 2.4 Aider à la sélection des méthodes

La section précédente nous a donné l'occasion de revenir largement sur les guides existants d'aide au choix des méthodes de conception. L'analyse de ces diverses contributions a alors permis de cerner un certain nombre de manques et d'insuffisances. A partir de cette revue critique, il nous est apparu nécessaire de revenir sur le processus même de choix des méthodes et de comprendre précisément quels sont les facteurs entrant en jeu lors de leur sélection. Nous abordons également en toute fin de section, l'importance des connaissances et leur rôle clé dans la prise de décision.

### 2.4.1 Processus de sélection

Plusieurs auteurs se sont employés à décrire le processus de sélection des méthodes de conception. En effet, ce phénomène peut être analysé sous l'angle processus, et peut en particulier être interprété sous l'angle de la théorie de la décision.

#### 2.4.1.1 L'approche de Braun et Lindemann

([Braun and Lindemann, 2003](#)) définissent le transfert des méthodes du monde académique au monde industriel comme étant un processus en trois étapes. Ainsi, selon eux, la mise en œuvre des méthodes de conception résulte de la succession de la **sélection** d'une part, au cours de laquelle une méthode est choisie compte tenu des objectifs fixés et des particularités du projet ; de l'**adaptation** d'autre part, où la méthode retenue est adaptée pour se fondre aux spécificités du domaine et du cas d'application ; et enfin de l'**application** à proprement parler de la méthode ([Figure 29](#)). La mise en œuvre de la méthode ne sera alors effective qu'après avoir achevé ces trois étapes. La sélection des méthodes revêt donc une importance toute particulière étant donné qu'elle correspond à la première étape de ce processus. Elle est donc la condition *sine qua none* pour qu'une méthode soit transférée dans l'industrie.



Figure 29 : Transfert des méthodes selon ([Braun and Lindemann, 2003](#))

### 2.4.1.2 L'approche de Stetter

Dans (Stetter and Lindemann, 2005), les auteurs présentent une synthèse des résultats de recherche de la thèse de doctorat de Stetter, soutenue en 2000. Son apport de recherche correspond à un modèle d'implémentation des méthodes qui s'articule autour de cinq phases, chacune intégrant plusieurs étapes (Figure 30).



Figure 30 : Modèle d'implémentation des méthodes selon (Stetter and Lindemann, 2005)

La première phase concerne l'**initialisation du processus d'implémentation** de la méthode. Il s'agit d'identifier les forces et les améliorations potentielles du processus de développement de produit en vigueur. Une fois les lacunes repérées, il est indispensable de les communiquer aux parties prenantes de manière à les associer le plus rapidement possible dans la démarche d'intégration de la méthode. Après avoir fixé ensemble les objectifs à atteindre, un planning d'implémentation est établi et une équipe construite autour de ce projet. Lors de l'**analyse du processus de développement de produits**, une analyse beaucoup plus fine que précédemment est réalisée, compte tenu des objectifs et du périmètre fixé dans la première phase. Elle débute par une collecte d'information (analyse de documents, entretiens, workshops, observations, etc.), suivi par la modélisation sous forme SADT (*Structured Analysis and Design Technic*) du processus. Une fois cette modélisation réalisée, des voies d'amélioration sont recherchées. C'est seulement dans la troisième phase qu'intervient **le choix et l'adaptation** de la méthode. Les auteurs précisent à ce stade, qu'il s'agit de la phase critique dans le processus d'implémentation de méthode. Ils insistent également sur le fait que la sélection se base essentiellement sur les caractéristiques essentielles et intrinsèques de la méthode qu'ils nomment « invariants ». Une fois la méthode sélectionnée et adaptée aux particularités du projet, celle-ci fait l'objet d'une **implémentation** sur le projet considéré puis d'une **évaluation**, dernière phase de leur modèle.

### 2.4.1.3 L'approche d'Araujo

Dans sa thèse de doctorat, Araujo présente plusieurs approches pour modéliser le processus de sélection des méthodes de conception (Araujo, 2001). Il interprète notamment ce phénomène sous l'éclairage de la théorie de la décision. C'est cette approche qui va être détaillée dans la suite de cette section.

Selon Araujo, le processus de prise de décision peut être adapté au cas de la sélection des méthodes de conception. Il est important de noter que cet éclairage est utilisé ici pour le cas du choix des méthodes de conception, mais peut également être utilisé dans d'autres cas de prise de décision, comme par exemple la sélection des matériaux en conception (van Kesteren et al., 2008). Ainsi, le processus d'implémentation des méthodes peut se modéliser en une série de quatre étapes (Figure 31).

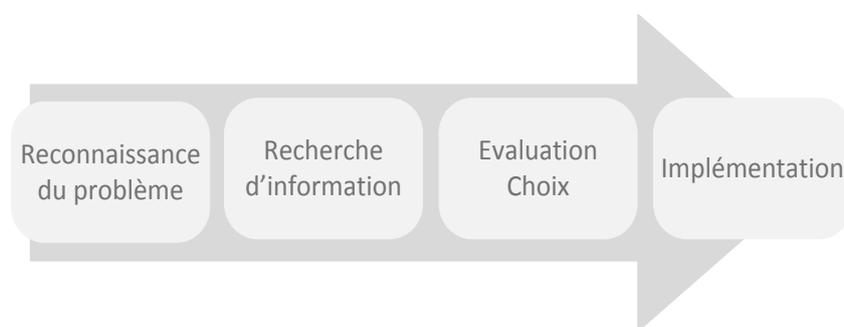


Figure 31 : Sélection et processus de prise de décision par (Araujo, 2001)

Le processus débute d'abord par la **reconnaissance du problème**, dès l'instant où le concepteur/chef de projet perçoit un décalage entre l'état actuel et l'état désiré. Cette incohérence peut être de différents degrés, de la simple gêne à la véritable remise en cause du système. Si le fossé entre les deux situations est perçu comme étant d'une importance suffisante pour mener une action ciblée, le processus entre alors dans la deuxième étape qui consiste à **rechercher des informations** pertinentes sur les méthodes potentielles à intégrer, sur leurs capacités à résoudre le problème considéré et sur les critères de choix à prendre en compte pour l'évaluation. L'auteur précise que cette étape de recherche d'information peut être menée par les individus de manière plus ou moins complète. Il distingue alors la situation de forte implication, de la situation inverse de faible implication. L'étape suivante d'**évaluation et choix** a été modélisée en une phase unique, mais aurait pu tout aussi bien être fractionnée en deux. Ici encore, la manière d'évaluer les méthodes candidates varie considérablement d'une situation de forte implication (utilisation de matrice multicritères, évaluation heuristique, etc.) à une situation de faible implication (choix subjectif et arbitraire de

l'individu). Le choix de la solution implique ensuite l'implémentation de la méthode sélectionnée sur le projet.

De plus, Araujo précise également le rôle des **facteurs internes et externes** qui agissent sur la prise de décision. Ce point de vue est intéressant, puisqu'il suggère que la prise de décision n'est pas toujours une décision rationnelle se basant sur des faits objectifs. Il utilise à ce titre l'expression de « rationalité limitée » empruntée à Herbert Simon (Simon, 1991).

#### 2.4.1.4 Synthèse des approches

Le tableau suivant donne une synthèse des approches détaillées précédemment (Tableau 7).

	Analyse		Sélection	Adaptation	Application	Bilan
(Araujo, 2001)	1	2	3		4	
(Braun and Lindemann, 2003)	1'			2'	3'	
(Stetter and Lindemann, 2005)	1''	2''	3''		4''	5''

Légende : 1 : Reconnaissance du problème ; 2 : Recherche d'information ; 3 : Evaluation et Choix ; 4 : Implémentation  
 1' : Sélection ; 2' : Adaptation ; 3' : Application  
 1'' : Initialisation ; 2'' : Analyse ; 3'' : Choix et adaptation ; 4'' : Implémentation ; 5'' : Evaluation

**Tableau 7 : Synthèse des trois approches d'implémentation des méthodes**

Ce comparatif des différents points de vue nous permet de nous positionner par rapport à la notion de sélection. Pour nous, la sélection s'attache autant à l'analyse du problème qu'à la sélection à proprement parler de la méthode. Nous excluons de notre périmètre l'adaptation de la méthode, et d'autant plus l'application. Ainsi, nous nous focalisons sur les colonnes « **Analyse** » et « **Sélection** » du tableau.

Sur ces deux parties, l'approche d'Araujo semble être la plus complète des trois. Il s'agit d'une modélisation du processus de sélection des méthodes sous l'angle de la **théorie de la décision**. Etant donné que c'est l'approche qui traite le problème avec la plus grande exhaustivité, c'est celle que nous retiendrons pour la suite.

### 2.4.2 Données, informations et connaissances dans la prise de décision

Donnée, information et connaissance sont trois notions distinctes, bien que souvent confondues entre elles. Ainsi, nous allons d'abord en donner une définition précise avant de détailler les interactions qui existent entre ces trois termes.

#### 2.4.2.1 Définitions

Il existe de nombreuses définitions pour les termes « **donnée** », « **information** » et « **connaissance** ». Certaines d'entre elles sont reportées dans le tableau suivant (Tableau 8).

Data	
(Ackoff, 1989)	Symbols
(Bierly et al., 2000)	Raw facts
(Hicks et al., 2002)	Data is usually considered to be textual, either numeric or alphabetical
(Bellinger et al., 2004)	Data represents a fact or statement of event without relation to other things
Information	
(Ackoff, 1989)	Information are data that are processed to be useful
(Court, 1995)	Information is comprised of a number of data parts and their descriptions
(Hicks et al., 2002)	Information is the sum of a data element and one or more context descriptors, where the context descriptor(s) clarify the meaning of the data element, and are themselves one or a combination of data elements
(Bierly et al., 2000)	Meaningful, useful data
(Bellinger et al., 2004)	Information embodies the understanding of a relationship of some sort, cause and effect
Knowledge	
(Ackoff, 1989)	Application of data and information
(Court, 1995)	Knowledge is the ability of the individual to understand information and describes the manner in which they handle, apply and use it in a given situation
(Bierly et al., 2000)	Clear understanding of information
(Hicks et al., 2002)	Knowledge consists of the assimilation of related information addressed in the context of a frame of reference.
(Bellinger et al., 2004)	Knowledge represents a pattern that connects and generally provides a high level of predictability as to what is described or what will happen next
Understanding	
(Ackoff, 1989)	Appreciation of "why"
Wisdom	
(Ackoff, 1989)	Evaluated understanding
(Bierly et al., 2000)	Using knowledge to establish and achieve goals
(Bellinger et al., 2004)	Wisdom embodies more of an understanding of fundamental principles embodied within the knowledge that are essentially the basis for the knowledge being what it is. Wisdom is essentially systemic

**Tableau 8 : Définitions des termes donnée, information, connaissance**

Ces définitions sont issues de **domaines variés**, comme par exemple celui du management des connaissances (*knowledge management*) (Bierly et al., 2000, Braganza, 2004), celui de l'ingénierie de la conception (*engineering design*) (Court, 1995, Hicks et al., 2002) ou encore celui de l'informatique (*computer science*) (Ackoff, 1989, Aamodt and Nygård, 1995, Bellinger et al., 2004).

Certains chercheurs perçoivent une décomposition en **quatre catégories**, d'autre en cinq. La structure hiérarchique la plus communément admise est celle qui en considère quatre : donnée, information, connaissance, sagesse. C'est celle que nous retiendrons pour la suite.

#### 2.4.2.1.1 Donnée vs Information

Les **données** sont la matière brute, la matière première du processus de prise de décision. Ce sont des faits qui peuvent exister dans des formes diverses. Elles n'ont pas de signification car ne sont pas contextualisées et ne font pas de relations entre elles. Les **informations** sont la sortie du processus d'interprétation des données. L'information correspond à une interprétation de données brutes. Elle est issue d'un regroupement, d'une organisation de données.

### 2.4.2.1.2 Information vs Connaissance

Contrairement aux **informations**, la **connaissance** intègre la compréhension du sujet. Elle correspond à l'appropriation et à l'interprétation des informations par les hommes et résulte d'un processus de transformation de l'information.

### 2.4.2.1.3 Connaissance vs Sagesse

Ackoff indique que les premières catégories sont reliées au passé (Ackoff, 1989). Elles traitent de ce qui est achevé et connu. Seule la dernière catégorie (sagesse) traite du futur. Elle incorpore la vision.

### 2.4.2.2 Interactions

La hiérarchie donnée/information/connaissance est globalement admise par tous, exception faite de certaines publications telle que (Braganza, 2004) qui remettent en cause sa structure. La figure suivante (Figure 32), adaptée de (Shedroff, 1994), nous en donne une représentation.

Cette schématisation représente ainsi la construction de la connaissance, partant des données brutes, ensuite transformées en informations puis en connaissances. Ces transformations ne se font pas sans effort.

Dans la suite de cette section, nous allons voir comment ces données, informations et connaissances interagissent pour permettre un choix optimal de méthodes de conception.

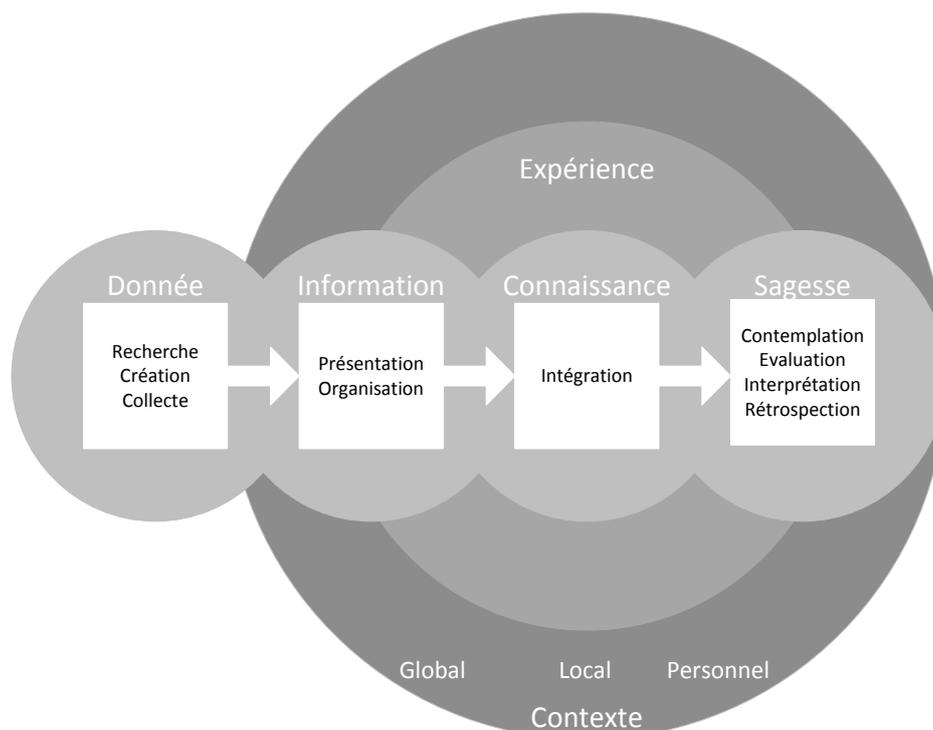


Figure 32 : Construction de la connaissance adaptée de (Shedroff, 1994)

### 2.4.3 Facteurs influençant le choix des méthodes

Les facteurs influençant la sélection des méthodes de conception sont nombreux, comme nous allons le constater dans les parties qui suivent. Ils peuvent être classés en deux catégories : les facteurs liés au contexte, et ceux liés aux méthodes en elles-mêmes.

#### 2.4.3.1 Facteurs liés au contexte

Sur le sujet du management de l'innovation, (Tidd et al., 2005) exposent une série de **variables de contexte**, internes ou externes au processus, impactant la gestion de l'innovation (Tableau 9). Ainsi, le contexte influe le management de l'innovation, et *a fortiori* le processus de conception et de développement de produits nouveaux.

Variable du contexte	Exemple
Secteur	Priorités et caractéristiques différentes en fonction des secteurs
Taille	Accès aux ressources variables selon la taille des entreprises (petite entreprise vs grand groupe)
Systèmes nationaux d'innovation	Structures d'aide à l'innovation plus ou moins performantes selon le pays
Cycle de vie (technologies, industrie, etc.)	Maturité technologique différente selon les projets (Industries de technologie de pointe vs firmes matures et bien implantées)
Degré de nouveauté	Différentes approches à utiliser selon le degré de nouveauté du produit (innovation incrémentale vs innovation de rupture)
Parties prenantes	Influences des parties prenantes différentes selon les projets (réglementations, autorités, etc.)

Tableau 9 : Influences du contexte sur la gestion de l'innovation (Tidd et al., 2005)

Selon (Hales and Gooch, 2004), ce qui rend chaque **projet unique**, c'est le contexte dans lequel il s'intègre. Ainsi, en considérant de plus près quelles sont les spécificités du contexte de chaque projet, il sera possible de proposer des réponses adaptées en matière de choix des méthodes de conception.

(Hales and Gooch, 2004) proposent un **modèle de contexte projet** en **cinq** couches nommées « **niveaux de résolution** ». L'ensemble des ces couches sont intégrées dans un environnement extérieur. Au niveau **conception**, on retrouve les étapes incontournables du développement d'un produit. En se basant sur le modèle (Aoussat, 1990), il s'agira des étapes de traduction et d'interprétation du besoin, de développement et de validation de la solution. Ici, (Hales and Gooch, 2004) réexploitent dans leur modèle de contexte les étapes formalisées par (Pahl and Beitz, 2007). La conception est un des processus en cours lors d'un **projet** : en amont s'opèrent les processus marketing, recherche et développement ; en aval, les processus fabrication, vente ; en support, les processus achat, ressources humaines, qualité. Ce projet s'intègre dans un système de **management**, lui-même appartenant à une organisation, qui peut être une **entreprise**. Cette structure reçoit de l'argent de la part de ses clients qui prennent place au sein du **marché**, en échange de la vente des produits qu'elle développe. Tous les marchés existants s'insèrent dans un environnement extérieur.

A chaque niveau de résolution correspond des facteurs qui influencent les projets de développement de produits. A titre d'exemple, les concurrents, au sein de la couche marché, exercent une pression sur l'entreprise, qui répercute ces contraintes sur les couches inférieures (management ; projet ; conception). De même que l'environnement extérieur, via la législation et la réglementation, fait subir des contraintes à l'ensemble des niveaux de résolution.

Le tableau suivant (**Tableau 10**) illustre quelques uns des **facteurs liés au contexte** mentionnés dans la littérature comme ayant une **influence sur le choix des méthodes**. On y retrouve l'influence de certains niveaux de résolution proposés par (**Hales and Gooch, 2004**). Ainsi, (**Araujo, 2001**) fait référence à quatre des cinq niveaux de résolution, à savoir les niveaux conception (personnalité du concepteur) et projet (objectifs de l'équipe), mais aussi entreprise (objectifs et culture de l'entreprise) et marché (concurrence), sans oublier l'influence de l'environnement extérieur (réglementations et normes). De la même manière, (**López-Mesa and Thompson, 2006**) font référence au niveau concepteur, et en particulier à leur style cognitif de résolution de problème (adaptateur ou innovateur). (**Tidd et al., 2005**) s'en réfèrent quant à eux au degré de nouveauté d'un produit (produit issu d'une innovation incrémentale ou de rupture).

Référence	Facteurs du contexte influençant le choix des méthodes
( <b>Araujo, 2001</b> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Influences individuelles (motivation, personnalité, croyances, attitudes, type de prise de décision, etc.)</li> <li>• Influences environnementales (objectifs de l'équipe, objectifs de l'entreprise, culture, réglementations et normes, concurrence, etc.)</li> </ul>
( <b>Tidd et al., 2005</b> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Degré de nouveauté d'un produit</li> </ul>
( <b>Chai and Xin, 2006</b> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Support management : Ressources (humaines par exemple l'accès à des experts pour être formé, temporelles, financières + implication du personnel)</li> <li>• Type de stratégie selon (Porter, 1980)</li> <li>• Taille de l'entreprise</li> <li>• Formation des employés</li> </ul>
( <b>López-Mesa and Thompson, 2006</b> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Style cognitif de résolution de problème des concepteurs</li> </ul>

**Tableau 10 : Facteurs du contexte influençant le choix des méthodes**

Le contenu de ce tableau ne se veut en aucun cas être exhaustif. Ainsi, on perçoit donc que de **nombreux facteurs liés au contexte projet influent le choix des méthodes** de conception.

De plus, il est important de noter que tous ces facteurs **n'exercent pas le même degré d'influence**. A ce titre, (**Chai and Xin, 2006**) font référence au management comme étant le facteur le plus important dans la sélection des méthodes (cet élément est à prendre avec précaution, les auteurs n'ayant pas la même opinion sur la question du facteur ayant le plus d'influence sur la sélection des méthodes de conception).

### 2.4.3.2 Facteurs liés aux méthodes

Intuitivement, il semble assez évident que pour pouvoir sélectionner de manière adéquate une méthode, on s'en réfère à ses caractéristiques propres. Ainsi, les guides répondant au mécanisme 2 d'attributs sont basés sur les **facteurs liés aux méthodes**.

Au-delà de l'adéquation avec les phases ou les étapes du processus, d'autres facteurs liés aux méthodes sont à prendre en considération dans la sélection (**Tableau 11**). De manière assez basique, on prend en considération à la fois les données d'entrée de la méthode mais également ses données de sortie (**Jones, 1992**). Cela concerne aussi par exemple, les ressources telles que l'expertise méthodologique à requérir pour mettre en œuvre une méthode, mais aussi les ressources humaines, temporelles, financières et matérielles (**Macdonald and Lebbon, 2001**). Pour être plus précis, on pourrait également différencier les ressources temporelles pour la mise en œuvre de la méthode, des ressources temporelles pour sa formation. On pourrait également faire cette distinction pour les coûts (coût d'adoption, coût de formation). (**Chai and Xin, 2006**) font quant à eux référence à l'aspect convivialité et attractivité de la méthode pour sa sélection, mais aussi à l'utilité perçue par l'utilisateur pour son application sur le projet ou encore le coût associé à son apprentissage.

Référence	Facteurs des méthodes influençant le choix des méthodes
( <b>Jones, 1992</b> )	Données d'entrées Données de sortie
( <b>Bisseret et al., 1999</b> )	Théorie
( <b>Macdonald and Lebbon, 2001</b> )	Expertise méthodologique Ressources humaines Ressources temporelles Ressources financières Ressources matérielles
( <b>Chai and Xin, 2006</b> )	Convivialité ( <i>user-friendly</i> ) Utilité perçue Coût d'apprentissage

**Tableau 11 : Facteurs liés aux méthodes influençant la sélection**

A nouveau, nous pouvons conclure que de **nombreux facteurs liés** cette fois-ci **aux caractéristiques des méthodes influencent la sélection** des méthodes de conception.

De la même façon que précédemment, ces facteurs **n'exercent pas le même degré d'influence** au moment de la sélection.

## 2.4.4 Rôle des connaissances

### 2.4.4.1 Connaissance et prise de décision

La **connaissance** détient un **rôle central**, autant sur les aspects de conception (Hicks et al., 2002) que sur ceux d'innovation (Tidd et al., 1995). C'est la raison pour laquelle de nombreuses recherches, en lien avec le management des connaissances, s'attachent à optimiser la capture, le stockage et la réutilisation des connaissances acquises.

La figure suivante (Figure 33) empruntée à (Hicks et al., 2002) positionne les données, informations et connaissances dans la prise de décision. On observe que **pour prendre une décision**, le concepteur **puise** directement **dans ses connaissances**. Ainsi, les données seules ne suffisent pas. Elles doivent d'abord être transformées en informations, puis en connaissances pour pouvoir jouer un rôle dans la prise de décision. En effet, les données sont des éléments non contextualisés qui ne peuvent, dans l'état, servir de support à la décision. Une partie des informations pourront servir à la prise de décision, mais la plupart des éléments entrant en considération dans la décision proviendront des connaissances.

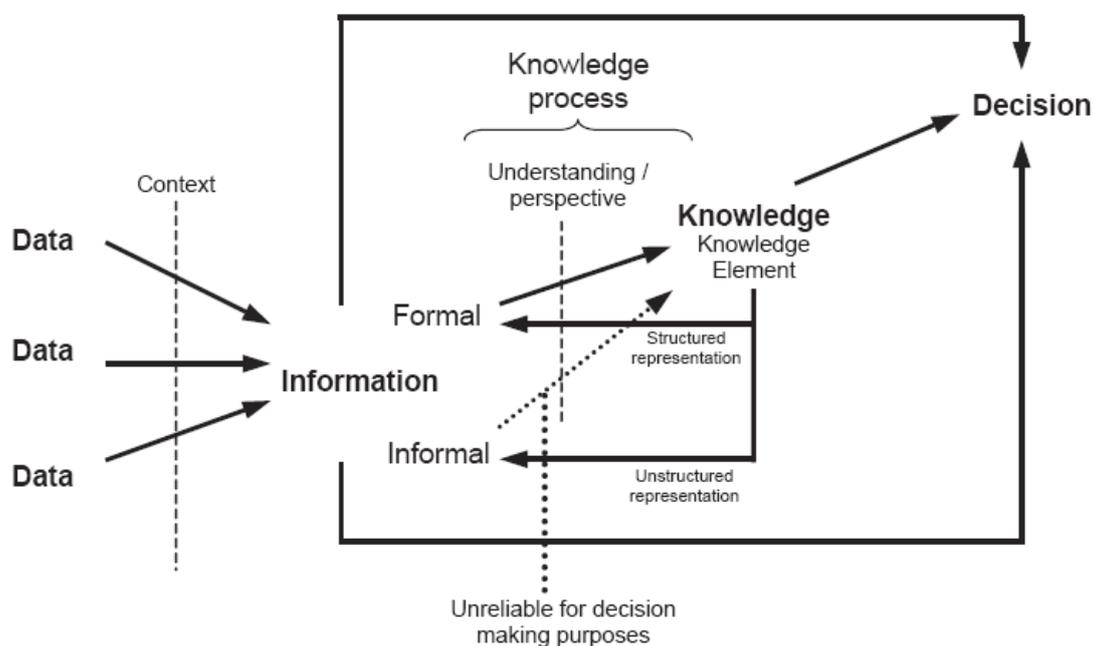


Figure 33 : Données, informations, connaissances et prise de décision (Hicks et al., 2002)

Or, nous avons vu précédemment en quoi la sélection des méthodes de conception pouvait être interprétée sous l'angle de la **théorie de la décision**. Les **connaissances** sont donc également **centrales en matière de choix des méthodes**. Lors de la sélection des méthodes de conception, le concepteur va ainsi immédiatement faire référence à ses connaissances pour choisir quelles méthodes conviennent effectivement à son projet.

#### 2.4.4.2 Types de connaissance

Il existe plusieurs classifications qui opposent souvent **deux types de connaissances**. Par exemple, Xu et Bernard opposent la connaissance tacite à la connaissance explicite (Xu and Bernard, 2010) ; Winograd, (Winograd, 1975) cité par (De Fornel, 1990), oppose quant à lui les connaissances déclaratives aux connaissances procédurales. De la même façon, il est courant de distinguer les connaissances théoriques, des connaissances expérimentales.

La **connaissance théorique** fait référence aux connaissances retranscrites dans les ouvrages et autres écrits. Il ne s'agit ici que d'une partie des connaissances dont dispose l'individu.

La **connaissance expérimentale** correspond à la connaissance accumulée via la capitalisation et les retours d'expérience.

L'enjeu est de pouvoir **coupler ces deux formes de connaissances**. En effet, il est nécessaire d'associer aux connaissances théoriques, les connaissances expérimentales et *vice versa*. Il est également indispensable d'accorder à ces deux sortes de connaissances une valeur égale.

L'activité de **sélection des méthodes de conception** fait elle aussi appel à ces deux formes de connaissances. En effet, pour choisir convenablement la ou les méthodes adaptées à un projet particulier, le concepteur doit faire appel à ses connaissances théoriques acquises au cours de ses formations antérieures et éventuellement, lors des lectures d'ouvrages spécialisés traitant des méthodologies de conception. Or, ces connaissances seront limitées si elles ne sont pas associées à des connaissances expérimentales. En effet, le concepteur ne saura profiter pleinement de ces connaissances que s'il est en mesure de se les approprier au travers des retours d'expérience acquis sur des projets et des applications antérieures.

Ainsi, l'agrégation des connaissances théoriques et expérimentales permet au concepteur d'être plus à même de savoir quelles doivent être les méthodes à utiliser sur un projet donné. L'accumulation de ces deux formes de connaissances (Figure 34) permettra ainsi au novice d'évoluer vers un statut expert.

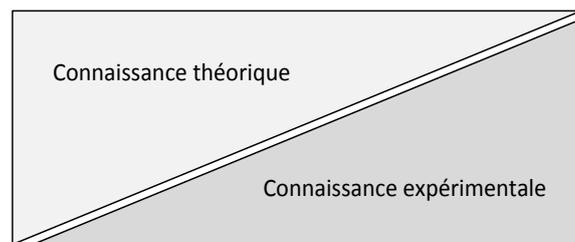


Figure 34 : Types de connaissances

## 2.5 Synthèse de l'état de l'art

L'état de l'art développé dans ce chapitre nous a permis d'investiguer plusieurs **champs de recherche** (Figure 35). Le premier concerne les **théories et méthodologies de conception** au sens large du terme. Cette partie nous a entre autres permis de stabiliser les notions fondamentales utilisées dans ce document, à savoir la distinction entre théorie, méthodologie, méthode et outil. Le deuxième axe de recherche s'est focalisé sur les **méthodes de conception** à proprement parler. Nous avons par ailleurs soulevé la difficulté ressentie par les concepteurs lors de leur sélection. Cet axe nous a ensuite ouvert sur les **guides d'aide au choix** rencontrés dans la littérature, qui nous a amené à réfléchir sur des pistes potentielles d'améliorations de ces derniers.

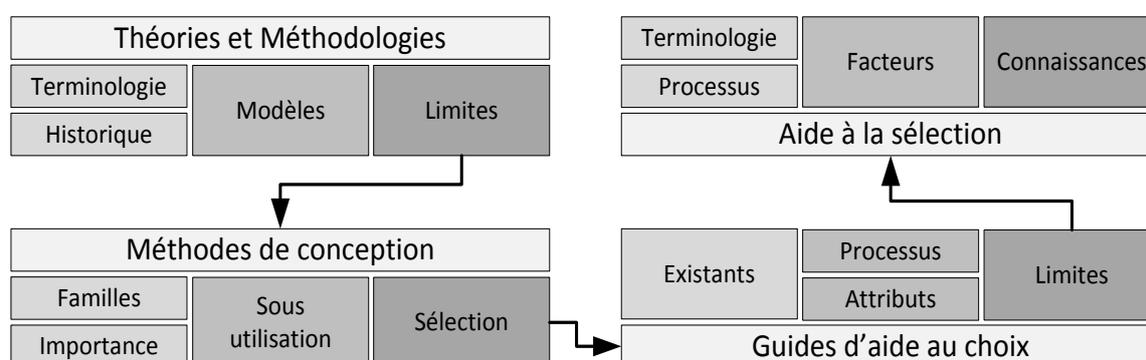


Figure 35 : Vue globale des thématiques abordées dans l'état de l'art

Le **contexte** actuel d'intensification de la compétition sur les marchés et de complexification croissante des produits et des processus associés ont conduit académiciens et praticiens à développer des **modèles**. Ces représentations abstraites permettent aux concepteurs de représenter leurs activités de manière intelligible, de comprendre le processus, prédire son comportement et ainsi mieux agir dans le sens des objectifs fixés. Malgré leur **importance**, de nombreuses critiques à l'encontre de ces modèles font état de leur **manque de support** dans l'activité de conception. Ainsi, c'est en s'interrogeant sur la façon d'implémenter les modèles de processus de conception en pratique, de les rendre plus spécifiques et plus enclin à supporter les activités des concepteurs, que nous nous sommes focalisés sur l'association des **méthodes de conception** aux modèles de processus de développement de produits.

Il existe de nombreuses **méthodes de conception**. Elles **assistent les concepteurs** dans leur activité et permettent de **prendre en compte** dès les phases amont du développement de produits, l'ensemble des **fonctions attendues** du futur système (fabrication, usage, style, maintenabilité, recyclage, etc.). Elles permettent également de **pallier à la complexité** intrinsèque des produits et de leurs processus, de **travailler aisément en équipe projet**, de pouvoir **garder une traçabilité** des

décisions prises en conception et des justifications associées, etc. Malgré les avantages incontestés des méthodes, de multiples enquêtes soulignent leur **manque d'utilisation en pratique**. Ce constat est unanime quelque soit la famille de méthodes considérée et quelque soit la zone géographique. Plusieurs justifications tendent à expliquer cette sous-utilisation. Certains chercheurs pointent notamment le **manque d'assistance aux concepteurs en matière de sélection des méthodes** précisant qu'ils ressentent souvent des difficultés dans le choix de méthodes appropriées.

Par conséquent, notre état de l'art nous a conduit à répertorier et à analyser les **contributions existantes sur le thème de l'aide à la sélection des méthodes de conception**. Il existe de **nombreuses publications** sur le sujet, allant du tableau comparatif aux outils logiciels plus complets. Chaque guide a été développé à partir d'une hypothèse de départ qui correspond aux **mécanismes de base** sur lesquels repose la sélection des méthodes. Ces mécanismes sont au nombre de deux : soit on considère le **découpage du processus de conception** comme unique guide pour le choix des méthodes ; soit on tient compte d'un ensemble de **caractéristiques des méthodes**, que nous nommons **attributs**, pour orienter vers un choix optimal des méthodes. Dans tous les cas de figures, le principe général de base reste le même : il s'agit de comparer un élément du contexte (qui peut s'apparenter dans une certaine mesure à la dimension problème) avec un élément d'une méthode (dimension solution). Notre analyse de ces deux approches nous a permis de dresser un certain nombre d'atouts et de faiblesses.

L'activité de **sélection des méthodes** de conception peut être analysée sous l'angle de la **théorie de la décision**. Dans cette optique, les données, les informations, mais surtout les **connaissances**, occupent une place très importante. Elles sont de diverses natures : **théoriques** mais également **expérimentales**. Elles associent à des caractéristiques du contexte projet, des caractéristiques propres aux méthodes de conception. Ainsi, les **facteurs influençant la sélection** des méthodes sont nombreux. Ils sont liés à la fois au contexte, mais aussi aux méthodes.

Finalement, cet état de l'art nous a amené à nous interroger sur la notion de **pertinence d'une méthode vis-à-vis d'un projet** de conception. En définitive, nous considérons qu'il n'existe pas en soi de « bonne » ou de « mauvaise » méthode, simplement des méthodes adaptées ou non. Or, pour mener cette sélection de manière adéquate, il faudra prendre en compte l'ensemble des caractéristiques du contexte et celles des méthodes disponibles.

# **3 Problématique et hypothèses de modélisation**



## Introduction

L'état de l'art a montré la nécessité d'aider les concepteurs dans la phase de sélection des méthodes de conception appropriées à leur projet. Supporter cette activité permettra, dans une perspective scientifique et de recherche, d'améliorer le transfert des méthodes dans l'industrie. D'un point de vue industriel, approche qui nous intéresse dans le cadre de cette recherche, aider au choix des méthodes permettra de tendre à l'optimisation du processus de conception.

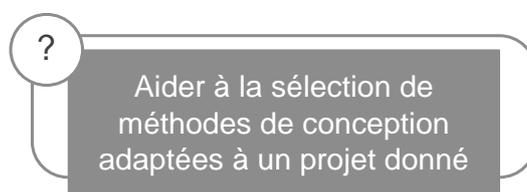
En regard de la problématique d'aide au choix des méthodes de conception, nous proposons un jeu de deux hypothèses, chacune se scindant en deux sous-hypothèses. L'une d'elle se focalise sur la nature des données contenues dans le futur système d'aide à la sélection des méthodes, l'autre se positionne sur l'origine même des connaissances à mettre en jeu.

L'énoncé de la problématique et des hypothèses de modélisation nous permet alors de proposer un prémodèle d'aide à la sélection des méthodes de conception.

### 3.1 Problématique : Aider à la sélection des méthodes

Notre constat, à l'issu de l'état de l'art, est de trois ordres. Premièrement, compte tenu de la diversité des projets de conception, il y a nécessité de choisir les méthodes les plus adaptées aux spécificités de chacun d'eux. Deuxièmement, la sélection des méthodes est une activité à forts enjeux pour l'entreprise, génératrice de gains ou de pertes selon l'usage qui en est fait. Troisièmement, il n'existe pas aujourd'hui de réponse adaptée pour supporter cette activité.

La problématique de notre recherche peut alors être résumée autour d'une question centrale que nous formulons de la manière suivante (**Figure 36**) : « **Comment aider les concepteurs à sélectionner des méthodes de conception adaptées à un projet donné ?** ».



**Figure 36 : Enoncé de la problématique**

Nous avons vu précédemment que le processus de sélection des méthodes peut être formalisé sous l'angle de la théorie de la décision (§ 2.4.1.4). Ainsi, en utilisant le verbe « **aider** », nous faisons référence ici au développement d'une « aide à la décision », d'une « aide au choix » des méthodes.

Cette aide est destinée à être utilisée par un public d'industriels, et plus particulièrement par des **concepteurs** (concepteurs et/ou chefs de projets). En effet, nous visons, au travers le développement d'un système d'aide à la décision, un support opérationnel et un support tactique dans l'aide au choix (§ 2.2.4.1).

L'implémentation des méthodes de conception a été formalisée en un processus en cinq phases (§ 2.4.1.4). Nous considérons que la sélection inclue les deux premières phases de ce processus, que sont l'analyse de la situation et la sélection à proprement parler des méthodes. Le verbe « **sélectionner** » a été préféré au verbe « choisir » dans la formulation de l'hypothèse, car donne plus de corps à la question. Ces deux verbes sont néanmoins utilisés dans ce document comme synonymes. Cette sélection (ou ce choix), s'entend de deux manières distinctes. Tout d'abord, il s'agit de répondre au besoin du concepteur qui souhaite connaître quelles sont les méthodes à adopter pour une tâche en particulier. Il s'agit également de répondre au besoin du concepteur/chef de projet qui souhaite coordonner et agencer les activités (méthodes) entre elles.

La définition adoptée pour « **méthodes de conception** » est identique à celle proposée précédemment (§ 2.1.1.3). Ainsi, lorsque nous parlons de « méthodes », nous nous en référons aux étages inférieurs de la pyramide des théories et méthodologies de conception (Figure 10) : le mot « méthode » est alors utilisé comme synonyme des deux autres termes « outil » et « technique ».

L'expression « **adaptées à un projet donné** » indique que toutes les méthodes de conception ne conviennent pas à l'ensemble des projets. En effet, une méthode est jugée « adaptée » ou « adéquate » en regard des particularités du projet en question. En choisissant les méthodes, nous visons la recherche de l'efficacité (qui concerne l'articulation entre les résultats et les objectifs) et de l'efficience (qui se distingue de l'efficacité par l'articulation entre les moyens et les résultats) (Maranzana, 2009). Ainsi, l'optimisation du processus de conception s'entend ici comme la recherche d'une adéquation entre les caractéristiques intrinsèques des méthodes (§ 2.4.3.2) et les spécificités du projet (§ 2.4.3.1).

Le système d'aide au choix des méthodes de conception n'a pas pour ambition de se substituer aux logiciels de gestion de projet déjà présents sur le marché. Au contraire, cet outil est imaginé pour compléter l'offre déjà existante d'outils d'aide à la coordination et au pilotage du processus de conception tels que les outils de planification (type MS Project ou autres).

Finalement, nous résumons le périmètre de notre recherche à la figure suivante (Figure 37).

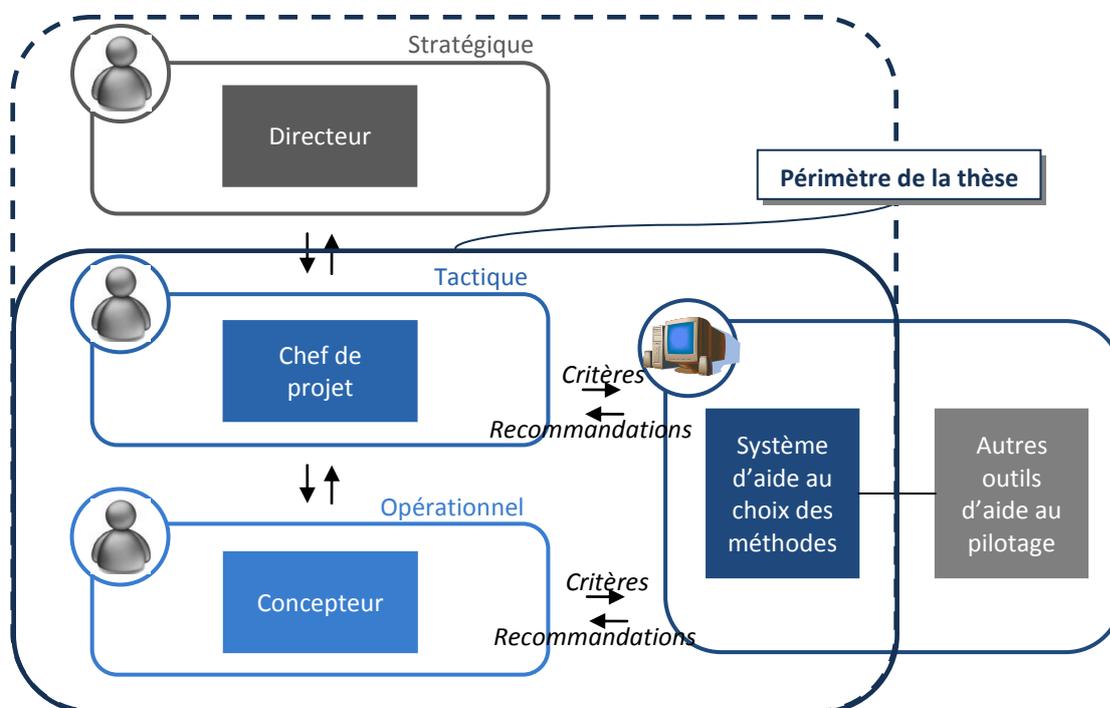


Figure 37 : Périmètre de la thèse

## 3.2 Hypothèses de modélisation

### 3.2.1 Hyp 1 : Support des données descriptives et prescriptives

Nous pensons qu'une méthode de conception sera jugée adaptée ou non en référence au contexte dans lequel se déroule le projet. Cela suppose que chaque méthode et chaque projet de développement de produits dispose de caractéristiques qui leur est propres, et que la comparaison de ces propriétés permettent de désigner quelles sont les méthodes adéquates pour quel projet particulier.

Partant de ce postulat, cela implique que le futur système d'aide au choix des méthodes doit disposer de données de nature **descriptive** pour pouvoir décrire le contexte projet et les méthodes disponibles, ainsi que des données de nature **prescriptive** pour être à même d'émettre des recommandations quant aux méthodes pertinentes à adopter (Figure 38).

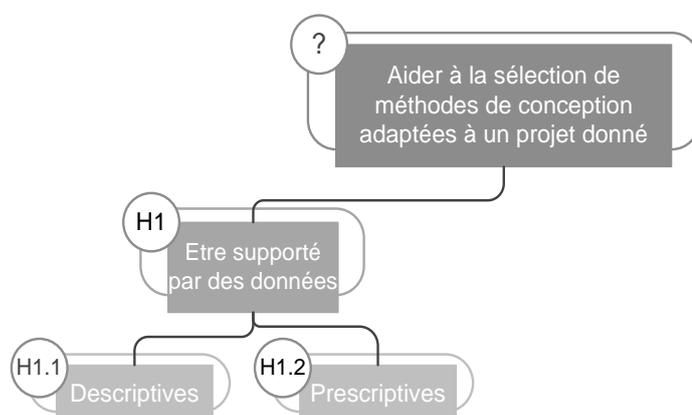


Figure 38 : Hypothèse de modélisation n°1

#### 3.2.1.1 Sous-Hyp 1.1 : La description du contexte et des méthodes

La notion de « description » n'est pas sans faire référence au mécanisme basé sur le **concept d'attributs** de certains guides existants d'aide au choix des méthodes de conception (Braun and Lindemann, 2003, Franke and Deimel, 2004). Nous pensons en effet que ce mécanisme est le plus adapté pour aider à la sélection de méthodes appropriées à un projet donné.

Nous pensons également qu'au moment du choix des méthodes, le concepteur (ou le chef de projet) fait référence à deux espaces : un **espace-problème** relatif au **contexte projet** dans lequel se déroule l'étude ; et un **espace-solution** en lien avec l'ensemble des **méthodes de conception** disponibles et utilisables pour résoudre le problème posé. Ce concept d'« espace-problème » et d'« espace-solution » fait écho aux recherches menées en ingénierie de la conception, en particulier celles de (Dorst and Cross, 2001) qui ont modélisé la phase créative de recherche de solutions des concepteurs comme un modèle co-évolutif des deux espaces (problème et solution).

Finalement, pour pouvoir guider au mieux la sélection des méthodes de conception, nous émettons l'hypothèse qu'il est nécessaire de clarifier au préalable les **spécificités du contexte** projet et les **caractéristiques des méthodes** de conception, à l'aide d'une série de descripteurs (couple attributs/valeurs).

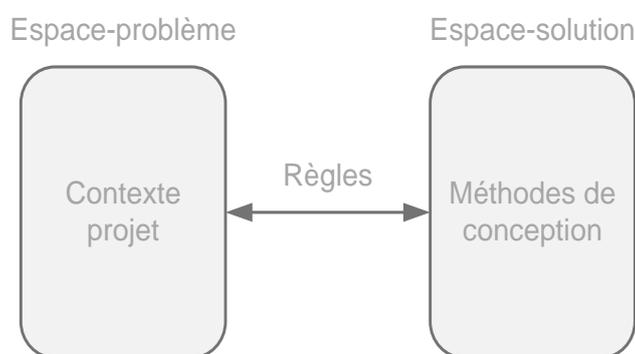
### 3.2.1.2 Sous-Hyp 1.2 : La prescription par les règles

Nous supposons l'existence de **règles** régissant le choix des méthodes de conception et permettant de tisser un lien entre d'un côté l'espace-problème, celui du contexte projet, et de l'autre l'espace-solution, celui des méthodes de conception disponibles.

Ce concept de lien dressant un pont entre les deux entités contexte et méthodes s'inspire notamment des travaux antérieurs du laboratoire, en particulier ceux de [\(Vadcard, 1996\)](#).

### 3.2.1.3 Bilan sur l'hypothèse n°1

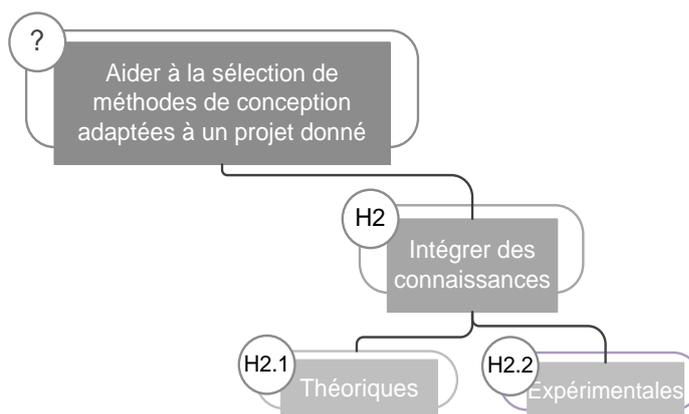
Finalement, nous pensons que l'aide au choix de méthodes de conception appropriées résulte d'une correspondance (ou *matching*) entre ces deux espaces, *matching* réalisé par le biais de règles. Ainsi, aider à la sélection des méthodes implique le support de données descriptives et prescriptives **(Figure 39)**.



**Figure 39 : Règles et espaces problème et solution**

### 3.2.2 Hyp 2 : Intégration des connaissances théoriques et expérimentales

L'hypothèse n°2 nous permet de combiner à la fois une approche déductive dans le choix des méthodes de conception, en se basant sur le savoir théorique accumulé dans le domaine de l'ingénierie de la conception, mais également une approche inductive, via le retour d'expérience **(Figure 40)**. Ce croisement entre les deux raisonnements est nécessaire pour aider au choix.



**Figure 40 : Hypothèse de modélisation n°2**

### 3.2.2.1 Sous-Hyp 2.1 : Approche déductive et connaissances théoriques

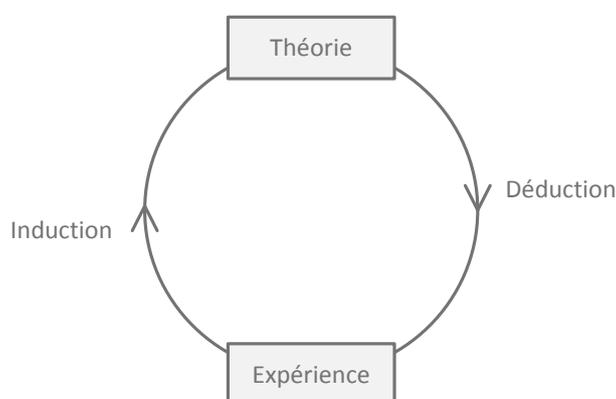
Une première voie pour aider à la sélection des méthodes est de se baser sur les **connaissances théoriques** issues de l'ingénierie de la conception et des domaines de recherche connexes. Ainsi, le support au choix des méthodes est réalisé via une **approche déductive** qui consiste à déduire du *corpus* de connaissances théoriques disponibles dans la littérature, les méthodes de conception à utiliser sur les projets.

### 3.2.2.2 Sous-Hyp 2.2 : Approche inductive et connaissances expérimentales

L'approche déductive présentée précédemment est d'un support limité pour l'aide au choix des méthodes si elle n'est pas combinée avec une **approche inductive**. En effet, une partie des connaissances est issue du retour d'expérience acquis sur les projets antérieurs. Il est nécessaire de faire référence à ces connaissances expérimentales pour aider les concepteurs à sélectionner des méthodes de conception appropriées.

### 3.2.2.3 Bilan sur l'hypothèse n°2

Ainsi, aider à la sélection des méthodes nécessite l'intégration de connaissances théoriques et expérimentales (**Figure 41**).



**Figure 41 : Bilan de l'hypothèse n°2**

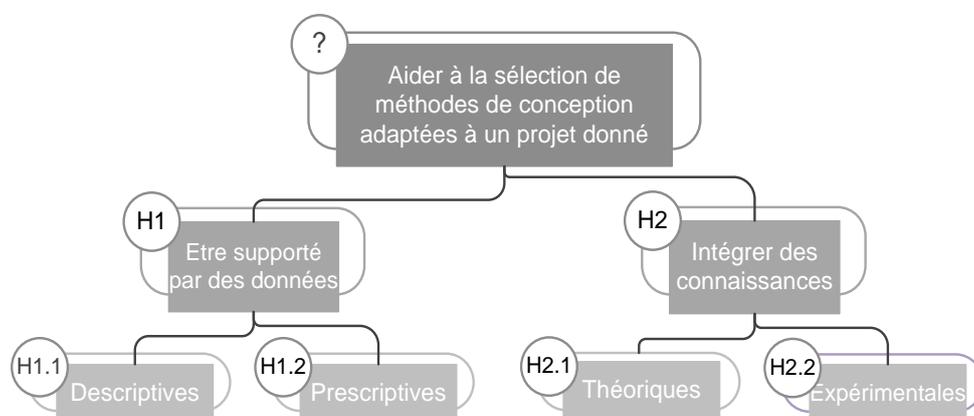
### 3.3 Synthèse de la problématique et des hypothèses

La problématique de ce travail de recherche a pu être énoncée de la manière suivante : « **Comment aider les concepteurs à sélectionner des méthodes de conception adaptées à un projet donné ?** ».

Nous proposons, comme réponse anticipée à la problématique, un jeu de deux hypothèses se déclinant chacune en deux sous-hypothèses. La première hypothèse concerne la **nature des données**. En effet, pour pouvoir choisir des méthodes de conception appropriées, le concepteur doit au préalable clarifier les tenants, aboutissants et contraintes s'exerçant sur le projet. Cette clarification suppose d'être en mesure de caractériser précisément le contexte dans lequel se déroule l'étude et les méthodes disponibles pour cadrer le processus. La description de ces deux éléments est nécessaire mais insuffisante pour guider le concepteur dans sa prise de décision. Ainsi, il devra également disposer de données prescriptives qui, s'appuyant sur la description du contexte et des méthodes, l'orienteront dans sa décision. Finalement, aider au choix des méthodes implique le support de données **descriptives** et **prescriptives**.

La deuxième hypothèse se concentre sur l'**origine des connaissances** à mettre en œuvre au moment du choix. En effet, l'ingénierie de la conception dispose d'un *corpus* de connaissances solides sur lequel il est indispensable de se référer lors de la sélection des méthodes de conception. Ce savoir théorique offre un cadre de référence et donne les grandes orientations en matière de choix. Ensuite, de manière à ce que la sélection soit sur-mesure par rapport au cas considéré, il convient de se rapporter au savoir-faire, c'est-à-dire aux connaissances d'ordre expérimental issues du retour d'expérience des projets antérieurs. Finalement, aider au choix des méthodes nécessite l'intégration de connaissances **théoriques** et **expérimentales**.

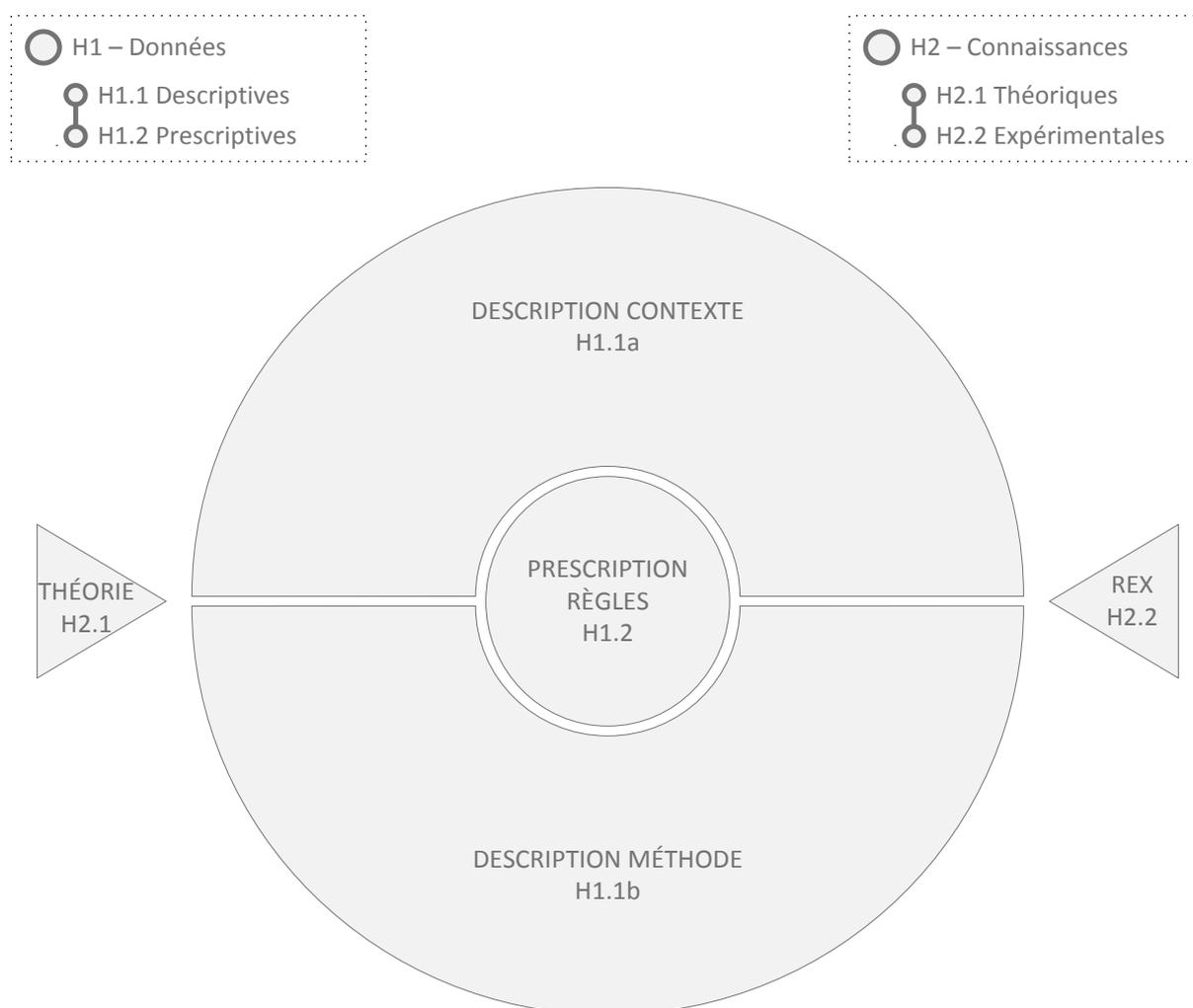
L'ensemble des éléments de la problématique et des hypothèses de modélisation proposées dans le cadre de ce travail de recherche est résumé à la figure suivante (**Figure 42**).



**Figure 42 : Synthèse de la problématique et des hypothèses**

### 3.4 Proposition d'un prémodèle

L'énoncé de la problématique et des hypothèses de modélisation nous permet de proposer un prémodèle d'aide au choix des méthodes de conception (**Figure 43**). Ce prémodèle est constitué de trois entités : un espace problème représenté par le contexte ; un espace solution correspondant aux méthodes ; et une zone permettant de faire le lien entre ces deux espaces matérialisée par règles. Ces entités incluent des données descriptives contenues dans les zones contexte et méthodes (**sous-hypothèses H1.1a et H1.1b**), et des données prescriptives contenues dans les règles (**sous-hypothèse H1.2**). La prescription par les règles est réalisée via l'intégration des connaissances théoriques (**sous-hypothèse H2.1**) et expérimentales (**sous-hypothèse H2.2**).



**Figure 43 : Prémodèle d'aide à la sélection des méthodes de conception**

## **4 Construction du modèle et proposition d'un outil**



## Introduction

Notre recherche s'intéresse à la problématique de sélection des méthodes de conception dans le cadre de projets industriels. Nous visons essentiellement deux objectifs : celui de modéliser l'aide à la sélection des méthodes ; et celui de développer un outil d'assistance aux concepteurs et chefs de projet.

Pour ce faire, nous avons appliqué une méthodologie de recherche inspirée du modèle de processus de conception de produits nouveaux du laboratoire dans lequel nous réalisons nos travaux.

Ainsi, notre démarche expérimentale s'articule en quatre étapes clé allant de la traduction du besoin à l'évaluation de la solution, en passant par l'interprétation du besoin et le développement de la solution. A la fin de cette expérimentation, nous devons aboutir à l'enrichissement du prémodèle introduit précédemment.

## 4.1 Objectifs de l'expérimentation

Dans la partie expérimentale de ce travail de recherche, nous souhaitons apporter une réponse nouvelle et originale à la question posée dans la problématique (§ 3.1).

En effet, nous avons extrait de l'état de l'art notre problématique de recherche centrée sur la sélection des méthodes de conception et deux hypothèses de modélisation en lien avec les données et connaissances mises en jeu au moment du choix. Nous disposons donc en entrée de cette expérimentation d'un **besoin identifié** ainsi que d'un **prémodèle** d'aide à la sélection.

Ce prémodèle, une fois enrichi, devra permettre le développement d'un outil d'assistance aux concepteurs et de la **validation des hypothèses** proposées.

Ainsi, nous poursuivons deux objectifs majeurs. Le premier, sur le plan pratique, nous amène au **développement d'un outil informatique** à destination des concepteurs et chefs de projet destiné à les assister dans le choix des méthodes. Le deuxième, sur le plan théorique, nous conduit à la **création d'un modèle d'aide à la sélection des méthodes de conception**. Les deux objectifs sont bien entendu intrinsèquement liés et s'enrichissent mutuellement.

Les **questions de recherche** soulevées par la littérature et auxquelles nous souhaitons répondre sont les suivantes :

- Comment est réalisée la sélection des méthodes de conception en développement de produits nouveaux ? Quels en sont les enjeux et les difficultés ?
- Dans quel cadre convient-il d'outiller les concepteurs dans cette entreprise ?
- Quelles sont les données et connaissances manipulées par les concepteurs dans cette activité ?
- Quels sont les paramètres du contexte et des méthodes à prendre en compte lors de la sélection ?
- Comment structurer ces données et connaissances au sein d'un même outil pour assister les concepteurs dans cette tâche ?
- Et enfin, comment développer *in fine* un guide d'aide à la sélection des méthodes de conception à destination des concepteurs et chefs de projet ?

Ainsi, partant de la compréhension fine du problème, jusqu'à la définition et l'évaluation de l'outil proposé, nous mettons en place une démarche expérimentale (**Figure 44**) basée sur le **modèle Aoussat (Aoussat, 1990)**.

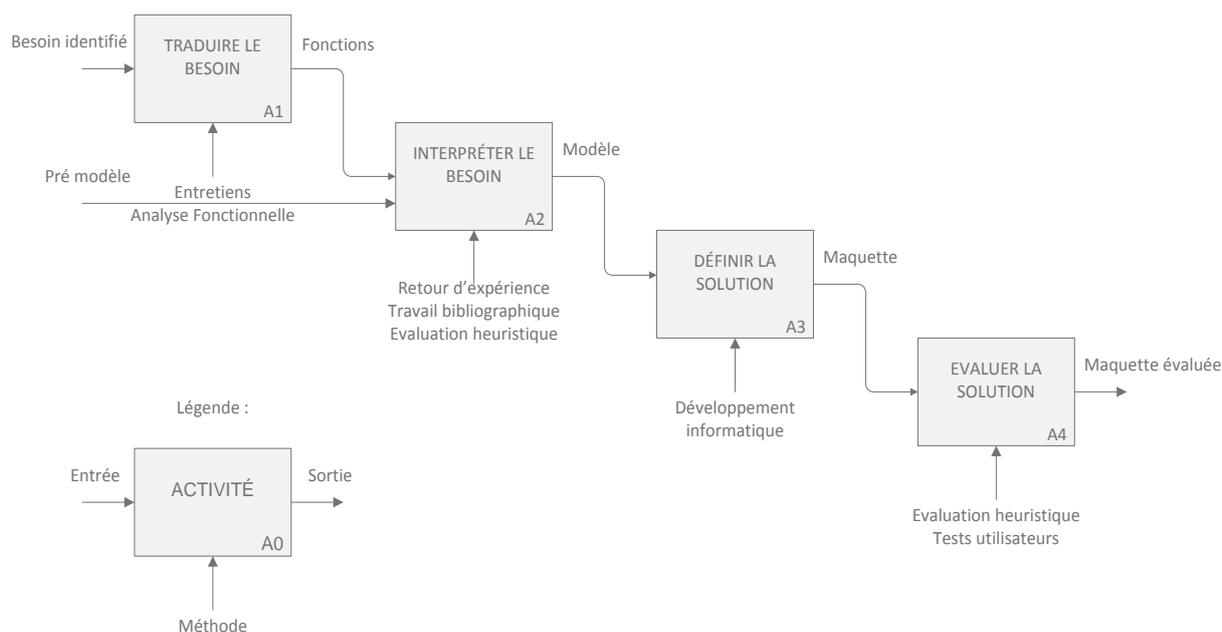


Figure 44 : Démarche expérimentale adaptée de (Aoussat, 1990)

L'étape de **traduction du besoin** nous amène, à partir d'une enquête menée sur le terrain, à définir les fonctions auxquelles doit répondre le futur système. Elle aboutit à une compréhension approfondie du problème et nous amène ainsi à préciser le rôle clé des données et connaissances dans l'activité de sélection des méthodes. L'étape d'**interprétation du besoin** nous permet d'enrichir le prémodèle, de caractériser les données et les connaissances mises en œuvre, et d'aboutir à un modèle exploitable pour le développement informatique de l'outil. L'étape de **définition de la solution** nous conduit à développer l'outil sur la base du modèle proposé et de parvenir à la création d'une maquette fonctionnelle. Enfin, l'étape d'**évaluation de la solution**, nous permet de réaliser un rebouclage avec la théorie et de conclure sur la pertinence du modèle et des hypothèses associées en réponse à la problématique d'aide à la sélection des méthodes de conception.

## 4.2 Traduction du besoin

### 4.2.1 Objectif de l'étape 1

Cette première étape de l'expérimentation vise à obtenir une **connaissance approfondie de l'activité des concepteurs en matière de sélection des méthodes** (Figure 45). Plus précisément, nous souhaitons recueillir sur le terrain et définir de manière précise le besoin des utilisateurs du système d'aide au choix. Pour cela, nous devons au préalable valider le besoin d'un tel système et définir le champ d'action de ce dernier. Finalement, au travers de l'étape n°1 de notre expérimentation, nous visons essentiellement trois objectifs : la validation du besoin utilisateurs, la définition du périmètre d'application du système d'aide au choix des méthodes (utilisateurs cibles ; cas d'utilisation) et la définition des spécifications fonctionnelles. Ce travail a fait l'objet d'une communication à la conférence internationale IDMME (Lahonde et al., 2010a).

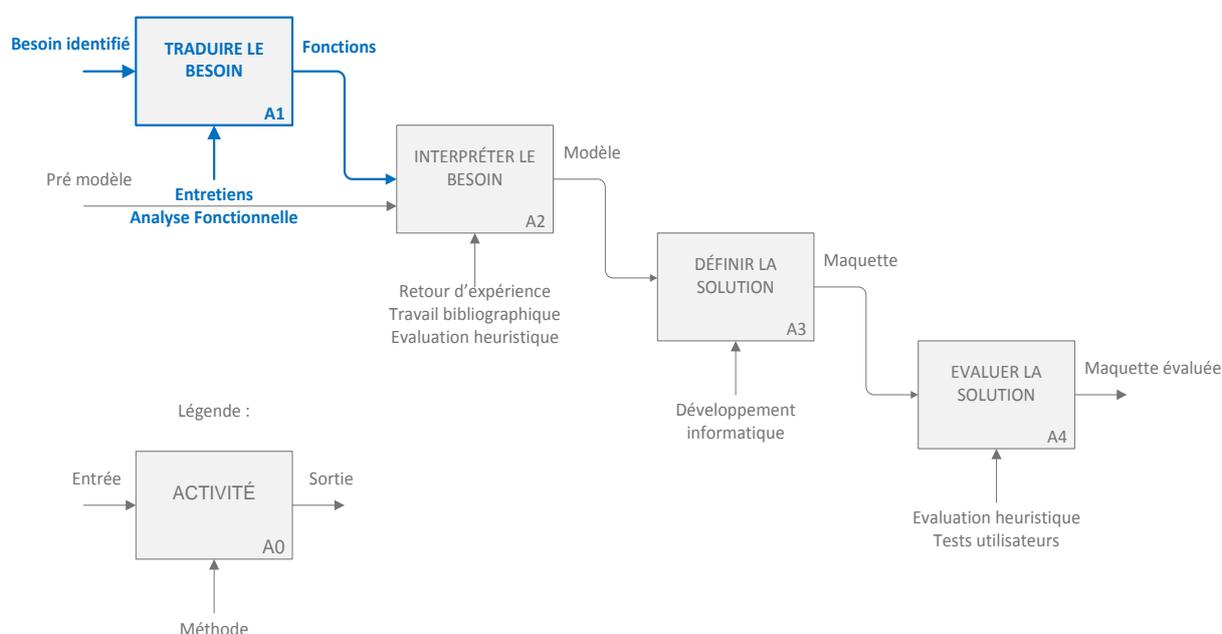


Figure 45 : Traduction du besoin

### 4.2.2 Entretiens avec les utilisateurs

#### 4.2.2.1 Méthode

Etant donné l'importance de cette première étape de l'expérimentation, une attention toute particulière a été accordée au choix de la méthode de recherche.

Nous souhaitons dégager les attentes des futurs utilisateurs du système d'aide. Dans une optique de conception centrée sur l'utilisateur, nous envisageons de nous adresser directement à eux. Plusieurs méthodes s'offrent alors à nous (Brangier and Barcenilla, 2003) : les groupes de discussion, l'entretien semi-dirigé, le questionnaire ou l'observation.

Un groupe de discussion, ou *focus group*, se compose d'une dizaine d'utilisateurs s'exprimant librement sur un produit ou service durant une séance de deux heures environ, le tout coordonné par un animateur. Cette méthode exige de la part des utilisateurs une connaissance minimale du produit ou service à évaluer. Or, à ce stade de l'expérimentation, nous ne savons pas quels sont les systèmes d'aide au choix des méthodes utilisés par les utilisateurs et même, si il en existe effectivement dans leur environnement de travail. Ainsi, nous excluons pour cette expérimentation l'utilisation des groupes de discussion comme méthode de recueil du besoin.

Lors d'une observation directe, l'analyste observe une situation réelle et collecte l'ensemble des données en lien avec l'activité de l'utilisateur. Cette technique ne s'applique qu'à l'étude des expertises ayant de fortes composantes comportementales ou gestuelles. Or, en ce qui concerne l'activité de sélection des méthodes de conception, le concepteur raisonne et prend sa décision sans manifester une quelconque activité extérieure. Ainsi, l'observation perd tout son intérêt : nous excluons par conséquent cette méthode pour le recueil du besoin.

L'entretien et le questionnaire sont deux méthodes utilisées classiquement en conception. Malgré leurs avantages avérés (expertise minimale de l'expérimentateur et ressources limitées pour la mise en œuvre des méthodes dans leur version de base), elles comportent elles aussi certaines limites. D'une part, elles impliquent toujours un décalage dans le temps et dans l'action, si bien qu'elles entraînent une vision déformée des connaissances. D'autre part, certains biais liés à l'évocation explicite des faits sont à noter. Les données de sortie de ces deux techniques sont de nature différente : l'entretien vise l'obtention de données qualitatives alors que le questionnaire aboutit à des données quantitatives exploitables statistiquement. Dans notre étude, nous souhaitons obtenir une vision fine de l'activité des concepteurs et chefs de projet en matière de choix des méthodes. Nous visons l'obtention de données qualitatives non vouées à l'analyse statistique, ce qui nous oriente vers le choix de la méthode d'entretien. De plus, les entretiens sont particulièrement adaptés lorsque l'on souhaite recenser les besoins des utilisateurs.

Finalement, nous choisissons l'**entretien** dit **semi-dirigé** pour le recueil des besoins utilisateurs. Ce type d'entretien a été préféré aux entretiens dirigés car autorise plus de flexibilité et de liberté dans les échanges entre l'expérimentateur et l'interviewé.

#### **4.2.2.2 Participants**

Les participants à cette étude ont été soigneusement sélectionnés de manière à être représentatif de la population ciblée pour l'utilisation du système d'aide à la sélection des méthodes.

L'échantillon est composé de **22 participants** ayant tous une activité en conception de produits nouveaux. La moitié d'entre eux sont des membres du laboratoire (enseignants-chercheurs, ingénieurs d'étude et de recherche, doctorants). La taille de l'échantillon a été choisie en fonction de la méthode de recueil de besoins sélectionnée, c'est-à-dire l'entretien.

Nous avons vu précédemment que nous pouvions catégoriser les acteurs de la conception en trois niveaux (§ 2.2.4.1) : les concepteurs, les chefs de projet et les directeurs. Comme nous l'avons déjà précisé, nous nous sommes positionnés sur deux **niveaux hiérarchiques**, en l'occurrence les concepteurs et chefs de projet. C'est la raison pour laquelle notre échantillon se compose majoritairement de ces deux classes à savoir : 9 concepteurs, 5 chefs de projet et 7 participants ayant la double mission concepteur et chef de projet. De manière à vérifier la pertinence de notre positionnement, nous avons ajouté à notre échantillon un directeur d'un service de développement de produits nouveaux dans une entreprise.

Lors des entretiens, nous souhaitons déterminer s'il existe une différence entre les attentes des novices et celles des experts. Ainsi, nous avons interrogé des acteurs ayant un **nombre d'années d'expérience** variable : quatre participants ont entre 1 et 3 ans d'expérience en conception de produits nouveaux ; trois ont entre 3 et 5 ans d'expérience ; six ont entre 5 et 10 ans d'expérience et neuf participants possèdent plus de 10 années d'expérience. Etant donné que les interviewés doivent s'exprimer sur leurs attentes en terme d'aide au choix des méthodes de conception, un minimum d'un an expérience en conception est requis pour pouvoir faire partie de l'échantillon.

Certains acteurs peuvent avoir été sensibilisés aux méthodes de conception, soit dans le cadre de leur parcours scolaire, soit par le biais de formations dans leurs entreprises, soit avoir développé spontanément un intérêt particulier pour le sujet. La majorité des participants interrogés dispose au préalable d'une certaine **sensibilité** aux méthodologies de conception de produits, ce qui les rend plus réceptifs à notre discours et donc plus enclins à répondre à nos questions. Pour déterminer dans quelle mesure cette sensibilité joue un rôle dans la perception des besoins utilisateurs et pour justifier les éventuelles réticences à l'égard du système d'aide au choix des méthodes que nous envisageons de développer, nous avons interrogé quelques personnes n'ayant aucune sensibilité *a priori* à l'égard des méthodologies de conception. Ainsi, 19 participants avaient une sensibilité avérée pour les méthodes de conception et les 3 autres, aucune sensibilité *a priori*.

L'activité de conception de produits nouveaux est par nature pluridisciplinaire. Elle regroupe donc des acteurs de profils variés que nous nommons « métier ». Trois **métiers** sont représentés dans cet échantillon. Il s'agit du métier d'ingénieur fortement représenté avec 18 ingénieurs sur les 22 participants, 2 ergonomes, 1 designer et 1 marqueteur. Nous justifions la forte représentation du

métier d'ingénieur par le fait qu'il existe une grande disparité entre les spécialités de l'ingénierie (mécanique, électrotechnique, hydraulique, etc.). D'autre part, dans le cadre de la conception de produits nouveaux, les ingénieurs (plus que les acteurs des autres disciplines) sont appelés à être chef de projet. Or, les chefs de projet font partie intégrante des utilisateurs cibles du système d'aide au choix des méthodes. Il est donc indispensable qu'ils soient correctement représentés.

Le contexte varie considérablement d'un projet à un autre. Ainsi, les besoins des acteurs intégrés dans ces environnements particuliers peuvent être variables selon les cas. Pour prendre en compte cette disparité, nous nous sommes adressés à des acteurs issus d'**entreprises de tailles** diverses : de la micro, petite et moyenne entreprise, aux grands groupes ([European Commission, 2003](#)).

D'autre part, nous nous sommes également adressés à des entreprises de **secteurs** divers. Par exemple, nous avons interrogé des acteurs issus du domaine du transport à dominante technique et à forte valeur ajoutée (automobile, ferroviaire), des acteurs du secteur du luxe à dominante style et à forte valeur ajoutée (luminaire), des acteurs du monde du packaging (parfum, emballage) concevant des produits de plus faible valeur ajoutée et fabriqués en de grande quantité ou encore des acteurs appartenant à des sociétés de consulting disposant d'une culture transverse à plusieurs secteurs.

En définitive, six variables indépendantes ont été utilisées pour la constitution du panel : niveau hiérarchique, années d'expérience, sensibilité aux méthodologies de conception, métier de l'interviewé, et enfin, taille de l'entreprise et son secteur industriel ([Tableau 12](#)).

N°	Niveau hiérarchique	Années d'expérience	Sensibilité*	Métier	Taille entreprise	Secteur
1	Chef de projet	5ans < x < 10ans	Oui	Ingénieur	Petite entreprise	Consulting
2	Chef de projet	5ans < x < 10ans	Oui	Ingénieur	Petite entreprise	Consulting
3	Concepteur	> 10ans	Oui	Ingénieur	Petite entreprise	Consulting
4	Concepteur	1an < x < 3ans	Oui	Ingénieur	Petite entreprise	Sécurité
5	Concepteur	3ans < x < 5ans	Oui	Ergonome	Petite entreprise	Consulting
6	Concepteur	> 10ans	Oui	Ingénieur	Petite entreprise	Consulting
7	Concepteur	1an < x < 3ans	Oui	Ingénieur	Grande entreprise	Automobile
8	Concepteur	3ans < x < 5ans	Oui	Marketeur	Petite entreprise	Consulting
9	Chef de projet	> 10ans	Oui	Designer	Petite entreprise	Consulting
10	Chef de projet	5ans < x < 10ans	Oui	Ergonome	Petite entreprise	Consulting
11	Concepteur	3ans < x < 5ans	Oui	Ingénieur	Grande entreprise	Chaudière
12	Concepteur	1an < x < 3ans	Oui	Ingénieur	Grande entreprise	Parfum
13	Concepteur	1an < x < 3ans	Oui	Ingénieur	Grande entreprise	Automobile
14	Chef de projet	> 10ans	Oui	Ingénieur	Petite entreprise	Consulting
15	Chef de projet ; Concepteur	5ans < x < 10ans	Oui	Ingénieur	Petite entreprise	Consulting
16	Chef de projet ; Concepteur	5ans < x < 10ans	Oui	Ingénieur	Grande entreprise	Luminaire
17	Chef de projet ; Concepteur	> 10ans	Oui	Ingénieur	Grande entreprise	Sécurité
18	Chef de projet ; Concepteur	> 10ans	Non	Ingénieur	Grande entreprise	Compresseur
19	Chef de projet ; Concepteur	5ans < x < 10ans	Oui	Ingénieur	Moyenne entreprise	Emballage
20	Chef de projet ; Concepteur	> 10ans	Non	Ingénieur	Moyenne entreprise	Lunetterie
21	Chef de projet ; Concepteur	> 10ans	Non	Ingénieur	Grande entreprise	Automobile
22	Directeur	> 10ans	Oui	Ingénieur	Grande entreprise	Ferroviaire

\*Sensibilité aux méthodes de conception

**Tableau 12 : Profils des participants**

### 4.2.2.3 Matériel

La matériel utilisé pour donner un cadre aux échanges entre l'expérimentateur et l'interviewé est un **guide d'entretien** construit autour de quatre thématiques. Chaque thématique est formulée autour d'une question unique. Des questions de relance sont associées à chacune de ces questions et permettent à l'expérimentateur de relancer l'interviewé si le participants n'aborde pas spontanément toutes les facettes de la question.

Une prise de note classique de type **papier-crayon** a été utilisée pour garder une traçabilité des échanges. De plus, lorsque cela été rendu possible (techniquement et avec l'accord de l'interviewé), un enregistrement sonore à l'aide d'une **clé usb enregistreuse** a été réalisé pour permettre une écoute ultérieure de l'entretien.

### 4.2.2.4 Procédure

Les entretiens sont réalisés de préférence en **face-à-face**. Si les contraintes logistiques et géographiques ne le permettent pas, les entretiens se déroulent par téléphone. Au total, trois entretiens se sont déroulés par téléphone, contre dix-neuf en face-à-face.

Avant le démarrage de l'entretien, l'expérimentateur **remet en contexte** la recherche menée au sein du laboratoire, celle menée dans le cadre de la thèse de doctorat et **explique les objectifs** de l'entretien vis-à-vis de cette dernière. Lorsque l'entretien débute, l'expérimentateur demande à la personne interviewée de se remémorer un projet de conception sur lequel elle a collaboré. **L'étude de cas est choisie** librement par le participant. La seule restriction est que le projet sélectionné doit être suffisamment récent de manière à assurer la précision des informations échangées. Dès que l'étude de cas est choisie, l'expérimentateur suit **l'enchaînement des thématiques** et pose tour à tour les quatre questions inscrites dans le guide d'entretien (**Tableau 13**). Au fil des échanges, l'expérimentateur reformule les réponses de l'interviewé pour s'assurer de sa compréhension et pose au besoin des questions de relance pour balayer chaque thématique dans leur globalité.

Thématique	Sujets abordés
Thématique n°1	Illustration du processus de conception sur une étude de cas
Thématique n°2	Méthodes de conception utilisées
Thématique n°3	Difficultés rencontrées
Thématique n°4	Réflexions autour de l'outil

**Tableau 13 : Sujets abordés dans chaque thématique**

Pour chaque thématique abordée, les éléments importants sont **pris en note** par l'expérimentateur.

Au global, la durée de l'entretien est d'approximativement **45 minutes**.

#### 4.2.2.5 Données recueillies

La **thématique n°1** donne l'occasion à la personne interviewée de détailler, sur un exemple de son choix, le **processus de développement de produits nouveaux** de son entreprise. Aucune donnée spécifique n'est recueillie à ce niveau. Nous prenons néanmoins en note les caractéristiques de chaque étude de cas sélectionnée pour s'assurer de la représentativité des projets de conception et donc la représentativité du panel des participants.

Sur la base de cet exemple, la **thématique n°2** aborde les aspects méthodologiques à proprement parler : **Combien** de méthodes ont été utilisées ? **Quelles** sont-elles ? **Pourquoi** ont-elles été choisies au détriment des autres et **par quel moyen** ? **Qui** a décidé et validé ce choix ? Et à **quel moment** la prise de décision a-t-elle eu lieu ? Ainsi, cette thématique nous donne la possibilité d'avoir une vision globale de l'activité de sélection des méthodes de conception.

La **thématique n°3** traite des **difficultés** éventuellement rencontrées par l'interviewé. En particulier, cette thématique donne l'occasion de revenir de manière précise sur les difficultés apparues au moment de la sélection des méthodes, les insatisfactions probables à la suite de la mise en œuvre des méthodes choisies, et enfin, sur les freins à la capitalisation des connaissances méthodologiques acquises sur les projets.

En abordant la **thématique n°4**, l'expérimentateur demande à l'interviewé si, compte tenu des échanges précédents, il perçoit ou non un **intérêt** à disposer d'un outil d'aide à la sélection des méthodes de conception. Le participant se positionne alors de manière positive, négative ou neutre vis-à-vis de la question posée.

L'expérimentateur demande alors au participant d'apporter des précisions et des justifications pour étayer sa réponse. Ces précisions complémentaires portent sur la **cible envisagée** pour ce type de système et sur le **champ d'application** de l'outil notamment en ce qui concerne le type de conception, d'après la classification de (Serrafero, 2008), ainsi que la nature de l'innovation (style, usage, technique, etc.).

Cet échange est alors l'occasion pour la personne interrogée d'imaginer à quoi ressemblerait le système d'aide à la sélection des méthodes de conception idéal et quelles en seraient les **fonctions attendues**.

#### 4.2.2.6 Résultats obtenus

##### 4.2.2.6.1 Thématique n°1 : Illustration du processus de conception sur une étude de cas

Comme il a été précisé précédemment, aucune donnée n'a fait l'objet de recueil précis pour cette thématique. En effet, celle-ci avait pour unique fonction de permettre à la personne interviewée de se remettre en mémoire les détails du projet de conception sélectionné. Il est toutefois important de souligner la grande **disparité des études de cas** choisies, ce qui nous assure la **représentativité de notre échantillon** utilisé pour cette étape (**Tableau 14**).

Projet	Objectif	Res sources	Type conception	Nature innovation	Produit	Marché	Contrainte
1	Prototype	+	Incrémentale	Technique, Usage	Appareil	Niche	Coût
2	Prototype	+	Incrémentale	Technique	Fontaine	Etendu	Coût
3	Maquette	+	Incrémentale	Technique, Usage	Ustensile	Etendu	Coût
4	Maquette	+	Incrémentale	Technique	Équipement	Niche	Coût
5	Validation	+	Rupture	Usage	Logiciel	Niche	Délai
6	Concept	++	Rupture	Technique	Container	Etendu	Coût
7	Maquette	+	Rupture	Technique, usage	Connectique	Etendu	Sécurité
8	Concept	+	Rupture	Usage	Cabine	Etendu	Coût
9	Concept	++	Rupture	Style	Habitacle	Etendu	Coût
10	Maquette	+	Incrémentale	Style	Table	Niche	Coût
11	Prototype	+	Incrémentale	Technique	Chaudière	Etendu	Coût
12	Concept	+	Incrémentale	Usage	Packaging	Etendu	Délai
13	Maquette	+	Incrémentale	Technique, Usage	Connectique	Etendu	Sécurité
14	Concept	+++	Rupture	Technique	Capsule	Etendu	Sécurité
15	Prototype	++	Rupture	Technique	Équipement	Niche	Sécurité
16	Prototype	+	Incrémentale	Technique, Style	Lampe	Niche	Délai
17	Maquette	++	Rupture	Technique	Vanne	Niche	Sécurité
18	Prototype	+++	Rupture	Technique	Compresseur	Niche	Délai
19	Prototype	++	Incrémentale	Technique, Usage	Conserve	Etendu	Coût
20	Prototype	+	Incrémentale	Technique, Style	Lunette	Etendu	Délai
21	Validation	+++	Incrémentale	Technique	Boîte de vitesse	Etendu	Sécurité
22	Concept	+++	Rupture	Technique	Voie ballastée	Niche	Sécurité

**Tableau 14 : Caractéristiques des 22 études de cas**

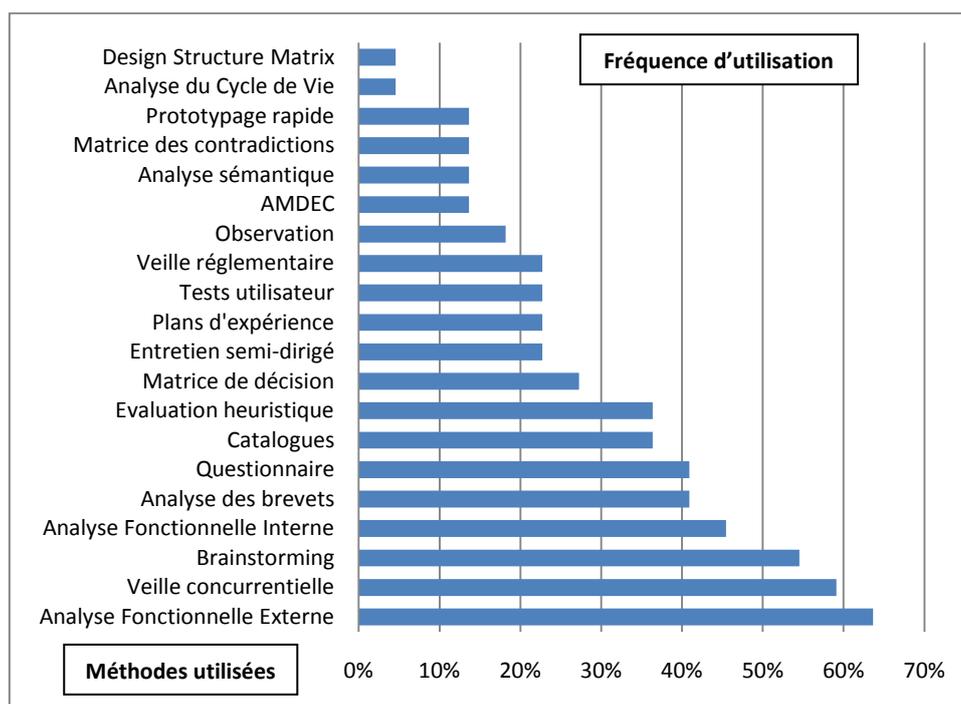
##### 4.2.2.6.2 Thématique n°2 : Méthodes de conception utilisées

Sur les 22 études de cas, **plus de 80 méthodes** de conception **distinctes** ont été utilisées. Elles sont très différentes des unes des autres. Certaines sont centrées sur l'analyse du besoin (questionnaire, entretien semi-dirigé, etc.), d'autres se focalisent sur la recherche d'information (veille concurrentielle, veille réglementaire, analyse de brevets, etc.), d'autres encore se positionnent sur la génération d'idées (*brainstorming* et ses variantes, carte mentale, matrice de découverte, etc.).

En **moyenne, 20 méthodes** ont été citées par projet (écart type à 6,4). En considérant un ensemble fini de 80 méthodes de conception (nombre total de méthodes citées), une sélection de 20 méthodes **correspond au quart des possibilités**.

La **fréquence** de citation, et donc **d'utilisation** des méthodes de conception, est extrêmement **variable** d'une méthode à une autre. Ainsi, l'Analyse Fonctionnelle Externe a obtenu le score le plus

élevé avec 64% de fréquence d'utilisation (14 citations sur les 22 études de cas), suivi de près par la veille concurrentielle avec un score de 59%. A l'extrême inverse, plus de 20% des méthodes n'ont été utilisées qu'une à deux fois. C'est le cas par exemple de l'Analyse du Cycle de Vie, de la matrice de découverte ou de la *Design Structure Matrix*. Autrement dit, sur les 81 méthodes citées, **aucune n'a été systématiquement utilisée** sur tous les projets. Pour illustrer nos propos, le niveau de fréquence d'utilisation a été tracé pour un échantillon représentatif de 20 méthodes de conception (**Figure 46**).

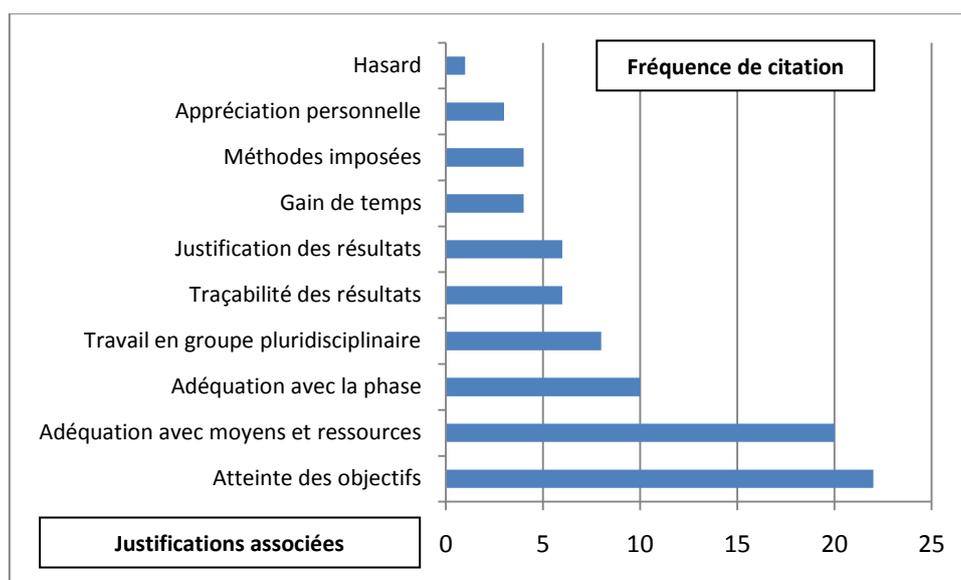


**Figure 46 : Fréquence d'utilisation des méthodes de conception sur les projets**

Cette première analyse nous permet de dresser un premier constat. Au vu du nombre élevé de méthodes existantes, de leur extrême diversité et considérant qu'aucune d'elles ne peut être utilisée systématiquement sur tous les projets, on se représente beaucoup mieux la **nécessité** et la **difficulté** inhérente à l'activité de **sélection des méthodes de conception**. Ce résultat est cohérent avec celui de (Araujo, 2001), selon lequel, au sein d'une même entreprise, les méthodes supportant les processus varient considérablement d'un projet à un autre.

A la question du « **pourquoi** avoir utilisé ces méthodes de conception précisément ? », plusieurs types de réponses ont été apportés (**Figure 47**). Certaines concernent les avantages des méthodes avec en premier lieu le fait de pouvoir **atteindre les objectifs** fixés. Certains participants ont également mentionné la possibilité de travailler en mode projet avec une **équipe pluridisciplinaire**, mais aussi la possibilité de **garder une trace** des résultats et de les **justifier** auprès de ses interlocuteurs. Ces éléments mettent ici en avant la rigueur associée à l'utilisation des méthodes.

D'autres encore, ont cité un **gain de temps** inhérent à l'emploi des méthodes. Dans une autre perspective, les personnes interviewées ont largement fait référence à l'**adéquation** des méthodes avec les **moyens** et les **ressources**. En effet, le déploiement des méthodes nécessite un investissement dans certains cas matériel, mais dans tous les cas un investissement temporel, humain, etc. La mise en œuvre de certaines méthodes nécessite aussi certaines connaissances préalables et une expertise méthodologique spécifique. Certaines personnes ont à ce titre fait référence à un comportement opportuniste dans le choix des méthodes : les méthodes utilisées sont celles dont on dispose immédiatement. L'adéquation avec la **phase** du processus de conception a également été citée. Ce critère soulève la notion de temporalité lors du choix des méthodes. Enfin, d'autres personnes ont mentionné le fait que certaines méthodes pouvaient leur être **imposées**. D'autres encore, ont évoqué le fait qu'elles correspondaient tout simplement à un **goût personnel**, ou même que le choix était tout simplement le fruit du **hasard**. Ainsi, on retrouve en filigrane de ces réponses les avantages associés aux méthodes, mais également leurs critères de choix en lien avec le contexte et leurs caractéristiques intrinsèques.

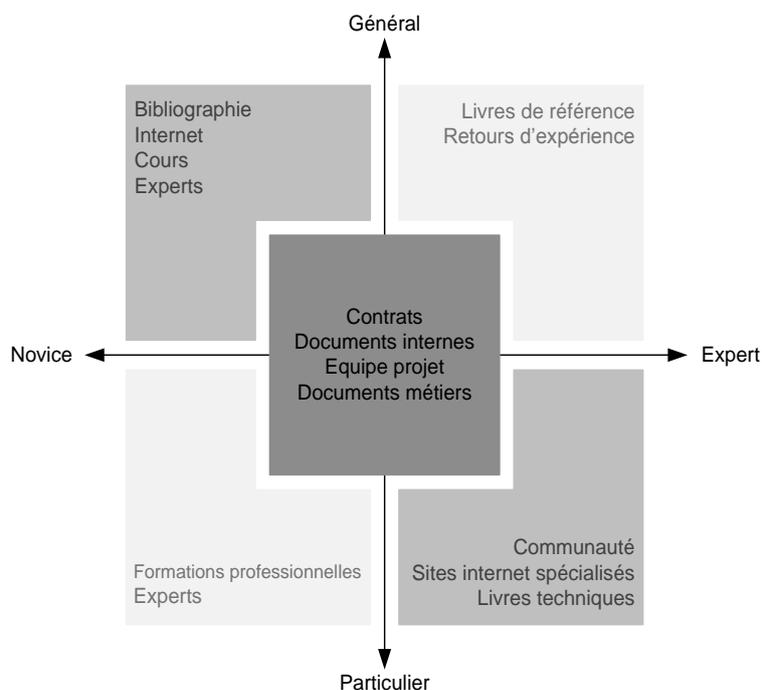


**Figure 47 : Justifications associées au choix des méthodes**

Comme il vient d'être mentionné, certaines méthodes peuvent être imposées. Ainsi, il arrive que la personne qui décide ne soit pas celle qui exécute la méthode. Ce constat soulève la notion de **responsabilité du choix** des méthodes qui peut être tantôt **individuelle**, tantôt **collective**. Elle met également en lumière le **rôle des parties prenantes** qui peuvent être nombreuses sur certains projets (concepteur, chef de projet, client, fournisseur, collaborateur, etc.). Néanmoins, les résultats des entretiens indiquent deux cibles majeures pour un aide au choix des méthodes : celle des concepteurs et celle des chefs de projets.

La question du **moment** du choix des méthodes est importante puisqu'elle permet de dégager deux étapes clés de sélection. Au **démarrage du projet** tout d'abord, le concepteur et/ou chef de projet se projette dans la planification des actions et des tâches à réaliser pour atteindre les objectifs fixés. **En cours du projet** ensuite, lorsque les acteurs doivent répondre aux contraintes extérieures et s'adapter à la nouvelle situation (manque de temps et de moyens, changement des objectifs, etc.). Ce résultat est cohérent avec celui de (Araujo, 2001) qui indique que les méthodes utilisées (ainsi que les allocations des ressources humaines, temporelles, etc.) sont choisies en avance (approche de « conception du processus de conception »), mais aussi décidées en cours de projet (« chemin faisant »). L'activité de sélection des méthodes joue également un rôle au moment de la capitalisation des connaissances. En effet, la fin du projet peut donner lieu à des retours d'expérience qui pourront être réexploités sur d'autres projets.

Le dernier aspect abordé dans cette thématique concerne les éléments qui ont permis aux personnes responsables de la sélection de s'orienter vers un choix de méthodes. Les résultats des entretiens permettent de positionner les différentes **sources d'information** utilisées pour aider à la sélection des méthodes de conception selon **deux axes (Figure 48)**. L'axe **horizontal** représente le **degré d'expertise** de l'utilisateur : l'extrémité gauche de l'axe correspond au statut de **novice**, l'extrémité droite fait référence au statut d'**expert**. L'axe **vertical** se focalise sur le **type d'information recherchée** : l'extrémité haute correspond à la recherche d'une information **générale**, l'extrémité basse à la recherche d'une information **particulière**.



**Figure 48 : Sources d'information utilisées pour aider au choix des méthodes**

On observe alors l'existence de **cinq catégories** distinctes. D'une part, figurent au **centre** de la figure les sources d'informations **partagées** par tous les utilisateurs, qu'ils soient novices ou experts. On retrouve dans cette classe quatre sources distinctes : les contrats, les documents internes, les membres de l'équipe projet et les documents métiers. Les **contrats** précisent quels doivent être les livrables remis en cours et en fin de projet. Ces livrables orientent vers un choix de méthodes. Par exemple, la remise au jalon d'avant-projet du Cahier des Charges Fonctionnel aiguille vers la sélection de la méthode d'Analyse Fonctionnelle. Les informations recueillies dans ce type de source sont de nature générale. Les **documents internes**, quand ils existent, peuvent également amener vers un choix de méthodes particulières. Il s'agit de documents décrivant les processus de développement de produits et précisant à chaque étape quelles doivent être les méthodes à utiliser. Ces documents permettent alors l'obtention d'informations générales sur le choix des méthodes. Il peut également exister des documents dont le périmètre est beaucoup plus restreint, comme par exemple, une synthèse des méthodes de créativité utilisables avec pour chacune d'elle, une fiche descriptive et un tableau comparatif à la fin. Ils permettent, dans ce cas, de recueillir des données précises permettant de désigner quelle doit être la ou les méthode(s) à adopter. Les membres de **l'équipe projet** jouent également un rôle important lors du choix, les méthodes pouvant par moment être appliquées par plusieurs individus. C'est le cas par exemple des méthodes d'analyse de risque telle l'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC) qui peut impliquer de nombreux acteurs. Enfin, les **documents métiers**, centrés sur un domaine d'expertise bien particulier, permettent de récolter des informations spécifiques sur une certaine classe de méthodes. On peut citer à titre d'exemple le rapport de l'INERIS ([INERIS, 2006](#)) qui concerne les méthodes d'analyse des risques en installations industrielles.

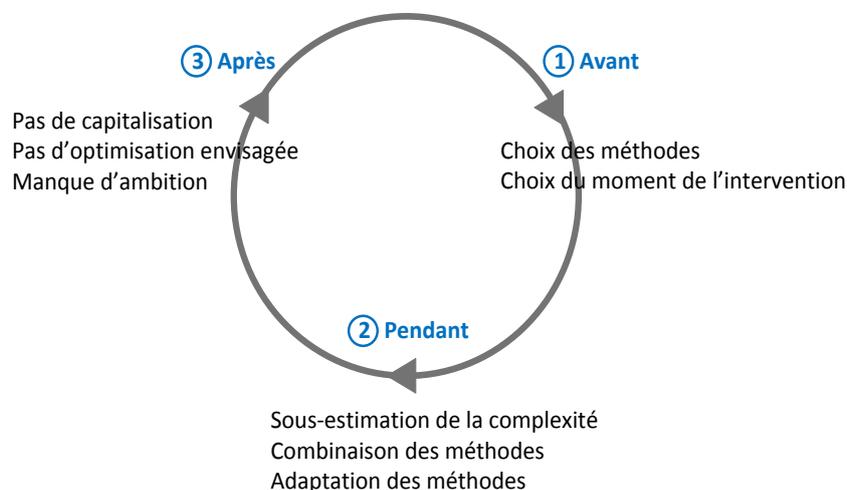
En **haut à gauche** du schéma, figurent les sources utilisées par les novices pour la recherche d'information générale. On retrouve dans cette classe quatre sources relativement génériques : la recherche bibliographique, la recherche d'information sur internet, les recueils et résumés de cours ainsi que la consultation d'experts. Inversement, les sources d'informations apparaissant en **bas à gauche** sont utilisées par les novices pour la recherche d'information spécifiques. Elles sont relativement pauvres puisqu'elles font seulement apparaître deux sources : les formations professionnelles et la consultation d'experts.

En **haut à droite** de la figure, apparaissent les sources d'information utilisées par les experts pour une recherche d'information générale, et en **bas à droite**, celles utilisées pour la recherche d'éléments particuliers. On observe, contrairement au cas des novices, un bon équilibre entre les sources d'information générales et particulières. De plus, ces sources sont beaucoup plus précises et focalisées que celles citées par les novices.

Globalement, les sources d'information citées correspondent à celles relevées par (Allen et al., 2000) cité par (Hicks et al., 2002). Ainsi, nous relevons un manque d'assistance au choix des méthodes pour un public novice (éparpillement des sources d'information et besoin d'informations spécifiques).

#### 4.2.2.6.3 Thématique n°3 : Difficultés rencontrées

Les **difficultés rencontrées** apparaissent à différents moments du projet (Figure 49). Premièrement, les concepteurs ressentent des difficultés **avant** le démarrage du projet dans la sélection des méthodes mais aussi dans le choix du moment de leur intervention. **Pendant** le projet, certains se rendent compte qu'ils ont sous-estimés les difficultés liées à l'application des méthodes sélectionnées, d'autres ont du mal à combiner les méthodes choisies entre elles (les logiques de conception peuvent être extrêmement variables d'une méthode à une autre), et enfin, certains ressentent des difficultés à adapter les méthodes à leur cas particulier. Troisième et dernier point, **après** le déroulement du projet, les personnes interviewées observent qu'il n'existe pas de capitalisation des connaissances méthodologiques acquises sur le projet, alors que ces dernières pourraient être partagées avec des collègues travaillant sur d'autres projets. Ils font également le constat qu'ils ne savent pas comment optimiser d'un point de vue méthodologique leur processus de conception. D'autre part, certains mentionnent le manque d'ambition dans le choix et l'utilisation des méthodes au vu des résultats obtenus.

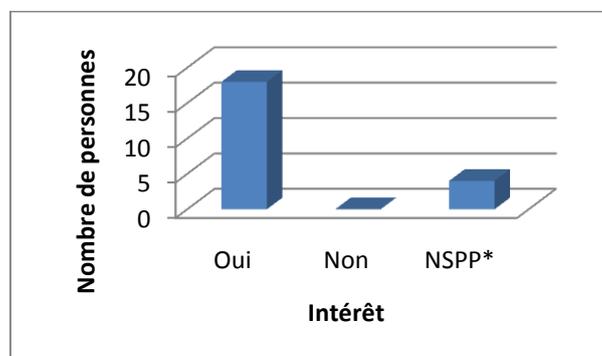


**Figure 49 : Difficultés rencontrées**

Ainsi, les résultats recueillis dans cette thématique semblent nous conforter dans l'idée qu'il existe effectivement un **besoin d'assistance à la sélection des méthodes** de conception.

## 4.2.2.6.4 Thématique n°4 : Réflexions autour de l'outil

**18 individus sur 22 perçoivent un intérêt** pour un guide d'aide au choix des méthodes de conception. Seules **4 personnes** restent encore **dubitatives** et demandent à tester le système après développement pour être à même de répondre à cette question (**Figure 50**).

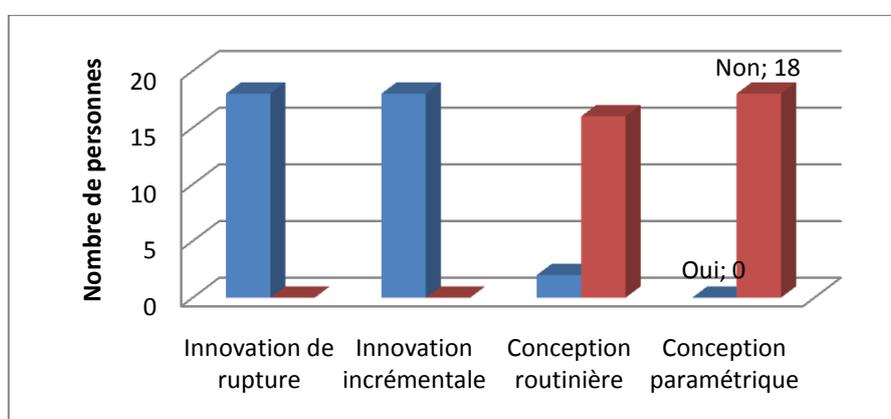


\*NSPP = Ne se prononce pas

**Figure 50 : Intérêt perçu d'un système d'aide au choix des méthodes**

Lors des échanges, les personnes interrogées ont désigné les **concepteurs** et **chefs de projet novices** comme étant le **cœur de cible** du futur système d'aide au choix des méthodes (cible dont les attentes pour ce type d'outil sont les plus fortes). Ceci exclut donc les experts de la cible. Hormis cette considération, tous les métiers (designers, ergonomes, ingénieurs, marqueteurs), de toutes entreprises et de tous secteurs confondus se sont sentis concernés par le besoin de ce type d'outil.

Sur les **18 individus** ayant perçu un intérêt pour un tel système, tous s'accordent à dire que le **champ d'application** de l'outil se centrerait sur la **conception innovante** (incrémentale ou de rupture), par opposition à la reconception (routinière ou paramétrique), d'après la classification de (**Serrafero, 2008**) (**Figure 51**). De plus, au vu des résultats des échanges, il semblerait que les personnes interrogées ne perçoivent *a priori* **aucune restriction du champ d'application de l'outil d'aide au choix des méthodes quant à la nature de l'innovation** (style, usage, etc.).



**Figure 51 : Intérêt du système vis-à-vis du type de conception**

#### 4.2.2.7 Discussion

A la question de l'intérêt du système d'aide au choix des méthodes de conception, plus de 80% de la population interrogée réserve un accueil positif à ce type d'outil d'aide à la décision. Seules quatre personnes sur les vingt-deux interrogées se sont abstenues de répondre. Parmi ces quatre personnes figure le seul Directeur d'un service de développement de produits interrogé. Ces résultats permettent d'asseoir notre positionnement sur une cible de **concepteurs et chefs de projet**. De plus, en mettant en regard le profil des individus avec leur réponse, nous avons constaté une **corrélation entre une sensibilité avérée pour les méthodes de conception et une réponse positive à l'intérêt du système**. Ainsi, il se peut que les personnes dubitatives envers un tel outil le soient par manque de conviction envers les méthodologies de conception au sens large du terme.

Les résultats des entretiens montrent qu'il y a plus d'attentes envers un système d'aide au choix des méthodes de conception pour les concepteurs novices que pour les concepteurs experts. Cette distinction entre novices et experts est classiquement utilisée dans la recherche en conception (Ho, 2001). Dans le cadre de cette étude, on entend par « **novice** » tout individu dont le savoir méthodologique n'excède pas le niveau des connaissances du modèle SRK (Skills Rules Knowledge) de Rasmussen (Rasmussen, 1974). A ce niveau, le concepteur raisonne uniquement à partir d'un savoir théorique. Il n'est donc pas en mesure d'intégrer un quelconque savoir-faire dans le choix et l'application d'une méthode particulière, ni aucune règle ou procédure. Il est important de mentionner ici qu'à tout moment de sa carrière professionnelle, le concepteur peut basculer dans un profil « novice ». En effet, les pressions s'exerçant sur le processus peuvent conduire le concepteur à s'orienter vers des méthodologies dont il n'a pas, ou peu, de connaissance. Ainsi, on veillera à **ne pas confondre le statut de novice ou d'expert avec le nombre d'années d'expérience** en conception et développement de produits.

Les conceptions de type innovation incrémentale ou de rupture se sont révélées plus appropriées à l'utilisation du système d'aide au choix des méthodes, par opposition aux conceptions routinières ou paramétriques. En effet, lorsqu'on innove, on sort du cadre connu et maîtrisé par l'entreprise. Ce cas d'utilisation justifie alors complètement le fait de s'interroger sur quelles doivent être les **méthodes à adopter pour cadrer le processus de conception et assurer le succès de l'innovation**.

Dans la partie qui suit, nous abordons très succinctement l'Analyse Fonctionnelle qui a été réalisée à partir des données recueillies lors des entretiens. Cette analyse permet d'extraire les fonctions principales et contraintes du futur système d'aide à la sélection des méthodes de conception à développer.

### 4.2.3 Analyse Fonctionnelle

Les résultats des entretiens semi-dirigés précédents permettent de **valider le besoin** d'aide à la sélection des méthodes pour une population de concepteurs et de chefs de projet novices.

Le recueil des besoins permet également de définir un **cycle de vie** en trois étapes pour la phase d'utilisation de l'outil. La première étape correspond à l'**initialisation** du système au moment du démarrage du projet, c'est-à-dire la « conception du processus de conception ». La deuxième étape concerne la **mise à jour** des données lors de l'avancement du projet. Et enfin, la troisième et dernière étape se centre sur la **capitalisation** et le retour d'expérience acquis sur les projets achevés.

Chacune de ces étapes sont génératrices d'attentes qui peuvent être traduites en **fonctions principales et contraintes** regroupées sur la pieuvre ci-après (Figure 52).

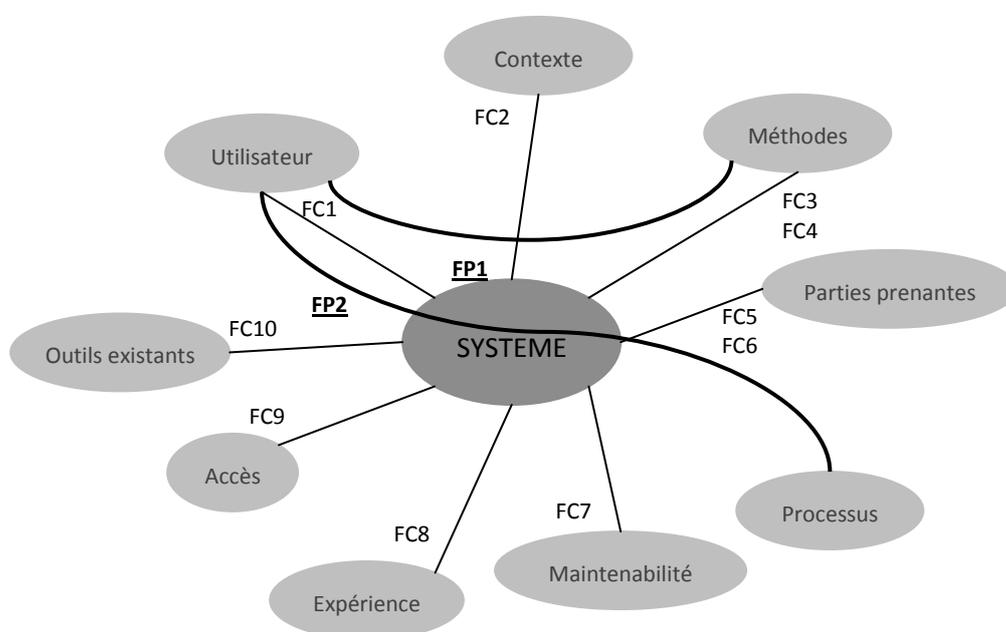


Figure 52 : Pieuvre du système d'aide au choix des méthodes

Deux **fonctions principales** attendues se distinguent (Tableau 15) : la première concerne la **recherche de méthodes** de conception adaptées au contexte projet ; la deuxième se focalise sur la **construction d'un processus** de conception approprié mettant en jeu l'agencement des méthodes entre elles. La recherche de méthodes peut ainsi s'apparenter à une présélection de méthodes, et la construction du processus de conception à la sélection définitive tenant compte de l'enchaînement et de la compatibilité des méthodes entre elles.

N°	Enoncé des fonctions
FP1	Permettre à l'utilisateur de rechercher des méthodes de conception appropriées
FP2	Permettre à l'utilisateur de construire un processus de conception adapté
FC1	Etre adapté à l'utilisateur
FC2	Proposer des réponses adaptées au contexte
FC3	Décrire les méthodes
FC4	Disposer d'une base de données de méthodes
FC5	Convaincre les parties prenantes
FC6	Etre adapté au travail collectif et pluridisciplinaire
FC7	Etre maintenable
FC8	Favoriser le retour d'expérience
FC9	Etre accessible
FC10	Etre compatible avec les autres outils de gestion de projet existants

**Tableau 15 : Enoncé des fonctions principales et contraintes du système**

Les **fonctions contraintes** sont au nombre de dix. « **Etre adapté à l'utilisateur** » signifie que le système doit prendre en compte l'expérience méthodologique du concepteur, mais aussi ses habitudes et ses préférences. « **Proposer des réponses adaptées au contexte** » renvoie à la pertinence d'une méthode vis-à-vis des caractéristiques du projet. De manière à mieux appréhender les réponses fournies par le système, l'outil devra « **Décrire les méthodes** ». Le guide devra également « **Disposer d'une base de données de méthodes** » représentatives de l'activité du concepteur. Il devra permettre à l'utilisateur de « **Convaincre les parties prenantes** » qui pourront être des collègues, des supérieurs hiérarchiques ou bien des clients. Il devra aussi « **Etre adapté au travail collectif et pluridisciplinaire** » et « **Etre maintenable** » pour pouvoir être évolutif dans le temps (intégrer de nouvelles connaissances, étendre la base de données, etc.). Nous avons pu observer l'importance de la capitalisation d'expérience : il devra donc « **Favoriser le retour d'expérience** » acquis sur les projets antérieurs. Enfin, il devra « **Etre accessible** » dans le sens où chacun pourra consulter librement les informations et « **Etre compatible avec les autres outils de gestion de projet existants** » puisque le futur outil s'intégrera dans un univers avec d'autres systèmes en place.

Finalement, l'Analyse Fonctionnelle nous a permis de cerner les fonctions attendues du système.

#### 4.2.4 Conclusion de l'étape 1

Les participants à cette étude ont répondu positivement à la question de l'intérêt d'un outil d'aide à la décision supportant les acteurs de la conception dans la sélection des méthodes. Ainsi, le **besoin d'un guide d'aide à la sélection des méthodes de conception** est **validé**.

Ces entretiens ont également permis de nous conforter dans le choix de la population cible : **concepteurs** et **chefs de projet**. Cette cible a par ailleurs pu être affinée. En effet, il semblerait que les individus **novices** parmi ces deux types de population constituent notre cœur de cible.

Les résultats de ces entretiens ont permis de dresser un périmètre d'utilisation du futur système. L'outil d'aide au choix des méthodes de conception semble convenir **quelque soit la nature de l'innovation** considérée. *A contrario*, il semblerait que le futur système soit plus opportun dans les cas d'**innovations incrémentales ou de rupture** plutôt qu'en conception routière ou paramétrique.

Aussi, les **fonctions principales et contraintes** attendues dans l'utilisation du système d'aide au choix des méthodes ont pu être listées. Deux fonctions principales ressortent de cette étude : celle de recherche de méthodes, et celle de construction du processus de conception.

En définitive, la population interrogée a réservé un bon accueil à l'idée du développement d'un système d'aide au choix des méthodes de conception, ce qui nous permet d'aborder sereinement les prochaines étapes de l'expérimentation.

## 4.3 Interprétation du besoin

### 4.3.1 Objectif de l'étape 2

Partant des fonctions extraites des entretiens précédents (§ 4.2.3) et du prémodèle proposé à l'issue de l'analyse bibliographique (§ 3.4), l'objectif de cette seconde étape de l'expérimentation est d'aboutir à un **modèle d'aide à la sélection des méthodes de conception** en vue du développement informatique d'une application à destination des concepteurs et chefs de projet (Figure 53).

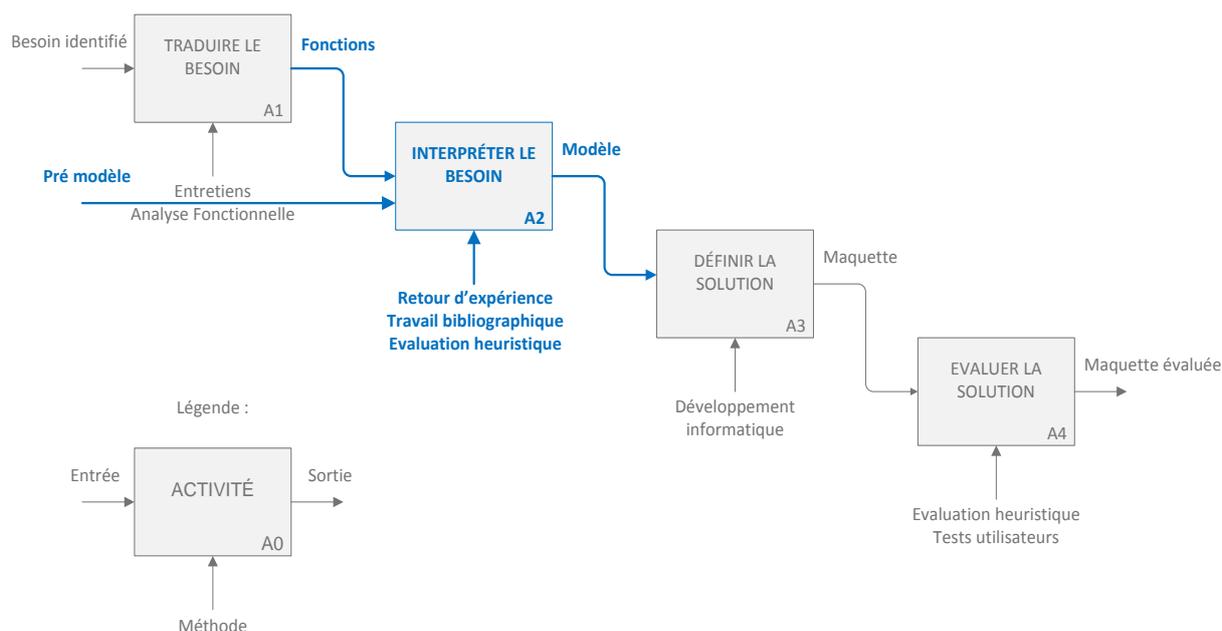


Figure 53 : Interprétation du besoin

D'après notre hypothèse n°1, notre modèle se structure en trois entités : deux entités descriptives (contexte et méthode) et une entité prescriptive (règles). Selon notre hypothèse n°2, les connaissances qui alimentent ce modèle sont d'origine théorique et expérimentale. Ainsi, nous avons fait appel à une combinaison de trois méthodes de recherche dite de triangulation (Bryman, 2003). Les connaissances expérimentales sont extraites à partir d'une approche inductive via l'**analyse a posteriori** de 15 rapports de projet de conception. Elles se focalisent sur la description du contexte. Les connaissances théoriques, issues d'une approche déductive réalisée via **analyse bibliographique** de la littérature existante et de l'**évaluation heuristique** des experts, sont essentiellement tournées sur la description des méthodes. Les trois méthodes de recherche (analyse a posteriori, travail bibliographique et évaluation heuristique) concourent à l'établissement des règles régissant le choix des méthodes de conception. Les résultats sont alors combinés pour construire le **modèle** d'aide à la sélection des méthodes (Figure 54).

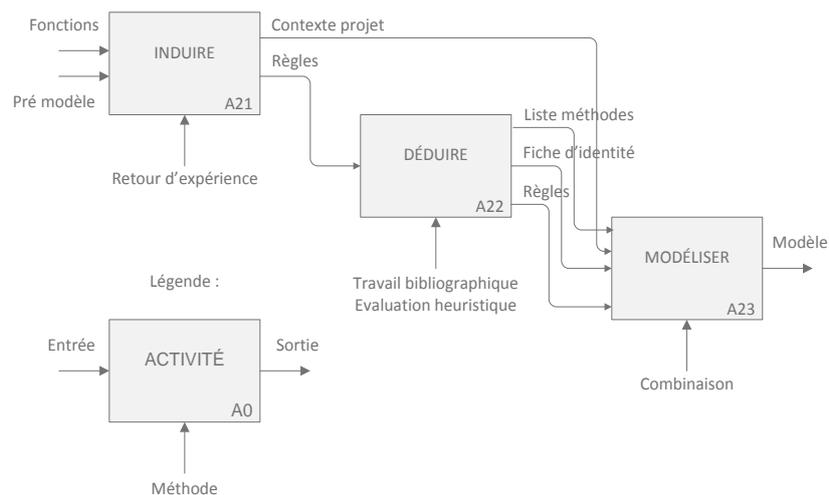


Figure 54 : Détail de l'étape d'interprétation du besoin

## 4.3.2 Retour d'expérience

### 4.3.2.1 Objectifs

Les objectifs de cette première partie de l'étape d'interprétation du besoin sont au nombre de deux. D'une part, nous souhaitons modéliser le contexte projet. Ce travail doit ainsi aboutir à l'établissement du **modèle de contexte projet** qui constitue une des deux entités descriptives du modèle global d'aide au choix des méthodes de conception. D'autre part, nous visons à établir une première base de **règles** régissant le choix des méthodes (Figure 55).

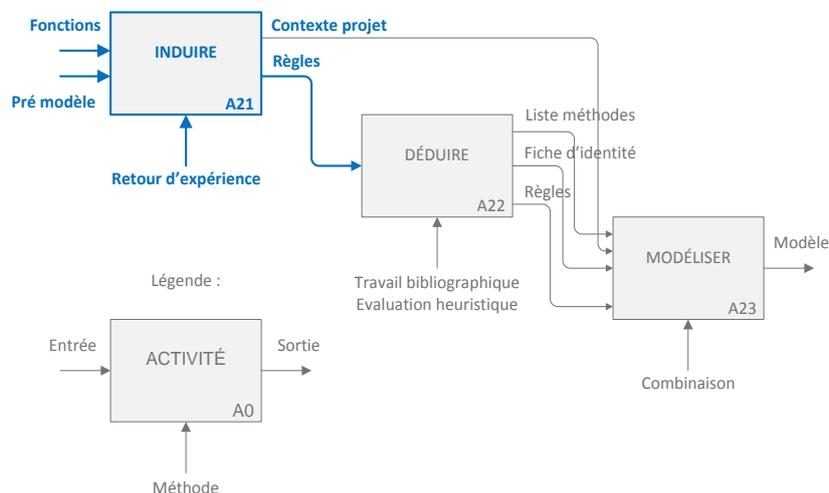


Figure 55 : Objectifs de l'approche inductive

### 4.3.2.2 Procédure

Pour déterminer quelles sont les caractéristiques du contexte projet mises en jeu lors de la sélection des méthodes de conception, nous avons fait appel à la méthode du **retour d'expérience**. Nous avons ainsi réalisé une analyse a posteriori de 15 projets de conception issus de diverses industries et

conduit par des étudiants designers, ergonomes et ingénieurs du Master Recherche « Innovation Conception Ingénierie » du laboratoire.

Une tâche préliminaire à ce travail de recherche a été de modéliser dans ses grandes lignes le contexte dans lequel se déroulent les projets de conception. Ce modèle, inspiré des travaux de **(Hales and Gooch, 2004)** présentés précédemment (§ 2.4.3.1), se compose de **six dimensions** (concepteur ; processus ; projet ; entreprise ; marché ; environnement). Ceci a permis dans un deuxième temps la sélection des 15 études de cas à analyser. A la lecture des rapports de projet, nous avons d'abord collecté l'ensemble des données pertinentes pour l'interprétation du choix des méthodes et la description du contexte. Ces données ont ensuite été catégorisées puis analysées sur un plan quantitatif et qualitatif. Les résultats de ces analyses nous permettent d'extraire les critères (attributs) et valeurs du contexte projet pertinents pour guider les concepteurs dans leur choix de méthodes ainsi que de découvrir les premières règles de sélection.

#### **4.3.2.3 Matériel**

Le **modèle de contexte projet en six dimensions** a joué, tout au long de ce travail, un rôle fondamental : de la sélection des études de cas à l'extraction des données (filtrage des projets et des données) ; et de l'analyse quantitative à l'analyse qualitative (catégorisation des données).

Un échantillon de **15 rapports de projet** de conception a été utilisé pour cette analyse a posteriori. La sélection de ce matériel est une étape importante car elle conditionne en grande partie la validité des résultats obtenus par la suite. Ainsi, pour choisir précisément les 15 projets, nous nous sommes référés à chacune des dimensions du contexte projet définies précédemment.

La dimension **processus**, tout d'abord, nous assure que les données extraites des rapports soient comparables entre elles. En effet, nous avons choisi des projets couvrant les mêmes phases du processus de conception (de l'idée à la maquette). Le lecteur pourra en particulier se reporter au modèle Aoussat **(Aoussat, 1990)** qui délimite le cadre de ce processus. Les autres dimensions assurent la représentativité des projets de conception choisis pour cette analyse. Ainsi, la dimension **concepteur** précise la formation de l'individu en charge du développement de produits (designer, ergonomes, ingénieur). La dimension **projet** fait apparaître deux paramètres : le type d'innovation visé, d'après la typologie de Markides et Geroski dans **(Markides and Geroski, 2004)** (innovation incrémentale, stratégique, majeure ou radicale), et le domaine d'utilisation du futur produit (transport, médical, etc.). La dimension **entreprise** fait référence au type d'entreprise dans lequel se déroule le projet, d'après la définition de la Commission Européenne **(European Commission, 2003)** (micro, petite, moyenne entreprise ou grand groupe). Enfin, la dimension **marché** fait référence au type de marché auquel est destiné le produit à concevoir (marché de niche ou étendu).

Le tableau suivant récapitule les **caractéristiques du contexte projet** des 15 projets de conception sélectionnés pour l'analyse a posteriori (**Tableau 16**) :

Projet	Formation	Innovation	Domaine	Produit	Entreprise	Marché
1	Designer	Majeure	Habitat	Télécommande	Moyenne	Tous
2	Designer	Radicale	Sécurité	Système	Micro	Enfants
3	Designer	Incrémentale	Art	Image tactile	Micro	Personnes aveugles
4	Designer	Incrémentale	Médical	Table	Moyenne	Personnes handicapées
5	Designer	Incrémentale	Médicale	Fauteuil roulant	Petite	Agents hospitaliers
6	Ergonome	Majeure	Communication	Table	Micro	Tous
7	Ergonome	Incrémentale	Agriculture	Tracteur	Grande	Agriculteurs
8	Ergonome	Radicale	Loisirs	Télévision	Micro	Tous
9	Ergonome	Incrémentale	Communication	Téléphone mobile	Grande	Aveugles
10	Ergonome	Incrémentale	Agriculture	Poignée	Micro	Agriculteurs
11	Ingénieur	Incrémentale	Loisirs	Véhicule	Moyenne	Handicapées
12	Ingénieur	Radicale	Automobile	Système	Grande	Conducteurs
13	Ingénieur	Incrémentale	Habitat	Chaudière	Moyenne	Tous
14	Ingénieur	Incrémentale	Automobile	Rétroviseur	Grande	Tous
15	Ingénieur	Incrémentale	Automobile	Aérateurs	Grande	Tous

**Tableau 16 : Caractéristiques des 15 projets de conception sélectionnés**

#### 4.3.2.4 Données recueillies

Deux types de données ont été recueillis lors de cette étude. Certaines d'entre elles ont été récoltées en vue d'une analyse quantitative. Nous avons en effet cherché à **quantifier l'utilisation des méthodes de conception**. Cette quantification a été réalisée tout d'abord d'un point de vue global : « Combien de méthodes différentes ont été utilisées en moyenne sur ces projets ? » ; puis de manière plus détaillée : « Quels sont les types de méthodes utilisées et leurs répartitions moyennes sur un projet ? Quelles sont les méthodes utilisées de façon systématique et celles qui relèvent de la spécificité de chaque projet ? ». D'autres données ont été extraites en vue d'une analyse qualitative, l'objectif étant ici de **vérifier si chacune des dimensions du contexte projet** concourt au choix des méthodes, et quels sont par conséquent les paramètres mis en jeu lors de cette sélection. De ces paramètres, découleront les **premières règles** de choix des méthodes de conception.

#### 4.3.2.5 Résultats

D'un point de vue **quantitatif**, nous avons comptabilisé au global 65 méthodes de conception différentes (tout projet confondu). En particulier, un minimum de 10 méthodes distinctes a été utilisé sur les projets considérés, avec une moyenne à 15 méthodes. L'analyse quantitative complémentaire a permis de souligner que sur cette moyenne, certaines familles étaient plus représentées que d'autres. C'est le cas de la famille des méthodes d'évaluation, de créativité et de veille. L'ensemble de ces informations nous sont précieuses pour constituer notre base de données méthodes en vue du développement informatique ultérieur.

Sur la partie **qualitative**, nous avons exploré en détail les six dimensions du modèle de contexte projet. Nous avons pu observer que toutes ces dimensions agissent effectivement sur la sélection des

méthodes de conception mais avec des influences diverses. Nous en avons déduit pour chacune d'elles les critères (et valeurs associées) entrant en considération lors du choix, ainsi que les premières règles régissant la sélection des méthodes (**Figure 56**).

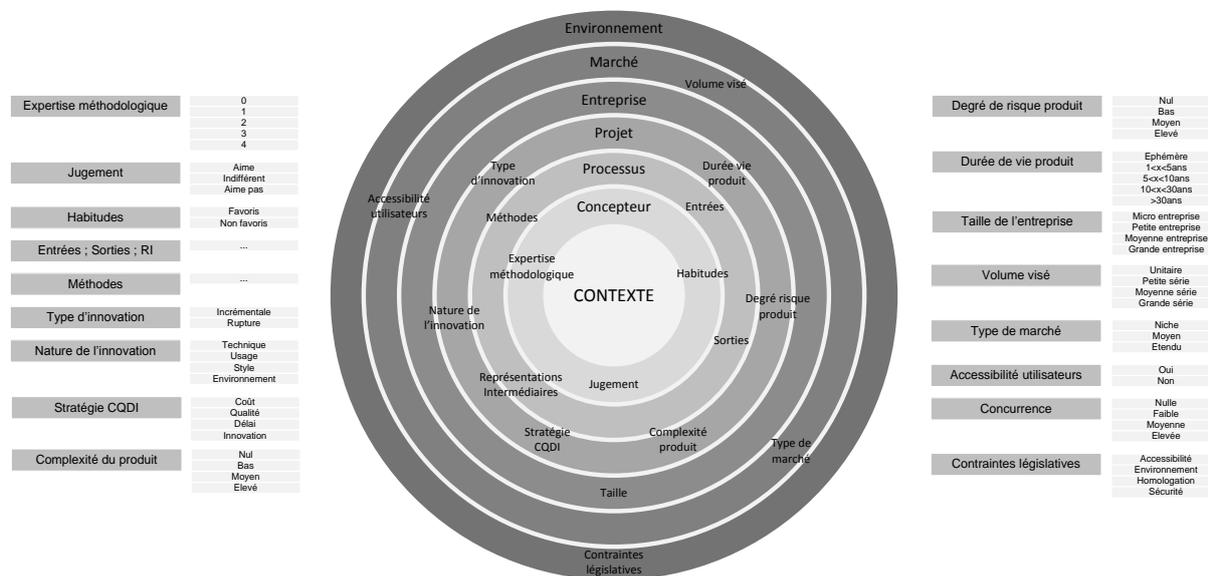


Figure 56 : Modèle de contexte projet

La dimension **concepteur** tout d'abord joue un rôle prépondérant dans le choix. En effet, les concepteurs font avant tout référence à leur formation ainsi qu'à leurs expériences antérieures lors de la sélection des méthodes. Ainsi, on retiendra pour cette dimension les notions d'expertise méthodologique (en référence au degré de compétence du concepteur dans la mise en œuvre de la méthode), de jugement (qui peut être pour une même méthode positif, négatif ou neutre selon les individus) et d'habitudes (qui différencient les méthodes favorites des autres méthodes). Pour la dimension **processus**, nous avons déjà pris en considération lors de la sélection des études de cas le fait que les phases à aborder en conception tiennent une place importante dans le choix des méthodes. Ainsi, nous retenons pour cette dimension, les données d'entrée dont disposent les concepteurs en début de projet et les données de sortie auxquels ils doivent aboutir à la fin. D'autre part, il est important de noter que dans certains cas, notamment lorsqu'il s'agit de projet se déroulant dans de grandes entreprises, certaines méthodes peuvent être imposées. La dimension **projet** est sans conteste la plus richement documentée. En effet, nous faisons référence à ce niveau à la fois au projet de développement à proprement parler (type et nature de l'innovation, stratégie basée sur les coûts, la qualité, les délais, l'innovation) et au produit à concevoir *in fine* (complexité intrinsèque, degré de risque associé pour l'utilisateur, durée de vie). La dimension **entreprise** influence le choix des méthodes dans la mesure où les petites structures sont beaucoup plus réactives que les grands groupes, mais bien moins enclines à adopter de nouvelles méthodologies lorsqu'il s'agit de méthodes dites « lourdes » (temps de formation et de mise en œuvre élevés). La

dimension **marché** impacte également le choix des méthodes. Le volume et le type de marché visé pour le produit à concevoir implique certains choix en matière de méthodes de conception. De même que si les concepteurs sont dans l'impossibilité d'accéder à la population cible, certaines méthodes s'avèrent inapplicables. Aussi, la concurrence joue également un rôle important dans le choix de méthodes particulières. Enfin, la dimension **environnement** est une composante essentielle lors de l'adoption de certaines méthodes. En effet, on retrouve à ce niveau l'ensemble des contraintes législatives extérieures qui s'exercent sur le processus. Il s'agit entre autres des contraintes environnementales qui exigent de la part des entreprises de s'outiller en méthode d'écoconception, mais également les contraintes d'homologation qui conduisent les sociétés à appliquer les méthodes de sûreté de fonctionnement.

De ces critères et valeurs, peuvent être extraites une **première série de règles**. Le tableau suivant illustre chaque dimension du contexte projet par un exemple (**Tableau 17**). Il est important de noter que certaines règles peuvent combiner des critères issus de plusieurs dimensions du modèle de contexte projet. Ainsi, les exemples qui suivent correspondent à des règles relativement simples.

N°	Dimension	Règle
1	Concepteur	Le concepteur dispose de méthodes de conception favorites qui devront être retournées de préférence par le système
2	Processus	Si un Cahier des Charges Fonctionnel est exigé en livrable, alors le système devra préconiser l'emploi des méthodes d'Analyse Fonctionnelle Externe et Interne
3	Projet	Si on souhaite développer une innovation de rupture, alors le système devra préconiser l'emploi de méthodes de créativité aléatoires de type <i>brainstorming</i>
4	Entreprise	Si l'entreprise est une petite structure, le système retournera de préférence des méthodes réputées simples à mettre en œuvre
5	Marché	Si la concurrence est élevée, alors le système devra préconiser l'emploi de la veille concurrentielle
6	Environnement	Si des contraintes d'homologation sont requises, alors le système devra préconiser l'emploi de la veille réglementaire

**Tableau 17 : Règles de sélection des méthodes issues du retour d'expérience (extrait)**

#### 4.3.2.6 Discussion

L'obtention d'une moyenne à 15 méthodes de conception sur les études de cas n'est pas surprenante au vu de la diversité des activités à réaliser. En effet, pour mener à bien un projet de développement de produits nouveaux, le concepteur entreprend des actions qui font appel à des mécanismes différents (abstraction, génération, sélection, etc.). Ceci implique l'utilisation de méthodes diverses et variées. Ainsi, les concepteurs doivent disposer d'un **large éventail de méthodes** de conception.

**Certaines familles de méthodes ont été largement représentées** dans les projets. Il s'agit tout d'abord des méthodes d'évaluation. L'emploi d'un nombre important de ce type de méthodes se justifie par un souci permanent de concevoir un produit au plus près des attentes des clients et futurs utilisateurs. Ceci induit des itérations permanentes à chaque stade du projet et ainsi, des étapes

d'évaluation qui font appel à des méthodes spécifiques. Les méthodes de créativité ont été elles aussi largement utilisées sur les projets. Cela se justifie par la nature même des projets de conception qui nécessitent un certain degré de nouveauté. De plus, il est important de noter que l'organisation de séance de créativité fait appel à une combinaison de méthodes. Créativité et évaluation sont souvent décrites comme des activités transverses tout au long du projet de développement de produits. Enfin, les méthodes de veille et de recherche d'informations ont été également très utilisées sur ces projets. En effet, il est important de rappeler ici que la plupart des projets de conception sont des innovations incrémentales qui se basent sur l'existant.

L'étude des **six dimensions du contexte projet** a démontré que chacune d'elles avaient un impact plus ou moins prononcé lors de la sélection des méthodes de conception. Nous avons également pu observer que l'influence de ces dimensions est variable selon les études de cas. Ce résultat n'est pas surprenant étant donné la diversité des projets de développement de produits. Ainsi, les projets se déroulant dans les grands groupes sont fortement imprégnés par la culture d'entreprise. Les processus en vigueur imposent certains choix de méthodologies : la dimension processus est alors fortement sollicitée lors de la sélection des méthodes.

Concernant le critère de **type d'innovation**, nous avons relevé une certaine influence, sur le choix de la classe de méthode de créativité notamment. Par contre, la typologie de **(Markides and Geroski, 2004)** s'est avérée trop détaillée pour aider au choix des méthodes. C'est la raison pour laquelle nous avons opté pour une typologie d'innovation plus classique qui consiste à opposer les innovations incrémentales aux innovations de rupture.

#### **4.3.2.7 Conclusion**

Les résultats de cette analyse a posteriori des 15 projets de conception sélectionnés pour l'étude nous a permis de comprendre finement comment est régit la sélection des méthodes du point de vue des spécificités du contexte. Nous avons notamment pu vérifier que chacune des dimensions du contexte projet entre en considération lors de la prise de décision. Nous avons ainsi pu modéliser le contexte projet en un certain nombre de critères et de proposer des valeurs associées pour chacun d'eux. Aussi, nous avons pu établir une première série de règles qui va pouvoir être enrichie dans la deuxième partie de l'étape d'interprétation de la solution. Enfin, l'analyse quantitative nous permet de savoir quelles classes de méthodes de conception doivent être représentées dans la base et avec quelle proportion.

### 4.3.3 Travail bibliographique et évaluation heuristique

#### 4.3.3.1 Objectifs

Les objectifs de cette deuxième partie de l'étape d'interprétation du besoin sont au nombre de trois. D'une part, nous souhaitons établir une **liste de méthodes** de conception qui constituera la base de données de méthodes du futur système d'aide au choix. D'autre part, nous voulons déterminer quels doivent être les éléments pertinents permettant de décrire une méthode dans une optique de support à la sélection. Cette tâche aboutit alors à la constitution d'une fiche descriptive par méthode, nommée « **fiche d'identité** ». Enfin, nous envisageons de compléter notre première base de **règles** régissant le choix des méthodes.

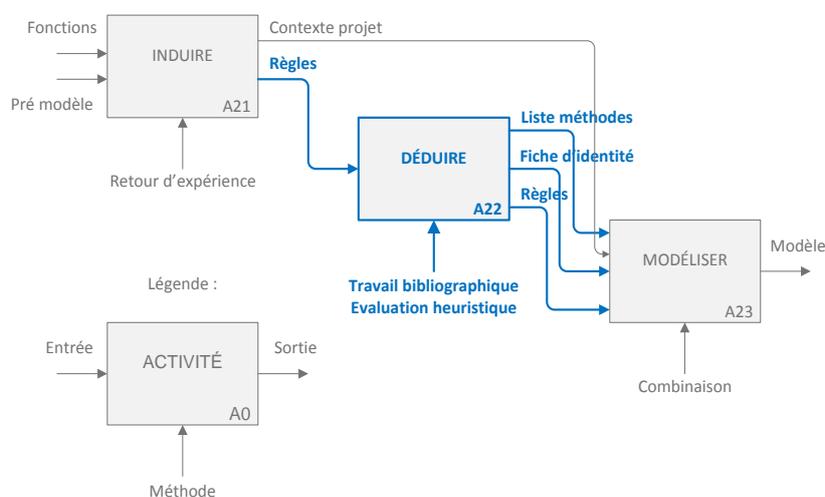


Figure 57 : Objectifs de l'approche déductive

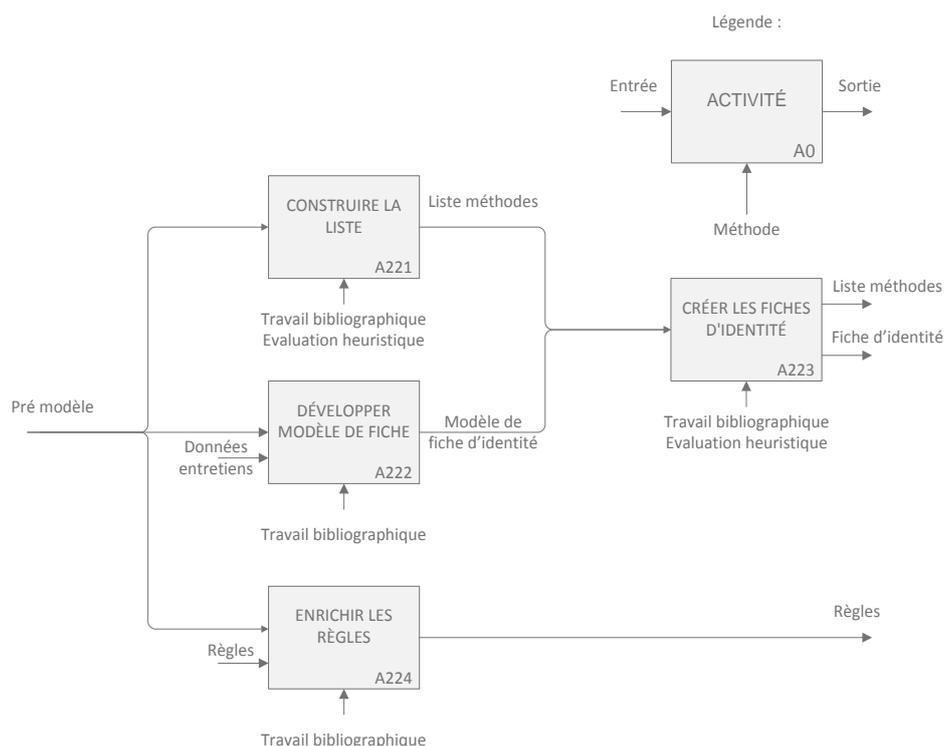
#### 4.3.3.2 Procédure

Pour atteindre les trois objectifs fixés, nous avons dans un premier temps mené en parallèle la **constitution de la liste des méthodes** de conception ainsi que le **développement du modèle de fiche d'identité** des méthodes. Puis, nous avons procédé dans un second temps à la **création des fiches d'identité** des méthodes. L'extraction des **règles** de sélection a été traitée indépendamment des autres tâches (Figure 58).

La méthodologie adoptée pour la constitution de la **liste des méthodes** de conception à inclure dans la base de données du système a été défendue à la conférence internationale CIRP Design (Lahonde et al., 2010b). Cette liste a été établie à partir d'un recensement de plus de 500 méthodes rencontrées dans la littérature. Sur ces 500 méthodes, 100 d'entre elles ont été présélectionnées pour une évaluation heuristique par *card sorting*. Ainsi, trois *card sorting* consécutifs par expert ont été réalisés (catégorisation par métiers, par phases et par type) pour assurer la représentativité des 60 méthodes finalement sélectionnées.

La création des **fiches d'identité** s'est également appuyée sur une combinaison d'analyse bibliographique et d'évaluation heuristique. Le travail bibliographique a alors permis l'identification des critères pertinents pour supporter la sélection des méthodes, ainsi que leurs valeurs associées. L'évaluation heuristique a permis quant à elle d'affiner les valeurs des critères par méthode.

Enfin, l'enrichissement des **règles de sélection** des méthodes de conception a essentiellement découlé de l'analyse bibliographique.



**Figure 58 : Détails de l'approche déductive**

#### 4.3.3.3 Matériel

Un ensemble de **14 références bibliographiques** a été utilisé pour construire la liste de méthodes, créer les fiches d'identité et déduire de nouvelles règles d'aide au choix (**Tableau 18**). Ces références sont de différente nature (article de conférence ou de revue, thèse ou ouvrage spécialisé) et se focalisent sur diverses familles de méthodes (créativité, évaluation, usage, etc.). Pour la création du modèle de fiche d'identité, nous avons en particulier identifié deux références majeures qui ont guidé leur développement, à savoir ([Aldersey-Williams et al., 1999](#), [Goodman-Deane et al., 2008](#)).

N°	Référence	Type de référence	Nombre de méthodes	Type de méthodes
1	(Jones, 1992)	Ouvrage spécialisé	35	Général
2	(Macdonald and Lebbon, 2001)	Conférence	53	Usage
3	(Maguire, 2001)	Revue	4	Usage
4	(National Academy of Engineering, 2002)	Ouvrage spécialisé	16	Général
5	(López-Mesa, 2003)	Thèse	60	Général
6	(VanGundy, 2005)	Ouvrage spécialisé	101	Créativité
7	(Asanuma et al., 2007)	Conférence	40	Modélisation
8	(Pahl and Beitz, 2007)	Ouvrage spécialisé	30	Général
9	(Plos et al., 2007)	Conférence	16	Evaluation
10	(Cross, 2008)	Ouvrage spécialisé	8	Général
11	(Goodman-Deane et al., 2008)	Chapitre d'ouvrage	57	Usage
12	(Rohrer, 2008)	Revue	16	Usage
13	(Design Council, 2010)	Site internet	21	Général
14	(MyCoted, 2010)	Wiki	186	Créativité

Tableau 18 : Identification des références bibliographiques

De plus, nous avons créé, pour l'évaluation heuristique par *card sorting*, **100 cartes**, chacune représentant une méthode, identifiée à l'aide d'une description courte et de ses différentes appellations (Figure 59).

1	ANALYSE MORPHOLOGIQUE	<p>L'analyse morphologique vise à explorer de manière systématique les futurs possibles à partir de l'étude de toutes les combinaisons issues de la décomposition d'un système.</p> <p style="text-align: right;">Morphological chart Champ des possibles</p>
29	AMDEC	<p>L'Analyse des Modes de Défaillance de leur Effets et de la Criticité est une démarche inductive qui consiste à identifier au niveau d'un système ou d'un de ses sous-ensembles, les modes potentiels de défaillance de ses éléments, leurs causes et leurs effets et à en évaluer la criticité.</p> <p style="text-align: right;">Failure Modes, Effects and Criticality Analysis (FMECA)</p>
99	UTILISATEUR PILOTE	<p>Dans la méthode de l'utilisateur pilote, le travail de découverte devient une tâche systématique d'identification d'utilisateurs d'avant-garde et d'apprentissage à leur contact.</p> <p style="text-align: right;">Lead User</p>

Figure 59 : Exemples de cartes utilisées pour le card sorting

Enfin, le contenu des fiches d'identité ont été affiné via les réponses des experts aux **questionnaires** d'autoévaluation de leur expertise méthodologique, et au questionnaire de caractérisation des méthodes.

#### 4.3.3.4 Participants

Trois experts ont participé à l'évaluation heuristique par *card sorting*. cinq autres experts ont répondu aux questionnaires de caractérisation des méthodes. Ces personnes sont toutes membres du laboratoire Conception de Produits et Innovation (enseignants-chercheurs, ingénieurs d'étude ou de recherche, doctorants) reconnus pour leur expertise en méthodologies de conception.

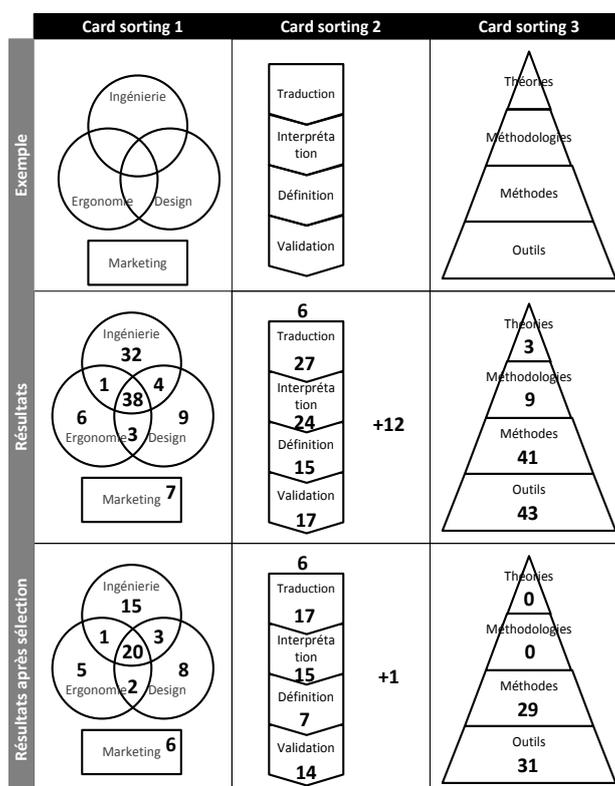
#### 4.3.3.5 Données recueillies

Les données recueillies lors de l'établissement de la **liste de méthodes** de conception à inclure dans le système sont de plusieurs ordres. Tout d'abord, nous avons extrait des 14 références bibliographiques une présélection de **100 méthodes** de conception distinctes. Après classifications par *card sorting*, cette présélection a pu être **catégorisée par métier** (design ; ergonomie ; ingénierie ; marketing), **par phase** (traduction du besoin ; interprétation du besoin ; définition de la solution ; validation de la solution) et **par type** (théorie ; méthodologie ; méthode ; outil). Ces catégories ont alors permis de sélectionner une liste représentative de **60 méthodes** de conception à intégrer au système d'aide au choix.

La création des **fiches d'identité** a nécessité l'identification des **critères** permettant de caractériser et de sélectionner une méthode, ainsi que de leurs **valeurs** associées.

#### 4.3.3.6 Résultats

La **liste de méthodes** de conception, à intégrer en tant que base de données dans le futur système d'aide à la décision, a été obtenue à partir des résultats des *card sorting* (**Figure 60**). Au final, nous aboutissons à une liste de 60 méthodes (**Annexe 3**).



**Figure 60 : Résultats intermédiaires avant établissement de la liste des méthodes**

Les **fiches d'identité** ont quant à elles été réalisées à partir du **modèle de fiche d'identité** en quatre dimensions (**Figure 61**).

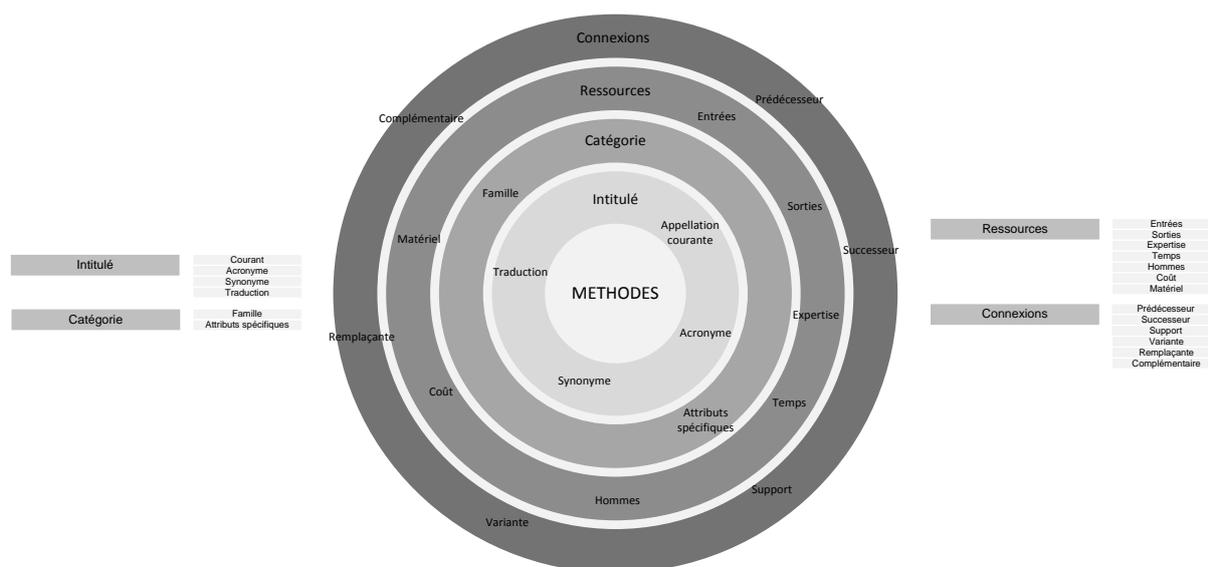


Figure 61 : Modèle de fiches d'identité des méthodes

La dimension **intitulé** tout d'abord, précise l'appellation courante, voire l'acronyme, la traduction et le synonyme éventuel utilisés pour désigner la méthode considérée.

La dimension **catégorie** classe la méthode dans une certaine famille et spécifie ses attributs vis-à-vis de cette dernière (**Tableau 19**).

Famille de méthode	Attributs spécifiques
Coût Créativité	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analogique/Paramétrique/Analytique</li> <li>Quantité d'idées émises</li> <li>Degré de nouveauté des idées émises</li> <li>Caractère ludique de la méthode</li> </ul>
Evaluation et tri	<ul style="list-style-type: none"> <li>Logique de mise en œuvre</li> <li>Qualitative/Quantitative</li> <li>Nombre d'idées à évaluer</li> <li>Niveau de détail</li> </ul>
Marché	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qualitative/Quantitative</li> <li>Critère environnement</li> <li>Critère entreprise</li> <li>Type de variables mono/multi</li> </ul>
Sensorielle et sémantique	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qualitative/Quantitative</li> <li>Marketing pull/push</li> <li>Objective/Subjective</li> </ul>
Sûreté de fonctionnement	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qualitative/Quantitative</li> <li>Déductive/Inductive</li> <li>Statique/Dynamique</li> <li>Défaillances indépendantes/combinatoires</li> <li>Niveau de détail</li> </ul>
Usage	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qualitative/Quantitative</li> <li>Type de représentation intermédiaire à évaluer</li> <li>Qualités visuelles/fonctionnelles</li> <li>Centré concepteur ou expert/utilisateur</li> <li>Situation d'évaluation réelle/artificielle</li> </ul>
Veille	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nature de l'information recherchée</li> </ul>

Tableau 19 : Attributs spécifiques aux familles des méthodes (extrait)

Ces attributs jouent un rôle clé dans la comparaison des méthodes appartenant à une même famille. Ainsi, pour comparer des méthodes de sûreté de fonctionnement, cinq attributs pourront être utilisés. Ils amèneront le concepteur à se positionner selon s'il souhaite obtenir des données de nature qualitative ou quantitative, selon l'approche (inductive ou déductive) qu'il souhaite mobiliser, s'il vise l'étude de phénomène statique ou dynamique, de défaillances indépendantes ou combinées, et enfin, s'il souhaite obtenir en sortie des données à un niveau de détail élevé ou non. Par contre, pour comparer des méthodes de créativité entre elles, on se focalisera sur d'autres attributs tels que la quantité attendue d'idées générées en sortie ou leur degré de nouveauté espéré.

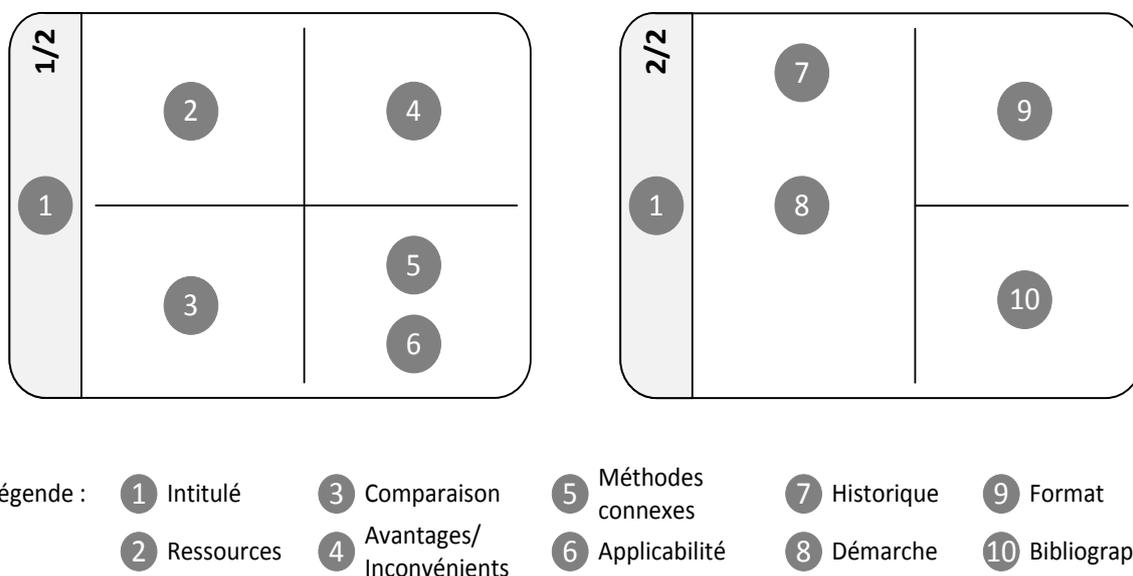
La dimension **ressources** énumère les entrées nécessaires et sorties attendues via l'utilisation de la méthode, mais également l'expertise méthodologique, les ressources temporelles, humaines, financières et matérielles requises pour sa mise en œuvre.

Enfin, la dimension **connexions** considère les liens existants entre cette méthode et les autres. Ce résultat est cohérent avec ce que Lindemann appelle le « réseau de méthodes » ([Lindemann, 2003](#)). Nous avons dénombré au total six connexions différentes. Les deux premières correspondent à une relation temporelle entre les méthodes (méthode prédécesseur ou successeur). Les autres connexions n'ont pas de notion temporelle. Il s'agit de la substitution, des méthodes supports, variantes et complémentaires. Un exemple pour chaque connexion est donné au tableau suivant ([Tableau 20](#)).

Type de relation	Symbole	Nature de la relation	Schéma	Exemple
Temporelle		Prédécesseur		$M_A = \text{Analyse Fonctionnelle}$ $M_B = \text{AMDEC}$
		Successeur		$M_A = \text{AMDEC}$ $M_B = \text{Analyse Fonctionnelle}$
Non temporelle		Support		$M_A = \text{AMDEC}$ $M_B = \text{Diagramme d'Ishikawa}$
		Variante		$M_A = \text{AMDEC}$ $M_B = \text{AMDE}$
		Substituante		$M_A = \text{AMDEC}$ $M_B = \text{Arbre d'évènements}$
		Complémentaire		$M_A = \text{AMDEC}$ $M_B = \text{Arbre de défaillances}$

**Tableau 20 : Connexions possibles entre méthodes**

Finalement, les fiches d'identité ont été créées sur la base de la **structure** suivante (**Figure 62**). Cette structure se compose de deux volets : un volet d'aide à la sélection (1/2) ; un volet d'aide à l'implémentation (2/2). Un **exemple** de fiche est donné en fin de document (**Annexe 4**).



**Figure 62 : Structure du modèle de fiche d'identité**

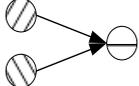
De nouvelles règles d'aide au choix des méthodes ont ainsi pu être établies à partir des 4 dimensions du modèle de fiche d'identité. Un exemple par dimension vous est transmis au tableau suivant (**Tableau 21**).

N°	Dimension	Règle
1'	Intitulé	Le diagramme d'Ishikawa et le diagramme causes effets désigne la même méthode
2'	Catégorie	Pour enrichir une analyse de sûreté de fonctionnement, il est intéressant de combiner une méthode d'approche inductive avec une méthode d'approche déductive
3'	Ressources	L'expertise requise pour mettre en œuvre la matrice des contradictions de TRIZ est élevée. Elle devra être préconisée si et seulement si ce critère est rempli
4'	Connexion	La méthode des Fiches Idées doit être utilisée consécutivement aux méthodes de créativité aléatoires de type <i>brainstorming</i>

**Tableau 21 : Règles de sélection des méthodes issues de la bibliographie (extrait)**

#### 4.3.3.7 Discussion

Nous avons été confrontés dans cette étape, à des problèmes d'ordre **terminologique**. En effet, une même méthode dispose de plusieurs appellations. Ainsi, pour s'assurer que les méthodes figurant dans la base de données sont bien distinctes des unes des autres, nous avons établi une distinction des méthodes entre elles, tenant compte de leur fonction et de leur mise en œuvre (**Tableau 22**). Par exemple, la méthode du *brainstorming* a la même fonction que le *brainwriting*, à savoir, la génération d'idées, mais sa mise en œuvre est différente (expression orale pour le *brainstorming*, écrite pour le *brainwriting*). Ces deux méthodes sont donc considérées comme étant distinctes : elles pourront apparaître toutes deux dans la base de données. On parlera de « cohabitation ».

Type	Fonction	Déploiement	Schéma	Exemple
Cohabitation	=	≠		Brainstorming Brainwriting
Extension	$F_A < F_B$			AMDE AMDEC
Combinaison	$F_A + F_B = F_C$			Repertory Grid

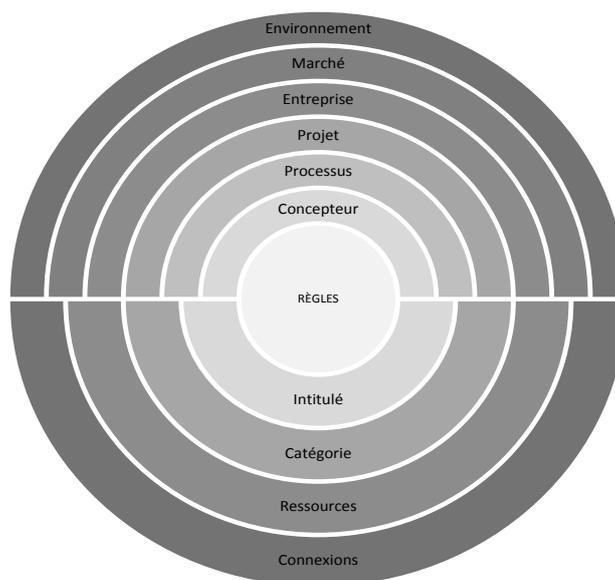
**Tableau 22 : Distinction des méthodes de conception**

La liste des méthodes de conception a été stabilisée à **60 méthodes**. Celle-ci pourra bien évidemment être étendue par la suite pour d'autres versions du logiciel. On pourra alors intégrer les méthodes répertoriées dans un premier temps, mais non retenue par la suite.

Enfin, tous les **critères** permettant de décrire une méthode n'ont pas été retenus. Nous avons sélectionné uniquement ceux qui nous ont semblé pertinents pour une aide à la sélection. Néanmoins, nous pourrions également étendre cette liste de critères dans une prochaine version.

#### 4.3.4 Résultat

Nous avons détaillé dans les parties précédentes les résultats intermédiaires obtenus dans cette deuxième étape d'interprétation du besoin. En particulier, le retour d'expérience a abouti à la description du contexte projet ainsi qu'à la constitution d'une première série de règles. Le travail bibliographique et l'évaluation heuristique ont quant à eux permis la constitution de la liste de méthodes à inclure dans la base, le développement d'un modèle de fiche d'identité et la création d'une fiche par méthode (description des méthodes), ainsi que l'enrichissement de la base de règles. En définitive, l'agrégation de ces résultats partiels conduit à l'élaboration du **modèle global d'aide à la sélection des méthodes de conception (Figure 63)**.



**Figure 63 : Apports des méthodes de l'étape d'interprétation du besoin sur le modèle**

### 4.3.5 Conclusion de l'étape 2

La combinaison des trois méthodes de recherche, alliant une approche inductive par le retour d'expérience à une approche déductive par le travail bibliographique et l'évaluation heuristique, nous permet d'aboutir à un **modèle d'aide à la sélection des méthodes de conception**.

Ce modèle se compose de trois entités distinctes et interdépendantes. **Deux entités descriptives**, du contexte et des méthodes de conception, et une **entité prescriptive** par les règles.

Le **contexte** a pu être caractérisé par un modèle en **six dimensions**. Ces dimensions font référence à la fois aux caractéristiques de l'individu (concepteur) mais également aux facteurs internes (processus ; projet) et externes du projet (entreprise ; marché ; environnement).

Les **méthodes** de conception ont pu être caractérisées par un modèle en **quatre dimensions**. Elles se réfèrent aux appellations utilisées pour désigner la méthode, à sa classification dans les familles et sous-familles, à ses ressources requises pour la mettre en œuvre et enfin, à ses connexions avec d'autres méthodes.

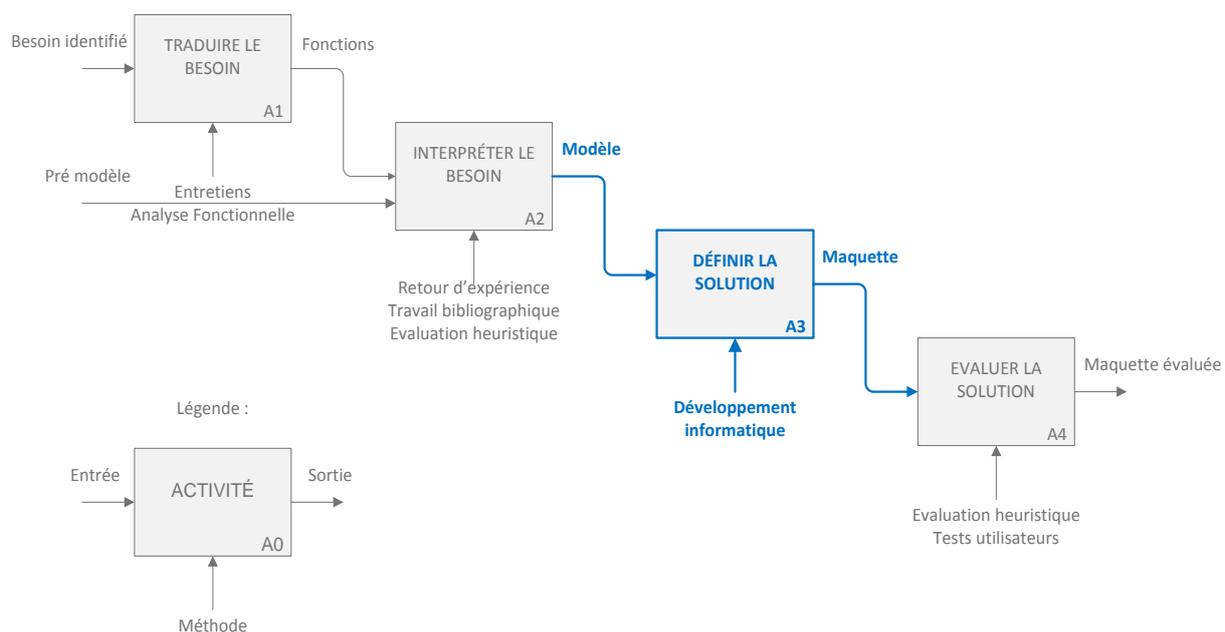
Enfin, les **règles** régissant la sélection des méthodes permettent de faire le lien entre d'un côté l'espace problème du contexte projet, de l'autre l'espace solution des méthodes de conception disponibles. Cette entité prescriptive est alimentée par des **connaissances théoriques et expérimentales**.

Ainsi, nous disposons à ce stade d'un modèle d'aide au choix des méthodes qu'il va être possible d'implémenter dans un système d'aide à la sélection à destination des acteurs de la conception.

## 4.4 Définition de la solution

### 4.4.1 Objectif de l'étape 3

L'objectif de cette étape est de **développer une maquette fonctionnelle** de l'outil d'aide à la sélection des méthodes de conception (**Figure 64**) à partir des résultats des étapes précédentes (fonctions attendues du système ; modèle de contexte projet ; liste de méthodes et fiches d'identité associées ; règles d'aide au choix des méthodes de conception). Le logiciel **DesignManager** alors développé pourra être testé lors de la dernière étape d'évaluation de la solution de notre démarche expérimentale.



**Figure 64 : Définition de la solution**

Il est à noter que les aspects stylistiques et ergonomiques du système sont abordés de façon sommaire dans cette étude et mériteraient d'être approfondis lors du développement ultérieur d'une deuxième version du système.

### 4.4.2 Développement informatique

Le langage de **Programmation Orienté Objet** (POO) utilisé pour le développement informatique de DesignManager est **Java**. Ce langage a été choisi pour sa facilité d'usage et d'apprentissage, mais surtout, pour la possibilité de créer ultérieurement un *applet*, c'est-à-dire un logiciel qui s'exécute dans la fenêtre d'un navigateur web (§ 4.2.3 « FC9 : Etre accessible »). L'Environnement de Développement Intégré (EDI) utilisé est **NetBeans** (**Figure 65**) choisi pour sa compatibilité avec Java et son placement en *open source*. Cet environnement permet de développer un démonstrateur fonctionnel de l'outil d'aide à la sélection des méthodes de conception.

Il est à noter que cet environnement offre des solutions limitées en termes de rendus stylistiques et ergonomiques, ce qui est sans conséquence sur notre expérimentation, étant donné que ces aspects ne rentrent pas dans le cadre du développement d'une première version du logiciel.

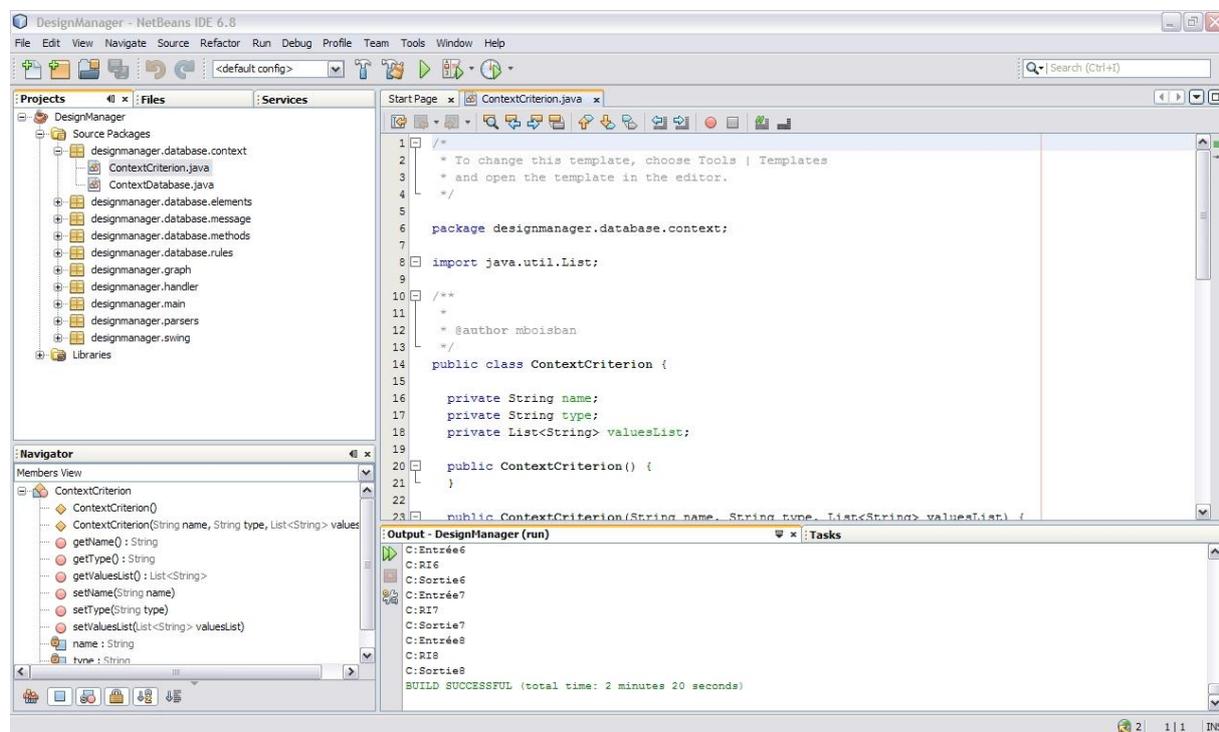


Figure 65 : Environnement de Développement Intégré NetBeans

De manière à faire évoluer rapidement le logiciel, une **méthode de développement informatique agile** a été utilisée. Ce type de méthode permet, par des cycles de développement très courts et de nombreuses itérations, de converger rapidement vers une représentation commune de l'outil, et ainsi d'aboutir de façon certaine à une solution satisfaisante pour tous.

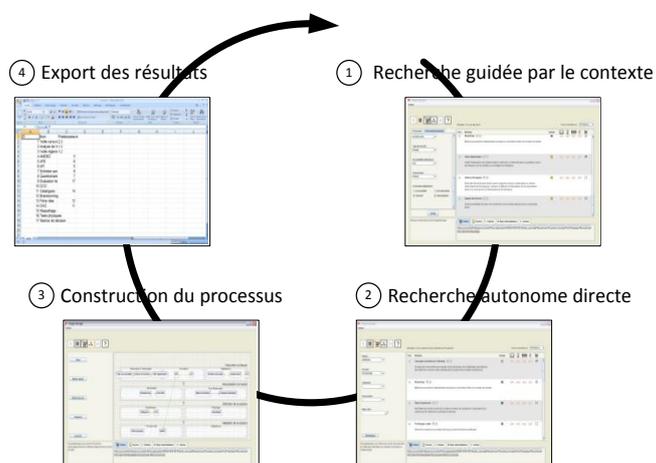
Plusieurs **données d'entrées** ont été utilisées pour le développement informatique (**Tableau 23**). Tout d'abord, nous avons utilisé la **liste des 60 méthodes** de conception sélectionnées précédemment comme base de données de méthodes. Cette liste spécifie, pour chacune des méthodes, ses critères et valeurs associées (par exemple, son degré de pertinence avec la phase d'interprétation du besoin, le niveau des ressources temporelles à disposer pour sa mise en œuvre, etc.). Deux matrices complètent cette caractérisation. La **matrice de similarité** compare deux à deux les méthodes et associe la valeur 0 lorsqu'on ne peut pas substituer une méthode à l'autre et les valeurs + ou ++ lorsque cette substitution est possible. Par exemple, on peut substituer à l'AMDEC, la méthode des arbres d'évènements avec une valeur ++ (méthode de sûreté de fonctionnement à logique inductive) et à l'AMDEC, la méthode des arbres de défaillances avec une valeur + (méthode de sûreté de fonctionnement à logique déductive). De la même façon, la **matrice de succession**

décrit la possibilité ou non d'enchaîner une méthode avec une autre. La liste des méthodes et les deux matrices reprennent ainsi l'ensemble des critères et valeurs contenues dans la **fiche d'identité** des méthodes. Le **modèle de contexte projet** est utilisé pour décrire à l'aide des critères et valeurs le contexte dans lequel se déroule le projet. Les **règles de sélection** reprennent les règles extraites dans l'étape précédente de l'expérimentation. Elles permettent de relier les caractéristiques du contexte à celles des méthodes. Enfin, en complément à ces données initiales, un premier **scénario d'interface** du logiciel a été élaboré sous un power point animé.

Intitulé	Description	Format
Liste des méthodes	Caractérise les 60 méthodes de la base de données à partir de différents critères	.csv
Matrice de similarité	Décrit le degré de similarité d'une méthode avec une autre	.csv
Matrice de succession	Décrit le degré de compatibilité de succession entre une méthode et une autre	.csv
Fiche d'identité	Caractérise les méthodes de conception	.pdf
Modèle de contexte	Caractérise un contexte projet à partir de différents critères et valeurs associées	.doc
Règles de choix	Définit les règles régissant le choix des méthodes à partir des caractéristiques du contexte	.doc
Scénario d'interface	Décrit la façon dont l'utilisateur interagit avec le logiciel	.ppt

**Tableau 23 : Données d'entrée pour le développement informatique de DesignManager**

Pour élaborer le **scénario d'utilisation** du logiciel (**Figure 66**), nous nous sommes appuyés sur les résultats des étapes précédentes de l'expérimentation, et en particulier sur ceux de l'étape de traduction du besoin. Ainsi, le logiciel fait clairement apparaître les deux fonctions principales attendues par les utilisateurs dans un système d'aide à la sélection des méthodes : la fonction de **recherche de méthodes** (présélection) et la fonction de **construction du processus** de conception (sélection définitive). Deux modes de recherche de méthodes, à utiliser de façon indépendante ou complémentaire, sont proposés à l'utilisateur. DesignManager offre ainsi la possibilité de faire une **recherche guidée** en s'appuyant sur les caractéristiques du contexte projet ou bien une **recherche autonome** via des critères standard de sélection des méthodes. Les méthodes présélectionnées servent ensuite à construire le processus de conception. Enfin, les résultats obtenus sont **exportés dans un fichier Excel**, exploitable par un logiciel de management de projet de type MS Project.



**Figure 66 : Scénario d'utilisation du logiciel**

### 4.4.3 Résultats

#### 4.4.3.1 Interface graphique

##### 4.4.3.1.1 Structure générale

L'interface de DesignManager est découpée en **cinq parties** principales :

1. **Bande du haut** : Choix parmi six **icônes** (profil ; contexte ; recherche ; construction ; analyses ; aide) permettant de basculer d'une fenêtre à l'autre par simple clic ;
2. **Encart en haut à gauche** : Affichage des **critères** et **valeurs** associées pour la présélection des méthodes (fenêtres contexte et recherche) ou des divers modes de construction du processus de conception (fenêtre construction) ;
3. **Encart en haut à droite** : Affichage des **résultats** des méthodes (fenêtres contexte et recherche) ou du processus (fenêtre construction) ;
4. **Encart en bas à droite** : Affichage des **entrées, sorties et représentations intermédiaires** du processus et présélection des méthodes dans le **panier** ou les **favoris** ;
5. **Encart en bas à gauche** : Affichage aléatoire de **phrases informatives** destinées à guider l'utilisateur dans son utilisation du logiciel.

##### 4.4.3.1.2 Fenêtres

DesignManager propose **cinq fenêtres** qui permettent d'amener progressivement l'utilisateur à sélectionner convenablement ses méthodes (**Tableau 24**) :

1. **Profil** : Il n'est pas nécessaire d'avoir créé au préalable son profil pour utiliser le logiciel. Néanmoins, sa création et l'autoévaluation par l'utilisateur de son expertise en matière de méthodes de conception permettent à DesignManager d'émettre des suggestions tenant compte de son savoir et de son savoir-faire. Ce profil sera susceptible d'être mis à jour par l'utilisateur dès qu'il aura acquis de nouvelles connaissances d'ordre méthodologique. Il permet également la consultation des statistiques en matière de sélection des méthodes. Cette fenêtre nécessite donc une identification de la part de l'utilisateur.
2. **Contexte** : Lors de son lancement, DesignManager s'ouvre sur la fenêtre contexte. Il s'agit du premier mode de présélection des méthodes de conception en vue de la construction du processus. L'encart d'en haut à gauche fait apparaître les critères et valeurs associées du modèle de contexte projet. L'utilisateur est alors invité, par l'intermédiaire de listes déroulantes et de cases à cocher, à choisir parmi les valeurs proposées celles qui correspondent le mieux à son contexte. Après proposition du logiciel dans l'encart résultats, l'utilisateur présélectionne les méthodes désirées en cochant la case panier. L'utilisateur a

également la possibilité de définir certaines méthodes favorites (§ 4.2.3 « FC1 : Etre adapté à l'utilisateur ») utilisées de manière systématique quelque soit le projet.

3. **Recherche** : La fenêtre recherche constitue le deuxième mode de présélection des méthodes de conception. L'utilisateur a la possibilité de choisir ce mode seul ou en complément au premier mode de présélection par contexte. Cinq critères de recherche de méthodes sont utilisés dans cette fenêtre : recherche par phases ; priorité ; similarité ; succession ; mots-clés. De la même façon que précédemment, l'utilisateur présélectionne les méthodes en les incluant soit dans le panier, soit directement dans les favoris.
4. **Construction** : Une fois que les méthodes sont présélectionnées, l'utilisateur dispose de la matière première pour construire un processus de conception adéquat qu'il réalise dans la fenêtre construction.
5. **Analyses** : La fenêtre analyses permet, une fois la construction du processus de conception achevée, de suggérer à l'utilisateur des pistes supplémentaires pour optimiser son processus.

Seules les fenêtres contexte, recherche et construction ont fait l'objet de développement informatique pour la première version du logiciel.

Icône	Intitulé	Description
	Profil	Permet de définir un profil utilisateur, mettre à jour ses données et consulter ses statistiques
	Contexte	Permet de présélectionner les méthodes de conception sur un mode guidé par le contexte
	Recherche	Permet de présélectionner les méthodes de conception en autonomie par recherche directe
	Construction	Permet de construire un processus adéquat par la sélection définitive des méthodes
	Analyses	Permet de réaliser des analyses <i>a posteriori</i> sur le processus de conception construit

**Tableau 24 : Fenêtres de DesignManager**

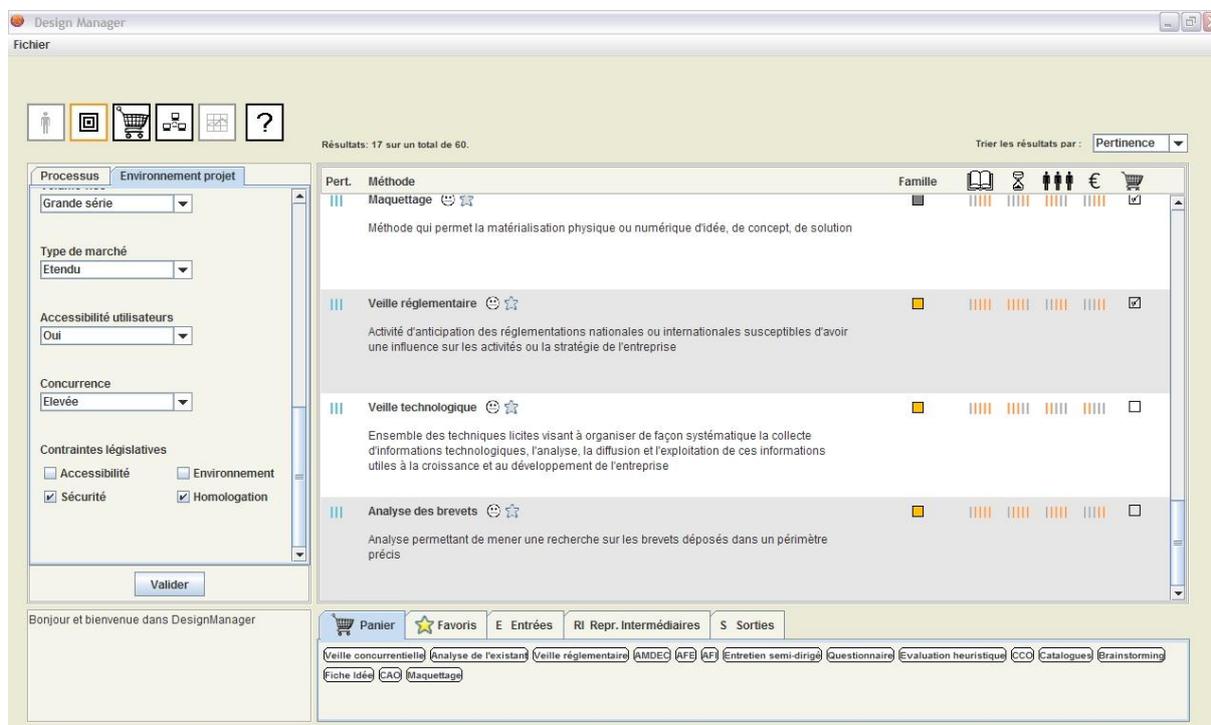
#### 4.4.3.1.3 FP1 : Rechercher des méthodes

##### 4.4.3.1.3.1 Recherche par le contexte projet

La recherche par le contexte projet s'effectue en renseignant les caractéristiques du contexte projet via les critères figurant dans l'encart en haut à gauche de DesignManager. Le système prendra ainsi en compte tous les **critères du modèle de contexte projet**, disponibles sous forme de listes déroulantes ou de cases à cocher, pour émettre des préconisations.

Contrairement à la recherche directe, que nous étayerons par la suite, l'**affichage** des résultats via la recherche par le contexte est volontairement **non dynamique**, car il est indispensable que l'utilisateur renseigne l'ensemble des critères avant proposition du logiciel. C'est la raison pour laquelle figure dans cette fenêtre un bouton « **valider** » qui permet à l'utilisateur de lancer la

requête. Le logiciel suggère alors un certain nombre de méthodes pertinentes vis-à-vis de la requête réalisée. L'utilisateur a alors la possibilité de cocher tous les résultats proposés ou de n'en sélectionner qu'une partie (**Figure 67**).



**Figure 67 : Recherche de méthodes par le contexte projet**

#### 4.4.3.1.3.2 Recherche directe

Les étapes précédentes de l'expérimentation ont démontré le rôle clé joué par certains **critères** au moment du choix d'une méthode. Il s'agit notamment du critère de **phase**, qui occupe une large place dans la prise de décision des méthodes de conception à adopter. Ainsi, si l'on se trouve en début ou en fin de processus, les activités de conception et les types de représentations intermédiaires utilisées seront distinctes : c'est la raison pour laquelle les méthodes opportunes à mettre en œuvre seront fondamentalement différentes.

Le critère de **priorité** joue également un rôle clé dans la sélection d'une méthode appropriée. En effet, selon si l'on souhaite porter l'effort de conception sur l'aspect usage et/ou style, les méthodes à adopter ne seront pas nécessairement les mêmes.

La recherche par **similarité** est utile lorsqu'une méthode suggérée par le système n'est pas suffisamment maîtrisée par l'utilisateur ou tout simplement s'il ne l'apprécie pas. Il a alors la possibilité de mener une recherche à partir de cette méthode pour voir quelles sont celles qui peuvent lui être substituée.

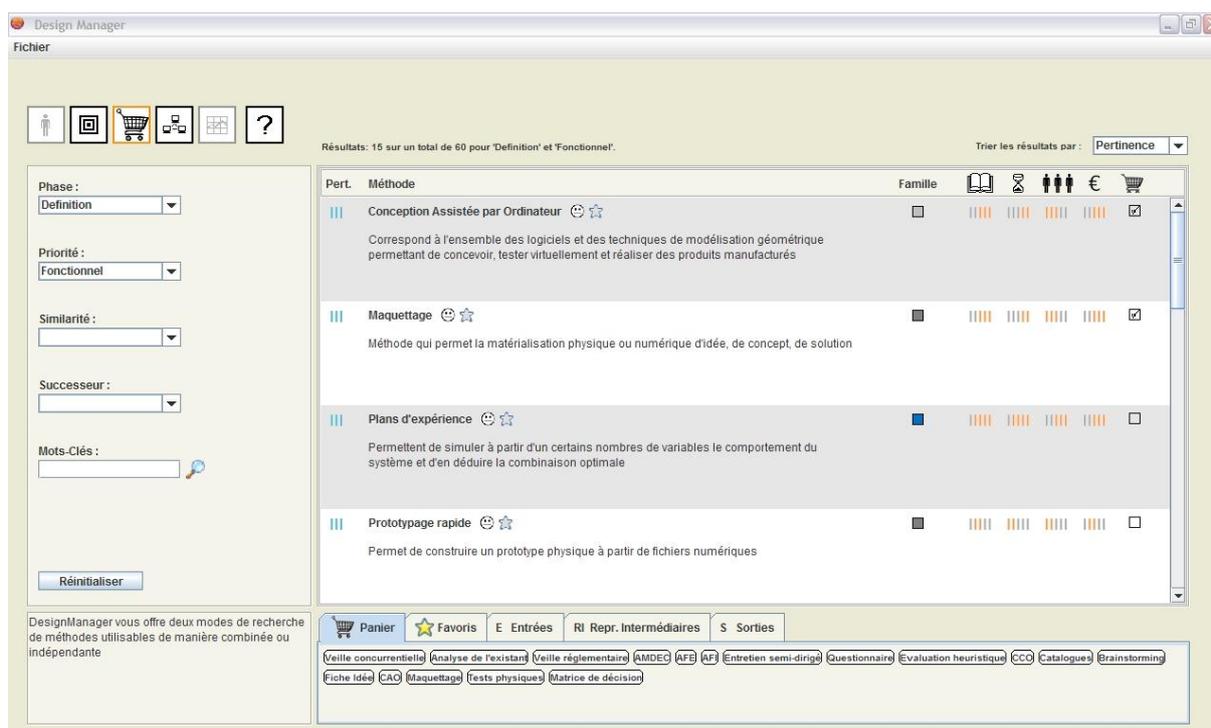
La recherche par **successeur** permet, à partir d'une méthode donnée, de prévoir quelles sont les méthodes qui peuvent lui être combinées, c'est-à-dire celles s'enchaînent bien entre elles. Dans ce critère, on commence à entrevoir la fonction de construction du processus de conception qui sera détaillée dans le paragraphe suivant.

Enfin, la recherche par **mots-clés** permet de pointer directement sur une méthode dont l'intitulé est connu par l'utilisateur, ou alors d'afficher automatiquement toutes les méthodes qui comportent comme mot-clé le terme « fiabilité » par exemple.

Le bouton « **réinitialiser** » permet la mise à zéro de l'ensemble des critères.

L'utilisateur a la possibilité de réaliser des **requêtes simples** ou **combinées**. Il peut, par exemple, coupler une recherche par phase avec une valeur de priorité (**Figure 68**).

L'**affichage** est quant à lui **dynamique**. Ainsi, à chaque modification de la requête, l'utilisateur voit la zone résultats afficher dynamiquement les suggestions.



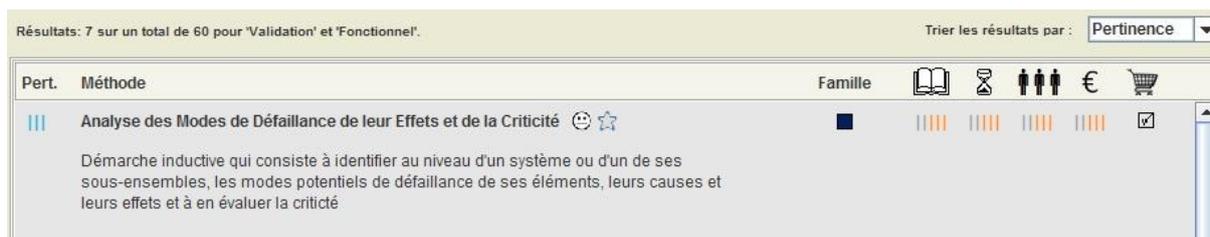
**Figure 68 : Recherche directe des méthodes**

#### 4.4.3.1.3.3 Affichage des résultats

Les résultats de la recherche de méthodes, via le contexte projet ou via la recherche directe, sont affichés dans l'encart résultats de DesignManager. Au dessus de cet espace, figure le **nombre de résultats** pertinents vis-à-vis de la requête émise et un menu déroulant permettant de **trier les**

**résultats** par degré de pertinence (tri par défaut) ou par familles de méthode (classées alors par ordre alphabétique).

Par **exemple**, lorsque l'utilisateur réalise une requête en recherche directe sur la phase d'évaluation de la solution et en mettant l'accent sur l'aspect fonctionnel, le logiciel propose sept résultats pertinents sur la base de données actuelle de 60 méthodes. L'Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets et de la Criticité (AMDEC) apparaît en première ligne (**Figure 69**).



**Figure 69 : Affichage des résultats (méthodes)**

Pour permettre à l'utilisateur de faire son choix parmi ces sept propositions, le logiciel met en avant **plusieurs informations**. Tout d'abord, il apparaît des informations **relatives à la requête** comme le degré de pertinence (assez pertinent ; pertinent ; très pertinent). Ces données seront variables d'une requête à une autre. Deuxièmement, il apparaît des informations **relatives à la méthode** (son appellation courante ; une courte description ; son appartenance à une famille de méthodes ; des niveaux en termes d'expertise, de temps, de ressources et de coût pour mettre en œuvre convenablement la méthode). Ces données seront invariables (à l'exception de la phase de mise à jour du système). Troisièmement, il apparaît des informations **relatives de l'utilisateur** telle que son appréciation générale (j'aime, indifférent, j'aime pas), la possibilité de renseigner les méthodes dans ses favoris et/ou dans le panier. Ces données seront variables d'un utilisateur à un autre et pour le cas du panier, d'un projet à un autre. Si l'utilisateur souhaite approfondir sa connaissance de la méthode, il a la possibilité de visualiser sa **fiche d'identité** en cliquant sur l'intitulé (ouverture du fichier .pdf).

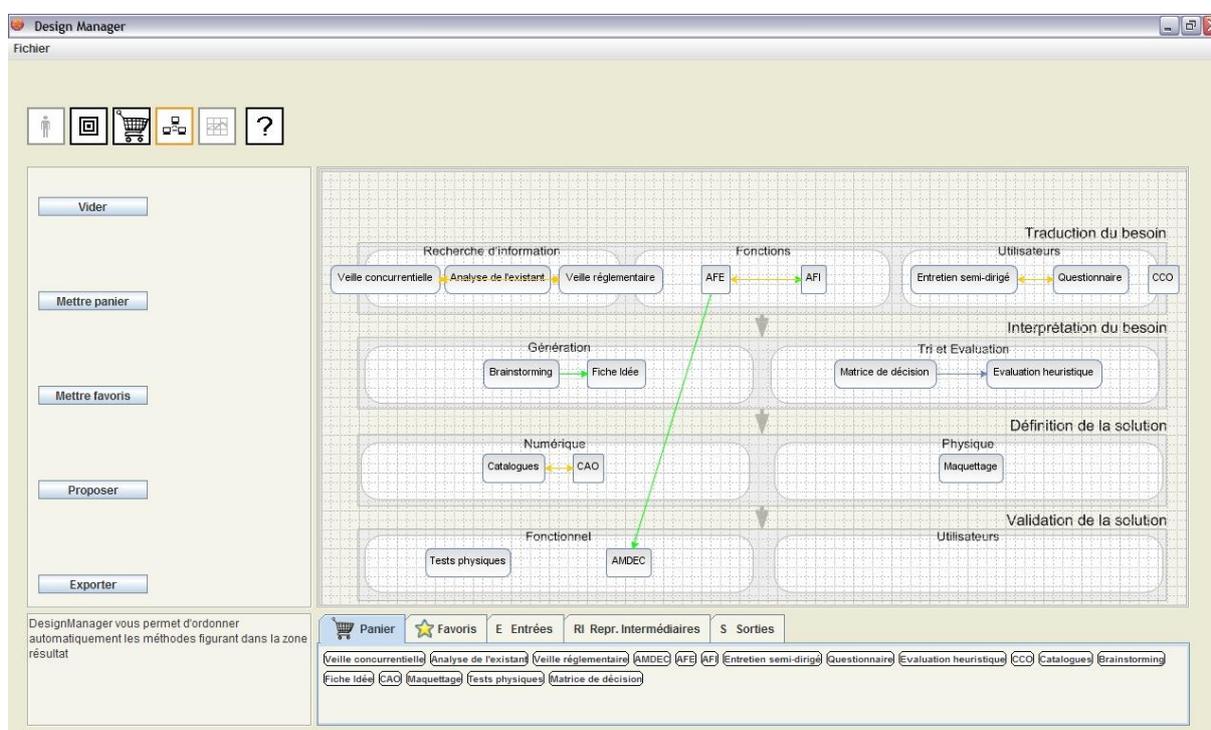
#### 4.4.3.1.4 FP2 : Construire le processus de conception

Une fois que l'utilisateur a présélectionné les méthodes désirées dans le panier et/ou dans ses favoris, il peut alors procéder à la sélection finale des méthodes de conception. Cette **sélection définitive** prendra effet dès lors que les méthodes seront ordonnées entre elles à l'intérieur d'un processus de conception cohérent.

Pour ce faire, l'utilisateur doit dans un premier temps reporter tout ou partie du contenu de son panier et de ses favoris dans la zone de résultats (boutons « **mettre panier** » ; « **mettre favoris** »).

Deux possibilités sont ensuite offertes à l'utilisateur : soit il réalise l'agencement des méthodes entre elles avec l'assistance du logiciel (bouton « **proposer** »), soit il réalise cet ordonnancement seul. A tout moment, l'utilisateur a la possibilité de revenir en arrière en vidant le contenu de la zone résultats (bouton « **vider** »).

Une **image de fond** dans la zone résultats permet à l'utilisateur d'avoir des points de repère entre les différentes **phases** et **étapes** du processus de conception. La **notion temporelle** du processus de développement de produits est alors matérialisée par des flèches disposées entre les diverses phases. Si l'utilisateur choisit l'option d'assistance du logiciel dans l'organisation des méthodes, le système ordonne automatiquement les méthodes entre elles et symbolise certaines **antériorités** à l'aide de flèches oranges et vertes selon le niveau d'antériorité (**Figure 70**). L'utilisateur a également la possibilité d'ajouter des flèches, auquel cas elles seront reportées en bleu.



**Figure 70 : Construction du processus de conception**

Dès que l'utilisateur estime que le processus de conception construit est suffisamment précis et complet, il a la possibilité d'exporter les résultats en format .csv (bouton « **exporter** ») exploitable par des logiciels de planification de projet du type MS Project (§ 4.2.3 « FC10 : Etre compatible avec les autres outils de gestion de projet existants ») (**Figure 71**).

ID	Nom	Prédécesseurs
1	1 Veille concurr	2;3
2	2 Analyse de l'€	1;3
3	3 Veille réglem	1;2
4	4 AMDEC	5
5	5 AFE	6
6	6 AFI	5
7	7 Entretien sen	8
8	8 Questionnaire	7
9	9 Evaluation he	17
10	10 CCO	
11	11 Catalogues	14
12	12 Brainstorming	
13	13 Fiche Idée	12
14	14 CAO	11
15	15 Maquettage	
16	16 Tests physiques	
17	17 Matrice de décision	

**Figure 71 : Export dans un format .csv du processus de conception construit**

#### 4.4.3.1.5 Design et Ergonomie

Comme indiqué en préambule de cette étape de définition de la solution, le **design** et l'**ergonomie** de l'interface n'ont été développés que de façon **sommaire**. Ces aspects seront à approfondir lors des versions ultérieures du logiciel.

Toutefois, nous avons appliqué certaines préconisations de « bon sens » pour ne pas rebuter les utilisateurs lors de leurs premières utilisations du logiciel. Notamment, pour l'aspect stylistique, nous avons opté pour des **couleurs sobres** (crèmes) et éviter autant que possible le noir et blanc. Seules sur certaines parties bien ciblées, nous nous sommes autorisés des couleurs beaucoup plus vives (encadrement des icônes fenêtres, niveau de pertinence, degré de ressources). Pour la partie ergonomique, nous avons **limité le nombre d'icônes** de manière à ne pas surcharger mentalement l'utilisateur lui demandant un effort d'apprentissage trop important qui serait susceptible de pénaliser l'acceptation du logiciel. Toutes les icônes sont par ailleurs **accompagnées d'un intitulé** visible lorsque l'utilisateur passe le pointeur de la souris (intitulé des fenêtres, noms des familles des méthodes, etc.).

Enfin, sur la **structure** globale des fenêtres, nous avons essayé d'adapter chacune d'elle à un **format unique** qui permette à l'utilisateur de s'adapter rapidement au basculement de l'une à l'autre.

### 4.4.3.2 La recherche par le contexte

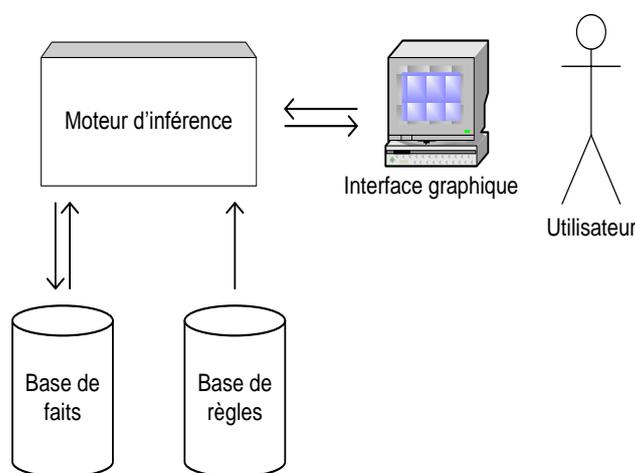
#### 4.4.3.2.1 Système expert à base de règles

La recherche de méthodes par le contexte projet est réalisée à partir d'un **système expert à base de règles**. Il s'agit d'une méthode classique de représentation et d'exploitation des connaissances, souvent utilisée en Intelligence Artificielle. Cette technique informatique a été choisie puisque nous disposons au préalable de règles de choix des méthodes.

Il existe plusieurs catégories de système expert. Le système développé dans le cadre de cette recherche s'appuie sur la **logique des propositions** (appelée également logique propositionnelle ou logique d'ordre zéro, par opposition à la logique des prédicats dite aussi logique d'ordre 1 et aux logiques d'ordre supérieur). C'est une des logiques les plus basiques. Elle est composée de variables (des affirmations « élémentaires ») et de connecteurs logiques (et, ou, implique, etc.).

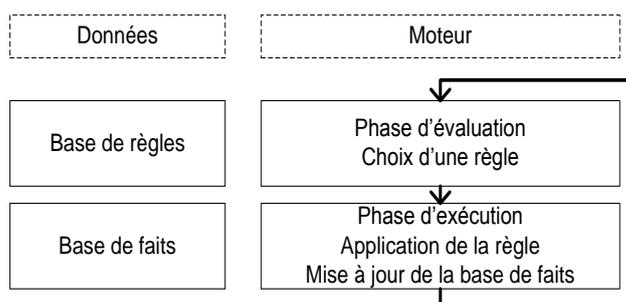
Chaque règle représente une unité de connaissance et s'écrit de la façon suivante : « **Si** Prémises **Alors** Conclusions ». Elle se base sur des **connaissances** dites **déclaratives** qui forment le savoir théorique, par opposition aux connaissances procédurales relatives au savoir-faire de l'individu. Terry Winograd, ([Winograd, 1975](#)) cité par ([De Fornel, 1990](#)) professeur d'informatique à l'Université de Stanford, est l'un des premiers auteurs à avoir distingué ces deux formes de connaissance. Les connaissances déclaratives sont ainsi basées sur des **prémises** (aussi appelées antécédents) correspondant aux conditions de déclenchement de la règle, et des **conclusions** (aussi appelées conséquents) qui en sont les effets.

Un système expert est organisé autour de trois entités ([Figure 72](#)) : une **base de faits** ; une **base de règles** et un **moteur d'inférence**.



**Figure 72 : Architecture logicielle d'un système expert**

L'ensemble des règles forme la base de règles (dite aussi base de connaissances) et constitue ainsi la connaissance « experte » du système. La base de faits contient l'ensemble des propositions connues du système à un moment donné. Le moteur d'inférence est un programme informatique qui exploite la base de règles pour déduire de nouveaux faits. Son fonctionnement obéit un à certain cycle (**Figure 73**) : la sélection de la règle à appliquer ; son application à proprement parler ; la mise à jour de la base de faits. Plusieurs conditions peuvent être mises en œuvre pour arrêter le moteur. Dans notre application, le moteur s'arrêtera lorsqu'aucun nouveau fait ne pourra être déduit. Il existe essentiellement deux algorithmes d'inférence pour réaliser des déductions (**Champavère, 2007**) : le chaînage avant et le chaînage arrière. Le principe du chaînage avant repose sur la combinaison des faits pour en déduire de nouveaux. Ainsi, si toutes les prémisses d'une implication sont connues, on ajoute la conclusion à la base de connaissances. En chaînage arrière, le raisonnement est inversé : on part du but que l'on veut atteindre, c'est à dire du fait que l'on cherche à déduire de nos connaissances. Le système développé ici est basé sur le **chaînage avant**, puisque notre objectif est de déduire de nouveaux faits.



**Figure 73 : Cycle général d'un moteur d'inférence**

#### 4.4.3.2.2 Détail du fonctionnement du moteur d'inférence développé

L'utilisateur décrit son contexte projet à l'aide des cases à cocher et listes déroulantes apparaissant dans le volet « critères » de l'interface graphique de DesignManager. Ces informations sont alors envoyées et intégrées à la base de faits. Le moteur d'inférence compare ensuite les prémisses des règles avec les faits contenus dans la base de faits. Lorsque les faits avérés permettent le déclenchement d'une règle, les conclusions de cette dernière sont ajoutées à la base de faits. La règle déclenchée est alors marquée par le système de manière à ne plus le prendre en considération. Le moteur reprend alors depuis le début la lecture des règles (à l'exception des règles déjà déclenchées préalablement marquées) et les compare de la même façon que précédemment à la base de faits. Une fois que plus aucun fait ne peut être rajouté dans la base, le système affiche les résultats dans le volet correspondant de DesignManager.

#### 4.4.3.2.3 Règles d'aide au choix des méthodes

Les règles d'aide à la sélection des méthodes sont d'**origine théorique et expérimentale**. Elles concernent chacune des six dimensions du contexte projet et les quatre dimensions des méthodes.

Comme indiqué précédemment, les règles sont définies selon le **format** : « Si... Alors... ». « Si » précède la (ou les) condition(s), « alors » la (ou les) conséquences. Conditions et conséquences sont des faits.

A partir des faits initiaux, il est possible d'enrichir la base de faits à l'aide de **diverses opérations** :

- La **conjonction** (ET,  $\wedge$ ). Exemple :  $F4 \wedge F5$  signifie C:Type d'innovation=Incrémentale ET C:Nature de l'innovation=Technique ;
- La **négation** (NON,  $\neg$ ). Exemple :  $\neg F8$  signifie F:Sûreté de fonctionnement=-1 ;
- La **disjonction** (OU,  $\vee$ ). Exemple :  $F9 \vee F10$  signifie C:Degré de risque produit=Moyen OU C:Degré de risque produit=Élevé ;
- L'**implication** (SI ..., ALORS,  $\rightarrow$ ). Exemple :  $F1 \rightarrow F2$  signifie SI M:AMDEC=1, ALORS M:AFE=1.

Actuellement, le système contient une vingtaine de règles. Certaines sont de faible complexité comme peuvent l'être par exemple les règles à deux faits qui associent à une condition, une et une seule conséquence ( $F1 \rightarrow F2$ ) ou encore leurs variantes à trois faits notamment ( $F11 \rightarrow F12 \wedge F13$ ). Dès l'instant où intervient l'opération de conjonction (ET,  $\wedge$ ) dans les conditions, cela augmente considérablement la complexité des règles ( $F4 \wedge F5 \rightarrow F6 \wedge F7$ ). Ces **règles** sont appelées « **combinées** » par opposition aux règles dites « **simples** » appartenant à la première catégorie.

Nous envisageons pour l'avenir d'accroître le nombre de règles et de leur associer une valeur numérique représentant un **degré de confiance**, ce qui permettrait de prendre en considération le niveau de confiance accordé à chacune d'elles. En effet, certaines sont des règles strictes valables dans quelque situation que ce soit. D'autres, peuvent être sujettes à discussion sur certains cas.

#### 4.4.3.2.4 Illustration sur un exemple

Considérons une base de faits (désignée par BF ci-après) constituée à l'état initial des deux faits suivants : F3 : Degré de risque=Elevé et F4 : Type d'innovation=Incrémentale. Considérons alors, une base de règles (désignée par BR ci-après) composée des trois règles suivantes : R1 :  $F1 \rightarrow F2$  ; R2 :  $F3 \rightarrow F1$  ; R3 :  $F4 \wedge F5 \rightarrow F6 \wedge F7$  où F1 : AMDEC=1 ; F2 : AFE=1 ; F5 : Nature de l'innovation=Technique ; F6 : AFI=1 et F7 : AB=1 (**Annexe 5**). Comme nous sommes dans le cas d'un chaînage avant, le moteur sélectionne et déclenche les règles dont les prémisses sont satisfaites. Sur cet exemple, le moteur déclenche successivement les règles R2 puis R1 et ajoute ainsi les faits F1 et F2 à la base de faits. L'utilisateur se verra alors suggérer l'emploi des méthodes AMDEC et AFE (**Figure 74** et **Figure 75**).

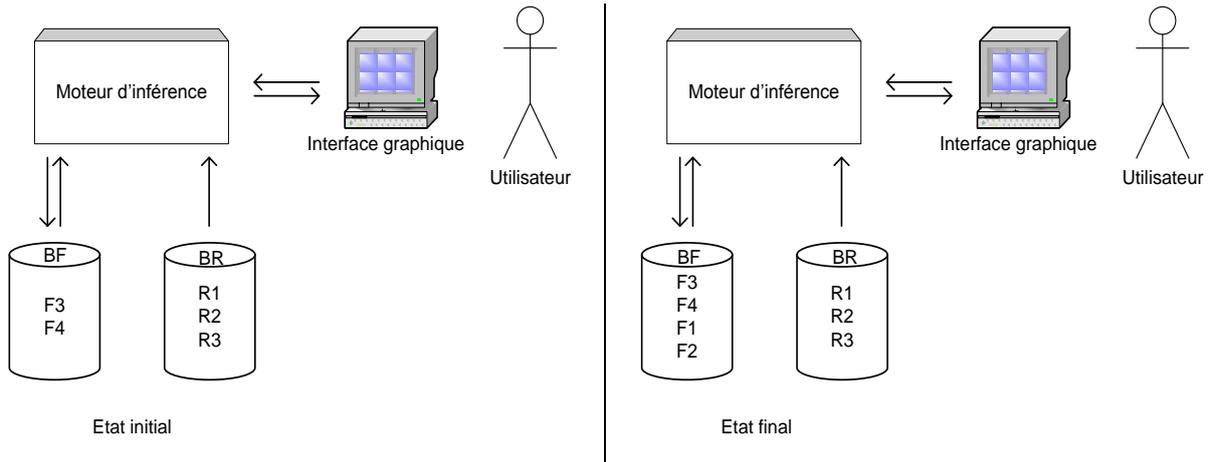
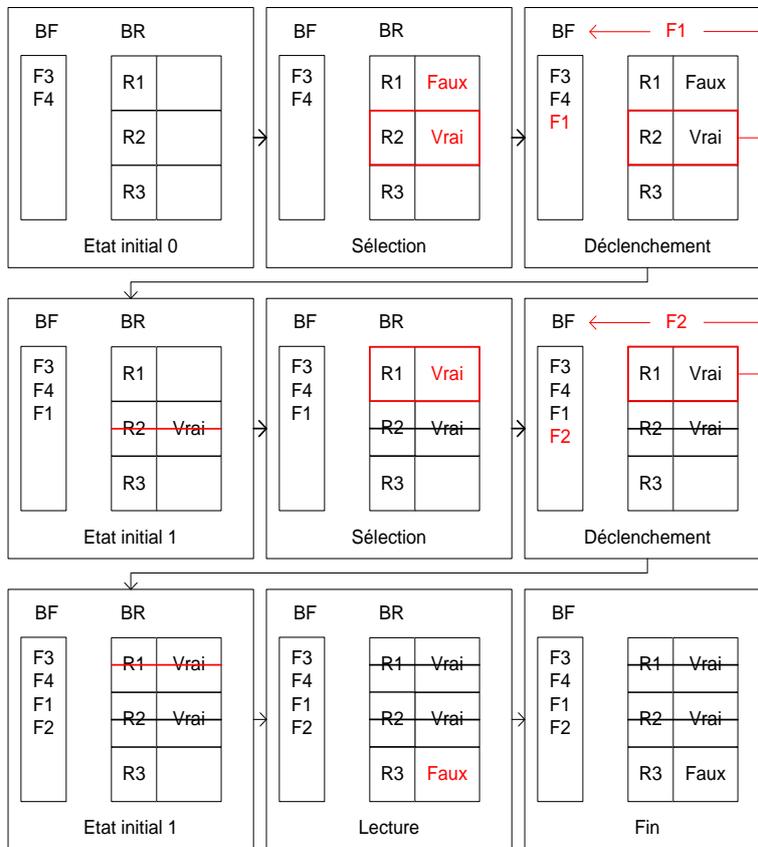


Figure 74 : Illustration du fonctionnement du moteur d'inférence



BF : Base de Faits

BR : Base de Règles

F1 : M:AMDEC=1

F2 : M:AFE=1

F3 : C:Degré de risque=Élevé

F4 : C:Type d'innovation=Incrémentale

F5 : C:Nature de l'innovation=Technique

F6 : M:AFI=1

F7 : M:AB=1

R1 : F1 → F2

R2 : F3 → F1

R3 : F4 ^ F5 → F6 ^ F7

Figure 75 : Détails du fonctionnement du moteur d'inférence

### 4.4.3.3 La recherche directe

#### 4.4.3.3.1 Recherche directe par critères simples

Comme cela a été mentionné précédemment, **cinq critères** permettent de filtrer les méthodes de conception en recherche directe (phase ; priorité ; similarité ; successeur ; mots-clés) (§ 4.4.3.1.3.2).

Le critère de « **phase** » fait appel à la fiche descriptive des méthodes. Pour chaque méthode et pour chacune des phases du processus de conception du modèle (Aoussat, 1990), est associé un niveau d'adéquation de la méthode vis-à-vis de la phase (traduction du besoin ; interprétation du besoin ; définition de la solution ; validation de la solution). Ce niveau a été évalué précédemment par les experts sur une échelle de 1 à 5. Lorsque l'utilisateur filtre les méthodes sur la base du critère de phase, seules les méthodes pour lesquelles le niveau d'adéquation avec la phase est supérieur ou égal à 3 apparaissent à l'écran. Un niveau de 5 correspond à une pertinence élevée au regard de la requête réalisée ; un niveau de 4 à une pertinence moyenne et un niveau de 3 à une pertinence faible. Par défaut, les méthodes sont organisées par ordre de pertinence, des plus pertinentes au moins pertinentes. Lorsque plusieurs méthodes disposent du même niveau d'adéquation avec la phase, le classement suit alors l'ordre alphabétique. Une autre possibilité offerte à l'utilisateur est de pouvoir organiser les méthodes par famille. Elles suivent alors l'ordre alphabétique des familles (coût ; créativité ; ... ; veille) et à l'intérieur de chaque famille, le degré de pertinence.

La recherche directe par « **priorité** » est réalisée sur la même base que pour le critère de « phase » à ceci près que nous avons utilisé une échelle de 0 à ++ pour notifier le niveau d'adéquation de la méthode vis-à-vis des priorités (style ; usage ; fonctionnel ; marché). Seules les méthodes pour lesquelles sont associées un niveau d'adéquation de + (pertinence moyenne) ou de ++ (pertinence élevée) apparaissent à l'écran. Un exemple pour la requête « Priorité=Usage » est donné au tableau ci-après (Tableau 25).

Ordre	Méthode	Priorité=Usage	Pertinence
1	Entretien semi-dirigé	++	
2	Evaluation heuristique	++	
3	Focus Group	++	
4	Observation	++	
5	Questionnaire	++	
6	Recueil de traces	++	
7	Retours d'Expérience	++	
8	Tests utilisateur	++	
9	Utilisateur pilote	++	
10	Analyse de l'existant	+	
11	Checklist	+	
12	Fiche Idée	+	

**Tableau 25 : Résultats de la requête « Priorité=Usage »**

Le critère de « **similarité** » fait appel à la matrice de similarité des méthodes. Entre chaque méthode est associé un niveau de similarité (0 ; + ; ++). De la même façon que pour le critère priorité, seules les méthodes pour lesquelles sont associées un niveau de + (pertinence moyenne) ou de ++ (pertinence élevée) apparaissent à l'écran. L'ordonnement des méthodes suit le même ordre que précédemment.

On procède de façon identique pour le critère « **successeur** » en dehors du fait que cette requête fait appel à la matrice « successeur ».

Enfin, le critère « **mots-clés** » fait appel à la fiche descriptive des méthodes. Les méthodes pour lesquelles apparaît le mot-clé recherché dans les champs de format littéraire (les diverses appellations, la description de la méthode, les mots-clés associés, etc.) sont affichées à l'écran. Il n'y a pas pour ce critère différents degrés de pertinence : soit le mot-clé figure dans la fiche (pertinence élevée), soit il n'y figure pas. Un certain degré de flexibilité est permis dans l'insertion de mots-clés : il n'y a pas d'effet ni de la casse (minuscule, majuscule) ni des accents (e ; é ; è ou u ; û ; i ou ï).

#### 4.4.3.3.2 Recherche directe par critères combinés

Lorsque l'utilisateur réalise une requête combinée entre les critères « **phase** » et « **priorité** », les méthodes pour lesquelles le niveau d'adéquation avec la phase est supérieur ou égal à 3 et le niveau d'adéquation avec la priorité est de + ou de ++ apparaissent à l'écran. Elles sont alors organisées d'abord vis-à-vis de l'adéquation avec la phase, ensuite en fonction de l'adéquation avec la priorité. Le degré de pertinence est élevé pour 5/++, moyen pour 5/+, 4/++, 4/+, 3/++, et faible pour 3/+. L'opérateur utilisé pour réaliser cette requête combinée est l'opérateur MIN. Ainsi, pour classer les méthodes entre elles, on se réfère à la valeur minimale affectée à chacun des critères. Lorsque le degré de pertinence est identique, on tient compte de l'ordre alphabétique. Le tableau ci-après (**Tableau 26**) illustre l'ordre des méthodes sur l'exemple de la requête « Phase=Traduction ET Priorité=Style ».

Ordre	Méthode	Phase=Traduction	Priorité=Style	Pertinence
1	Mapping	5	++	III
2	Veille Stylistique	5	++	III
3	Analyse de l'Existant	5	+	III
4	Analyse Emotionnelle	4	++	III
5	Analyse Sémantique	4	++	III
6	Croquis	4	++	III
7	Rough	4	++	III
8	Story Board	4	++	III
9	Fiche Idée	4	+	III
10	Analogie	3	+	III
11	Carte Mentale	3	+	III

**Tableau 26 : Résultats de la requête « Phase=Traduction ET Priorité=Style »**

Le même principe est utilisé pour le couplage entre les autres critères. On peut également imaginer d'autres scénarios d'utilisation du logiciel avec la réalisation de filtres à trois critères (**Tableau 27**) voire plus.

Ordre	Méthode	Phase=Interprét.	Priorité=Marché	Similarité=AEx	Pertinence
1	Veille concurrent.	4	++	++	III

**Tableau 27 : Résultats de la requête « Phase=Interprétation ET Priorité=Marché ET Similarité = AEx »**

#### 4.4.3.4 Construction du processus

Aucun module spécifique n'a été développé pour la partie « construction du processus de conception ». En effet, il est apparu délicat de développer une application sur-mesure pour la création et la manipulation de graphes. Ainsi, nous avons utilisé une librairie Java déjà existante. Il s'agit de la librairie **JGraphX**. Cette librairie a été préférée aux autres (JGraph, JGraphT, etc.) de par les multiples fonctionnalités dont elle dispose. Parmi les fonctionnalités déjà intégrées dans ce module, on compte notamment la possibilité de sélectionner plusieurs méthodes ou encore de les copier/coller à l'aide des raccourcis claviers CTRL+C/CTRL+V.

#### 4.4.4 Conclusion de l'étape 3

Le **logiciel DesignManager** développé dans le cadre de cette recherche est un outil d'aide à la décision permettant de guider les concepteurs et chefs de projet dans leur sélection de méthodes de conception adaptées à leur contexte projet. Ce guide a été conçu sur la base des données de sortie des précédentes étapes de l'expérimentation, à savoir les **fonctions attendues** du futur système, mais également le **modèle d'aide à la sélection** des méthodes construit jusqu'alors.

Ainsi, DesignManager permet de répondre à la fonction principale n°1 de sélection des méthodes selon deux modes de recherche à utiliser de manière combinée ou indépendante : la **recherche guidée par le contexte** et la **recherche autonome** via les critères directs. L'outil permet également de **construire un processus** de développement de produits nouveaux cohérent compte tenu des méthodes présélectionnées et répond ainsi aux exigences de la fonction principale n°2 de construction du processus de conception.

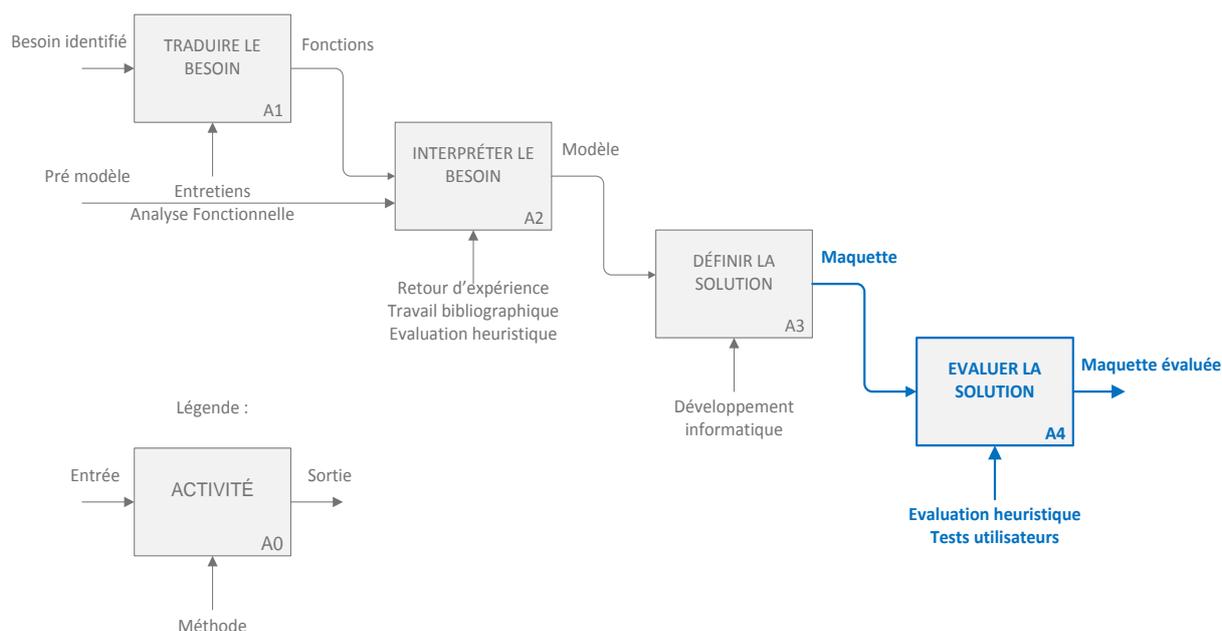
L'un des impératifs suivi lors du développement de l'outil a été d'**anticiper les évolutions du logiciel**, telles que la mise à jour des données des méthodes ; l'implémentation de nouvelles connaissances par l'ajout de règles d'aide à la sélection ; l'accroissement de la base de données méthodes ; etc. Cette exigence, contenue dans la fonction contrainte de maintenabilité du système, a guidé la définition de l'architecture du logiciel.

Ainsi, nous disposons dès à présent d'un nouvel outil d'aide à la sélection des méthodes de conception que nous allons pouvoir évaluer dans l'ultime étape de l'expérimentation.

## 4.5 Evaluation de la solution

### 4.5.1 Objectifs de l'étape 4

A l'issue de l'étape de définition de la solution, nous disposons d'une maquette fonctionnelle d'aide à la sélection des méthodes de conception. L'objectif de la dernière étape de l'expérimentation est alors d'**évaluer la solution** développée et de définir des pistes d'amélioration potentielles ainsi que des recommandations pour un développement ultérieur (**Figure 76**).



**Figure 76 : Evaluation de la solution**

Le périmètre de l'évaluation se concentre sur la **partie fonctionnelle** du système, c'est-à-dire que nous ne tenons pas compte ici ni de l'ergonomie ni de l'aspect stylistique du logiciel (choix des icônes, des couleurs, etc.). Ces deux critères d'évaluation pourront éventuellement faire l'objet d'études complémentaires en dehors du cadre de cette recherche.

Deux objectifs distincts sont visés dans cette phase. Premièrement, nous nous adressons aux experts en méthodologies de conception pour connaître leurs avis sur les réponses retournées par le système (**évaluation heuristique**). Deuxièmement, nous cherchons à vérifier via des **tests utilisateurs** si le système développé apporte aux futurs utilisateurs une réponse adéquate à la problématique posée. Autrement dit, nous souhaitons déterminer dans quelle mesure les fonctions implémentées dans DesignManager répondent aux attentes d'un concepteur et/ou chef de projet novice en matière d'aide au choix des méthodes de conception, ceci dans une perspective d'optimisation du processus de développement de produits.

Finalement, cette étape nous permet d'évaluer les fonctionnalités de l'outil et de **tester notre modèle d'aide au choix** ainsi que les **hypothèses** sous-jacentes à ce développement, en réponse à la problématique d'aide à la sélection des méthodes de conception.

## 4.5.2 Evaluation heuristique

### 4.5.2.1 Objectif

L'objectif de ces évaluations heuristiques est de **tester le module de recherche simple** de méthodes auprès des experts. Ceci permet de préciser certaines réponses avant de mettre le système aux mains des futurs utilisateurs pour une évaluation globale des trois modules (recherche simple, recherche par le contexte, construction du processus).

### 4.5.2.2 Participants

**7 personnes** de disciplines variées (designer, ergonomes, ingénieur) ont pris part à l'évaluation du module de recherche simple des méthodes. Au total, la population interrogée était constituée de 2 consultants, 4 enseignants-chercheurs et 1 chef de projet, tous reconnus pour leur **expertise** et leur maîtrise des **méthodologies de conception** de produits nouveaux. 3 années d'expérience minimum étaient requises pour pouvoir faire parti du panel (moyenne = 8, écart type = 5). Un test pilote a été réalisé au préalable de l'évaluation avec une autre personne (hors échantillon) pour vérifier la consistance du protocole.

### 4.5.2.3 Matériel

Nous avons utilisé un **ordinateur** sur lequel était installé le **logiciel DesignManager**. Les évaluateurs étaient assis face à l'écran et interagissaient avec le système à l'aide d'une souris. L'expérimentateur était assis à côté de l'évaluateur, en retrait par rapport à l'écran.

L'expérimentateur disposait d'un **guide d'entretien** sur lequel étaient inscrites les quatre premières requêtes à tester : deux requêtes simples, deux requêtes combinées. A ces quatre requêtes s'ajoutait également une requête libre que devait choisir l'évaluateur. Les questions relatives aux requêtes prédéfinies (hors requête libre) portaient sur l'ensemble des phases du processus de conception ainsi que sur chaque discipline (design, ergonomie, ingénierie). Sur les 7 personnes interrogées, seules 2 experts ont choisi la même requête libre. Dans chaque cas, les évaluateurs devaient répondre aux questions suivantes : « Parmi les réponses obtenues, auriez-vous souhaité voir apparaître d'autres méthodes ? Si oui, lesquelles ? » ; « Parmi les réponses obtenues, jugez-vous certaines méthodes hors propos ? Si oui, lesquelles ? ». Les réponses aux questions étaient alors prises en note par l'évaluateur directement sur le guide d'entretien.

#### 4.5.2.4 Procédure

Chaque personne a **testé individuellement** le module de recherche simple de méthodes. L'évaluation était précédée d'une **phase de familiarisation** au cours de laquelle étaient présentées les fonctionnalités du système. Au cours de l'expérience, l'évaluateur **prenait en note** les commentaires et remarques des experts. A la fin de l'évaluation, les experts devaient donner leurs impressions globales et estimer sur une échelle de Likert en 5 points leur **avis sur le système**. La durée totale de l'évaluation était d'environ **30 minutes** par personne.

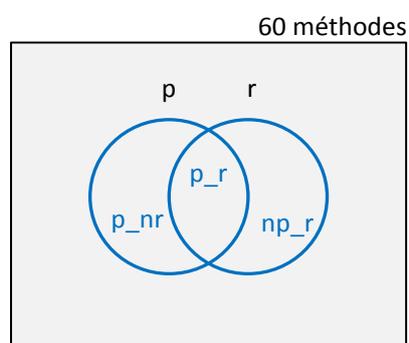
#### 4.5.2.5 Données recueillies

Deux familles de variables ont été recueillies : des **critères de performance** que nous détaillons ci-après ; des **critères subjectifs** où nous avons tenu compte à la fois des valeurs sur l'échelle de Likert ainsi que des commentaires libres.

La performance de la recherche simple a été évaluée à partir des **critères de rappel et de précision** utilisés dans les évaluations des systèmes de recherche d'information. On dispose en effet de plusieurs éléments : une collection de méthodes ; un ensemble de requêtes, avec pour chacune d'elles, l'ensemble des méthodes pertinentes. L'évaluation est réalisée à partir d'une réponse dite binaire : le résultat retourné est pertinent ou n'est pas pertinent. Pour calculer le rappel et la précision, on associe à chaque catégorie de réponse des annotations (**Tableau 28**) schématisées à la figure suivante (**Figure 77**). L'objectif est bien évidemment d'atteindre le recouvrement des deux cercles et donc de minimiser la part des pertinents non retournés et des non pertinents retournés.

	Pertinents	Non pertinents
Retournés	Vrais positifs (p_r)	Faux positifs (np_r)
Non retournés	Faux négatifs (p_nr)	Vrais négatifs (np_nr)

**Tableau 28 : Annotations utilisées pour l'évaluation heuristique**



**Figure 77 : Schématisation des annotations utilisées pour l'évaluation heuristique**

Le rappel (R) correspond alors à la capacité du système à retourner toutes les réponses justes (**Eq. (1)**). La précision (P), correspond quand à elle à la probabilité qu'une réponse retournée soit juste (**Eq. (2)**).

$$R = \frac{p_r}{(p_r + p_{nr})} \quad (1)$$

$$P = \frac{p_r}{(p_r + np_r)} \quad (2)$$

#### 4.5.2.6 Résultats

L'**analyse de la performance** fait apparaître de bons résultats en matière de rappel et de précision. On observe également un bon équilibre entre ces deux valeurs. Pour le rappel, nous obtenons une moyenne à 0.95 (écart type=0.07). Pour la précision, nous obtenons une moyenne à 0.97 (écart type à 0.05).

En ce qui concerne les **évaluations subjectives**, nous obtenons une appréciation globale du module à 3.5 sur une échelle de Likert en 5 points (écart type à 0.8). Globalement, les critères de choix du module de recherche simple (phase, priorité, similarité, successeur, mots-clés) ont été bien perçus même si certains critères mériteraient d'être précisés dans l'aide. De nombreuses remarques et pistes d'amélioration potentielles ont été mises en avant. Elles concernent notamment les aspects ergonomiques de l'interface pour rendre le système plus convivial ; l'idée d'étendre la base de données avec de nouvelles méthodes ; la distinction qui pourrait être faite entre ce que certains désignent tantôt par méthodes tantôt par outils. De plus, un expert s'est interrogé sur la pertinence des classifications des méthodes en famille, en phases et en priorité. Enfin, certains évaluateurs ont émis quelques réserves sur le potentiel dans l'industrie d'un tel outil qu'ils désignent plutôt comme étant un outil pédagogique à destination des étudiants. D'autres encore ont évoqué la cible des chercheurs en méthodologies de conception comme perspective intéressante pour l'avenir.

Bien que nous n'ayons pas envisagé de relever le **comportements des évaluateurs** face au logiciel, l'expérimentateur a largement pu observer l'attractivité du logiciel sur les experts qui se sont montrés très curieux à l'idée de tester les filtres et découvrir les autres modules du système.

#### 4.5.2.7 Discussion

Les **niveaux de rappel et de précision** obtenus sont **conformes aux objectifs** (valeurs supérieures à 0.9). Néanmoins, on note une légère faiblesse du système sur le plan du rappel par rapport à la précision (différence de 0.2 entre les deux valeurs). Cette différence est due à l'usage très variable que font les experts des méthodes. Par exemple, certains experts, très à l'aise avec les méthodes de créativité, auraient souhaité voir apparaître ces méthodes en résultats de chacune des requêtes. Or, si tel avait été le cas, les autres participants à l'étude auraient jugé négativement ce rappel, ne percevant pas l'usage qui pourrait en être fait. Ainsi, nous ne pensons pas pouvoir améliorer significativement le niveau de rappel sans altérer celui de précision. De plus, il est important de souligner que les experts sont unanimes sur le fait que l'essentiel des méthodes figurent dans les

réponses retournées par le système (rappel nécessaire et suffisant pour mener à bien un projet de développement de produit nouveau). Nous estimons donc que nous avons atteint ici de bons résultats sur ces critères et un bon équilibre entre les deux qui ne nécessite pas de modification en profondeur du système.

La **moyenne globale des évaluations subjectives** à 3.5 sur une échelle de Likert à 5 points est **relativement surprenante** aux vus des bons niveaux de critères et de précision obtenus. Plusieurs raisons semblent justifier cette appréciation. D'une part, et bien que l'évaluation de l'interface du logiciel était hors du périmètre du test, certains évaluateurs se sont montrés exigeants sur les aspects ergonomiques du système, notamment en ce qui concerne le choix des icônes et des couleurs. Nous sommes conscients de ces faiblesses et envisageons de retravailler ces aspects dans une version ultérieure du logiciel. Autre point, certains évaluateurs ont souligné le manque d'exhaustivité de la base de données. Or, notre système ne se positionne pas comme étant exhaustif sur ce plan. Notre ambition est plutôt de donner entre les mains des concepteurs et chefs de projet les méthodes majeures et indispensables au bon déroulement d'un projet de conception. C'est ce que nous semblons avoir atteint avec cette base, puisque les évaluateurs ont souligné à plusieurs reprises que l'essentiel des méthodes y sont regroupées. De plus, l'objectif semble doublement atteint, puisque aucun des experts interrogés ne connaissait l'intégralité des 60 méthodes référencées. En tout état de cause, nous n'excluons pas d'étendre à l'avenir la base de données avec quelques méthodes supplémentaires. De plus, trois experts ont fait part à l'expérimentateur de leur regret de voir ainsi mélangés ce qu'ils désignent soit par le terme « méthodes » soit par celui d'« outils ». Nous vous rappelons à ce titre que nous avons au préalable statuer dans le chapitre état de l'art (2.1.1.3) sur le fait que nous ne faisons pas de distinction entre ces deux termes. Or, l'évaluation auprès de l'industriel expert du panel semble nous avoir donné raison sur ce point, puisqu'il n'a pas été perturbé par l'hétérogénéité de la base de données. Néanmoins, pour s'assurer que l'hétérogénéité entre les éléments de la base ne soit pas mal perçue par les industriels cibles de ce logiciel, il faudrait élargir le panel d'industriels experts. Sur la question des classifications, nous pensons également que celles-ci peuvent être précisées. Ces précisions pourront être apportées au fil des retours d'expérience du logiciel et permettront à terme de stabiliser les catégories. Enfin, à la question de la cible, nous pensons effectivement que ce système présente un potentiel auprès des étudiants et des chercheurs. Nous n'abandonnons pas pour autant notre cible principale que sont les concepteurs et chefs de projet novices en industrie. En effet, le caractère applicatif de DesignManager justifiera pleinement sa place dans les organisations industrielles. Enfin, il faut attendre d'avoir évalué la globalité du système pour juger ou non de sa pertinence sur cette cible.

#### **4.5.2.8 Conclusions et perspectives**

Aux vus des résultats, le module de recherche simple de méthodes dispose d'une très bonne précision (moyenne proche de 0.99 et écart type faible) et d'un bon rappel (moyenne de 0.95 et écart type faible). Ainsi, à quelques rares exceptions près, les réponses retournées par le système sont toutes jugées pertinentes par rapport à la requête effectuée. Pour espérer améliorer les niveaux de précision, il s'agit dans la plupart des cas de réajuster sensiblement les valeurs de phase ou priorité dans la fiche d'identité des méthodes pour : soit modifier l'ordre de présentation des résultats de la requête ; soit abaisser le seuil de manière à ce que les méthodes non souhaitées n'apparaissent pas dans la zone résultats. Concernant le rappel, nous ne pensons pas pouvoir améliorer de manière significative le résultat sans en altérer la précision. Néanmoins, il est important de noter que l'ensemble des méthodes jugées essentielles pour chaque requête figurent dans la zone résultats.

Cette évaluation a également permis de valider le contenu de la base de données de 60 méthodes. En effet, cette dernière a démontré non pas son exhaustivité, mais tout du moins sa pertinence sur chacune des requêtes considérées. Les autres méthodes évoquées pourront éventuellement faire l'objet d'une extension ultérieure de la base dans une prochaine version du logiciel.

Nous avons pu auprès de cet échantillon d'évaluateurs entrevoir le potentiel que revêt ce système aussi bien sur une cible d'industriels que d'étudiants ou de chercheurs.

Finalement, en regard des différents éléments de cette évaluation, nous considérons que ce **module est validé**. Même si des efforts devront être poursuivis à l'avenir, la recherche simple de méthode, telle qu'elle a été développée dans le cadre de cette recherche, nous permet d'envisager sereinement la suite de l'évaluation de DesignManager.

#### **4.5.3 Tests utilisateurs**

##### **4.5.3.1 Objectif**

L'objectif de ces tests utilisateurs est d'**évaluer** les apports de **DesignManager** en matière de recherche de méthodes de conception et de construction du processus de développement de produit vis-à-vis d'un outil classique d'aide à la sélection des méthodes.

##### **4.5.3.2 Participants**

Dans une première approche, un échantillon initial de **deux personnes** a été utilisé pour ces tests utilisateurs. Ce sont tous deux des **concepteurs novices** ayant entre 1 et 3 années d'expérience en développement de produits nouveaux. Parmi eux, on compte un doctorant-ingénieur du Laboratoire

Conception de Produits et Innovation et un ingénieur système travaillant dans une grande entreprise française. Cet échantillon sera étendu pour la suite des évaluations.

#### 4.5.3.3 Matériel

De la même façon que pour l'évaluation heuristique, nous avons utilisé un **ordinateur** disposant d'une **connexion internet** ouvrant sur la page de l'outil classique d'aide à la sélection des méthodes (Neau, 2003) et sur lequel est installé le **logiciel DesignManager** (Figure 78).

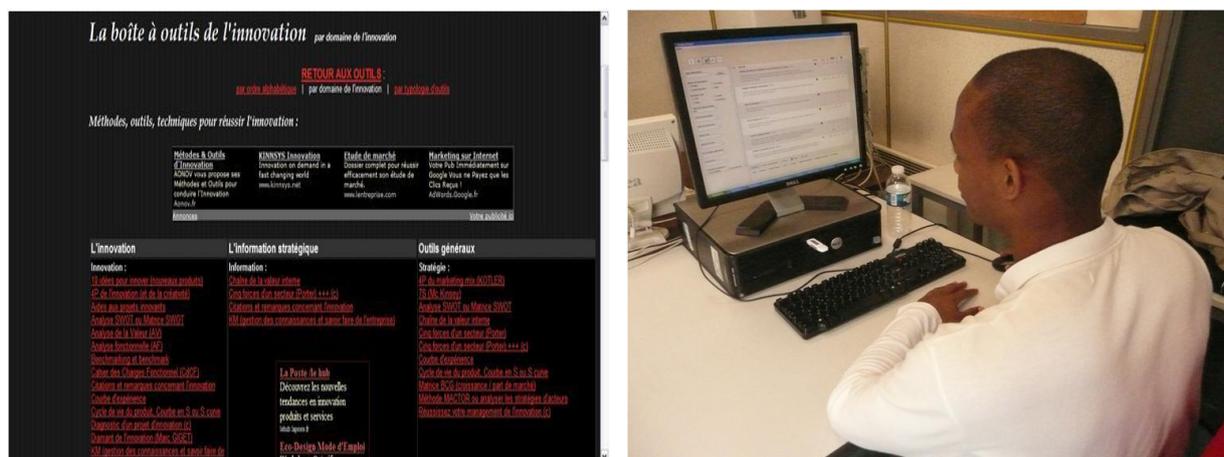


Figure 78 : Page internet de l'outil classique (à gauche) - Personne en cours d'évaluation (à droite)

L'évaluateur fait ainsi face à l'écran et dispose de **deux scénarios** qui constituent les études de cas pour l'évaluation, d'une **feuille réponse** et d'un **questionnaire post-expérimental** distribué par l'expérimentateur en fin de test.

Il est à noter que les études de cas, intitulées « Ustensile » (pour le développement d'un nouvel ustensile de cuisine) et « Cabine » (pour la conception d'une nouvelle cabine médicalisée), n'ont pas été choisies par hasard. En effet, elles correspondent toutes deux à des projets sur lequel l'expérimentateur a contribué en tant que concepteur.

#### 4.5.3.4 Procédure

Après une **présentation succincte** de la recherche menée au sein du laboratoire et de celle conduite dans le cadre de cette recherche, l'expérimentateur explicite à l'évaluateur les **objectifs** et le **déroulement du test**. L'évaluateur est ensuite invité à **prendre connaissance du premier scénario** (« Ustensile » ou « Cabine » selon le cas) et à **construire un processus de conception** adapté aux exigences indiquées dans l'étude. Cette construction est réalisée soit sous la condition contrôle « Internet » (rendu papier sur la feuille réponse), soit sous la condition « DesignManager » (rendu informatique par capture d'écran de la fenêtre « processus » de DesignManager et par exportation des résultats sur un fichier Excel). Il est à noter que la condition DesignManager est précédée d'une **phase de familiarisation** durant laquelle l'utilisateur explore les différentes fenêtres et

fonctionnalités de l'outil. Une fois la première étude achevée, l'évaluateur aborde le deuxième scénario et **change de condition de test**. L'ensemble des variables « condition » et « scénario » sont récapitulées dans le tableau suivant (**Tableau 29**). A la fin de l'expérimentation, l'évaluateur est invité à **remplir le questionnaire post-expérimental**. La durée totale du test est de **45 minutes**.

Individu	Condition « Internet »	Condition « DesignManager »
1	Ustensile - #1	Cabine - #2
2	Cabine - #1	Ustensile - #2

Légende : #1 : Premier test - #2 : Deuxième test

**Tableau 29 : Récapitulatif des conditions et scénario utilisés pour les tests utilisateurs**

#### 4.5.3.5 Données recueillies

Nous souhaitons évaluer la condition « Internet » et la condition « DesignManager » sur **trois** des cinq **critères d'utilisabilité** mentionnés par (**Brangier and Barcenilla, 2003**). Le premier critère, **l'efficacité**, examine si les buts visés par l'utilisateur du système sont atteints et vérifie la capacité du système à satisfaire ses intentions. Le deuxième critère, **l'efficience**, mesure les ressources nécessaires pour atteindre les objectifs de l'utilisateur et quantifie le nombre de fonction utilisées. Enfin, le troisième et dernier critère utilisé dans ces tests, la **satisfaction**, mesure l'appréciation générale de l'outil. Ces trois critères (efficacité, efficience et satisfaction) sont évalués par l'utilisateur sur une **échelle de Likert en 5 points**.

En dehors de ces données quantifiées, nous relevons également les **commentaires qualitatifs** reportés par les évaluateurs sur le questionnaire de fin de test ainsi que les **processus de conception** relatifs à chaque scénario effectivement construits.

#### 4.5.3.6 Résultats

Les données quantitatives, relevées dans les questionnaires post-expérimentaux pour les deux évaluateurs, indiquent une **supériorité de la condition « DesignManager » face à la condition contrôle « Internet »** pour les trois critères d'utilisabilité retenus (**Tableau 30**). Les commentaires qualitatifs confirment la valeur ajoutée de DesignManager face à au site internet qui représente la forme classique d'un outil d'aide à la sélection des méthodes. Cette plus-value concerne essentiellement les critères d'efficacité et de satisfaction, un peu moins l'efficience.

Critères d'utilisabilité	Condition « internet » (0-4)	Condition « DesignManager » (0-4)
Efficacité	1,5	3,0
Efficience	1,0	1,5
Satisfaction	1,5	2,5

**Tableau 30 : Résultats quantitatifs des tests utilisateurs**

Deux objectifs intrinsèquement liés étaient attendus lors de ces tests utilisateurs. Le premier, concernait la sélection des méthodes de conception ; le deuxième, l'agencement des ces méthodes entre elles pour former un processus de conception structuré. Les efficacités des conditions « Internet » et « DesignManager » ont donc été jugées par rapport à ces deux buts. Les résultats montrent que DesignManager a été jugé **plus efficace** que le site internet, pour l'échantillon initial de deux personnes. En effet, les utilisateurs ont jugé négativement le manque de synthèse du site Internet. N'ayant généralement que peu de temps à accorder au choix des méthodes de conception, ils n'ont pas eu la possibilité de rentrer dans le détail du texte et ont simplement survolé le contenu des descriptions. De plus, les résultats au niveau des processus construits dans la condition « internet » montrent que le site n'a que faiblement contribué à cette construction. Inversement, la condition « DesignManager » montre une influence du logiciel sur la construction du processus de conception. En effet, lors des deux tests, les utilisateurs ont laissé dans un premier temps le logiciel émettre ses recommandations, qu'ils ont ensuite pu retoucher en intégrant leur savoir-faire et compétences propres. Il y a eu « co-construction » du processus entre d'un côté le système, de l'autre l'utilisateur. De même, le couplage des deux modes de recherche de méthodes, par le contexte et par la recherche directe, a été bien perçu par les utilisateurs qui y ont vu une bonne complémentarité dans les deux approches. DesignManager a donc bien rempli son rôle de support dans la sélection des méthodes et dans la construction du processus de conception. Néanmoins, les utilisateurs ont émis des réserves sur l'efficacité du module « processus » de DesignManager pour des projets complexes et d'envergure du type conception de véhicules automobiles (développement sur plusieurs années, prise en compte d'un réseau de partenaires sous-traitants, fournisseurs, etc.).

DesignManager a été jugée **légèrement plus efficient** que le site internet. En effet, les ressources nécessaires pour atteindre les objectifs (ressources temporelles notamment) ont été plus importantes dans la condition « internet » que dans la condition « DesignManger ». Ceci est dû en particulier à l'effort de l'utilisateur pour lire le contenu du site (beaucoup de texte). Néanmoins, même si comparativement à l'outil classique, l'outil que nous proposons s'avère plus efficient, le résultat reste faible. Des efforts devront être poursuivis sur ce critère par la suite.

Enfin, il ressort des résultats que l'utilisateur est **plus satisfait** dans l'utilisation de DesignManager que dans l'utilisation du site Internet. En effet, DesignManager a été jugé plus ludique et plus agréable à utiliser que le site Internet. Les utilisateurs ont par ailleurs apprécié le caractère dynamique du module de recherche directe. Néanmoins, ils ont exprimé certaines frustrations de ne pouvoir comprendre pourquoi les méthodes apparaissant dans le volet résultats leur étaient recommandées. De plus, ils ont également exprimés leurs attentes pour plus d'ergonomie du logiciel, notamment en ce qui concerne le choix des icônes et des intitulés.

#### 4.5.3.7 Discussion

Bien que les résultats des tests ne concernent qu'un échantillon initial de deux personnes, les données extraites nous permettent d'esquisser les **apports** et **limites** du logiciel proposé face aux besoins des utilisateurs cibles.

Ainsi, les résultats de ces tests nous permettent d'entrevoir les **limites** de DesignManager. Ce système montre ses limites pour la partie **construction du processus de conception** en matière de **projets dits « complexes »**. Les utilisateurs reprochent une vision trop macroscopique du système pour cette partie. Pour rentrer dans un niveau de détail plus microscopique, il faudrait décomposer les phases du processus en étapes, voire en sous-étapes. Nous perdrons alors la généralité du modèle de processus, ce qui va à l'encontre de notre approche. Ainsi, pour répondre au besoin de construction du processus de conception pour des projets complexes, il faudrait très certainement développer un outil sur-mesure pour une application et une entreprise bien délimitée, à l'instar de [\(Shakeri and Brown, 2004\)](#).

L'**efficience** de DesignManager, bien que supérieure à celle du site internet, a été jugée assez faible. Une piste d'explicitation de ce résultat tient au **temps d'apprentissage du logiciel**. En effet, pour prendre correctement en main le système, l'utilisateur a besoin d'un temps d'adaptation pour saisir toutes les facettes et fonctions du logiciel. Il est probable que le temps de familiarisation avec le système n'ait pas été suffisamment long et que si nous interrogeons les mêmes utilisateurs après plusieurs utilisations de DesignManager, son efficience s'en trouverait augmentée.

Les utilisateurs ressortent plus **satisfaits** de l'utilisation de DesignManager comparativement à l'utilisation du site internet. Néanmoins, il apparaît que le résultat de ce critère pourrait être revu à la hausse auprès développement des deux **fenêtres** manquantes (fenêtre « **profil** » et « **analyses** »).

#### 4.5.3.8 Conclusions et perspectives

Globalement, DesignManager a été bien accueilli lors des tests utilisateurs auprès d'un échantillon initial de deux personnes. Les résultats obtenus sur les critères d'efficacité et de satisfaction en particulier sont prometteurs. Ainsi, ces tests préliminaires réalisés permettent de valider l'apport de DesignManager et des hypothèses et modèle sous-jacents à son développement en ce qui concerne l'aide à la sélection des méthodes de conception (choix des méthodes et intégration dans un processus organisé). De plus, ces tests ont déjà permis de cerner un périmètre plus précis et de dresser les limites de l'utilisation de ce logiciel, notamment en ce qui concerne le module processus pour une application sur des projets complexes. Néanmoins, les efforts en matière d'évaluation doivent être poursuivis. Des tests évaluateurs sont déjà programmés pour étendre l'échantillon de deux à six individus.

#### **4.5.4 Conclusion de l'étape 4**

Pour l'évaluation de l'outil d'aide à la sélection des méthodes de conception, nous avons choisi de faire référence à deux types de population : une **population d'experts** permettant d'évaluer la justesse des résultats retournés par le système ; et un échantillon de la **population cible**, à savoir des concepteurs novices, permettant de tester la pertinence de la réponse apportée par l'outil vis-à-vis du besoin d'aide à la sélection des méthodes de conception.

Les tests par le premier type d'individu ont été réalisés via des **évaluations heuristiques**. Ces dernières ont permis d'évaluer les niveaux de rappel et de précision sur le module de recherche directe de l'outil logiciel. Les résultats obtenus alors sont d'un excellent niveau, ce qui nous a permis d'ouvrir l'évaluation à la population cible.

Les **tests utilisateurs** auprès d'un échantillon initial de quelques individus ont donné des résultats encourageants pour la suite. Ces tests ont permis de relever les atouts et faiblesses du système vis-à-vis des attentes des futurs utilisateurs.

Ainsi, la combinaison des évaluations heuristiques et des tests utilisateurs ont permis de valider la pertinence de l'outil au besoin de support à la sélection des méthodes de conception et des tracer des pistes d'amélioration pour la suite.

## 4.6 Synthèse des apports expérimentaux

### 4.6.1 Synthèse globale de la démarche expérimentale

Notre démarche expérimentale repose sur le modèle Aoussat en **quatre étapes** (Aoussat, 1990). Dans une optique de conception centrée utilisateurs, nous avons impliqué les utilisateurs finaux du système en début et en fin de développement. L'objectif de l'expérimentation est de modéliser l'aide à la sélection des méthodes pour assister les concepteurs et chefs de projet dans cette activité.

L'étape 1 de **traduction du besoin** permet de comprendre précisément les besoins et attentes des utilisateurs finaux en matière d'assistance au choix des méthodes. Pour cela, nous nous sommes appuyés sur les résultats des entretiens semi-dirigés menés auprès des concepteurs et chefs de projet. L'étape 2 d'**interprétation du besoin** concerne la construction du modèle. Il s'agit de l'étape clé de cette recherche, c'est la raison pour laquelle nous avons fait appel à de trois méthodes distinctes que sont le retour d'expérience, l'étude bibliographique et l'évaluation heuristique. L'étape 3 de **développement de la solution**, aboutit à un système d'aide au choix des méthodes informatisé. Pour cela, nous avons utilisé une méthode classique de développement informatique. Enfin, l'étape 4 d'**évaluation de la solution**, permet de tester le modèle et les hypothèses sur le support d'aide à la sélection des méthodes de conception développées. Deux méthodes d'évaluation ont été combinées, à savoir l'évaluation heuristique auprès d'experts en méthodologies de conception et les tests utilisateurs auprès de concepteurs et chefs de projet.

La figure suivante (Figure 79), inspirée de (Duffy and Andreasen, 1995), illustre l'**approche de modélisation** utilisée pour cette recherche et positionne les apports des étapes 1 à 3 vis-à-vis de cette démarche.

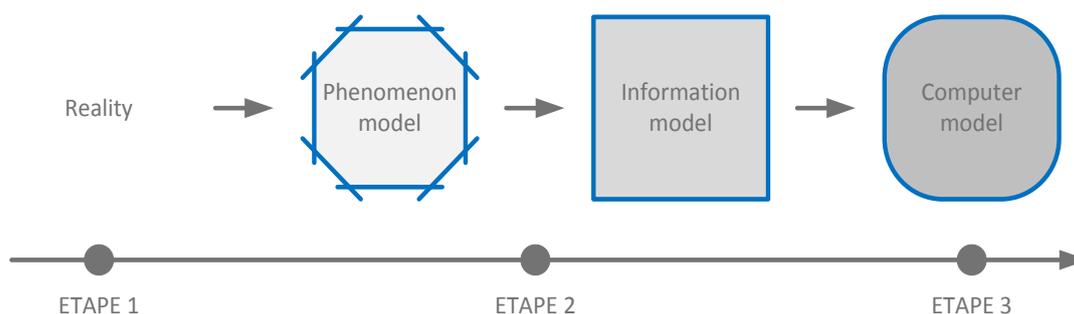


Figure 79 : Approche de modélisation d'après (Duffy and Andreasen, 1995)

Dans la suite de cette section, nous abordons point par point, les apports de chacune des étapes.

#### **4.6.2 Synthèse de la démarche expérimentale par étape**

L'étape de **traduction du besoin** a permis de traduire en spécifications fonctionnelles les exigences et attentes en matière d'aide à la sélection des méthodes de conception. Les données d'entrées de l'Analyse Fonctionnelle alors réalisée ont été extraites des résultats des entretiens menés auprès d'une population de concepteurs et chefs de projet. Le résultat principal de cette étape est ainsi la validation auprès de la population cible du besoin de support pour l'activité de sélection des méthodes. Les entretiens ont par ailleurs permis de tracer un périmètre plus précis pour cette aide à la décision notamment sur la définition de la cible et des cas d'utilisation du futur guide.

L'étape d'**interprétation du besoin** constitue le cœur de notre travail de recherche puisqu'elle nous permet d'aboutir à la construction du modèle d'aide à la sélection des méthodes de conception. La sortie de cette étape représente ainsi notre apport de recherche principal. Ce modèle, construit autour de trois entités, intègre nos hypothèses de modélisation à savoir la caractérisation via des données descriptives et prescriptives ainsi que l'intégration de connaissances théoriques et expérimentales. Ces éléments ont été obtenus via une méthode dite de triangulation qui associe les apports mutuels de l'analyse bibliographique, de l'évaluation heuristique et du retour d'expérience.

L'étape de **développement de la solution** correspond au développement informatique à proprement parler. Il aboutit à la proposition d'un outil d'aide à la sélection des méthodes de conception testé en dernière étape de l'expérimentation. Cet outil est composé de plusieurs fenêtres : la fenêtre contexte qui permet à l'utilisateur de caractériser le contexte dans le quel se déroule le projet de conception ; la fenêtre recherche qui permet via des critères standard de sélectionner des méthodes de manière autonome ; et enfin, la fenêtre construction qui permet de concevoir le processus de conception. Ainsi, le basculement d'une fenêtre à l'autre permet de progresser vers la présélection des méthodes puis leur sélection définitive dans un processus de conception organisé et structuré.

Enfin, l'étape d'**évaluation de la solution** nous permet de réaliser un rebouclage avec les étapes précédentes, et notamment celle de traduction du besoin puisque nous faisons référence à nouveau aux futurs utilisateurs du système. Ces évaluations nous permettent de préciser les atouts et faiblesses de notre système et de la modélisation sous-jacente. Elles permettent de valider l'apport des données descriptives et prescriptives ainsi que l'intégration des connaissances théoriques et expérimentales dans une optique d'aide à la sélection des méthodes de conception.

## **5 Modèle d'aide à la sélection des méthodes de conception**



## 5.1 Présentation du modèle

Dans le cadre de cette recherche, nous nous proposons d'**outiller les concepteurs et chefs de projet** pour leur permettre de **sélectionner des méthodes de conception appropriées** à un projet donné. L'état de l'art nous a par ailleurs confortés dans ce positionnement puisque cette thématique permet de tendre à une optimisation globale du processus de conception et d'innovation.

Pour répondre à cette problématique, notre travail oppose à l'approche classique de modélisation d'aide au choix des méthodes par décomposition du processus de conception, un **modèle co évolutif** décrivant la dynamique de **deux domaines** : celui du **contexte projet** et celui des **méthodes de conception**. En particulier, un parallèle a été fait entre l'espace problème symbolisé par le contexte, et l'espace solution décrit par les méthodes disponibles. Cette vision co-évolutive du sujet reprend l'approche de [\(Dorst and Cross, 2001\)](#), qui proposent un modèle problème/solution co-évolutive. L'évolutivité est prise en compte lors des mises à jour de la caractérisation du contexte et des méthodes.

Chaque domaine est décomposé en plusieurs couches que nous nommons « dimensions ». Le **domaine du contexte projet** compte **six dimensions**. A l'intérieur de chacune d'elles, on retrouve les facteurs internes et externes au processus qui influencent le choix des méthodes de conception. Tout d'abord, les critères personnels de la dimension « **concepteur** » impactent le choix. En effet, ce dernier, s'il dispose d'une certaine marge de manœuvre dans la sélection, fera toujours référence à son expertise méthodologique, ses goûts personnels, ainsi qu'à ses habitudes de travail. Le **processus** de conception tient une place prépondérante dans la sélection des méthodes. En effet, certaines entreprises imposent un cadre à ses concepteurs, y compris dans les méthodes de conception. D'autre part, l'avancement du processus (en référence aux entrées et représentations intermédiaires dont dispose le concepteur), ainsi que les objectifs assignés (sorties) doivent aussi être pris en compte au moment du choix. La dimension **projet** fait quant à elle référence à la fois au projet en lui-même (type et nature de l'innovation, stratégie à poursuivre) qu'au produit à développer (complexité, degré de risque, durée de vie). L'**entreprise**, et en particulier sa taille, a également son importance. En effet, le mode de fonctionnement et les ressources disponibles seront variables selon si l'on se situe dans une petite ou une grande structure. La dimension « **marché** » exerce une influence en matière de sélection des méthodes de conception. Ainsi, selon le volume et le type de marché visé, l'accessibilité ou non aux utilisateurs et le niveau de la concurrence, les méthodes de conception pourront être sensiblement, voire totalement différentes. Enfin, la dimension « **environnement** » concerne les facteurs échappant à tout contrôle de l'entreprise tels que la réglementation ou les normes.

Le **domaine des méthodes de conception** est décomposé en **quatre dimensions**. On retrouve à l'intérieur de chacune d'elles, les caractéristiques intrinsèques aux méthodes. Ainsi, une méthode de conception est avant tout caractérisée par un **intitulé**, qui peut être son appellation courante, un acronyme, une traduction ou bien encore un synonyme. Les méthodes peuvent être classées par **catégorie** qui peut correspondre à leur famille (créativité, sûreté de fonctionnement, etc.) et/ou à leur approche (déductive/inductive), et à tout autre attribut spécifique à une certaine famille. Des **ressources** particulières sont également associées à la mise en place d'une méthode. Cela concerne ses entrées et sorties, mais également ses ressources au niveau expertise, temporelles, humaines, financières et matérielles. Enfin, chaque méthode de conception peut être considérée comme une brique élémentaire formant un tout qui pourrait prendre la forme d'un réseau de méthodes. On met ici en lumière les **connexions méthodologiques** qui peuvent exister entre les méthodes. Ces relations sont au nombre de six (prédécesseur, successeur, support, variante, remplaçante ou complémentaire).

L'articulation entre ces deux domaines (contexte et méthodes) est réalisée à l'aide de règles qui sous-tendent le choix optimal de méthodes de conception vis-à-vis des caractéristiques du projet. Ces règles s'appuient sur des **données descriptives et prescriptives** issues de chacune des dimensions du contexte et des méthodes, et sont alimentées par des **connaissances théoriques et expérimentales**.

Les **données** reposent sur des **couples attributs/valeurs**, concept communément utilisé en génie logiciel. Les attributs correspondent aux différentes caractéristiques des dimensions énumérées précédemment (par exemple : type d'innovation pour la dimension projet du domaine contexte). Les valeurs correspondent aux valeurs numériques ou littéraires possibles pour caractériser l'attribut considéré (par exemple : incrémentale ou rupture précise le type d'innovation). L'ensemble des couples attributs/valeurs renseignées par l'utilisateur décrit précisément le contexte.

Nous avons montré en quoi le choix des méthodes de conception repose sur des fondements théoriques mais est également le résultat d'un apprentissage. Ainsi, notre modèle d'aide au choix fait simultanément référence à la **théorie** et au **retour d'expérience**. Ces connaissances renseignées et mises à jour par l'expert en méthodologie de conception, couplées à la description du contexte, permettent au système d'aide au choix d'émettre des recommandations sur-mesure par rapport au projet donné.

Finalement, notre modèle d'aide au choix des méthodes est structuré en **trois entités** distinctes que sont les deux dimensions du **contexte** et des **méthodes**, ainsi que le cœur de l'aide au choix des méthodes que sont les **règles**.

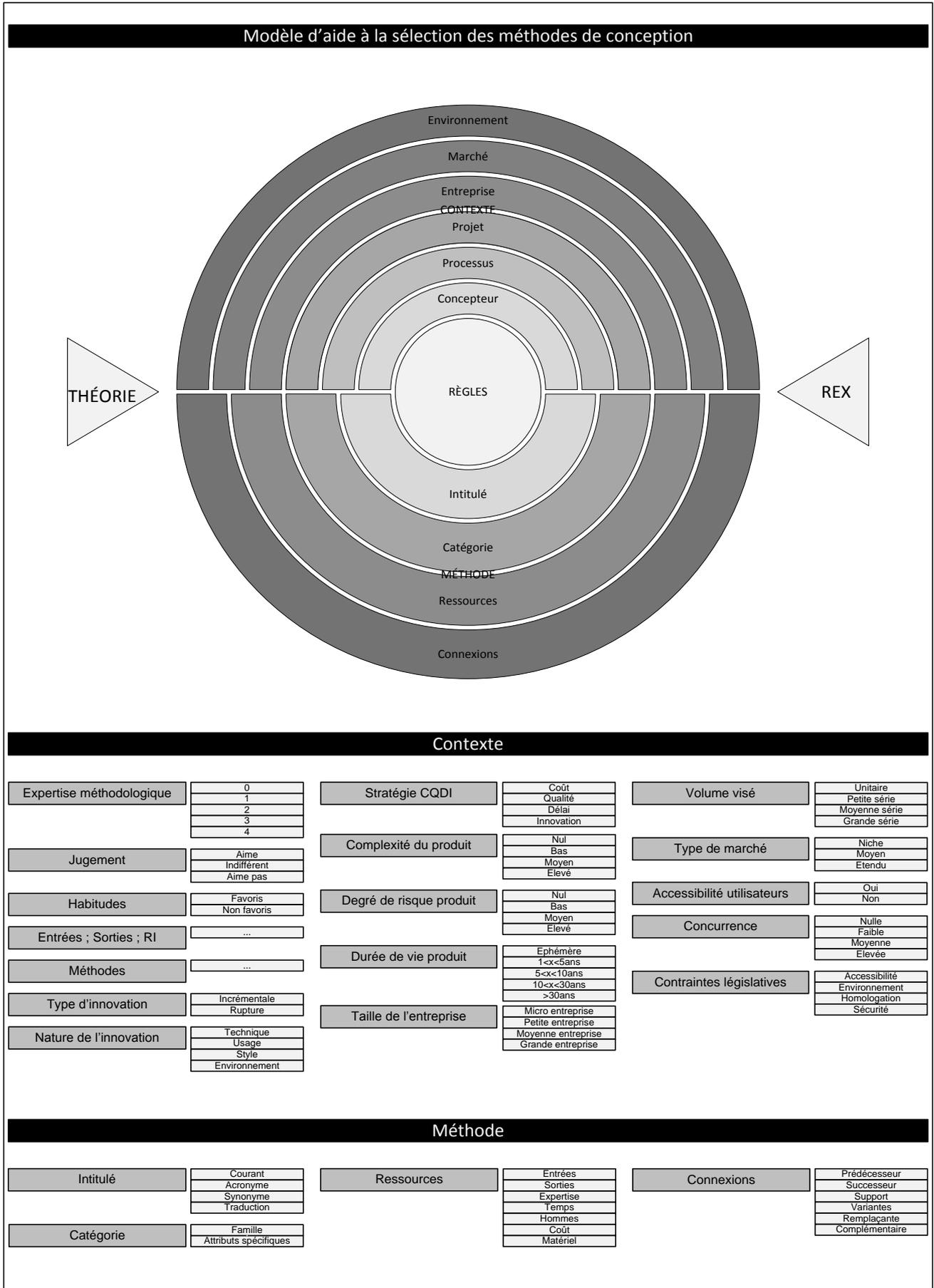


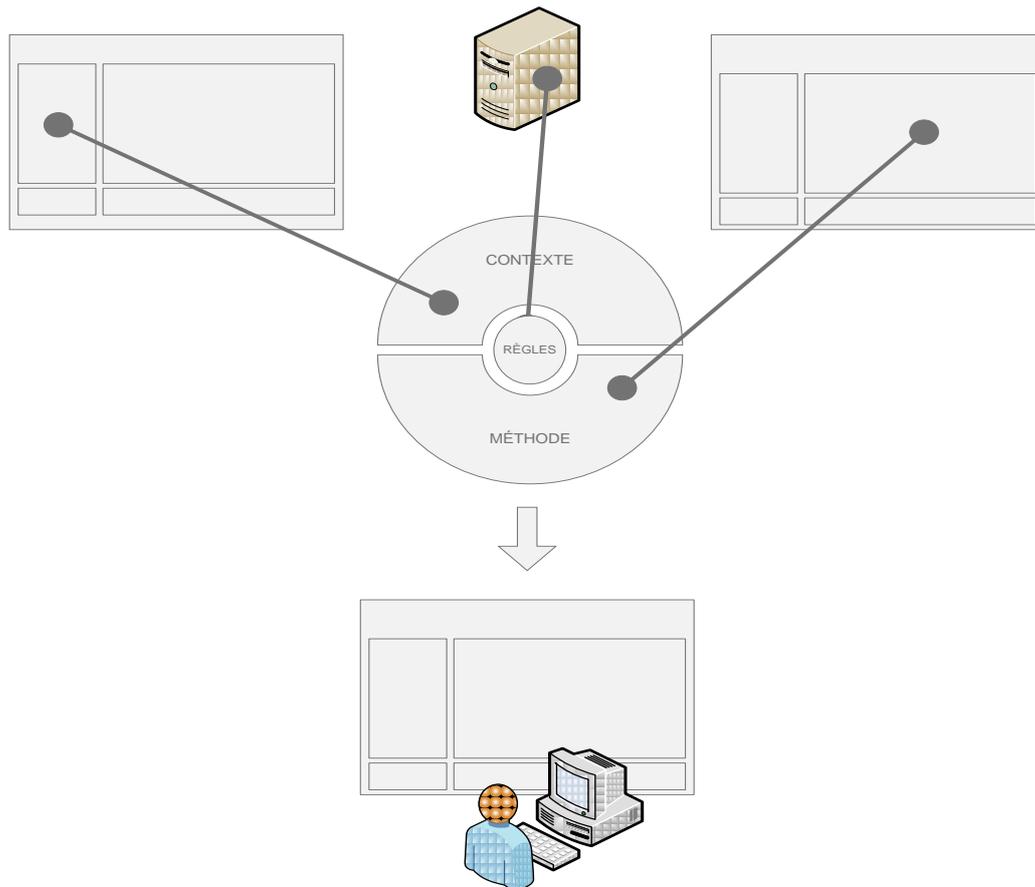
Figure 80 : Modèle d'aide à la sélection des méthodes de conception

## 5.2 Apports du modèle

### 5.2.1 Apport du modèle au développement d'un système d'aide à la sélection

#### 5.2.1.1 Liens entre modèle et logiciel

La figure suivante (**Figure 81**) montre en quoi le modèle d'aide à la sélection des méthodes de conception proposé a servi de base au développement des fenêtres « contexte » « recherche » et « construction » de DesignManager, l'outil logiciel développé dans le cadre de cette recherche.



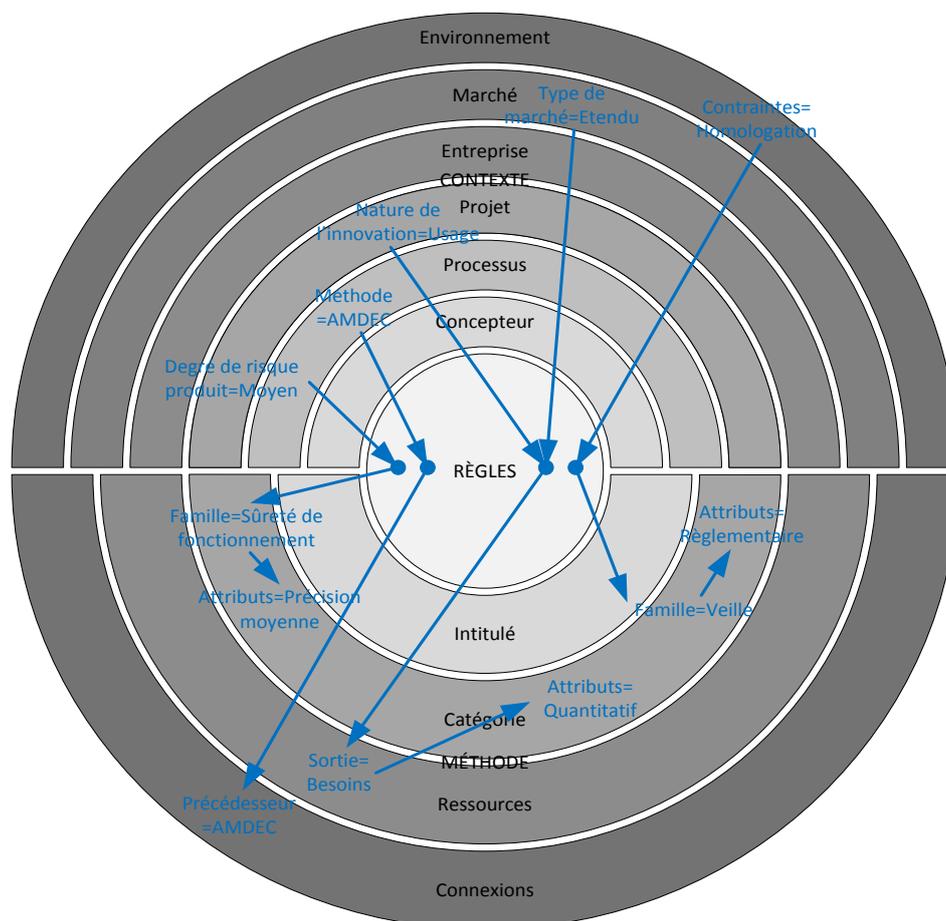
**Figure 81 : Apport du modèle au développement d'un système d'aide à la sélection**

#### 5.2.1.2 Illustration sur un exemple

Pour illustrer la mise en œuvre du modèle, nous admettons le scénario suivant : Un grand constructeur automobile projette de concevoir une nouvelle génération de rétroviseur intérieur. Le produit développé doit être une solution « sur étagère », c'est-à-dire s'adaptant au véhicule quel que soit la gamme considérée. L'innovation visée est une innovation de type incrémentale qui portera sur les aspects technique et usage. Le rétroviseur intérieur est un élément devant répondre à des contraintes d'homologation et de sécurité. L'entreprise charge un ingénieur du développement de ce nouveau produit. Il dispose en entrée d'un produit existant à reconcevoir et doit fournir en livrables un cahier des charges fonctionnel, une maquette numérique et une maquette physique.

Avant de décider quelles devront être les méthodes à utiliser, le concepteur doit d'abord clarifier le contexte projet via la partie supérieure du modèle.

La caractérisation de ce contexte enclenche une série de 12 règles. Nous en détaillons quatre (**Figure 82**). Le concepteur a précisé que le degré de risque du produit était qualifié de moyen. On cherche donc dans la famille des méthodes de sûreté de fonctionnement, celles qui aboutissent à une précision moyenne. L'AMDEC est alors préconisée et est incluse dans la dimension processus du contexte. Une nouvelle règle est alors enclenchée : celle qui considère comme prédécesseur à l'AMDEC, l'Analyse Fonctionnelle Externe. L'innovation étant portée sur l'usage et le marché étant considéré comme étendu, on s'intéresse aux méthodes ayant en sortie le recueil des besoins utilisateurs permettant de les analyser quantitativement. La méthode du questionnaire est ainsi suggérée. Enfin, dernière règle prise en exemple, celle qui partant des contraintes d'homologation aiguille vers le choix de la méthode de veille réglementaire.

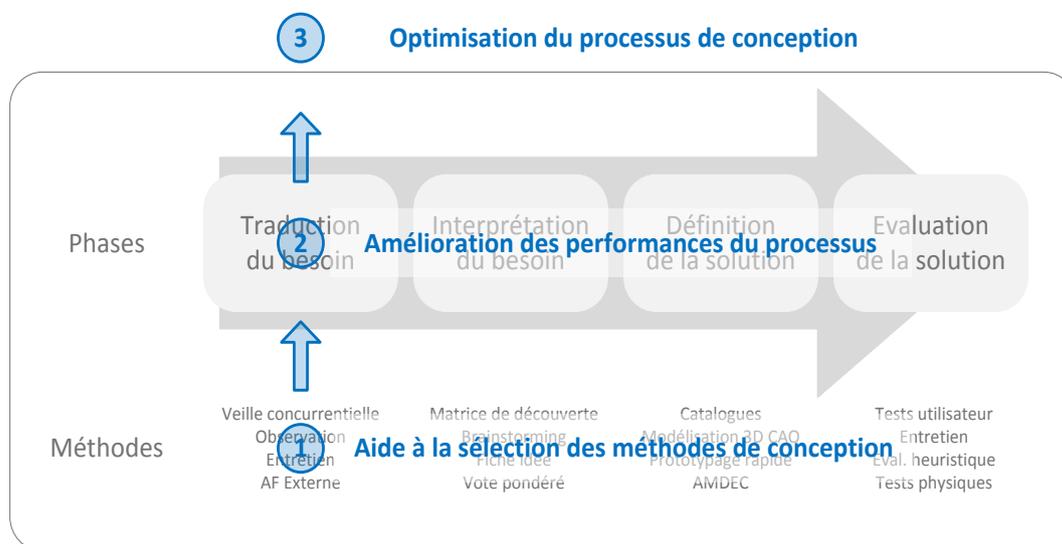


**Figure 82 : Application du modèle sur un exemple**

Après présélection de l'utilisateur des méthodes dans le panier et passage dans la fenêtre « construction » de DesignManager, le système d'aide à la sélection propose un agencement de méthodes organisées et structurées dans le temps (§ 4.4.3.1.4).

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

Notre modèle se positionne sur l'aide à la sélection des méthodes de conception. La figure suivante (**Figure 83**) illustre la manière dont cette aide permet d'**optimiser le processus de conception et d'innovation**.



**Figure 83 : Aide à la sélection des méthodes et optimisation du processus de conception**

Ainsi, le modèle permet de supporter les concepteurs et les chefs de projet dans leur choix de méthodes. Ce support aboutit à une meilleure adéquation entre les caractéristiques du contexte projet, et les méthodes effectivement sélectionnées. La rationalisation et la formalisation de ce choix rend le processus plus efficace (au sens où les méthodes choisies permettent d'atteindre les résultats attendus), mais aussi plus efficient (dans la mesure où les méthodes sélectionnées sont cohérentes avec les ressources disponibles). L'aide à la sélection des méthodes de conception permet alors d'améliorer les performances du processus et donc de tendre à l'optimisation globale des processus de conception et d'innovation.

### 5.3 Limites du modèle

Le modèle actuel se base sur une vingtaine de règles. Chacune d'elles met en rapport des caractéristiques du contexte projet avec les attributs des méthodes. Notre travail de recherche visant à valider le principe de ce modèle, nous n'avons pas été exhaustifs sur les règles considérées. Ainsi, les caractéristiques et attributs seront certainement à affiner lors de l'ajout de nouvelles règles régissant la sélection des méthodes de conception.

## Conclusion générale et perspectives



Cette thèse de doctorat, réalisée au sein du Laboratoire Conception de Produits et Innovation des Arts et Métiers ParisTech, avait pour objectif initial de modéliser le processus de conception de produits nouveaux dans une optique d'optimisation des projets et des produits. Progressivement, notre état de l'art nous a conduit à nous interroger sur le rôle des méthodes de conception qui se sont révélées être de véritables vecteurs de succès ou d'échecs pour les projets. C'est dans ce cadre que nous avons développé un outil d'aide à la sélection des méthodes de conception pour supporter les concepteurs et chefs de projet dans cette activité. Cet ultime chapitre de thèse retrace brièvement la démarche adoptée dans le cadre de cette recherche ainsi que les principaux apports adossés à ce travail de doctorat. Il ouvre également sur plusieurs perspectives de développement et de recherche pour l'avenir.

## Approche et démarche

Les **méthodes de conception** offrent de nombreux **avantages** à ceux qui les utilisent. D'une part, au niveau du projet, elles permettent de supporter et de spécifier les processus de conception et d'innovation, mais également de maîtriser leur complexité. D'autre part, au niveau du produit, elles permettent de concevoir des systèmes innovants et adaptés au besoin des clients et utilisateurs finaux. Elles permettent également de prendre en compte les contraintes économiques, environnementales et législatives du projet, mais aussi de créer des systèmes maintenables et exploitables durant toute leur durée de vie, etc. Dans une autre perspective, les méthodes de conception permettent aux concepteurs de pouvoir dialoguer avec les autres partenaires du projet, de pouvoir consolider leurs résultats et d'offrir des garanties sur la réalisation des objectifs. En somme, les méthodes de conception sont indispensables au bon déroulement des projets de conception de produits nouveaux.

Or, toute méthode n'est pas bonne à prendre. En effet, pour un projet donné, certaines seront adaptées à ses caractéristiques et spécificités, d'autres non. De plus, aucune méthode ne pourra être utilisée aveuglément sur tous les projets. En d'autres termes, aucune n'est systématique. Et les enjeux de ce choix sont d'envergure, puisque l'on considère que la **sélection des méthodes peut conditionner le succès ou l'échec des processus** de développement de produit.

Pour pallier à ce manque, nous proposons dans cette recherche **deux apports**. Le premier concerne un modèle d'aide à la sélection des méthodes de conception. Le deuxième, qui découle du premier, concerne le développement d'un outil d'aide à la décision, basé sur ce même modèle.

Pour la construction du modèle et le développement de l'outil, nous nous sommes appuyés sur une **méthodologie en quatre étapes** qui reprend les grandes phases de développement d'un produit à savoir, la traduction du besoin en spécifications ; l'interprétation du besoin qui amène à la création du modèle ; le développement de la solution qui correspond au développement informatique de l'outil ; et enfin, l'évaluation de la solution qui permet de tester l'outil et le modèle sous-jacent.

## Apports de recherche

Les **apports** de cette recherche sont **multiples** : d'une part, nous proposons un modèle d'aide à la sélection des méthodes de conception ; d'autre part, nous avons développé un outil logiciel basé sur cette modélisation.

Le **modèle d'aide à la sélection des méthodes de conception** proposé apporte selon nous un éclairage supplémentaire par rapport à l'existant en ce sens qu'il met en exergue, non pas seulement les attributs des méthodes, mais aussi les caractéristiques du contexte projet. Ainsi, nous postulons que pour pouvoir sélectionner de manière adéquate une méthode, il faudra toujours se référer aux spécificités de la situation et ne jamais dissocier la prise de décision du cadre dans lequel se déroule le projet.

Nous avons pu alors développer sur cette base un **outil d'aide à la sélection des méthodes de conception**. Cet outil d'aide à la décision à destination des concepteurs et chefs de projet permet, à partir d'une description du contexte renseignée par l'utilisateur, d'émettre des préconisations en matière de sélection de méthodes et d'outils de conception. Ce guide apporte selon nous une valeur ajoutée par rapport aux guides existants puisqu'il permet de sélectionner les méthodes et de co-construire un processus de conception adapté sur la base des méthodes choisies.

## Perspectives de développement

L'outil développé dans le cadre de cette recherche correspond à une première version test du modèle et du guide d'aide à la sélection des méthodes. Sur la base des évaluations réalisées, trois perspectives de développement se dessinent pour la suite.

### ① Elargissement de la cible

Une des perspectives envisagée, suggérée à la fois dans la littérature mais aussi dans les expérimentations, est l'ouverture du guide à d'autres cibles d'utilisateurs. En effet, aujourd'hui, nous nous centrons avec le logiciel sur une cible d'industriels concepteurs et chefs de projet. Or, des

besoins existent sur d'autres cibles telles que les **étudiants** (formation aux méthodologies de conception), les **chercheurs** en science de la conception (valorisation des résultats de recherche), mais aussi les **décideurs** et **acheteurs** en entreprise pour les aider à faire leur choix et à investir dans de nouvelles méthodes de conception modernes, technologiques et innovantes.

De plus, toujours dans le cadre d'un élargissement de la cible d'utilisateurs, nous nous centrons aujourd'hui sur une population de novices. Il est souhaitable qu'au contact du logiciel les utilisateurs novices évoluent vers des profils plus **experts**. Il serait intéressant de prendre en compte cette évolution de profil, et de s'adapter au mieux à leurs besoins spécifiques (types et natures des informations à afficher, modes de recherche utilisés, etc.).

## ② Extension des fonctions principales

Une autre perspective, découlant de celle mentionnée juste avant avec la cible étudiante, est d'utiliser le logiciel à la fois comme un outil d'aide à la sélection des méthodes, mais également comme **outil de formation** aux méthodologies de conception. Cet outil pourrait alors aussi bien servir auprès d'une population d'étudiants que d'industriels et pourrait éventuellement prendre la forme d'un outil de type *serious game* (Lavergne-Boudier and Dambach, 2010).

Un autre voie concernant l'extension des fonctions du système et suggérée dans la partie expérimentale de ces travaux, est de tendre à la gestion et au **management de projet** avec la possibilité de spécifier les ressources humaines, temporelles et financière allouées à chaque méthode.

## ③ Passerelles avec les autres outils

Nous avons intégré, dans le développement du logiciel d'aide à la sélection des méthodes, une fonction permettant d'extraire les résultats et de les importer dans des outils de planification type MS Project. Nous avons donc déjà tenu compte de l'intégration du système avec d'autres outils utilisés sur le terrain. Une autre perspective serait de tisser de nouvelles **passerelles** avec d'autres outils, tels que les **outils de type PLM**, dont l'utilisation en entreprise s'accroît de manière importante. Le système permettrait ainsi de rattacher aux méthodes de conception utilisées, les documents et livrables en sortie de chacune d'elles.

A côté de ces perspectives de développement centrées sur l'outil, d'autres perspectives peuvent se dessiner à l'issue de ce travail de recherche.

## Perspectives de recherche

L'aboutissement de cette thèse de doctorat ouvre à de nouvelles **perspectives de recherche** qui ont pu émerger du travail réalisé.

### ① Comparaison des processus et patterns

L'expression « *design patterns* », traduit en français par « patron/motif de conception », est un concept de génie logiciel décrivant des solutions standard répondant à des problèmes récurrents d'architecture et de conception des logiciels. Transposée au domaine de l'ingénierie de la conception, la notion de « **pattern** » a donné naissance à plusieurs recherches. Par exemple, le projet « Across Domain », porté par Claudia Eckert de la Cambridge University Engineering Design Center et Louis Bucciarelli du Cambridge-MIT Institute ([Stacey et al., 2003](#)), compare les processus de développement de plusieurs domaines de conception ([Earl et al., 2005](#)) et vise à extraire des patterns transposables d'une entreprise à une autre. Selon ([Weber, 2008](#)), les atouts des patterns de solution dans la pratique du développement de produit sont nombreux : limitation des risques, facilité et rapidité de développement par la ré-exploitation d'éléments éprouvés et testés ; réutilisation de la connaissance et standardisation ; etc. Dans cette recherche, nous avons observé la faculté des méthodes de conception à s'agrèger, se combiner entre elles pour former ce que Lindemann appelle un réseau de méthodes ([Lindemann et al., 2001](#)). L'enchaînement et la séquence des méthodes pourraient ainsi être considérés comme patterns de processus. La conception des processus de développement de produit résulterait ainsi de l'imbrication de ces patterns entre eux.

### ② Extraction de connaissances

Le paragraphe précédent a montré comment un concept développé en génie logiciel pouvait être transposé au domaine de l'ingénierie de la conception pour optimiser les processus de développement de produit. Ici, nous allons plus loin dans le rapprochement entre ces deux disciplines en considérant l'apport des techniques d'Intelligence Artificielle (IA) à la recherche en conception ([Brown, 2005](#)). L'IA est définie par l'un de ses créateurs, Marvin Lee Minsky, comme « la construction de programmes informatiques qui s'adonnent à des tâches qui sont, pour l'instant, accomplies de façon plus satisfaisante par des êtres humains car elles demandent des processus mentaux de haut niveau tels que : l'apprentissage perceptuel, l'organisation de la mémoire et le raisonnement critique ». Les systèmes experts, utilisés dans le cadre de cette recherche, en sont un exemple, mais d'autres techniques telles que les systèmes multi agents ont été utilisées dans des recherches antérieures pour générer automatiquement des méthodologies de conception ([Shakeri,](#)

1998, Shakeri and Brown, 2004). Ainsi, des perspectives intéressantes se dessinent par l'apport des techniques d'IA pour capturer les processus (van der Aalst, 2010) telle que l'extraction des connaissances à partir des patterns de processus, de manière à les manager, contrôler et en définitive les optimiser.

### ③ Web 2.0 et communauté de pratique

L'expression « **Web 2.0** », définit par O'Reilly dans un *position paper* (O'Reilly, 2005), désigne l'ensemble des technologies et des usages du *World Wide Web* caractérisés par l'interactivité, la participation et la co-construction des internautes. Elle marque l'évolution du web et place en son centre l'utilisateur et le partage d'information. La notion de **communauté de pratique** découle de ce concept. Elle correspond à un réseau social qui partage et développe des connaissances sur une thématique commune. Devant la progression et la popularité de ces réseaux, le concept de communauté en ligne a intéressé les chercheurs en ingénierie de la conception, notamment (Daalhuizen et al., 2008). Dans leur article (Daalhuizen and Badke-Schaub, 2009), Daalhuizen et Badke-Schaub se proposent de développer un outil basé sur le principe de communauté pour combler le fossé existant entre les méthodologies de conception existantes et celles effectivement utilisées en pratique. Cette approche nous semble pertinente bien qu'elle soulève de multiples questions (qualité des informations, motivation des contributeurs, respect de la confidentialité). En effet, ce couplage devrait permettre de concevoir un outil évolutif, dynamique et intégrant des données contextuelles et personnelles dans l'aide au choix des méthodes.

D'autres pistes de recherche, moins immédiates, peuvent également se dessiner à l'issue de cette recherche. Elles touchent à des domaines beaucoup plus larges que nous avons sensiblement abordés tel que le domaine de la gestion et du **management des connaissances** (*knowledge management*) qui permettrait de se focaliser plus précisément sur la capture, le stockage et la réutilisation des connaissances méthodologiques acquises sur les projets ; mais encore celui du **lean product development** abordée sous l'angle du « juste nécessaire méthodologique »

Ainsi, nous espérons avoir contribué avec cette recherche à un **élargissement des connaissances** dans le domaine du génie industriel et plus spécifiquement, de celui de l'ingénierie de la conception, connaissances qui permettent de tendre à l'**optimisation des processus de conception et d'innovation**.



# Références bibliographiques

- AAMODT, A. & NYGÅRD, M. (1995) Different Roles and Mutual Dependencies of Data, Information, and Knowledge: An AI Perspective on their Integration. *Data and Knowledge Engineering*, 16 (3), 191-122.
- ACKOFF, R. L. (1989) From Data to Wisdom. *Journal of Applied Systems Analysis*, 16 (1), 3-9.
- AERES (2009) Rapport d'Evaluation de l'Unité de Recherche: Laboratoire de Conception de Produits et Innovation de Arts et Métiers ParisTech. *Agence d'Evaluation de la Recherche et de L'Enseignement du Supérieur*, Mars 2009.
- AFITEP (1995) *Estimation des Coûts d'un Projet Industriel*, Paris, AFNOR.
- AFNOR (1985) NF X50-153. *Analyse de la Valeur: Recommandations pour sa Mise en Oeuvre*.
- AFNOR (1988) NF X50-127. *Gestion de la Qualité, Recommandations pour Obtenir et Assurer la Qualité en Conception*.
- ALDERSEY-WILLIAMS, H., BOUND, J. & COLEMAN, R. (1999) *The Methods Lab: User Research for Design*, [online]. Available from: <http://www.education.edean.org/pdf/Tool039.pdf> [Accessed 29 September 2010].
- ALEXANDER, C. (1964) *Notes on the Synthesis of Form*, Cambridge, Harvard University Press.
- ALLEN, R. D., HICKS, B. J. & CULLEY, S. J. (2000) Integrating Electronic Information for the Design of Mechanical Systems: The Designers Perspective. *WMSCI 00, 4th World Multiconference on Systematics, Cybernetics and Informatics*. 23-26 July, Orlando, USA.
- ALTSHULLER, G. (2004) *40 Principes d'Innovation: TRIZ pour toutes Applications*, Paris, Seredinski.
- ALTSHULLER, G. (2006) *Et Soudain Apparut l'Inventeur: Les Idées de TRIZ*, Paris, Seredinski.
- ANDREWS, C., MENDEL, T. & RADCLIFFE, E. (2009) *Being Innovative Means Moving Beyond The Hype*, Forrester Research.
- ANGENIOL, S. (2006) Maîtrise et Intégration des Coûts dans les Projets de Conception Aéronautiques. *Laboratoire Génie Industriel*. Thesis (PhD). Paris, Ecole Centrale Paris.
- AOUSSAT, A. (1990) La Pertinence en Innovation: Nécessité d'une Approche Plurielle. *Laboratoire Conception de Produits et Innovation*. Thesis (PhD). Paris, ENSAM.
- AOUSSAT, A. (1996) Contribution à la Modélisation du Processus de Conception de Produits Industriels. *Laboratoire Conception de Produits et Innovation*. Thesis (HDR). Paris, ENSAM.
- AOUSSAT, A., CHRISTOFOL, H. & LE COQ, M. (2000) The New Product Design: A Transverse Approach. *Journal of Engineering Design*, 11 (4), 399-417.
- AOUSSAT, A. & LE COQ, M. (1998) Méthodes Globales de Conception de Produits. IN TOLLENAERE, M. (Ed.) *Conception de Produits Mécaniques*. Paris, Hermès, 53-75.
- ARAUJO, C. (2001) Acquisition of Product Development Tools in Industry: A Theoretical Contribution. *Section for Engineering Design and Product Development*. Thesis (PhD). Denmark, Technical University of Denmark.

- ARAUJO, C. S., BENEDETTO-NETO, H., CAMPELLO, A. C., SEGRE, F. M. & WRIGHT, I. C. (1996) The Utilization of Product Development Methods: A Survey of UK Industry. *Journal of Engineering Design*, 7 (3), 265-277.
- ARCHER, L. B. (1965) *Systematic Methods for Designers*, London, Design Council.
- ARVIDSSON, M., GREMYR, I. & JOHANSSON, P. (2003) Use and Knowledge of Robust Design Methodology: A Survey of Swedish Industry. *Journal of Engineering Design*, 14 (2), 129-143.
- ASANUMA, T., KAWASHIMA, J., UJIIE, Y. & MATSUOKA, Y. (2007) Classification and Guideline of Selection for Design Modeling Methods. *IASDR'07, 2nd International Association of Societies of Design Research*. 12-15 November, Hong Kong.
- ASIMOW, M. (1962) *Introduction to Design*, Englewood Cliffs, Prentice-Hall.
- BARNARD, S., MARKWIG, D. & WISCHNEWSKI, E. (2008) UCD Tool to Support Evaluation Methods Selection. *CHI 2008, 26th Computer-Human Interaction Conference*. 5-10 April, Florence, Italy.
- BAYAZIT, N. (2004) Investigating Design: A review of Forty Years of Design Research. *Design Issues*, 20 (1), 16-29.
- BELLINGER, G., CASTRO, D. & MILLS, A. (2004) *Data, Information, Knowledge, and Wisdom*, [online]. Available from: <http://www.systems-thinking.org/dikw/dikw.htm> [Accessed 25 September 2010].
- BENFRIHA, K. (2005) Aide au Choix des Méthodes et Outils de Conception: Approche Neuronale. *Laboratoire Conception de Produits et Innovation*. Thesis (PhD). Paris, ENSAM.
- BENOIT-CERVANTES, G. (2008) *La Boîte à Outils de l'Innovation*, Paris, Dunod.
- BERNARD, A. (2002) Les Enjeux du Prototypage Rapide. IN DUCHAMP, R. (Ed.) *Revue Annuelle des Elèves des Arts et Métiers*. Paris, UE ENSAM, 66-72.
- BIERLY, P. E., KESSLER, E. H. & CHRISTENSEN, E. W. (2000) Organizational Learning, Knowledge and Wisdom. *Journal of Organizational Change Management*, 13 (6), 595-618.
- BIRKHOFFER, H. (1991) Methodik in der Konstruktionspraxis - Erfolge, Grenzen und Perspektiven. *ICED'91, 8th International Conference on Engineering Design*. Zurich, Switzerland.
- BIRKHOFFER, H. (2007) Elementary Design Methods and their Benefits for Research and Practice. *ICED'07, 16th International Conference on Engineering Design*. 28-31 August, Paris, France.
- BIRKHOFFER, H. (2008) Tidy Up Design Methods: An Approach Using Elementary Design Methods. *DESIGN 2008, 10th International Design Conference*. 19-22 May, Dubrovnik, Croatia.
- BIRKHOFFER, H., LINDEMANN, U., ALBERS, A. & MEIER, M. (2001) Product Development as a Structured and Interactive Network of Knowledge: A Revolutionary Approach. *ICED'01, 13th International Conference on Engineering Design*. 21-23 August, Glasgow, UK.
- BISSERET, A., SEBILLOTTE, S. & FALZON, P. (1999) *Techniques Pratiques pour l'Etude des Activités Expertes*, Toulouse, Octares.
- BLESSING, L. T. M. & CHAKRABARTI, A. (2009) *DRM, a Design Research Methodology*, London, Springer.
- BLESSING, L. T. M., CHAKRABARTI, A. & WALLACE, K. M. (1998) An Overview of Descriptive Studies in Relation to a General Research Methodology. IN FRANKENBERGER, E., BADKE-SCHAUB, P. & BIRKHOFFER, H. (Eds.) *Designers, the Key to Successful Product Development*. New York, Springer.

- BOLY, V. (2004) *Ingénierie de l'Innovation: Organisation et Méthodologies des Entreprises Innovantes*, Paris, Hermès Science.
- BOUCHARD, C., CHRISTOFOL, H., ROUSSEL, B. & AOUSSAT, A. (1999) Anticipation and Integration of Trends in Design and Engineering Design. *ICED'99, 12th International Conference on Engineering Design*. 01-03 January, Munich, Deutschland.
- BRAGANZA, A. (2004) Rethinking the Data-Information-Knowledge Hierarchy: Towards a Case-Based Model. *International Journal of Information Management*, 24 (4), 347-356.
- BRANGIER, E. & BARCENILLA, J. (2003) *Concevoir un Produit Facile à Utiliser: Adapter les Technologies à l'Homme*, Paris, Editions d'Organisation.
- BRAUN, T. & LINDEMANN, U. (2003) Supporting the Selection, Adaptation and Application of Methods in Product Development. *ICED'03, 14th International Conference on Engineering Design*. 19-21 August, Stockholm, Sweden.
- BRISSAUD, D., LEMAGNEN, M. & MATHIEUX, F. (2008) A New Approach to Implement the Reach Directive in Engineering Design. *Design 2008, 10th International Design Conference*. 19-22 May, Dubrovnik, Croatia.
- BROWN, D. C. (2005) Artificial Intelligence for Design Process Improvement. IN CLARKSON, J. & ECKERT, C. (Eds.) *Design Process Improvement: A Review of Current Practice*. London, Springer, 158-173.
- BRUSEBERG, A. & MCDONAGH-PHILP, D. (2000) User-Centred Design Research Methods: The Designer's Perspective. *22nd SEED Annual Design Conference and 7th National Conference on Product Design Education*. 6-7 September, Brighton, UK.
- BRYMAN, A. (2003) *Triangulation*, [online]. Available from: <http://www.referenceworld.com/sage/socialscience/triangulation.pdf> [Accessed 26 September 2010].
- BUISINE, S., BESACIER, G., NAJM, M., AOUSSAT, A. & VERNIER, F. (2007) Computer-Supported Creativity: Evaluation of a Tabletop Mind-Map Application. *HCI 2007, 12th International Conference on Human-Computer Interaction*. 22-27 July, Beijing, China.
- BUSINESS WEEK (2007) 3M's innovation crisis. *Business Week*, 11 June, 8-16.
- BYLUND, N., GRANTE, C. & LÓPEZ-MESA, B. (2003) Usability in Industry of Methods from Design Research. *ICED'03, 14th International Conference on Engineering Design*. 19-21 August, Stockholm, Sweden.
- CAMARGO, M., CHAFAI, D. & MICAELLI, J.-P. (2008) Décision Technico-Economique en Conception de Produit. IN YANNOU, B., ROBIN, V., CAMARGO, M., MICAELLI, J.-P. & ROUCOULES, L. (Eds.) *La Conception Industrielle de Produits: Spécifications, Déploiement et Maîtrise des Performances*. Paris, Lavoisier, 81-140.
- CARAYANNIS, E. & COLEMAN, J. (2005) Creative system design methodologies: the case of complex technical systems. *Technovation*, 25, 831-840.
- CATTAN, M. (2004) *Maîtriser le Processus de Conception*, Saint-Denis La Plaine, AFNOR.
- CAVALLUCCI, D. (1999a) Contribution à la Conception de Nouveaux Systèmes Mécaniques par Intégration Méthodologique. *Laboratoire de Recherche en Productique de Strasbourg*. Thesis (PhD). Strasbourg, ENSAIS.
- CAVALLUCCI, D. (1999b) TRIZ: L'Approche Altshullerienne de la Créativité. *Techniques de l'Ingénieur*, Fascicule A5211.

- CAVALLUCCI, D. (2010) *Rencontre LCPI du 30 avril 2010: Présentation de nos activités de Recherche et Transfert en Conception Inventive - Vers une évolution des pratiques de conception en R&D - Les apports de la TRIZ*, INSA Strasbourg.
- CHAI, K.-H. & XIN, Y. (2006) The Application of New Product Development Tools in Industry: The Case of Singapore. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 53 (4), 543-554.
- CHAMPAVÈRE, J. (2007) *Logique des Propositions et Logique des Prédicats*, [online]. Available from: <http://www.grappa.univ-lille3.fr/~champavere/Enseignement/0607/l2miashs/ia/logique.pdf> [Accessed 2 October 2010].
- CHRISTOFOL, H. & BOUCHARD, C. (2008) Introduction aux Méthodes d'Evaluation Sensorielle et Sémantique. IN YANNOU, B., CHRISTOFOL, H., JOLLY, D. & TROUSSIER, N. (Eds.) *La Conception Industrielle de Produits: Ingénierie de l'Evaluation et de la Décision*. Paris, Lavoisier, 27-41.
- COURT, A. W. (1995) Modelling and Classification of Information for Engineering Design. *Faculty of Engineering and Design*. Thesis (PhD). Bath, University of Bath.
- CREAX (2010) *Créativité Assistée par Ordinateur*, [online]. Available from: <http://www.creax.com/fr/index.htm> [Accessed 3 October 2010].
- CROSS, N. (1989) *Engineering Design Methods*, Chichester, John Wiley & Sons.
- CROSS, N. (1993) Science and Design Methodology: A Review. *Research in Engineering Design*, 5 (2), 63-69.
- CROSS, N. (2007) Forty Years of Design Research. *Design Studies*, 28 (1), 1-4.
- CROSS, N. (2008) *Engineering Design Methods: Strategies for Product Design*, Chichester, John Wiley & Sons.
- DAALHUIZEN, J. & BADKE-SCHAUB, P. (2009) Designer Driven Innovation: How Community Based Methodology Can Facilitate the Designer and Foster Innovation. *IASDR'09, 3rd International Association of Societies of Design Research*. 18-22 October, Seoul, South Korea.
- DAALHUIZEN, J., BADKE-SCHAUB, P. & FOKKER, J. (2008) Community Based Design Support. *TCME'08, 7th International Symposium on Tools and Methods of Competitive Engineering*. 21-25 April, Izmir, Turkey.
- DARDY, F. & TEIXIDO, C. (2003) *La Compétitivité Industrielle Tome 1: Démarche de Conception*, Paris, Delagrave.
- DE FORNEL, M. (1990) Qu'est ce qu'un Expert? Connaissances Procédurale et Déclarative dans l'Interaction Médicale. *Réseaux*, 8 (43), 59-80.
- DEPAILLER, L., NOYÈRE, B., GUEZ, V. & URSO, C. (2010) De la Conception à la Certification: L'Homologation à l'Heure du Virtuel. *Avancées*, 3, 9-23.
- DEPARTMENT OF TRADE AND INDUSTRY (1994) *Successful Product Development: Technical Report*, HMSO.
- DESIGN COUNCIL (2007) *Eleven Lessons: Managing Design in Eleven Global Companies - Desk Research Report*, [online]. Available from: [http://www.designcouncil.org.uk/Documents/Documents/Publications/Eleven%20Lessons/ElevenLessons\\_DeskResearchReport.pdf](http://www.designcouncil.org.uk/Documents/Documents/Publications/Eleven%20Lessons/ElevenLessons_DeskResearchReport.pdf) [Accessed 5 October 2010].
- DESIGN COUNCIL (2010) *Design Methods*, [online]. Available from: <http://www.designcouncil.org.uk/About-Design/Design-Methods/> [Accessed 29 September 2010].
- DORST, K. & CROSS, N. (2001) Creativity in the Design Process: Co-Evolution of Problem-Solution. *Design Studies*, 22 (5), 425-437.

- DUFFY, A. & ANDREASEN, M. M. (1995) Enhancing the Evolution of Design Science. *ICED 95, 10th International Conference on Engineering Design*. 22-24 August, Praha, Czech Republic.
- DURAND, J. (2007) Développement de Passerelles entre des Méthodes de Conception et la Démarche d'Invention TRIZ. *Laboratoire Mécatronique-Méthodes, Modèles et Métiers*. Thesis (DRT). Belfort-Montbéliard, UTBM.
- EARL, C., ECKERT, C., BUCCIARELLI, L., WHITNEY, D., KNIGHT, T., STACEY, M., BLACKWELL, A., MACMILLAN, S. & CLARKSON, P. J. (2005) Comparative Study of Design with Application to Engineering Design. *ICED 05, 15th International Conference on Engineering Design*. 15-18 August, Melbourne, Australia.
- ENGBREKTSSON, P. & SÖDERMAN, M. (2004) The Use and Perception of Methods and Product Representations in Product Development: A Survey of Swedish Industry. *Journal of Engineering Design*, 15 (2), 141-154.
- ERNZER, M. & BIRKHOFFER, H. (2002) Selecting Methods for Life Cycle Design Based on Needs of a Company. *DESIGN 2002, 7th International Design Conference*. 14-17 May, Dubrovnik, Croatia.
- ESTEVEZ, C. (2009) L'Intégration de l'Ergonomie et du Marketing en Conception. *Laboratoire Conception de Produits et Innovation*. Thesis (Master). Paris, Arts et Metiers ParisTech.
- EUROPEAN COMMISSION (2003) Commission Recommendation of 6 May 2003 Concerning the Definition of Micro, Small and Medium-Sized Enterprises. *Official Journal of the European Union*, L 124, 36-41.
- EVARD, H., BUISINE, S. & DUCHAMP, R. (2006) Assessment of the Respective Benefits of 'Axiomatic Design' and 'New Products Design Method' for the Design of a Biomedical Simulator. *ICAD2006, 4th International Conference on Axiomatic Design*. 13-16, June, Firenze, Italy.
- FARGNOLI, M. & SAKAO, T. (2008) Coordinating Ecodesign Methods in Early Stages of Industrial Product Design. *International Journal of Environmentally Conscious Design & Manufacturing*, 14 (2), 35-65.
- FOREST, J., MICAËLLI, J.-P. & PERRIN, J. (1997) Innovation et Conception: Pourquoi une Approche en terme de Processus? *2e Congrès International Franco-Québécois de Génie Industriel*. 3-5 September, Albi, France.
- FRANKE, H.-J. & DEIMEL, M. (2004) Selecting and Combining Methods for Complex Problem Solving within the Design Process. *Design 2004, 8th International Design Conference*. 18-21 May, Dubrovnik, Croatia.
- FRANKE, H.-J., LÖFFLER, S. & DEIMEL, M. (2003) The Database "Methodos" Assists an Effective Application of Design Methods. *ICED'03, 14th International Conference on Engineering Design*. 19-21 August, Stockholm, Sweden.
- FRANKE, S., KIRSCHNER, R., KAIN, A., BECKER, I. & LINDEMANN, U. (2009) Managing Early Phases of Innovation Processes and the Use of Methods Within: Empirical Results from an Industry Survey. *ICED'09, 17th International Conference on Engineering Design*. 24-27 August, Stanford, USA.
- FRENCH, M. J. (1985) *Conceptual Design for Engineers*, London, Design Council.
- FROST, R. B. (1999) Why does Industry Ignore Design Science? *Journal of Engineering Design*, 10 (4), 301-304.
- FUJITA, K. & MATSUO, T. (2005) Utilization of Product Development Tools and Methods: Japanese Survey and International Comparison. *ICED'05, 15th International Conference on Engineering Design*. 15-18 August, Melbourne, Australia.
- GAREL, G. (2003) *Le Management de Projet*, Paris, La Découverte.

- GAUTIER, R. (1995) Qualité en Conception de Produits Nouveaux: Proposition d'une Méthode de Fiabilisation du Processus de Management de l'Information. *Laboratoire Conception de Produits et Innovation*. Thesis (PhD). Paris, ENSAM.
- GEIS, C., BIERHALS, R., SCHUSTER, I., BADKE-SCHAUB, P. & BIRKHOFER, H. (2008) Methods in Practice: A Study on Requirements for Development and Transfer of Design Methods. *DESIGN 2008, 10th International Design Conference*. 19-22 May, Dubrovnik, Croatia.
- GOODMAN-DEANE, J., LANGDON, P. M. & CLARKSON, P. J. (2008) User Involvement and User Data: A Framework to Help Designers to Select Appropriate Methods. IN LANGDON, P. M., CLARKSON, P. J. & ROBINSON, P. (Eds.) *Designing Inclusive Futures*. London, Springer, 23-34.
- GOODMAN, J., CLARKE, S., LANGDON, P. & CLARKSON, P. J. (2007) Designers' Perceptions of Methods of Involving and Understanding Users. *UAHCI 2007, 4th International Conference on Universal Access in Human Computer Interaction: Coping with Diversity*. 22-27 July, Beijing, China.
- GOUSTY, Y. (1998) *Le Génie Industriel*, Paris, Presses Universitaires de France.
- GRABOWSKI, H. & GEIGER, K. (1997) Neue Wege zur Produktentwicklung. IN GRABOWSKI, H. & GEIGER, K. (Eds.) *Electronics and electrical engineering, computer science*. Stuttgart, Raabe.
- GRISEL, L. & DURANTHON, G. (2001) *Pratiquer l'Eco-conception: Lignes Directrices*, Paris, AFNOR.
- HALES, C. & GOOCH, S. (2004) *Managing Engineering Design*, London, Springer.
- HARMEI, G., BONJOUR, E. & DULMET, M. (2006) Architecture des Produits et des Organisations: Modélisation et Pilotage par l'Incertain. *MOSIM'06, 6th Conférence Francophone de MOdélisation et SIMulation*. 3-5 April, Rabat, Maroc.
- HATCHUEL, A. & WEIL, B. (2003) A New Approach of Innovative Design: An Introduction to C-K Theory. *ICED'03, 14th International Conference on Engineering Design*. 19-21 August, Stockholm, Sweden.
- HERRERA-HERNANDEZ, M. C., LUNA, C., PRADA, L., BERDUGO, C. & AL-ASHAAB, A. (2009) Modelling the Product Development Performance of Colombian Companies. *19th CIRP Design Conference*. 30-31 March, Cranfield University, UK.
- HICKS, B. J., CULLEY, S. J., ALLEN, R. D. & 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.
- HO, C.-H. (2001) Some Phenomena of Problem Decomposition Strategy for Design Thinking: Differences Between Novices and Experts. *Design Studies*, 22 (1), 27-45.
- 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.
- HUBKA, V. (1982) *Principles of Engineering Design*, Guilford, Butterworth Scientific Press.
- HUBKA, V. & EDER, W. E. (1996) *Design Science*, London, Springer.
- HURST, K. (1999) *Engineering Design Principles*, New York, John Wiley & Sons.
- ICSID (2010) *Définition Officielle du Design*, [online]. Available from: <http://www.icsid.org/> [Accessed 1 October 2010].

- INERIS (2006) *Formalisation du Savoir et des Outils dans le Domaine des Risques Majeurs: Méthodes d'Analyse des Risques Générés par une Installation Industrielle*, [online]. Available from: [http://www.ineris.fr/centredoc/rapport\\_omega\\_7-2.pdf](http://www.ineris.fr/centredoc/rapport_omega_7-2.pdf) [Accessed 24 September 2010].
- INNES, J., MITCHELL, F. & SINCLAIR, D. (2000) Activity-Based Costing in the U.K.'s Largest Companies: A Comparison of 1994 and 1999 Survey Results. *Management Accounting Research*, 11 (3), 349–362.
- JOHANSSON, P., PERSSON, S. & SCHACHINGER, P. (2001) *The Use of Product Representations in Industry: A Survey Dealing with Product Development in Sweden*, [online]. Available from: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.8.7040> [Accessed 6 October 2010].
- JONES, J. C. (1970) *Design Methods: Seeds of Human Futures*, New York and Chichester, John Wiley & Sons.
- JONES, J. C. (1992) *Design Methods*, Paris, John Wiley & Sons.
- JOSE FLORES, A. (2005) Contribution aux Méthodes de Conception Modulaire de Produits et Processus Industriels. *Laboratoire Gestion Industrielle Logistique et Conception*. Thesis (PhD). Grenoble, Institut National Polytechnique de Grenoble.
- KILLANDER, A. J. (2001) Why Design Methodologies are Difficult to Implement. *International Journal of Technology Management*, 21 (3), 271-276.
- KOTLER, P., DUBOIS, B. & MANCEAU, D. (2003) *Marketing management*, Paris, Pearson Education.
- KWAK, Y. H. & ANBARI, F. T. (2006) Benefits, Obstacles, and Future of Six Sigma Approach. *Technovation*, 26 (5), 708-715.
- LAHONDE, N., OMHOVER, J.-F. & AOUSSAT, A. (2009) A Study on Requirements for Development of a Design Methods Selection Guide. *CIRP MS'09, 42nd CIRP Conference on Manufacturing Systems*. 3-5 June, Grenoble, France.
- LAHONDE, N., OMHOVER, J.-F. & AOUSSAT, A. (2010a) Designers Needs Analysis for Assisting the Selection of Design Methods. *9th IDMME Virtual Concept*. 20-22 October, Bordeaux, France.
- LAHONDE, N., OMHOVER, J.-F. & AOUSSAT, A. (2010b) Proposition of a Methodology for Developing a Database of Design Methods. *20th CIRP Design Conference*. 19-21 April, Nantes, France.
- LAVERGNE-BOUDIER, V. & DAMBACH, Y. (2010) *Serious Game: Révolution Pédagogique*, Paris, Lavoisier.
- LAWSON, B. (1980) *How Designers Think: The Design Process Demystified*, Oxford, Elsevier.
- LCPI (2008) Dossier Unique de Demande de Reconnaissance d'Unité de Recherche du Laboratoire Conception de Produits et Innovation. Contractualisation vague D 2010-2013.
- LINDEMANN, U. (2003) Methods are Networks of Methods. *ICED'03, 14th International Conference on Engineering Design*. 19-21 August, Stockholm, Sweden.
- LINDEMANN, U., STETTER, R. & VIERTLBOCH, M. (2001) A pragmatic approach for supporting integrated product development. *Journal of Integrated Design and Process Science*, 5, 39-51.
- LISSANDRE, M. (1990) *Maîtriser SADT*, Paris, Armand Colin.
- LÓPEZ-MESA, B. (2003) Selection and Use of Engineering Design Methods Using Creative Problem Solving. *Department of Applied Physics and Mechanical Engineering*. Thesis (Licentiate). Luleå, Luleå University of Technology.

- LÓPEZ-MESA, B. & THOMPSON, G. (2003) Exploring the need for an interactive software tool for the appropriate selection of design methods. *International Conference on Engineering Design ICED'03*. Stockholm, Sweden.
- LÓPEZ-MESA, B. & THOMPSON, G. (2006) On the Significance of Cognitive Style and the Selection of Appropriate Design Methods. *Journal of Engineering Design*, 17 (4), 371–386.
- LOSSACK, R. & GRABOWSKI, H. (2000) The Axiomatic Approach in the Universal Design Theory. *ICAD2000, 1st International Conference on Axiomatic Design*. 21-23 June, Cambridge, USA.
- MACDONALD, A. A. & LEBBON, C. S. (2001) The Methods Lab: A User Research Methods Typology for an Inclusive Design Process. *ICED'01, 13th International Conference on Engineering Design*. 21-23 August, Glasgow, UK.
- MADER, D. M. (2002) Design For Six Sigma. *Quality Progress*, 82-86.
- MAGUIRE, M. (2001) Methods to Support Human-Centred Design. *International Journal Human-Computer Studies*, 55 (4), 587-634.
- MANN, D. (2002) Axiomatic Design and TRIZ: Compatibilities and Contradictions. *ICAD2002, 2nd International Conference on Axiomatic Design*. 10-11 June, Cambridge, USA.
- MANTELET, F. (2006) Prise en Compte de la Perception Emotionnelle du Consommateur dans le Processus de Conception de Produits. *Laboratoire Conception de Produits et Innovation*. Thesis (PhD). Paris, ENSAM.
- MARANZANA, N. (2009) Amélioration de la Performance en Conception par l'Apprentissage en Réseau de la Conception Innovante. *Laboratoire de Génie de la Conception*. Thesis (PhD). Strasbourg, INSA Strasbourg.
- MARKIDES, C. C. & GEROSKI, P. A. (2004) *Fast Second: How Smart Companies Bypass Radical Innovation to Enter and Dominate New Markets*, San Francisco, John Wiley & Sons.
- MARTIN, C. & BOCQUET, J.-C. (1999) Conception Intégrée. Interopérativité des méthodes: AF, QFD, AMDEC dans le cadre du projet PIRAMID. *Congrès Primeca*. 3-5 April, La Plagne, France.
- MATHIEUX, F. (2002) Contribution à l'Intégration de la Valorisation en Fin de Vie dès la Conception d'un Produit. *Institut Conception Mécanique et Environnement*. Thesis (PhD). Chambéry, ENSAM.
- MCMAHON, C. (2010) Design Reserach: An agenda for Collaboration? *20th CIRP Design Conference*. 19-21 April, Nantes, France.
- MINISTÈRE DE L'ECONOMIE DES FINANCES ET DE L'INDUSTRIE (2003) *L'Excellence en Conception dans l'Industrie*, [online]. Available from: [http://www.industrie.gouv.fr/portail/chiffres/index\\_som.html](http://www.industrie.gouv.fr/portail/chiffres/index_som.html) [Accessed 5 October 2010].
- MINISTÈRE DE L'EQUIPEMENT DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT (2001) *Résoudre un Problème: La Démarche*, [online]. Available from: [http://www.cedip.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/resol\\_probleme\\_cle595fb7.pdf](http://www.cedip.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/resol_probleme_cle595fb7.pdf) [Accessed 3 October 2010].
- MORTUREUX, Y. (2008) La Sûreté de Fonctionnement: Méthodes pour Maîtriser les Risques. *Techniques de l'Ingénieur*, AG 4 670.
- MOUGENOT, C. (2008) Modélisation de la Phase d'Exploration du Processus de Conception de Produits: Pour une Créativité Augmentée. *Laboratoire Conception de Produits et Innovation*. Thesis (PhD). Paris, Arts et Metiers ParisTech.

- MULET, E. & VIDAL, R. (2001) Classification and Effectiveness of Different Creative Methods in Design Problems. *ICED'01, 13th International Conference on Engineering Design*. 21-23 August, Glasgow, UK.
- MYCOTED (2010) *Creativity and Innovation Techniques*, [online]. Available from: [http://www.mycoted.com/Category:Creativity\\_Techniques](http://www.mycoted.com/Category:Creativity_Techniques) [Accessed 29 September 2010].
- NATIONAL ACADEMY OF ENGINEERING (2002) *Approaches to Improve Engineering Design*, Washington, The National Academies Press.
- NEAU, E. (2003) *La Boîte à Outils de l'Innovation*, [online]. Available from: [http://erwan.neau.free.fr/outils\\_innovation\\_2.htm](http://erwan.neau.free.fr/outils_innovation_2.htm) [Accessed 2 October 2010].
- NELSON, J., BUISINE, S. & AOUSSAT, A. (2009) Design in Use: Some Methodological Considerations. *CIRP MS'09, 42nd CIRP Conference on Manufacturing Systems*. 3-5 June, Grenoble, France.
- NIELSEN, J. (1994) *Usability Engineering*, San Francisco, Academic Press.
- O'REILLY, T. (2005) What Is Web 2.0: Design Patterns and Business Models for the Next Generation of Software. *Web 2.0 Conference 2005*. 30 September, Sebastopol, USA.
- OMHOVER, J.-F., BOUCHARD, C., KIM, J. & AOUSSAT, A. (2010) Computational Methods for Shape Manipulation in Generation: A literature Review. *KEER 10, Kansei Engineering and Emotion Research*. 02-04 March, Paris, France.
- OSBORN, A. (1950) *Applied Imagination: Principles and Procedures of Creative Problem Solving*, New York, Charles Scribner's Sons.
- PAHL, G. & BEITZ, W. (1984) *Engineering Design*, London, Springer.
- PAHL, G. & BEITZ, W. (2007) *Engineering Design: A Systematic Approach*, London, Springer.
- PERRIN-BRUNEAU, F. (2005) Proposition d'une Démarche d'Intégration de Nouvelles Méthodes en Conception: Eléments pour la Définition du Rôle de l'Intégrateur "Méthode". *Laboratoire Conception de Produits et Innovation*. Thesis (PhD). Paris, ENSAM.
- PLOS, O., BUISINE, S., AOUSSAT, A. & DUMAS, C. (2007) Analysis and Translation of User Needs for Assistive Technology Design. *ICED'07, 16th International Conference on Engineering Design*. 28-31 August, Paris, France.
- POMIAN, J.-L., PRADÈRE, T. & GAILLARD, I. (1997) *Ingénierie et Ergonomie: Eléments d'Ergonomie à l'Usage des Projets Industriels*, Toulouse, Cepaduès Editions.
- POPOVIC, V. (1999) Product Evaluation Methods and their Importance in Designing Interactive Artifacts. IN GREEN, W. S. & JORDAN, P. W. (Eds.) *Human Factors in Product Design: Current Practice and Future Trends*. London, Taylor & Francis, 26-35.
- PUGH, S. (1991) *Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering*, New York, Addison-Wesley.
- QUARANTE, D. (1994) *Eléments de Design Industriel*, Paris, Polytechnica.
- RASMUSSEN, J. (1974) *The Human Data Processor as a System Component: Bits and Pieces of a Model*, Danish Atomic Energy Commission, Roskilde, Denmark.
- REICH, Y. (1994) Layered Models of Research Methodologies. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis, and Manufacturing*, 8 (4), 263-274.

- RITTEL, H. (1972) *The DMG 5th Anniversary, Report*.
- ROHATINSKY, R. (2001) Diagnosing the Gap Between Methodology of Engineering Design and Industrial Practice. *ICED'01, 13th International Conference on Engineering Design*. 21-23 August, Glasgow, UK.
- ROHRER, C. (2008) *When to Use Which User Experience Research Methods*, [online]. Available from: <http://www.useit.com/alertbox/user-research-methods.html> [Accessed 29 September 2010].
- RÖMER, A., PACHE, M., WEIßHAHN, G., LINDEMANN, U. & HACKER, W. (2001) Effort-Saving Product Representations in Design: Results of a Questionnaire Survey. *Design Studies*, 22 (6), 473-491.
- SAGOT, J.-C. (1999) *Ergonomie et Conception Anthropocentrée*. Thesis (HDR). Nancy, Institut National Polytechnique de Lorraine.
- SALONEN, M. & PERTTULA, M. (2005) Utilization of Concept Selection Methods: A Survey of Finnish Industry. *ASME 2005, International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference*. 24-28 September, Long Beach, California, USA.
- SARJA, A., FUKUSHIMA, T., KÜMMEL, J. & MÜLLER, C. (1999) Environmental Design Methods in Materials and Structural Engineering. *Materials and Structures*, 32 (10), 699-707.
- SCHÖN, D. A. (1983) *The Reflective Practitioner: How Professional Think in Action*, London, Temple Smith.
- SCHUMPETER, J. (1999) *Théorie de l'Evolution Economique: Recherches sur le Profit, le Crédit, l'Intérêt et le Cycle de la Conjoncture*, Paris, Dalloz.
- SCHWEITZER, E., MANNWEILER, C. & AURICH, J. C. (2009) Methodological Support of Product-Service System Realization. *CIRP MS'09, 42nd CIRP Conference on Manufacturing Systems*. 3-5 June, Grenoble, France.
- SEGONDS, F., PÈRE, C., VÉRON, P. & AOUSSAT, A. (2009) Collaboration Amont et PLM: Etat des Lieux. *CPI 2009, 6th International Conference Integrated Design and Production*. 19-21 October, Fès, Morocco.
- SELF, J., DALKE, H. & EVANS, M. (2009) Industrial Design Tools and Design Practice: An Approach for Understanding Relationships between Design Tools and Practice. *IASDR'09, 3rd International Association of Societies of Design Research*. 18-22 October, Seoul, South Korea.
- SERRAFERO, P. (2008). *Evolutions Sémantiques de l'Ingénierie Assistée par Ordinateur: Du Dessin 2D à la Conception en 5D*, [online]. Available from: <http://knol.google.com/k/evolutions-semantiques-de-l-ingenierie-assistee-par-ordinateur#> [Accessed 24 September 2010].
- SHAKERI, C. (1998) Discovery of Design Methodologies for the Integration of Multi-disciplinary Design Problems. *Mechanical Engineering*. Thesis (PhD). Worcester, Worcester Polytechnic Institute.
- SHAKERI, C. & BROWN, D. C. (2004) Constructing Design Methodologies Using Multiagent Systems. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, 18 (2), 115-134.
- SHEDROFF, N. (1994) *Information Interaction Design: A Unified Field Theory of Design*, [online]. Available from: <http://www.nathan.com/thoughts/unified/unified.pdf> [Accessed 19 September 2010].
- SIMON, H. A. (1969) *The Sciences of the Artificial*, Cambridge, MIT Press.
- SIMON, H. A. (1991) *Sciences des Systèmes, Sciences de l'Artificiel*, Paris, Dunod.
- SÖDERMAN, M. (2005) Virtual Reality in Product Evaluations with Potential Customers: An Exploratory Study Comparing Virtual Reality with Conventional Product Representations. *Journal of Engineering Design*, 16 (3), 311-328.

- STACEY, M., EARL, C., ECKERT, C. & O'DONOVAN, B. (2003) A Methodology for Comparing Design Processes. *ICED'03, 14th International Conference on Engineering Design*. 19-21 August, Stockholm, Sweden.
- STANTON, N. & BABER, C. (1996) Factors Affecting the Selection of Methods and Techniques Prior to Conducting a Usability Evaluation. IN JORDAN, P. W., WEERDNEESTER, B. A. & MCCLELLAD, I. L. (Eds.) *Usability Evaluation in Industry*. Taylor & Francis, 39-48.
- STETTER, R. & LINDEMANN, U. (2005) The Transfer of Methods into Industry. IN CLARKSON, J. & ECKERT, C. (Eds.) *Design Process Improvement: A Review of Current Practice*. London, Springer, 436-459.
- SUH, N. P. (1990) *The Principles of Design*, Oxford, Oxford University Press.
- TANCO, M., VILES, E., ILZARBE, L. & ALVAREZ, M. J. (2008) Is Design of Experiments Really Used? A Survey of Basque Industries. *Journal of Engineering Design*, 19 (5), 447-460.
- THIEBAUD, F. (2003) Formalisation et Développement de la Phase de Résolution de Problème en Conception Industrielle. *LICIA*. Thesis (PhD). Strasbourg, Université Louis Pasteur.
- THOBEN, K.-D., KRÖMKER, M., REETZ, U. & WEBER, F. (1997) A Practical Approach to Support the Selection and Application of Tools for Concurrent Engineering. *ICED'97, 11th International Conference on Engineering Design*. 19-21 August, Tampere, Finland.
- THOUVENIN, E. (2002) Modélisation des Processus de Conception de Produits et Développement de la Capacité d'Innovation: Application au Cas des PME-PM. *Laboratoire Conception de Produits et Innovation*. Thesis (PhD). Paris, ENSAM.
- TICHKIEWITCH, S. (2010) Method and Tools for the Effective Knowledge Management in Product Life Cycle. *20th CIRP Design Conference*. 19-21 April, Nantes, France.
- TIDD, J., BESSANT, J. & PAVITT, K. (2005) *Managing Innovation: Integrating Technological, Market and Organizational Change*, Chichester, John Wiley & Sons.
- TOMIYAMA, T. (1997) A Note on Research Directions of Design Studies. *ICED'97, 11th International Conference on Engineering Design*. 19-21 August. Tampere, Finland.
- TOMIYAMA, T., GU, P., JIN, Y., LUTTERS, D., KIND, C. & KIMURA, F. (2009) Design Methodologies: Industrial and Educational Applications. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 58 (2), 543-565.
- TUKKER, A., EDER, P., CHARTER, M., HAAG, E., VERCALSTEREN, A. & WIEDMANN, T. (2001) Eco-design: The State of Implementation in Europe Conclusions of a State of the Art Study for IPTS. *The Journal of Sustainable Product Design*, 1, 147-161.
- ULLMAN, D. G. (1992) *The Mechanical Design Process*, New York, McGraw-Hill.
- ULRICH, K. (1995) The Role of Product Architecture in the Manufacturing Firm. *Research Policy*, 24, 419-440.
- ULRICH, K. & EPPINGER, S. (2007) *Product Design and Development*, New York, McGraw-Hill.
- UNIVERSITÄT KARLSRUHE (2001) *MAP-Tool*, [online]. Available from: <http://imihome.imi.uni-karlsruhe.de/verweise.html> [Accessed 3 October 2010].
- VADCARD, P. (1996) Aide à la Programmation de l'Utilisation des Outils en Conception de Produit. *Laboratoire Conception de Produits et Innovation*. Thesis (PhD). Paris, ENSAM.
- VAN AKEN, J. (2000) *Domain Independent Design Theory*, [online]. Available from: [http://www.designresearch.nl/PDF/DRN2000\\_vanAken.pdf](http://www.designresearch.nl/PDF/DRN2000_vanAken.pdf) [Accessed 25 September 2010].

- VAN AKEN, J. E. (2005) Valid Knowledge for the Professional Design of Large and Complex Design Processes. *Design Studies*, 26 (4), 379-404.
- VAN DER AALST, W. M. P. (2010) Process Discovery: Capturing the Invisible. *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 5 (1), 28-41.
- VAN KESTEREN, I., DE BRUIJN, S. & STAPPERS, P. J. (2008) Evaluation of Materials Selection Activities in User-Centred Design Projects. *Journal of Engineering Design*, 19 (5), 417-429.
- VAN KLEEF, E. (2006) Consumer Research in the Early Stages of New Product Development: Issues and Applications in the Food Domain. Thesis (PhD). Wageningen, Wageningen University.
- VANGUNDY, A. B. (2005) *101 Activities for Teaching Creativity and Problem Solving*, San Francisco, John Wiley & Sons.
- VERVLIET, N., GAUTIER, R. & GIDEL, T. (2009) Créativité et Management des Risques: Des Synergies pour Innover. *QUALITA 2009, 8e Congrès International pluridisciplinaire en Qualité et Sécurité de Fonctionnement*. 18-20 March, Besançon, France.
- VREDENBURG, K., MAO, J.-Y., SMITH, P. W. & CAREY, P. (2002) A Survey of User-Centered Design Practice. *Conference on Human Factors in Computing Systems*. 20-25 April, Minneapolis, USA.
- WEBER, C. (2008) How to Derive Application-Specific Design Methodologies. *Design 2008, 10th International Design Conference*. 19-22 May, Dubrovnik, Croatia.
- WINOGRAD, T. (1975) Frame Representations and the Declarative/Procedural Controversy. IN BOBROW, D. G. & COLLINS, A. M. (Eds.) *Representation and Understanding: Studies in Cognitive Science*. New York, Academic Press, 185-210.
- WODEHOUSE, A. & BRADLEY, D. (2006) Gaming Techniques and the Product Development Process: Commonalities and Cross-Applications. *Journal of Design Research*, 5 (2), 155-171.
- WRIGHT, I. C., CAMPELLO, A. C., SEGRE, F. M., BENEDETTO NETO, H. & ARAUJO, C. (1995) *A Survey of Methods Utilisation during the Product Design Process in UK Industry*, [online]. Available from: <http://buldogueamericano.com.br/home/publicat/Report95-EDI.pdf> [Accessed 6 October 2010].
- WYNN, D. C. (2007) Model-Based Approaches to Support Process Improvement in Complex Product Development. *Engineering Design Center*. Thesis (PhD). Cambridge, University of Cambridge.
- XU, Y. & BERNARD, A. (2010) Quantifying the Value of Knowledge within the Context of Product Development. *Knowledge-Based Systems*, In Press, Corrected Proof, Available online 8 August 2010.
- YANG, K. & ZHANG, H. (2000) A Comparison of TRIZ and Axiomatic Design. *ICAD 2000, 1st International Conference on Axiomatic Design*. 21-23 June, Cambridge, USA.
- YANNOU, B., CHRISTOFOL, H., JOLLY, D. & TROUSSIER, N. (2008) *La Conception Industrielle de Produits: Ingénierie de l'Evaluation et de la Décision*, Paris, Lavoisier.
- YOSHIKAWA, H. (1981) General Design Theory and a CAD System. *Man-Machine Communication in CAD/CAM*. Amsterdam, North-Holland.

# Index des figures

FIGURE 1 : METHODOLOGIE DE RECHERCHE EN CONCEPTION (BLESSING AND CHAKRABARTI, 2009) .....	8
FIGURE 2 : POSITIONNEMENT AU SEIN DES SCIENCES DE LA CONCEPTION (HUBKA AND EDER, 1996) .....	17
FIGURE 3 : LA CONCEPTION AMONT VUE PAR (MOUGENOT, 2008).....	18
FIGURE 4 : POLES DE RECHERCHE POUR LE PLAN QUADRIENNAL 2010-2013 (LCPI, 2008) .....	19
FIGURE 5 : LISTE NON EXHAUSTIVE DES LABORATOIRES ET AUTRES STRUCTURES TRAVAILLANT SUR LA THEMATIQUE .....	22
FIGURE 6 : REPERCUSSIONS DES COUTS ET DES DELAIS SUR LES PROFITS (DEPARTMENT OF TRADE AND INDUSTRY, 1994).....	23
FIGURE 7 : EVOLUTION DES COUTS ENGAGES PAR LE PROJET (TICHKIEWITCH, 2010).....	24
FIGURE 8 : CORRELATION ENTRE SUCCES DES INNOVATIONS ET STRATEGIES (FRANKE ET AL., 2009).....	26
FIGURE 9 : USAGE DES METHODES EN ALLEMAGNE (GRABOWSKI AND GEIGER, 1997) .....	29
FIGURE 10 : CLASSIFICATION DES THEORIES ET METHODOLOGIES DE CONCEPTION.....	39
FIGURE 11 : FRISE CHRONOLOGIQUE DU DOMAINE .....	42
FIGURE 12 : LES QUATRE DOMAINES DE L'AXIOMATIC DESIGN .....	43
FIGURE 13 : DEMARCHE ICOV DE DFSS (MADER, 2002) .....	45
FIGURE 14 : DEMARCHE DE CONCEPTION DE PRODUITS (AOUSSAT, 1990).....	46
FIGURE 15 : DEMARCHE DE CONCEPTION DEVELOPPEE PAR (PAHL AND BEITZ, 2007).....	47
FIGURE 16 : VUE D'ENSEMBLE D'ARIZ D'APRES (CAVALLUCCI, 1999B).....	49
FIGURE 17 : PHASES DE CYCLE DE VIE DU PRODUIT .....	51
FIGURE 18 : CROISSANCE DE L'OFFRE METHODOLOGIQUE .....	58
FIGURE 19 : DIFFERENTS NIVEAUX DE SELECTION.....	63
FIGURE 20 : EVOLUTION DU TAUX D'ACCEPTATION SOCIETALE DES METHODES ET OUTILS DE CONCEPTION AINSI QUE DES PREOCCUPATIONS INDUSTRIELLES EN FONCTION DU TEMPS (CAVALLUCCI, 2010) .....	64
FIGURE 21 : MECANISMES DE SELECTION DES METHODES (BRAUN AND LINDEMANN, 2003) .....	67
FIGURE 22 : AIDE AU CHOIX DES METHODES DANS LA PHASE DE CONCEPTION GENERALE (PAHL AND BEITZ, 2007).....	70
FIGURE 23 : AIDE AU CHOIX DES OUTILS DE L'ANALYSE DE LA VALEUR (AFNOR, 1985) .....	71
FIGURE 24 : REPRESENTATIONS INTERMEDIAIRES ET CHOIX DES METHODES (SAGOT, 1999).....	72
FIGURE 25 : SELECTION DES METHODES VIA LES ACTIVITES DE BASE (FRANKE AND DEIMEL, 2004) .....	73
FIGURE 26 : INPUT OUTPUT CHART (JONES, 1992) .....	74
FIGURE 27 : METHODS LAB PAR (ALDERSEY-WILLIAMS ET AL., 1999, MACDONALD AND LEBBON, 2001).....	76
FIGURE 28 : MUNICH MODEL OF METHODS (BRAUN AND LINDEMANN, 2003) .....	77
FIGURE 29 : TRANSFERT DES METHODES SELON (BRAUN AND LINDEMANN, 2003) .....	80
FIGURE 30 : MODELE D'IMPLEMENTATION DES METHODES SELON (STETTER AND LINDEMANN, 2005).....	81
FIGURE 31 : SELECTION ET PROCESSUS DE PRISE DE DECISION PAR (ARAUJO, 2001) .....	82
FIGURE 32 : CONSTRUCTION DE LA CONNAISSANCE ADAPTEE DE (SHEDROFF, 1994).....	85
FIGURE 33 : DONNEES, INFORMATIONS, CONNAISSANCES ET PRISE DE DECISION (HICKS ET AL., 2002).....	89
FIGURE 34 : TYPES DE CONNAISSANCES .....	90
FIGURE 35 : VUE GLOBALE DES THEMATIQUES ABORDEES DANS L'ETAT DE L'ART .....	91

FIGURE 36 : ENONCE DE LA PROBLEMATIQUE .....	96
FIGURE 37 : PERIMETRE DE LA THESE .....	97
FIGURE 38 : HYPOTHESE DE MODELISATION N°1.....	98
FIGURE 39 : REGLES ET ESPACES PROBLEME ET SOLUTION .....	99
FIGURE 40 : HYPOTHESE DE MODELISATION N°2.....	100
FIGURE 41 : BILAN DE L’HYPOTHESE N°2 .....	100
FIGURE 42 : SYNTHESE DE LA PROBLEMATIQUE ET DES HYPOTHESES .....	101
FIGURE 43 : PREMODELE D’AIDE A LA SELECTION DES METHODES DE CONCEPTION .....	102
FIGURE 44 : DEMARCHE EXPERIMENTALE ADAPTEE DE (AOUSSAT, 1990) .....	107
FIGURE 45 : TRADUCTION DU BESOIN .....	108
FIGURE 46 : FREQUENCE D’UTILISATION DES METHODES DE CONCEPTION SUR LES PROJETS .....	115
FIGURE 47 : JUSTIFICATIONS ASSOCIEES AU CHOIX DES METHODES .....	116
FIGURE 48 : SOURCES D’INFORMATION UTILISEES POUR AIDER AU CHOIX DES METHODES .....	117
FIGURE 49 : DIFFICULTES RENCONTREES .....	119
FIGURE 50 : INTERET PERÇU D’UN SYSTEME D’AIDE AU CHOIX DES METHODES.....	120
FIGURE 51 : INTERET DU SYSTEME VIS-A-VIS DU TYPE DE CONCEPTION .....	120
FIGURE 52 : PIEUVRE DU SYSTEME D’AIDE AU CHOIX DES METHODES .....	122
FIGURE 53 : INTERPRETATION DU BESOIN .....	125
FIGURE 54 : DETAIL DE L’ETAPE D’INTERPRETATION DU BESOIN .....	126
FIGURE 55 : OBJECTIFS DE L’APPROCHE INDUCTIVE .....	126
FIGURE 56 : MODELE DE CONTEXTE PROJET .....	129
FIGURE 57 : OBJECTIFS DE L’APPROCHE DEDUCTIVE.....	132
FIGURE 58 : DETAILS DE L’APPROCHE DEDUCTIVE .....	133
FIGURE 59 : EXEMPLES DE CARTES UTILISEES POUR LE CARD SORTING .....	134
FIGURE 60 : RESULTATS INTERMEDIAIRES AVANT ETABLISSEMENT DE LA LISTE DES METHODES .....	135
FIGURE 61 : MODELE DE FICHES D’IDENTITE DES METHODES .....	136
FIGURE 62 : STRUCTURE DU MODELE DE FICHE D’IDENTITE .....	138
FIGURE 63 : APPORTS DES METHODES DE L’ETAPE D’INTERPRETATION DU BESOIN SUR LE MODELE.....	139
FIGURE 64 : DEFINITION DE LA SOLUTION .....	141
FIGURE 65 : ENVIRONNEMENT DE DEVELOPPEMENT INTEGRE NETBEANS .....	142
FIGURE 66 : SCENARIO D’UTILISATION DU LOGICIEL.....	143
FIGURE 67 : RECHERCHE DE METHODES PAR LE CONTEXTE PROJET .....	146
FIGURE 68 : RECHERCHE DIRECTE DES METHODES .....	147
FIGURE 69 : AFFICHAGE DES RESULTATS (METHODES) .....	148
FIGURE 70 : CONSTRUCTION DU PROCESSUS DE CONCEPTION.....	149
FIGURE 71 : EXPORT DANS UN FORMAT .CSV DU PROCESSUS DE CONCEPTION CONSTRUIT .....	150
FIGURE 72 : ARCHITECTURE LOGICIELLE D’UN SYSTEME EXPERT .....	151
FIGURE 73 : CYCLE GENERAL D’UN MOTEUR D’INFERENCE .....	152
FIGURE 74 : ILLUSTRATION DU FONCTIONNEMENT DU MOTEUR D’INFERENCE .....	154
FIGURE 75 : DETAILS DU FONCTIONNEMENT DU MOTEUR D’INFERENCE .....	154

FIGURE 76 : EVALUATION DE LA SOLUTION .....	158
FIGURE 77 : SCHEMATISATION DES ANNOTATIONS UTILISEES POUR L'EVALUATION HEURISTIQUE .....	160
FIGURE 78 : PAGE INTERNET DE L'OUTIL CLASSIQUE (A GAUCHE) - PERSONNE EN COURS D'EVALUATION (A DROITE).....	164
FIGURE 79 : APPROCHE DE MODELISATION D'APRES (DUFFY AND ANDREASEN, 1995).....	169
FIGURE 80 : MODELE D'AIDE A LA SELECTION DES METHODES DE CONCEPTION .....	175
FIGURE 81 : APPORT DU MODELE AU DEVELOPPEMENT D'UN SYSTEME D'AIDE A LA SELECTION .....	176
FIGURE 82 : APPLICATION DU MODELE SUR UN EXEMPLE .....	177
FIGURE 83 : AIDE A LA SELECTION DES METHODES ET OPTIMISATION DU PROCESSUS DE CONCEPTION .....	178



# Index des tableaux

<b>TABLEAU 1 : CLASSIFICATION DES THEORIES ET METHODOLOGIES DE CONCEPTION (TOMIYAMA, 1997) .....</b>	<b>37</b>
<b>TABLEAU 2 : COMPARAISON DES MODELES DE PROCESSUS DE CONCEPTION .....</b>	<b>49</b>
<b>TABLEAU 3 : FAMILLES DE METHODES DE CONCEPTION (EXTRAIT) .....</b>	<b>51</b>
<b>TABLEAU 4 : LES ENQUETES SUR L'UTILISATION DES METHODES DE CONCEPTION.....</b>	<b>60</b>
<b>TABLEAU 5 : EXTRAIT DE L'ACTIVITY SELECTION GUIDE (VANGUNDY, 2005) .....</b>	<b>77</b>
<b>TABLEAU 6 : SYNTHESE DES EXEMPLES DE GUIDES DE SELECTION DES METHODES .....</b>	<b>78</b>
<b>TABLEAU 7 : SYNTHESE DES TROIS APPROCHES D'IMPLEMENTATION DES METHODES .....</b>	<b>83</b>
<b>TABLEAU 8 : DEFINITIONS DES TERMES DONNEE, INFORMATION, CONNAISSANCE .....</b>	<b>84</b>
<b>TABLEAU 9 : INFLUENCES DU CONTEXTE SUR LA GESTION DE L'INNOVATION (TIDD ET AL., 2005) .....</b>	<b>86</b>
<b>TABLEAU 10 : FACTEURS DU CONTEXTE INFLUENÇANT LE CHOIX DES METHODES .....</b>	<b>87</b>
<b>TABLEAU 11 : FACTEURS LIES AUX METHODES INFLUENÇANT LA SELECTION .....</b>	<b>88</b>
<b>TABLEAU 12 : PROFILS DES PARTICIPANTS .....</b>	<b>111</b>
<b>TABLEAU 13 : SUJETS ABORDES DANS CHAQUE THEMATIQUE .....</b>	<b>112</b>
<b>TABLEAU 14 : CARACTERISTIQUES DES 22 ETUDES DE CAS .....</b>	<b>114</b>
<b>TABLEAU 15 : ENONCE DES FONCTIONS PRINCIPALES ET CONTRAINTES DU SYSTEME .....</b>	<b>123</b>
<b>TABLEAU 16 : CARACTERISTIQUES DES 15 PROJETS DE CONCEPTION SELECTIONNES .....</b>	<b>128</b>
<b>TABLEAU 17 : REGLES DE SELECTION DES METHODES ISSUES DU RETOUR D'EXPERIENCE (EXTRAIT).....</b>	<b>130</b>
<b>TABLEAU 18 : IDENTIFICATION DES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....</b>	<b>134</b>
<b>TABLEAU 19 : ATTRIBUTS SPECIFIQUES AUX FAMILLES DES METHODES (EXTRAIT) .....</b>	<b>136</b>
<b>TABLEAU 20 : CONNEXIONS POSSIBLES ENTRE METHODES .....</b>	<b>137</b>
<b>TABLEAU 21 : REGLES DE SELECTION DES METHODES ISSUES DE LA BIBLIOGRAPHIE (EXTRAIT) .....</b>	<b>138</b>
<b>TABLEAU 22 : DISTINCTION DES METHODES DE CONCEPTION.....</b>	<b>139</b>
<b>TABLEAU 23 : DONNEES D'ENTREE POUR LE DEVELOPPEMENT INFORMATIQUE DE DESIGNMANAGER .....</b>	<b>143</b>
<b>TABLEAU 24 : FENETRES DE DESIGNMANAGER .....</b>	<b>145</b>
<b>TABLEAU 25 : RESULTATS DE LA REQUETE « PRIORITE=USAGE ».....</b>	<b>155</b>
<b>TABLEAU 26 : RESULTATS DE LA REQUETE « PHASE=TRADUCTION ET PRIORITE=STYLE ».....</b>	<b>156</b>
<b>TABLEAU 27 : RESULTATS DE LA REQUETE « PHASE=INTERPRETATION ET PRIORITE=MARCHE ET SIMILARITE = AEX ».....</b>	<b>157</b>
<b>TABLEAU 28 : ANNOTATIONS UTILISEES POUR L'EVALUATION HEURISTIQUES.....</b>	<b>160</b>
<b>TABLEAU 29 : RECAPITULATIF DES CONDITIONS ET SCENARIO UTILISES POUR LES TESTS UTILISATEURS.....</b>	<b>165</b>



# Production scientifique

## REVUES INTERNATIONALES AVEC COMITE DE SELECTION (1)

Lahonde N., Omhover J.-F., Aoussat A. (Prêt à soumettre) Selection of design methods in 15 product development projects. Journal of Engineering Design. Eds.: Alex Duffy, John Clarkson, Steve Culley, Imre Horvath. Taylor & Francis, A venir.

## CONFERENCES INTERNATIONALES AVEC COMITE DE SELECTION ET ACTES (3)

Lahonde N., Omhover J.-F., Aoussat A. (2009) A Study on Requirements for Development of a Design Methods Selection Guide. CIRP MS'09, 42<sup>nd</sup> CIRP Conference on Manufacturing Systems, Sustainable Development of Manufacturing Systems, Grenoble, June 2009.

Lahonde N., Omhover J.-F., Aoussat A. (2010) Proposition of a Methodology for Developing a Database of Design Methods. CIRP Design'10, 20<sup>th</sup> CIRP Design Conference, Global Product Development, Nantes, April 2010. **Certificate of Merit.**

Lahonde N., Omhover J.-F., Aoussat A. (Soumis) Designers Needs Analysis for Assisting the Selection of Design Methods. IDMME-Virtual Concept 2010. Bordeaux, A venir.

## CONFERENCES NATIONALES AVEC COMITE DE SELECTION ET ACTES (2)

Lahonde N., Omhover J.-F., Aoussat A. (2008) Vers un outil intelligent de génération de modèles de processus de conception, CONFERE 2008, Angers, July 2008.

Lahonde N., Dubois P., Habrard A. (2007) Démarche d'évaluation multicritères des solutions en conception de nouveau produit, CONFERE 2007, Paris, July 2007.

## RAPPORTS (4)

Rapport d'avancement de fin de première année de doctorat, Aide à l'implémentation des modèles de processus de conception – Une approche par la sélection des méthodes et outils de conception, October 2008.

Rapport de réinscription de fin de première année de doctorat, Modélisation pour l'optimisation du processus de conception, October 2008.

Rapport de réinscription de fin de deuxième année de doctorat, Modélisation pour l'optimisation du processus de conception, September 2009.

Rapport de fin de monitorat, May 2010.

## POSTER (1)

Lahonde N., Omhover J.-F., Aoussat A. (2009) Aide à la mise en œuvre des modèles de processus de conception – Une approche par la sélection des méthodes et outils. J2A SMI 2009, Journée de deuxième année de l'Ecole Doctorale 432 Sciences des Métiers de l'Ingénieur, Paris, June 2009.



# Annexes

<b>ANNEXE 1 : GUIDES EXISTANTES D'AIDE A LA SELECTION DES METHODOLOGIES DE CONCEPTION .....</b>	<b>209</b>
<b>ANNEXE 2 : MAPPING DES GUIDES EXISTANTS D'AIDE AU CHOIX DES METHODOLOGIES DE CONCEPTION ..</b>	<b>211</b>
<b>ANNEXE 3 : LISTE DES 60 METHODES DE CONCEPTION DE LA BASE DE DONNEES.....</b>	<b>213</b>
<b>ANNEXE 4 : EXEMPLE DE FICHE D'IDENTITE .....</b>	<b>215</b>
<b>ANNEXE 5 : EXEMPLES DE REGLES .....</b>	<b>217</b>



N°	Référence	Type de référence	Périmètre	Contenu	Nombre	Format	Mécanisme	Critères
1	(AFNOR, 1985)	Norme	Qualité	Outil, Technique	14	Papier	1 – Processus	1*
2	(AFNOR, 1988)	Norme	Qualité	Méthode, Outil	16	Papier	1 – Processus	1
3	(Aoussat, 1990)	Thèse	Général	Méthode, Outil	10	Papier	1 – Processus	1
4	(Jones, 1992)	Ouvrage	Général	Méthode, Outil	35	Papier	2 – Attributs	7
5	(Quarante, 1994)	Ouvrage	Général	Méthode, Outil	33	Papier	1 – Processus	1
6	(Stanton and Baber, 1996)	Chapitre ouvrage	Usage	Méthode, Outil	12	Papier	2 – Attributs	4
7	(Vadcard, 1996)	Thèse	Général	Méthode, Outil	58	Papier	2 – Attributs	4
8	(Thoben et al., 1997)	Article conférence	Général	Méthode, Outil	250	Informatique	1 – Processus	1
9	(Martin and Bocquet, 1999)	Article conférence	Général	Méthodologie	3	Papier	2 – Attributs	4
10	(Sagot, 1999)	Habilité à Diriger des Recherches	Usage	Méthode, Outil	12	Papier	1 – Processus	1
11	(Sarja et al., 1999)	Article revue	Ecoconception	Méthode, Outil	13	Papier	1 – Processus	1
12	(Macdonald and Lebbon, 2001)	Article conférence	Usage	Méthode, Outil	53	Papier	2 – Attributs	8
13	(Maguire, 2001)	Article revue	Usage	Méthode, Outil	36	Papier	2 – Attributs	5
14	(Maguire, 2001)	Article revue	Usage	Méthode, Outil	4	Papier	1 – Processus	1*
15	(Ministère, 2001)	Rapport	Général	Méthode, Outil	11	Papier	1 – Processus	1
16	(Tukker et al., 2001)	Article revue	Ecoconception	Outil, Technique	15	Papier	1 – Processus	1
17	(Universität Karlsruhe, 2001)	Article conférence	Général	Méthode, Outil	144	Informatique	1 – Processus	1
18	(Mathieux, 2002)	Thèse	Ecoconception	Outil, Technique	28	Papier	1 – Processus	1
19	(National Academy of Engineering, 2002)	Ouvrage	Général	Méthode, Outil	16	Papier	2 – Attributs	5
20	(Brangier and Barcenilla, 2003)	Ouvrage	Usage	Méthode, Outil	9	Papier	2 – Attributs	3
21	(Braun and Lindemann, 2003)	Article conférence	Général	Méthode, Outil	?	Informatique	2 – Attributs	4
22	(Dardy and Teixido, 2003)	Ouvrage	Général	Outil, Technique	24	Papier	1 – Processus	1
23	(López-Mesa, 2003)	Thèse	Général	Méthode, Outil	60	Papier	2 – Attributs	2
24	(López-Mesa and Thompson, 2003)	Article conférence	Evaluation	Méthode, Outil	4	Papier	2 – Attributs	2
25	(Thiebaud, 2003)	Thèse	Créativité	Méthode, Outil	10	Papier	2 – Attributs	20
26	(Franke and Deimel, 2004)	Article conférence	Général	Méthode, Outil	63	Informatique	1 – Processus	1*
27	(Franke and Deimel, 2004)	Article conférence	Général	Méthode, Outil	63	Informatique	2 – Attributs	4
28	(Boly, 2004)	Ouvrage	Général	Méthodologie	10	Papier	1 – Processus	1
29	(Shakeri and Brown, 2004)	Article revue	Particulier	Méthode, Outil	?	Informatique	2 – Attributs	2
30	(Benfriha, 2005)	Thèse	Général	Méthode, Outil	30	Informatique	2 – Attributs	2
31	(Carayannis and Coleman, 2005)	Article revue	Créativité	Méthode, Outil	6	Papier	1 – Processus	1
32	(Fujita and Matsuo, 2005)	Article conférence	Général	Méthode, Outil	12	Papier	2 – Attributs	2
33	(VanGundy, 2005)	Ouvrage	Créativité	Outil, Technique	101	Papier	2 – Attributs	10
34	(INERIS, 2006)	Rapport	Sûreté de fonctionnement	Méthode, Outil	7	Papier	2 – Attributs	8
35	(van Kleef, 2006)	Thèse	Marché	Méthode, Outil	19	Papier	1 – Processus	1
36	(van Kleef, 2006)	Thèse	Marché	Méthode, Outil	10	Papier	2 – Attributs	7
37	(Wodehouse and Bradley, 2006)	Article revue	Général	Méthode, Outil	22	Papier	1 – Processus	1
38	(Pahl and Beitz, 2007)	Ouvrage	Général	Méthode, Outil	30	Papier	1 – Processus	1
39	(Plos et al., 2007)	Article conférence	Usage	Méthode, Outil	17	Papier	2 – Attributs	2
40	(Barnard et al., 2008)	Article revue	Usage	Outil, Technique	32	Papier	1 – Processus	1
41	(Benoit-Cervantes, 2008)	Ouvrage	Marché	Méthode, Outil	5	Papier	2 – Attributs	2
42	(Christofol and Bouchard, 2008)	Chapitre ouvrage	Design	Méthode, Outil	4	Papier	2 – Attributs	6
43	(Cross, 2008)	Ouvrage	Général	Méthode, Outil	8	Papier	1 – Processus	1
44	(Goodman-Deane et al., 2008)	Chapitre ouvrage	Usage	Méthode, Outil	57	Papier	2 – Attributs	10
45	(Schweitzer et al., 2009)	Article conférence	Service	Méthode, Outil	?	Papier	2 – Attributs	3

**Annexe 1 : Guides existantes d'aide à la sélection des méthodologies de conception**







**Annexe 3 : Liste des 60 méthodes de conception de la base de données**

N°	Identifiant	Intitulé de la méthode
1	A	Analogie
2	ACB	Analyse Coût Bénéfice
3	AEx	Analyse de l'existant
4	AB	Analyse des brevets
5	AMDEC	Analyse des Modes de Défaillance de leur Effets et de la Criticité
6	ACV	Analyse du Cycle de Vie
7	AEm	Analyse émotionnelle
8	AFE	Analyse Fonctionnelle Externe
9	AFI	Analyse Fonctionnelle Interne
10	AM	Analyse morphologique
11	APR	Analyse Préliminaire des Risques
12	AS	Analyse sémantique
13	AME	Approche multi-écrans
14	AdD	Arbre de défaillance
15	AdE	Arbre d'évènements
16	All	Avantages Inconvénients Intérêts
17	BS	Brainstorming
18	BW	Brainwriting
19	CM	Carte mentale
20	C	Catalogues
21	CL	Checklist
22	CCO	Conception à Coûts Objectifs
23	CAO	Conception Assistée par Ordinateur
24	CCV	Coût de Cycle de Vie
25	Cr	Croquis
26	D	Delphi
27	DSM	Design Structure Matrix
28	ESD	Entretien semi-dirigé
29	EM	Etude de marché
30	ESQCV	Etude Simplifiée Qualitative sur le Cycle de Vie
31	EIME	Evaluation de l'Impact de l'Environnement
32	EH	Evaluation heuristique
33	FI	Fiche Idée
34	FG	Focus Group
35	MG	Mapping
36	MQ	Maquettage
37	BCG	Matrice BCG
38	MDS	Matrice de décision
39	MD	Matrice de découverte
40	MC	Matrice des contradictions
41	MK	Matrice McKinsey
42	SWOT	Matrice SWOT
43	O	Observation
44	PT	Planche de tendances
45	PE	Plans d'expérience
46	PR	Prototypage rapide
47	Q	Questionnaire
48	RT	Recueil de traces
49	REX	Retours d'Expérience
50	R	Rough
51	SLI	Soutien Logistique Intégré
52	SB	Storyboard
53	TP	Tests physiques
54	TU	Tests utilisateur
55	UP	Utilisateur pilote
56	VC	Veille concurrentielle
57	VR	Veille réglementaire
58	VS	Veille stylistique
59	VT	Veille technologique
60	VP	Vote pondéré



## Annexe 4 : Exemple de fiche d'identité

1/2

Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC)  
Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA)

**Sorties :**  
\*Identification des dysfonctionnements potentiels et de leur criticité  
\*Plan d'actions préventives ou correctives, d'améliorations

**Entrées :**  
\*Dossier de conception du nouveau système  
\*Historique des pannes du système existant  
\*Description fonctionnelle et structurelle du système  
\*Connaissance de l'environnement du système, conditions d'utilisation

Expertise Temps Ressources Coût

profil : expert

**Matériel :**  
Pas de matériel particulier

2/2

Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC)  
Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA)

**Avantages :**  
\*Méthode simple et facile d'accès  
\*Systématique (rigueur, exhaustivité)  
\*Usage très large  
\*Traçabilité

**Inconvénients :**  
\*Méthode lourde en volume et temps  
\*Prise en compte difficile des phénomènes combinatoires ou dynamiques, des pannes multiples  
\*Pas de banque de données de défaillances d'organes  
\*Qualité de l'AMDEC fortement dépendante de l'expérience des membres du groupe de travail

**Méthodologies :**  
\*Variante : Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets (AMDE)  
\*Prédécesseur : Analyse Fonctionnelle Externe (AFE) ; Analyse Préliminaire des Risques (APR)  
\*Complémentaire : Arbre de défaillances  
\*Support : Diagramme d'Ishikawa

**Applicabilité :**  
\*Secteur : Tous, en particulier automobile, ferroviaire, aéronautique, matériel médical  
\*Produit : Systèmes mécaniques  
\*Phases :

Méthode	Qualitative/ Quantitative	Déductive/ Inductive	Statique/ Dynamique	Défaillances envisagées	Niveau de détail
AMDEC	Quantitative	Inductive	Statique	Indépendantes	++
APR	Qualitative	Inductive	Statique	Indépendantes	*
Arbre de défaillances	Quantitative	Déductive	Statique	Combinées	++
Arbre d'événements	Quantitative	Inductive	Statique	Combinées	++
HAZOP	Qualitative	Inductive	Statique	Indépendantes	++
Nœud papillon	Quantitative	Déductive/ Inductive	Statique	Combinées	+++
Réseaux de Pétri	Quantitative	Inductive	Dynamique	Combinées	+++

Traduction 1    Interprétation 2    Définition 3    Validation 4

1/2

Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC)  
Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA)

**Historique :** Domaine militaire lors de la 2<sup>nd</sup>e guerre mondiale

**Démarche :**

- 1 Définition du périmètre de l'étude et constitution du groupe de travail
- 2 Identification des défaillances redoutées
- 3 Evaluation des défaillances redoutées
- 4 Sélection des défaillances critiques
- 5 Recherche d'actions correctives
- 6 Validation

Criticité : C = F x G x D

Note F	Fréquence ou probabilité d'apparition	Note G	Gravité	Note D	Probabilité de détection
10	Permanent	10	Mort d'Homme	10	Aucune probabilité de détection
5	Fréquent	5	Conséquences financières et/ou matérielles	5	Un système de détection est en place mais n'est pas infallible
1	Rare	1	Pas grave	1	Le système de détection est infallible

2/2

Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC)  
Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA)

**Format :**

COMPOSANT	DÉFAILLANCE				G R A V I T É	D É T E C T I O N	A C T I O N	R E S P O N S A B L E	D É L A I
	MODE	CAUSE	EFFET	DÉTECTION					

**Pour aller plus loin :**  
\*Références : Ridoux, M. (1999) « AMDEC » Techniques de l'ingénieur, Référence AG4220.  
\*Logiciel : TDC Software ; ITEM Toolkit  
\*Normes : MIL-STD-1629a ; IEC-61508 ; ISO9000/QS9000 ; BS 5760 Part 5  
\*Exemples : (Lahonde, 2007)  
\*Vidéo :  
\*Tableur :



## Annexe 5 : Exemples de règles

### Règle R1

```
<règle> j'ouvre une règle
  <conditions> j'ouvre une condition
    <fait> j'ouvre un fait
      <clé>M:AMDEC</clé>
      <valeur>1</valeur>
    </fait> je ferme le fait
  </conditions> je ferme la condition
  <conséquence> j'ouvre une conséquence
    <fait> j'ouvre un fait
      <clé>M:AFE</clé>
      <valeur>1</valeur>
    </fait> je ferme le fait
  </conséquence> je ferme la conséquence
</règle> je ferme la règle
```

### Règle R2

```
<règle confiance="0.25"> j'ouvre une règle
  <conditions> j'ouvre une condition
    <fait> j'ouvre un fait
      <clé>C:Degré de risque produit</clé>
      <valeur>Élevé</valeur>
    </fait> je ferme le fait
  </conditions> je ferme la condition
  <conséquence> j'ouvre une conséquence
    <fait> j'ouvre un fait
      <clé>M:AMDEC</clé>
      <valeur>1</valeur>
    </fait> je ferme le fait
  </conséquence> je ferme la conséquence
</règle> je ferme la règle
```

### Règle R3

```
<règle> j'ouvre une règle
  <conditions opérateur="et"> j'ouvre plusieurs conditions
    <fait> j'ouvre un premier fait
      <clé>C:Type d'innovation</clé>
      <valeur>Incrémentale</valeur>
    </fait> je ferme le premier fait
    <fait> j'ouvre un deuxième fait
      <clé>C:Nature de l'innovation</clé>
      <valeur>Technique</valeur>
    </fait> je ferme le deuxième fait
  </conditions> je ferme les conditions
  <conséquence> j'ouvre une conséquence
    <fait> j'ouvre un fait
      <clé>M:AFI</clé>
      <valeur>1</valeur>
    </fait> je ferme le fait
    <fait> j'ouvre un fait
      <clé>M:AB</clé>
      <valeur>1</valeur>
    </fait> je ferme le fait
  </conséquence> je ferme la conséquence
</règle> je ferme la règle
```



## OPTIMISATION DU PROCESSUS DE CONCEPTION : PROPOSITION D'UN MODELE DE SELECTION DES METHODES POUR L'AIDE A LA DECISION

**RESUME :** L'une des problématiques du génie industriel, soulignée dans de nombreuses références, précise l'importance des méthodes de conception dans une perspective de formalisation des processus de développement de produits nouveaux. Cette structuration est devenue au fil des années un impératif de survie pour les organisations industrielles. Prolongeant les conclusions de ces travaux, notre démarche s'inscrit dans une approche qui prend comme point de départ la diversité des méthodologies de conception existantes et la difficulté inhérente à leur sélection. Partant du constat qu'aucune méthode de conception ne peut être utilisée systématiquement sur tous les projets, notre problématique de recherche peut se synthétiser de la manière suivante : Comment aider les concepteurs à sélectionner des méthodes de conception adaptées à un projet donné ? Cette question revient à construire, en préambule de chaque développement de produit, un processus de conception *ad hoc* associé à des méthodes et des outils et permettant de converger vers un objectif prédéfini. Notre approche en terme de modélisation vise à mettre en lumière les dépendances existantes entre le contexte projet et les méthodes utilisées. Dans cette perspective, trois champs d'investigation qui constituent autant de fondement pour notre modèle, sont étudiés : la caractérisation du contexte projet d'une part, la description des méthodes de conception d'autre part, et les interconnexions existantes entre ces deux domaines. La partie expérimentale de notre travail de recherche nous a conduit à développer un système d'aide à la sélection des méthodes. Cet outil d'aide à la décision à destination des concepteurs et chefs de projet permet, à partir d'une description du contexte renseignée par l'utilisateur, d'émettre des préconisations en matière de sélection de méthodes et d'outils de conception. L'évaluation de ce système a permis de valider le modèle proposé et de tracer de nouvelles pistes de recherche pour l'avenir.

**Mots clés :** optimisation, processus de conception, méthode, modèle de sélection, aide à la décision

## DESIGN PROCESS IMPROVEMENT : PROPOSAL OF A MODEL FOR DESIGN METHODS SELECTION TO SUPPORT THE DECISION

**ABSTRACT :** A widely discussed issue in industrial engineering focuses on the main role taken by design methods, especially when aiming at formalizing new products development process. Along the years, this formalization has become a critical topic for industrial firms. With the purpose to extend the conclusions of these studies, the starting point of our work lies on the large amount of design methods available and how difficult it can be to select one of it for a given project. Seeing that a single design method that could fit with any project doesn't exist, our problematic can be written as : how is it possible to help designers to select the appropriate design methods within their own project ? This question leads to building, prior to a new development, of a design process lying on well chosen methods and tools that will lead to a predefined goal. The relation between the context of the project and the design methods is the key principle of our model. Thus, our model is based on three axes which are: description of the context, description of the methods and description of the connections between both of these domains. Our experimentations led us to developing a system for helping to select the right methods. This decision support tool for designers, engineers and project leaders indicates the methods that would suit best for the design process given the contextual data indicated by the user. Evaluating this system allowed us to validate our model and to draw new perspective based on our study.

**Keywords :** optimization, design process, method, selection model, decision support