



Aide au pilotage d'une démarche en conception de produits : vers un cahier des charges "augmenté"

José Antonio Lattuf

► To cite this version:

José Antonio Lattuf. Aide au pilotage d'une démarche en conception de produits : vers un cahier des charges "augmenté". Sciences de l'Homme et Société. Arts et Métiers ParisTech, 2006. Français. <NNT : 2006ENAM0060>. <pastel-00002947>

HAL Id: pastel-00002947

<https://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-00002947>

Submitted on 28 Sep 2007

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

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



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

THÈSE

pour obtenir le grade de

Docteur

de

l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers

Spécialité "Génie Industriel"

José Antonio LATTUF

le 18 décembre 2006

**AIDE AU PILOTAGE D'UNE DEMARCHE D'INNOVATION
EN CONCEPTION DE PRODUITS :
VERS UN CAHIER DES CHARGES « AUGMENTE »**

Directeur de thèse : Robert DUCHAMP

Codirecteur de thèse : Marc LE COQ

Jury :

M. Jean- Michel RUIZ, Professeur, EGIM, Marseille..... Président/Rapporteur
M. Patrick TRUCHOT, Professeur, ERPI, INPL, Nancy..... Rapporteur
M. Robert DUCHAMP, Professeur, LCPI, ENSAM, Paris..... Examineur
M. Marc LE COQ, Maître de Conférences HDR, LCPI, ENSAM, Paris..... Examineur
M. Jean- François BASSEREAU, Maître de Conférences, LCPI, ENSAM, Paris..... Invité

Laboratoire Conception de Produits et Innovation
ENSAM, CER de Paris

À Elle
À Lui
À Eux
À Elles
et enfin, à Nous

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à exprimer sincèrement ma reconnaissance à Patrick TRUCHOT, Professeur à l'INPL de Nancy, et à Jean-Michel RUIZ, Professeur à l'EGIM de Marseille, d'avoir accepté de juger ce travail de recherche en tant que rapporteurs.

Mes remerciements vont aussi à la Fondation vénézuélienne FUNDAYACUCHO qui m'a financé ces études de doctorat. De même, j'exprime ma reconnaissance à l'Université Simon Bolivar de Caracas, en particulier au Professeur Frank Kenyery, qui m'a mis en relation avec l'ENSAM et m'a encouragé à suivre une thèse de doctorat au laboratoire Conception de Produits et Innovation (LCPI).

Soient remerciés Robert DUCHAMP et Améziane AOUSSAT, professeurs à l'ENSAM et directeurs du LCPI, de m'avoir accueilli au sein de ce laboratoire et avoir mis à ma disposition ses moyens, physiques et humains dans un cadre d'ouverture et de diversité de points de vue et de métiers. Je suis aussi reconnaissant de leur ténacité (pour ne pas dire patience) en me replaçant à répétition dans le domaine du Génie Industriel. Un merci particulier à Monsieur DUCHAMP pour avoir dirigé ce travail : ses remarques ont secoué utilement le fil conducteur de la thèse qui put ainsi se fortifier et converger tout au long de ces années. Je remercie également Monsieur AOUSSAT pour m'avoir confié les projets en milieu industriel qui m'ont permis de construire le cadre expérimental de ma recherche.

Je remercie Marc LE COQ, Maître de Conférences HdR et Directeur Général Adjoint de l'ENSAM, d'avoir codirigé cette recherche. Ses remarques toujours très éclairées et pertinentes étaient d'un étonnant équilibre entre d'une part, la souplesse et l'ouverture, et d'autre part l'encadrement scientifique.

Soit encore une fois remercié Jean-François BASSEREAU, Professeur associé de l'ENSAM et co-animateur du groupe de travail de thèse N°4 (le célèbre GTT4). Sa complicité, sa passion contagieuse, son respect, sa ténacité (ou encore patience ?), son investissement désintéressé. Ses questions, ses pistes et ses solutions. Puis, son encouragement inégalé mais judicieusement dosé pour relancer la machine à chaque fois qu'il le fallait (il a tout essayé...). Oui, et son bureau (la table), toujours « vide »...

Grand merci au groupe de travail GTT4. Multiforme, encore une fois, entre la souplesse et l'encadrement. Toujours prêt à écouter José, même avec tous les « risques » que cela puisse représenter. Puis : « il faut plus d'exemples », ou encore « moins conceptuel », « Il faudrait arrêter la biblio », « il faut converger ». Donc, Jean-François, Marc, Gwenola (sa précision était toujours à craindre), Guillaume, Anne (paradoxalement reconfortante dans ses coups de fusil), Stéphane, Carole, Alexandre (c'est lui qui insistait le plus avec les exemples), et souvent des chercheurs invités apportant leur regard critique, nouveau et complémentaire.

Merci aux membres du laboratoire CPI et ses collaborateurs et invités, d'aujourd'hui et d'hier : quelques mots, ou quelques discussions d'encouragement, de contraste, de mise en garde ; une question qui sert de réponse, piste ou idée... Tout l'apprentissage ! Et le feu qu'il fallait bien éteindre (ordinateurs, maquettes, plans...). Difficile à préciser toutes les tournures que leur contribution aura pu prendre dans l'évolution de mon séjour au sein du laboratoire et particulièrement dans mon travail de thèse. Je serai injuste exprès pour être plus bref : Eric, Fred, Arnaud, Stéphanie, Nadine, Thomas, Tomás, Jorge, Fabrice, Carole, Lien, Nicolas, Pascal, Jean-Philippe, Benoît, Hervé, Roger,...

Un merci tout particulier à Khaled, sa pédagogie (lire : ses encouragements catastrophiques) n'avaient que deux issues possibles, la fuite, effrayé, ou le coup de fouet pour sauter la barrière. Il m'a aidé, même en cliquant, à prendre la voie de l'action. Je lui suis spécialement reconnaissant.

Tous mes remerciements vont aussi aux membres du secrétariat pour les petits grands détails. A Valérie, Hélène et Bernard, toujours disponibles lors de mes demandes *in extremis*. Spécial merci à Séverine et à nos courtes mais larges conversations...

Je ne sais pas si c'est un merci qu'il faudrait, mais je tiens à mentionner dans cette page à Humberto et Antonieta, qui dans la discrétion et le respect m'ont imprimé tout leur appui inconditionnel et m'ont donné avec leur enthousiasme et leur exemple l'envie de toujours chercher, découvrir, trouver, créer, cultiver, contempler, et encore... Cela dit, ils se sont fait aider par la grande équipe : Teresa, Gabriela, Isaias et Javier. Sans le savoir, quand il le fallait, ils m'ont fait revenir à l'essentiel de mon parcours et mes passions...

Un grand merci à mes beaux parents, en silence mais toujours présents.

Et en filigranes, toi, Anita. Et quelle élasticité !

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE	11
A- OBJET GENERAL DE LA RECHERCHE.....	11
B- PROBLEMATIQUE DE RECHERCHE	14
C- APPORTS DE LA THESE.....	17
D- STRUCTURE DU DOCUMENT.....	19
CHAPITRE 1 : OBJET DE LA RECHERCHE.....	21
1.1 CADRE DU TRAVAIL DE RECHERCHE.....	21
1.1.1 ORIGINES	22
1.1.2 LCPI DE L'ENSAM : LABORATOIRE D'ACCUEIL.....	23
1.2 L'OBJET D'ETUDE : LES PROCESSUS D'INNOVATION PRODUIT.....	24
1.2.1 DEFINITIONS	25
1.2.2 INTENSITE D'INNOVATION.....	26
1.2.3 UN RESULTAT, UN PROCESSUS	27
1.2.4 DEUX LANGAGES POUR LE PROCESSUS D'INNOVATION	28
1.2.5 POURQUOI S'INTERESSER AU PROCESSUS DE CONCEPTION	29
1.2.6 D'ABORD LES PME PUIS LES GRANDS GROUPES (GG).....	30
1.3 LE PROCESSUS DE CONCEPTION DE PRODUITS.....	33
1.3.1 PROJET-PRODUIT, PRODUIT-PROJET.....	33
1.3.2 LES TYPOLOGIES DE CONCEPTION DE PRODUITS.....	33
1.3.3 MODELES DU PRODUIT ET DU PROCESSUS DE CONCEPTION	34
1.4 L'INNOVATION ET L'ENTREPRISE.....	40
1.4.1 L'INNOVATION COMME STRATEGIE D'ENTREPRISE.....	40
1.4.2 LES PARADOXES DE L'INNOVATION :	41
1.4.3 L'ENTREPRISE FACE AU PROCESSUS D'INNOVATION.....	43
1.4.4 DIVERSIFIER, CREER UNE NOUVELLE ACTIVITE	44
1.4.5 DYNAMIQUE DE L'INNOVATION EN ENTREPRISE : LES OPPORTUNITES	44
1.5 DELIMITATION DE NOTRE CHAMP D'INVESTIGATION	45
CHAPITRE 2 : POSITIONNEMENT DE NOTRE RECHERCHE	47
2.1 L'ETUDE DE L'ACTIVITE DE CONCEPTION	47
2.1.1 DEUX OBJETS D'ETUDES SUR L'ACTIVITE DE CONCEPTION	47
2.1.2 NOTRE POSITIONNEMENT	48
2.2 CONCEPTION INNOVANTE, CONCEPTION ROUTINIERE	48
2.2.1 LES DIFFICULTES DES METIERS « CLASSIQUES » DE CONCEPTION DE PRODUITS :	53
2.2.2 TYPOLOGIES DU PRODUIT, INNOVATION ET INTEGRATION METIERS	53

2.3	LA CONCEPTION INNOVANTE : UN PROCESSUS COMPLEXE	54
2.3.1	L'INNOVATION, COMPLEXITE, INCERTITUDE	54
2.3.2	NIVEAUX D'INNOVATION, NIVEAUX D'INCERTITUDES	56
2.3.3	INCERTITUDE ET INCONNUS	56
2.3.4	INCERTITUDES EXOGENES, INCERTITUDES ENDOGENES	58
2.3.5	LE MANAGEMENT DE PROJET ET L'INNOVATION	59
2.3.6	ANALYSE DE RISQUES	60
2.4	ENTREPRISE, INNOVATION ET ANTICIPATION	61
2.4.1	CREATION D'INCERTITUDES, STRATEGIE D'INNOVATION	63
2.4.2	LES ANTICIPATIONS POSSIBLES	64
2.4.3	SUR LA PROSPECTIVE	65
2.4.4	SYNTHESE SUR L'ANTICIPATION :	69
2.5	SYSTEMIQUE ET FINALISME : NECESSITE D'UNE APPROCHE ALTERNANTE	70
CHAPITRE 3 : PROBLEMATIQUE SCIENTIFIQUE.....		73
3.1	LE PROCESSUS DE CONCEPTION, L'ACTIVITE DE CONCEPTION, LE DEBUT, LA FIN.....	73
3.1.1	EXEMPLE : LE DETOURNEMENT D'OBJETS.....	76
3.2	CONSIDERATIONS EPISTEMOLOGIQUES.....	77
3.2.1	DEUX APPROCHES EXPERIMENTALES	77
3.2.2	SUR L'ETUDE COGNITIVE DU CONCEPTEUR ET L'ETUDE DE L'ENTREPRISE	78
3.2.3	SUR LA MODELISATION ET LES MODELES	78
3.2.4	SUR LA RECHERCHE-ACTION	81
3.3	LA RELATION DES MODELES DE CONCEPTION ET L'ENTREPRISE.....	84
3.3.1	PROBLEMATIQUE A LA FOIS INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE	85
3.3.2	NIVEAU DECISIONNEL : OBJECTIFS, STRATEGIES, MODES OPERATIONNELS	86
3.3.3	REPONSES METHODOLOGIQUES AUX INCERTITUDES	87
3.3.4	PROCESSUS ANALYTIQUE ET PROCESSUS CREATIF.....	87
3.4	DYNAMIQUE, EVOLUTION ET OPPORTUNISME DANS LA CONCEPTION INNOVANTE	92
3.4.1	LES MODELES DE CONCEPTION ET LA DEMARCHE D'INNOVATION	93
3.4.2	LES ITERATIONS DURANT LE PROCESSUS.....	94
3.5	LES ESPACES DE CONCEPTION, LEUR EVOLUTION ET LEUR TRAITEMENT.....	95
3.5.1	FORME ET FONCTION.....	95
3.5.2	CRITERES DE CONCEPTION	96
3.5.3	LES OBJETS ET REPRESENTATIONS INTERMEDIAIRES	98
3.6	SUR L'EVOLUTION ET LES RUPTURES	99
3.6.1	AXE DIACHRONIQUE ET AXE SYNCHRONIQUE.....	102
3.6.2	PROCESSUS DE CONCEPTION ET EVOLUTIONNISME.....	103
3.6.3	LE CAHIER DES CHARGES EVOLUTIF : OBJET INTERMEDIAIRE INEVITABLE	106
3.7	SYNTHESE : PEUT-ON EXPLOITER LE CDC COMME SOURCE D'INNOVATION ?	107

CHAPITRE 4 :	HYPOTHESES ET MODELES	109
4.1	CHAMP DE COMPETENCES DE CE TRAVAIL.....	109
4.2	HYPOTHESES	110
4.2.1	ENONCE DES HYPOTHESES	110
4.2.2	GRANDS AXES DIRECTEURS	111
4.3	LE CAHIER DES CHARGES EVOLUTIF.....	114
4.4	RAPPROCHEMENT ONTOGENIE/PHYLOGENIE	114
4.5	POSITIONNEMENT PAR RAPPORT AUX APPROCHES SCIENTIFIQUES ET AUX METHODES DE CONCEPTION ET	115
4.5.1	PAR RAPPORT A LA THEORIE C-K.....	116
4.5.2	POSITIONNEMENT LATTUF-GARRO	116
4.5.3	POSITIONNEMENT LATTUF-GOGU	117
4.5.4	IDEES FONDAMENTALES DE NOTRE APPROCHE	117
4.6	MODELE EVOLUTIONNISTE ET MISE EN ŒUVRE.....	118
4.6.1	DEMARCHE GLOBALE.....	118
4.6.2	STRUCTURE DE L'ENTITE EVOLUTIVE.....	119
4.6.3	UNITE ELEMENTAIRE	120
4.7	RESULTATS ATTENDUS.....	121
CHAPITRE 5 :	EXPERIMENTATIONS	123
5.1	EXPERIMENTATION A.....	125
5.1.1	CONTEXTE GENERAL DU DEVELOPPEMENT DU PRODUIT	125
5.1.2	VALIDATION DU BESOIN.....	127
5.1.3	RECHERCHE D'IDEES.....	129
5.1.4	CAHIER D'IDEES.....	130
5.1.5	SCENARIOS IDENTIFIES.....	131
5.1.6	IDENTIFICATION DES CRITERES ET SYNTHESE.....	133
5.1.7	CHOIX DE 3 CONCEPTS DE PRODUIT.....	135
5.1.8	ETABLISSEMENT DU PROGRAMME DE DEVELOPPEMENT	140
5.2	EXPERIMENTATION B	148
5.2.1	LA MAQUETTE EVOLUTIVE.....	148
5.2.2	INTRODUCTION	149
5.2.3	RESUME DU PROJET PRECEDENT.....	150
5.2.4	CAHIER DES CHARGES EVOLUTIF	151
5.2.5	PROJET GLOBAL DE DEVELOPPEMENT DU PRODUIT	152
CHAPITRE 6 :	ANALYSE DE RESULTATS, NOUVEAU MODELE	171
6.1	EXPLORER ET CONCRETISER : SAISIR LES OPPORTUNITES CREES.....	172

6.2	LE MODELE PIANO	174
6.2.1	DU CAHIER DES CHARGES PASSIF AU CDC ACTIF	180
CHAPITRE 7 : CONCLUSIONS GENERALES ET PERSPECTIVES		183

Tables d'illustrations

Figure 1. Echelles évolutives d'un produit.	12
Figure 2. Périmètre de notre objet de recherche en conception de produits	13
Figure 3. Définition du champ d'investigation	14
Figure 4. Influences du contexte pour les PME et pour son Processus de Conception Innovante (P.C.I.)	15
Figure 5. Relation du technologue par rapport à un contexte d'innovation. Opposition apparente entre ses leviers et un cadre pour l'innovation.	16
Figure 6. Deux définitions de l'innovation comme substantif. (TRUCHOT et Al. 1997)	26
Figure 7. Impacts sur le coût de l'activité de conception. [Brown et Al, 2004]	30
Figure 8. Chiffres clés des PME et des grandes entreprises dans l'Europe-19, 2000 (extrait du site jinnove.com)	30
Figure 9. Définition du processus de conception d'après HUBKA 2001	36
Figure 10. Modèles de processus de conception.	39
Figure 11. Impact des innovations du point de vue substantif. (source : www.jinnove.com) .	41
Figure 12. Distribution des entreprises menant des activités innovantes. (source : www.jinnove.com)	43
Figure 13. Activités innovantes dans l'UE. (source : www.jinnove.com)	43
Figure 14. Ingénierie de Systèmes. Issue de ANSI EIA-632 (ANSI/EIA 1998).	49
Figure 15. Modèle de conception innovante utilisant la théorie CK. [Hatchuel 2004]	52
Figure 16. Régimes de conception et distances CK. [Hatchuel 2004]	52
Figure 17. Relation entre l'intensité des innovations et le niveau d'incertitude.	56
Figure 18. Usage de la prospective par rapport à un domaine donné.	66
Figure 19. Synthèse sur la problématique de l'anticipation	70
Figure 20. Evolutions d'un processus de conception.	74
Figure 21. Cylindre du processus de conception podérant l'intervention des acteurs-métiers. [BENFRIHA 2004]	75
Figure 22. Représentation de Fagerström sur les modèles	81
Figure 23. Modèle de conception et innovation de ROOZENBURG et EEKELS.	89
Figure 24. Modèle intégratif de ANDREASEN et HEIN.	90
Figure 25. Positionnement du bureau d'études en PME.	91
Figure 26. Echelles évolutives d'un produit.	103
Figure 27. Cycle ontogénique de la grenouille.	105
Figure 28. Evolutions longitudinale et transversale du CDC.	106

Figure 29. Comparatif des performances globales en problèmes numériques d'optimisation	112
Figure 30. Typologies d'intervention concepteur-outils.	113
Figure 31. Rapprochement ontogénie/phylogénie et présence du CDC comme véhicule de représentation.	115
Figure 32. Démarche globale proposée pour l'exploitation des théories d'évolution.....	118
Figure 33. Structure d'une entité évolutive.....	119
Figure 34. Gestion des transformations pendant le processus.	119
Figure 35. Unité élémentaire de mécanisme d'évolution.	120
Figure 36. Indicateur de pilotage pour l'intensité de mutation.	120
Figure 37. Indicateur de pilotage pour le taux de mutation.	121
Figure 38. Carte mentale du contexte produit pour l'intervention dans l'expérimentation A	127
Figure 39. Approche linéaire de transformation d'une opportunité en projet d'innovation. ..	172
Figure 40. Processus de transformation des informations et connaissances	174
Figure 41. Ebauche du modèle PIANO.....	175
Figure 42. Unités élémentaires d'évolution.	176
Figure 43. Modèle PIANO. Trajectoire d'évolution de la certitude.	177
Figure 44. Espaces ou phases où évoluerait le modèle PIANO.	178
Figure 45. Evolution dans les espaces de conception gardant la logique du phasage.....	179
Figure 46. Modèle de transformation du Cahier des Charges Evolutif Augmenté	181
Figure 47. Modèle PIANO par espace produit. Pilotage.....	181
Figure 48. Modèle PIANO, intégration au processus de conception.	182

Introduction Générale

Une fois assimilée la nécessité pour une entreprise d'innover (au sens large) pour qu'elle puisse faire face aux conditions concurrentielles actuelles du marché (concurrence accrue, apparition de nouvelles technologies, nouvelles réglementations,...), il s'avère utile de rationaliser le processus à mettre en place qui permettrait d'y arriver. C'est-à-dire, pouvoir le comprendre, le maîtriser au mieux, dans le but de l'optimiser, de le reproduire et de le pérenniser au sein de l'entreprise. **Pérenniser le processus d'innovation**¹.

Ce travail de recherche s'intitule « Aide au pilotage d'une démarche d'innovation en conception de produits : vers un cahier des charges "augmenté" ».

A- Objet général de la recherche

Circonsrite dans le Génie Industriel, cette thèse de doctorat a pour objet de recherche la conception de produits industriels et vise des aspects méthodologiques liés au processus de conception dans un contexte d'innovation. Le champ d'investigation de ce travail porte sur la **nécessité d'adopter une démarche favorisant l'innovation et aidant à son pilotage pendant le processus de conception.**

L'objectif final de cette thèse est de donner aux acteurs du projet de conception (principalement au chef de projet et aux décideurs) d'outils méthodologiques complémentaires dans l'activation du processus de conception de produits comme source d'innovation pour l'entreprise. Nous parlons d'un processus de conception innovante (P.C.I.). Pour cela nous nous appuyons de manière générale sur la notion d'évolution de produits tant du point de vue de leurs « gestation » (conception) que du point de vue généalogique (familles, lignées,...)

¹ Ce qu'au Centre de Gestion Scientifique de l'ENSMP est assimilé au concept d'innovation répétée. A. Hatchuel et B. Weil, *Conférence Internationale Les Sciences de la Conception*, à l'INSA de Lyon, 15-16 mars 2002.

Ci-dessous, dans la Figure 1, un exemple de classement basé sur cette notion d'évolution du produit est décrit. Trois échelles peuvent être remarquées : une qui s'agit des premières manifestations d'un produit sous forme d'idées à travers des mécanismes d'évolution d'autres idées, d'application de critères spécifiques, etc. ; une autre échelle qui illustre l'évolution circonscrite à ce qu'on désigne couramment « processus de conception » (dynamique autour des contraintes, résolution de problèmes, choix stratégiques, etc.) ; et enfin, une échelle qui relève de « l'après », insistant sur les évolutions du point de vue historique des produits « terminés » (gammes, améliorations, etc.). Ces trois échelles peuvent se distribuer dans un axe chronologique (comme montré dans la figure citée) ou sous forme de « cercles circonscrits » trouvant le premier niveau dans le deuxième puis ce dernier dans le troisième.

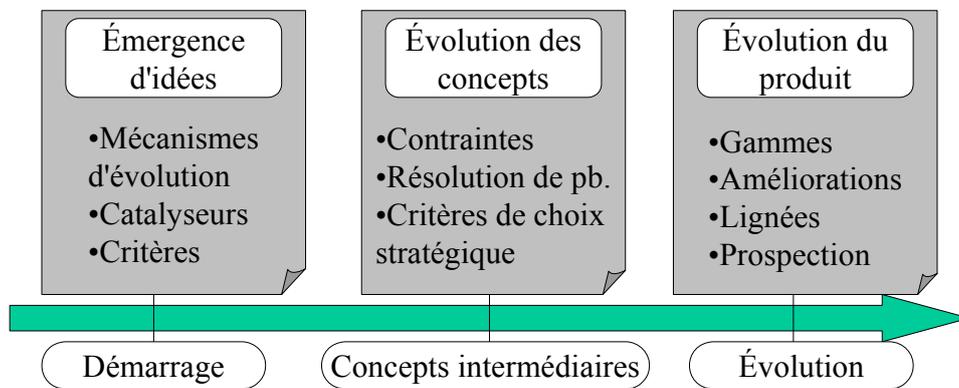


Figure 1. Echelles évolutives d'un produit.

« L'innovation est le résultat d'une démarche de conception » [PERRIN 2001][Kline et Roozenburg 1986]. C'est l'action de concevoir ce qui fait évoluer les connaissances ou en crée des nouvelles². Or, condition nécessaire mais insuffisante, pour qu'un processus de conception donne lieu à un processus d'innovation, il doit disposer de certaines particularités. Voir Figure 2.

² L'exemple des objets techniques est un des plus évidents : les connaissances techniques progressent parce que des objets nouveaux sont conçus ou des objets existants sont transformés. PERRIN 2001

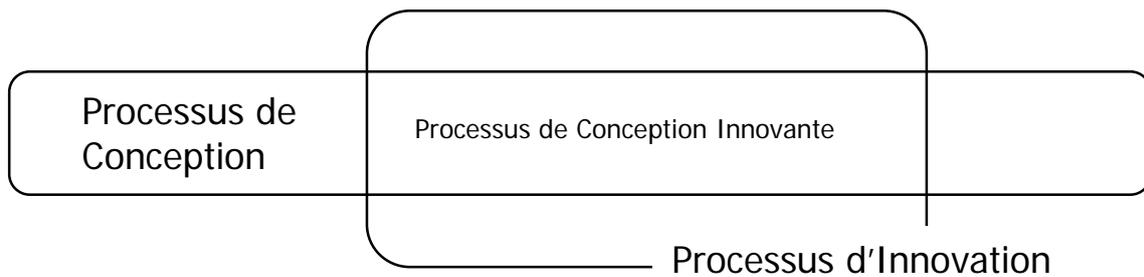


Figure 2. Périmètre de notre objet de recherche en conception de produits

Il est donc indispensable de préciser ce que l'innovation implique pour pouvoir définir les spécificités d'un processus de conception innovante par rapport à un processus de conception qui ne l'est pas. Ici, nous relèverons que les caractéristiques différenciant un processus d'innovation sont liées principalement à sa nature complexe et à l'incertitude inhérente de par sa définition. Ce qui en empêche la rationalisation aisée.

Par rapport à la complexité, un des aspects les plus importants réside sur la dimension temporelle et spatiale du processus en termes d'évolution du système global (au sens d'un modèle systémique et de sa dimension génétique). L'on se pose ainsi une question générale sur **où commence et où termine la conception**.

Notre attention est orientée vers des contextes de type PME-PMI quant aux limitations en ressources notamment financières et humaines mais aussi où la structure globale de fonctionnement est relativement « à faible inertie », donc flexible, réactive et vulnérable³. Dans cet univers, notre intérêt portera essentiellement sur les entreprises dont l'activité est dictée par une « logique produit »⁴. Nous nous focaliserons sur des contextes où la formulation ou définition des besoins en termes de spécifications du produit, allocation de ressources, stratégies d'entreprise, etc., reste très incomplète et imprécise.

Notre champ d'investigation est donc délimité comme le montre la figure suivante (Figure 3).

³ Comme le souligne BOLY et Al. « On peut considérer en effet que, de part leurs ressources intellectuelles et financières réduites, les PME sont face à un contexte plus incertain. » [BOLY et Al. 1998]

⁴ Etant le produit défini comme un élément de consommation, reproduit à des millions d'exemplaires et entièrement absorbé dans une finalité d'usage. [LE COQ 1992]

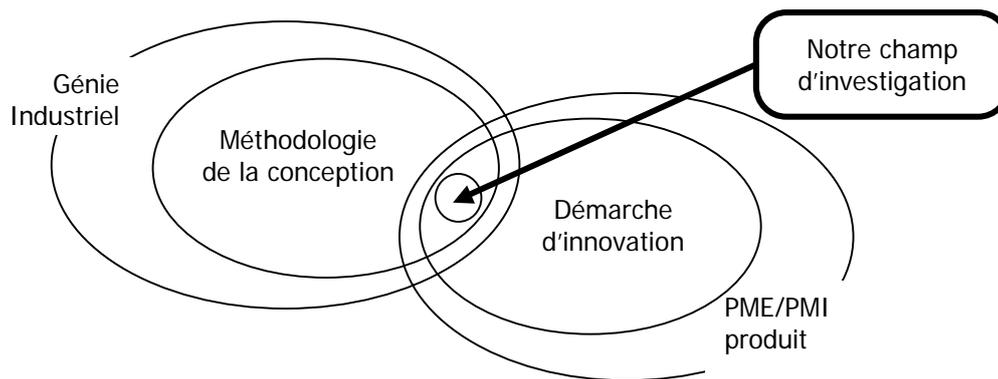


Figure 3. Définition du champ d'investigation

Dans l'ensemble de ce travail de thèse, nous nous appuyons sur une démarche scientifique de recherche-action. « Elle gère le processus allant de la formalisation de la pratique observée à la modélisation de la pratique à promouvoir », c'est à dire, optimiser l'action. [RESWEBER 1995]

Cette thèse s'est déroulée au sein du Laboratoire de Conception de Produits et Innovation (LCPI) à l'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers (ENSAM) de Paris⁵ de début 2000 à fin 2003. Les travaux d'expérimentation ont été menés en partenariat avec la société ECOTRI et avec la société PIOT ET TIROUFLET (toutes les deux des entreprises françaises de type PME).

B- Problématique de recherche

La plupart des responsables de la stratégie de l'entreprise sont bien conscients de ce besoin d'innover. Ils savent aujourd'hui qu'il existe d'une part des approches organisationnelles pour dynamiser le personnel dans ce sens ; et d'autre part, des méthodes et des outils pour instrumenter (et concrétiser) certaines pratiques visant la fiabilisation et l'optimisation des processus de conception en termes de coût, délais et maîtrise de risques (y compris la qualité recherchée). [BOCQUET 2002][GROFF 2004]

Or, chez les PME leurs moyens, notamment humains, financiers et de temps, ne leur permettent pas dans la majorité des cas d'assurer l'adoption ou l'application exploitable de

tous ces supports. [MERCIER 1998][THOUVENIN 2002][MEFI 2003]. En plus, les conditions nécessaires pour mener un processus de conception innovante supposent **une interaction nouvelle avec le contexte extérieur** et même si l'entreprise est capable de s'adapter, elle ne sait pas comment le faire. En effet, les PME possèdent des leviers suffisants pour être facilement adaptables⁶ mais difficilement gèrent les incertitudes liées au nouveau contexte d'influence (Voir Figure 4) et les risques sont plus importants que pour les grandes structures (grands groupes par exemple), notamment en termes de fragilité (financière, commerciale,...).

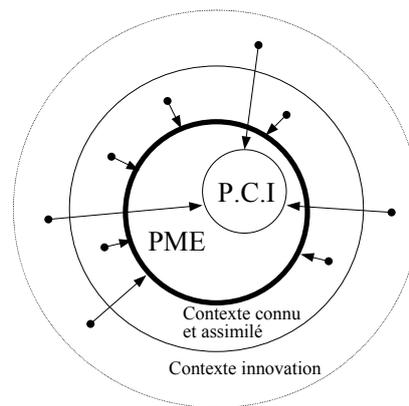


Figure 4. Influences du contexte pour les PME et pour son Processus de Conception Innovante (P.C.I.)

Comme on le dit plus haut, la dimension incertaine associée à tout processus d'innovation est un des freins les plus marquants lors que la PME se lance dans cette démarche. Cette incertitude peut avoir des différentes origines : elle peut être financière, technique, liée au marché même, au personnel, au marketing...[BOLY et Al. 1998] [GODET 1985] et elle se manifeste souvent tout simplement comme **l'incapacité ou la difficulté à exprimer ou définir clairement les besoins** (ou souhaits) à des différents états du processus, en termes de fonctions du produit, choix d'ordre technique, marché ciblé, stratégies, etc. Nous pensons particulièrement au manque d'éléments suffisants pour bien établir un cahier des charges précis, exhaustif et **indépendant** du processus de conception dès le début du projet et pour chacune des phases (si en effet, explicitement ou non, ces dernières sont présentes).

⁵ L'ENSAM est un Grand Etablissement composé de 8 centres d'enseignement et de recherche (Aix-en-Provence, Angers, Bordeaux, Châlons-en-Champagne, Cluny, Lille, Metz et Paris)

⁶ Notamment par leur flexibilité structurelle et leur réactivité en termes de délais nécessaires pour se réorganiser. Deux atouts de leur réputation aujourd'hui bien reconnus par la plupart des auteurs traitant le sujet.

Par ailleurs, la plupart des méthodes et outils pour la conception de produits innovants⁷ (analyse fonctionnelle, XAO, PAPSA, QFD...) sont utilisés à des phases précises du processus (voire ponctuellement pour certains outils), ce qui exige des « entrées » et des « sorties » intermédiaires bien déclarées pour pouvoir les y intégrer convenablement. Nous constatons que cela n'est pas toujours possible dans le contexte décrit précédemment. Dans le même sens, l'utilisation parcellaire des représentations du produit dans les différents espaces symboliques y trouve ses limites.

Nous avons pu voir les implications liées à la volonté d'adopter une démarche d'innovation du point de vue entreprise et la problématique des incertitudes et la formulation des besoins, stratégies, etc. La Figure 4 montre que ces influences agissent sur le processus de conception innovante et se manifestent, entre autres, sur la manière dont les acteurs exploitent leurs compétences dans ce nouveau cadre de fonctionnement.

En effet, du point de vue des acteurs qui vont matérialiser cette démarche, une problématique apparaît liée-t-elle aussi à cette notion de nouveauté et incertitude ; à savoir, l'utilisation des connaissances (explicites ou non) : Capitalisation reproductible versus innovation (variabilité, nouveauté, discontinuité,...). [ROMON 2000][ERMINE 2000] Ici, l'on évoque particulièrement l'ingénieur (le technologue), qui par de ses connaissances sensiblement bien structurées [FINKE 1995], pose un paradoxe dans l'exploitation de celles-ci pour mener à la nouveauté dans un cadre d'incertitude. [MOLES 2004]. La Figure 5 résume cet aspect de la problématique.

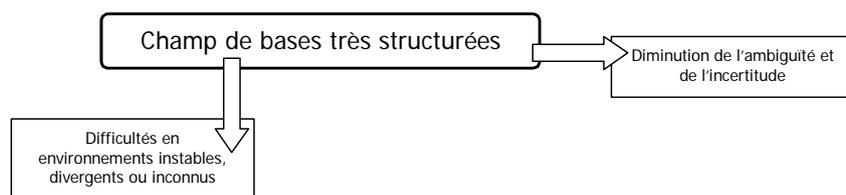


Figure 5. Relation du technologue par rapport à un contexte d'innovation. Opposition apparente entre ses leviers et un cadre pour l'innovation.

⁷Les termes « conception de produits innovants » et « conception innovante de produits » ont pour nous la même signification, mais nous sommes conscients des subtilités qui pourraient y exister.

Ce paradoxe du technologue, qui illustre une problématique plus générale pour tous les acteurs visant l'explicitation des connaissances nécessaires pour « fiabiliser » le processus de conception innovante, complète le constat énoncé plus haut selon lequel un cahier des charges (représentant les besoins de conception) immuable dès les phases amont de la conception n'est pas possible. Donc, un corollaire immédiat est formulé : **le cahier des charges est inévitablement évolutif** dans un processus de conception innovante. Nous verrons que cette évolution se manifeste dans au moins deux dimensions que nous avons appelées horizontale et verticale (ou transversale et longitudinale, respectivement) pour rendre compte des différences entre, d'une part, une évolution liée à la définition de plus en plus détaillée et précise des spécifications du produit en conception (évolution « normale »), et d'autre part, une évolution liée aux changements de concepts associés aux choix visant une définition d'ordre stratégique, mais représentant des niveaux de détail comparables (revoir ou refaire le cahier des charges).

Dans ce sens, dans un processus de conception innovante, nous proposerons une problématique de recherche formulée ainsi : **Peut-on exploiter le CDC comme source d'innovation?** Puis, comme sous problématique en cas de réponse affirmative à cette question : **Comment innover par l'exploitation d'un CDCEv?**

C- Apports de la thèse

Nous avons réalisé une modélisation de la conception de produits vue comme un enchaînement de changements du produit à plusieurs niveaux, en plusieurs espaces de représentation et à plusieurs échelles temporelles.

Cela nous permet de décrire la conception comme un processus dynamique d'interactions entre le produit et son contexte de conception qui évoluent tous les deux de manière concomitante. Nous faisons l'analogie de ce système évolutif avec ceux décrits par les biologistes pour les systèmes vivants dans le but de recenser des « mécanismes » qui peuvent représenter les phénomènes visibles pendant le processus pour mieux les comprendre et les exploiter. Le tableau suivant synthétise une partie des résultats de cet exercice (Tableau 1)

Concepts issus de la biologie évolutionnaire	Interprétation en conception de produits
Evolution par l'usage (et non usage) des organes (Lamarck). Effet Baldwin.	Nouvelles formes du produit par rapport à l'usage réel. Détournement de fonctions
Ontogenèse et phylogenèse rapprochées (embryologie)	Utilisation des outils rétrospectifs et prospectifs pour la conception
Mutationnisme, saltationisme,	Innovations, de rupture ou incrémentales
Neutralisme	Diversité sans innovation
Génétique des populations (Dobzhansky)	Univers d'influence produit et dynamique de son évolution
Sélection naturelle (Darwin)	Choix de concepts ; utilisateurs et leurs choix
Autres	

Tableau 1. Analogie entre concepts issus des théories d'évolution en biologie et la conception de produits.

Ainsi, nous proposons une grille de lecture pour l'analyse des processus de conception innovante qui permettraient une re-structuration « évolutionniste »⁸ de plusieurs méthodes et outils de la conception de produits.

Une analogie majeure entre ces deux domaines des connaissances nous donne une ligne directrice générale pour cet exercice. A savoir : en biologie, les développements embryonnaires (ontogénie) des animaux ont été comparés à la phylogénie des espèces, en retrouvant dans les étapes vécues par un être en gestation les parcours de l'évolution entre les espèces (« nous sommes tous des poissons à un moment de notre développement embryonnaire »). La discussion sur la validité de cette théorie dans son domaine d'origine ne nous intéresse pas, mais son adaptation dans le domaine des produits industriels. Ainsi, nous assimilons les évolutions des produits en termes phylogénétiques (troisième niveau dans

⁸ Nous employons ce terme dans le sens « inspiré des théories sur l'évolution des espèces », sans en vérifier la validité dans leur contexte d'origine mais non plus en lui donnant une connotation dogmatique. Seul les concepts et notions de base ont été adoptés.

l'échelle décrite plus haut) aux évolutions vécues par le produit en cours de conception (premier et deuxième niveau).

Du point de vue des apports prescriptibles de ce travail, nous les résumons avec l'adoption d'une démarche volontariste de faire évoluer le produit en conception au moyen de changements intentionnels du cahier des charges au cours du processus, c'est à dire, privilégier l'évolution dite transversale du cahier des charges.

Comme résultat, nous proposons un outil structurant le processus de conception innovante appelé : **Cahier des Charges Evolutif Augmenté, le CDCEVA**

D- Structure du document

Le document est organisé en chapitres. La première partie (chapitres 1, 2 et 3) concerne la description du contexte de recherche et la problématique scientifique. L'objet de recherche est décrit, un positionnement scientifique est adopté et une problématique est formulée. Nous focalisons notre intérêt sur les processus d'innovation en conception de produits. Partant de la nécessité d'avoir une visibilité de l'avenir du contexte où évolue l'activité de l'entreprise (marchés, nouvelles technologies,...) pour pouvoir anticiper et imaginer comment être acteur dans le futur et rester compétitif, nous passons par les préoccupations à une échelle plus « tactique » où l'intérêt serait plutôt d'anticiper les évolutions au sein du processus de conception une fois entamé. Nous verrons que ces deux préoccupations se joignent pendant le processus de conception à partir du moment où l'évolution du processus de conception oblige à revoir le positionnement de l'entreprise de manière plus globale et vice-versa.

Dans une deuxième partie (chapitres 4, 5 et 6) nous énonçons des hypothèses de recherche ainsi que des résultats attendus. Nous dessinons des modèles et décrivons des expérimentations industrielles (deux cas réels de projets de conception de produits en PME) visant la validation et améliorations des hypothèses avancées. Après une analyse des résultats des expérimentations, nous proposons des améliorations, listons une série de conclusions puis construisons des perspectives notamment quant à l'avenir préconisé pour ces recherches et les modèles que nous avons pu élaborer.

Chapitre 1 : Objet de la recherche

Dans cette section nous aborderons le domaine des processus d'innovation en Génie Industriel et plus particulièrement les processus de conception de produits nouveaux. Nous délimiterons notre champ d'investigation à des aspects méthodologiques liés notamment aux petites structures industrielles telles que les PME. Cela constitue notre objet général de recherche. Nous insisterons sur certaines caractéristiques des processus de conception innovante et leur rapport avec les entreprises industrielles qui veulent adopter une démarche d'innovation. Ainsi, nous introduisons les notions d'opportunité, d'anticipation, de prospection, d'évolution et dynamique au sein d'un processus de conception de produits. Puis nous analysons le constat de l'imprévisibilité, le tout autour du caractère complexe d'un processus d'innovation et les incertitudes que ce dernier peut impliquer. Pour cela nous nous appuyons sur une modélisation systémique du processus de conception insistant sur la dimension évolutive (ou génétique) de ce système complexe. Enfin, nous concluons par une question : **comment gérer les opportunités créées par le même processus de conception.**

1.1 Cadre du travail de recherche

Cette thèse s'est déroulée au sein du Laboratoire de Conception de Produits et Innovation (LCPI) à l'Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers (ENSAM) de Paris⁹ entre début 2000 et fin 2003, avec un financement provenant de la fondation « Fundación Gran Mariscal de Ayacucho » du Venezuela. Les travaux d'expérimentation ont été menés en partenariat avec la société ECOTRI et avec la société Piot et Tirouflet (toutes les deux des entreprises françaises) dans le cadre de l'activité de transfert et valorisation de la recherche (TVR) du laboratoire d'accueil.

⁹ L'ENSAM est un Grand Etablissement composé de huit centres : Aix-en-Provence, Angers, Bordeaux, Châlons-en-Champagne, Cluny, Lille, Metz et Paris.

1.1.1 Origines

Il nous semble important de « relater » la suite et le concours de certains évènements qui nous ont de manière évidente ou directe, encouragés à mener ce travail. Il nous paraît aussi nécessaire de décrire le cadre scientifique, physique et humain dans lequel ces travaux ont été réalisés pour faciliter la compréhension de leur déroulement et de l'orientation donnée.

Après un baccalauréat en sciences, l'auteur de ce travail a été formé en génie mécanique à l'Université Simon Bolivar de Caracas, au Venezuela. Quant au deuxième cycle, cette université est plutôt une « université technologique ». Les différents cursus d'ingénierie répondent à cinq ans de formation. Certes, le corps central du cursus est orienté sur la technique¹⁰, et dans ce sens, l'accent est mis sur l'analyse de systèmes physiques (en l'occurrence mécaniques) en s'appuyant sur des modèles mathématiques pour : Prédire des comportements ; Faire de la simulation ; Dimensionner ; Optimiser... Tout cela, sur des systèmes théoriques, sur des systèmes existants ou bien sur des systèmes en conception.

A la fin du cursus, nous nous trouvons donc avec un ensemble de connaissances et de compétences très important et de nature plutôt technique et analytique. Or, quand nous avons voulu aborder des problèmes de conception (mécanique ou non) dès la formulation des besoins, nous avons perçu que malgré une « boîte à outils très conséquente », nous nous trouvions « limités » en outils adaptés à l'heure de proposer des solutions à des problèmes « nouveaux » ou à l'heure de « créer des problèmes nouveaux ». Cela, surtout pendant les phases amont de la conception. Bernard Yannou le souligne : « A ce stade de la conception,...les outils de simulation et de dimensionnement de nos ingénieurs sont presque toujours inopérants puisque la phase de conception détaillée n'a pas encore eu lieu et **que la science analytique...ne sait souvent prédire qu'à partir de modèles suffisamment définis et quantifiés** » [YANNOU 2000].

Par ailleurs, notre expérience en milieu industriel et en tant qu'enseignant chercheur au sein du Département de Mécanique de la même Université, n'a fait que corroborer cette

¹⁰ Le programme comportant aussi des notions complémentaires (et/ou transversales) pour la formation de l'ingénieur, à savoir des cours en gestion d'entreprise, économie, options spécialisées par domaine,...

appréciation, notamment auprès des élèves ingénieurs et dans le cadre de la coordination de projets de fin d'études.

Parallèlement, un cadre général de coopération scientifique entre l'ENSAM et l'Université Simon Bolivar se mettait en place. Des échanges entre des différents laboratoires et professeurs commençaient à avoir lieu.

Cet ensemble de faits nous a incité à poursuivre une thèse doctorale dans le domaine de la conception de produits nouveaux, cette fois dans le domaine général du Génie Industriel.

D'après l'Institut Américain d'Ingénieurs Industriels (American Institute of Industrial Engineers), cité à l'ENSGSI de Nancy, le génie industriel « traite de la conception, de l'amélioration et de la mise en place des systèmes intégrés de ressources humaines, de matériaux, d'équipements et d'énergie. Il utilise les connaissances et savoir-faire en mathématiques, physique, sciences sociales, ainsi que les principes et méthodes d'analyse et de conception relevant de l'art de l'ingénieur, ceci dans le but de prévoir et d'évaluer les résultats que l'on peut espérer de tels systèmes. »

La conception de produits s'avère un objet de recherche « obligé » dans ce vaste domaine de la connaissance. Orienter notre champ d'action à ce domaine nous semble donc pertinent pour chercher des réponses à la problématique générale exprimée dans la section précédente.

Des connaissances issues du domaine du génie industriel devraient nous permettre d'aborder convenablement notre objet central de recherche, tant du point de vue technique, que méthodologique (démarches scientifiques, notions fondamentales,...)

1.1.2 LCPI de l'ENSAM : Laboratoire d'accueil

Comme mentionné plus haut, une collaboration entre l'Université Simon Bolivar et l'ENSAM commençait à se concrétiser, et dans ce contexte nous avons rencontré l'équipe du Laboratoire de Conception de Produits et Innovation. Ses thématiques de recherche, les démarches scientifiques adoptées et le contenu du DEA CPN¹¹ coordonné par ce laboratoire nous semblaient bien appropriés pour enrichir et élargir nos activités d'enseignement et de

¹¹ Diplôme d'Etudes Approfondies en Conception de Produits Nouveaux, aujourd'hui transformé en Master de Recherche d'après la réforme LMD.

recherche, ainsi que nos compétences en milieu industriel dans le sens que nous avons identifié auparavant.

Aujourd'hui, le laboratoire structure sa recherche autour de trois axes fédérés par une thématique générale et transversale qui s'intitule « optimisation des processus de conception et d'innovation ».

« L'objectif est de développer de la connaissance par la construction et l'optimisation de modèles théoriques des processus liés à l'activité de conception et d'innovation (ingénierie de projets, intégration des métiers et représentation intermédiaire du produit). L'évaluation de ces modèles dans un contexte opérationnel, nous permet d'identifier et de valider des paramètres d'optimisation, des méthodes et des outils. L'intégration de ces connaissances contribue à une dynamique d'avancée scientifique et de progrès industriels par la construction de modèles génériques. »¹²

Le thème fédérateur de la recherche se développe selon ces trois axes :

- Ingénierie de projets,
- Modélisation et intégration des métiers,
- Modes de représentations intermédiaires du produit.

De part sa stratégie scientifique, la démarche privilégiée reste la recherche-action, jugée comme un moyen très efficace pour la construction de modèles (sous forme de méthodes, outils,...) applicables et opérationnels en milieu industriel.

Cette thèse s'est déroulée au sein du site de Paris de ce laboratoire de l'ENSAM.

1.2 L'objet d'étude : les processus d'innovation produit

Objectif d'une recherche portant sur le processus d'innovation :

Le contexte économique qui règne dans l'industrie et les marchés nationaux et mondiaux impose aux entreprises la nécessité d'innover pour rester compétitif. Ce besoin n'est plus à

¹² Issu du site Internet du laboratoire : <http://cpn-web.paris.ensam.fr/presentation.php>

démontrer. Or, nous nous intéressons à l'innovation qui passe par le produit, et dans ses différentes versions (design, procédé, technologie, usage,...).

Donc il est pertinent de rationaliser l'innovation en tant que processus pour la comprendre, la maîtriser,... dans le but de pouvoir l'optimiser, la reproduire et pérenniser ce processus au sein de l'entreprise.

Dans l'innovation produit, l'ancienne structuration qui se tenait à l'activité de R&D (dans une logique en général technology-push) a donné la place à un processus d'innovation passant plutôt par l'activité de conception (le processus de conception innovante PCI). [PERRIN 2001] **Donc l'enjeu devient la rationalisation de ce PCI.**

1.2.1 Définitions

Innovation, première définition: nouveauté, changement, création. Découverte, invention. C'est la réalisation technique nouvelle qui s'impose sur un marché. [Dictionnaire ROBERT, 1985].

Or, l'invention "caractérise l'activité humaine d'imagination, de création et de confection d'objets nouveaux. L'invention consiste à créer ce qui n'existait pas." [DURAND dans LE DUFF, 1999]. "Elle est liée à une avancée de la connaissance et sa concrétisation en termes scientifiques et techniques" [GIGET, 1998]. Pourtant, inventer ne garantit pas l'innovation. En effet, l'innovation c'est l'achèvement de la nouveauté. Elle est assimilée au changement réalisé, à l'introduction de l'invention dans la pratique sociale. Innover relève d'une mise en oeuvre concrète d'une idée nouvelle. Franchir un pas considérable pour aller de l'idée à sa réalisation. Ce pas est précisément ce qui recouvre le concept d'innovation. [LE DUFF, 1999] [GIGET, 1998]

Dans ces définitions, on peut repérer deux notions importantes, celle de nouveauté, changement et différenciation par rapport au passé, et celle de processus d'aboutissement, concrétisation en des résultats exploitables.

1. **Innovation** *idée nouvelle, techniquement et socialement possible*
2. **Innovation** *idée qui crée suffisamment de valeur pour permettre l'appropriation par le client*

Figure 6. Deux définitions de l'innovation comme substantif. (TRUCHOT et Al. 1997)

TRUCHOT et Al. identifiaient déjà bien deux processus innovants : un, associé aux innovations techniques puis un autre lié aux innovations produit, conduisant à des avantages concurrentiels différents : **l'innovation technologique** visant à permettre à l'entreprise d'acquérir un avantage concurrentiel permanent et exclusif ; et **l'innovation produit** visant à donner un avantage concurrentiel temporaire. [TRUCHOT et Al. 1997]

Nous remarquons dans ces deux définitions la notion importante de « mise en relation » avec le contexte réel d'exploitation d'une invention. Or, ces définitions se situent dans la description de l'innovation du point de vue résultat et non procédural, d'après la différence formulée par Herbert SIMON [SIMON 1991].

Nous allons centrer notre recherche sur les processus d'innovation qui aboutissent à une innovation produit. Cependant, du moment où nous privilégions l'objet de recherche à l'aspect procédural, les innovations technologiques ne seront pas donc écartées de cette étude.

1.2.2 Intensité d'innovation

Th. DURAND, dans [LE DUFF, 1999] décrit le concept d'intensité de l'innovation. Des innovations incrémentales et des innovations radicales. Puis, au milieu se trouve tout un nuancier d'intensités.

Les innovations dites incrémentales consistent en changements assez réduits, qui résultent en un phénomène quasi continu d'évolution, parfois inaperçu sans prendre recul et sans faire une analyse détaillée. Par contre, les innovations dites radicales représentent des ruptures, des sauts très importants qui tendent à substituer complètement l'existant. En effet, DURAND réfère à [TUSHMAN et ANDERSON, 1986] pour décrire une autre manière d'établir ce degré d'intensité des innovations: d'un côté le nouveau qui doit détruire l'ancien pour émerger

(destruction créatrice de Schumpeter, 1961), et de l'autre côté, le nouveau qui affermit l'existant (consolidation plus que la remise en cause). Entre ces deux extrêmes, des innovations intermédiaires qui jouent un rôle dual (substitution destructive et/ou améliorations de consolidation).

D'autre part, ROBERSTON référé par J. JALLAIS, en [LE DUFF, 1999], propose un classement des innovations basé sur l'impact de l'innovation sur les comportements sociaux: d'abord, l'innovation continue ou incrémentale (impact comportemental fort) avec des modifications pour l'amélioration permanente d'un produit (ou un process, ou une organisation) existant, entraînant l'obsolescence des anciens et leur substitution; puis l'innovation continue de façon dynamique (création de nouveaux produits ou modification des existants sans changements importants de comportement); et enfin l'innovation discontinue ou de rupture (introduction d'un produit "totalement" nouveau qui génère un changement profond des consommateurs). MERLANT appuie cette idée de classement selon l'impact occasionné par l'innovation, mais il ajoute la composante technologique dans la description. Ainsi, les innovations de rupture modifient profondément les conditions d'utilisation par les clients et s'accompagnent d'un bouleversement technologique. Les incrémentales, elles ne renversent pas les conditions d'usage, mais y apportent une amélioration sensible (avance technologique). [MERLANT, 1993]

La grandeur des changements, qui donne ensuite un degré de différenciation, nous amène à réfléchir sur les processus d'évolution qui ont lieu. Ce point sera traité ultérieurement.

1.2.3 Un résultat, un processus

Nous voulons préciser certains aspects qui découlent des définitions données au terme innovation, notamment sur la notion d'innovation d'une part vue comme le résultat (aspect substantif) et d'autre part vue comme un processus (aspect procédural). Hebert SIMON [SIMON 1991] définit bien ces deux notions. Nous allons privilégier l'aspect procédural car il nous permettra d'intégrer et mieux décrire la nature dynamique, évolutive et complexe de l'innovation. L'innovation vue comme résultat sera inévitablement présente.

Dans les définitions citées plus haut, et dans les différents classements réalisés par nombreux auteurs (notamment quand on parle de typologies et intensités), seul le sens substantif est pris

en compte. Par contre, quand on vise la rationalisation du processus y menant dans le but d'une répétitivité et pérennité au sein des organisations industrielles, on est obligé à le traiter du point de vue procédural. Ici, les définitions données servent à préciser notre champ de recherche et amorcent la discussion.

1.2.4 Deux langages pour le processus d'innovation

Une des difficultés qui existe encore pour cerner le phénomène de l'innovation (processus et résultats) dérive du fait que c'est un sujet qui a été traité de manière simultanée et différente par la communauté scientifique et les secteurs industriels, avec « des points de départ » et des « logiques » et objectifs spécifiques très dissimilaires. En d'autres termes, ce qui dans d'autres domaines relève de la vulgarisation ou la « banalisation », en matière d'innovation les entreprises « ont tout à fait le droit » d'y travailler en créant des modèles « concurrents » à ceux issus du milieu académique.

Ces différences s'expriment notamment lors de la conception et le choix des modèles formels, ainsi que dans le vocabulaire (au-delà de la technicité et de l'exactitude des termes), ce qui crée confusion et parfois inapplicabilité des résultats issus des réflexions. Le problème de base étant le fait que ce sujet de recherche est traité « naturellement » et en profondeur par ces deux communautés, chacune avec ces propres objectifs et préoccupations. Elles sont toutes les deux « expertes » dans la matière.

Par ailleurs, dans un premier temps, les chercheurs ont plutôt eu une approche d'ordre descriptif (comprendre). En revanche, les réflexions d'origine industrielle ont eu, bien évidemment, des objectifs liés à la prescription. A cela, et par l'influence du contexte, le dialogue et mise en contraste entre formalisation dite théorique et résultats réels sur le terrain se font naturellement en entreprise. Par contre, cette vérification côté chercheurs a été plus décalée dans le temps. Cependant, aujourd'hui et depuis quelques décennies, l'adoption d'une approche scientifique plutôt de type recherche-action a permis à la communauté scientifique d'améliorer et affiner les modèles d'explication du phénomène en s'avérant « plus pertinents » et utilisables par les industriels (en faisant « des traductions » le cas échéant).

De la même façon, le besoin d'innover est vu par les entreprises différemment aux « porteurs » de nouvelles méthodes aidant le processus d'innovation. Le problème est que si au début, les efforts de modélisation de la part des chercheurs étaient axés sur la description de ce qui se passait, et davantage chez « ceux qui le faisaient bien », dans une deuxième étape, les modèles visaient la préconisation de « bonnes pratiques », ce qui avait le risque supplémentaire de ne pas être « adoptable » par les porteurs de projets d'innovation dans les entreprises (le terrain).

Une des possibles conséquences de ce rapprochement par deux « visions » relativement distinctes au sujet du phénomène de l'innovation, c'est la forme d'exploitation des modèles générés. On parle du célèbre dilemme entre concevoir des modèles les plus généraux possibles pour englober tous les cas de figure (mais souvent difficiles à mettre en pratique, abstraits, « légers »,...) ou des modèles trop spécifiques à un contexte particulier et exhaustifs dans les détails (mais trop restrictifs, lourds à compléter et difficiles à transposer pour d'autres situations...). Nonobstant, aujourd'hui les efforts de modélisation se rapprochent de plus en plus et les résultats issus des recherches scientifiques incluent de plus en plus les spécificités industrielles.

1.2.5 Pourquoi s'intéresser au processus de conception

Avant l'innovation, le processus de conception :

L'innovation (comme un processus ou comme un résultat), ne peut être présente que dès qu'il se met en place un processus de conception, soit-il conscient ou non, structuré ou non.
[SIMON 1991][PERRIN 2001]

On dresse rapidement l'intérêt de travailler avec cet objet de recherche de l'innovation plus particulièrement le processus de conception de produits nouveaux. Par exemple, les impacts sur le coût de l'activité de conception. Voir figure 7 [BROWN et Al, 2004].

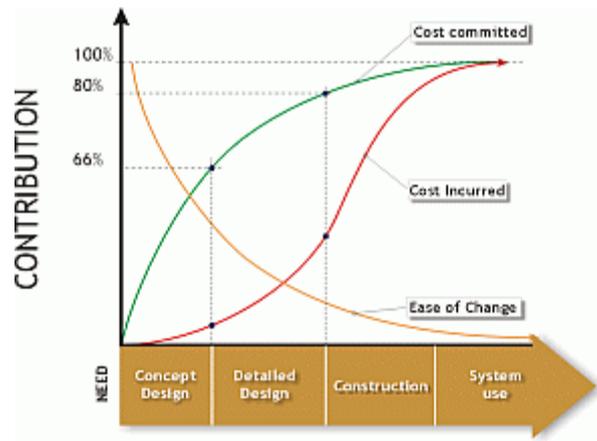


Figure 7. Impacts sur le coût de l'activité de conception. [Brown et Al, 2004]

1.2.6 D'abord les PME puis les Grands Groupes (GG)

Les petites structures (type PME), le cadre industriel privilégié :

Notre champ de recherche prétend englober tout type d'entreprise industrielle. Cela dit, nous tendrons vers les petites structures pour deux raisons principales : dans ce type d'entreprise, les spécificités du processus de conception innovante signalées plus haut et faisant l'objet de notre étude sont particulièrement critiques; et deuxièmement, le poids représenté par les entreprises à faible nombre de salariés dans l'économie des pays reste déterminant. A titre d'exemple, l'influence des PME en termes de source d'emploi est remarquable pour l'ensemble de l'Europe, comme le montre le tableau suivant, extrait du site jinnove.com (portail web sur l'innovation pour la région Nord-Pas de Calais).

		PME	Grandes entreprises	Total
Nombre d'entreprises	(1 000)	20 415	40	20 455
Emploi	(1 000)	80 790	40 960	121 750
Nombre de personnes employées par entreprise		4	1 020	6
Chiffre d'affaires par entreprise	Millions	0,6	255,0	1,1
Part des exportations dans le chiffre d'affaires	%	13	21	17
Valeur ajoutée par personne employée	1 000	65	115	80
Part des coûts salariaux dans la valeur ajoutée	%	63	49	56

Source : Estimé par EIM Business & Policy Research ; estimations fondées sur la base de données d'Eurostat sur les PME. Egalement basée sur l'Economie Européenne, Supplément A, juin 2001 et OCDE : Perspectives économiques, No. 69, juin 2001.

Figure 8. Chiffres clés des PME et des grandes entreprises dans l'Europe-19, 2000 (extrait du site jinnove.com)

Au-delà de ce positionnement ou restriction par rapport au champ d'investigation, nous avançons l'hypothèse que **tout ce qu'on peut envisager pour ce type de contexte pourra être plus facilement transférable à des structures grandes et plus organisées que réciproquement**. Vérifier cette hypothèse ne fait pas partie des objectifs de cette recherche mais nous pensons que par rapport aux contraintes mises en exergue (incertitude, risques, manque de clarté, etc.), les étudier chez les grands groupes représenterait une levée de ces obstacles. En effet, les contraintes dans les grands groupes relèveraient plutôt des difficultés liées à la taille bien évidemment (flux d'information, capitalisation des expériences, etc.) mais aussi à l'organisation (manque de flexibilité, de réactivité, ...). Nous pensons que les efforts de transfert vers les GG résideraient notamment dans les moyens de déploiement (les ressources matérielles, la logistique et l'organisation) et faire adhérer une multitude d'acteurs ayant des objectifs et intérêts en apparence différents.

Par ailleurs, dans la plupart des PME n'utilisent pas les méthodes et outils préconisés pour la conception de produits nouveaux. Parmi les raisons, on trouve la difficulté à les comprendre (manque de ressources humaines formées ou disponibles pour assurer leur application) ; Le manque de ressources financières ou technologiques pour implémenter les outils en termes de matériel (équipement, informatique, ...); et l'inadéquation des méthodes à leurs préoccupations quotidiennes actuelles (par exemple, beaucoup d'entreprises n'adoptent pas ces méthodes et outils car la conception de produits reste anecdotique dans leur activité). Ainsi, l'encouragement à les intégrer s'avère plus difficile, même sous la forme de sous-traitance. [THOUVENIN 2002] [VADCARD 1996] [MERCIER 1998]

1.2.6.1 L'impact du processus de conception sur l'entreprise

L'influence du processus de conception sur l'activité même de l'entreprise (sur l'organisation, les stratégies, etc.) par rapport à la taille de la structure agit sous diverses formes. Un aspect important est l'effort que l'on doit fournir pour diffuser les changements qu'ils soient prévus ou non. Ainsi, pour un grand groupe, le flux des informations et l'existence d'une formalisation et documentations nécessaires, implique que pour toute influence souhaitée dès la mise en place d'un processus de conception, une démarche volontariste de conduite du changement doit être bien « affichée » et doit être assurée par une implication très présente des décideurs (hautes hiérarchies). Par contre, chez les petites entreprises, cette influence existe même si aucun effort de propagation n'a été volontairement induit. L'accès à toutes les

dimensions organisationnelles et techniques s'avère plus probable et rapide dans ce type de structure. La dynamique de diffusion s'établit plus facilement.

1.2.6.2 Capacité d'action des PME

Gueguen utilise le terme « intensité de l'environnement » pour définir la perception du contexte de la part de l'entreprise. L'auteur utilise quatre dimensions pour mesurer cette intensité : la complexité, l'incertitude, le dynamisme et la turbulence. En plus il définit quatre types de comportements stratégiques : de positionnement, entrepreneurial, de souplesse organisationnelle, de pérennisation collective. [GUEGUEN 2001]

Gueguen montre que l'orientation de type comportement stratégique de positionnement est la plus usuelle chez les PME quel que soit le secteur d'activité. Cependant, la perception de dynamisme entraînerait la sélection d'un comportement entrepreneurial.

Par ailleurs, l'auteur conclut que la marge de manœuvre qui pourrait se présenter pour les PME en termes de choix stratégique est possible jusqu'à un certain niveau « d'intensité de l'environnement ». Au-delà de ce stade, une logique déterministe prime à cause d'une influence trop importante de l'environnement.

Nous adhérons donc à cette approche où les structures de taille réduite (type PME) peuvent « développer des stratégies en marge des contraintes du contexte ». A ce titre, pour arriver à des niveaux de performance conformes, Gueguen propose d'axer les stratégies des PME vers le développement des ressources (et compétences) propres de l'entreprise : « Le plus important n'est pas de s'aligner sur l'environnement mais de développer les capacités de l'entreprise ». [GUEGUEN 2001]

Nous nous appuyons sur ces travaux pour insister sur l'intention d'orienter nos réflexions vers une démarche volontariste, même si ce sont les PME le contexte industriel qui nous intéresse davantage. D'habitude les PME sont prises comme trop influencées (de par leur petite taille) par le contexte externe lors des choix de nature stratégique. En tout cas, les comportements à adopter seraient bien « modulés » par la taille de l'environnement d'influence (dans le deux sens) considérée dans la prise de décisions.

1.3 Le processus de conception de produits

1.3.1 Projet-produit, produit-projet

On ne pourra jamais parler de projet¹³ sans produit. Peut-on parler de produit sans projet ? (toujours dans un processus de conception de produit¹⁴). Pour la première affirmation, il est impossible de définir et décrire un projet (son déroulement, ses objectifs, les acteurs impliqués, les délais, les ressources, etc.) sans l'appui de sa raison d'être, la conception du produit.

L'AFITEP-AFNOR (X 50-105)¹⁵ définit un projet comme « une démarche spécifique qui permet de structurer méthodiquement et progressivement une réalité à venir...; un projet est défini et mis en oeuvre pour répondre au besoin d'un client (...) et implique un objectif et des besoins à entreprendre avec des ressources données ». [Dictionnaire de management de projet – AFITEP/AFNOR, 2000] [PETITDEMANGE 1997]

Par rapport à la question, du moment où on parle de processus de conception et on est capable d'identifier un produit, même si ce n'est que des représentations intermédiaires, on est en face d'un projet (ou d'un ensemble de « petits » projets). Donc, nous pouvons affirmer aussi qu'on ne peut aujourd'hui pas parler de produit sans projet.

1.3.2 Les typologies de conception de produits

Dans la bibliographie, plusieurs classements ont été proposés pour les différents types de conception de produits. Par rapport aux problèmes rencontrés, BLANCO reprend le classement de Chandrasekaran et propose quatre types : Problèmes de sélection ; conception de configurations ; conception paramétrique ; et conception originale. Ullman propose aussi des typologies en regardant les sources de connaissances utilisées (connues, inconnues) et la stratégie de résolution de problèmes de conception. On voit bien que toutes ces typologies

¹³ Selon David Chassan, dirigeant de Manager Action, « la notion de projet, recouvre une action ou un événement dans une certaine mesure unique ou isolé. Il ne s'agit pas d'une tâche de routine répétée d'un jour ou d'une semaine à l'autre, mais plutôt d'une activité aux objectifs spécifiques et aux résultats bien définis.»

¹⁴ Ici, nous précisons qu'une chose c'est le projet de conception et une autre, le processus de conception. Il peut y avoir processus sans projet mais pas projet sans processus, évidemment.

¹⁵ AFITEP : Association Francophone de Management de Projet. AFNOR : Agence Française de Normalisation.

s'appuient sur la logique ou définition de la conception (et le processus), comme une activité de résolution de problèmes. [BLANCO 1998]

Dans le but de comprendre l'impact que peut avoir une typologie de conception sur la manière de traiter les espaces du produit et les objets et représentations intermédiaires qui y associés, nous proposons de regarder un classement basé sur l'utilisation des différents espaces produit (fonctionnel, physique,...), et tracer l'importance et le flux d'informations, mais aussi de l'ordre de traitement. **Ainsi, et surtout au démarrage du processus, une conception routinière part d'un cahier des charges fonctionnel très avancé, où la plupart des fonctions sont connues et formalisées d'avance ; une conception innovante (gardant le classement de Brown), part d'un cahier des charges fonctionnel bien explicité (mais qui pourrait évoluer) et d'un Cahier des charges conceptuel (les concepts de solutions) inconnu.**

1.3.3 Modèles du produit et du processus de conception

L'objectif de cette section est de revoir plusieurs modélisations utilisées soit pour décrire le processus de conception de produits soit pour prescrire des démarches ou méthodes (algorithmiques ou non) pour fiabiliser la conception et le développement de produits industriels. L'idée est d'utiliser ces modèles pour recenser d'une part des phases (s'il y en a) du processus et d'autre part, identifier les espaces produit qui rentrent en jeu. On trouvera des parallélismes, équivalences et différences importantes qui nous permettront un positionnement plus aisé par rapport à nos intérêts de recherche. Enfin, nous nous appuierons sur ces modèles pour construire un référentiel de base pour notre formulation ultérieure.

Du point de vue des définitions, on trouve dans la littérature plusieurs propositions pour la conception de produits, mais des précisions doivent être faites pour bien mettre en évidence qu'on ne parle pas de la même chose quand on fait référence d'une part à la conception et d'autre part au processus de conception. Cette discussion nous semble importante. La conception est souvent vue par exemple comme une activité, presque un métier, le concepteur. De ce fait, l'accent est mis sur les mécanismes cognitifs que les acteurs mettent en place, ou sur l'utilisation d'outils et méthodes spécifiques, incorporés dans une démarche (formalisée ou non) avec des objectifs plus ou moins définis. Par ailleurs, le processus de

conception est vu comme un système plus général, qui montre une évolution dans le temps et l'espace de différentes représentations du produit. Par exemple, JANTET, cité par Prudhomme, définit la conception ainsi :

« Classiquement, concevoir un produit c'est passer de l'expression d'un besoin à la définition des caractéristiques d'un produit permettant de le satisfaire et à la détermination de ses modalités de fabrication à un coût acceptable. Le futur produit passe ainsi par toute une série d'états, qui le construisent peu à peu et renvoient chacun à une dimension spécifique de sa définition : fonctionnelle, structurelle, technologique, géométrique, de fabrication... Ces états sont objectivés dans des objets intermédiaires appropriés à chacun d'entre eux. » [JEANTET 1998]

Cette définition montre clairement l'inscription de l'activité de conception dans un contexte économique et industriel et met l'accent sur le processus, au-delà des outils, des acteurs, etc. La plupart des définitions trouvées dans la littérature se rejoignent sur le passage d'un espace abstrait (fonctionnel) à un autre concret en termes de solutions physiques. Une fois faites ces précisions, nous garderons à l'esprit que **la conception en tant qu'activité est partie constituante du processus de conception en même temps qu'elle dévient le résultat visible dudit processus.**

Par ailleurs, il a été constaté que les concepteurs développent leur propre stratégie de conception, qui pour certains cas s'avère plus adaptée et pertinente par rapport aux logiques de fonctionnement et bien sûr aux ressources disponibles (financières, humaines,...) que les processus préconisés dans certains modèles décrits comme « idéaux ». [BEGUIN et DARSESES 1998]

Pour définir le processus de conception nous allons nous appuyer sur un recueil réalisé par Hubka et Eder [HUBKA 2001] autour de la définition de l'ingénierie de la conception en tant que discipline.

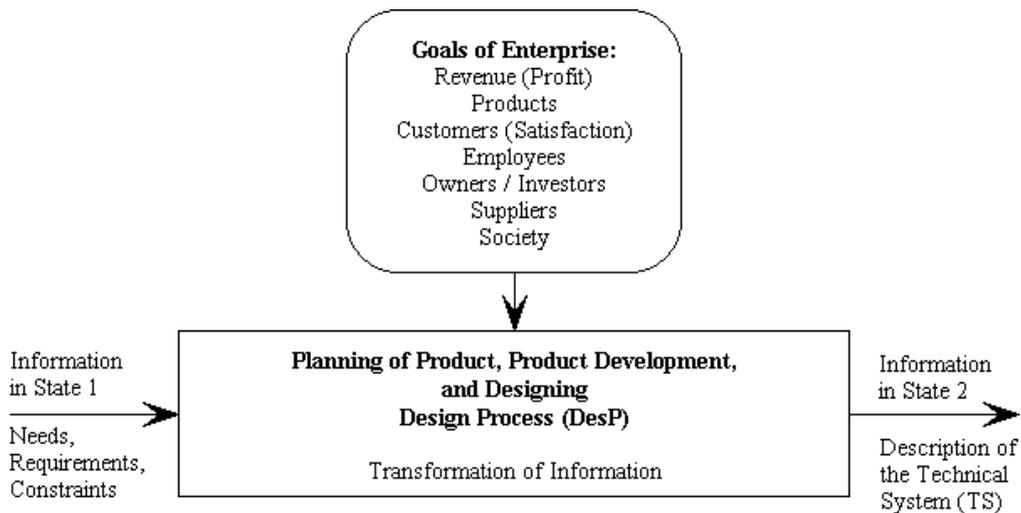


Figure 9. Définition du processus de conception d'après HUBKA 2001

Taylor en 1959 : L'ingénierie de la conception est le processus d'application de techniques et principes scientifiques pour définir un dispositif, un *process* ou un système avec un niveau suffisant de détail pour permettre leur réalisation physique.

Asimow en 1962 : L'ingénierie de conception est une activité utile orientée vers la satisfactions de besoins humains, en particulier ceux qui peuvent être associés aux aspects technologiques de notre culture... Elle est aussi menée par la prise de décisions face à l'incertitude, avec une pénalité élevée en cas d'erreur (la prise de risques d'après notre interprétation).

Feilden en 1963 : L'ingénierie de la conception mécanique est l'utilisation des principes scientifiques, de l'information technique et de l'imagination dans la définition d'une structure, d'une machine ou d'un système mécanique, pour assurer les fonctions pré-établies avec un maximum d'économie et d'efficacité. La responsabilité du concepteur couvre le processus entier de la conception à la question des instructions détaillées pour la production et son intérêt reste présent durant toute la vie imaginée du produit en service.

Alexander (1963): La conception consiste à trouver les composants adéquats pour une structure physique.

Kesselring (1964): Concevoir c'est trouver une solution qui soit techniquement parfait, économiquement favorable et esthétiquement satisfaisant, pour une tâche donnée.

Booker (1964): Il faut simuler ce qu'on veut faire ou fabriquer avant qu'on le fasse ou on le fabrique, le nombre de fois nécessaires pour qu'on soit persuadé du résultat final.

Archer (1964): Une activité dont l'objectif est dirigé par la résolution de problèmes.

Reswick (1965): Une activité créative qui implique faire apparaître quelque chose de nouveau et utile qui n'existait pas auparavant.

Jones (1966): L'exécution d'un très compliqué acte de foi.

Page (1966): A partir de faits au présent, un saut imaginatif vers des possibilités futures.

Farr (1966): Le facteur conditionnant pour toutes les parties du produit qui rentrent en contact avec les gens.

Gregory (1966): Mettre en relation le produit avec une situation pour donner satisfaction.

Matchett (1966): La solution optimale pour la somme des besoins réels pour un ensemble de circonstances donné.

Nadler (1967): Planifier et concevoir c'est un processus pour créer ou restructurer une solution pour une situation spécifique. Le résultat peut être une maison, une loi, un système d'information, une stratégie corporative, un transfert de technologie approprié, un plan d'urbanisme, la conception d'un produit, etc.

VDI 2223 (1973): Concevoir est avant tout une activité créative fondée sur les connaissances et l'expérience, qui cherche les solutions optimales en imaginant des produits techniques dans le but de déterminer la construction fonctionnelle et architecturale, et crée les documents pour les fabriquer. A part le développement, la conception implique des rendus intellectuels et de représentation du produit, le choix

de matériaux et des procédés de fabrication. Elle permet une réalisation matérielle économiquement et techniquement raisonnée. La conception est exécutée en deux étapes bien identifiées mais pas forcément séparées, la définition générale et la conception détaillée.

Jones (1980): ...Le processus de conception c'est une suite d'événements qui commence par une demande de la part du porteur de projet et qui évolue avec l'action des concepteurs, designers, fabricants, distributeurs et consommateurs, vers l'effet final d'un nouveau produit à travers le monde. La seule chose que l'on peut dire avec certitude c'est que la société ou le monde ne sont pas les mêmes que ce qu'ils ont été avant que le produit n'apparaisse.

Suh (1989): ... La création d'une solution sous la forme de produits, procédés ou systèmes qui satisfont des besoins identifiés, à travers des *mappings* entre les spécifications fonctionnelles (FRs) dans le domaine fonctionnel et les paramètres de conception (DPs) dans le domaine physique, au moyen de la correcte sélection de DPs qui satisfont les FRs

Il est à noter que l'évolution dans le temps de ces définitions montrent bien la prise de conscience des différentes dimensions qui jouent dans la construction d'un processus de conception. La notion d'équipe de conception, du traitement des objets intermédiaires, du caractère industriel, de la pertinence sociétale, etc. sont donc à être pris en compte dans une définition plus adéquate avec les enjeux actuels du processus de conception dans le cadre du génie industriel.

1.3.3.1 Des cycles élémentaires

Plusieurs auteurs ont essayé de représenter l'activité de conception à partir de cycles élémentaires menés de façon itérative qui découlent donc en une démarche¹⁶ de conception à une échelle plus grande. PERRIN [2001], ROOSZENBURG [1986]....

¹⁶ A ce point de la discussion nous employons les termes démarche de conception et processus de conception sans en faire la distinction. Nous en parlerons plus précisément plus bas.

C-K, décrit bien le processus et peut aussi être prescrit, par contre, les supports matériels restent à être conçus à partir de ce cadre conceptuel.

1.3.3.3 Sur les apports de l'*axiomatic design*

L'*axiomatic design* développé par Nam SUH du Massachusetts Institute of Technology nous fournit d'un cadre théorique sur « la bonne conception », mais du point de vue de la modélisation du processus sur la dimension plutôt temporaire, ses préconisations ne précisent pas des démarches concrètes. Dans ce sens elle s'adapterait bien aux spécificités que nous avons identifiées dans notre première partie mais n'apporteraient les éléments nécessaires pour y faire face. Autrement dit, pour se servir des atouts plus appréciables de cette approche, on doit partir de la proposition d'éléments de solutions dans un ou plusieurs des espaces définis par SUH dans ses propos (espace physique, espace fonctionnel, etc.). Comme résultat, on se trouverait dans un contexte d'optimisation de performances. Souvent, l'*axiomatic design* est présentée comme une méthode qui permet d'améliorer la qualité des produits et leur performance.

SUH affirme : Les méthodes en *axiomatic design* permettent une conception plus créative, réduisent le processus de recherche hasardeuse de solutions, minimisent les processus itératifs d'essai-erreur et déterminent la meilleure solution parmi celles proposées. (*Source: site de axiomatic design solutions, inc*)

1.4 L'innovation et l'entreprise

1.4.1 L'innovation comme stratégie d'entreprise

Pour quoi innover. Aujourd'hui la prise en compte du phénomène "innovation", nous oblige à revoir les démarches pendant plusieurs phases du processus de conception et de développement de produits. Dans les années 70, 80 et 90, la trilogie à maîtriser était qualité-coût-délai. Maintenant, la cible est devenu une tétralogie qualité-coût-délai-innovation [LE MEUR, 1999]. L'innovation devient le moyen privilégié pour les entreprises d'augmenter leur compétitivité [ROMON, 2000]. La nécessité d'innover n'est plus à démontrer.

Saisir les opportunités, déceler les voies d'innovation et mettre en place les processus organisationnels qui permettront de mettre sur le marché le bon produit au bon moment, sont devenus un passage obligé pour les entreprises qui veulent avoir une action sur leur avenir.

La compréhension, la représentation et la modélisation de ce processus complexe sont l'objet de la recherche en conception qui s'inscrit dans la problématique plus générale de l'innovation. Celle-ci vise à transformer une opportunité en une activité industrielle durable, créatrice de valeur.

Historiquement, l'intégration des démarches fonctionnelles et leur influence dans la maîtrise de la performance technique attendue ont été les premiers résultats de cette recherche. Efficaces pour le développement de ce que l'on peut qualifier d'innovations technologiques, ces méthodes montrent leurs limites pour garantir le développement de produits ou de procédés innovants dans un environnement concurrentiel. [TRUCHOT et Al. 1997]

2. Impact des innovations

Graphique 2: Proportion d'entreprises de l'UE avec une activité innovante indiquant que celle-ci avait un degré élevé d'incidence sur des effets sélectionnés, 1998-2000 (%)

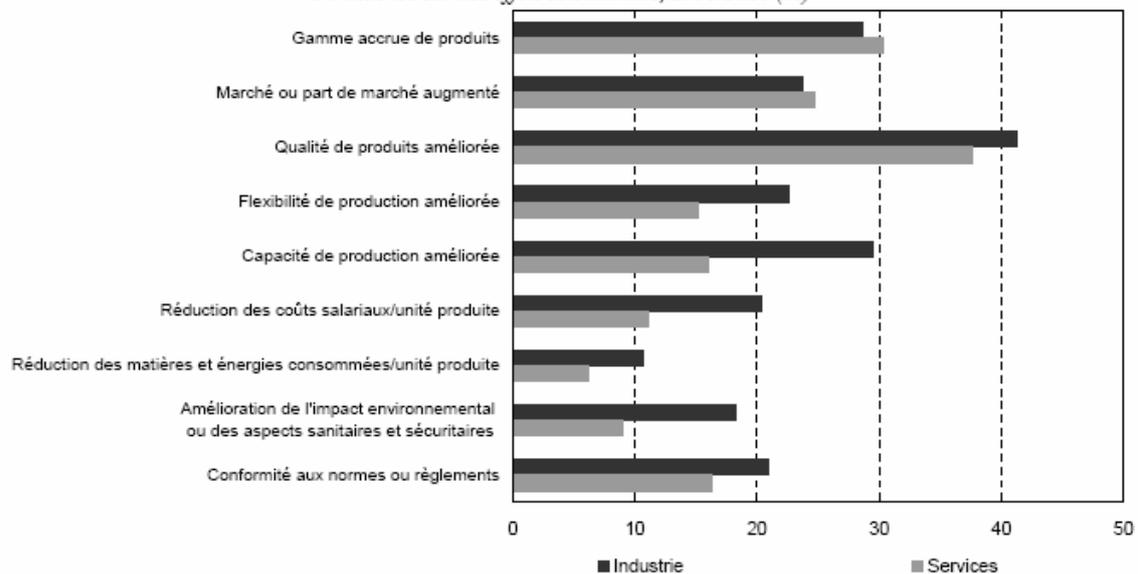


Figure 11. Impact des innovations du point de vue substantif. (source : www.jinnove.com)

1.4.2 Les paradoxes de l'innovation :

De la R&D au marché ? De la conception à la R&D et au marché ? Le mode ou les mécanismes mis en place (de façon explicite ou non) d'une dynamique d'innovation est

déterminé par un ensemble de facteurs comme le secteur industriel, la taille de l'entreprise, la maturité d'une technologie, etc. Cependant, comme nous l'avons mentionné, les processus d'innovation supposent un degré d'incertitude et un phénomène de frontière qu'un certain nombre de paradoxes peuvent être recensés. Nous en citons quelques-uns :

- Descendant/Ascendant : l'organisation des tâches et la structuration du processus est proposée du point de vue de la hiérarchie (management) pour fiabiliser les projets et minimiser les risques dans la planification. Par contre, en réalité, il existe une organisation spontanée créée par ceux qui mènent les actions de conception, de façon beaucoup moins prévisible et maîtrisable. Une dynamique s'installe alors.
- Reproductibilité/Variabilité : Nous insistons sur cette contradiction, créer de la variabilité tout en gardant le caractère reproductible des processus. Ce paradoxe englobe la problématique générale de l'étude des processus d'innovation.
- Continuité/Discontinuité : Au même sens que le paradoxe précédent, l'innovation se place à la frontière de ces deux univers. Elle doit représenter une rupture par rapport au passé mais est construite à partir de.
- Performances/Risques : Ce paradoxe montre le dilemme des entreprises pour viser la plus haute performance d'un produit ou procédé en conception mais en acceptant la prise de risques importants. Au contraire, prétendre le risque nul emmènera l'entreprise à rejeter tout processus d'innovation vers l'amélioration d'une performance quelconque
- *Technology push/Customer pull* : Ce paradoxe se manifeste dans le choix stratégique des entreprises mais dépend étroitement du secteur d'activité. Soit les résultats des recherches technologiques sont à l'origine d'une démarche d'innovation, soit l'étude des demandes des consommateurs permet d'identifier des pistes de développement.
- Anticipation/Incertitude : Le contexte paradoxal de tout processus d'innovation industrielle réside dans le besoin ou intérêt d'anticiper les résultats d'un processus d'innovation dans un cadre général d'incertitude où les solutions ne sont pas connues d'avance.

1.4.3 L'entreprise face au processus d'innovation

1. Entreprises avec des activités innovantes

Graphique 1: Entreprises avec des activités innovantes dans l'UE, par classe de taille d'entreprises et par secteur, 1998-2000 (% de l'ensemble des entreprises)

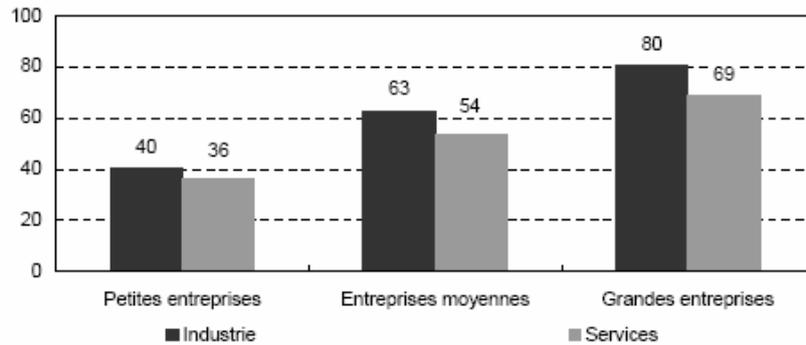


Figure 12. Distribution des entreprises menant des activités innovantes. (source : www.jinnove.com)

Dans cette section nous présenterons une synthèse des implications globales pour l'entreprise au moment où elle entame un processus d'innovation (nous insistons : processus explicite ou non dans sa formalisation). Nous mettrons l'accent sur les différents aspects et contraintes auxquels elle affrontera et illustrerons comment cela peut varier selon le type d'entreprise et organisation présentées. Dans le chapitre ## sur les PME et les GG, nous menons une discussion à ce sujet.

Tableau 1: Activités innovantes dans l'UE, nombre et proportion d'entreprises, par type d'entreprise et par secteur, 1998-2000

	Nbr.d'entreprises (milliers)	Proportion d'entreprises (%)		
		Ens. (indust. & services)	Industrie	Services
Entreprises avec des activités innovantes	201	44	47	40
ayant réussi une innovation	186	41	44	36
produits uniquement	47	10	10	11
processus uniquement	32	7	8	5
à la fois produits et processus	106	23	25	20
en cours et/ou abandonnées	15	3	3	4
Entreprises sans activités innovantes	256	56	53	60

Figure 13. Activités innovantes dans l'UE. (source : www.jinnove.com)

Les entreprises arrivent à la conclusion qu'il faut activer un processus d'innovation pour faire face aux conditions concurrentielles actuelles de leur marché, dans un contexte perçu comme très complexe et incertain dans la mesure où l'anticipation s'avère de plus en plus difficile. Or, le fait d'incorporer une telle approche ajoute une nouvelle dimension qui est elle aussi complexe et difficile à modéliser pour garantir un minimum de maîtrise et d'anticipation de résultats. Notre problématique de recherche s'inscrit dans ce paradoxe.

1.4.4 Diversifier, créer une nouvelle activité

Les processus de conception de produits qui nous intéressent davantage ce sont ceux qui s'inscrivent dans une démarche d'innovation liée soit à la diversification (tenter des marchés nouveaux avec des produits nouveaux pour l'entreprise), soit à la création d'une toute nouvelle entreprise dans le sens où la structure est construite autour le nouveau produit en conception. C'est dans ce cadre que nous orientons notre objet de recherche sur la conception innovante. Nous verrons que cette diversification ou création d'une nouvelle activité est appuyée sur les connaissances détenues par l'entreprise dans plusieurs domaines au-delà des savoir-faire d'ordre technique, par exemple, les connaissances d'un marché particulier (type de clients, manques ou niches identifiées, anticipation des tendances, etc.)

1.4.5 Dynamique de l'innovation en entreprise : Les opportunités

Comme le montrent GIGET [1998], GROFF [2004], ROBERT et DEVAUX [1996], et d'autres nombreux auteurs dans la littérature, le processus d'innovation-produit s'initie par une opportunité qui consiste en la rencontre des leviers de l'entreprise avec des marchés identifiés. Ces leviers de l'entreprise sont souvent synthétisés avec ses savoir-faire, son infrastructure, son organisation, etc. Nous pensons qu'effectivement ces opportunités peuvent être créées à partir de cette union, mais la question de comment « se créer des opportunités » ? Soit on agit sur les leviers de l'entreprise (en les identifiant, en en créant des nouveaux,...), soit on agit sur les aspects liés au marché (en élargissant le champ d'analyse, en identifiant des nouvelles approches,...).

Une fois identifiée ou créée ladite opportunité, elle dévient le déclencheur du processus d'innovation de manière globale. Mais le déroulement de ce processus est en soi source de nouvelles opportunités, et cela tout au long du projet d'innovation.

La plupart des auteurs modélisent le processus d'innovation avec une entrée (généralisée par le mot opportunité) et une sortie (généralisée par un produit sur le marché). Puis, des différentes manières d'aborder le processus mis en place, par exemple par des phases séquentielles avec des boucles d'itération, par une dynamique « en tourbillon », en ingénierie simultanée, etc. **Nous nous posons la question de comment gérer les opportunités créées par le même processus de conception** (rappel : on restreint cette recherche à la conception de produits).

1.5 Délimitation de notre champ d'investigation

Comme mentionné au début de ce document, notre attention est orientée vers des contextes de type PME-PMI quant aux limitations en ressources notamment financières et humaines mais aussi où la structure globale de fonctionnement est relativement « à faible inertie », donc flexible, réactive et vulnérable¹⁷. Dans cet univers, notre intérêt portera essentiellement sur les entreprises dont l'activité est dictée par une « logique produit »¹⁸. Nous nous focaliserons sur des contextes où la formulation ou définition des besoins en termes de spécifications du produit, allocation de ressources, stratégies d'entreprise, etc., reste très incomplète et imprécise.

Notre champ d'investigation est donc délimité comme le montre la figure 3.

¹⁷ Comme le souligne BOLY et Al. « On peut considérer en effet que, de part leurs ressources intellectuelles et financières réduites, les PME sont face à un contexte plus incertain. » [BOLY et Al. 1998]

¹⁸ Ce sont les entreprises dont l'axe directeur de l'activité est lié à la création, le développement et l'industrialisation de produits. Etant le produit défini comme un élément de consommation, reproduit à des millions d'exemplaires et entièrement absorbé dans une finalité d'usage. [Le Coq 1992]

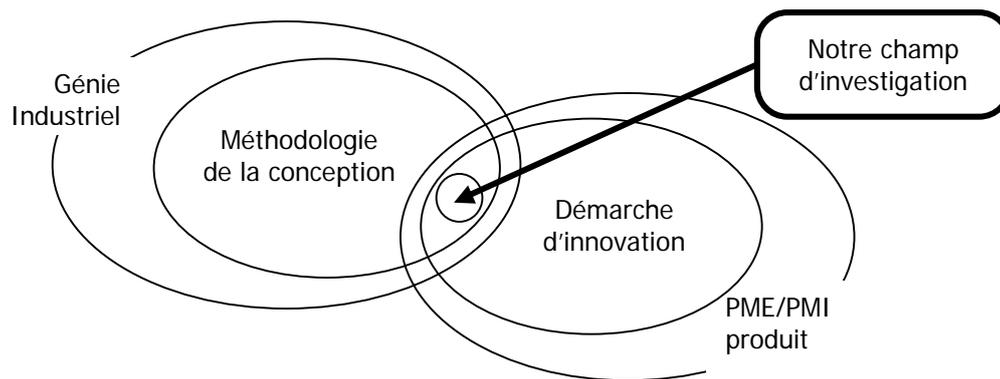


Figure 3. Définition du champ d'investigation

Dans l'ensemble de ce travail de thèse, nous nous appuyons sur une démarche scientifique de recherche-action. « Elle gère le processus allant de la formalisation de la pratique observée à la modélisation de la pratique à promouvoir », c'est à dire, optimiser l'action. [RESWEBER 1995]

Chapitre 2 : Positionnement de notre recherche

Dans ce chapitre nous réalisons une analyse plus ciblée de l'objet de notre recherche. Pour cela nous focalisons notre attention sur : un choix épistémologique par rapport à notre méthode de recherche (la recherche-action) ; les spécificités du contexte de recherche que nous voulons traiter (système évolutif, complexité et incertitudes) ; les aspects privilégiés dans l'étude de l'activité de conception (dynamique de construction du problème de conception), ainsi que les rapports entre un processus de conception adopté et la stratégie d'entreprise.

2.1 L'étude de l'activité de conception

2.1.1 Deux objets d'études sur l'activité de conception

. Aujourd'hui, nous voyons que beaucoup d'études ont été menées autour du sujet de l'activité de conception et les concepteurs. Cross, par exemple a mis en évidence la co-évolution entre le problème et la solution pour expliquer la dynamique et les mécanismes créatifs pendant une activité de conception. [DORST et CROSS 2001] Or, on voit que si bien ces analyses permettent de décortiquer assez profondément cette activité, les efforts pour les contextualiser et exploiter sur le terrain industriel les sont moins. Le résultat, les entreprises ne disposent pas aujourd'hui des outils support pour s'engager dans un processus de conception. Cela est d'autant plus flagrant lorsque les objectifs industriels visent vers une conception innovante (en opposition avec la conception routinière, voir plus bas).

Notre objet de recherche vise donc de revoir l'activité de conception en intégrant l'aspect stratégique de l'entreprise en y impliquant évidemment les acteurs concernés. Nous faisons cette remarque car, comme l'on dit plus haut, dans la littérature on trouve souvent des approches visant l'étude de l'activité de conception en soi et non pas l'ensemble processus-entreprise. Donc, nous nous intéressons plutôt aux effets de l'activité de conception sur l'entreprise et vice-versa. Cela est d'autant plus patent quand la taille (et donc « l'inertie ») de l'entreprise est relativement faible, donc l'influence du déroulement du processus de

conception dans d'autres dimensions de l'entreprise est plus importante. De là, la pertinence de notre approche.

Une possibilité serait d'étudier donc l'entreprise comme une entité cognitive assimilable à celle du concepteur même, c'est-à-dire, regarder l'entreprise comme une personne du point de vue cognitif [MAYA 2002].

2.1.2 Notre positionnement

L'objet de recherche : PERRIN, d'après Nigel CROSS, affirme « la méthodologie de conception est l'étude des principes, pratiques et procédures de conception. Son objet d'étude est la conception et la manière dont une démarche de conception doit être conduite. Elle inclut : l'étude des façons de travailler et de penser des concepteurs ; la mise en place de structures appropriées pour le processus de conception ; le développement et l'application de nouvelles méthodes, techniques et procédures ; des réflexions sur la nature et les domaines d'applications des connaissances de conception et leurs applications à la résolution de problèmes de conception. » [PERRIN 2001]

Les méthodes pour l'innovation en conception ou des méthodes de conception pour l'innovation ?

2.2 Conception innovante, conception routinière

Plusieurs auteurs présentent des typologies de processus de conception de produits (Blanco, Ullman, Denneux, Brown,...). La plus répandue et la plus utile pour notre recherche différencie conception routinière et conception innovante, puis d'autres variantes comme la conception créative, la conception paramétrée, etc. Nous positionnons notre objet de recherche clairement dans la conception innovante et la conception créative. Nous y reviendrons.

Un point très important dans ces typologies est ce qu'on appelle « distribution de l'innovation » au long du processus. Nous constatons que même dans des processus de conception innovante, on peut avoir des phases de caractère plutôt routinier. Si l'on reconnaît que le processus d'innovation est bien un phénomène global et systémique, on peut pourtant

faire ces observations. En utilisant la définition évoquée par Bocquet d'après la norme ANSI EIA-632 (ANSI/EIA 1998) sur l'ingénierie de systèmes (voir figure 14), trois strates sont identifiées. A savoir une dimension management (planification, processus d'évaluation, processus de contrôle) ; une dimension liée au cycle de vie du produit, donc du processus de conception même (acquisition de matières, conception, réalisation) ; puis la dimension liée aux supports techniques et les ressources d'appui). Sur ces trois dimensions de l'ingénierie de systèmes, le caractère innovant d'un processus peut se placer dans l'axe temps à certaines phases et de manière spécifique à une dimension donnée.

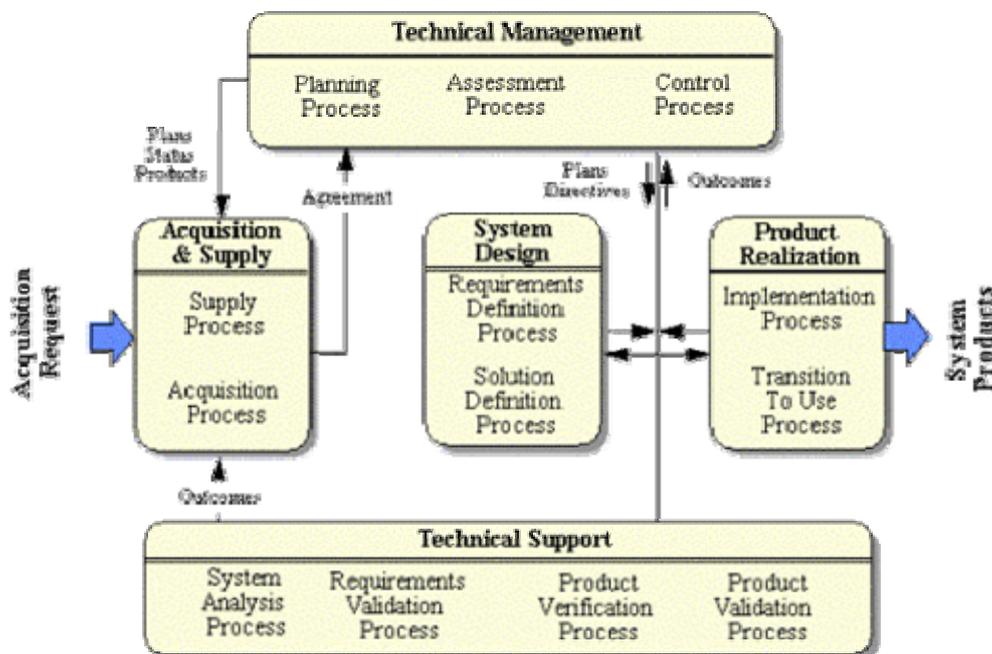


Figure 14. Ingénierie de Systèmes. Issue de ANSI EIA-632 (ANSI/EIA 1998).

Prudhomme [PRUDHOMME 1999] cite BLANCO et insiste sur les spécificités d'un processus de conception innovante.

- la conception routinière s'appuie sur un système de règles, de conventions et de connaissances stables, tant sur le processus que sur le produit.
- l'innovation est caractérisée par une incertitude sur le produit, augmentée d'incertitudes sur le processus de conception et sur le réseau d'acteurs. Blanco montre qu'une innovation ne se construit pas suivant un processus prédéfini, mais est fonction de multiples conditions de contextes, de jeux de pouvoirs et d'enjeux

contractuels entre divers acteurs de diverses entreprises participant à son développement.

Ce n'est pas non plus à partir de la connaissance d'une technologie stabilisée à mettre en oeuvre sur un nouveau produit que se réalisera l'innovation, mais les connaissances sur une nouvelle technologie se construiront en même temps que l'avancement de la conception du produit.

L'innovation doit être vue comme un processus d'apprentissage et de production de connaissances nouvelles, tant sur la technologie du produit et sur le rôle des objets intermédiaires qui les problématisent et les capitalisent que sur le processus de conception et sur le rôle des différents acteurs. Il montre ainsi que l'innovation ne s'inscrit pas nécessairement dans un modèle diffusionniste, où son succès serait attribué principalement aux qualités intrinsèques de connaissances nouvelles appliquées dans un contexte particulier.

Au contraire, l'intérêt par exemple pour une nouvelle technologie va poser nombre de problèmes qui ne seront vaincus que par l'intéressement et la volonté d'un nombre croissant d'acteurs de la conception. Ce qui conduira à construire des connaissances sur cette nouvelle technologie, à enrôler de nouveaux acteurs, à concevoir de manière coopérative un dispositif de coordination dans lequel se déroulera la conception.

Dans une conception innovante, il y a donc une grande part d'énergie qui est dépensée dans l'intéressement des nouveaux acteurs, la constitution du réseau et sa stabilisation. Il faut enrôler les acteurs, c'est à dire leur attribuer un rôle et donc créer les règles qui vont présider au fonctionnement de ce réseau. En plus de cette nouvelle organisation à mettre en place, ... les acteurs pour pouvoir se coordonner, doivent construire de nouvelles conventions, de nouvelles règles, identifier leurs compétences respectives.

Dans ce modèle de l'intéressement, c'est tout un réseau d'acteurs qui se mobilise pour permettre l'innovation. Le terme d'acteur est à considérer ici au sens large, incluant humains et non humains (certains objets techniques, des prototypes par exemple). Ces acteurs peuvent être économiques (sous-traitant, distributeur, ...),

techniques (relatifs à la fabrication par ex), scientifiques (relatifs à la modélisation et à la prédiction de comportement par ex), institutionnels (ex :normes, brevets), ... Conviction, adhésion, croyance, ... sont des éléments caractérisant une possible innovation. Ce qui peut conduire à un échec est, dans ce modèle d'intéressement, plus le manque d'alliés que l'insuffisance de connaissances techniques (que l'on peut toujours construire).

Dans une conception routinière, ce ne sont pas seulement les sources de connaissances qui sont connues, mais aussi les acteurs qui participent au réseau de conception. L'existence de ce réseau est stabilisée dans des conventions et des règles définissant le rôle des acteurs.

L'usage régulier d'objets intermédiaires particuliers participe à la stabilisation et à la régulation du processus, en définissant le rôle des acteurs, en stabilisant leurs relations par l'établissement de règles et de conventions qui évitent de tout renégocier à chaque instant.

Le processus d'une conception routinière est donc plus stabilisé, moins incertain, moins risqué, puisque l'action s'appuie sur des règles établies et acceptées par les différents acteurs. Le passage d'une conception de type innovante à une conception de type routinière se fait donc par la diminution de l'incertitude sur le processus, par un apprentissage relatif à une coordination dans un contexte. [PRUDHOMME 1999]

Armand Hatchuel lors d'une présentation chez le constructeur automobile Renault en 2004 utilise la théorie CK (Concepts et connaissances) pour décrire la conception innovante : c'est l'élargissement de la conception réglée par intégration des logiques de la créativité (voir figure 15. Hatchuel insiste sur la dynamique sur laquelle des concepts ouvrent un potentiel d'expansion de connaissances, mais ce sont des connaissances qui permettent de les valider puis qui font revenir au champ des concepts dans une logique d'allers et retours.

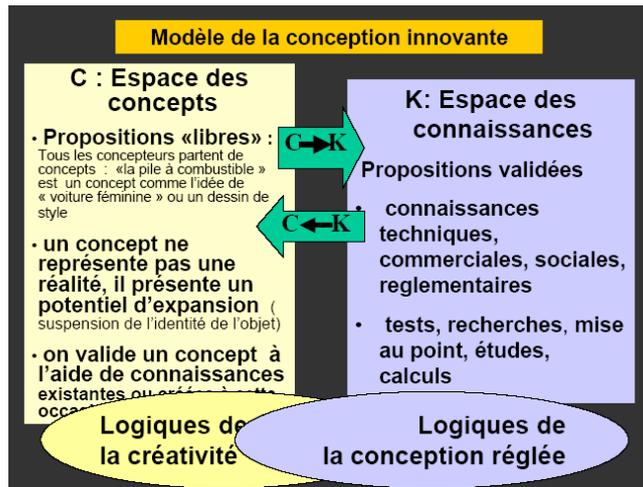


Figure 15. Modèle de conception innovante utilisant la théorie CK. [Hatchuel 2004]

Si on utilise la représentation formulée par Hatchuel pour différencier les types de conceptions (routinière, innovante,...), nous précisons bien notre positionnement et la réponse que nous apportons d'après ce constat identifié par Hatchuel et ses collaborateurs à l'Ecole de Mines de Paris (Weil, Masson,...). Dans la figure 16, les distances entre l'espace des concepts et l'espace des connaissances varient selon le régime installé du point de vue de l'innovation.

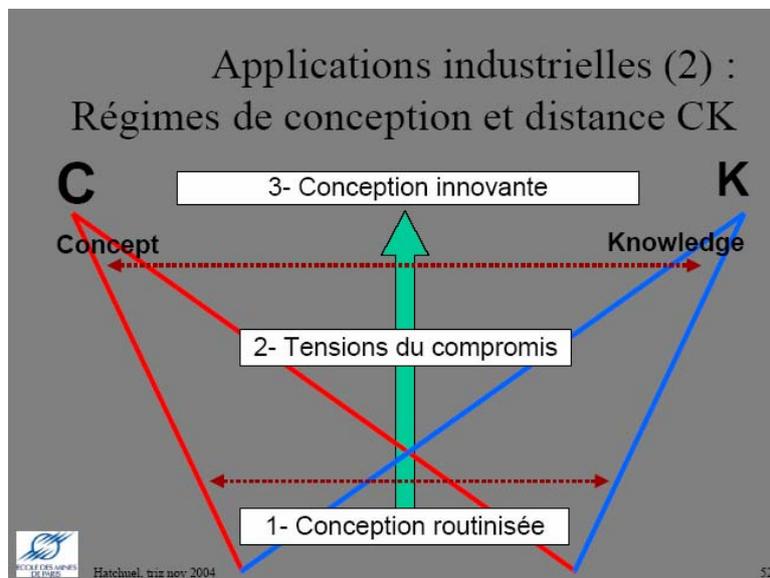


Figure 16. Régimes de conception et distances CK. [Hatchuel 2004]

2.2.1 Les difficultés des métiers « classiques » de conception de produits :

Un des problèmes rencontrés lors de la conception d'un produit nouveau, c'est comme nous l'avons décrit avant, la difficulté à entamer un processus de conception sans avoir une formulation claire des objectifs du fait, d'une part, ne pas savoir exactement vers quel résultat on doit aller (notion de « destination connue », approche déterministe, résolution de problèmes, notion de champ fini,...), et d'autre part, ne pas pouvoir prévoir des comportements ou performances (au sens le plus large de correspondance à des attentes) du fait que les éléments (résultats intermédiaires, concepts préliminaires, etc.) aux phases amont du processus restent trop flous pour appliquer des modèles de simulation concrets. Comme le soulignent TRUCHOT et Al., « les sciences de l'ingénieur telles que la mécanique, l'électronique, l'informatique ou les matériaux contribuent à la conception des objets industriels. Cependant, en l'absence d'une finalité clairement définie, ces champs de connaissances s'avèrent inopérants. La compréhension et l'expression de cette finalité et en conséquence la manière de mettre en oeuvre un ensemble complexe de connaissances constituent la problématique de la recherche en conception de produit. » [TRUCHOT et Al., 1997]

2.2.2 Typologies du produit, innovation et intégration métiers

La composition du produit en termes de technologies intégrées et sa place du point de vue du marché et de la société, mais aussi la stratégie de l'entreprise en termes de l'orientation des efforts d'innovation conditionnent la structuration du processus d'innovation et par conséquent l'organisation des métiers autour du projet de conception innovante. Ainsi, ce que nous appelons « concentration de l'innovation » sera distribuée de manière hétérogène dans le produit en conception. Par exemple, si l'entreprise décide de s'investir sur l'innovation d'un produit existant pour améliorer sa facilité d'usage, le rôle des technologues se voit reconsidéré dans la mesure où son intervention pourrait se placer plus en termes de faisabilité technique ou optimisation des coûts. En revanche, pour des typologies de produits où l'utilisateur final n'est pas directement concerné (par exemple des sous composants mécaniques), les efforts d'innovation, même en ayant d'impacts sur l'usage, pourraient être concentrés sur la technologie. Dans ce cas, le processus d'innovation serait mené plus par les technologues que par les ergonomes.

Cet aspect rejoint la dimension relative des processus d'innovation par rapport au contexte industriel. Un processus de conception peut s'avérer innovant pour une entreprise qui se diversifie du point de vue du marché ou de la technologie des composants ou du système de fabrication.

2.3 La conception innovante : un processus complexe

D'un autre côté, il faut bien différencier, quand on parle de systèmes complexes, que ce que nous voulons modéliser en tant que système complexe c'est le processus de conception innovante et non le produit en tant que système complexe (par exemple dans le sens de la norme ANSI/EIA). Il est certain que la conception de systèmes complexes (produits complexes ?) rend le processus plus délicat où la complexité du produit est d'une certaine façon retrouvée dans le processus de sa conception (notamment par l'existence d'équipes pluridisciplinaires). Mais nous restreignons notre étude à l'étude du processus au-delà de la complexité de ce qu'on conçoit car l'origine de la complexité dont nous parlons est plutôt liée à d'autres conditions du processus d'innovation, liées notamment aux relations entre processus et son contexte de réalisation (entreprise, mode de gestion, organisation, clarté des objectifs, positionnement commercial, systèmes de partenariat, etc.)

D'après Aoussat et Duchamp, sa complexité trouve racine dans le fait que le processus de conception doit pouvoir intégrer les sciences pour l'ingénieur et les sciences humaines et sociales [2]. Il doit pouvoir ainsi faire face « à la complexité intrinsèque des produits, à la complexité managériale et à la complexité des procédés de mise en oeuvre » [GROFF 2004]

2.3.1 L'innovation, complexité, incertitude

L'objectif avec cette section est de décrire deux écueils majeurs dès qu'il y a lieu le phénomène d'innovation (substantif ou procédural). Nous parlons de la complexité et en conséquence, de l'incertitude. Sur l'aspect incertain, nous le traitons en détail plus bas. Cette section nous permettra d'introduire notre hypothèse générale visant faire face à ces spécificités, tout en complétant d'autres approches existantes orientées plus sur l'analyse des paramètres jouant sur le processus d'innovation.

Daniel Durand conclut dans son ouvrage *La systémique* : « la prise de conscience de la *complexité* et de *l'incertitude* de notre monde contemporain conduit à la diffusion lente mais inéluctable du paradigme (ou modèle) systémique. On ne peut qu'être optimiste sur le développement de cette vision ou cette démarche qui seules permettent de prendre en considération et traiter de façon adéquate, non seulement complexité et incertitude, mais aussi ambiguïté, flou, hasard... » [DURAND 1979]

« La pensée et la démarche systémiques renvoient à la capacité à penser autrement toute réalité géographique ou historique dans sa globalité et sa complexité ; à la représenter intellectuellement et graphiquement comme une combinaison de relations et d'interrelations complexes ; à l'expliquer en montrant qu'elle est à la croisée de multiples éléments (culturels, sociaux, physiques, etc...). »

Sur la complexité : Comme le souligne Rodriguez-Toro et Al. Le concept de complexité est perçu ou défini dans chaque discipline selon les aspects privilégiés, l'utilité cherchée en la définissant, etc. Ainsi, une grande diversité de définitions peut être constatée.

2.3.1.1 Complexité et Systèmes évolutifs

Nous partageons l'avis de MELESE qui avance : « La complexité est donc à prendre en tant que source de richesse et de créativité » [MELESE 1979]. L'évolutivité des systèmes complexes est propice à la créativité et d'adaptabilité aux évolutions des besoins des clients et de la concurrence. MANZANO regarde cette qualité des systèmes complexes face aux systèmes compliqués : « La complexité sera caractérisée par la richesse des interconnexions des éléments du système, la variété de ses états et de ses évolutions. Comparé à cela un système compliqué sera rigidifié par des liaisons stables, mono-dimensionnelles. Ainsi le complexe sera évolutif alors que le compliqué sera figé dans une conformation. C'est cette évolutivité qui entraîne, entre autre, une difficulté d'analyse. » [MANZANO 1998]

Dans ce sens, l'innovation est le résultat de la contingence des processus de choix dans toute la complexité environnant un processus. La contingence des résultats de l'innovation est une conséquence de la complexité, c'est-à-dire que les résultats sont imprévisibles. Nous nous intéressons à cette imprévisibilité comme levier pendant le processus d'innovation. Quoique source de risques et de dysfonctionnements durant le processus d'innovation, cette spécificité

nous permettrait, paradoxalement, de faire face aux difficultés de management, entre autres pour la prise de décisions.

2.3.2 Niveaux d'innovation, niveaux d'incertitudes

Comme nous l'avons signalé, le caractère incertain est intrinsèque à tout processus d'innovation. La figure 14 il schématise cet aspect en montrant que plus innovant est le processus (ou le produit qui en découle), plus d'incertitudes se manifesteront.

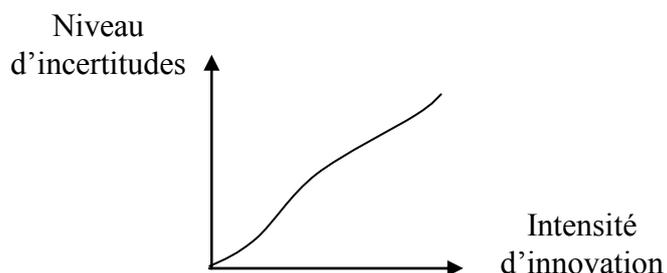


Figure 17. Relation entre l'intensité des innovations et le niveau d'incertitude.

Nous osons aller plus loin en faisant une lecture inverse de ce graphe : plus le processus de conception suscite des incertitudes, plus il sera innovant. Bien sûr, toujours que le système d'informations s'avère pertinent et suive ce processus (que l'ignorance ne vienne pas de l'inaction).

2.3.3 Incertitude et inconnus

Plus de complexité, plus grande l'indétermination et l'imprévisibilité

« Une information plus précise n'est pas forcément plus pertinente qu'une information plus imprécise » [FABIANI, 1996]

Incertain, première définition : prenant le ROBERT, nous regroupons en deux parties les abondantes définitions sur l'incertitude et ce qui est incertain. D'autres définitions ne seront pas prises par rapport aux dimensions qui nous intéressent le plus et nous permettent de nous positionner. D'une part, nous identifions tous les termes associés à son caractère

« temporel » : imprévisible, aléatoire, contingent, éventuel, indéterminé,... Et d'autre part, tous les termes qui désignent le caractère d'indéfini : flou, imprécis, confus, vague, mal connu,...

Ces deux aspects de l'incertitude se rejoignent (entre autres) par une relation causale : le fait de ne pas avoir une précision dans la définition d'un état quelconque d'un contexte complexe donné, entraîne une source de manque de visibilité, donc d'imprévisibilité, etc. L'indéfini à un instant t occasionne une indétermination à futur. Au-delà de la discussion déterminisme-indéterminisme et la vision mécaniciste ou non du système en étude,

La vision limitée d'un ensemble est bien évidemment source d'incertitude donc de risque. Par rapport à une situation ou système donné elle sera liée à deux notions. D'une part, dans l'espace, il s'agit des éléments du système et leur liens et flux. Et d'autre part, par l'évolution dans le temps, c'est la composante génétique d'après LE MOIGNE. [LE MOIGNE 1994] La vision d'ensemble s'avère difficile lorsqu'on est en face d'un système complexe où le nombre de sous-systèmes est important, ainsi que les liens qui les interconnectent.

Aujourd'hui, la difficulté quant à la structure du système dépend principalement d'un manque d'exhaustivité, donc des inconnus. Or, si l'on dispose d'outils qui permettent de recenser et traiter un nombre considérable de données de nature diverse, on pourrait palier cette source d'incertitude jusqu'à un niveau « acceptable ». Mais au fur et à mesure qu'on élargit le périmètre du contexte d'étude (le système analysé devient plus grand), le nombre de paramètres à considérer augmente exponentiellement. C'est par exemple le cas si l'aspect temporel est introduit, à savoir, l'évolution d'un système dans le temps, où les paramètres (identifiés ou non) ne sont pas forcément sous contrôle. On se dirige plutôt vers une impasse.

Voyons comment **la problématique de l'incertitude a été traitée** ou quels sont les aspects étudiés en priorité pour y faire face. Par exemple, dans la littérature traitant le sujet de la conception en conditions d'incertitude (conception flexible, optimisation, facteurs externes variables, approches déterministes, approches probabilistes, etc.), on voit : « Ici, les variations des conditions de fonctionnement (par exemple débit et concentration d'alimentation, activité catalytique, défaillance d'équipement) et les incertitudes dans les modèles de processus utilisés pour la conception des équipements, indiquent que les conditions nominales ne sont plus suffisantes pour concevoir un processus. Ainsi, le processus conçu devrait également

satisfaire les restrictions d'opération malgré les perturbations et les incertitudes de conception ». [RASPANTI et Al. 2000]

Il faut préciser que nombreuses études sur l'incertitude en conception sont liés à la difficulté à prévoir ou simuler les performances attendues d'une proposition donnée. Cette approche est souvent utilisée lorsque le système technique en étude fonctionne dans un environnement incertain ou lorsque les paramètres associés ne sont pas connus de manière précise. La problématique de l'incertitude est alors affrontée avec une approche stochastique privilégiant des méthodes traitant des données statistiques. Ces méthodes s'opposeraient en partie aux méthodes dites déterministes, par exemple en conception inversée (reverse engineering). [WANG et Al. 2004].

2.3.4 Incertitudes exogènes, incertitudes endogènes

Ce système complexe est composé d'éléments internes et externes par rapport au périmètre de l'entreprise et les acteurs directs du processus de conception. Cette précision est faite pour relever un aspect qui nous semble très important : la complexité des acteurs de la conception, en particulier ceux nommés concepteurs (nous allons garder pour ce terme la définition qui lui attribue toutes les actions soit créatives soit d'analyse. Ainsi, il est pertinent de parler d'incertitudes endogènes, donc produites à l'intérieur de ce périmètre (exemple : celles liées au comportement des acteurs, réactions psychologiques, processus de perception, etc.). A contrario, les incertitudes exogènes qui regroupent tout ce qui extérieur aux personnes, et qui sont en effet celles qui sont prises dans la plupart d'études des incertitudes dans le domaine du développement de produits.

Cette différenciation nous sera utile dans la discussion sur l'intérêt de l'anticipation dans le processus de conception innovante. En effet, la plus part des efforts dans l'étude de la complexité du processus d'innovation « évadent » la caractérisation des acteurs comme élément majeur de cette complexité et donc comme source d'incertitudes.

2.3.5 Le management de projet et l'innovation

« On a très souvent défini le management de projet comme un carcan qui certes apporte de la sécurité au développement des projets industriels classiques mais s'applique mal à la dynamique et à la complexité spécifiques aux projets innovants. En effet, le management oblige souvent à une démarche strictement planifiée, qui impose la définition préalable d'objectifs rigoureusement définis, le choix d'une stratégie organisationnelle, figée dès le début du projet, et appliquée tout au long de son développement avec traitement des "anomalies" rencontrées. Toute cette rigueur impose une rigidité qui s'allie mal avec la nécessité d'évolution et d'irruption de nouveaux objectifs dans les projets innovants.

Mais d'abord, qu'est-ce donc qu'un projet ? Il n'est pas rare qu'on identifie le projet à un produit, mais on voit bien, à la première réflexion que cette identification est réductrice. Si le projet était un objet inerte et n'était que ça, le management de projet serait vide de sens. Le projet est mis en place par une équipe pour répondre aux besoins d'utilisateurs, en fabriquant un produit ou un ensemble de produits, produits qui réaliseront "des fonctions répondant à ces besoins explicités ou non. Dans cette description, le projet est un objet multidimensionnel, évolutif, vivant, avec une composante essentielle de nature humaine. Il est déjà bien difficile (voir impossible ?) de le réussir en utilisant les recettes contraignantes d'un management rigide et linéaire.

Et qu'est-ce qu'un projet innovant ? A coup sur, il s'agit d'un objet qui a quelque chose à voir avec l'innovation et qui intervient à un moment bien particulier du processus d'innovation. Il est mis en place pour trouver une solution inconnue - tout au moins en partie - au moment du lancement, à un problème que l'on veut résoudre. Le processus d'innovation peut précéder le projet qui est alors mis en place pour répondre à une ou des idées innovantes mais ce processus peut aussi se trouver à divers niveaux du projet selon les cas : soit au niveau de la réalisation de nouvelles fonctions qui rempliront un besoin exprimé ou implicite, fonctions qui peuvent d'ailleurs émerger pendant le développement, soit au niveau de la réalisation technique, soit au niveau de la stratégie ou même de la méthode appliquée au développement du projet. Dans tous les cas, le projet innovant exige souplesse,

évolution, bifurcation, modifications... et tout cela sans perdre la précision de développement qui assurera sa qualité. »[PERRIER 2001]

2.3.6 Analyse de risques

Définition de risque projet : « C'est la possibilité qu'un Projet ne s'exécute pas conformément aux prévisions de date d'achèvement, de coût et de spécifications, ces écarts par rapport aux prévisions étant considérés comme difficilement acceptables, voire inacceptables. » [AFITEP/AFNOR, 2000. Dictionnaire de management de projet]

Parler de cette approche visant palier les écueils qui ont été identifiés dans la problématique globale des processus d'innovation, en précisant que nous voulons prendre une autre orientation : parti pris et arguments.

Nous constatons que la plupart des démarches et actions menées avec l'analyse de risques dans le but de les maîtriser sont axées sur les prévisions liées aux délais et coûts. Par rapport aux spécifications, en particulier celles qui nous intéressent le plus en projets de conception de produits, à savoir tout ce qui pourrait être contenu dans un cahier des charges produit en termes de fonctions de services, qualité, etc., ces techniques trouvent leurs limites à cause des spécificités d'un processus d'innovation décrites plus haut.

La maîtrise de risques dans un projet d'innovation est appuyée principalement par l'organisation de la gestion du projet, où sont prises en compte dès les phases initiales les analyses des situations pouvant arriver qui sont à l'encontre des objectifs fixés au préalable pour le projet.

Or, cette prise de conscience des risques liés au processus d'innovation est à la base des freins qui bloquent l'engagement dans un tel processus. Le SESSI montre que tant % des entreprises ne se lançant pas dans une démarche d'innovation (en particulier innovation produit), associent (ont l'impression d') un coût risque trop élevé pour le supporter. Jean-

Louis Joyeux illustre ce phénomène avec sarcasme : « L'innovation est un moment d'inattention de la direction générale »¹⁹

2.4 Entreprise, innovation et anticipation

Une des grandes préoccupations des entreprises lorsqu'elles décident d'adopter une démarche d'innovation est bien sûr la notion de visibilité d'une initiative innovante quelconque. Cette préoccupation augmente au fur et à mesure des ressources (financières, humaines, temps,...) y sont affectées. L'impossibilité d'anticiper ce qui se passera par la suite produit un manque de visibilité qui se traduit par de prises de risques de diverses natures (financières, techniques, de marketing,...) qui sont parfois très importantes et critiques.

Ainsi, dans la pratique, la volonté d'adopter une démarche d'innovation est exprimée dans un premier temps par un essai (exercice) d'anticipation. L'entreprise construit des stratégies, bien évidemment, en pensant à ce qu'elle croît va se passer dans un laps de temps par rapport à une évolution par exemple dans le marché, dans les tendances d'usage d'un produit, le développement de nouvelles technologies, etc., mais aussi par rapport aux évolutions « normales » au sein de l'entreprise et pendant un processus d'innovation déjà engagé.

Aujourd'hui, l'entreprise peut se servir des informations disponibles dans les essais de prospective menés par des institutions, cabinets, etc. Mais les rapports qui en découlent traitent souvent le moyen et long terme en illustrant plutôt des tendances « lourdes » et de caractère assez général. Par ailleurs, l'entreprise pourrait aussi s'approcher le plus possible des marchés identifiés comme porteurs pour son activité et son savoir-faire ou en étant à l'écoute fidèle de ses clients.

Il faut insister sur les modalités d'expression de cet « exercice d'anticipation ». L'anticipation peut consister en la prévision des futurs possibles (au sens de la prospective) et se préparer pour y faire face. C'est connaître l'environnement et son évolution pour élaborer une stratégie (attitude correspondant aux cases B et D du Tableau 2 ci-dessous) ou par contre c'est intervenir sur l'évolution des changements pour atténuer ou amplifier leurs impacts (cases A et B du même tableau) [LATTUF&Al. 2002].

¹⁹ Extrait de la présentation « Innover l'innovation : (extraits) » d'André-Yves Portnoff, Directeur de l'Observatoire de la Révolution de l'Intelligence à Futuribles, le 22 avril 2005 à l'Institut de Locarn.

Autrement, l'anticipation peut consister en la prévision pour réagir en avance, soit pour être pionnier (s'il s'agit effectivement d'une innovation bien identifiée) soit pour gagner du temps lors de l'adoption de changements par exemple organisationnels.

Tableau 2. Classement des agents opérant sur le processus de conception

	Agents endogènes à la conception de produits	Agents exogènes à la conception de produits
Agents maîtrisables	A	B
Agents non-maîtrisables	C	D

Prévoir a priori, comprendre a posteriori

Comme l'exprime Schulmann [SCHULMANN 1995], une chose c'est expliquer *a posteriori* le succès ou l'échec d'un nouveau produit et autre de prévoir *a priori* quels seraient les critères nécessaires pour sa réussite. Cela illustre bien cette problématique de l'anticipation face à la complexité, surtout lorsqu'on a affaire à des aspects peu faciles à « objectiver » ou à quantifier.

Sur l'incertitude et les réponses données :

On a pu voir que tout processus d'innovation implique un champ incertain de part sa propre nature de ce qui est nouveau. Par ailleurs, on essaie de réduire au maximum cette incertitude pour pouvoir maîtriser le processus. Si l'on prend par exemple le cas idéal, zéro incertitude on aura perdu toute qualité innovatrice du processus de conception.

Or, une réponse qui a souvent été apportée à ce paradoxe est ce qu'on appelle « la maîtrise de risques ». Parmi les objectifs possibles avec cette approche il y a : prévoir le champ du possible ; avoir des « réponses prêtes » pour réagir adéquatement ; faire des choix pour minimiser les impacts néfastes lors de la prise de certains risques ; et plus généralement pour aider à la prise de décisions dans la construction ou planification d'un projet.

Les incertitudes sont vues de manière générale comme « source de problèmes ». En effet, le manque de visibilité (dans le temps et l'espace), pourrait empêcher la bonne gestion ou programmation du processus de conception. Pourtant, nous partageons l'idée comme quoi l'aspect incertain d'un processus de conception innovant peut être perçu comme un levier plutôt qu'un frein à l'aspect novateur de ce processus. Comme l'exprime Wallerstein 1999, et qui nous utilisons comme épigraphe de notre travail, « car c'est cette incertitude qui fait possible la créativité ». Sans doute que cette sentence essaie d'expliquer en paraphrasant les définitions d'une innovation, qu'on ne peut pas enlever la dimension incertaine de tout processus d'innovation, comme l'on mentionne plus haut.

Nous pensons que l'incertitude a toujours été vue comme un « problème à enlever ». Nous voulons au contraire l'utiliser comme spécificité d'un processus d'innovation qui sert plutôt comme source d'opportunités (et de nouveauté) et comme moyen pour améliorer le pilotage du processus de conception.

Pas l'enlever mais l'exploiter.

2.4.1 Création d'incertitudes, stratégie d'innovation

« En conclusion, la réussite industrielle (produit réussi et rentabilité forte) est liée dans un certain nombre de cas à des choix induisant des périodes de forte incertitude. La maîtrise ou la réduction de l'incertitude n'est pas la voie retenue par l'entreprise et par voie de conséquences, elle se dote d'un atout concurrentiel majeur. De manière anachronique (a priori), c'est l'investissement dans l'incertain qui constitue la garantie pour la pérennité de la structure. On constate donc que dans un certain nombre de cas (et non des moindres), les décisions découlant des approches traditionnelles de gestion de projet sont inopérantes et non avenues. Ces constats sont à la base de notre problématique: comment davantage intégrer l'incertitude en pilotage de projets innovants. » [BOLY *et al.*, 1998]

En utilisant le concept d'imprévisible HEIDERICH insiste sur cette approche que nous souhaitons mettre en avant : « Gérer l'imprévisible ne signifie pas le contenir, mais le faire sien. » [HEIDERICH 2003]

La plupart de chercheurs visent la « résolution » des incertitudes vues comme « je ne sais pas comment cette proposition va marcher », ou « est-elle cette solution capable de donner la

puissance qu'on cherche ? ». En revanche, nous travaillons la notion d'incertitude surtout par rapport aux liens à l'entreprise et sa stratégie. La stratégie même représente une source d'incertitude, un choix dont on n'est pas suffisamment sûr. Par exemple, lors d'une proposition de solution (concept en phase amont du processus), on évalue sa cohérence avec les performances attendues (notamment du point de vue fonctionnel). L'incertitude vient du fait que du moment où on n'a pas un concept plus ou moins précis (dimensions, structure détaillée,...), on a du mal à déterminer sa performance, donc on a une source d'incertitude non négligeable due aux limites des modèles et simulations disponibles pour des systèmes « mal définis » [YANNOU 2002]. Par contre, ce que nous privilégions dans la notion d'incertitude est exprimé avec des phrases comme : « même si ça correspond à ce qu'on a défini, est-ce que l'utilisateur va être d'accord ? on ne sait pas trop » ; ou « cette idée nous fait penser qu'on se trompe peut-être de stratégie, je n'avais pas pensé à ça, donc je crois qu'on devrait redéfinir notre CDC, ajouter cet aspect qu'on vient de voir » ; etc.

On peut voir dans les lignes précédentes que pour pouvoir envisager l'utilisation des techniques « classiques » pour traiter les incertitudes (logique floue, probabilités,...) pour intégrer les dimensions que nous avons illustrées plus haut, on devrait donc les quantifier, « les chiffrer », disposer d'indicateurs fiables, modéliser « toute l'entreprise », et cela reste très compliqué et complexe pour le considérer dans un processus d'innovation si on veut par exemple être exhaustif.

2.4.2 Les anticipations possibles

Une recherche sur l'état de l'art sur les réponses données pour maîtriser un processus d'innovation réside dans la notion d'anticipation. Or, cette tentative d'anticiper pour réduire l'incertitude ou pour au moins maîtriser les risques se présente sous deux formes. D'une part, c'est l'anticipation pour formuler des stratégies d'entreprise (positionnement, politiques de développement, prospective, etc.). Ici, nous pouvons associer certaines méthodologies : lois d'évolution de produits, méthodes prospectives, analyses de marché, réglementations, etc. Et d'autre part, c'est l'anticipation de performances de produits proposées. La plupart des travaux sur le processus de conception ont visé cet aspect. Ainsi, nous trouvons les approches traitant le sujet des incertitudes sur l'environnement d'utilisation du produit, par exemple les méthodes sur la conception robuste qui cherchent à proposer des concepts de solution stables

aux variations du contexte au-delà des paramètres nominaux ; les solutions modulaires ; la conception de gammes, etc.

2.4.3 Sur la prospective

« Afin d'être capable de ne pas simplement réagir aux catastrophes, mais de les anticiper, on doit savoir à l'avance » [De PAOLI, 1998]. Or, S. ALLEMAND affirme que « dans un monde jugé de plus en plus complexe et incertain, la possibilité d'anticiper l'avenir apparaît d'autant moins facile. » [ALLEMAND, 2000]

Prospective, première définition: Étymologie: Regarder en avant. Ensemble de recherches concernant l'évolution future de l'humanité (ou d'un groupe humain) et de son environnement, et permettant de dégager des éléments de prévision. [Dictionnaire ROBERT, 1985].

La vocation de la prospective est d'aider la décision en anticipant les grandes mutations et concerne les changements à moyen et long terme. Des tendances moyennes sont privilégiées. [ALLEMAND, 2000]. L'objectif de la prospective ne s'agit pas de dire ce qui sera, mais de permettre de se mettre en état de voir les futurs cohérents possibles, les "futuribles" de De Jouvenel. [GAUDIN, 1988]

La plus part des techniques prospectives ont principalement été utilisées dans le domaine de programmes publics, d'études sociales, de politiques générales des entreprises, pour anticiper les ruptures, les révolutions, les mutations,... Les études prospectives permettraient d'une part, d'intervenir sur l'évolution des changements en amplifiant ou atténuant leurs impacts, et d'autre part (pour les entreprises) de connaître l'environnement et son évolution pour construire des stratégies. [SMIDA dans LE DUFF, 1999]

Par ailleurs, des travaux ont été engagés dans le but d'appliquer des concepts et principes prospectifs dans le domaine spécifique de la technologie: faire de la prospective technologique. Toutefois, GAUDIN précise "la prospective ne peut se satisfaire d'un regard fragmentaire, elle exige la vision la plus large des facteurs du changement social.". Donc, pour faire de la prospective technologique, on est obligé de réaliser une analyse ample sans la dissocier des systèmes sociaux, politiques, économiques, philosophiques. [GAUDIN, 1988] Dans ce sens, « faire de la prospective technologique » se limiterait à orienter les objectifs et les résultats d'une étude prospective (au sens large) vers une mise en évidence des scénarii

dans le plan technologique et non une prise en compte partielle (orientée) des informations disponibles.

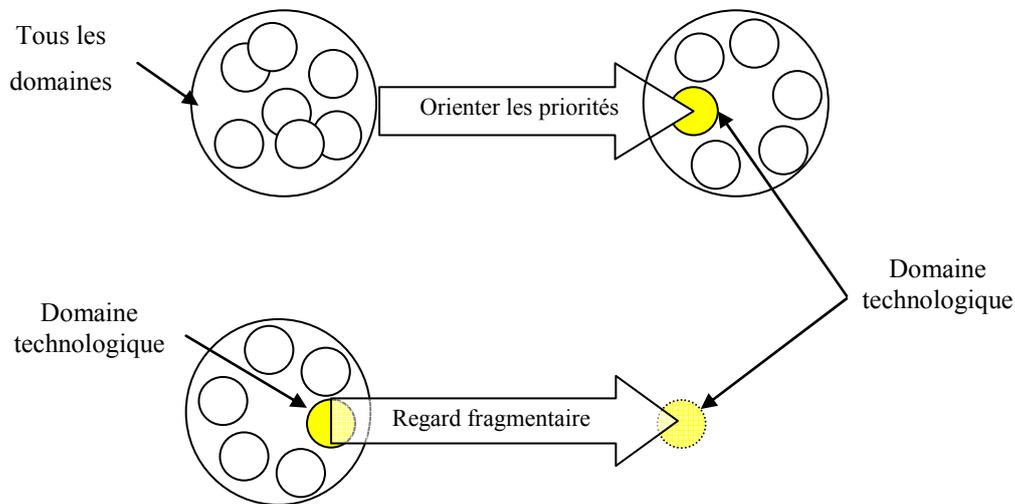


Figure 18. Usage de la prospective par rapport à un domaine donné.

Plusieurs écoles se sont établies autour ce sujet, parmi lesquelles on trouve l'école américaine et l'école française. L'école américaine a privilégié le rôle de la technologie dans la dynamique des systèmes, et a initialement été caractérisée par de raisonnements inductifs, ensuite intuitifs. Elles ont été développées des techniques telles que la méthode Delphi et la création de scénarios (exploratoires, normatifs, stratégiques). A propos de l'école française, les études sur le futur ont visé d'abord sur le domaine officiel social (études démographiques, plans de développement), et le but était associé à la prévision et à la planification. [SMIDA dans LE DUFF, 1999]

En France, divers courants se sont développés: importance des discontinuités du futur et l'approche normative et volontariste de l'avenir (Gaston BERGER); dimension historique et tendances lourdes et régularités (Jean FOURASTIÉ); démarche anti-fataliste, construction des futures possibles (Bertrand de JOUVENEL); et enfin le caractère anti-hasard de l'évolution et des événements futurs (Pierre MASSÉ).

Des études prospectives réalisées en divers secteurs d'activité ont fini en échec où les évolutions prévues ont été loin des faits. Ainsi, plusieurs auteurs ont essayé d'en expliquer les causes. Par exemple: des études trop axées sur la technologie en négligeant des aspects marketing, l'explication du futur avec des termes du passé, hypothèses de départ mal

formulées et sujet d'étude mal délimité, facteurs personnels du prospecteur (non-objectivité), manque d'attention sur les effets de substitution, etc. [FAURET et Al., 2000]. SHNAARS, référé par FAURET et Al., propose quelques recommandations pour franchir ce genre de problèmes: éviter le travail par extrapolation, ne pas supposer que le futur sera une suite logique du présent, éviter de privilégier les tendances marquées dans l'historique (du produit par exemple), etc. [FAURET et Al., 2000]

La prospective traite l'avenir en associant le déterminisme et la liberté: "ce n'est pas seulement le passé qui explique l'avenir, mais aussi l'image du futur qui s'imprime dans le présent." [GODET, 1985]. Ainsi, trois approches possibles (ou leur combinaisons) peuvent s'emprunter par rapport à la prospective et l'innovation: une disposition réactive, qui consiste à être rapide dans l'adaptation lors du changement par moyen d'une structure flexible et attentive (veille de l'environnement et modification permanente du comportement). Une attitude pré-active, pour être prêt au changement, en anticipant les évolutions possibles (les futuribles). Et une attitude proactive, pour être protagonistes de ces altérations (changements, évolutions, voire ruptures). [SMIDA dans LE DUFF, 1999]

Puisque notre intérêt vise, comme l'on a dit précédemment, vers le changement et la différenciation, une approche particulièrement proactive est pertinente. A. MAÏSSEU précise que l'entreprise peut prévenir ces modifications, en prenant l'initiative. Anticiper l'innovation en la provoquant. [MAÏSSEU dans LE DUFF, 1999]

Notre objet initial de recherche était orienté vers ce qui est appelé « prospective produit ». Le but étant de proposer aux décideurs de l'entreprise des moyens pour l'anticipation. Ainsi, l'entreprise serait capable de se préparer pour rester actrice dans le marchés futurs. Or, on remarque que la question d'anticipation se pose aussi dans le contexte d'un processus de conception lui-même. Dès les phases préliminaires du processus, l'entreprise tente d'anticiper les performances des concepts pour mieux faire ses choix, le tout face aux attentes en termes de stratégie préalablement définie. Nous avons ainsi tourné notre problématique de recherche par rapport à ce facteur dit d'échelle (anticipation pour la stratégie puis anticipation des performances face aux stratégies). Mais le problème se pose quant une dialectique se met en place et les stratégies sont définies à même temps que le processus de conception a lieu.

2.4.3.1 Outils de la prospective

Michel Godet dans son ouvrage « La boîte à outils de la prospective stratégique » [GODET 1984] rappelle les quatre attitudes pouvant être adoptées face à l'avenir : « subir » les changements, attitude dite passive ; agir rapidement face à des changements « déclarés » pour les « neutraliser » ou les incorporer, donc attitude réactive, très utile en contextes de crise ; se préparer aux changements éventuels prévisibles pour diminuer « les dégâts » ou en tirer profit, attitude appelée pré-active ; et enfin, « conspirer » pour créer les changements souhaités, c'est l'attitude pro-active, au moyen notamment de l'innovation²⁰. La prospective en général, et particulièrement celle que Godet traite davantage, à savoir la prospective stratégique, englobe principalement deux de ces quatre attitudes, en donnant lieu à la prospective pré-active et à la prospective proactive. Bien évidemment, les objectifs des méthodes et outils de la prospective ne s'intéressent pas aux attitudes passives et envisagent une posture réactive seulement en contextes de crise. Ainsi, au moment d'une structuration organisationnelle ou d'une planification stratégique, il convient donc de prendre en compte de façon équilibrée trois orientations possibles pour la prise de décisions : réactivité, pré-activité et pro-activité.

Face à la complexité du monde réel, il s'avère inutile de chercher « l'équation » révélant l'éventuel déterminisme caché car si c'était le cas, encore l'incertitude, inhérente à toute mesure (surtout dans le social), finirait pour nous montrer tout un éventail ouvert de futurs possibles (Déterminisme indéterminable, d'après)

2.4.3.2 Deux approches sur la notion de prospective

On remarque deux grandes approches sur « l'étude du futur ». D'une part, les interventions prospectives menées jusqu'à aujourd'hui visent en général le long terme (comme le souligne ALLEMAND dans le renouveau de la prospective). Cela implique normalement une vision assez exhaustive (et globale) pour pouvoir se projeter sur l'avenir en proposant des scénarios futurs possibles (ce n'est pas de l'anticipation proprement dit comme précise Allemand). D'autre part, on observe une intention d'anticipation (simulation ?) durant le processus de conception de produits, sous la forme de prédiction des performances d'une proposition quel-

²⁰ Les concepts de préactivité et proactivité peuvent être attribués à Hasan Ozbekhan qui transpose deux adjectifs issus de l'anglais pour la prospective.

conque par rapport aux objectifs visés. Or, nous, ce qui nous intéresse c'est la notion de scénarios de projection pendant le processus de conception, pas au sens d'anticipation de performances, mais sous la forme de « futurs possibles ». Nous essayons d'utiliser la notion de prospection mais à une échelle réduite au processus de conception d'un produit particulier. Ainsi, la prospective dans son acception habituelle serait éventuellement utilisée pour restreindre les réflexions à un périmètre donné et fournirait des critères supplémentaires pour l'évaluation de propositions, une sorte de moyen de validation.

Nous situons les efforts menés dans le domaine de la prospective, notamment celle appelée prospective technologique, dans les grands tendances permettant de déceler des orientations pour que l'entreprise définisse certaines priorités, comme nous l'avons déjà dit. Mais, Nous insistons que cela est valable surtout pour ce qui comprend les innovations techniques, en opposition aux innovations produit décrites plus haut. Le résultats est que ces efforts sont bien adaptés aux modes de fonctionnement usuels ou « classiques » sous forme d'innovation par l'activité de recherche et développement.

2.4.4 Synthèse sur l'anticipation :

Anticiper dans un cadre dynamique et incertain.

Les incertitudes ont été traitées davantage pour l'anticipation des performances des résultats intermédiaires du produit (surtout pendant les phases amont) et non sur les interactions et réactions de l'équipe projet (et globalement l'entreprise) face au déroulement du processus de conception.

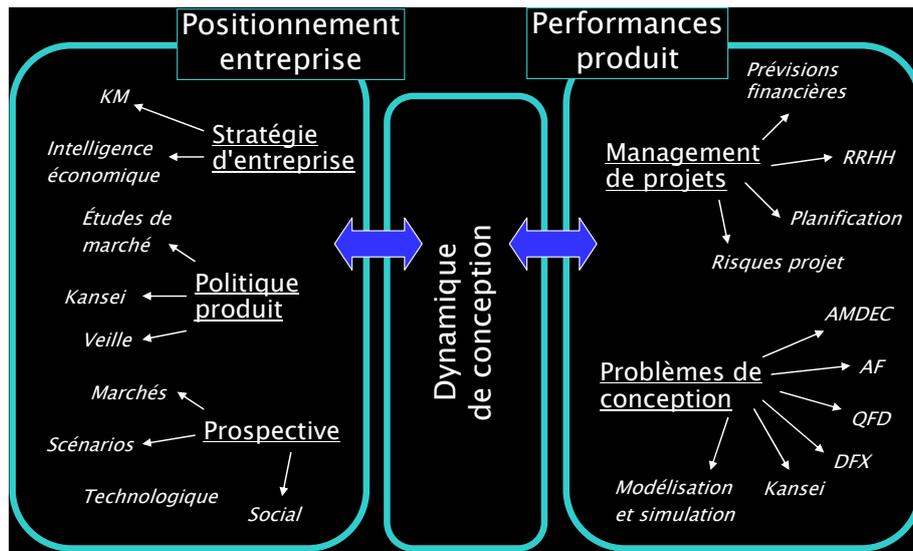


Figure 19. Synthèse sur la problématique de l'anticipation.

2.5 Systémique et Finalisme : nécessité d'une approche alternante

Juste pour préciser comment résoudre la contradiction apparente de proposer un modèle basé sur l'anti-finalisme au même temps que sur la systémique, sachant que dans la définition plus partagée de système les finalités sont une focale incontournable.

Dans ses réflexions sur les sciences de l'artificiel, Herbert Simon affirme que ce qui est spécifique à l'artificiel par rapport aux systèmes naturels est la notion de finalité ou objectif. Ainsi, les sciences de la conception étudient « ce que les choses doivent être » au lieu de « ce que les choses sont » [SIMON 1991]. Nous verrons que dans un processus d'innovation, **il faudra partager cette approche avec ce que nous avons appelé « anti-finalisme »**, c'est à dire, se détacher de la notion de finalité pour être en mesure de proposer des choses nouvelles. Bien sûr, ce partage est réalisé surtout dans le temps, dans une alternance d'approches. Nombreux outils d'aide à la conception dans les phases dites créatives partent de ce principe d'alternance, notamment dans l'émergence de concepts puis de critères de choix par rapport à des objectifs identifiés. Aussi dans les boucles divergence-convergence décrites par plusieurs auteurs [ULLMAN 1986][ROOZENBURG et Al 1991] inscrites normalement dans une démarche plutôt par phases comme celles décrites dans les modèles séquentiels (modèle de Pahl et Beitz par exemple).

Or, il faut distinguer la notion de finalité pour le système « produit en conception » et la finalité pour le système « activité de conception ». Nous nous intéressons à l'approche anti-finaliste (ou mécaniste ?) pour le système « produit en conception ». Ainsi, comme le souligne HATCHUEL et Al. en citant Roussel sur l'activité R&D par projet (R&D dite de deuxième génération) : elle tendait trop à s'adapter aux besoins de leur clients, perdant ainsi leur potentiel innovateur. [HATCHUEL et Al. 2001]

Chapitre 3 : Problématique scientifique

Pas de connaissance sans évolution, pas d'évolution sans connaissance.

« Faire c'est connaître et connaître c'est faire » (“*Todo hacer es conocer y todo conocer es hacer*”) [MATURANA et VARELA, 1989].

3.1 Le processus de conception, l'activité de conception, le début, la fin

En reprenant une des définitions générales plus partagées de ce qu'est le processus de conception de produits, à savoir, aller d'une idée à un produit (de l'abstrait au concret), nous détaillons le schéma de base pour illustrer les possibles dérivés des résultats intermédiaires sur des produits « non prévus » ainsi que des boucles faisant repartir vers un nouveau processus de conception. On pourrait donc représenter avec le schéma de base un processus de conception qui va, par exemple, de l'idée 1 au produit A ou bien au produit B ; ou d'une idée 2 au produit C. Le lecteur verra bien que la question de quand ou où a commencé le processus de conception du produit C reste imprécise par rapport à l'horizon choisi (idée 1 ou idée 2 ?). De même, si un produit résultant (A, B ou C) donne suite à une nouvelle idée 3 qui termine comme produit D, la question de quand ou où a fini le processus de conception dévient donc ouverte. Ces notions seront regardées en détail.

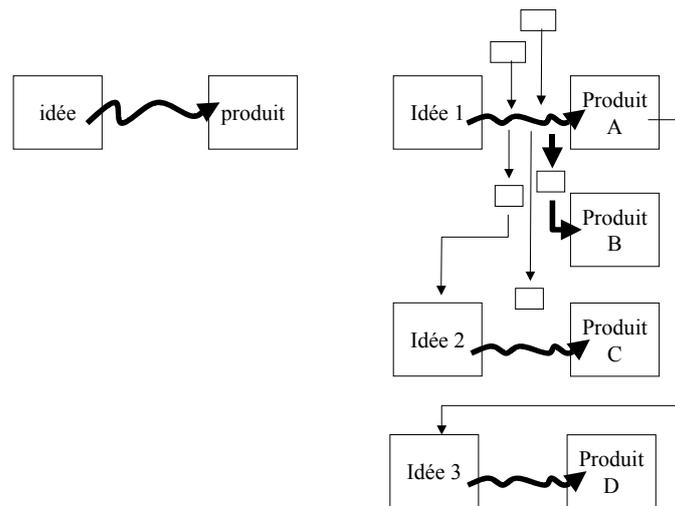


Figure 20. Evolutions d'un processus de conception.

Comme le souligne Jean François Bassereau²¹, une question qui apparaît sou-jacente dans les constats et la discussion sur le contexte industriel, c'est où commence et où s'arrête la conception. La conception (ou l'activité de conception) identifiée comme un processus autour d'un produit implique la mise en place d'un système d'évolutions sur deux aspects de base : le temps et l'espace. Le temps sera lié aux changements d'état. Le temps sera logiquement lié aux délais de réalisation des différentes étapes (structurées ou non) et leur agencement chronologique ; L'espace, au travail entre les acteurs (leurs frontières et interactions,...) et l'environnement (ressources matérielles et immatérielles, la géographie,...).

Nous avons insisté dans le chapitre précédent sur les notions d'anticipation, évolution, risque, etc. C'est pour cela que nous privilégions dans notre recherche la dimension temporelle du processus de conception pour formuler notre problématique.

Quant à la dimension temporelle, nous constatons au moins deux échelles importantes bien distinctes. L'une réfère au processus de conception plus ou moins explicite ou formalisé. Nous l'appelons échelle ontogénique dans la mesure où ce processus devrait aboutir à la création (gestation) bien identifiable d'un produit Nous nous posons donc la question d'à quel moment le processus de conception est initié et à quel moment il est fini. La réponse

²¹ Dans le cadre d'un des Groupes de Travail de Thèse, Laboratoire CPI, Paris, novembre 2004.

dépendra du contexte dans lequel ledit processus est modélisé, comme le souligne Vadcard pour les modèles dits de rationalité technique [VADCARD 1996]. Vadcard cite l'exemple d'un modèle mettant l'accent sur la reproductibilité industrielle comme « critère d'arrêt ». Naturellement, du fait d'être proposé par des industriels, tant que le processus n'aboutit pas à des résultats suffisamment exploitables de ce point de vue, le processus n'est pas considéré comme finalisé [VADCARD 1996]. De manière générale, dans les modèles par phases séquentielles, la notion d'acteur-métier implique que pour des processus de conception privilégiant des aspects spécifiques du produit, le début et la fin seront forcément plus restreints.

L'autre échelle nous l'appelons phylogénique. Elle prend en compte le processus de conception comme un développement qui dépasse les frontières de la conception d'un produit spécifique, en utilisant comme point de départ le résultat d'un autre processus indépendant et où le processus de conception peut aller au-delà de la mise sur le marché du produit fini.²²

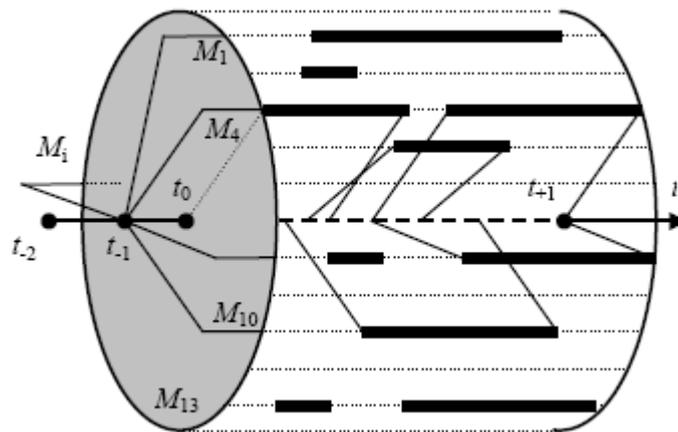


Figure 21. Cylindre du processus de conception podérant l'intervention des acteurs-métiers. [BENFRIHA 2004] Benfriha [BENFRIHA 2004] place le choix d'outils comme un évènement clé avant de démarrer le processus de conception de produits. L'auteur parle d'un instant t_1 . Puis illustre le processus même avec l'utilisation distribuée (suivant une démarche établie) des différentes méthodes et outils associés aux interventions des acteurs-métier impliqués, le tout à partir d'un instant t_0 . Voir figure ##. En nous appuyant sur cette description, nous pourrions avancer

²² Par exemple des produits de base ou d'entrée de gamme pour tester un marché puis décliné en d'autres versions. Ou des produits devenus sous-composants puis modifiés en conséquence.

que le processus de conception démarre par l'utilisation (de manière consciente ou non) d'un outil de conception.

3.1.1 Exemple : le détournement d'objets

- Le changement des fonctions d'un objet existant ou déjà conçu.

- La "**conception de fonctions**" d'un produit, c'est à dire, l'innovation lors d'un changement d'usage d'un produit existant.

- Faire une radiographie de quelques objets ayant souffert cette métamorphose.

- Un possible objectif est de trouver (créer) un moyen (un outil) pour fomentier cette métamorphose. Cela pourrait être un avantage pendant le processus de développement (diminuer les risques, raccourcir le temps), dans le sens de pouvoir profiter d'un produit en effet tangible, réel, ayant toute une chaîne (de production, commercialisation, etc.) connue, et normalement maîtrisée. Bref, de ne pas partir de zéro.

- Certains produits peuvent être utilisés une deuxième fois avec une fonction détournée. Il faut s'assurer que tous les produits (hypothèse) sont achetés pour leur fonction principale (fonction d'usage).

- Il faut noter que ce détournement des fonctions peut avoir lieu durant plusieurs phases du cycle de vie du produit. Ex: en phase de conception (stabilo boss, post-it, prothèse seins 3M), usage primaire (post-it, casque pompier), usage secondaire (briquet), hors d'usage (flacon yaourt), recyclage (canette brique)...

- Un nouvel usage peut impliquer ou non le même principe de fonctionnement. Ex: bocal de confiture utilisé toujours comme récipient, casque pompier devenant un seau à glace.

- C'est important de préciser que l'évolution du produit après ce détournement présuppose un bouclage avec les phases de conception, et que les produits n'arrivent pas tous à ce point. D'autres, par contre, évoluent en créant des produits fils. La séquence logique n'est pas toujours présente.

- Ici on parle de la scissiparité des lignes d'évolution associées à un produit: après la découverte d'une nouvelle fonction, des successives modifications liées au nouvel usage ont lieu (approche lamarckienne). Ex. couteau suisse, post-it, briquet-decapsuleur.

3.2 Considérations épistémologiques

3.2.1 Deux approches expérimentales

Sur l'aspect épistémologique de notre action expérimentale, nous précisons que les recherches en conception de produits (sur l'activité), au moins deux approches sont identifiées : celle de la mise en situation artificielle de l'activité de conception (associée aux courants anglo-saxons des protocoles expérimentaux) et celle de la mise en situation réelle, dans le terrain dans une démarche plutôt de recherche-action (ou action-recherche). Cette dernière est associée souvent aux écoles françaises.

Dans le premier cas, on a l'avantage de maîtriser les paramètres de contrôle et se concentrer sur l'observation précise des indicateurs d'intérêt. Cela rend plus accessible l'étude et l'analyse de l'expérimentation. Mais en détriment d'une représentativité d'une situation réelle de conception. Cette manière de travailler s'appuie très souvent sur une approche analytique (en opposition à la systémique), ce qui facilite l'étude « de détails » en perdant la visibilité globale des systèmes.

Dans le même sens, les expérimentations sous forme de recherche-action s'appuient plus souvent sur l'approche systémique. Dans ce cas, les études seraient à être plus fidèles aux situations réelles, même en utilisant des modèles « réduits » ou simplifiés. Par contre, de par sa nature, cette manière de s'y prendre implique une difficulté accrue de l'observation, l'identification et les analyses des résultats.

En conclusion, comme pour d'autres disciplines dans le génie industriel, ces deux approches s'avèrent toutes les deux très utiles et complémentaires. Par contre, de par le laboratoire d'accueil, de par la problématique que nous avons relevée et de par les caractéristiques épistémologiques de nos hypothèses, nous avons adopté la démarche de recherche-action dans la construction de nos modèles et dans le traitement des activités de terrain. Comme il est souligné dans le rapport de recherche 2003 du LCPI, l'approche épistémologique de

recherche-action liée à une vision « transversale » et d'ordre systémique représente une réponse adaptée aux spécificités majeures du « phénomène de l'innovation », tant vue comme processus que comme résultat [SIMONDON 2001, PERRIN 2001]

3.2.2 Sur l'étude cognitive du concepteur et l'étude de l'entreprise

Lorsqu'on souhaite étudier le processus de conception dans une structure réduite (type PME), où souvent ce n'est qu'une personne qui assure l'activité de conception même, on se pose deux questions : 1°) est-il suffisant d'étudier le concepteur du point de vue cognitif de son activité pour avancer des modèles sur le processus de conception au sein de l'entreprise complète ? 2°) comme est vécu le caractère dynamique, itératif,... de l'activité par les différents acteurs de l'entreprise ? Ici, on pense par exemple aux prises de décisions, aux stratégies, etc. Les acteurs autres que le concepteur sont si près des influences de ce processus, qu'ensuite ils sont mêlés aussi dans la même dynamique. Faudrait-il donc regarder l'entreprise comme un acteur dans son ensemble ? Une espèce d'étude cognitive de la propre entreprise ?

3.2.3 Sur la modélisation et les modèles

Lecture du livre « Enquête sur le concept de modèle » dirigé par Pascal Nouvel

Pascal Nouvel nous précise le rôle des modèles pour les différentes disciplines. Ainsi, dans les sciences de la nature (biologie, physique,...) l'objectif principal de la modélisation est de comprendre. En revanche, pour les sciences dites pratiques (de l'ingénieur, environnement,...), l'objectif c'est d'agir. « Ici, le modèle apparaît comme une approximation sciemment consentie, connue comme telle et acceptée du fait de l'objectif pratique qu'elle permet d'atteindre. » [NOUVEL, 2002]

Alors, pour les sciences de l'homme (économie, politique,...), il y a une spécificité qui relie ces deux approches : comprendre et agir. Dans ce domaine, « l'action de l'homme détermine presque entièrement l'objet sur lequel il réfléchit. » Donc, « la modélisation acquiert la valeur d'une objectivation de la réflexion. Elle se présente comme une clarification des paramètres pris en compte dans le raisonnement » [NOUVEL, 2002]

Voyons qu'en génie industriel, plus particulièrement en conception de produits, encore une spécificité apparaît : de par sa définition, le génie industriel se trouve au carrefour de ces grands domaines scientifiques (notamment les sciences « pratiques » et les sciences de l'homme). En conception de produits, la modélisation vise la compréhension d'une activité humaine en étroite implication avec les modèles issus des sciences pratiques, le tout par rapport à un contexte socio-économique donné, et bien évidemment pour permettre d'agir dans le but de maîtriser cette activité.

Sur les modèles en physique théorique : (Gilles Cohen-Tannoudji)

Nous voudrions garder surtout la notion suivante et qui nous semble importante : l'état d'avancement d'une théorie (on parle donc d'un « cycle de vie » de la théorie). Dans la phase exploratoire (pour relever les premières informations observationnelles ou expérimentales), les modèles sont plutôt « phénoménologique » ou « heuristiques ». Ils ressemblent à ce qu'ingénierie on appelle « modèle réduit » ou « maquette ». Dans ce stade, le modèle est transitoire, il sert de « catalyseur heuristique ». Ramené au contexte de notre recherche en conception de produits, ces modèles pourraient être associés à ceux qu'on appelle de première génération, ils permettent une certaine validation mais surtout ouvrent des voies de réflexion pour être affinés ou être remplacés par d'autres plus utiles. Son existence donne lieu à des questions, pistes, ... qui n'étaient pas forcément considérées avant.

Dans ce sens, ce que nous avons appelé « axes directeurs » de nos hypothèses équivaldrait en partie à ces modèles « heuristiques ». Autrement dit, cette première démarche que nous adoptons dans nos propositions permet d'identifier des voies de réflexion pour après décliner sur des modèles plus concis, puis arriver finalement à des modèles prescriptibles opérationnels.

Sur la modélisation en biologie : (John Stewart)

En faisant référence aux causalités distinguées par Aristote, à savoir causalités matérielles, efficientes, formelles et finales, Stewart (d'après ROSEN) explique les limitations de la physique identifiée génériquement comme la « science des SDDE » (Système dynamique dont l'évolution temporelle est déterminée par son état : state-determined dynamic system). Il arrive donc à que la physique de SDDE exclue rigoureusement la causalité finale.

L'auteur utilise des modèles relationnels pour pouvoir décrire les organismes vivants comme des systèmes ayant la propriété d'une clôture sous causalité efficiente (voir modèle de

ROSEN). Pour les machines allo-poïétiques, fabriquées par un processus autre que son propre fonctionnement, il est possible (en principe) de réaliser un modèle relationnel dont les composants peuvent être mis en correspondance avec les éléments d'un système dynamique (cas classique en physique, mécanique,...). C'est à dire qu'une fois qu'elle est fabriquée, une machine allo-poïétique se comportera en SDDE. Cependant, ces modèles en SDDE ne donnent pas des indications suffisantes pour réaliser la fabrication d'une machine ; la correspondance entre le modèle relationnel et le SDDE ne peut généralement être établie qu'après-coup. En synthétisant, les objets fabriqués par l'homme possèdent deux modèles relationnels distincts.

En conception de produits, on se trouve alors avec cette situation où les deux modèles relationnels (pour la fabrication et pour le fonctionnement dynamique) sont essentiellement distincts. Exercice : pourrions-nous imaginer des produits (ou modèles) où le modèle de fonctionnement dynamique serve aussi comme modèle pour la fabrication de l'objet ?

Nous considérons que même pour la conception (au lieu de la fabrication), aujourd'hui, les modèles des produits en conception ne peuvent pas être utilisés comme modèles du fonctionnement dynamique et vice-versa. Etant donné que les modèles SDDE ne peuvent pas par sa nature prendre en compte les causes finales, et qu'une des spécificités importantes de la conception de produits est la présence de but ou objectif, n'attendons pas alors leur utilisation comme modèles suffisants pour le processus de conception de produits.

Parenthèse : la réparation ou fabrication initiale d'une machine est un processus hétéronome tout à fait distinct du fonctionnement de la machine elle-même (l'usine où une voiture est fabriquée ou l'atelier où elle est réparée n'ont rien à voir avec les routes où elle roule)

La modélisation et les sciences de l'ingénieur : (Nicolas Bouleau)

En prenant la métaphore de la Coupe de l'Amérique, Bouleau nous définit la modélisation :

« En s'appuyant sur les connaissances scientifiques disponibles, met à profit l'informatique contemporaine pour confronter en son sein divers rêves techniques et pour échanger des vues éventuellement biaisées, dans le but d'élaborer un projet d'innovation et de fixer des objectifs collectifs et individuels. »

3.2.3.1 La modélisation et son objectif

Globalement, nous pouvons résumer l'action de la modélisation en l'insérant dans la logique générale face au monde réel. Nous nous appuyons sur le schéma (modèle) présenté par FAGERSTRÖM [FAGERSTRÖM et Al. 2002] (Cf. Figure 18) et confirmons que l'objectif primaire d'un modèle c'est de nous fournir des informations utiles pour pouvoir prendre des décisions qui découlent dans l'action. Ces informations utiles qui sont appelées justement connaissances.

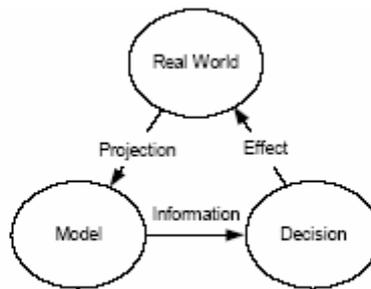


Figure 1: Fagerström's model [Fagerström, 2001]

Figure 22. Représentation de Fagerström sur les modèles.

3.2.3.2 Le concepteur et la modélisation

La modélisation en conception aide donc à comprendre pour prescrire. Mais nous remarquons que plus on mène un effort de modélisation pour rendre de plus en plus exhaustifs les modèles pour la conception, plus le concepteur est éloigné de l'activité de conception originelle.

Pour Visser, « les modèles du processus de conception prescrivent quelles sont les phases de conception et leur organisation temporelle. Sur ces modèles sont basés des méthodes et outils de conception qui vont guider l'organisation de l'activité de conception et les stratégies de conception, au niveau individuel et/ou au niveau collectif: (GROFF 2004)

3.2.4 Sur la recherche-action

Page 123 de [RESWEBER 1995 Que sais-je] :

« Nul ne saurait construire un modèle, sans chercher l'inspiration dans la part d'un rêve créateur qui lui ouvre un espace inédit de formes symboliques »

« On commettrait une grave erreur à proposer des plans, strictement conformes aux moyens disponibles. Le rêve ici évoqué comporte, on s'en doute, une fonction de transgression de la réalité, comme on le dirait dans le discours analytique ».

« La recherche-action rompt sans équivoque avec la logique d'une répétition qui érige l'état des choses existantes en une exigence de vie ou de survie : le principe de réalité (*Realität*) en principe de réalisation (*Wirkung*), pour employer le vocabulaire de Freud. »

« Mais on ne passe pas du rêve à l'action, sans la médiation d'une autre formulation qui force le rêve à se dépasser en projet d'action. La recherche-action suit bien le parcours, trop peu explicité, qui va de la réalité au rêve, en passant par l'épreuve du risque, puis du rêve à la réalité, en passant par l'épreuve de la perte. La réalité formalisée au départ n'est point de même nature que celle qui est reformalisée en finale. La première rend compte de la situation, la seconde la reconstitue. La fonction de la recherche-action est donc d'accuser un écart entre la forme initiale et le modèle conquis. »

Dans Les paradoxes de la recherche-action ou le savoir nomade.

Michel Marié

« L'idée essentielle de K. LEWIN était que, dans le champ social, la vérité scientifique pure n'avait aucun intérêt pratique. Les acteurs ne lisent pas les travaux des laboratoires. Pour qu'une vérité pratique puisse sortir de la recherche il faut que travaillent à son élaboration autant les chercheurs que les praticiens. Oeuvrant de concert, ils produisent un discours moins "dur" que la science de laboratoire, mais plus facilement intégrable au niveau du changement de comportements sociaux »

A partir du moment où l'extériorité absolue du chercheur ne peut plus être considérée que comme une douce illusion, la seule ressource dont il dispose est alors d'introduire la "réfléxivité" au coeur-même de l'acte de connaissance, interrogeant in situ ses circonstances, ses procédures et ses enjeux. Cette manière de construire ses objets tout en prenant de la distance par rapport à ses propres constructions, de mettre ses propres théories en permanence à l'épreuve du social en train de se construire, constitue curieusement et paradoxalement le seul garant de son identité et de l'efficacité cumulative de ses savoirs.

En d'autres termes le savoir cumulatif que peut produire la recherche-action n'est pas tellement à rechercher dans les acquis singuliers des expériences que peut connaître une équipe, mais dans le mouvement général de construction d'un regard. Parlant de réflexivité, l'analyse institutionnelle pourrait parfaitement reprendre à son compte ces quelques réflexions de F. GINSBOURGER : "Dans le dispositif classique de l'expérimentation (où le chercheur construit a priori son objet et dispose sur le "terrain" les moyens de la validation de ses hypothèses),... les caractéristiques universelles dégagées des expériences produisent des hypothèses applicables à une multitude de situations singulières. Au contraire, dans le cas de la recherche-action, il s'agit moins de cumuler des résultats induits d'une hypothèse validée a priori que de rendre compte d'interactions singulières dans un cadre qui permette de penser leur généralité..... En d'autres termes, les singularités de chaque organisation sont pensées comme irréductibles. Ce qui peut donner lieu à cumulation est la forme de réflexivité à l'œuvre dans les interventions"(10).

Voici donc le chercheur installé au coeur de son paradoxe. Pour chaque terrain nouveau d'analyse qu'il entreprend, il doit définir une logique du sens d'autant plus impeccable et convaincante qu'elle ne sera pas reproductible en d'autres terrains. Mais en même temps chaque nouveau terrain, chaque nouvelle recherche est pour lui l'occasion d'un réarmement de théorie. Loin de refuser toute théorisation, bien au contraire, il doit se méfier de toute pétrification de la théorie. Posture pragmatique et maïeuticienne, s'il en est (opposée à magistrale et didactique). On pourrait, à bien des égards, comparer la posture de la recherche-action à l'attitude d'une mère qui apprend la marche à son enfant, non pas en lui donnant des cours de maintien, mais en le soutenant de son affection, pour qu'il apprenne à voler de ses propres ailes. L'apprentissage de ce geste universel qu'est la marche n'est possible que dans une transaction, c'est-à-dire une zone de l'activité humaine qui engage singulièrement toute l'affectivité du rapport.

En résumant, le grand apport de la recherche-action est d'avoir obligé à penser dans un même mouvement de l'esprit intervention et perception du milieu dans lequel on agit, implication et distanciation. Or, cette fusion de deux genres que la théorie sociale tendait à disjoindre, ne peut être appréhendée que sur le temps long de l'expérience des chercheurs et des équipes. Dans ces conditions, ce que j'ai appelé précédemment réflexivité doit être développé selon un double registre : d'une part le registre de la transaction sociale à l'œuvre dans chacune des

expériences, c'est-à-dire le jeu complexe du transfert et du contre transfert entre le chercheur et son milieu, par lesquels s'opèrent certaines formes de socialisation de l'action ; d'autre part tout ce travail que le chercheur effectue sur lui-même pour connaître les présupposés de ses propres engagements affectifs et cognitifs : se mettre à la place des autres et ainsi créer les conditions de sa propre mise à l'épreuve. Il est grand temps que le chercheur renonce à répéter le récit de l'autre selon les règles de sa propre mise en intrigue(11). Fin de la citation.

Positionnement : Il nous semble très utile d'appréhender notre recherche sur un cadre de type recherche-action car nous défendons le caractère évolutif du processus de conception face aux interactions que ce dernier mène avec son milieu extérieur (ici, le contexte réel : industriel, économique,...). Et ce type de démarche scientifique nous semble très adaptée pour prendre en compte justement cette spécificité des processus de conception.

Il reste une question sur la démarche à adopter pour construire des modèles prescriptibles. Si la recherche est trop étroitement liée à l'action, les modèles seront probablement très « réalistes » et plus faciles à intégrer, mais le risque de ne pas apporter des changements substantiels pour faire une rupture dans l'amélioration de l'efficacité et la réussite est peut-être plus important. Au contrario, si la formulation des préconisations est réalisée très éloignée de l'action, le risque d'adaptation au contexte réel d'utilisation est majeur mais les possibilités de proposer des changements plus importants vers un saut d'efficacité et réussite augmentent elles aussi. qui pourrait être comparée avec le dilemme trouvé par les décideurs par rapport au degré d'innovation que l'on souhaite adopter (faibles innovations à moins de risques ou ruptures potentiellement plus rentables mais aussi plus risquées).

3.3 La relation des modèles de conception et l'entreprise

De manière globale les différents modèles proposés pour rendre compte du processus de conception sont construits de la perspective des acteurs de la conception (traditionnellement les concepteurs, ingénieurs, puis plus récemment une équipe élargie avec d'autres acteurs-métiers). Or, même si ces modélisations ont été utilisées « sans problème » et exploitées dans une très large diversité de contextes industriels de conception, ils n'explicitent pas assez les impacts réels dans l'entreprise en termes de capitalisation, de définition de stratégies, etc. Ce que nous appelons dans le cadre industriel, l'influence d'un processus de conception dans

l'activité de l'entreprise en termes de livrables (intermédiaires ou définitifs) et non du point de vue organisationnel (et matériel) de la structure.

En effet, ces modèles de conception (outils, méthodes, démarches) ont été portés dans la plupart de cas par des concepteurs (souvent des ingénieurs), donc en privilégiant naturellement leur perspective. Ce que nous avons appelé « modélisation technocentrée », en paraphrasant le terme maintenant très employé en conception de produit (conception technocentrée, conception anthropocentrée).

Cela reste logique dans la mesure où les modèles de conception sont construits principalement dans le but d'assister les concepteurs. Des modèles dédiés à la prise en compte de dimensions spécifiques de la conception de produits prennent bien sûr en compte l'entreprise dans leur formulation, mais très souvent sous forme de contrainte ou sous forme d'émetteur-récepteur des informations. Il nous paraît insuffisant la prise en compte de la dimension dynamique de l'entreprise comme une sorte d'acteur influencé par l'activité. (à revoir)

3.3.1 Problématique à la fois industrielle et scientifique

Dans notre problématique à la fois industrielle et scientifique, nous constatons que deux manques se présentent de manière réciproque. D'une part nous vérifions que les études scientifiques, en général dans une approche cognitive du processus de conception, ne prennent pas en compte les contraintes industrielles de manière directe surtout pour la mise en pratique de la part des entreprises (l'on pense notamment aux petites structures). Ces travaux se concentrent sur un aspect plutôt micro de l'activité de conception. Cela est très important pour construire les bases de réflexion pour concevoir des méthodes ou outils pratiques, mais reste insuffisant.

D'autre part, les méthodes et outils issus plutôt des pratiques sur le terrain sont bien en face de l'application industrielle rapidement exploitable, en y intégrant une approche plus macro de l'activité de conception. Mais la plupart de ces moyens ont été créés par et pour les grandes structures (l'on pense en ressources financières et humaines ainsi qu'organisationnelles). Cela impliquerait qu'un transfert ou une adaptation à d'autres types d'entreprises nécessite d'une compréhension plus fine des mécanismes mis en place dans le processus de conception, donc des résultats des études scientifiques usuels.

Parallèlement on trouve que ces mêmes approches dites cognitives correspondent dans la plupart de cas à une démarche d'abord très descriptive de l'activité et du processus de conception pour éventuellement prescrire dans un deuxième temps (un peu la démarche des sciences de l'ingénieur : décrire, prédire, prescrire).

3.3.2 Niveau décisionnel : objectifs, stratégies, modes opérationnels

Cette section nous permettra de positionner rapidement nos intentions en termes de niveau d'action dans la structure décisionnelle de l'entreprise par rapport au processus de conception.

Nous considérons dans nos réflexions que l'entreprise a déjà mené un processus « d'introspection » pour la définition d'objectifs globaux. De ce fait, lorsqu'elle s'implique dans un processus de conception (par sa propre initiative ou par recommandation extérieure), de manière explicite ou non, des choix primaires ont été faits et un diagnostic a été partiellement entamé.

Un problème se présente du fait que l'entreprise en tant qu'organisation est un « continuum d'évènements émergents et pas une photographie », donc, la définition de l'identité n'est pas stable, elle fait partie d'une évolution créant des signifiés et des réalités.

Nous prendrons la typologie des niveaux décisionnels prise par [LETOUZEY 2001] dans le cadre de la conception de systèmes de production : les décisions stratégiques, qui sont des politiques prises à long terme et qui conditionnent la volonté et l'avenir de l'entreprise ; tactiques pour le moyen terme, qui assurent la cohérence entre les stratégies et les actions réellement menées ; et enfin, les opérationnelles, de niveau plus près du terrain pratique, inscrites dans le court terme.

Nous nous intéressons particulièrement au traitement (et nature) des informations utilisées pour chacun de ces niveaux, notamment ce qui concerne à la notion d'incertitude.

Comme le souligne [LETOUZEY 2001], « On peut aussi différencier ces trois catégories par l'incertitude régnant sur les données manipulées et en particulier sur les commandes. A un niveau stratégique, les commandes sont gérées essentiellement sous forme de prévisions, obtenues par des calculs statistiques et des études de marchés ; par nature, elles ne sont pas

sûres et peuvent être réévaluées à chaque remise en cause des décisions à long terme. Les décisions tactiques sont prises à partir de commandes fermes et de prévisions. Elles sont entachées de moins d'incertitude, mais doivent aussi être régulièrement remises en cause. A un niveau opérationnel, on travaille sur des données fermes en grande majorité, mais l'incertitude ne disparaît pas totalement (commandes urgentes, annulées, etc.), même si elle est rarement prise en compte. » [LETOUZEY 2001]

3.3.3 Réponses méthodologiques aux incertitudes

La problématique de la présence d'incertitudes a été abordée avec des approches variées : Quelques auteurs intègrent la notion de « comprendre l'incertitude » [BOOKER 2004] [TOMALA 2003], l'estimation de performances techniques, d'autres adoptent des démarches probabilistes. etc.

3.3.4 Processus analytique et processus créatif

Le processus de conception, selon CHEN [CHEN 1999] consiste en deux processus distincts : Le processus créatif où les nouvelles idées ou solutions sont synthétisées dans l'absence d'exemples qui les précèdent ; Et le processus analytique, où il y a la prise de décisions en évaluant ces idées proposées. Le processus créatif dépend étroitement de la base de connaissances du concepteur et de la créativité bien sûr²³.

« Le problème spécifique qui se pose en conception innovante, découle directement de l'absence de référentiel permettant d'apprécier les conséquences respectives de différentes alternatives de conceptions. Le problème de recherche qui se pose en gestion du processus de conception est donc de réduire les risques de mauvaises décisions, en fournissant aux concepteurs (ou plus généralement aux décideurs qui en pilotent l'activité) une vision plus proche de la réalité des impacts de l'innovation considérée sur les produits et processus, pendant tout leur cycle de vie (ex : impact sur le coût de développement, sur le coût de production, sur la valeur ajoutée pour le client ou pour le producteur, nouveaux services induits susceptibles d'être valorisés, risques après vente, coûts futurs de recyclage, ...) ». [DENEUX 2002]

²³ Pour un même problème, différents concepteurs auraient des idées de solution différentes. Il peut y avoir un nombre infini de solutions créatives qui peuvent satisfaire un même ensemble de spécifications pour un problème de conception donné.

Nous prétendons de répondre à cette problématique en approchant le plus possible ces deux processus distingués par CHEN [CHEN 1999]. Le processus créatif devra aider à l'analyse et à l'évaluation en fournissant plus d'information et des critères de choix. Au même temps, le processus analytique devra permettre d'une part de fiabiliser l'exploitation des résultats issus du processus créatif, et d'autre part, d'organiser les informations pour pouvoir les exploiter comme données d'entrée pour les actions créatives.

3.3.4.1 Sur l'approche intégrative de la conception :

A une époque, le découpage hermétique des métiers aboutissait à une « standardisation anti-créative » supprimant toute affectivité des acteurs envers leur tâche. En conception, un cloisonnement similaire s'était aussi installé. C'était « le bureau d'études le maître d'œuvre dans l'élaboration du produit ». Or, aujourd'hui, cette organisation cloisonnée montre ses limites très rapidement avec la prise en compte de plus en plus d'acteurs (sens métier), notamment quand il s'agit d'une démarche d'innovation²⁴. [LE COQ 1992]

Cette intégration (en opposition au cloisonnement) est donc prise comme réponse, d'une part à cet ajout de dimensions auparavant prises en compte de manière très isolées (dans le meilleur des cas en forme séquentielle), et d'autre part, au travail en simultané des différents acteurs (diminution de délais et cohérence produit), ce qui est devenu le « paradigme de l'intégration ». Or cette intégration pose de nouveaux problèmes (langages différents, organisation des équipes, utilisation des représentations intermédiaires, etc.).

Il y a cependant diverses façons de mettre en place cette intégration, par exemple par rapport à sa place tout au long du processus de conception. C'est à dire, pour certains (selon le produit, le contexte d'entreprise,...) l'intégration a lieu dans la recherche de solutions (conception globale par exemple), pour exploiter les propriétés synergiques du travail créatif en groupe métiers divers, et s'installe jusqu'à la fin du processus pour les phases de conception détaillée, dossier produit, industrialisation, etc. notamment dans les prises de décisions. D'autres, établiront la logique intégrative dès les phases de formulation de besoins, aussi, on trouve des intégrations « intermittentes », ce qui dépendra du contexte du projet. Dans la figure,

²⁴ Ici, le sens « démarche d'innovation » est confondu avec développement du produit dans l'esprit de que s'il y a développement de produit c'est parce que c'est nouveau, au moins pour l'équipe projet.

[ROOZENBURG ET EEKELS 1995], proposent donc une démarche pour le processus de conception, où l'on voit la notion d'intégration (dès l'expression ou validation d'une idée après sélection), et nous pensons que même si l'illustration ne le montre pas, des échanges sont bien sûr établis entre l'équipe production, l'équipe produit et l'équipe marketing (seul moyen de parler d'un même projet dû la simultanéité des actions). Dans ce processus, la dimension innovation est donnée d'une part par la définition des stratégies, politique produit et génération d'idées d'après les résultats à la fin du processus appuyés sur l'obtention du produit stratégique (boucle).

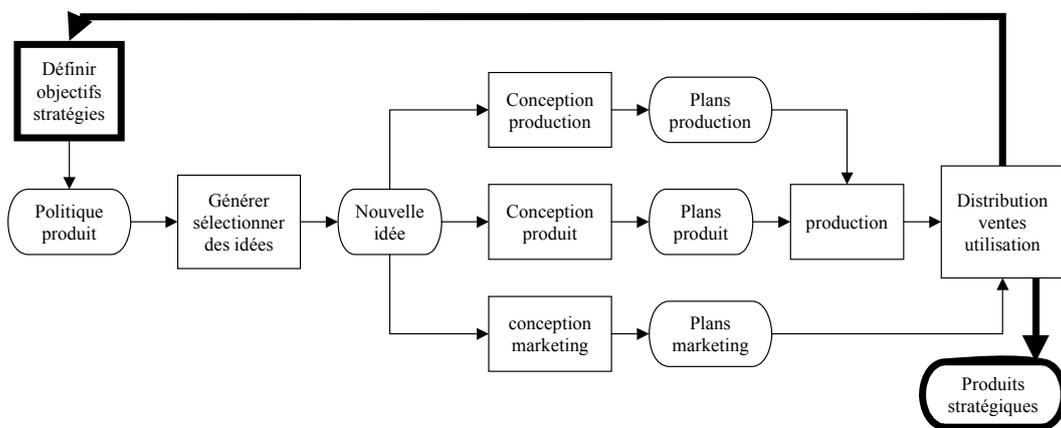


Figure 23. Modèle de conception et innovation de ROOZENBURG et EEKELS.

En revanche, comme le montre [ANDREASEN et HEIN 1987], une autre possibilité se met en place dès la phase de reconnaissance d'un besoin (quelque moyen soit-il). Evidemment, l'intégration n'est pas seulement la prise en compte mais comment elle est faite et quelles directions et quels sens sont privilégiés (on parle ici des flux transversaux des informations).

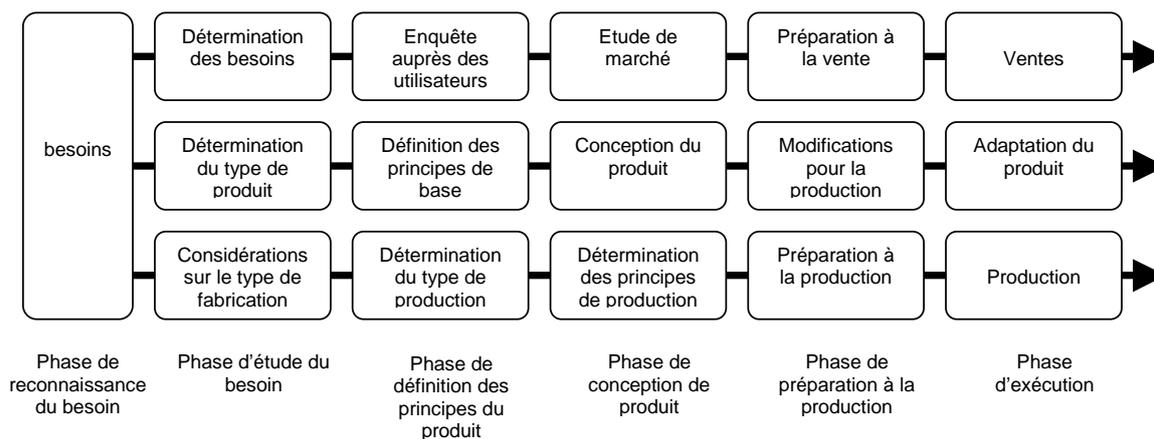


Figure 24. Modèle intégratif de ANDREASEN et HEIN.

3.3.4.2 Pluridisciplinarité et autres

La pluridisciplinarité :

« La pluridisciplinarité concerne l'étude d'un objet d'une seule et même discipline par plusieurs disciplines à la fois » ... « La connaissance de l'objet dans sa propre discipline est approfondie par un apport pluridisciplinaire fécond. La recherche pluridisciplinaire apporte un plus à la discipline en question ... mais ce "plus" est au service exclusif de cette même discipline. Autrement dit, la démarche pluridisciplinaire déborde les disciplines mais sa finalité reste inscrite dans le cadre de la recherche disciplinaire »

L'interdisciplinarité :

« L'interdisciplinarité a une ambition différente de celle de la pluridisciplinarité. Elle concerne le transfert des méthodes d'une discipline à l'autre . On peut distinguer trois degrés de l'interdisciplinarité : a) un degré d'application ; b) un degré épistémologique ; c) un degré d'engendrement de nouvelles disciplines ».

La transdisciplinarité :

« La transdisciplinarité concerne, comme le préfixe "trans" l'indique, ce qui est à la fois entre les disciplines, à travers les différentes disciplines et au delà de toute discipline. Sa finalité est la compréhension du monde présent , dont un des impératifs est l'unité de la connaissance. »

3.3.4.3 Du BE au BEI :

Dans la plupart de PME le processus de conception de produits est garanti par le bureau d'études (s'il existe) qui en plus assure les activités de R&D quand elles sont présentes. Or, l'on a vu précédemment que mener une démarche d'innovation requiert une intégration des divers services ou activités au sein de l'entreprise.

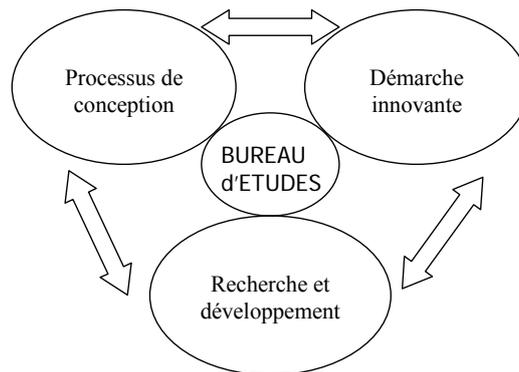


Figure 25. Positionnement du bureau d'études en PME.

Aujourd'hui, les avantages qui donne une approche plutôt intégrative de la conception, surtout quand c'est sous forme de démarche d'innovation, ont été vérifiés par la pratique des entreprises (LE COQ). Or, comment doit-on faire quand cette intégration dont parlent LE COQ et AOUSSAT est assumée par un même acteur ? ou en tout cas une seule personne doit assimiler les préconisations avancées par les interlocuteurs représentant les différentes dimensions du produit ?

Dans ce contexte, présent par exemple sous forme de prestation (sous-traitance, conseil,...), nous identifions que les difficultés liées à l'intervention de plusieurs acteurs-métier (partage d'informations, standardisation ou codage des représentations intermédiaires, etc.) n'est plus vraiment présent car un seul acteur est concerné. Par contre, une formalisation minimale des rendus est nécessaire pour transférer et faire participer les responsables d'entreprise. L'intégration comme nous l'exprimons plus haut, est assurée par un acteur, Plus généralement, nous posons l'hypothèse qu'une configuration intermédiaire (à mi-chemin) de cette logique d'intégration doit pouvoir répondre à cette apparente contradiction.

3.3.4.4 Vers le juste nécessaire méthodologique : oui, mais comment ?

Face à une prolifération des méthodes et outils disponibles pour les acteurs de la conception de produits il est posé le problème du choix (BENFRIHA, ARNOULD, BASCOUL, VADCARD,...). Ce choix reposerait sur la pertinence pour l'entreprise et ses ressources, le projet, le produit, à quel moment, comment, etc. Cette problématique fait un objet de recherche à part entière, voire tout un programme vaste de recherche. Or, nous voulons soulever ici un aspect particulier qui traduit en partie ce problème de choix. Nous l'illustrerons avec l'exemple aujourd'hui classique du marteau et le clou :

Le rêve du clou et le risque du marteau :

En ce qui concerne les outils de la prospective stratégique, on doit rappeler son utilité: stimuler l'imagination, réduire les incohérences, créer un langage commun, structurer la réflexion collective et permettre l'appropriation. Cependant, il ne faut pas oublier ses limites et l'illusion qui découle de la formulation : les outils ne doivent pas substituer la réflexion ni freiner la liberté du choix. Ainsi, on peut faire face pour éliminer deux erreurs systématiques: **Ignorer que le marteau existe lorsque l'on trouve un clou (le rêve du clou) ou, *a contrario*, puisqu'on connaît l'usage du marteau, on finit par croire que tous les problèmes se ressemblent à un clou (le risque du marteau).** Il s'agit d'un combat paradoxal : D'une part, diffuser l'usage des outils, et d'autre part, dissuader de son usage aux néophytes si ce n'est pas fait de manière appropriée et opportune.

3.4 Dynamique, évolution et opportunisme dans la conception innovante

« Notre rôle est de transformer des fragments de hasard en nécessités de l'évidence »
[MOLES 1990]

3.4.1 Les modèles de conception et la démarche d'innovation

3.4.1.1 Les modèles linéaires

Assimilés aussi à tous les modèles dits de conception systématique type Palh&Beitz (conception systématique de l'école allemande). Comme le souligne HATCHUEL et Al. « Ces modèles sont avant tout un moyen de routiniser la conception et, surtout, il permet de domestiquer l'innovation ». [HATCHUEL et Al. 2004]

Les modèles linéaires assurent une visibilité du processus très efficace, mais ne tiennent pas compte de « irrégularités » du parcours. Pour une capitalisation des connaissances issues des décisions prises au cours du processus de conception, ce modèle est moins propice. L'intégration des connaissances est principalement présente sous forme de base de données systèmes-solutions.

3.4.1.2 Sur les modèles évolutifs

Les modèles évolutifs ont été développés surtout dans le contexte de l'ingénierie informatique, notamment en communications. Ainsi, PAZOS-ARIAS, à l'Université de Vigo en Espagne (Cf : http://www.det.uvigo.es/~jose/doctorado/proceso_sw/sld013.htm) décrit le processus de conception de logiciels en détaillant leur cycle de vie.

Nous prenons les précautions nécessaires lors de cette transposition d'univers car les produits logiciels jouissent d'un support matériel particulièrement souple qui confère une réactivité accrue pendant le processus de conception.

PAZOS-ARIAS mentionne principalement trois concepts : le prototypage évolutif, le prototypage expérimental et le cycle exploratoire.

-Prototypage évolutif : Il doit être utilisé dans des systèmes où il n'est pas possible, au départ, de déterminer les spécifications (Ex: systèmes d'intelligence artificielle, interfaces utilisateur,...) Il s'appuie sur des techniques qui permettent d'obtenir des premières versions du système et ce de manière rapide. Il est impossible sa vérification puisqu'il n'existe pas de spécifications. La validation démontre, cette fois de façon subjective, l'adéquation du système.

-Prototypage expérimental : il est surtout utilisé pour préciser les spécifications et fournir aux acteurs du projet de l'information utile pour réduire les risques. Le prototype est réalisé à partir d'un cahier des charges initial, puis il y a l'expérimentation pour finalement être éliminé. Ce prototype expérimental n'est pas un système final : il peut ignorer certaines caractéristiques du système ; ce système est faiblement structuré et difficile d'être conservé.

-Cycle de vie exploratoire : Le but de ce modèle est très souvent celui de construire un prototype pour comprendre et valider des spécifications. En effet, il peut faire partie d'un processus de développement (par exemple en cascade) ; d'un système interactif de taille petite ou moyenne ; pour des sections de systèmes de grande taille (par exemple des systèmes AI ou des interfaces) ; ou encore pour des systèmes de temps de vie court. Par contre, cette approche manque de la visibilité vis-à-vis du processus et ce sont des systèmes très peu structurés.

3.4.1.3 Sur le modèle en spirale de Boehm

Ce modèle a été notamment proposé pour le développement de logiciels et nous prenons encore les précautions citées en 3.4.1.2. Jean-Paul CALVEZ mentionne le modèle de Boehm en le définissant ainsi : « Le modèle Spirale décrit le développement comme un processus itératif selon 4 phases, permettant de combiner différentes approches : expression des besoins, faisabilité, prototypage, développement du produit fini ».

(Cf. <http://www.asti.asso.fr/pages/dicoport/AHDicncs.htm>)

Ce modèle rejoint l'axiomatic design dans une configuration spécifique du "zig-zag" proposée par Nam Suh pour le passage du domaine fonctionnel au domaine physique.

3.4.2 Les itérations durant le processus

Les itérations pendant le processus de conception ont été bien prises en compte par des nombreux auteurs modélisant le processus de conception. Elles s'avèrent déterminantes dans la dynamique même du processus, mais pourtant, leur étude n'a pas insisté sur la possibilité de détailler une sorte de pilotage qui consisterait d'une part de la maîtrise de ces itérations « fatales » pour les réduire ou optimiser dans le temps, mais aussi de se servir de leur potentiel

pour la création de connaissances utiles pour le processus donc, comme source intentionnelle pour avancer.

3.5 Les espaces de conception, leur évolution et leur traitement

3.5.1 Forme et fonction

La forme qui suit la fonction ou la fonction qui suit la forme ? Ce débat a toujours existé entre les différentes écoles de conception de produits. Pourtant, tout le monde ne parle pas de la même chose.

1) En effet, d'un côté, on discute d'un point de vue stratégique. C'est une question de **choix** lors d'adopter une démarche de conception (structurée ou non). Est-ce qu'il faut privilégier la forme et adapter la fonction (ou la performance) à ce qui en résulte ou au contraire, doit-on penser à la fonction puis réfléchir aux formes « possibles » ? On parle même d'une question de préférence ou de sensibilité.

Se poser cette question de cet angle oblige imaginer d'autres possibilités. Par exemple, traiter la fonction et la forme avec le même niveau d'importance ou priorité. Ou inclure d'autres dimensions importantes lors de l'adoption d'une stratégie particulière, à savoir, le coût, les procédés de fabrication, ... ce qui nous amène à regarder la question initiale tout simplement intégrée dans une logique « design to X ».

2) D'un autre côté, il y a le point de vue de l'observateur qui essaie de décrire un phénomène, en l'occurrence le processus créatif. Il se pose la question de si dans les mécanismes internes (dans le sens mental, de raisonnement,...) du concepteur, il aborde au premier la fonction pour penser après à la forme ou à l'envers. Les avis sont partagés. On parle même de qu'ici, on peut aussi se poser une question de choix mais par rapport à ce qui est souhaitable du point de vue « performance » pour améliorer la créativité (en prenant la prémisse de qu'en effet on peut arriver à réaliser ledit choix).

Ces deux manières d'aborder la question initiale révèlent aussi deux échelles différentes des réflexions qui auraient réellement la même nature. Dans le premier cas, le processus de

conception (et les choix stratégiques-méthodologiques impliqués) est vu de manière plus globale. Au contraire, dans le deuxième, si l'on accepte qu'un choix est possible, on parle aussi de choix stratégique-méthodologique mais à un niveau plus micro, « plus près du cerveau du concepteur ».

Exploration nouvelles fonctions = revision de l'identité de l'objet [Hatchuel 2004]

Nous avançons l'hypothèse générale que tout processus d'innovation doit à un moment ou un autre se construire sur le principe mécaniste (en opposition de celui finaliste) qui est basé sur « la forme avant la fonction ». Rappelons que la conception créative et la conception originale d'après le classement montré dans la section ## partent des stratégies de résolution inconnues d'avance, et en particulier pour la conception originale, elle est basée sur des sources de connaissances connues.

3.5.2 Critères de conception

« Les objets intermédiaires, à travers leur fonction de représentation du produit en cours de conception, sont les supports médiatiques de certaines des caractéristiques de ce produit. Ils vont permettre en cela une évaluation, un jugement, sur le produit. Mais à partir de quoi va se construire cette évaluation ?

Pour Garro [GARRO 1997] l'évaluation se fait à partir de critères qui sont :

- dans un premier temps construits à partir d'associations d'idées
- dans un deuxième temps utilisés, de manière qualitative, pour faire des comparaisons
- permettent dans un troisième temps, à partir de conjectures⁸ relativement à une solution qui paraît plus pertinente, de faire des tests sur sa viabilité. Différentes impasses successives rendent possibles l'émergence d'un compromis entre ces différentes conjectures²⁵.

Les critères apparaissent sans ordre préalable, en fonction des préoccupations et des points de vue de chacun.

²⁵ Une conjecture est une proposition avancée comme possible, une hypothèse à évaluer par le groupe

Pour Blanco [BLANCO 1998], on retrouve deux notions dans le concept de critère :

- l'une a trait à la caractérisation de ce qui est à évaluer et s'appuie sur une représentation de la solution. Il faut donc que l'objet intermédiaire, qui représente la solution, donne prise au concepteur, c'est à dire offre un moyen qui lui permette de porter un jugement.
- l'autre concerne la comparaison avec des référents évaluatifs et renvoie au problème de conception dans lequel s'inscrit cette évaluation. Le jugement se construit, à partir des prises auxquelles le concepteur a accès, par comparaison avec des éléments de référence qui sont fonction de sa représentation du projet.

Ce que Blanco appelle projet ici est ce que nous appellerons au chapitre 5 le problème de conception, construit en interaction avec la situation problématique.

Définir un critère de conception, c'est alors établir une prise sur une représentation du produit permettant à un acteur du processus de conception d'évaluer une solution par rapport à sa propre représentation du projet.

On peut remarquer que suivant cette approche de la notion de critère :

- l'action d'évaluation n'est pas indépendante du type de représentation utilisée, et donc des objets intermédiaires et des outils utilisés pour les construire,
- la multiplicité des acteurs de métiers différents engagés dans la conception va faire apparaître une multitude de critères possibles. En effet, pour un acteur, les prises pertinentes sont fonction de son métier et les référents évaluatifs ne sont pas obligatoirement les mêmes que ceux de son voisin, si chacun se réfère à son propre métier.

C'est pour que les représentations personnelles des critères mobilisés soit construites de manière commune pour tous les membres du groupe que les critères doivent être négociés.

Le concept de critère de conception correspond à une mise en relation de caractéristiques du produit à concevoir avec une représentation du projet, dans une procédure d'évaluation. Il apparaît comme un lien entre projet et solution.

3.5.3 Les objets et représentations intermédiaires

« Les concepteurs passent le plus clair de leur temps à créer, discuter, interpréter, évaluer, transformer, ... des textes, des graphes, des traces de calculs, des représentations du produit en cours de conception (sous forme de différents schémas, de dessins, de modèles informatiques), des maquettes ou prototypes ... C'est pourquoi, nous avons décidé de créer une catégorie générique, "les objets intermédiaires de la conception". Il s'agit des objets produits ou utilisés au cours de l'action de conception, mettant en relation outils, procédures et acteurs. » [JEANTET 1998]

« Ces objets intermédiaires sont construits à partir des outils dont disposent les concepteurs et des connaissances que ces mêmes concepteurs possèdent ou ont construit sur le produit. Ils représentent ce que le (ou les) concepteurs savent ou supputent sur ce produit à l'instant considéré, l'image du produit en cours de conception. Construits par un acteur, dans une dimension publique ou privée, et soumis dans le même mouvement à la critique des autres, ils permettent de tester des idées et de mémoriser le résultat de décisions prises sur des choix de conception. Ce sont des moyens de médiatisation, au service de l'interaction, durant l'activité de conception. »

Ces objets intermédiaires sont de nature hybride. Ils sont à la fois modélisation et représentation du futur produit. [MER 1995].

Cette représentation est contextualisée et évolue avec la connaissance croissante relative au projet. Les objets intermédiaires qui prennent vie dans une conception constituent ce que Blanco [Blanco 1998] appelle la trace du processus de conception mis en oeuvre par les acteurs. S'ils permettent de conserver la trace du processus, ils ne donnent pas accès, à posteriori, aux processus de décisions dont ils ont été les supports. L'objet pris seul, sans les interactions dont il a été le centre, ne permet pas de revenir sur les raisons des choix.

Au fur et à mesure de l'avancement de la conception, l'objet intermédiaire, sujet de l'interaction, capitalisera de plus en plus de connaissances sur le produit. Il risque de devenir de plus en plus fermé. On peut faire par contre l'hypothèse, avec Mer, qu'au début de la conception les objets intermédiaires doivent être le plus ouvert possible.

Exemple : les objets intermédiaires de l'analyse fonctionnelle, le premier Cahier des Charges

Fonctionnel doivent être les plus ouverts possibles.

L'observation des différents objets intermédiaires qui prennent vie dans une action de conception permet [JEANTET 1998] :

- de repérer la singularité de cette conception, à travers le contenu que les objets intermédiaires rendent visibles,
- de suivre l'avancée de la conception, de repérer les différents acteurs et leurs modalités de participation au projet, les moments d'ouverture, de négociation, d'incertitude, ou au contraire de clôture, de décision, et de création d'irréversibilités, et les points sur lesquels portent ces moments.

Pour Blanco [BLANCO 1998] les objets intermédiaires permettent de résoudre les conflits en les donnant à voir. La coopération qu'ils permettent d'engager, entre les différents acteurs représentant différents points de vue, permet l'émergence de solutions, c'est à dire la conception par le groupe d'une solution dont aucun acteur n'était porteur initialement. » [PRUDHOMME 1999]

3.6 Sur l'évolution et les ruptures

Evidence : Avec l'évolution, tout est provisoire (Danièle Verdier)

Les changements qui se mettent en place, soit progressifs soit soudains, dans tout processus de transformation, nous conduisent à étudier les mécanismes d'évolution qui peuvent avoir lieu. Dans ce sens, nous avons réalisé une recherche bibliographique sur diverses théories en évolution (plusieurs domaines), pour y repérer les concepts et notions plus importants.

Évolution, définition de base: Suite de transformations dans un même sens. Transformation graduelle et conçue en général comme assez lente, ou comme formée de changements élémentaires assez minimes pour être remarqués. [ROBERT, 1985]

La deuxième définition ci-dessus exclue tout processus discontinu et brusque. Or, si on prend le concept d'évolution dans son sens large de changement, plusieurs types d'évolution peuvent

se développer selon le critère adopté: évolution rapide, lente, continue, discontinue. Évolution progressive ou régressive. [ROBERT, 1985]

Dans le domaine de la biologie, plusieurs doctrines ont été formulées. Celles qui partent de l'évolution comme un phénomène continu fondé sur l'hérédité des caractères acquis (Darwin, Lamarck), ou celles qui proposent un processus discontinu sans hérédité (Mutationnisme). [ROBERT, 1985]. En effet, De Vries conteste ce caractère lent et graduel de l'évolution en supposant que les modifications des espèces peuvent être brutales. D'autres courants ont été aussi établis: le neutralisme, qui s'appuie sur le mutationnisme mais ajoute la notion de mutations neutres, qui ne confèrent pas d'avantages ou désavantages particulières à l'espèce. Aussi le saltationisme, proposant un modèle où l'évolution ne serait pas progressive ni graduelle, mais le résultat de grands sauts ou bouleversements ponctuant de longues périodes d'équilibre. [Association@lyon, 2000]

"La vie peut continuer. Non pas par une simple réversibilité du temps, mais à travers la création d'une descendance. Ceci constitue une discontinuité spatio-temporelle, c'est-à-dire le nouveau ne peut pas être obtenu par une simple extension de l'ancien... La conservation de la vie est assurée seulement à travers une nouvelle discontinuité qualitative: mutations, formation d'individus avec de nouveaux types de caractéristiques, celles-ci étant liées à l'utilisation de nouveaux types d'énergie ou de ressources." [De PAOLI, 1998]

L'étude des approches adoptées en biologie est intéressante dans la mesure que nous puissions établir des comparaisons et équivalences entre divers concepts et notions, soit pour illustrer des phénomènes dans le champ technologique, soit pour les utiliser comme éléments d'appui dans la construction des modèles ou d'outils méthodologiques. Des validations éventuelles de ces théories consisteraient principalement en la "transposabilité" et l'applicabilité de celles-ci dans le domaine technologique avec des résultats exploitables, sans nécessiter partant d'une vérification rigoureuse des théories en elles-mêmes.

En analysant l'évolution des objets industriels, apparaissent des concepts tels que les familles, des lois, principes et lignes d'évolution, courbes d'évolution, etc. [DEFORGE, 1985] [ALTSHULLER, 1984]. Les lignées sont façonnées avec divers phénomènes: sélection

naturelle, aberrations, fin de races, résurgences, interruptions, mutations génétiques, croisements, bifurcations, scissiparité, ... [DEFORGE, 1985]

G. ALTSHULLER propose dans sa théorie TRIZ des outils considérant les tendances d'évolution (lois) extraites d'une analyse de brevets. Un des buts est de les utiliser dans la proposition de nouvelles solutions (même si celles actuelles résolvent correctement les problèmes). Avec ces lois on peut positionner les produits techniques dans leur état actuel (ou état en étude) et les faire évoluer dans une séquence logique basée sur l'évolution "normale" des techniques [ALTSHULLER, 1984]. La segmentation, la dynamisation, la transition du macroniveau au microniveau, ..., sont des exemples de ces lois d'évolution ou tendances. Plusieurs auteurs travaillent en l'application de cette théorie en prospective technologique, par exemple en l'intégrant avec d'autres approches (de marché, sociales, ...). [IDEATION, 1999]

Quant aux innovations de rupture, elles représentent des mutations dans les lignes d'évolutions. "Elles portent sur un changement de principe que n'explique pas l'évolution normale du produit ni le résultat obtenu..." [DEFORGE, 1985]. R. THOM, décrit ce phénomène dans sa théorie des catastrophes: les accidents de l'évolution d'un système "font que la description utilisée jusqu'au cet accident devient caduque et doit être brusquement remplacée par une autre" [THOM, 1976]. Les méthodes de modélisation de cette théorie se centrent vers le fait que des "causes continues" produisent des "effets discontinus".

A. MAÏSSEU affirme que l'innovation ne peut s'alimenter aux structures passéistes pour y extraire les ressources nécessaires à la rupture. [MAÏSSEU dans LE DUFF, 1999]. D'autre part, Th. GAUDIN soutient que "dans l'étude des ruptures, on ne peut plus raisonner par continuité avec le passé récent. Celui qui se trouve en bas d'une falaise doit, pour imaginer ce qui se passe en haut, utiliser des informations même lointaines concernant d'autres plateaux, plutôt que la continuité avec ce qui se passe là où il est." [GAUDIN, 1988]

Cette métaphore illustre que pour comprendre et expliquer les ruptures il faut regarder l'ensemble du paysage, faire une rétrospective "à court, moyen et long terme", à cause de la discontinuité récente. Toutefois, elle donne aussi l'idée de qu'on serait capable d'étudier l' "en haut" devant, présupposé "ressemblant" à d'autres "en haut", ce qui n'est pas toujours les cas.

Pendant l'émergence de ces ruptures, les processus qui ont lieu peuvent varier d'un cas à un autre. Comprendre l'ensemble de ces phénomènes (dans le cas où cela est en effet simplifiable

et reproductible) ainsi que les facteurs impliqués s'avère très utile et reste un travail important à réaliser.

3.6.1 Axe diachronique et axe synchronique

Dans l'étude de systèmes qui évoluent (Cf. Théorie générale des systèmes), deux axes peuvent être identifiés selon l'approche que l'on souhaite suivre, à savoir un axe diachronique et un axe synchronique :

L'axe diachronique relève de l'aspect historique du système. Il permet de tracer l'enchaînement des événements dans le temps. Analyse des phénomènes du point de vue de leur évolution historique. Exemples : les arbres généalogiques, les études phylogénétiques, etc. On parle alors d'un système dynamique.

L'axe synchronique permet de décrire le système à un instant particulier du temps d'évolution, une sorte de photographie à un moment donné. Il relève de la simultanéité des faits. En linguistique, par exemple, il s'agit de l'observation d'un état de langue considéré dans son fonctionnement interne à un moment donné (Ferdinand de Saussure). Il serait de nature plutôt statique.

Jakobson (1963), quand il développe son étude linguistique, refuse l'opposition entre ces deux axes. En plus, il les place aussi par rapport aux aspects dynamique et statique en affirmant que l'on peut parler de diachronie statique et de synchronie dynamique.

Extrait de :

<http://perso.club-internet.fr/akrieg/texteSHlangage.html>

« Pour explorer cet objet privilégié de la linguistique que doit être la langue, Saussure envisage deux démarches possibles. Soit - comme le fait la linguistique historique - on étudie la langue comme un système en évolution, et on observe les changements linguistiques qui s'opèrent à travers le temps : c'est une linguistique évolutive, ou diachronique. Soit on s'intéresse à la langue en tant que système stable, telle qu'elle fonctionne à un moment donné de l'histoire : c'est une linguistique statique, ou synchronique. Pour Saussure, c'est le point de vue synchronique que doit privilégier la

linguistique. Car, quand le sujet parle, il fait usage d'un état donné de la langue, sans tenir compte des évolutions qui ont concouru à le produire. Par exemple, «la masse des sujets parlants établit un rapport entre "un mur décrépi" et "un homme décrépiti", bien qu'historiquement ces deux mots n'aient rien à faire l'un avec l'autre» puisqu'ils proviennent de deux mots latins différents. Pour comprendre la langue dont fait usage le sujet, le linguiste n'a donc pas besoin de connaître ses états antérieurs. La distinction diachronie / synchronie est bien entendu un modèle théorique, puisque la langue évolue constamment, et ne connaît pas d'état réellement stable. Avoir une perspective synchronique, c'est donc étudier un «état de langue», celui-ci étant défini comme «un espace de temps plus ou moins long pendant lequel la somme des modifications survenues est minime».

Nous proposons donc, une méthode synthétique pour étudier les processus d'innovation. L'approche diachronique, riche en informations et nécessaire pour comprendre l'aspect « dynamique » du processus, du point de vue « processus » et du point de vue « résultat » dans le temps. Puis, une étude synchronique permettrait une certaine exhaustivité pour compléter l'étude diachronique. Nous voulons prendre les études diachroniques et les « comprimer » dans le temps.

3.6.2 Processus de conception et évolutionnisme

Reprenant le schéma de la Figure 1 montré dans l'introduction (voir ci-dessous), la notion d'évolution du produit au cours du processus de conception peut être vue à différentes échelles.

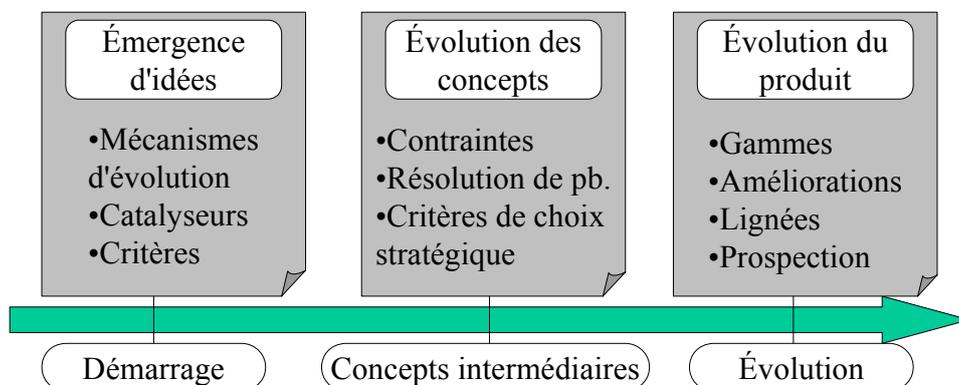


Figure 26. Echelles évolutives d'un produit.

Au premier niveau, l'émergence des idées. L'émergence d'une idée peut venir de l'application (consciente ou non) d'un mécanisme qui, à partir d'un signe préalable, permettrait d'arriver à une idée nouvelle pour un contexte donné (les mécanismes d'évolution) Pareillement, des moyens (les catalyseurs) qui accéléreraient ce processus de naissance de nouvelles pistes sont aussi très répandus dans le but de favoriser cette production d'idées. Des techniques diverses existent, elles peuvent être de nature « aléatoire » ou non structurée ou de nature systématique, plus cadrée et organisée. D'autres classements de ces moyens ont été élaborés dans le but de rendre plus facile leur choix [VADCARD 1996]. Quelques techniques souvent utilisées en séances dites « de créativité », comme le brainstorming, la synectique, l'inversion, le détournement, etc. seraient, dans certains contextes d'utilisation, parmi ces catalyseurs. Un autre mode d'émergence d'idées vient de l'application, souvent inconsciente, de critères de performance (au sens large), cela permettrait de faire évoluer une idée ou situation préalable vers une nouvelle proposition qui intégrerait des critères spécifiques dans le but d'améliorer ou corriger une faiblesse identifiée. [GARRO 2000]

Au deuxième niveau, nous parlons de la gestation du produit en termes de concepts choisis, corrigés, etc. Ici, la plupart de changements sont dus à la mise en application (encore une fois, consciente ou non) de contraintes, à des choix issus des stratégies d'entreprise ou plus précisément à la résolution de problèmes identifiés sur les concepts avancés ou sur des produits existants. C'est ce qu'on associe aux concepts intermédiaires avant l'aboutissement du processus de conception.

Enfin, nous trouvons le troisième niveau, plus étendu dans l'échelle historique. C'est ce qui est relié à l'évolution de produits en termes phylogénétiques, d'après la terminologie empruntée à la biologie (en opposition aux aspects ontogénétiques liés plutôt aux deux niveaux décrits précédemment, la création du produit). Dans ce troisième niveau, on parle de familles, de gammes, de lignées, de prospection, etc.

Il est à remarquer que la présence de trois échelles différentes suppose une possible superposition entre elles et non seulement une distribution linéaire et chronologique qui, d'ailleurs, existerait seulement en conditions théoriques. En effet, l'émergence d'idées se

retrouverait dans l'évolution de concepts, ainsi que cette dernière se retrouverait dans l'évolution du produit. Le tout visualisable comme des cercles concentriques.

Le lecteur pourra constater cette intention d'assimiler ou relier le phénomène de l'évolution de produits aux concepts issus des sciences de la vie.

Nous voulons donc mener cet exercice déterminant dans nos travaux : **retrouver le processus de conception innovante dans les théories évolutionnistes des sciences naturelles**. Nous menons ici un exercice qui résume l'utilisation des théories évolutionnistes issues des sciences naturelles (la biologie) pour modéliser le processus dynamique décrit plus haut. Nous allons donc nous munir de certains concepts et notions qui permettraient une description des processus présents dans la conception de produits plus particulièrement dans une dynamique d'innovation.

Nous insisterons sur le processus d'évolution du produit dans sa phase de conception (qui sera, on le verra plus tard, l'état permanent du produit si on le prend au-delà de sa définition comme une unité fabriquée et figée dans le temps).

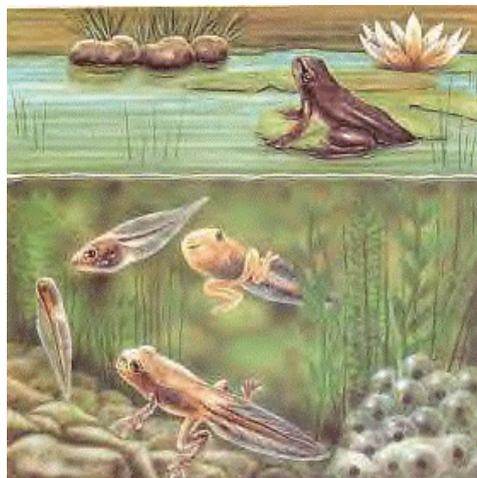


Figure 27. Cycle ontogénique de la grenouille.

3.6.2.1 Sur les autres travaux sur les techniques « évolutionnistes »

Nous nous positionnons notamment par rapport aux méthodes et outils issus de la théorie TRIZ traitant le sujet de l'évolution dirigée et la prospective produit ; sur les applications informatisées comme les algorithmes génétiques et toutes les « evolutionary computing », etc.

3.6.3 Le cahier des charges évolutif : objet intermédiaire inévitable

Parmi les représentations intermédiaires utilisées par les concepteurs, ajoutons le cahier des charges. Cette représentation du produit, le plus souvent décrite sous forme d'un ensemble de critères ou conditions de réalisation, exprime les choix stratégiques du début d'un processus. Or, l'on a vu plus haut que les frontières de ce processus n'étaient pas clairement définies dans un processus d'innovation, et que cette représentation initiale serait censée évoluer au fur et à mesure les acteurs s'appropriant des nouvelles connaissances (techniques, de marché, etc.). Comme résultat, cette représentation aura donc une évolution qu'on peut exprimer en deux dimensions. L'une, relevant de l'évolution dite normale d'un CDC qui se précise de plus en plus vers l'aval du processus (conception détaillée), de façon quasi continue. Nous l'avons appelée évolution **longitudinale**. L'autre dimension, relevant celle-ci de l'évolution dite opportuniste ou contingente, qui exprime des changements de choix stratégiques. Elle peut avoir lieu à tout moment du processus et se présente de façon plutôt discontinue. Nous l'avons appelé évolution **transversale**.

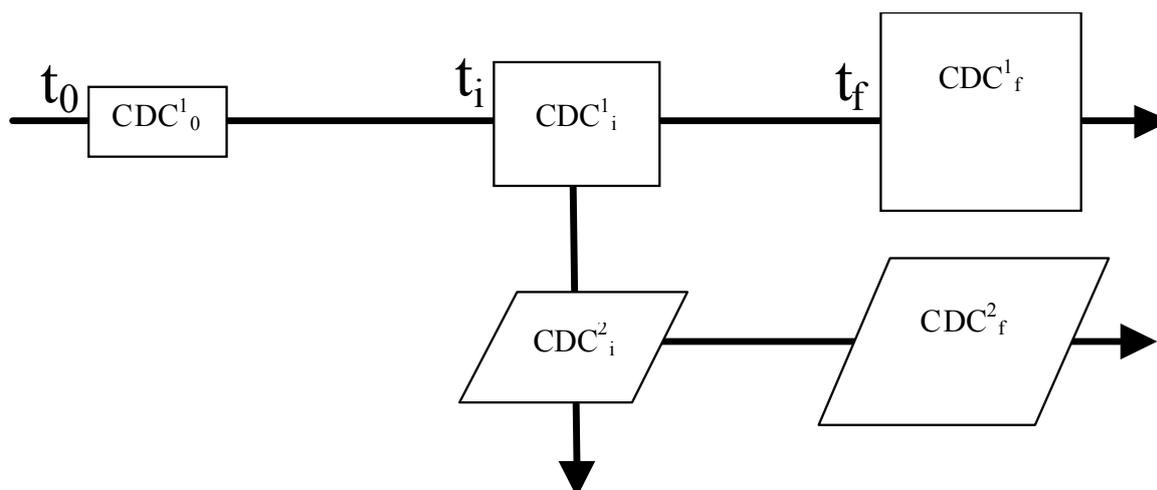


Figure 28. Evolutions longitudinale et transversale du CDC.

Voyons quelques définitions de cahier des charges d'après différents auteurs mais aussi d'après des contextes d'utilisations différents. Le tableau ## résume quelques définitions et l'usage donné selon le contexte.

Automobile (Ex: cycle en V)	Etablissement des données théoriques aptes à déterminer les caractéristiques générales d'un véhicule (habitabilité pour 4 personnes, qualités routières convenables, performances compatibles avec l'agrément, ..., plus des données précises de masse, accélération, etc.) Source: Universalis.	Document de contrôle. Son évolution relève juste de la traduction au cours des phases du processus de conception.
Contexte général	Document qui énonce les spécifications d'un besoin exprimé par le client et fixe les conditions de sa réalisation [Smida, 1999]	Ordre contractuel, document de contrôle ou pilotage.
Contexte général	Établir avec l'entreprise un <u>cahier des charges</u> permettant d'identifier les besoins de l'entreprise. (ENSGSI)	Document de travail initiant le processus de conception.
Contexte général	Document répertoriant l'ensemble des prescriptions essentielles et indispensables à la réalisation du projet (ENSERG-CERISE)	Document de gestion, contrôle, pilotage.
Informatique	Un cahier des charges regroupe l'ensemble des exigences d'un client , la définition de ses besoins pour en permettre l'analyse (D.F.I.)	Document de travail initiant le processus de conception. Référentiel.

Voir JEANTET 98 dans Conception de produits mécaniques (Tollenaere).

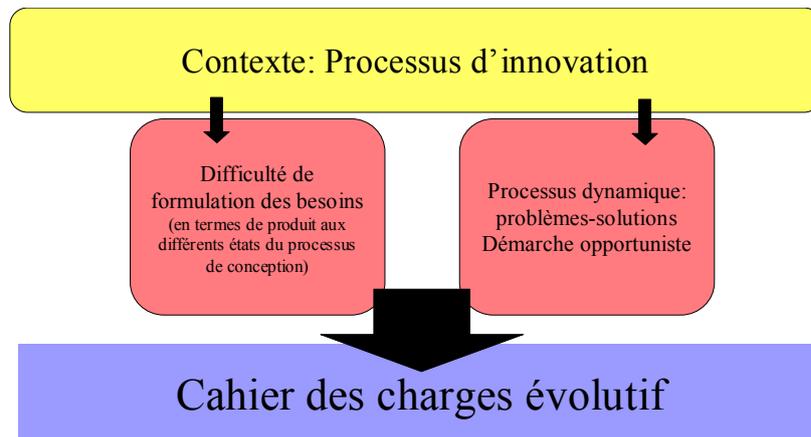
Nous nous posons donc la question de comment s'appuyer sur l'utilisation d'objets intermédiaires pour rendre compte de tous ces aspects signalés plus hauts. A ce propos, nous serons poussés à imaginer des nouveaux modes d'utilisation ainsi que des nouvelles représentations visant la prise en compte de cette problématique identifiée.

Dans un P.C.I. le CDC comme modèle ne peut pas représenter complètement le produit. Le CDC étant évolutif et devant être évolutif.

3.7 Synthèse : Peut-on exploiter le CDC comme source d'innovation ?

Toute la problématique identifiée partant d'un contexte esquissé par un processus d'innovation est résumée en deux grands volets, à savoir la difficulté de formulation des

besoins et le caractère fortement dynamique du processus de conception (les deux notions liées à l'incertain : incertitudes sur ce qu'on ne connaît pas, incertitude sur ce qu'on ne sait pas qu'est ce qui va arriver).



A partir de cette problématique globale, nous nous posons donc deux questions autour l'existence obligée d'un cahier des charges évolutif.

- Peut-on exploiter le CDC comme source d'innovation?
- Comment innover par l'exploitation d'un CDCEv?

Chapitre 4 : Hypothèses et modèles

Un concept ne représente pas une réalité, il présente un potentiel d'expansion. [HATCHUEL 2004]

4.1 Champ de compétences de ce travail

Nous définissons notre champ de compétences dans la conception de produits et les processus d'innovation. Plus particulièrement, nous assistons les décideurs des entreprises dans leurs choix stratégiques du point de vue technologique global, architecture de produits, tout en nous appuyant sur les notions d'évolution de produits. Ainsi, nos résultats sont exprimés souvent en termes de prospection et de stratégie d'innovation. Pourtant, nous aidons nos interlocuteurs dans leurs démarches d'innovation en utilisant une dynamique de dialogue où des phases exploratoires permettent d'une part, bien évidemment, la découverte et analyse d'options de solutions (techniques ou autres), et d'autre part forcer les acteurs à se poser certaines questions. Le tout en avançant sur la définition concrète du produit en conception. Nous aidons donc à la prise de décisions en confrontant les décideurs à des scénarios issus de l'exploration (Cf méthodes prospectives). Il faut rappeler que les scénarios d'exploration sont élaborés avec une combinaison de techniques dites "classiques" de créativité où l'on propose de solutions qui pourraient être classées par catégories suivant des stratégies déjà décelées. Mais aussi, en utilisant d'autres outils tels comme ceux de la théorie TRIZ (principes de solution, lois d'évolution,...) ou d'après les études de DEFORGE sur la génétique des objets industriels.

Comme nous l'avons souligné plus haut, cette approche se sert du caractère dit « opportuniste » du processus de conception du fait que la logique prospective est tracée sur deux dimensions, à savoir, l'analyse préalable disponible et les résultats intermédiaires obtenus tout au long du processus. C'est ce que nous appelons un phénomène d'innovation au sein du processus d'innovation.

Les avantages de ce modèle d'intervention ont été commentés dans le chapitre précédent et sont principalement axés sur l'adaptabilité exploitée et l'exploitation des incertitudes comme source d'innovation. Par contre, parmi les inconvénients, on insiste sur l'effort supplémentaire en coordination mais surtout de gestion du projet en termes de pilotage et contrôle.

4.2 Hypothèses

Préambule :

Cette impossibilité de prévoir ou anticiper les ruptures comme résultat logique et suite continue dans l'évolution, nous invite à réfléchir sur le phénomène lui-même. C'est-à-dire, effectuer une analyse ponctuelle, quasi-instantanée du fait représenté comme une discontinuité spatio-temporelle. Pourtant, nous ne négligeons pas l'étude des intervalles continus, qui restent effectivement complémentaires et qui pourraient éventuellement être "modulés dans le temps" pour être utilisés dans la modélisation ou création de ruptures.

Notre travail vise vers l'étude des mutations en tant que promoteur des évolutions. En effet, nous considérons que l'évolution n'est pas un processus continu (mutationnisme). Les changements sont menés par des sauts. Les caractéristiques de cette évolution sont données par la taille de ceux-ci ainsi que par sa séquence dans le temps. Ces sauts peuvent être provoqués par plusieurs mécanismes d'origine externe ou interne (ex.: la découverte de nouvelles fonctions).

4.2.1 Enoncé des hypothèses

Hypothèse : Le pilotage du processus de conception par changement d'états des représentations intermédiaires permet à l'entreprise la gestion des risques associés au P.I. tout en l'utilisant comme source d'innovation.

Ce pilotage implique la création maîtrisée des incertitudes puis l'aide à la prise de décisions.

Sous-hypothèse 1 : Ce pilotage peut être assuré par l'utilisation d'outils dits de créativité. Ces outils permettent d'interroger les acteurs en posant « les bonnes questions ». Ils créent et modulent les paramètres de contrôle du pilotage

Sous-hypothèse 2 : L'usage des représentations intermédiaires doit assurer deux fonctions principales : validation et exploration.

Une représentation intermédiaire élargie place ces deux fonctions de manière simultanée et pourra servir de support dynamique pendant le processus de conception..

4.2.2 Grands axes directeurs

Nos propositions se structurent autour des considérations suivantes :

1. Approche qualifiée de « diachronique quasi-instantanée » :

Pour faire face au phénomène de discontinuité présent dans tout processus d'innovation sans pourtant négliger la valeur de « ce qui existe » (notamment en termes de connaissances), nous considérerons toute apparition nouvelle comme un changement d'état d'une entité (idée, représentation, notion,...) existante. Gérer la continuité et la discontinuité.

Cela permet au concepteur de gagner en flexibilité et en réactivité, tout en profitant de sa base de connaissances.

S'opposant en apparence aux approches diachroniques classiques et aux approches synchroniques, elle représente un changement d'échelle (d'espace et de temps) par rapport à celles-ci et y reste donc complémentaire.

2. Modélisation évolutionniste :

Nous présentons une version de transfert des théories en évolution développées en plusieurs domaines vers le processus de conception. Cela nous permettra d'en tirer des notions, des définitions et des concepts construits à partir de l'analyse de contextes très diversifiés expliqués par un processus continu d'évolution.

Parmi les différents domaines où ont été développées des théories évolutionnistes, on trouve le contexte biologique, le technologique, le géologique, le social, l'économique,... Dans ces travaux nous privilégions le contexte biologique et le contexte technologique.

Ce choix correspond principalement à :

Pour le contexte technologique : l'affinité directe avec notre champ d'intervention, notamment par le caractère « technologue » du concepteur en mécanique mais aussi par le contexte d'utilisation où nous prétendons agir (le processus de conception de produits).

Pour le contexte biologique : d'une part, c'est dans ce domaine où ont été avancées les premières théories d'évolution pour expliquer la diversité, la complexité, la performance et l'efficacité actuelles, dans ce cas, des espèces vivantes. D'autre part, pour résumer, on

accepte, comme le soulignent plusieurs auteurs (Fogel, Goldberg, French,...) que l'évolution naturelle et le processus de conception chez l'humain sont directement comparables, du fait qu'ils partagent beaucoup de caractéristiques. (Bentley 1999)

Les résultats de cette tentative de transfert dans d'autres domaines de la connaissance (par exemple en informatique, en calcul approximatif, en optimisation,...) nous invitent aussi à employer cette approche. En conséquent, certains de nos « résultats attendus » seront influencés par l'analyse de ces expériences réalisées auparavant.

Ex : Les algorithmes génétiques et les problèmes d'optimisation.

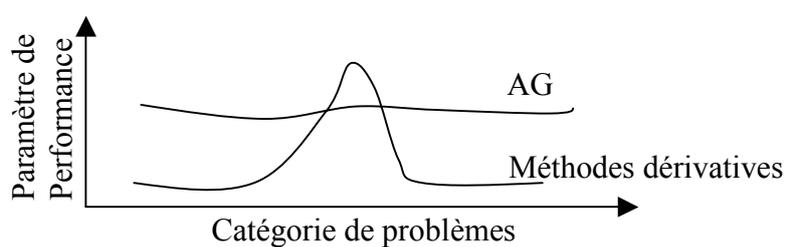


Figure 29. Comparatif des performances globales en problèmes numériques d'optimisation

Cette approche pourra être formalisée sous forme de nouveaux outils méthodologiques mais aussi permettra une nouvelle structuration des méthodes et des outils de conception existants orientés innovation.

Constat : le XX% de brevets sont des associations et des applications nouvelles des technologies existantes.

3) Pas d'algorithmes « tout-prêt » :

Cet axe directeur prend déjà en compte un des résultats du point précédent, à savoir, les lois d'évolution d'Yves Deforge qui en faisant une analyse psychotechnique des produits affirme que ces lois sont d'origine psychologique.

Nous sommes intéressés par les capacités d'intégration du concepteur en tant qu'individu. Nous le situons devant les outils qu'il utilise et lui conférons une place prépondérante.

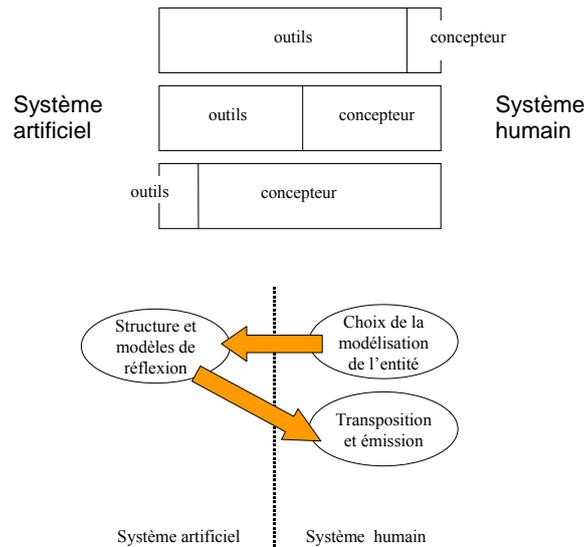


Figure 30. Typologies d'intervention concepteur-outils.

La structuration et l'instrumentation exacerbées des méthodes pour gagner en fiabilité et répétitivité peuvent faire du concepteur un exécutant d'instructions et en plus risquent d'alourdir leur propre implémentation.

Nous espérons :

Un gain en réactivité, notamment auprès des autres acteurs impliqués dans le processus de conception ;

Une meilleure appropriation passant par une personnalisation plus probable ;

Un transfert plus facile (applicabilité) à des situations nouvelles ou vers d'autres métiers présents dans la conception de produits.

Les risques :

Trop de variabilité ; Perte des repères ; Oubli ; Incertitude sur les résultats...

4) Approche prospective proactive :

Cette directrice est d'ordre plus global pour nous inscrire dans la démarche générale du processus d'innovation. Nous adoptons cette approche pour faire face au caractère incertain du phénomène de l'innovation. Anticiper le changement en le provoquant, être protagoniste. (Smida 99, Rivera-Porto 97)

Dans ce sens, nous envisageons une utilisation des techniques prospectives comme outil de délimitation des réflexions initiales et/ou comme instrument de validation, c'est à dire, aux extrémités (en amont et en aval) du processus de conception innovante.

4.3 Le Cahier Des Charges évolutif

Établir avec l'entreprise un **cahier des charges** permettant d'identifier les besoins de l'entreprise. (ENSGSI)

Le **cahier des charges** – définition succincte : Ce document répertorie l'ensemble des prescriptions essentielles et indispensables à la réalisation du projet (ENSERG-CERISE)

Un **cahier des charges** regroupe l'ensemble des exigences d'un client, la définition de ses besoins pour en permettre l'analyse. (dictionnaire francophone de l'informatique)

Le petit Robert 2002. Dict de la L.F. : CDC, document fixant les modalités de conclusion et d'exécution des marchés publics...de tout contrat. 2. Document indiquant les caractéristiques que devra présenter une réalisation technique, et les différents stades à respecter pour sa mise en œuvre (descriptif, échéancier)

« En fait, coopérer sur une innovation en amont n'est plus coordonner des expertises sur un projet donné, ce n'est plus même coopérer sur un demi-produit. Il s'agit au contraire de coopérer sur l'élaboration des spécifications initiales ». [LEFEBVRE et Al. 2001]

4.4 Rapprochement Ontogénie/Phylogénie

Comme les biologistes l'ont fait lors du rapprochement entre l'embryologie et la biologie évolutive pour formuler le principe selon lequel le développement embryonnaire d'un individu (l'ontogénie) pourrait « retracer » l'arbre des évolutions des espèces (phylogénie), nous tirons de cet exercice un concept similaire en rapprochant la conception d'un produit et ses étapes de développement avec les évolutions en termes d'améliorations, lignées, etc. Dans ce sens, nous pensons que le cahier des charges, d'autant plus s'il est évolutif, pourrait servir de support pour effectuer cette « manœuvre ». Le CDC en tant que représentation intermédiaire du produit/processus, rendrait compte à la fois de l'évolution phylogénétique du produit et de son évolution ontogénétique. Voir figure 31.

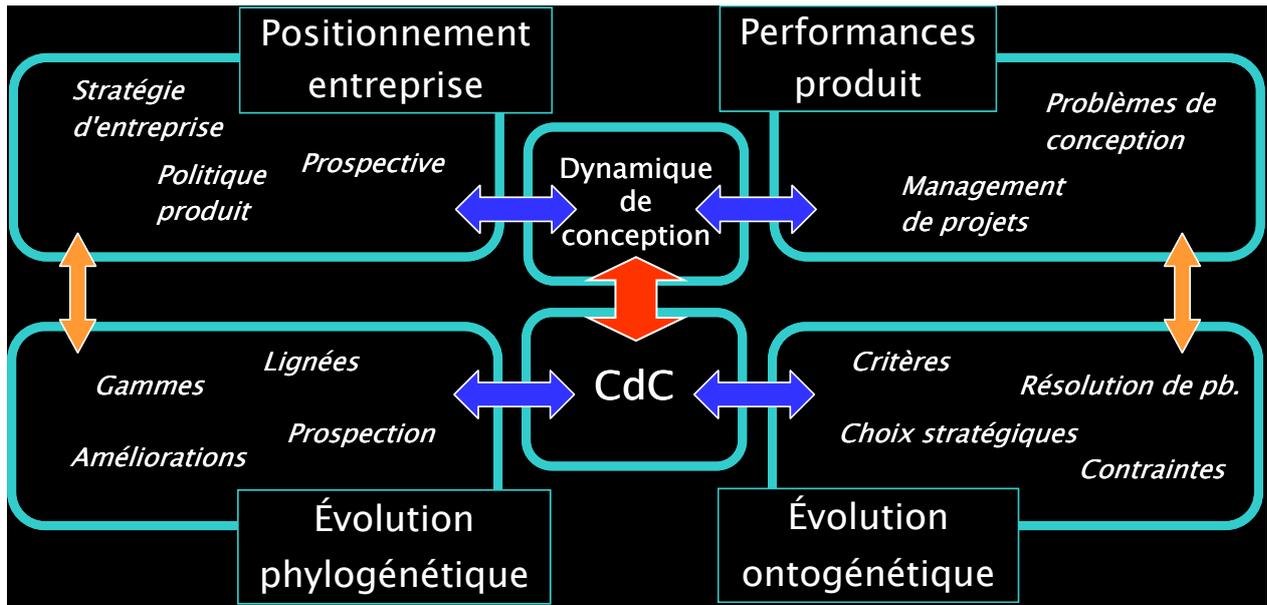


Figure 31. Rapprochement ontogénie/phylogénie et présence du CDC comme véhicule de représentation.

Ainsi, associant l'évolution phylogénétique du produit au positionnement des entreprises en termes de stratégie, prospective, etc. ; et les performances du produit en termes de résolution de problèmes et de management de projets et de la qualité. Nous avançons une hypothèse générale qui place le CDC évolutif au centre de la dynamique de conception et nous permet de modéliser un processus d'innovation autour de cette représentation intermédiaire privilégiée.

4.5 Positionnement par rapport aux approches scientifiques et aux méthodes de conception et

Nous nous positionnons par rapport à toutes ces méthodes et outils, en mettant l'accent sur le caractère dynamique et évolutif du processus de conception, on pense notamment à la dynamique problème-solution, avec toutes les incertitudes inhérentes au processus. Ici, les outils comme le AF, AV, QFD, etc, seraient de grande utilité dans la formulation initiale du problème, mais ne permettent pas l'intégration dynamique au cours du processus, des nouvelles données, des résultats intermédiaires, des « changements d'avis », et enfin, de l'apport des représentations du produit en conception pour revoir les besoins exprimés au départ, les stratégies de l'entreprise, etc. Comme résultat de cette approche, le processus de conception est utilisé comme moyen d'apprentissage (je sais plus qu'avant, au-delà du mot

expérience), comme activité pour l'innovation, et pour la décantation des stratégies de l'entreprise. Un peu cette histoire de « privilégier les outils heuristiques » (exploratoires). C'est pour cela qu'on structure toute notre approche autour la réflexion, d'une part « forme avant la fonction » et d'autre part « usage et non-usage » (sens lamarckien).

Ça veut dire en gros que cette approche est plutôt d'ordre prospectif (et proactif), où nous ne faisons pas de la « reverse engineering » (dans le sens Nadeau).

Par rapport aux méthodes (théories) générales de la conception, nous allons nous positionner en utilisant comme référence les approches systématiques (école allemande,...), l'approche axiomatique de SUH, l'approche intégrative (CPI), l'approche évolutionniste de GERO, l'approche TRIZ, et enfin, les nouvelles approches de type C-K (Hatchuel).

4.5.1 Par rapport à la théorie C-K

Après avoir formulé les orientations générales que nous prétendons donner à nos préconisations, nous avons analysé de plus près les fondements de la théorie C-K et concluons qu'au-delà du formalisme symbolique, notre approche rejoint de près ses bases.

4.5.2 Positionnement Lattuf-Garro

Les travaux de Garro (Garro 2000, Anghel 2004) sont orientés à la construction d'études expérimentales que représentent des situations « contrôlées » de l'activité de conception. Ce contrôle consiste principalement en la capacité de faire un « monitoring » selon un modèle particulier (et ses indicateurs). Ces études cherchent la compréhension de l'activité de conception du point de vue plutôt élémentaire dans le but de mieux intégrer les outils d'aide existants, les améliorer ou en créer des nouveaux. Garro insiste sur l'importance de maîtriser le nombre d'itérations présentes dans tout processus de conception pour avoir un impact positif appréciable sur la réduction des délais de conception et plus globalement, optimiser l'activité même. Garro insiste aussi sur le caractère « nécessaire » de certaines itérations, pour expliquer qu'il y a des itérations qui produisent de la valeur (amélioration de concepts, corrections d'erreurs, résolution de problèmes, etc.).

4.5.3 Positionnement Lattuf-Gogu

Nous faisons une attention particulière aux propositions de Gogu [Gogu 2000] sur l'approche qu'il nomme morphologique et phylogénétique. Ses travaux ont été orientés au début pour la conception de systèmes techniques mécaniques (par exemple de type robots) dans le but de réaliser « une synthèse morphologique » de machines et leurs architectures. Parmi ses résultats il en ressort la génération automatique de gammes [DENEUX 2002].

4.5.4 Idées fondamentales de notre approche

Une des idées fortes de ce travail : les outils de créativité permettront d'aider le pilotage du projet d'innovation. D'habitude les outils de créativité sont vus comme source pour la « variété », l'exploration, la recherche de solutions, et ainsi, comme source d'incertitudes, questions, peur, ... D'habitude ce sont les outils de créativité qui « doivent être pilotés » par d'autres moyens plus « contraignants ». Nous avançons l'hypothèse suivante : si on adopte une approche combinée d'exploration, opportunisme, « évolutionniste » pour mettre en place une logique d'évolution par changement d'états (penser au raccourcissement du temps), accompagnée des moyens de contrôle, le projet d'innovation sera alors piloté de manière dynamique par ces phases dites créatives, notamment en amont du processus.

En synthèse : nous avançons l'hypothèse que les outils de créativité et les résultats qui eux produisent permettent un pilotage du projet d'innovation notamment au moyen de la définition des stratégies, donc des critères de choix utilisés dans la prise de décisions. Cela est particulièrement important et critique dans les phases amont du processus de conception.

Nous ferions face à la problématique soulevée par Gueguen [GUEGUEN 2001, page 558] de « pour quelles raisons les dirigeants de petite entreprise ne peuvent identifier des stratégies pertinentes ». parmi celle d'avoir un système d'information peu efficace, ... Les informations obtenues et identifiées tout au long du processus de conception seront présentées pour que les décideurs les transforment en connaissances exploitables par la suite ou ultérieurement. **Cela est assuré par un apport de cohérence ou sens aux idées à la base « en vrac ».**

Ainsi, l'incertitude est gérée par la prise de conscience de la part des décideurs par rapport aux différents chemins possibles, ce qui permet un positionnement plus facile. Cela se pose à n'importe quelle étape du processus de conception, notamment dans les phases amont où les

définitions stratégiques sont plus critiques d'une part par leur influence accrue dans la suite du processus de conception et d'autre part par le manque de clarté (information disponible, incapacité d'anticipation, idées floues,...).

L'idée qu'on défend c'est que la recherche d'idées et les résultats qui en découlent permettent la définition des critères de choix, des stratégies, de se poser des « bonnes questions » au moyen des résultats intermédiaires. Autrement dit, le pilotage du projet de conception est fortement mené par les outils de créativité choisis et utilisés de façon « évolutionniste ».

L'entreprise (les décideurs) réagira face à sa perception du contexte, face aux contraintes perçues de l'environnement et non à la réalité en soi. C'est pour cela que nous proposons un moyen pour aider les décideurs à mettre en perspective les résultats issus du processus de conception pour affiner leur perception du contexte. Ainsi, ils seront mieux placés pour définir (ou redéfinir) leurs stratégies.

En synthèse, nous proposons un moyen de pilotage du processus de conception innovante au moyen d'une gestion à temps réel des incertitudes.

4.6 Modèle évolutionniste et mise en œuvre

4.6.1 Démarche globale

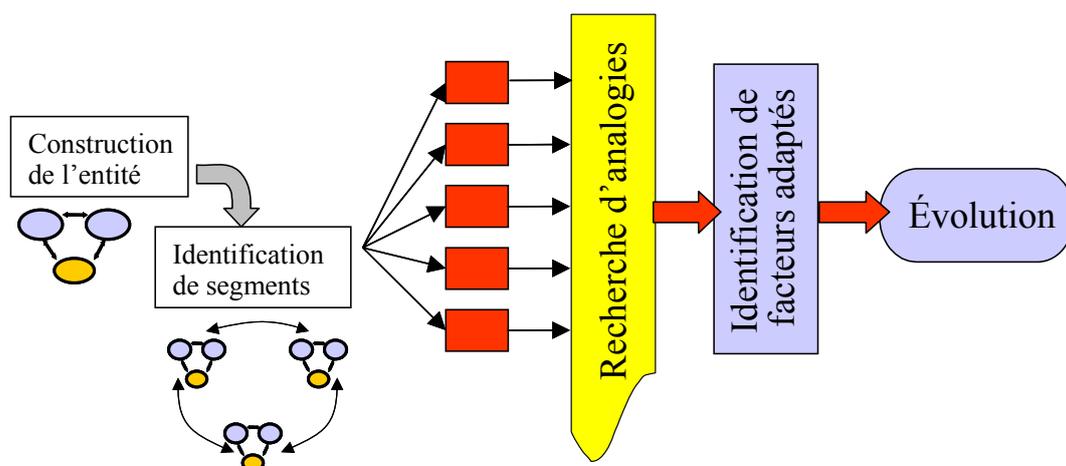


Figure 32. Démarche globale proposée pour l'exploitation des théories d'évolution.

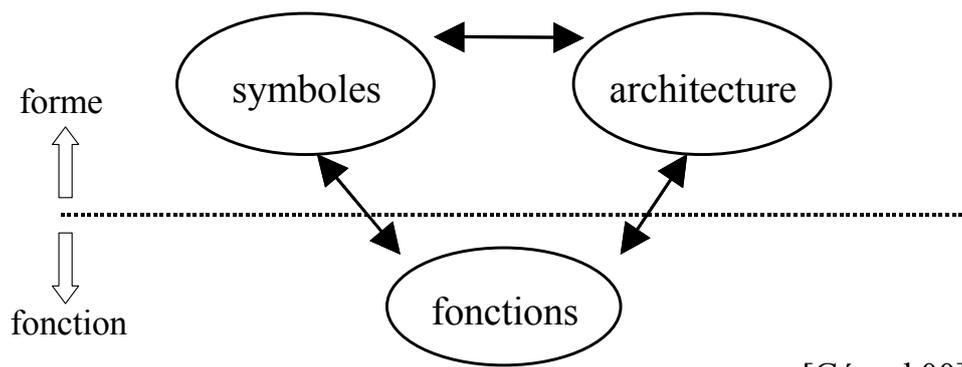
Résultats : deux mots clés.

- Forme d'abord

- Mutation

MODELES PLUS SPECIFIQUES

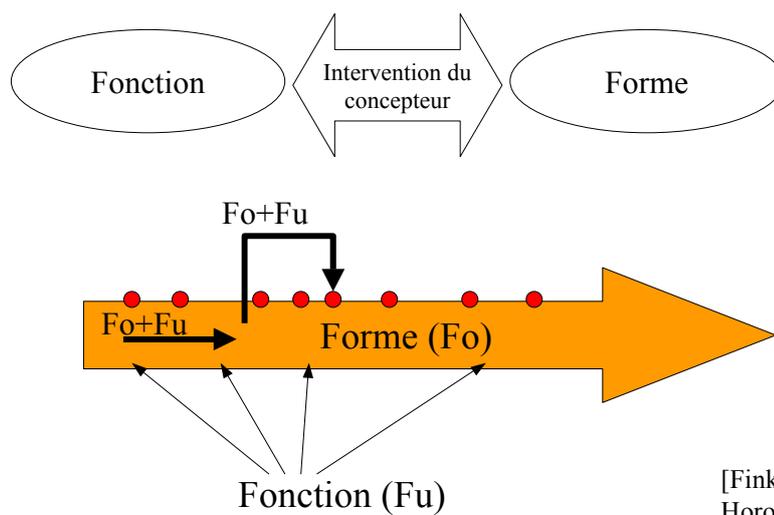
4.6.2 Structure de l'entité évolutive



[Gérard 00]

Figure 33. Structure d'une entité évolutive.

3) Gestion des transformations :



[Finke 95,
Horowitz 01]

Figure 34. Gestion des transformations pendant le processus.

4.6.3 Unité élémentaire

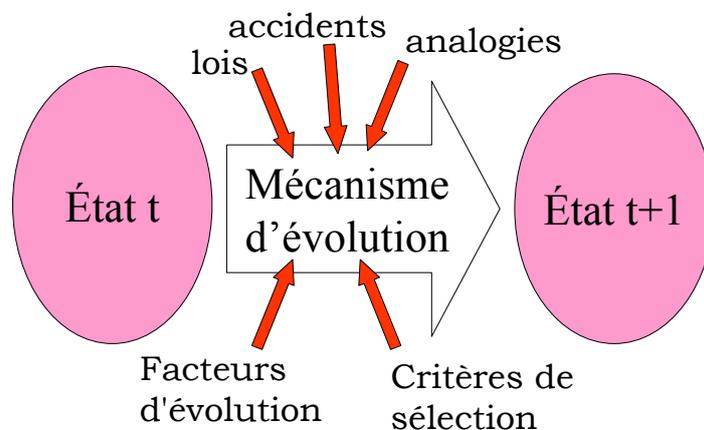
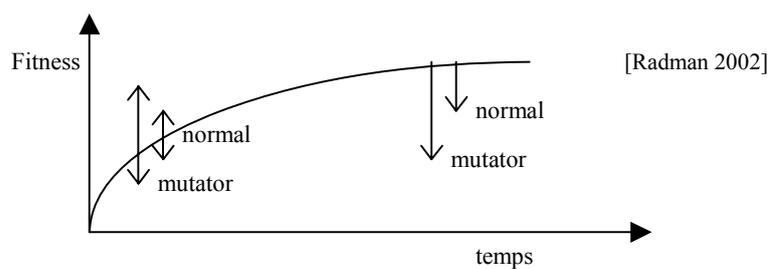


Figure 35. Unité élémentaire de mécanisme d'évolution.

4.6.3.1 Outil de pilotage qualitatif 1



Un *mutator* peut être un défaut mais peut créer des bonnes descendance.

Figure 36. Indicateur de pilotage pour l'intensité de mutation.

4.6.3.2 Outil de pilotage qualitatif 2

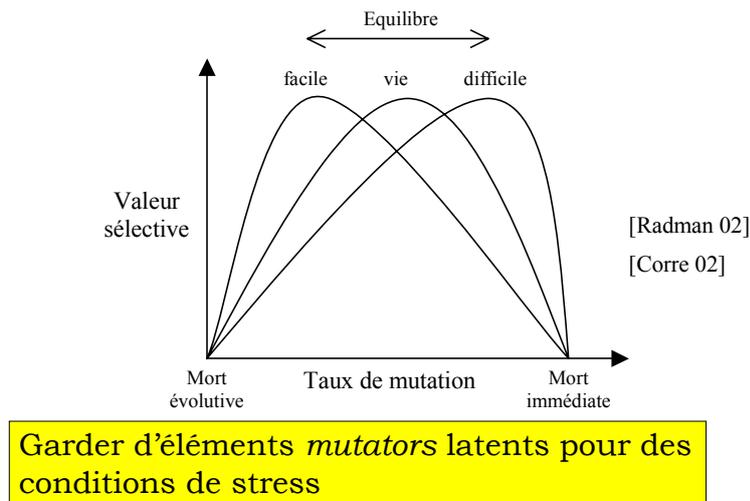


Figure 37. Indicateur de pilotage pour le taux de mutation.

4.7 Résultats attendus

Le processus de conception s'adaptera au contexte industriel de l'entreprise porteuse et à son évolution.

Les outils de créativité aideront et fixeront les paramètres de contrôle du pilotage dans une logique couplée d'exploration/synthèse.

L'utilisation d'une R.I. « augmentée » facilite la manipulation et la création de connaissances utiles à la prise de décisions dans un contexte incertain.

NOTA : Sur les RI par détournement, parler sur un des avantages liés au fait de disposer très rapidement de maquettes de concepts, d'exploration ou synthèse, comme l'on a décrit plus haut. Pouvoir disposer d'un objet physique à manipuler même si les spécifications du produit en conception ne sont pas suffisamment définies.

Chapitre 5 : Expérimentations

Ce chapitre a pour but de décrire le déroulement de nos expérimentations. Il s'agit de trois projets industriels en conditions réelles de conception de produits sous forme de partenariat avec des entreprises françaises de type PME. La première s'agit d'un produit nouveau pour l'entreprise et pour le marché, la deuxième sur une reconception d'un produit existant et déjà commercialisé par l'entreprise et la troisième sur la conception d'un nouveau produit informatique. Pour chacune de ces expériences de terrain, nous expliciterons tout d'abord le protocole expérimental que nous avons prévu ; Nous présenterons le contexte industriel les entourant ; Nous décrirons les conditions réelles d'application de nos préconisations en insistant sur l'état de développement factuel de nos modèles. Enfin nous illustrerons les résultats partiels et finaux. A remarquer que dans les deux premiers cas, notre intervention a eu lieu dès les premières phases de définition du projet de conception jusqu'à la livraison d'un produit industrialisable. Dans la troisième expérimentation, notre action a été de caractère ponctuel lors d'une phase de prise de décisions (diagnostic puis recommandations).

Il est utile d'avertir le lecteur que les cadres industriels privilégiés pour les interventions ne sont pas le produit d'une sélection particulière avec des critères précis. Ce sont des projets de conception de produits qui remplissent un minimum de critères pour être considérés dans notre contexte de recherche, mais qui n'impliquent pas toutes les dimensions dont nous aurions besoin pour mieux mettre en place nos modèles (descriptifs ou prescriptibles). Insérés dans un cadre scientifique de recherche-action comme nous l'avons signalé plus haut, nous construisons nos modèles par des phases d'ajustements successifs, et en général, la mise en pratique des préconisations avancées reste partielle pour chaque action. Nous l'avons constaté dans la première partie de ce document, la complexité d'un processus de conception innovante ne permet pas le contrôle de tous les paramètres associés, et en conséquence, disposer d'un cadre industriel « idéal » pour vérifier nos hypothèses de recherche nous semble très improbable. Cela dit, ces circonstances nous permettraient par exemple, de définir des nouvelles limites de validité, de préparer les réflexions pour des nouvelles actions, etc.

Il faut préciser que nos recommandations sont de caractère global dans ces expérimentations. Nous voulons valider une approche générale sous forme de démarche de pilotage. Bien sûr, on met en place d'outils concrets mais nous insistons sur la manière de les exploiter et les « agencer » tout au long du processus, plutôt que d'outils précis conçus *ad hoc*. Nous reviendrons sur cet aspect.

De manière globale, nous initions les expérimentations par un diagnostic du contexte industriel en question. Ceci, à l'aide d'une grille de lecture établie en un instant t . De cette manière on agit sur la dimension stratégique du processus de conception. L'intérêt de cette approche est de pouvoir mener des préconisations stratégiques (niveau macro) sur l'ensemble du processus de conception, ce qui nous avons appelé **choix d'orientations**. Ce dernier influe dans un deuxième temps sur le choix des outils de conception opérationnels (niveau micro).

Après, lors de la mise en pratique des outils méthodologiques et le déroulement en question, nous employons ce que nous avons appelé outils micro. Là, nous formulons donc des états t_{ij} où l'on agit avec des outils de manière plus précise. Les outils macro rejoignent ce que VADCARD 1996 regroupe dans les méthodes de management de la conception (agissant sur l'entreprise) mais aussi ce qu'il rassemble dans les méthodes de conception de produit (agissant sur le projet de conception lui-même). Au même titre, ce que nous appelons outils micro rejoindraient « les outils de conception de produit » de Vadcard. Le tableau ## montre ce classement proposé par Vadcard 1996.

Tableau 3. Classification des éléments méthodologiques existant en conception de produit [VADCARD 1996]

Eléments méthodologiques existants en conception de produits	Méthode de management de la conception	Méthode de conception de produit	Outil de conception de produit
Composantes de l'ingénierie développement	entreprise	Projet de conception	Produit
Modèles sémantiques complémentaires en	Organisation de l'entreprise vis-à-vis de	Activité de conception	Produit

conception	la conception		
Finalité	Optimiser l'entreprise (culture)	Optimiser le projet (compétence)	Optimiser le produit
Exemple	Value management	Analyse de la valeur	Analyse fonctionnelle

5.1 Expérimentation A

Cette expérimentation porte sur le développement d'un produit destiné à faciliter le tri des ménages dans leur domicile. Notre intervention sur ce processus de conception démarre à partir d'une idée brevetée suite à un prototype d'essai considéré suffisant pour valider le concept porteur mais ne validant pas la faisabilité technique et ne correspondant pas aux attentes du marché visé.

Ce cas nous permet d'une part, de mettre en pratique une orientation spécifique d'une séance de créativité ainsi que les outils employés. Cela nous a permis aussi de dépouiller les résultats en les organisant d'après nos hypothèses.

Cette expérimentation nous permettra de mettre en évidence **l'importance des contraintes** (sous forme d'énoncés, critères de choix, rebondissement sur les idées, etc.) **sur l'évolution du produit et comment peut-on les moduler pour faire du processus de conception une démarche innovante**. Ici, nous mettons en avance la notion de « critères de choix » au-delà des séances de créativité. En effet, nous avons été capables d'identifier (et créer) de panoramas stratégiques pour faciliter la prise de décisions, notamment de la part de l'entreprise. C'est important de remarquer qu' « en posant les bonnes questions », le décideur non seulement choisit les concepts qui l'intéressent, mais il s'implique dans un processus d'appropriation de son projet, et par conséquent, il verra plus clairement son projet global de conception.

5.1.1 Contexte général du développement du produit

Le tri des déchets ménagers commence à tenir une place de plus en plus importante dans la vie quotidienne. Les politiques locales de tri ont une forte influence sur les pratiques de tri

chez les citoyens. En effet, selon une étude de l'INSEE de décembre 1999 les pratiques de tri sont plus influencées par l'équipement des communes et le type d'habitation, que par la sensibilité des ménages aux problèmes de l'environnement. En effet l'étude de l'INSEE montre qu'un tri sélectif à domicile augmente sensiblement le tri par rapport à un tri en déchetterie. Mais la différence est encore plus notable au niveau du type d'habitat. Le tri est beaucoup moins réalisé en immeuble qu'en maison individuelle.

Correspondant à cette problématique du tri, l'objet de cette étude porte sur le développement d'un produit destiné à faciliter le tri des déchets ménagers dans leur domicile.

Le but initial de l'étude a été de faire une analyse de faisabilité du concept du produit exposé par l'entreprise porteuse. Ainsi, l'objectif n'est pas de valider tous les aspects du produit, mais de bien en définir le concept de base.

Pour répondre à l'objectif industriel, nous avons choisi tout d'abord de bien structurer les informations stratégiques des demandeurs. Comme nous avons pu le constater dans cette étude, cette démarche permet de faire des meilleures propositions, car la recherche de solutions est orientée vers la résolution de tous les problèmes potentiels, aussi bien stratégiques que techniques et commerciaux.

Pour avoir une représentation du contexte qui entoure le développement de ce nouveau produit, nous avons réalisé suite à la réunion de créativité une carte mentale du contexte du produit.

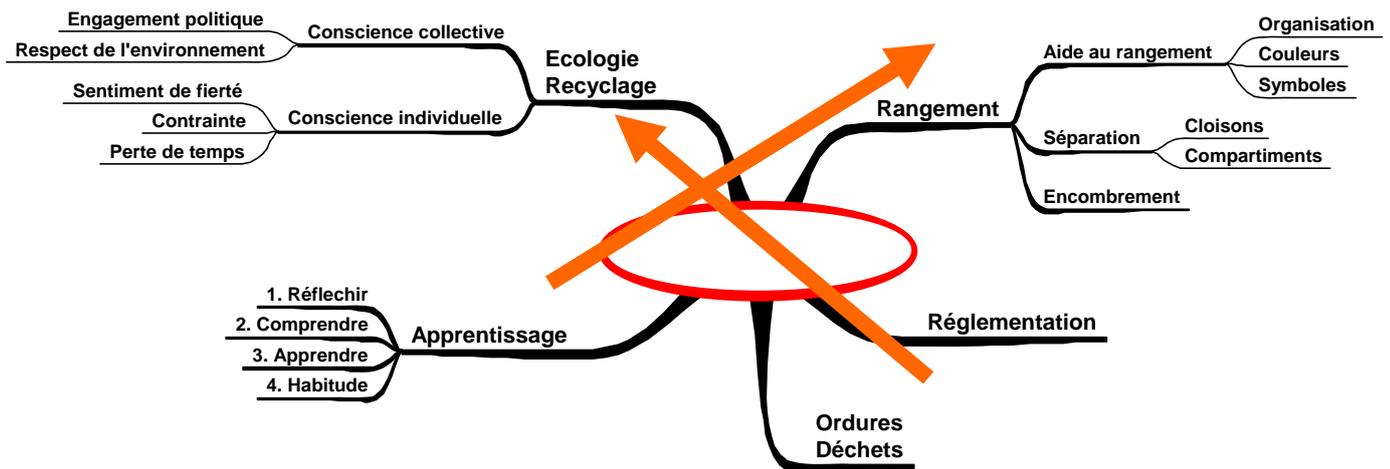


Figure 38. Carte mentale du contexte produit pour l'intervention dans l'expérimentation A

Dans cette intervention nous avons choisi de travailler essentiellement sur la fonction de **rangement** du produit : l'aide au rangement, la séparation et l'encombrement minimum. Mais la représentation de l'ensemble des dimensions qui concerne le produit a été gardée pour assurer une prise en compte globale aidant le choix au niveau de la structure du produit.

5.1.2 Validation du besoin

Trois conclusions peuvent être faites des documents remis :

La collecte sélective peut être améliorée en adaptant la manière de trier au type d'habitat. En effet dans un immeuble, il est plus difficile de stocker des déchets de différentes natures par manque de place. De plus une étude de l'INSEE note que le geste du tri est encore difficile pour certaines personnes, ainsi près de la moitié des personnes interrogées triant peu, peuvent améliorer ce tri s'il est rendu plus facile.

Si le tri est plus proche de l'activité quotidienne du jet des ordures, il semble que cela facilitera le geste de tri. En effet, il est intéressant d'approcher le tri du citoyen en remontant jusque dans l'appartement de celui-ci et en lui donnant une solution simple. Ceci doit permettre d'augmenter le pourcentage de tri et correspond à un véritable besoin de la population (étude INSEE).

Une distribution de masse est envisageable. A ce sujet, le prix est déterminant dans la stratégie de l'entreprise. En effet si le prix du produit est aux alentours de 50 F, il pourra être vendu en grandes surfaces, mais si le produit est vendu aux alentours de 10 F, il peut être distribué en très grande quantité par les mairies. Nous pouvons noter que les mairies disposent déjà de budgets importants pour réaliser la collecte sélective des déchets. Ce produit propose une solution intéressante pour les mairies pour favoriser le tri sélectif.

Pour l'instant, il est envisagé une production de 50.000 par ans environ. Par contre il est nécessaire de prévoir des fournisseurs qui puissent suivre la cadence, si il y a une augmentation du marché.

Nos conclusions ont pour but de mieux définir le besoin du produit en terme de prix de vente par rapport au marché. Il sera nécessaire de faire de toute manière une étude de marché pour affiner cette vision du marché par l'entreprise. Il sera aussi nécessaire aussi de déterminer les meilleurs circuits de distribution.

Le produit bénéficie d'une bonne définition du besoin. Suite à cette première analyse, le produit semble bien répondre à une demande du marché. D'autre part le produit est original par rapport à ce qui existe dans la concurrence, surtout au niveau de la localisation du tri : dans une poubelle existante. De plus le besoin est réel auprès des consommateurs : aujourd'hui de plus en plus de personnes doivent trier et ne disposent pas de solution facile à utiliser et intégrée dans leur poubelle.

Une difficulté réside dans la définition du produit pour qu'il réponde à ce besoin. C'est justement ce qui justifie la suite du travail de ce PCT.

5.1.3 Recherche d'idées

Le but de la séance de créativité est de s'éloigner la réflexion sur le produit des solutions déjà trouvées. Il s'agit donc de rechercher de nombreuses autres idées, pour que le choix puisse se faire dans de meilleures conditions, en ayant plusieurs possibilités.

En ayant plusieurs possibilités, on augmente potentiellement la chance de développer un produit moins cher à fabriquer et offrant plus de fonctionnalités. Cela permet aussi de développer un produit plus simple et donc de le développer plus rapidement.

Préparation de la réunion

Le but de la préparation de la réunion était de d'explicitier clairement le besoin des demandeurs. Nous avons ensuite préparé un ordre du jour pour la réunion de créativité en accord avec les besoins du développement du produit.

Le compte-rendu de la réunion de préparation ainsi que l'ordre du jour de la réunion de créativité se trouvent en annexe.

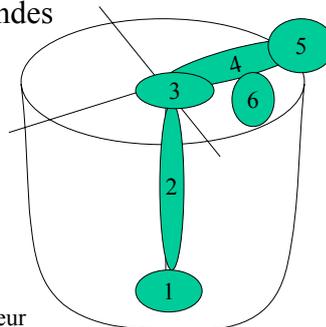
5.1.4 Cahier d'idées

Suite à la réunion de créativité et les nombreuses idées formulées, nous avons synthétiser ces différentes idées en plusieurs parties du produit. Il s'agit d'attribuer des idées aux grandes fonctions du produit. Il y a 6 grandes fonctions techniques dans le produit :

- La fonction du pied,
- La fonction du réglage de la hauteur du système,
- La fonction de réglage des compartiments,
- La fonction de réglage de la longueur des bras,
- La fonction d'accrochage du système sur la poubelle,
- La fonction d'accrochage des sacs.

Ces 6 grandes fonctions sont représentées sur le schéma suivant.

Identification des 6 grandes fonctions techniques du produit



1. Fonction de support au sol
2. Fonction d'ajustement en hauteur
3. Articulation des différents bras
4. Adaptation de la longueur du bras au diamètre de la poubelle
5. Accrochage du bras au bord de la poubelle
6. Accrochage du sac

La synthèse des idées a ensuite été réalisée par rapport à ces grandes fonctions. Nous avons choisi de ne représenter dans le tableau suivant que les solutions potentiellement pertinentes, même si elles avaient besoin d'être modifiées pour être réalisables. Il s'agit d'un premier tri.

Synthèse de la réunion de créativité

1	Ventouse	Pied	trépied	bout en élastomère					
2	Vis/écrou	réglage par crans	empilement de différentes parties	clips	mollette de serrage	goupille			
3	Lego à emboîter	jointure flexible	pliable	rotations	rail central	parapluie	Moyeu excentré	réceptacle à éléments	Bras en pivot
4	parties emboîtables	ressorts	télescopique avec tubes non cylindriques de serrage		glissement serré	bras flexibles	structure gonflable	élastiques	molette de serrage
5	jupe	petit prolongement pour s'appuyer sur le bord		Accrochage par petits patins collés dans la poubelle		serre-joints	Porte-manteau sur porte	coincement	
6	pince aimantée	pince crocodile	pince avec clips	fente	accroche en deux points sur un coté	crochets	style pince à linge		
Autres	mat au mur	filet pour les déchets	mini poubelles s'accrochant en plus au bord de la poubelle		différentes couleurs pour trier	Velcro	plusieurs tailles (2 ou 3)	sacs en papier	

Ce premier tri a été présenté de manière graphique au cours d'une réunion de travail sur la sélection des concepts. Ce premier tri a ainsi permis l'identification de trois grands concepts pour le produit lorsqu'on a confronté les solutions avec les critères de choix. (ces trois concepts sont présentés dans le chapitre suivant)

5.1.5 Scénarios identifiés

Les scénarios des phases importantes d'utilisation ont été réalisés pour avoir un critère objectif de la simplicité de l'utilisation du produit. C'est-à-dire que sur la base des scénarios normaux ou idéaux on peut mesurer la différence de l'usage entre différentes solutions. Par exemple si un concept a besoin de 4 étapes alors qu'un autre aura besoin de 3 étapes, nous sommes alors en mesure de comparer objectivement deux solutions.

Mise en place du système :

1. J'accroche (ou je pose) à un endroit
2. J'étends chacun des bras
3. Je les fixe à l'autre extrémité

Mise en place des sacs :

1. L'espace est disponible
 2. Je mets mon sac dans l'espace
 3. Je place les bords du sac
 4. je fixe les bords
- 

Scénario idéal : 1, 2, 3.

Enlèvement des sacs :

1. Voir le sac plein
2. Décider de le changer
3. Rendre possible le changement du sac
4. Détacher le sac
5. Sortir le sac (prendre les bords, puis retirer le sac)
- (6. Déplacer le système pour que le sac rempli puisse sortir)

Scénario idéal : 1, 2, 5.

Nous pouvons noter le point important qui est apparu au cours de la réunion de sélection, c'est que le système doit se pouvoir se soulever quand on sort les sacs. (dans le cas du prototype des demandeurs du projet correspondant à la demande de brevet). En effet si ceux-ci sont trop volumineux les bras gênent leur sortie.

Or cette fonction de pouvoir bouger le système pour sortir les sacs est contradictoire avec la fonction de fixation de qualité à la poubelle. En effet si nous voulons que le système puisse bouger quand nous enlevons les sacs, il y a le risque que ce système bouge aussi pendant que l'on remplit la poubelle. En face de cette contradiction, le pied devient nécessaire. Un système sans pied n'est pas possible alors à cause de la sensibilité du système aux mouvements extérieurs.

Cette contradiction est dommageable à la qualité du produit, de plus il n'est pas possible dans ces conditions de trouver une solution sans compromis permettant un accrochage de bras de bonne qualité, une adaptation à tous types de poubelles et le fait de pouvoir bouger facilement dans la poubelle.

Cette contradiction est aussi source d'amélioration du produit, en effet, pour que ce problème n'existe plus, il faut des parois planes qui fassent office de séparation. Cela fera l'objet de la présentation d'un concept possible pour le produit.

5.1.6 Identification des critères et synthèse

Critères de choix stratégiques :

Echelle qualitative des choix :

- Fondamental • Très souhaitable • Souhaitable • Acceptable • Non souhaitable • Refusé •

Critère		Description	Choix
Readaptabilité	Système démontable et readaptable	Possibilité de readapter à des nouvelles poubelles ou à des nouvelles configurations	Très souhaitable
	Système d'adaptation irréversible	Transformations définitives d'adaptation (découpe, collage, détachement, etc.)	Acceptable
	Gammes	Produits adaptés par plages de taille, par configuration, ...	Acceptable si coût de vente a. très faible : a. 2 compartiments (pour des petites poubelles) b. 2, 3 et 4 modulables (grandes poubelles)
Outils d'installation	Besoin d'outils	Utilisation d'outils « domestiques » lors de la mise dans la poubelle	Non souhaitable Des ciseaux à la limite
	Sans outils	Installation n'utilisant que les mains	Très souhaitable
Système prêt-à-installer	Installation en une phase	Peu de gestes et dans une opération	Souhaitable
	Plusieurs phases	Besoin de plusieurs étapes pour y arriver	Acceptable
Matériaux	Recyclable	Préférence à ces matériaux	Souhaitable Pour la cohérence contexte/produit
	Matière	Préférence à une matière spécifique (plastique, alu, acier, composites, ...)	Refusé Critères techniques et coûts
Cible physique du produit	Plage taille de poubelles	Intervalles de hauteur et de largeur visés	Hauteur : 30-60cm Largeur : 25-50cm
	Forme des poubelles	Diverses formes envisagées	Formes courantes : cylindrique, conique, section circulaire/carrée
	Architecture des poubelles	Structure-composition des poubelles	Sans/avec couvercle, poubelles rigides, parois pleines, tout type de bord
	Forme des sacs	Types de sacs envisagés	Tous (y compris ceux de supermarché)
Autres	Pièces détachées	Produit ayant des pièces pouvant rester déliées après l'installation	Non souhaitable
	Etude ergonomique	Analyse ergonomique de l'installation et de l'usage	A faire sans des spécialistes

Synthèse :

Les fonctions non négociables du produits sont :

- adaptabilité à tous types de poubelles
- adaptabilité à tous types de sacs
- facilité pour mettre les sacs
- facilité pour enlever les sacs
- réduction du coût pour une diffusion de masse

Les fonctions négociables sont :

- la réadaptabilité à d'autres poubelles
- simplicité de mise en place du système : réalisé qu'une seule fois

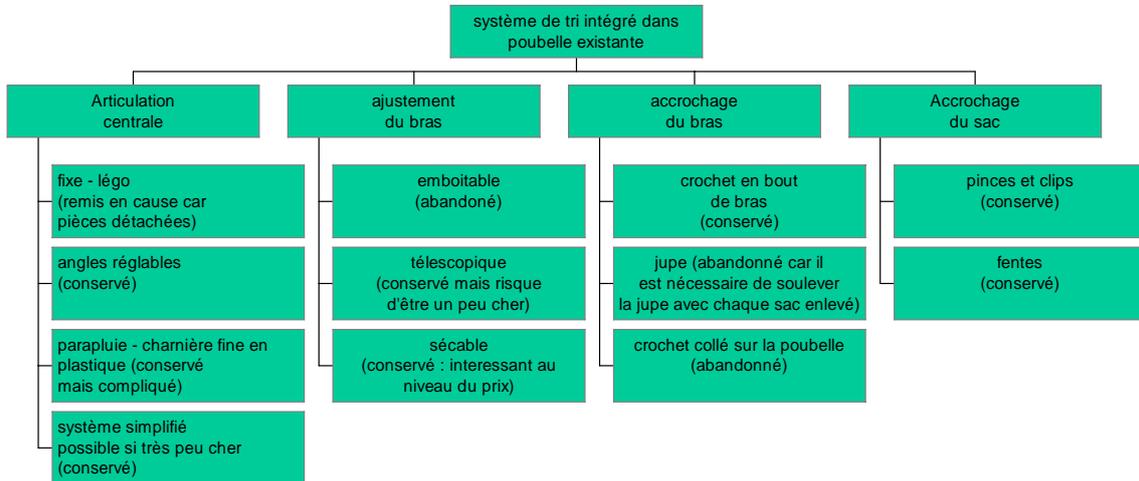
5.1.7 Choix de 3 concepts de produit

Pour mener à bien le choix de 3 concepts pertinents pour le produit, nous avons tout d'abord réalisé une inversion lors de la réunion de créativité pour définir des critères d'évaluation des solutions. Ensuite nous avons réalisé une réunion de sélection pour récolter les informations des demandeurs par rapport aux critères de choix et aussi pour qu'ils précisent leur stratégie par rapport à leur produit.

Synthèse : Compte-rendu du choix de 1 à 3 concepts de solutions

Suite à la réunion de sélection, où nous avons pu préciser avec les demandeurs la hiérarchisation des critères, nous présentons les choix effectués lors de cette réunion dans l'illustration suivante.

Arborescence des choix effectués



Suite à cette réunion, il a donc été possible d'envisager la piste du ré-adaptable. De plus, il a été mis en évidence d'après expérimentation des demandeurs qu'il y avait un problème pour enlever les sacs. Ce qui a donné une idée : de faire des pans entiers articulés au centre, un peu à la manière de carton qui s'imbriquent l'un dans l'autre avec une fente.

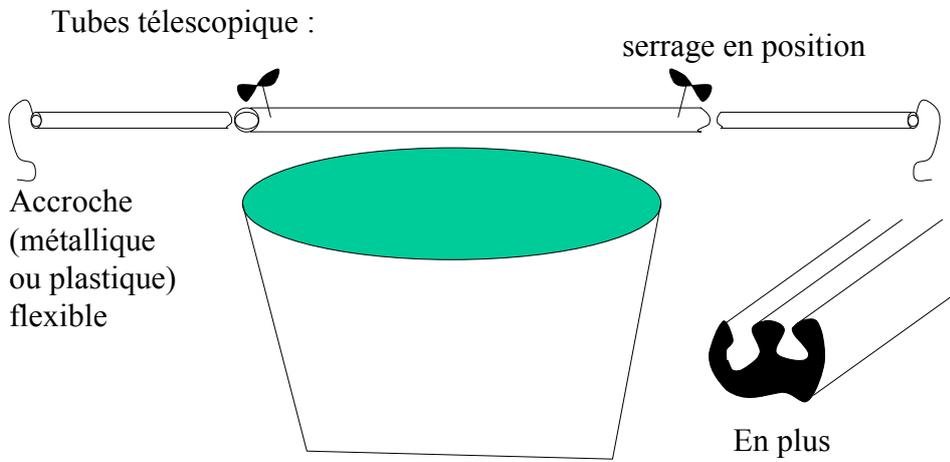
La connaissance d'un matériau plastique en plaques extrudés double face avec une section carré, suffisamment résistante pour la fonction, rend ce concept de solution très intéressant. Ce concept est complété par l'adoption d'une solution d'accrochage des sacs sous la forme d'une fente ou les sacs peuvent s'accrocher.

Présentation des différents concepts

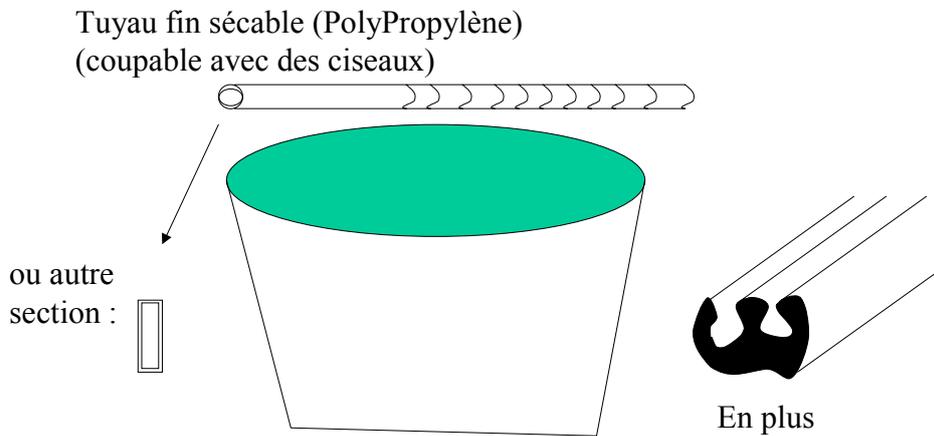
CONCEPT A : 2 solutions.

Solution simple 1

Solution simple 1



Solution simple 2

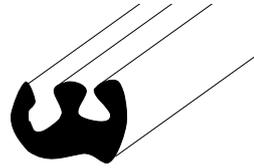
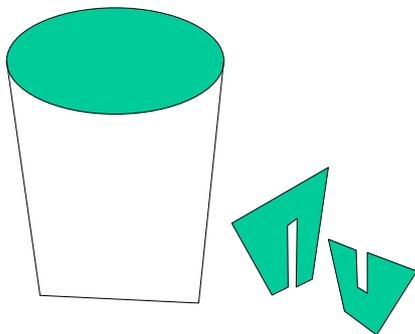


estimation du prix : entre 4 et 7 francs pour des quantité de 50000/an

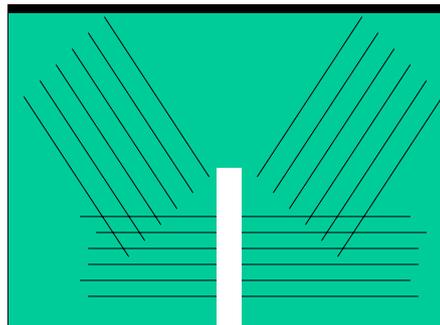
CONCEPT B :

Solution simple 3

Plaques fines sécables
(coupable avec des ciseaux)



En plus



rayures imprimées pour
donner l'idée de couper
selon le profil de la poubelle

Le serrage reste encore à étudier, mais cela ne devrait pas poser de problèmes :

- Fonction principale : permettre l'accrochage du sac avec les doigts.
- Fonction contrainte : l'accrochage doit être suffisamment résistant pour tenir les bords du sac. On suppose que le sac repose au fond de la poubelle. De plus l'utilisateur doit retirer le sac suffisamment facilement.

Pour cette solution le développement durera donc environ 5 semaines pour la mise au point du système d'accrochage et pour avoir un prototype fonctionnel de faisabilité.

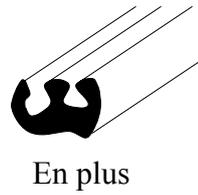
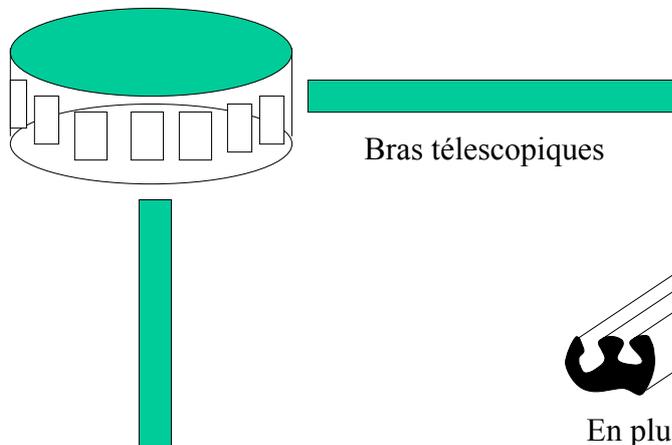
En fonction de la solution finale retenue et validée par des tests, il sera alors nécessaire de formaliser le travail des fournisseurs, pour qu'ils réalisent une pré-série. Il sera possible de travailler avec les fournisseurs pour la mise au point de ce système d'accrochage.

Avantage de cette solution : coût très faible, capacité de production garantie.

CONCEPT C :

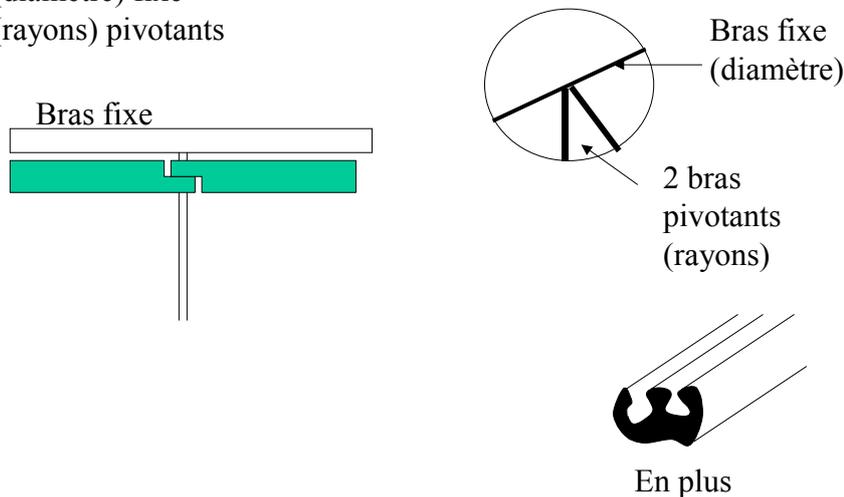
Solution adaptable 1

Bras imbriqués



Solution adaptable 2

- 1 bras (diamètre) fixe
- 2 bras (rayons) pivotants



5.1.8 Etablissement du programme de développement

Pré-étude des scénarios de développement du produit

Pour la solution 1& 2 (concept A)

Etude du système d'accrochage : recherche d'idée complémentaires et de détail + évaluation (2jour), CAO (3jours) de 3 concepts, prototypage rapide (4 jours) de moules pour réaliser les pièces en silicone, prototypage rapide pour réaliser les pièces en ABS, finition : 5 jours, essais 3 jours : 17 jours + prototypage

Recherche de fournisseurs pour la partie accrochage, spécification du besoin, prises de contacts, discussion sur la faisabilité technique, recherche de partenariats (3 jours)

Recherche de fournisseurs pour la structure, prises de contacts, demandes de prix, spécification du besoin, discussion sur la faisabilité technique : 5 jours

Etude design 2 jours ?

La recherche des fournisseurs dans cette phase n'est qu'une première approche, ces contacts ont pour but d'avoir un ordre de grandeur des prix et de les associer le plus tôt possible dans le développement du produit.

Le rendu par rapport aux fournisseurs est des devis (qui signifient aussi la faisabilité du produit)

Le but de cette partie d'étude est de vérifier la faisabilité du produit et du projet : sur les aspects technique et coût au niveau du produit, et d'avoir des informations pour que la société puisse faire le choix de continuer ou pas.

Total 27 jours : délais 4 mois ouvrés (fin novembre 01) + PR + maquettes

$27 * 3.5 = 94\ 500$ études

PR = 5000

Maquettes = 5000

Frais généraux

Total : 110.000

Etude d'industrialisation

Le but de cette étude est d'obtenir une pré-série qui clôture la phase de développement du produit. Sur la base des informations de l'étude de faisabilité et sur la base des choix effectués par l'entreprise, il s'agit dans cette étude de faire la définition CAO du produit à industrialiser, gérer la mise au point avec les fournisseurs, gérer l'ajustements du produit au procédés de fabrication, assurer le bon déroulement du projet.

Pour cette solution nous pensons qu'il faut entre 4 et 6 mois, mais ceci dépend essentiellement des délais des fournisseurs et de la complexité des pièces à réaliser.

Design du packaging ?

Evaluation du coût de développement :

20 jours sur 5 mois (suivi) délais fin avril 02 – études 80000F

coût des investissements (moules pour le système d'accrochage et pour la structure)

environ 250.000F ± 100.000F

Pour la solution 3 (concept B)

Etude du système d'accrochage : recherche d'idée complémentaires et de détail + évaluation (1jour), CAO (2jours) de 3 à 5 concepts, prototypage rapide (3 jours) de moules pour réaliser les pièces en silicone, prototypage rapide pour réaliser les pièces en ABS, finition : 2 jours, essais 2 jours : 10 jours + prototypage

Recherche de fournisseurs pour la partie accrochage, spécification du besoin, prises de contacts, discussion sur la faisabilité technique, recherche de partenariats (3 jours)

Recherche de fournisseurs pour la plaque, demandes de prix, prises de contacts, spécification du besoin : 3 jours

Etude design 2 jours ?

La recherche des fournisseurs dans cette phase n'est qu'une première approche, ces contacts ont pour but d'avoir un ordre de grandeur des prix et de les associer le plus tot possible dans le développement du produit.

Le rendu par rapport aux fournisseurs est des devis (qui signifient aussi la faisabilité du produit)

Le but de cette partie d'étude est de vérifier la faisabilité du produit et du projet : sur les aspects technique et coût au niveau du produit, et d'avoir des informations pour que la société puisse faire le choix de continuer ou pas.

Total 20 jours : délais 3 mois ouvrés (- > fin octobre 01) + PR + maquettes

27*3.5 = 70 000 études

142

PR = 4000

Maquettes = 3000

Frais généraux : 4000

Total : 82.000 HT

Etude d'industrialisation

Le but de cette étude est d'obtenir une pré-série qui clôture la phase de développement du produit. Sur la base des informations de l'étude de faisabilité et sur la base des choix effectués par l'entreprise, il s'agit dans cette étude de faire la définition CAO du produit à industrialiser, gérer la mise au point avec les fournisseurs, gérer l'ajustements du produit au procédés de fabrication, assurer le bon déroulement du projet.

Pour cette solution nous pensons qu'il faut entre 3 et 5 mois, mais ceci dépend essentiellement des délais des fournisseurs et de la complexité des pièces à réaliser.

Design du packaging ?

(cette étude n'est pas forcément nécessaire pour vous)

Evaluation du coût de développement :

20 jours sur 5 mois (suivi) délais fin avril 02 – études 80000F

coût des investissements (outil de découpe, moules pour le système d'accrochage)

environ 100.000F +/- 50.000F

Pour les solutions 4 & 5 (concept C)

Etude du système d'accrochage : recherche d'idée complémentaires et de détail + évaluation (2jour), CAO (3jours) de 3 concepts, prototypage rapide (4 jours) de moules pour réaliser les pièces en silicone, prototypage rapide pour réaliser les pièces en ABS, finition : 5 jours, essais 3 jours : 17 jours + prototypage

Recherche de fournisseurs pour la partie accrochage, spécification du besoin, prises de contacts, discussion sur la faisabilité technique, recherche de partenariats (3 jours)

Recherche de fournisseurs pour la structure, prises de contacts, demandes de prix, spécification du besoin, discussion sur la faisabilité technique : 5 jours

Etude design 2 jours ?

La recherche des fournisseurs dans cette phase n'est qu'une première approche, ces contacts ont pour but d'avoir un ordre de grandeur des prix et de les associer le plus tot possible dans le développement du produit.

Le rendu par rapport aux fournisseurs est des devis (qui signifient aussi la faisabilité du produit)

Le but de cette partie d'étude est de vérifier la faisabilité du produit et du projet : sur les aspects technique et coût au niveau du produit, et d'avoir des informations pour que la société puisse faire le choix de continuer ou pas.

Total 27 jours : délais 4 mois ouvrés (fin novembre 01) + PR + maquettes

$27 * 3.5 = 94\ 500$ études

PR = 5000

Maquettes = 5000

Frais généraux : 5000

Total : 110.000

Etude d'industrialisation

Le but de cette étude est d'obtenir une pré-série qui cloture la phase de développement du produit. Sur la base des informations de l'étude de faisabilité et sur la base des choix effectués

par l'entreprise, il s'agit dans cette étude de faire la définition CAO du produit à industrialiser, gérer la mise au point avec les fournisseurs, gérer l'ajustements du produit au procédés de fabrication, assurer le bon déroulement du projet.

Pour cette solution nous pensons qu'il faut entre 4 et 7 mois, mais ceci dépend essentiellement des délais des fournisseurs et de la complexité des pièces à réaliser.

Design du packaging ?

Evaluation du coût de développement :

25 jours sur 5 mois (suivi) délais fin avril 02 – études 100000F

coût des investissements (moules pour le système d'accrochage et pour la structure)

environ 250.000F +- 100.000F

Tableau de synthèse

Les valeurs comprises dans ces tableaux sont des estimations en l'état actuel du projet. Elles on pour but de définir l'orientation générale du projet, sachant que les 3 concepts ne peuvent pas être développés ensembles. Il y a aura un choix à faire par les demandeurs.

	Concept A	Concept B	Concept C
Prix de revient	4 à 7 F	2 à 5 F	5 à 10 F
Temps de développement	Entre 9 et 11 mois	8 mois	Entre 10 et 12 mois
Etudes : Coût de développement (HT)	200 KF	160 KF	200 KF
Investissements	Entre 200 et 300 KF	Entre 50 et 100 KF	Entre 250 et 350 KF
Avantages des fonctions			
Modularité (chaque sac retirable indépendamment)	Oui	Oui	Oui
Adaptabilité à tous les sacs	Oui	Oui	Oui
Adaptable aux petites	Oui	Oui	Oui

poubelles – encombrement			
Simplicité d'utilisation	Oui	Oui	Oui
Pouvoir mettre le couvercle	Oui	Oui	Oui
Fonctions secondaires	Oui	Oui	Oui
<i>Nettoyable (lave-vaisselle)</i>	Oui	Lavable à l'eau et jetable	Oui
<i>Solidité / durabilité</i>	Oui	Assez rigide et jetable	Oui
Ré-adaptabilité	Oui	Non	Oui
Ré-utilisation du brevet	Oui	Oui, si modification possibles du brevet	Oui
Commentaires	Parait difficile à trouver une attache fiable, solide et démontable facilement	Le système parait « Cheep », mais est très acceptable, sa simplicité est très intéressante	Solution complète
	il reste le petit souci lorsqu'on retire des sacs bien remplis	Pas de souci lorsqu'on retire le sac (bien plus fréquent que le montage)	il reste le petit souci lorsqu'on retire des sacs bien remplis
	Les mode d'accrochage n'est pas encore fixé : 3 concepts existent		
Avantages par rapport à la stratégie	Cela est pratique, peu encombrant dans l'emballage	La diffusion auprès des mairies de ce système peut être très rapide	Stabilité, robustesse.

	Peu rassurant à l'usage : fiabilité de l'accrochage ?	Très peu d'investissements, rentabilisation plus rapide	
--	---	---	--

5.2 Expérimentation B

Ce projet industriel s'agit de la reconception d'un produit existant et commercialisé par l'entreprise dans le but de corriger certaines défaillances et apporter des améliorations d'usage, de fiabilité et de maintenabilité²⁶ ainsi que par rapport à la cohérence avec la qualité perçue.

La deuxième expérimentation (P&T) nous permet de montrer deux aspects très importants liés à nos hypothèses: D'une part, elle nous montre le besoin de compléter notre approche avec les outils d'aide au pilotage "classique" des projets de conception. Cela nous donnera plus de "faisabilité" par rapport aux délais de développement et assure de manière plus explicite les attentes de l'entreprise en termes de capacité d'exploitation des résultats obtenus, indépendamment de la nature et le niveau de maturité des rendus (par exemple, même si les objectifs initiaux ne sont pas atteints).

D'autre part, elle met en évidence le processus d'apprentissage et appropriation de la part de l'entreprise grâce au processus d'innovation mené. Nous avons constaté qu'au-delà des apports liés au produit en conception, l'entreprise a réalisé une acquisition de connaissances sur tout au niveau stratégique (son positionnement, les arguments pour faire adhérer à sa démarche d'innovation, le discours auprès de ses distributeurs, etc.)

Le contexte de réalisation de cette expérimentation a impliqué des contraintes techniques associées au fait de situer le processus de conception dans le cadre d'une reconception de produit.

5.2.1 La maquette évolutive

« Les objets intermédiaires peuvent également être caractérisés sur un axe "ouvert –fermé", en relation avec l'organisation dans laquelle ils jouent un rôle. Un objet qualifié d'ouvert laisse à l'utilisateur une marge de manoeuvre au sein de laquelle il peut plus ou moins

²⁶ « La maintenabilité est une caractéristique précisant la facilité et la rapidité avec lesquelles un système peut être remis en un état de fonctionnement total avec une fiabilité correspondant à son âge ». Pierre Chapouille, "Maintenabilité. Maintenance," *Techniques de l'Ingénieur. Traité L'entreprise industrielle* T 4 305 ([Date de publication]): Page 1.

diverger. Il incite à une interprétation qui peut se concrétiser par des amendements ou des corrections. Il suscite les variantes ». [Prudhomme 1999][Mer 1995].

La maquette flexible

La maquette intermédiaire pour valider mais aussi pour chercher des concepts.

Nous présentons un maquetage qui permet de proposer des points de départ dans la recherche de solutions (quelque chose pour commencer les réflexions et pour réduire le nombre de combinaisons possibles). La maquette flexible permet de faire muter les concepts en augmentant la variabilité dans la proposition des concepts. La maquette n'est plus un moyen juste pour valider ou évaluer.

Différence avec la « maquette évolutive » :

Le concept de maquette évolutive utilisé par les maquettistes concerne des représentations intermédiaires visant la validation de concepts (sens large : fonctions, usage, aspect,...) et qui par leur configuration (architecture) permettent des variations ultérieures faciles et rapides (ex : Maquettes modulaires, composants standard, etc.). Le principe de sa flexibilité peut s'appuyer sur la base d'un noyau invariant avec des modules séparés qui s'y attachent, ou sur l'agencement possible de ses composants (modulaires, assemblables, plus ou moins génériques,...)

Ce type de maquette est très utile pour la conception de gammes de produits, pour la définition d'une génération et son évolution à court terme, pour la définition de concepts d'architecture (encombrement, faisabilité, maintenance,...), etc.

5.2.2 Introduction

La Société Piot et Tirouflet fabrique un système de diffusion de parfums appelé FIRST qui est commercialisé par la marque Nat'arom. Il s'agit d'une centrale de diffusion d'odeurs, compacte et portable, d'entrée de gamme (voir figure 1). Aucune installation n'est nécessaire sur le site d'exploitation du produit. Cette centrale utilise un consommable à base d'huiles essentielles ou de neutralisant.

La présente étude a pour objectif de définir les changements à effectuer sur le concept du produit FIRST actuel, à partir des résultats de l'étude précédente intitulée « Elaboration d'un

plan de conception et de développement d'un produit nouveau : Un diffuseur olfactif ». Cette re-conception sera sous forme de : Choix d'une architecture globale pour le produit, intégration des aspects directement liés aux utilisateurs (design, usage,...) et enfin la définition plus détaillée des différents composants visant l'industrialisation (plans CAO, définition de pièces, choix de composants standard,...).

Ce document est présenté selon le plan de développement établi en avant-projet. Cette organisation ne correspond pas à une chronologie des activités réalisées mais aux différents aspects traités (architecture globale, design,...). En effet, comme il était prévu dans la structuration du projet, certaines activités ont été menées en parallèle.



Figure 39. FIRST : Système compact de diffusion de parfums.

5.2.3 Résumé du projet précédent

L'entreprise Piot et Tirouflet réalisait la conception de produits sans méthodologie spécifique. Ce qui l'amenait à vendre des produits non pertinents par rapport au marché visé et par rapport aux technologies utilisées.

Le but de cette étude était de faire un diagnostic des processus de conception de l'entreprise et à court terme de définir avec elle le cahier de charges du futur produit à industrialiser.

Une analyse du besoin a été réalisée. La validation de ce besoin a débouché sur la formalisation d'un cahier de charges. Une étude des produits existants a permis de redéfinir la stratégie de l'entreprise.

Un « sens pour le produit » a été défini par rapport aux contextes d'utilisation, aux produits concurrents, à la stratégie de l'entreprise et au positionnement dans le marché, etc. En établissant des critères de sélection, les qualités recherchées pour le produit à développer ont été déterminées. Ainsi, nous avons conclu que le produit doit être cohérent avec la « part de

rêve suggérée » au moyen de ces quatre qualités : L'estime, la discrétion, la simplicité et l'adaptabilité.

De manière plus concrète, un premier cahier de charges peut être résumé par les considérations suivantes :

- diminuer le bruit de fonctionnement,
- alléger l'ensemble produit,
- faciliter l'usage notamment lors du changement du consommable et le réglage de la diffusion, et
- intégrer une dimension esthétique cohérente avec le marché visé.

Des solutions technologiques ont été proposées et confrontées aux critères de sélection.

Deux programmes de développement ont été présentés. L'entreprise a choisi le programme le plus adapté à sa stratégie et compatible avec ses efforts d'apprentissage nécessaires. Il a été proposé d'une part, une **re-conception légère** portant essentiellement sur le design et la technologie, et d'autre part, une **re-conception totale** pour aboutir à un produit très innovant : Remise en cause de l'ergonomie, analyse de tendances du produit, re-conception totale de la technologie et de l'architecture du produit. Cette dernière solution n'a pas été retenue par manque actuel de moyens financiers et par rapport aux délais de développement nécessaires.

5.2.4 Cahier des charges évolutif

Comme l'on a vu plus haut, les considérations générales à prendre en compte dans la conception du produit ont été définies. Pourtant, elles restent dans la plupart d'ordre général, ce qui nous permettra dans un premier temps la définition globale du produit tout en gardant encore une certaine « marge de manœuvre », une flexibilité dans les choix possibles. Les spécifications (de niveau plus détaillé) avancées dans ladite étude seront reconsidérées tout au long du processus de conception.

Pour garantir la cohérence entre les résultats attendus par l'industriel et les caractéristiques du futur produit, nous avons procédé par des redéfinitions intermédiaires du cahier de charges. Cela permet la prise en compte de **l'apprentissage et de l'évolution de la perception** de la part des décideurs de l'entreprise (et autres acteurs du projet) par rapport au projet-produit. Ainsi, la stratégie de l'entreprise peut être affinée (voire changée) et réintégrée au fur et à mesure le projet avance.

5.2.5 Projet global de développement du produit

Par rapport au choix d'une re-conception comprenant des modifications mineures sur le produit existant, nous avons précisé :

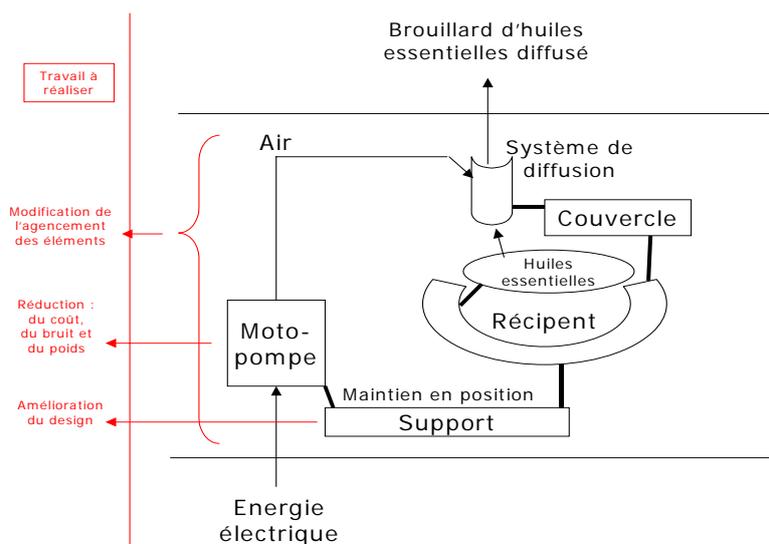
D'une part, les éléments qui ne seraient pas remis en question :

- l'utilisation d'une moto-pompe pour propulser l'air,
- le système de diffusion des huiles essentielles dans l'air ambiant,
- le type de programmation de la diffusion des odeurs (réglage des durées).

Et d'autre part, les aspects qui seraient revisités pour intégrer les considérations avancées dans le cahier de charges défini précédemment :

- l'agencement des différents éléments, pour réduire l'encombrement et les difficultés d'utilisation,
- le choix du groupe moto-pompe, afin de répondre aux objectifs de bruit, de poids, de coût,
- le design du produit pour mieux répondre à la demande des acheteurs visés.

Dans ce sens, la réduction du coût, l'amélioration des performances, la réduction du bruit et la facilité d'utilisation seront améliorées, sans pour autant garantir une originalité globale du



produit final. La figure 2 schématise l'architecture produit par rapport au choix réalisé.

Figure 2. Architecture du futur produit et actions essentielles.

5.2.5.1 Conception Globale

Recherche de solutions et d'architecture

D'après les différentes voies de solutions présentées dans l'étude précédente (voir annexes de ladite étude), nous avons proposé quelques variantes et un regroupement selon l'architecture formulée (représentée dans la figure 2). Nous nous sommes concentrés dans cette phase sur le principe global d'agencement pour repérer des pistes de réflexion pour la définition de l'étude design prévue par la suite. Cf. annexes A.

Un premier choix a été fait selon les critères explicités en essayant de rester représentatif des différentes voies identifiées. Ces voies ne sont pas forcément opposées les unes aux autres. Nous avons pu dégager « des idées fortes » à analyser plus en détail. Le tableau 1 présente une synthèse qui montre d'une part les idées retenues pour être évaluées par la suite et d'autre part les critères (regroupés) plus déterminants (discussion et pondération réalisées dans l'étude précédente).

Cependant, pour « remplir » convenablement ce tableau, une première réflexion sur « la cohérence du produit par rapport à l'estime souhaitée » a été menée (Cf. section 2.3). Ainsi, le tableau montre déjà la prise en compte de quelques considérations « design » décrites dans la section 2.3.

Ce tableau nous a permis de mieux connaître et de préciser la stratégie de l'entreprise : de mettre en évidence les voies de solution intéressantes mais aussi d'identifier tôt les propositions non pertinentes. En occurrence :

- L'agencement en colonne a été rapidement abandonné.

- Pour le reste de propositions, rien n'a été définitif. En principe « tout est possible si on trouve les solutions industrielles et de maintenance ».

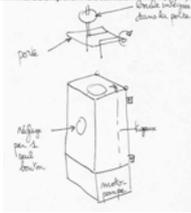
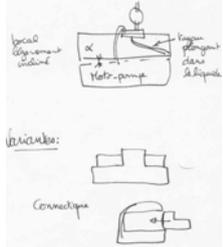
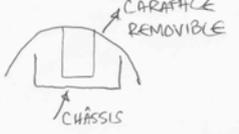
concept		Point de vue ou critère			Remarques
Mot clé	exemple	design	recharge	Coût/ industrialisation	
Colonne		-	-	~	-Accroché ou posé. -Problème de recharge par le haut ? (pas trop zen)
Aplati		++	~	~	-Cohérent avec « avant-garde/zen » -récipient standard ?
Côte à côte		+	+	~	
Mono-volume					
Bi-volume					-Prévoir intégration design
Carapace					-Tout type de disposition. -Prévoir l'accès aux contrôles.

Tableau 1. Voies de solution retenues et grille d'évaluation.

Maquettage intermédiaire

Suite à une séance de créativité et une discussion en interne au LCPI, trois concepts d'agencements possibles ont été considérés pour une évaluation plus approfondie. Nous avons cherché la représentativité par rapport aux concepts avancés au préalable (Cf. tableau 1).

Nous avons abordé des aspects tels que : position des différents éléments encombrants, systèmes d'accès et de recharge des cartouches, ... Le tout en prenant comme base les volumes de référence des composants plus importants :

- bocal de 500ml actuel,
- pompe (modèle SP ges.gesch fabriquée en Allemagne) choisie parmi celles disponibles (critères : pression, débit et bruit),
- programmeur (*timer*) analogique actuel, et
- boule d'échappement actuelle.

En complément, nous avons aussi examiné d'autres alternatives pour le récipient en prenant des capacités plus petites ou des proportions différentes (Cf. figure 3a) pour réduire l'encombrement global. Pour l'encombrement de la pompe, nous avons aussi considéré la possibilité de la pompe qui équipe le système actuel (Cf. figure 3b).

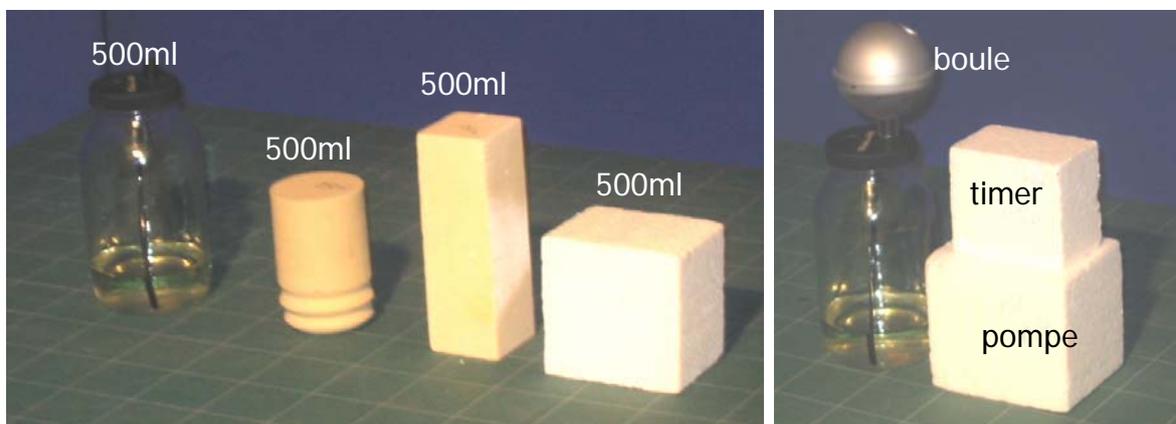


Figure 3. a) Différents volumes et proportions pour le récipient. b) Encombrement des composants.

Concept 1 (figure 4 et 5) :

- agencement monobloc
- porte d'accès pour recharge
- fixation-liason du système d'échappement non définie
- disposition horizontale dressée

Concept 2 (figure 6 et 7) :

- agencement bibloc
- système d'échappement mobil pour recharge
- disposition verticale ou horizontale

Concept 3 :

- agencement bibloc

Maquettage partiel :

La représentation de concepts sous forme de maquettes « de premier niveau » permet une première évaluation des voies de solution mais aussi la discussion et l'exploration de différentes possibilités avec chaque concept, en favorisant l'adéquation avec les attentes générales formulées au début du projet.



Figure 4. Concept 1, agencement monobloc, porte d'accès.

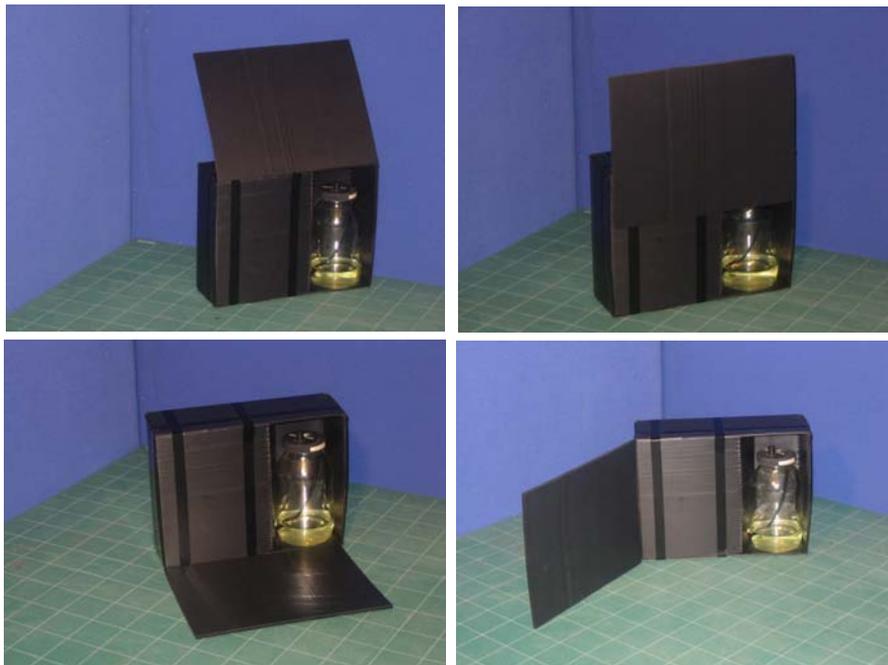


Figure 5. Concept 1, exemples d'ouverture de la porte d'accès au consommable.

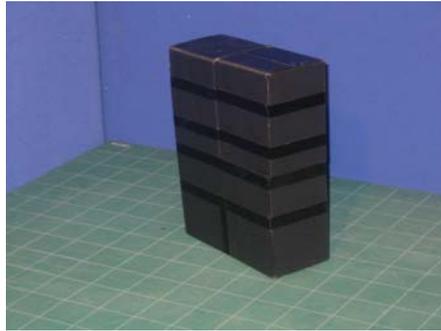


Figure 6. Concept 2, agencement bibloc. Système d'échappement mobil.

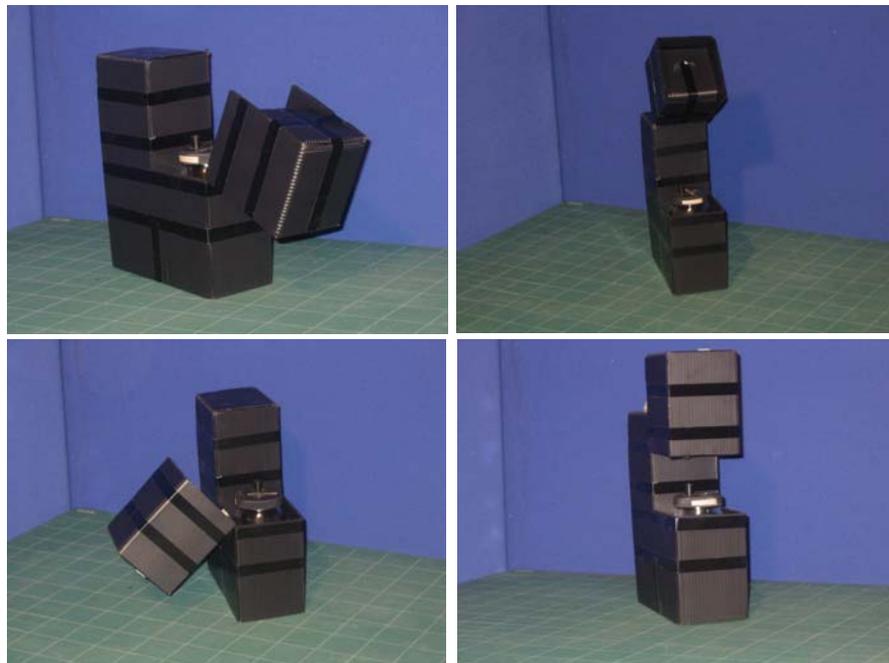


Figure 7. Concept 2, exemples d'ouverture rendant accès au consommable.

La troisième architecture proposée n'a pas été maquettée, d'une part car elle représentait plutôt un concept de fonction transversale et d'autre part car les croquis réalisés ont été jugés suffisants pour sa compréhension, la discussion et la prise de décisions. Elle consiste en une **capote enveloppant tout un bloc châssis** où sont agencés tous les composants. Le principe est de rendre à ce couvercle une fonction de support pour la personnalisation et la communication vis-à-vis des utilisateurs ou des prescripteurs.

Conclusions :

Il a été décidé de prendre les trois concepts pour faire l'étude design.

Les dimensions et l'agencement des composants ont été jugés acceptables. Une réduction encore plus importante des dimensions pourrait avoir un impact nocif sur la perception des utilisateurs (au sens prescripteurs utilisé dans l'étude précédente) par rapport à l'usage, à la maintenance et à la qualité perçue du produit.

Des remarques ont été faites sur les risques de dépôt d'huile dans la partie mobile du concept 2 (tel comme il a été présenté) et sur la faisabilité et fiabilité de la connectique impliquée. A revoir lors de la conception détaillée.

5.2.5.2 Etude design

Comme l'on précise dans l'étude précédente, le produit doit être cohérent avec l'estime souhaitée. Cette estime est liée en partie à l'aspect perçu du produit, tant du point de vue de la qualité, la fiabilité, la facilité d'utilisation et de maintenance, mais aussi du point de vue esthétique (entre autres). Cette étude design a été donc orientée dans ce sens en privilégiant la perception de « l'enveloppe » du produit.

Du cahier de charges à des mots clés

Pour déterminer le style répondant aux attentes, nous avons commencé par une traduction des valeurs cherchées en mots clés. Pour cela nous nous sommes appuyés sur une carte (mapping) représentant les différentes orientations ou tendances trouvées dans l'univers des diffuseurs de parfums (Cf. Figure 8). Deux axes ont été proposés : un premier allant du « décoratif, luxe, sophistiqué » au « austérité, fonctionnalité, performance », et un deuxième allant du « retro » à « l'avant-garde ».



Figure 8. Mapping de tendances. Univers des diffuseurs de parfums.

Une liste de mots-clés a été créée à partir des valeurs identifiées (Cf. Tableau 2). Ces notions sont représentées dans des planches au moyen d'images (montage des photos) familières de la vie courante pour faciliter la compréhension et la communication.

1. Nature, Bio	2. Vente, Communication, produit, marque	3. Zen, tradition
4. Parfum, Senteur	5. Aseptisé	6. Soft
7. Diffusion	8. Ambiance, air pur	9. Rétro, années 1900
10. Discrétion, raffiné	11. Estime, luxe	12. Transparence
13. Légèreté, Confort, Simplicité	14. High Tech	15. Fluo, Visible

Tableau 2. Mots-clés issus du mapping de tendances.

Positionnement et Choix :

Comme l'on précise dans l'étude précédente, plusieurs types d'individus pourraient être concernés par les attributs du produit. Ainsi, il y a les individus ressentant directement les effets de la diffusion d'odeurs, il y a les utilisateurs en tant qu'opérateurs de l'appareil et il y a ceux qui veulent accéder à ce service et proposent l'installation du système, les prescripteurs.

Il a été considéré le prescripteur comme la cible la plus importante à prendre en compte dans le choix à faire. C'est lui qui aura la première impression du produit lors de l'achat et c'est lui qui directement ou indirectement prend la décision de l'acquiescer. Il aurait une sensibilité, une vision globale par rapport aux besoins de l'entreprise concernée par le produit en termes d'esthétique, d'agencement des espaces, de logistique, etc.

Le positionnement souhaité par la Société Piot et Tirouflet est montré par un cercle rouge dans le mapping de la figure 8. Prenant ce choix en compte et suite à une discussion sur les différentes valeurs exprimées dans le tableau 2, l'équipe-projet a gardé deux notions de base (en mots-clés) :

-Le soft, zen-nature (sens discrétion, zen, légèreté, diffusion, air pur,...)

-« L'archi-tech » (sens raffiné, luxe, légèreté,...)

Certaines valeurs sont à éviter : le high-tech, le transparent, l'aseptisé,...

Réalisation de Roughs

Avec les concepts d'architecture gardés et les valeurs esthétiques choisies, trois propositions design ont été faites. Il y a une proposition par concept architectural.

En un premier temps des dessins de recherche stylistique (Cf. annexes) ont été effectués, afin d'aboutir aux trois concepts stylistiques finaux.

Dans un deuxième temps, nous avons illustré ces concepts et effectué les planches de présentation.

Les trois thèmes stylistiques développés sont les suivants (Cf. figures 9, 10 et 11) :

1-Galet : Avoir un produit 'déco' dont la forme soit en contradiction avec le service rendu ; un galet, symbole de la pierre rigide et froide qui émette des parfums légers et embaumant.

2-Zen : Une grande feuille ondulée et aérienne cachant le boîtier surplombé de la demi-sphère de régulation. Cette 'feuille' ondulée a un film qui cacherait sa moitié inférieure dans un souci de personnalisation au niveau de la couleur et du message affiché (logo, publicité, événement,...).

3-Prima : De l'objet industriel caché, le transformer en objet plantaire parfumé utilisant certains codes formels de l'univers des plantes en pot. La vocation serait de s'afficher et de valoriser la décoration de l'espace. La sphère, contrainte au départ, est mise en valeur par sa disposition dans l'ensemble.

Des représentations en format A4 se trouvent en annexes.

Choix : La seconde proposition (nommée ZEN) a été retenue. Quelques modifications ont été effectuées par la suite ainsi que quelques propositions couleurs (cf. annexes). La couleur jade a été privilégiée, combinée avec des couleurs métallisées (notion tech).

Cette solution concerne notamment le concept 1 (figure 4) monobloc et le concept de capote enveloppant un châssis (non maquetté) pour personnalisation et support de communication.

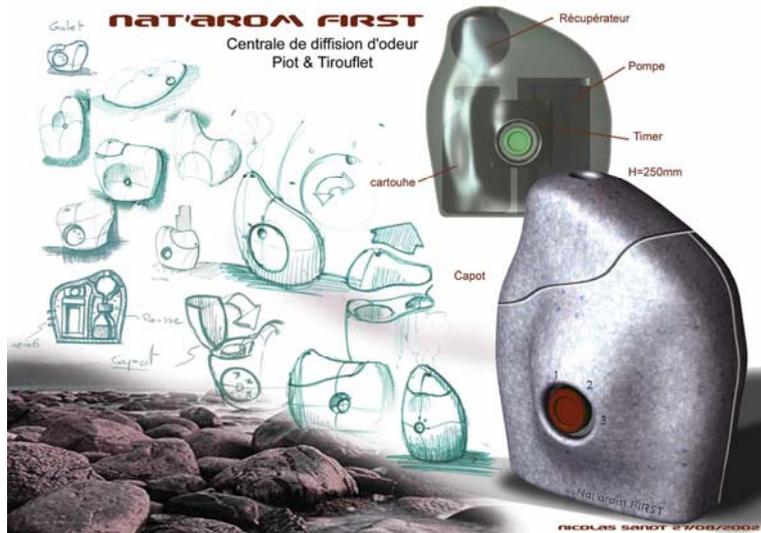


Figure 9. Esquisse 1. Galet.

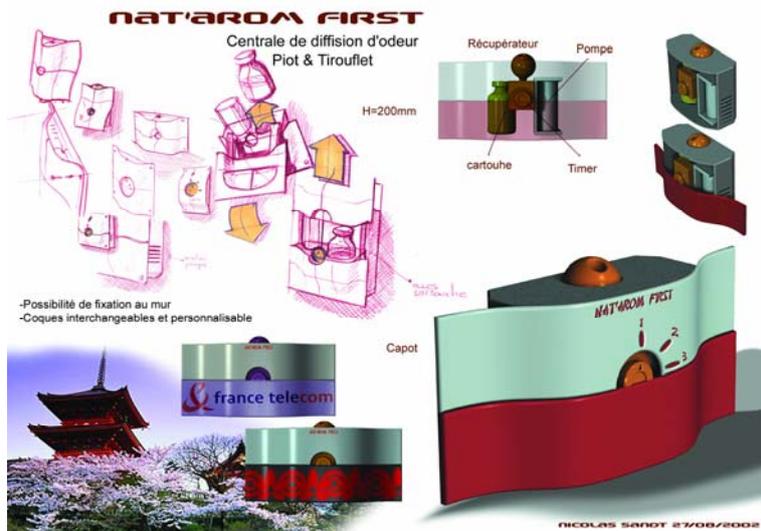


Figure 10. Esquisse 2. Zen.



Figure 11. Esquisse 3. Prima.

Maquette d'aspect

Comme il était prévu au début du projet, nous avons réalisé une maquette d'aspect (Figure 13 et 14) de la solution retenue pour l'exposer au Salon Equipmag 2002 à Paris.

Fiche technique :

- Matériaux : Polystyrène (planches 3 mm d'épaisseur)
PVC (barre cylindrique diamètre 40mm)
Boule plastique transparente (composant fini)
- Procédés : Fabrication de 2 moules en mousse poreuse basse densité (figure 12)
Thermoformage du boîtier et de la façade
Colle polystyrène (trichlore)
Assemblage par vis centrale
Peinture acrylique et peinture aluminisée.
- Finition : Boîtier brillant
Façade bi-couleur : mat/métallisé
Boule métallisée
Bouton central métallisé



Figure 12. Moules en mousse pour thermoformage.

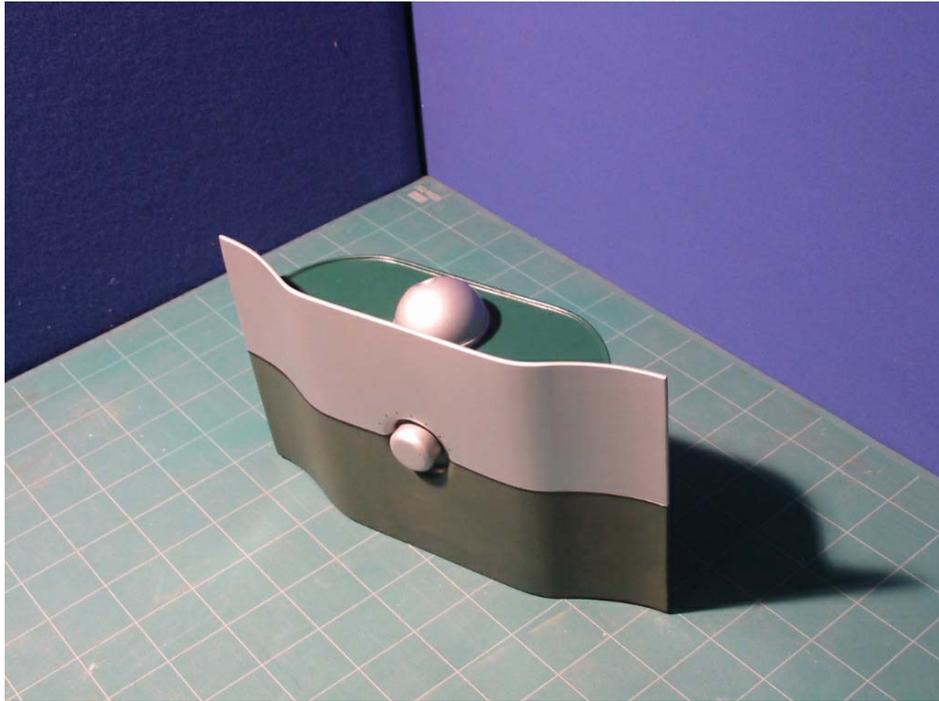


Figure 13. Maquette d'aspect concept Zen.

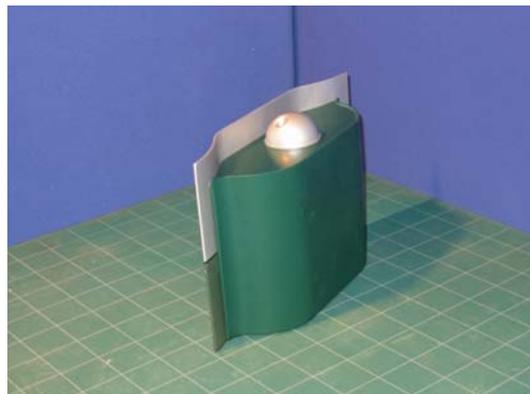
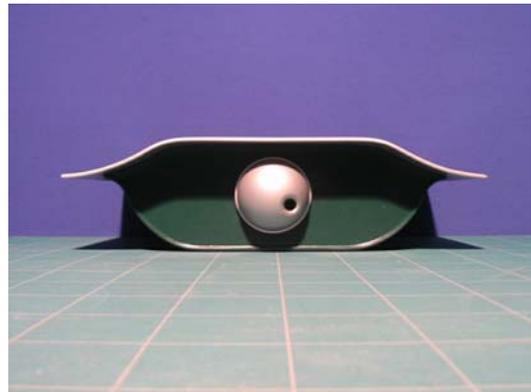
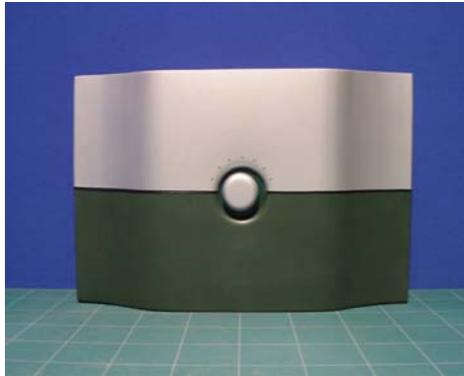


Figure 14. Maquette d'aspect concept Zen. Vues diverses.

Remarques et retours sur la maquette :

Lors de la réunion du 29 octobre 2002, il a été évoqué d'une part les retours des visiteurs du Salon Equipmag et d'autre part, l'avis des partenaires de la Société ainsi que de l'équipe-projet même. Des points d'amélioration ont été proposés.

- Taille : acceptable mais représente le maximum
- Bouton : pas de graduation, pas de réglage, associer d'autres fonctions ? (Serrure, ouverture, blocage,...). Garder l'esprit esthétique de la façade y compris le support personnalisable.
- Garder l'idée de communiquer sur la firme (Nat'arom)
- Boule opaque.
- Feuille très simple (en bois, métal, plastique,... ?)
- Pas de remarques d'usage.
- Pour ouvrir, deux gestes simultanés.
- Réglage interne : figé par l'installateur. Réglage externe : réalisé par l'utilisateur. Sinon, utiliser une loi de contrôle (corrélation entre durées d'arrêt et de marche)
- Cacher les composants.
- Penser à enlever la façade pour : changer, recharger,...
- Bocal : PVC, couvercle intégré, penser à une connectique à abattre (comme celle de l'aspirateur médical)
- Boule intégrée ?
- Les pieds à poser (sorte de sachet joint ayant des bouts en caoutchouc ou autre à coller)
- Lever un peu le fond

5.2.5.3 Conception détaillée

Cette phase du projet correspond à la conception du point de vue des dimensions, des détails et des spécifications pour les composants. Un choix de composants standard a été aussi réalisé (pompe, connectique,...)

Des différentes solutions ont été conçues pour plusieurs parties de l'ensemble produit, notamment au niveau du système de recharge comprenant un raccordement et le couvercle jetable y associé. En annexes, des solutions non retenues sont présentées sous forme d'images en CAO.

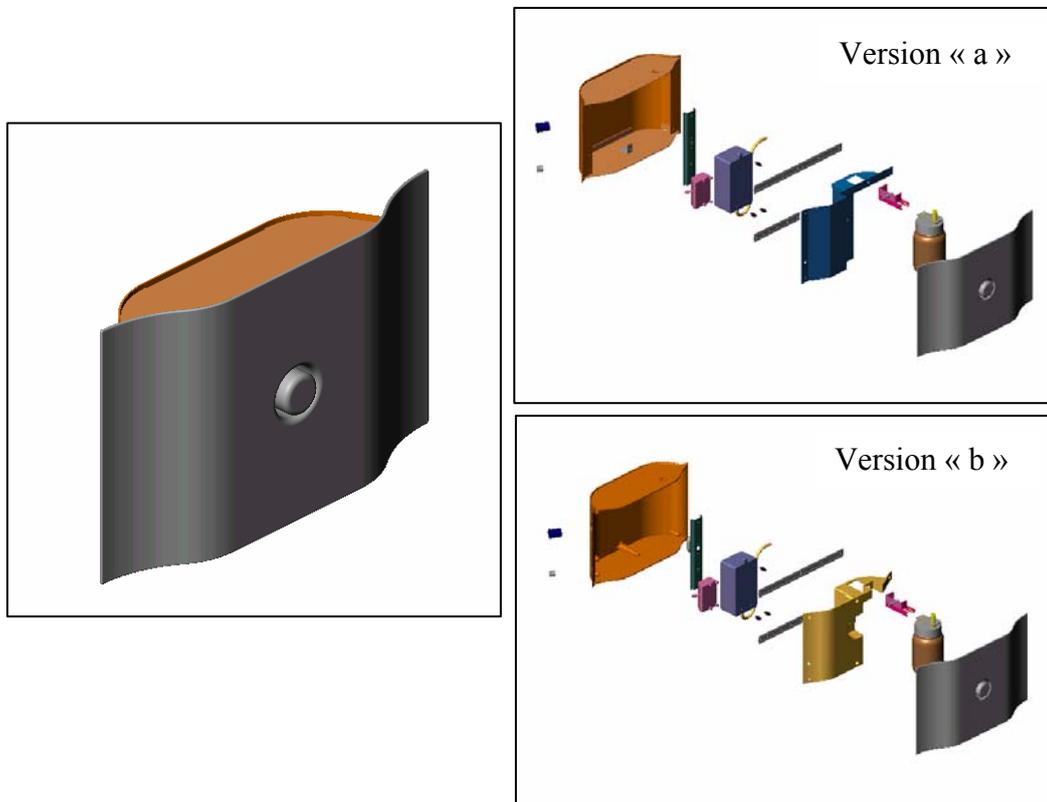


Figure 14. Représentation CAO (assemblage et vue éclatée des deux versions).

Deux versions :

Nous avons développé deux versions de produit qui se différencient notamment par la technologie de fabrication de certains composants (carter, cache, couvercle jetable,...).

Le but d'avoir ces deux possibilités est de pouvoir adapter l'industrialisation à la stratégie d'entreprise (et son évolution) en ce qui concerne le marché visé, l'investissement en outillage pour la fabrication, la conception des gammes selon l'environnement d'installation, etc.

Dans ce sens nous avons conçu des variations dites modulaires en gardant une certaine homogénéité entre les dimensions et systèmes d'assemblage des composants pour pouvoir combiner à tout moment plusieurs configurations entre les différentes versions.

La **version « a »** représente une configuration qui ne demande pas des outillages spécifiques et sur mesure, donc un investissement minimisé à ce niveau. Cela permet l'obtention des premières séries du produit dans un délai relativement court. Sont privilégiés des procédés comme le pliage simple de tôle, le soudage par point électrique,...

La **version « b »** comprend les mêmes composants que la version « a » mais avec le boîtier, le cache intérieur et le couvercle jetable conçus pour être fabriqués avec des outillages plus coûteux (par exemple en injection). Cela demanderait des délais plus longs pour l'obtention des premières pièces.

Composants et nomenclature :

Deux listes sont présentées, une pour la version « a » et une pour la version « b ». La plupart des composants se retrouvent dans les deux listes mais nous avons voulu créer des nomenclatures indépendantes pour chaque version dans le but de faciliter leur utilisation ultérieure.

Ces deux liste se trouvent dans les annexes de ce document.

5.2.5.4 Prototype

Un prototype a été réalisé sur la base de la maquette d'aspect fabriquée dans la première phase du projet. Le but était surtout de valider du point de vue fonctionnel : le système de raccordement de la cartouche (ergonomie, fiabilité et faisabilité,...) ; l'agencement des composants encombrants et leur assemblage ; et le système d'ouverture et fermeture de la façade d'accès. Etant le principe de diffusion déjà validé auparavant.

Des photos ne sont pas disponibles mais un exemplaire a été remis à l'entreprise. Sont à remarquer : le système de châssis à trois pièces ; le guidage de raccordement ; la serrure de la façade ; le couvercle assemblé.

Dans les annexes se trouvent des images des prototypes des solutions abandonnées au cours du projet.

1. Prototype d'une des solutions abandonnées



Système de raccordement de la cartouche : raccord pivotant et glissière

Chapitre 6 : Analyse de résultats, nouveau modèle

« Au début de la conception, on peut tout faire mais on ne connaît rien, à la fin on connaît tout mais on ne peut plus rien faire » Christophe Midler.

Dans ce chapitre nous faisons un retour d'expérience sous forme d'analyse directe des résultats obtenus et la discussion qui en découle, ainsi que l'évolution que nous imaginons pour les modèles proposés. Il s'agit d'une part de la réorganisation et reformulation de l'implémentation des outils testés ; et d'autre part, d'un élargissement du modèle actuel pour combler les déficiences constatées lors de la mise en place sur le terrain. A ce point, nous serions donc capables de revoir les expérimentations réalisées à la lumière de ces nouveaux modèles. Le résultat de cet exercice apportera d'une part une formalisation descriptive pour appuyer un processus d'innovation et d'autre part, un modèle prescriptible qu'il faudra par la suite instrumenter davantage pour envisager sa mise en pratique par les entreprises. Ce dernier aspect sera développé dans le chapitre dédié aux perspectives.

Dans cette partie nous ébaucherons entre autres un modèle révisé du CDC Elargi qui prendrait en compte un développement en deux axes représentant le produit. A savoir l'axe spatial (les espaces de représentation du produit : fonctionnel, conceptuel, fabrication, prototype) et l'axe temporel (l'historique des évolutions mais surtout les scénarios possibles pour l'avenir). Nous sommes bien conscients que cela peut alourdir son utilisation et le rendre inexploitable de par son inadéquation au contexte pratique du projet de conception, mais le but est d'amorcer la discussion pour imaginer des supports envisageables dans des améliorations ultérieures.

Ce nouveau modèle s'appuie sur une reformulation des hypothèses avancées précédemment.

En rappel :

Enoncé : Le pilotage du processus de conception (par changement d'états des représentations intermédiaires) permet à l'entreprise d'incorporer une démarche d'innovation maîtrisée.

Sous-hypothèse 1 : Ce pilotage peut être assuré par l'utilisation d'outils dits de créativité.

Ces outils aident à la définition des stratégies de positionnement et fixent les paramètres de contrôle du pilotage dans une logique couplée exploration/synthèse.

Sous-hypothèse 2 : Une représentation intermédiaire élargie du produit en conception sert de support dynamique pour la mise en pratique de ce pilotage.

6.1 Explorer et concrétiser : saisir les opportunités créées

Pour palier le problème de pilotage soulevé plus haut, nous proposons une séparation des avancées dans le processus de conception en deux directions pour pouvoir intégrer les spécificités identifiées dans le Chapitre 3 : imprécision, opportunisme, incertitudes, etc. Nous attendons promouvoir la réactivité, l'apprentissage et l'élargissement des options et plus généralement favoriser le caractère innovant dans sa dimension **nouveauté-pertinence**.

L'illustration de la Figure 39, schématisée par VALETTE [VALETTE 2005] pour décrire les certaines pratiques chez le fabricant d'outils à main FACOM, nous montre le cas linéaire où la création et exploitation d'une opportunité se produit seulement en amont du processus de conception, qui est déjà décortiqué d'une manière assez vaste.

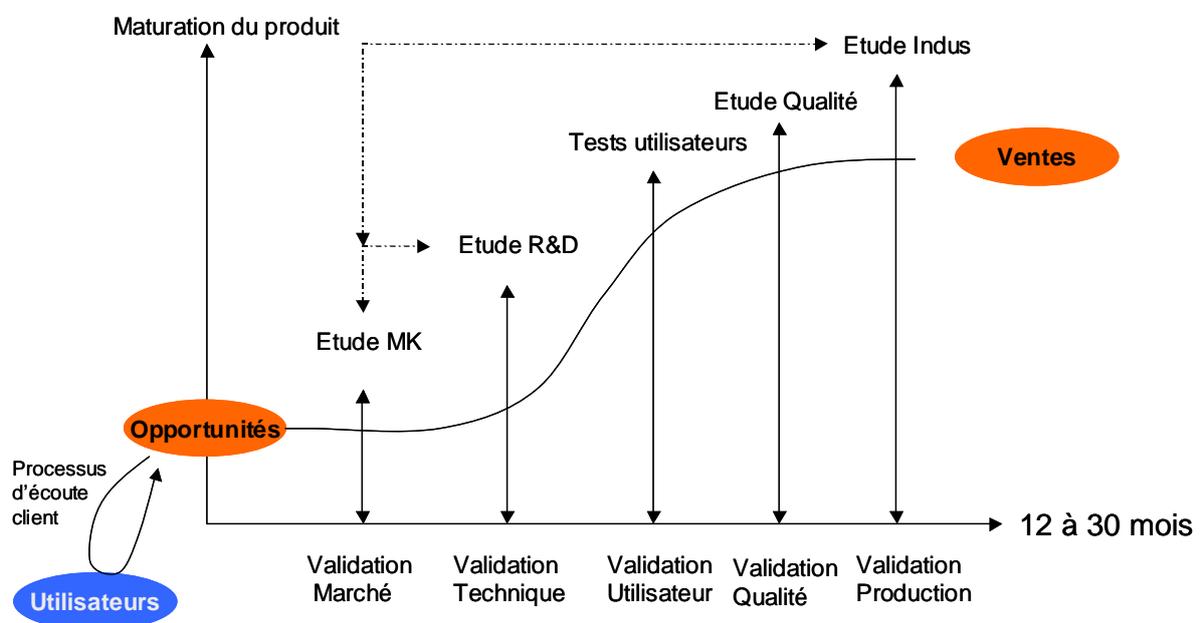


Figure 39. Approche linéaire de transformation d'une opportunité en projet d'innovation.

Nous centrons donc le pilotage par deux actions générales qui équilibrent l'avancement du processus de conception, à savoir, des phases (explicites ou non) d'exploration et des phases dites de synthèse ou concrétisation. Blanco et Chapel, revu par Vallette [VALLETTE 2005] schématise cette progression alternée mais pour le cas général de l'intégration de connaissances au long d'un processus d'innovation (Voir Figure 40) par rapport aux actions menées, sauf que nous préférons regrouper les actions et les résultats d'une autre manière pour représenter l'évolution des représentations du produit tout au long du processus de conception. L'intégration de connaissances et l'exploration peuvent faire pour nous partie du même axe si tout ce qui relève de la prise de décisions, avancements sur la définition du produit et précisions stratégiques sont placées en progression dans la formulation du problème donc du projet puis des solutions apportées.

Il faut préciser que cet agencement ou regroupement des différentes dimensions du processus n'est pas figée dans les termes comme il est modélisé aujourd'hui. Il peut être défini selon le contexte particulier d'application (secteur industriel, type d'entreprise, priorités stratégiques, etc.) et par rapport aux objectifs identifiés (s'il y en a lieu). Dans le cas de la conception de produits industriels, la concrétisation ou synthèse passe par la réduction d'incertitudes par rapport à la définition du produit souhaité (Ne pas confondre ces incertitudes avec les inconnus liés au futur).

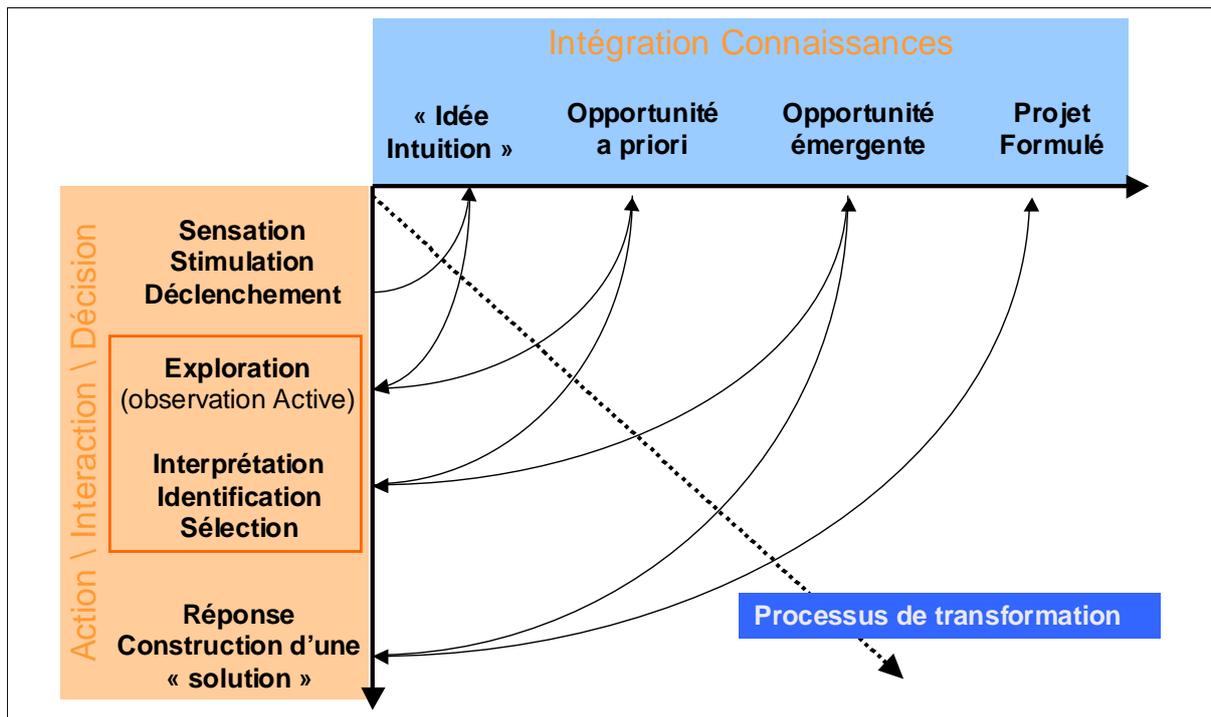


Figure 40. Processus de transformation des informations et connaissances

Dans notre système de pilotage, les phases d'exploration ne peuvent pas être regroupées sur le même axe avec les processus de sélection qui relèverait plutôt des aspects de construction et synthèse.

Regardons comment Hatchuel nous montre l'importance de ce que nous avons appelé exploration. Lui, il parle de la valeur de l'information. [Hatchuel 2004, C-K / triz]

6.2 Le modèle PIANO

En définissant le CDC avec les familles de paramètres, par exemple par rapport aux états présents dans le cycle de vie du produit, l'entreprise exprime ses besoins en termes de stratégie, investissement, le produit base (et les contraintes liées spécifiquement au produit même), etc. Ce premier état du CDC représente l'irritant qui servira pour déclencher le processus de conception et non comme cadre limitant le déroulement de ce dernier. D'une part, des choix (explicites ou non) cadrent le champ de réflexion initial, mais d'autre part, à ce

niveau les incertitudes liées aux inconnus et aux changements imprévisibles sont très importants. Nous proposons des moyens pour aider l'entreprise à faire évoluer ce CDC dans le but de définir le produit prêt à l'industrialisation et commercialisation. Car nous considérons le produit final comme un cahier des charges abouti (nous sommes persuadés que la définition suffisante du CDC coïncide avec la solution industrialisable du produit).

Donc, si on faisait un schéma représentant le bilan de l'évolution du CDC à la fin du projet, on obtiendrait le modèle PIANO du CDC, avec les évolutions résultant de l'ajout de paramètres, des changements contextuels, qui donnent à la fin, un CDC enrichi. Cet enrichissement parvient de l'intégration, bien évidemment des nouvelles contraintes, sous forme de spécifications ou critères mais aussi sous forme de solutions proposées.

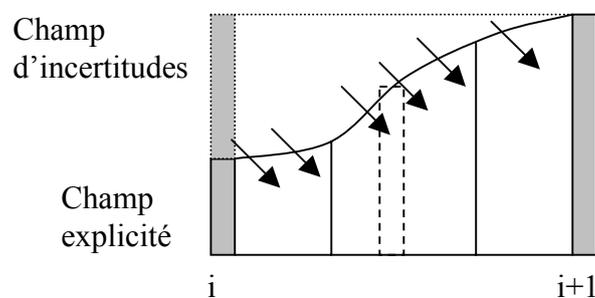


Figure 41. Ebauche du modèle PIANO.

Ce sont les solutions avancées qui créent des nouveaux critères ou contraintes et ce sont les contraintes ou critères qui favorisent la recherche de solutions.

Diminution du champ d'incertitudes sur le projet-produit : elle est bien sûr liée à la prise de décisions et comporte deux notions importantes. L'une, les événements futurs, comme l'on a dit précédemment, les inconnus et les imprévisibles. Et l'autre, le présent, les choix, que tant ils n'ont pas encore été faits, une indétermination ,

Nous proposons un modèle élémentaire au sein de cette représentation PIANO. Ici nous prétendons illustrer les changements d'état (sous forme de déplacement dans l'espace-temps) qui ont lieu au cours du projet de conception par rapport au processus global et plus particulièrement du point de vue produit.

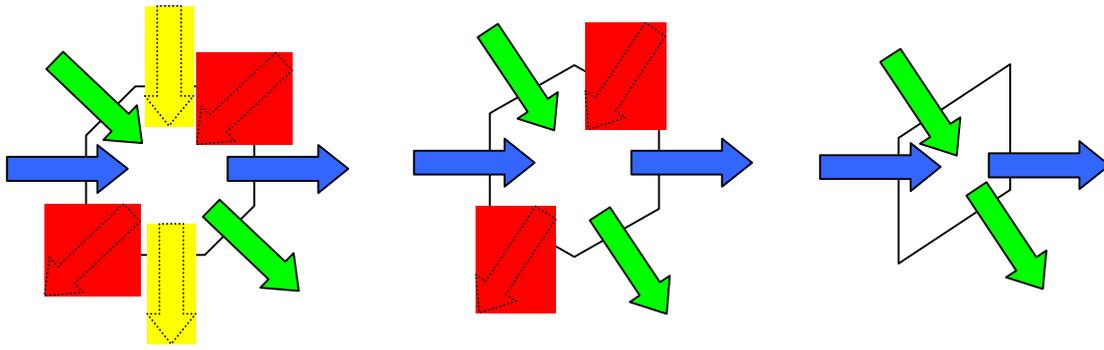


Figure 42. Unités élémentaires d'évolution.

Les **changements** « **horizontaux** » (flèches bleues) représentent les avancées en connaissances par rapport au projet, quand le degré d'incertitude diminue parce qu'on a explicité des données qui seraient utiles, soit pour la formulation ou définition de besoins ou problèmes, soit pour la prise de décisions (techniques, stratégiques, par rapport aux risques,...).

Si ces changements font progresser les acteurs dans la définition du produit en conception ou dans l'apprentissage (à exploiter par la suite ou ultérieurement), ces changements se produisent en deux dimensions. Cela est représenté par les déplacements en **diagonal vers la droite** (flèches vertes).

Des déplacements où « l'on sait moins qu'avant » ne sont pas en principe possibles (sauf si le support des acquis disparaît : changements au sein de l'équipe, inadéquation de moyens,...). En tout cas, ils sont inintéressants. Et si cette « fuite » fait avancer le projet (flèches rouges, **diagonales vers la gauche**), cela voudrait dire que le périmètre (volume de contrôle²⁷) choisi dans la définition du projet et son équipe (y compris le produit) n'a pas été défini fidèlement. Cela n'est pas forcément source de dysfonctionnements.

Pour les déplacements « verticaux », il nous semble, au même sens que pour les flèches rouges, incompatible avec les faits, car progresser dans le projet sans avoir réduit le champ d'incertitudes est contradictoire.

²⁷ Dans le sens thermodynamique où l'on définit une frontière ou périmètre pour préciser les échanges du point de vue énergétique ou massique avec tout ce qui dévient externe au système analysé. En allant plus loin dans

Les mécanismes permettant des changements horizontaux (bleus) seront regroupés comme moyens « exploratoires ou heuristiques ». Les moyens permettant des changements verticaux seraient appelés « moyens de synthèse ». Enfin, les mécanismes favorisant les progressions diagonales seraient classés comme moyens mixtes.

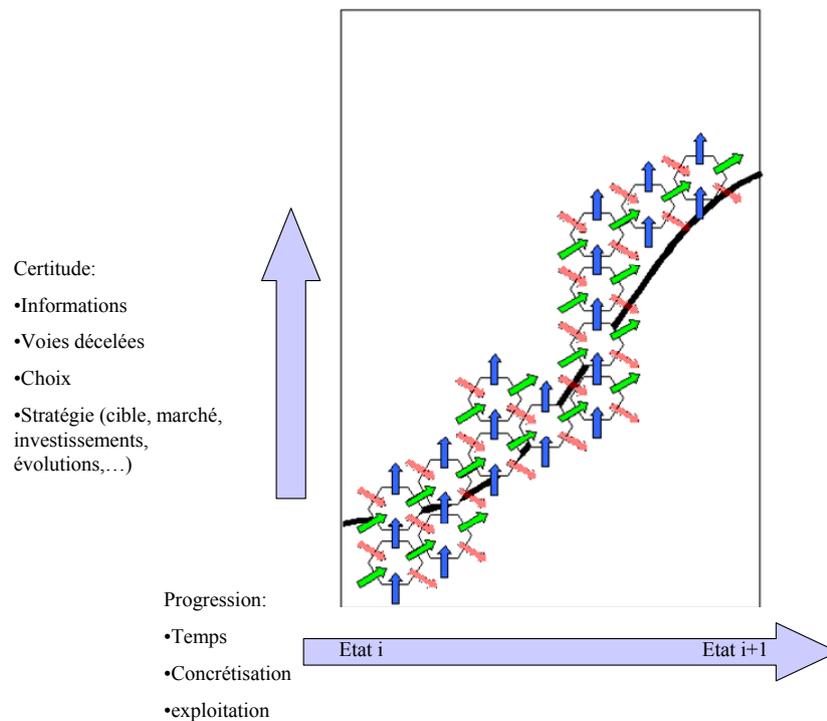


Figure 43. Modèle PIANO. Trajectoire d'évolution de la certitude.

COMMENT SE TRADUIT CELA EN TERMES DU PROCESSUS DE CONCEPTION :

Si l'on regarde le processus de conception sous une des formes fréquemment utilisées, avec les phases de définition de besoin, conception globale, détaillée, etc., on s'aperçoit qu'une construction « transversale » du produit dans ses différents espaces de représentation est possible et peut donner donc des avantages pour le déroulement du processus de conception inscrit dans une démarche d'innovation. Notamment dans le cadre d'un projet en PME, où d'une part la formulation des besoins en termes de produit n'est pas facile, et d'autre part, dû

cette analogie, nous sommes tentés de comparer les connaissances (formalisées ou non) avec la notion d'entropie, qui peut diminuer seulement dans des systèmes thermodynamiques ouverts.

à sa composition, seulement un acteur garantit la plupart des tâches liées à la conception.

Voyons :

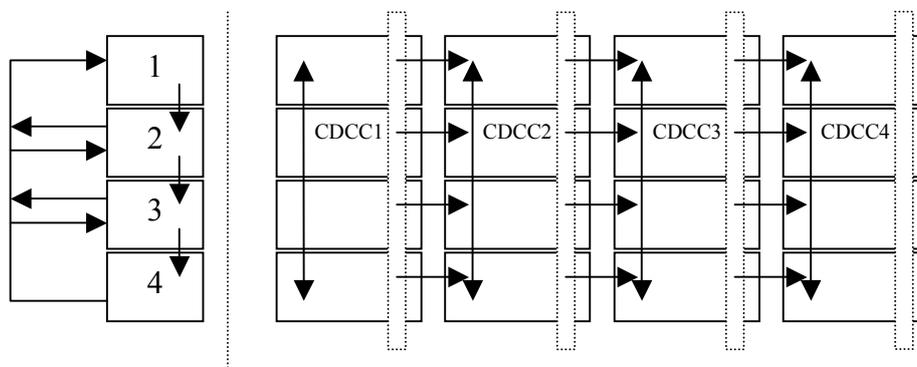


Figure 44. Espaces ou phases où évoluerait le modèle PIANO.

En effet, l'élément déclencheur du processus de conception, communément appelé « idée » peut se présenter dans un espace (fonctionnel, sémantique, physique,...) qui n'est pas toujours le même. Le projet peut démarrer formellement avec l'idée d'une fonction ou après un constat dû à un produit existant (qui deviendrait donc un prototype), etc. Ce qui importe est la notion de retro-alimentation entre les représentations du produit (ou concepts de solutions) et la contribution que celles-ci peuvent donner aux dimensions innovantes du projet de conception. Nous pensons ici à NAEL, cité par LE COQ (p. 53), qui affirme « la conception est une activité opportuniste et difficilement planifiable ».

Le produit final est en effet le résultat de la convergence entre les différents espaces de représentation, en assurant la cohérence entre les exigences qui en font valider les résultats intermédiaires ou finaux. A la fin du projet, une synchronisation entre les CDCF, CDCC, etc. est garanti, indépendamment du type d'enchaînement des activités.

Le CDCE permettra d'aborder plusieurs représentations du produit simultanément et facilitera justement les passerelles entre elles, en leur donnant des rôles mixtes (aide à la compréhension du projet, moteur de créativité, aide à la décision et à la synthèse,...). C'est ce que LE COQ appelle approche intégrative. Nous insistons sur le sens des échanges et influences des résultats intermédiaires (de recherche de solutions, veille technologique, représentations du produit,...) de manière transverse.

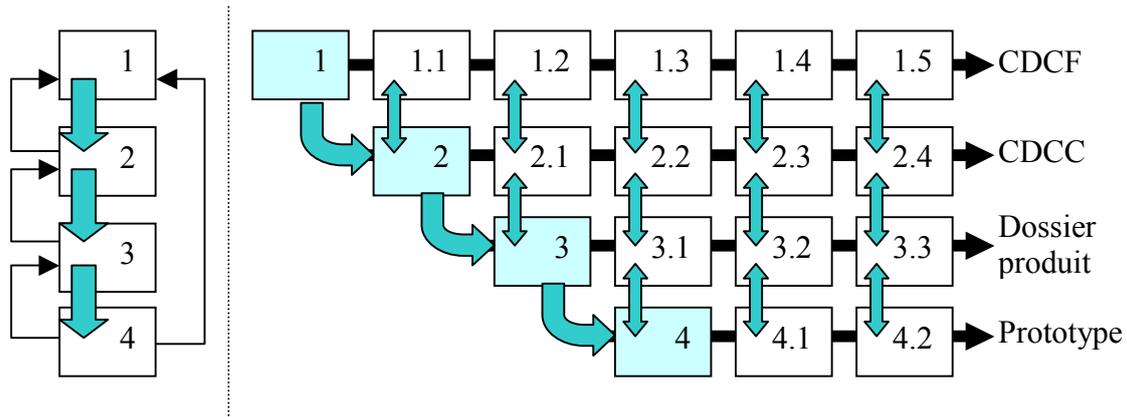
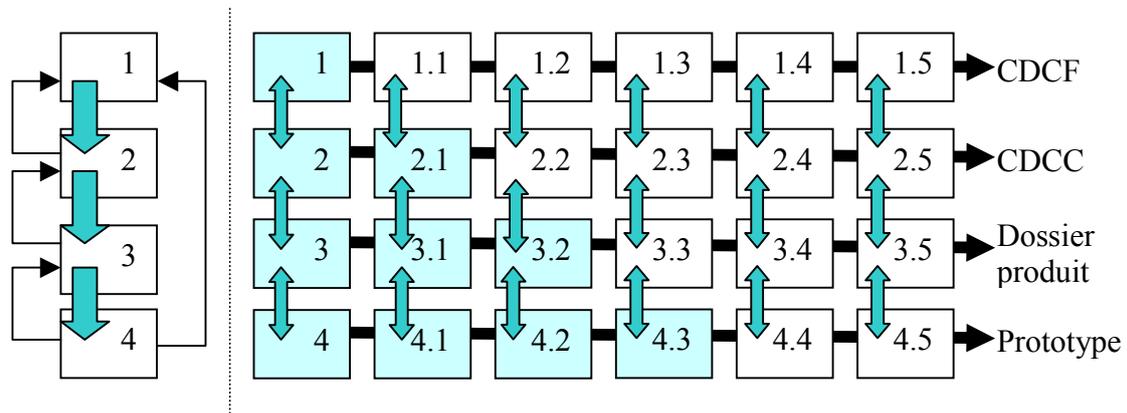


Figure 45. Evolution dans les espaces de conception gardant la logique du phasage.

Dans la figure ci-dessus, nous montrons les conséquences de cette approche dans le processus de conception, tout en gardant encore la nature structurée de l'enchaînement des phases. Mais, ce que nous souhaitons, c'est de déployer cette logique dès le démarrage du projet, c'est à dire, l'élément ou événement déclencheur du processus peut en effet avoir lieu à n'importe quel état des représentations du produit. On pense par exemple à un projet qui démarre avec la construction d'un prototype (exemple du cerf volant. Cf : JFB). En réalité, cela n'échappe pas aux modèles expliqués précédemment. Dans ces derniers l'existence d'un prototype pour démarrer le processus est compris dans la phase 1 de la traduction du besoin (selon la démarche AOUSSAT).



Cette Le CDCE viendra résumer ou représenter ces quatre états du produit dans un seul support de convergence. C'est un document théorique.

SUR LE CDC ET L'INNOVATION : définitions, modèles, paradoxes

DENEUX affirme que « Le modèle de produit peut être interprété comme une accumulation logique de toutes les informations qui sont en rapport avec le produit durant tout son cycle de vie. » Or, un CDC définitif pour la fabrication d'un produit ressemblerait étrangement à cela. Donc, le CDC deviendrait le modèle de produit le plus fidèle du point de vue moyen pour que le produit existe concrètement.

Le problème se pose quand on constate que dans un processus de conception, et en particulier quand celui-ci est inscrit dans une démarche d'innovation, le CDC comme modèle de produit ne peut le représenter complètement tant que le produit n'existe pas encore ou n'est pas défini.

La notion de cahier des charges évolutif empêche une exploitation aisée des informations comme matériel contractuel. La rédaction d'un document équivalent s'avère nécessaire.

6.2.1 Du cahier des charges passif au CDC actif

Nous proposons, comme nous le disions plus haut, un cahier des charges évolutif ayant un rôle plus actif, c'est à dire, ce n'est pas le CDC qui évolue comme conséquence du processus de conception (un effet), mais plutôt comme « meneur » du processus (une cause). L'évolution verticale du CDC, présente dans un processus linéaire « classique » sous forme de changements liés plutôt à la définition de plus en plus détaillée des spécifications, est remplacée par une évolution mixte (horizontale et verticale), pondérée selon la situation et le contexte entourant le processus de conception. Ainsi, le processus pourra gagner en souplesse permettant une **adaptation « naturelle » du processus méthodologique au système entreprise en général**. Par exemple, lors de l'élaboration, choix, utilisation et exploitation des objets et des résultats intermédiaires.

Modèle développé

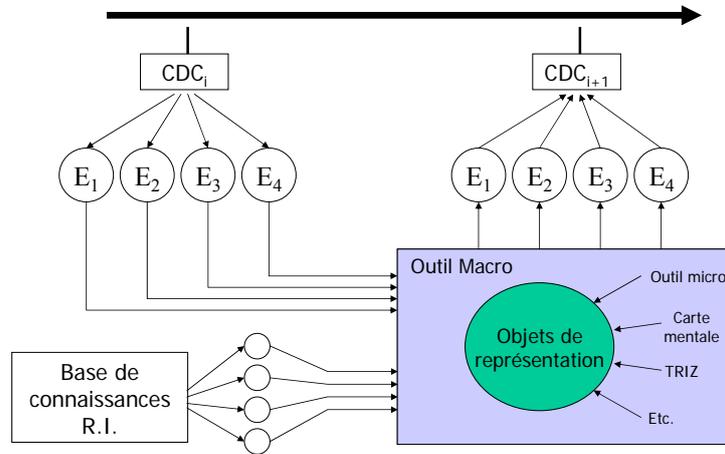


Figure 46. Modèle de transformation du Cahier des Charges Evolutif Augmenté

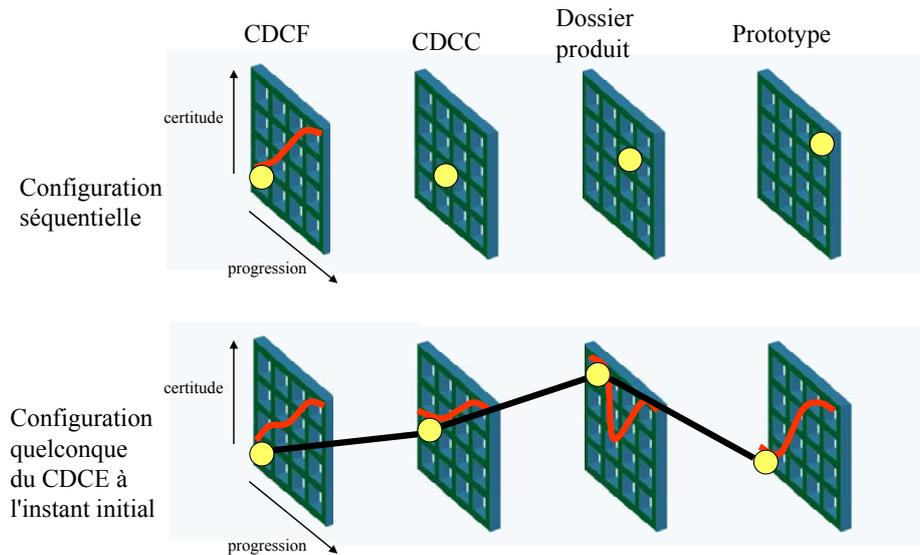


Figure 47. Modèle PIANO par espace produit. Pilotage

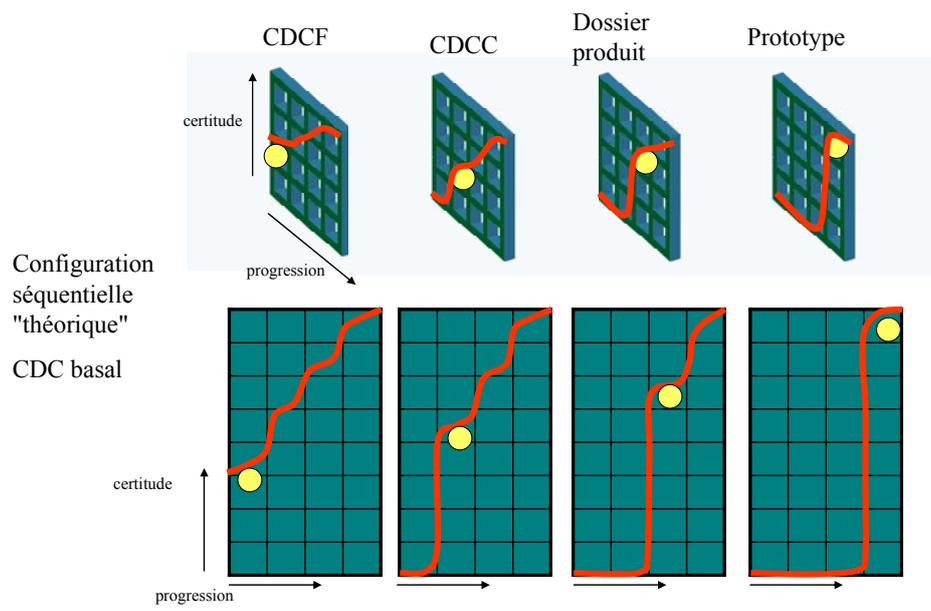


Figure 48. Modèle PIANO, intégration au processus de conception.

Chapitre 7 : Conclusions Générales et Perspectives

Nous présentons dans cette partie des évolutions que nous imaginons pour notre travail de recherche. Il s'agit de voies possibles d'amélioration des démarches proposées, ainsi que les relations recommandées pour développer davantage cette approche.

Nous voyons deux voies de développement directes, ce à court et moyen terme :

- Une s'agit de mettre en place un système support dédié à capitaliser l'historique du processus de conception, notamment par rapport à l'évolution des concepts (mécanismes d'évolution et taux de mutation) et des aspects plus remarquables du pilotage effectif (prise de décisions, gestes de recherche et gestes de synthèse,...).
- L'autre agit sur l'amélioration de la représentation intermédiaire élargie que nous proposons dans notre modèle évolué. Dans un premier temps nous imaginons un document qui retrace les espaces du produit, leurs relations et leurs historiques (et éventuellement des scénarii possibles pour les phases ultérieures du processus)

Nous préconisons dans un premier temps, des documents simples à utiliser pour l'animation des équipes de travail (fiches, illustrations génériques,...). Le but est de rester accessibles au plus grand nombre d'interlocuteurs possibles en entreprise. Cette voie peut être empruntée à court terme et les résultats pourraient rapidement être opérationnels.

L'autre voie de développement est l'informatisation du modèle de pilotage pour rendre plus aisé la capitalisation des expériences puis l'identification de patrons pour l'ultérieure exploitation. Dans ce sens, la conception de supports décrite plus haut pourrait aider à l'obtention de données utiles pour alimenter ce développement informatique. Cette capitalisation rejoint (en complément) l'approche développée par le Laboratoire Génie Industriel de l'Ecole Centrale de Paris avec notamment BOCQUET, LONGUEVILLE et LE CARDINAL, qui est basée sur une gestion des connaissances créés pendant le processus de conception sous forme de capitalisation des processus de décisions. [LONGUEVILLE 2001]

Le lecteur pourra remarquer que ces perspectives s'insèrent bien dans les courants actuels de Knowledge Management (KM). Aujourd'hui on compte sur des outils mis au point pour faciliter la capitalisation d'expériences axés surtout sur la formalisation du savoir faire existant dans les pratiques de l'entreprise. Dans ce sens nous mettons l'accent sur le **pilotage innovant**.

Dans l'effort d'explicitation et formalisation accrue de nos propos, nous pensons que les formalismes et les notions proposés dans la théorie C-K [HATCHUEL 2000] pourraient nous fournir des représentations très utiles car nous les considérons très proches de notre orientation.

Nous introduisons donc le paradigme méthodologique du juste nécessaire méthodologique qui a été soulevé par plusieurs auteurs comme réponse aux difficultés des entreprises lors de l'adoption, appropriation et mise en pratique des méthodes et outils préconisés pour la conception de produits. Cela dit, cette période de diagnostic peut s'avérer inintéressant de par les risques inhérents à « apprendre en faisant » et les délais qui pourraient être dilatés dans une démarche globale vers l'innovation.

La carte de stratégies :

Définition de stratégie d'après MORIN : « La stratégie est la conduite raisonnée d'une action dans une situation et un contexte comportant incertitude et éventuellement dangers. Une stratégie s'élabore en fonction de finalités et de principes, envisage divers scénarios possibles du déroulement de l'action, choisit celui qui lui semble le plus adéquat selon la situation: tantôt il vaut mieux accepter un scénario qui minimise les risques mais également les chances, tantôt il vaut mieux choisir un scénario qui maximise les chances mais également les risques »

Un apport sur la notion d'évolution de stratégies. Nous avons remarqué qu'au-delà des résultats exploitables de manière directe par l'entreprise sous forme de « produit commercialisable », cette approche permet la prise en compte de l'évolution de tout ce qui relève de la stratégie à court, moyen et peut-être long terme. Parmi les livrables possibles en utilisant la démarche proposée on trouve une mise en perspective des différents états ou niveaux de développement d'un processus de conception en permettant l'exploitation de certains résultats qui sont intermédiaires pour un « périmètre » donné mais qui

représenteraient un produit exploitable fini pour d'autres. Ici, nous pensons notamment aux différents niveaux de prototypes (dans le sens de premier, originaire,...).

L'impact plus visible et critique de cette logique apparaît dans la prise en compte des investissements liés aux procédés de fabrication, notamment par rapport au volume (ou cadence) qu'on veut assurer pour suivre la demande potentielle ou réelle du produit fini.

Dans le cas de notre première expérimentation, la notion d'évolution de stratégie est affichée dans les priorités explicitées par les décideurs à l'aide des « choix stratégiques » que nous avons pu identifier et sur la place donnée à ces priorités dans l'axe du temps. Nous avons aidé à la modulation des stratégies associées au produit et son utilisateur cible et sur les canaux possibles de la mise à disposition.

Dans la deuxième expérimentation, l'adoption de cette approche associée aux stratégies et leur évolution est présente notamment dans la construction, dans ce cas à temps irrégulier, de deux alternatives de produit compatibles entre elles mais différentes radicalement sur les procédés de fabrication liés. Cela était motivé par le niveau d'investissement en outillage mais les options restaient exploitables sans exclusion. Cependant, comme nous l'avons précisé, cette carte de stratégies s'inscrivait dans des logiques inclusives, donc l'entreprise peut à tout moment faire suite à l'une ou l'autre des options. D'habitude, **les cartes de stratégies** retracent une volonté de développement progressif de l'offre produit auprès du marché, tout en travaillant avec les résultats qui peuvent s'avérer encore intermédiaires.

En général, nous considérons que cette démarche est cohérente et pertinente dans un large éventail de contextes d'innovation produit où l'on puisse déceler une intention d'investissement/exploitation graduelle, c'est à dire où d'une part l'on perturbe le marché avec une succession de propositions (produits) pour suivre des réactions et des évolutions et d'autre part, pour intégrer plus facilement les contraintes sur l'investissement financier.

Par ailleurs, nous observons que ces cartes, même si leur exploitation n'est pas directement associée aux produits qui en découlent, leur formulation et explicitation ont un rôle sur l'apprentissage, la capitalisation [LONGUEVILLE 2005] et le positionnement de l'entreprise en aidant à poser « des bonnes questions ».

Bibliographie

AFITEP/AFNOR **Dictionnaire de management de projet**. 4ème édition, 2000

ANSI/EIA-632, ANSI/GEIA EIA-632. **Processes for Engineering a System**. ANSI Standard, 1998

ALLEMAND Sylvain. **Le renouveau de la prospective**. Sciences Humaines. H.S. n°28 de Mars/Avril/Mai 2000: "Le changement. De l'individu aux sociétés. Pp.60-61.

ALTSHULLER Genrich. **And suddenly the inventor appeared : TRIZ, the theory of inventive problem solving**. TECHNICAL INNOVATION CENTER, 2^{ème} édition, Worcester, MA (USA), 1996.

ALTSHULLER Genrich. **Creativity as an exact science**. Gordon and Breach, Science Publishers, Inc. New York, 1984.

ANGHEL Daniel-Constantin, BOUDOUH Toufik, GARRO Olivier, UNGUREANU Ion. **Etude expérimentale des itérations dans le processus de conception**. 8e Colloque National Priméca, La Plagne, France, April 1-2 2003.

ASSOCIATION @LYON. **Théories de l'évolution**. Moteur de recherche d'Internet ALTA VISTA, page visitée le 25 mai 2000.-Mots-clés: Évolution/ darwinisme/ lamarckisme/mutationnisme.

http://www.alyon.asso.fr/InfosTechniques/biomedical/theories_de_l_evolution.html

AUCKENTHALER Brice, HUZ Thierry, DUCATTE Jean-Claude. **Réinventer l'innovation**. LIAISONS, Paris, 1997.

BLANCO E. **L'émergence du produit dans la conception distribuée – Vers de nouveaux modes de rationalisation dans la conception de systèmes mécaniques**. Rapport de thèse de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, 1998

BEAUFILS Philippe. **Innovez grâce à "La" méthode TRIZ**. Industries et Techniques, n°811, janvier 2000.

BEGUIN P. DARSEZ F. **Les concepteurs au travail et la conception des systèmes de travail : points de vue et débats**. Colloque Recherche et Ergonomie, Toulouse, 1998.

BERTOLUCI Gwénola, LE COQ Marc, CANONNE Robert, LE MEUR Yvan. **Document de synthèse sur TRIZ et ses outils**. ENSAM, Paris, 1999.

BOCQUET, J-C. **Maîtrise des processus et organisation**. Revue des Arts et Métiers, 2002.

BOCQUET, J-C. **Product/manufacture: a systemic approach for simultaneous engineering.** Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering. Première Conférence Internationale sur la Conception et la Fabrication Intégrées en Mécanique. Nantes, 15-17 avril 1996.

BOOKER J. **Designing in an uncertain world.** IDMME 2004. Bath, UK, April 5-7, 2004.

BROWN Nathan, SWIFT Ken. **DESIGN FOR ASSEMBLY: DFA A new methodology to facilitate development of efficient product designs.** University of Hull, 2004.
<http://www.eng.hull.ac.uk/research/sandpit/content/research/DFA/dfa.htm>

BROWN, N.J., SWIFT, K.G., BOOKER J.D. **Joining Process Selection and Design for Manufacture.** Submitted to Proc. Inst. Mech. Engrs. Part B - Journal of Engineering Manufacture, Nov 2001

CAVALLUCCI Denis. **TRIZ: l'approche altshullerienne de la créativité.** Techniques de l'Ingénieur, traité Génie Industriel. Volume AG3, 1999.

CHABROL J-P. **Système, pensée et démarche systémiques : ce qui devrait être l'explication géographique.**

CHEN K-Z. **Identifying the Relationship among Design Methods: Key to Successful Applications and Developments of Design Methods.** Journal of Engineering Design. Volume 10, Number 2, 1 June 1999 , pp. 125-141(17). Taylor and Francis Ltd, 1999.

CIRET. Centre International de Recherches et Études Transdisciplinaires **Une nouvelle vision du monde La transdisciplinarité.** <http://nicol.club.fr/ciret/vision.htm>. 2006.

CRUBLEAU P. **TRIZ et la prospective technologique.** Assises 6^{ème} Séminaire CONFERE, Angers, 1999.

De PAOLI D. **Charles Darwin, évolutionniste ou idéologue.** Fusion n°70, 1998. Pp. 8-27.

DEFORGE Y. **Technologie et génétique de l'objet industriel.** MALOINE S.A. Editeur, Paris, 1985.

DENEUX D. **Méthodes et modèles pour la conception concurrente.** Habilitation à Diriger des Recherches présentée à l'Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis, 2002

DORST K., CROSS N. **Creativity in the design process : co-evolution of problem-solution.** Design Studies, Vol 22, N°5, pp 425-437, 2001

DURAND D. **La systémique.** Que sais-je ? N°1795, PUF, 1979.

ERMINE J-L. **Les systèmes de connaissances : 2ème édition revue et augmentée,** Eds. Hermès, 2000.

FABIANI P. **Représentation dynamique de l'incertain et stratégie de prise d'information pour un système autonome en environnement évolutif.** Thèse de doctorat à SUPAERO, décembre 1996

FAURET Sébastien. MARY Frédéric. **Application de la méthode TRIZ à la prospective technologique.** Rapport du PFE. ENSAM, Paris, 2000.

FAGERSTRÖM J et Al. **Multi-viewpoint modeling of the innovation system – using a hermeneutic method.** Proceedings of ICAD2002 Second International Conference on Axiomatic Design. Cambridge, MA – June 10-11, 2002.

GARRO Olivier.

GAUDIN Thierry. **Les métamorphoses du futur - Essai de prospective technologique -.** Ed. Économica, 1988.

GENET. Réseau d'Enseignement en Génétique. **Cours d'évolution: Transfert de gènes entre espèces.** Maintenu par Laurent Excoffier. Moteur de recherche d'Internet ALTA VISTA, page actualisée le 01 février 2000.-Mots-clés: Évolution.
<http://anthropologie.unige.ch/evolution/tra00028.htm> et .../tra00030.htm

GUEGUEN G. **Environnement et Management Stratégique des PME : le cas du secteur Internet.** Thèse de Doctorat à l'Université Montpellier I, 2001.

GIGET Marc. **La dynamique stratégique de l'entreprise.** Dunod, Paris, 1998.

GODET Michel. **Prospective et planification stratégique.** Ed. Économica; Paris, 1985.

GOGU Grigore. **Méthodologie d'innovation : La résolution des problèmes créatifs.** Revue Française de Gestion Industrielle. Vol. 19, N°3, 2000.

GROFF, A. **Optimisation de l'innovation par l'élaboration d'un processus de créativité industrielle : cas de l'industrie automobile.** Thèse de Doctorat ENSAM, Paris, 2004.

HATCHUEL A, LE MASSON P, WEIL B. **Activité de conception, organisation de l'entreprise et innovation.** G. Minguet and Thuderoz, Eds. (2005 à paraître).

HATCHUEL A, LE MASSON P, WEIL B. **Innovation/projet : des liens complexes...** Revue La Cible, N°88. Paris, juin 2001.

HEIDERICH D. **Internet et le management de l'imprévisible.** visionarymarketing.com. Juin 2003.

HEYLIGHEN F. **Evolutionary Theory.** Principia Cybernetica Web. 1997. Moteur de recherche d'Internet ALTA VISTA, page visitée le 03 novembre 1999.-Mots-clés: evolution/biology/design/darwin. <http://pespmc1.vub.ac.be/EVOLUT.html>

HEYLIGHEN F. **The Direction of Evolution.** Principia Cybernetica Web. 1997. Moteur de recherche d'Internet ALTA VISTA, page visitée le 05 avril 2000.-Mots-clés: evolution/biology/design/darwin. <http://pespmc1.vub.ac.be/DIREVOL.html>

HUBKA Vladimir. EDER W-Ernst. **Design Science**. ISBN 3-540-19997-7 Springer-Verlag London Limited 1996. Transféré à l'Internet par Filippo A. Salustri, 2001.

IDEATION RESEARCH GROUP. **TRIZ in Progress. Transactions of the Ideation Research Group**. IDEATION International Inc, MI (USA), 1999.

JARROSSON Bruno. **Décider ou ne pas décider ? Réflexions sur les processus de la décision**. MAXIMA, Paris, 2000.

JEANTET A. **Les objets intermédiaires dans la conception. Eléments pour une sociologie des processus de conception**. Sociologie du travail 3. 1998

KAPLAN Alex. KAPLAN Len. **TRIZ Glossary**. Moteur de recherche d'Internet ALTA VISTA, page visitée le 29 octobre 1999.-Mots-clés: TRIZ/evolution/technology.
<http://home.earthlink.net/~lenkaplan/glossary/index.html>

KAPLAN Stan. **An Introduction to TRIZ The Russian Theory of Inventive Problem Solving**. IDEATION International Inc, 1996.

KOSTOFF Ronald. **Science and Technology Roadmaps**. Moteur de recherche d'Internet ALTA VISTA, page visitée le 26 mai 2000.-Mots-clés:
evolution/prospective/technology/roadmaps.
<http://131.84.1.34/dtic/kostoff/mapweb2index.htm>

KOWALICK James. **Technology Forecasting with TRIZ**. TRIZ-JOURNAL,
<http://www.triz-journal.com>, 1997. Page web:
<http://triz-journal.com/archives/97jan/article2/forecasting.html>

LE DUFF Robert (sous la direction de). **Encyclopédie de gestion et de management**. DALLOZ, Paris; 1999.

LE MEUR Yvan. **Introduction à la méthode TRIZ**. Conférence aux Rencontres Pédagogiques TRIZ, Angers, 29 février-01 mars 2000.

LE MOIGNE, J-L. **La théorie du système général**. PUF, 4ème édition mise à jour, 1994.

LATTUF J-A, LE COQ M, BASSEREAU J-F. **Tentative de transfert des concepts d'évolution technologique et biologique dans le processus créatif en innovation**. Colloque CONFERE 2002, Nancy, 4 et 5 juillet 2002.

LEFEBVRE P, SEGRESTIN B, WEIL B. **Les régimes de conception : un préalable à l'examen des nouvelles formes de coopération inter-firmes**. Neuvième rencontre internationale du GERPISA. Paris, 7-8-9 juin 2001.

LETOUZEY A. **Ordonnancement interactif basé sur des indicateurs : Applications à la gestion de commandes incertaines et à l'affectation des opérateurs**. Thèse de Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse. Toulouse, 2001.

LONGUEVILLE Barthélémy, Julie Le Cardinal, Jean-Claude Bocquet. **La gestion des connaissances pour les projets de conception de produits innovants.** PRIMECA'2001, Septième Colloque sur la Conception Mécanique Intégrée, La Plagne, 2001.

MANZANO R. **Modéliser pour prescrire : approche systémique des systèmes de production,** Thèse de doctorat, Génie Industriel, ENSAM - Paris, 1998.

MAYA J. **Vers un modèle connexionniste du processus de conception de produits : expérimentations produits pour une PME de l'agro-alimentaire.** Mémoire DEA CPN, ENSAM, Paris, 2002.

MATURANA H, VARELA F. **El árbol del conocimiento.** Chile, Editorial Universitaria, 1989, p. 88.

MELESE J. **Approches systémiques des organisations, vers l'entreprise à complexité humaine.** Editions Hommes et techniques, 1979.

MER Stéphane. **Les mondes et les outils de la conception – Pour une approche socio-technique de la conception de produit.** Rapport de thèse de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, 1998.

MERCIER S. **L'innovation en PME : Prise en compte de la dimension structurelle et structurante des projets.** Thèse de Doctorat, ENSAM, Paris, 1997.

MERLANT Philippe (ANVAR avec). **Histoire(s) d'innover.** InterÉditions, Paris, 1993.

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, SOFRES, BETA (sous la direction de Jean-Alain HERAUD). **Enquête sur les technologies du futur par la méthode Delphi: présentation des résultats, synthèse et commentaires.** Édité par le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche. Paris, avril 1995.

MOLES A, **Les sciences de l'imprécis.** Seuil, 1990.

NOUVEL P. (Sous la direction de) **Enquête sur les modèles.** 2002

PERRIER F, et al. **Une méthode pour innover en coopérant.** Congrès Francophone du Management de Projet 2001 (AFITEP).

PERRIN J. **Concevoir l'innovation industrielle : Méthodologie de conception de l'innovation.** CNRS Editions. 2001.

PETITDEMANGE C. **Le Management par projet.** Editions Formation Entreprises, 1997.

PRUDHOMME G. **Le processus de conception de systèmes mécaniques et son enseignement. La transposition didactique comme outil d'une analyse épistémologique.** Thèse de doctorat à l'Université Joseph Fourier. Grenoble, 1999.

RESWEBER J-P. **La recherche – action.** PUF, 1995.

ROBERT Michel. DEVAUX Marcel. **Stratégie pour Innover.** Dunod, Paris, 1996. Traduit de l'américain par Céline Labonté sous la direction de Marcel Devaux.

ROBERT. **Dictionnaire de la Langue Française**. Dictionnaires Le Robert, Paris, 1985.

ROMON François. **Modèle Matriciel de Management de l'Innovation (3MI): Application dans les PME**. Actes du Séminaire "Organisation, Innovation & International", UTC, Compiègne, 24 au 27 janvier 2000.

SCHULMANN Denis. **Le design industriel**. Que sais-je ? Presses Universitaires de France, Paris, 1995.

SIMON H. A. **Sciences des systèmes, Sciences de l'artificiel**. DUNOD, 1991.

SIMONDON G. HART J. (Préface). **Du mode d'existence des objets techniques**. Aubier, 2001.

SLOCUM Michael. **Technology Maturity Using S-curve Descriptors**. TRIZ-JOURNAL, <http://www.triz-journal.com>, 1998. Page web: http://triz-journal.com/archives/98dec/98dec_article1/98dec-article1.htm

SOUCHKOV Valeri. **TRIZ: A Systematic Approach to Innovative Design**. Moteur de recherche d'Internet ALTA VISTA, page visitée le 29 octobre 1999.-Mots-clés: TRIZ/evolution/technology. <http://www.insytec.com/TRIZApproach.htm>

THOM René. **La théorie des catastrophes**. Article dans Le Monde, 22 décembre 1976.

TOMALA F. **Aide à l'évaluation en conception innovante, dès la phase de créativité**. 5^{ème} Congrès de Génie Industriel GI 2003, Québec 2003.

TRUCHOT P, DUCHAMP R, GUIDAT C. **L'approche pluridisciplinaire de la conception de produits : une science de l'innovation**. Deuxième Congrès International Franco-Québécois de Génie Industriel, ALBI 1997.

TURCHIN V., JOSLYN C. **The Metasystem Transition**. Principia Cybernetica Web. 1999. Moteur de recherche d'Internet ALTA VISTA, page visitée le 03 novembre 1999.-Mots-clés: evolution/biology/design/darwin. <http://pespmc1.vub.ac.be/MST.html>

VALETTE Thomas. **Recherche d'un cadre conceptuel d'aide à la conception collective innovante par l'usage: proposition de l'outil "Glocal" pour la conception d'outils à main et des équipements de travail**. Thèse ENSAM, Paris, 2005.

VADCARD Philippe. **Aide à la programmation de l'utilisation des outils en conception de produit**. Thèse ENSAM, Paris, 1996.

WANG J., ZABARAS N. **A Computational Statistics Approach to Stochastic Inverse Problems and Uncertainty Quantification in Heat Transfer** COMPUTATIONAL MECHANICS WCCM VI in conjunction with APCOM'04. Tsinghua University Press & Springer-Verlag Sept. 5-10, 2004, Beijing, China.

Annexes

NOMENCLATURE DES COMPOSANTS (VERSION A)

Vue générale version a : Plan 1

Indice	Plans	Désignation	Quantité	Spécifications	Remarques	Fournisseur référencé	Prix*
Sous-ensemble A : Boîtier (Plan 2)							
1	3	Carter	1	Tôle acier 1.6		Voir liste de fabricants	
2	4,8	Couvercle dessus	1	Tôle acier 1.6	Soudage au carter par point électrique	Voir liste de fabricants	
3	5,9	Couvercle dessous	1	Tôle acier 1.6	Soudage au carter par point électrique	Voir liste de fabricants	
4	6,8,9	Patte L	2		Soudage aux couvercles par point électrique	Voir liste de fabricants	
5	7,8	Patte arrière du guidage	1		Soudage au couvercle dessus par point électrique	Voir liste de fabricants	

Sous-ensemble B : guidage-raccordement (Plan 10)

Option 1 de raccordement

6	11,12	Guidage	1				
7	13	Patte arrivée d'air	1				
19	22	Ressort lame	1	Force de restitution en configuration montrée :Le matériau est défini par le fabricant d'après 1kgf	l'effort de restitution spécifié		

Indice	Plans	Désignation	Quantité	Spécifications	Remarques	Fournisseur référencé	Prix*
47		Rivet de fixation ressort	1	Diam. 3mm x 4.5 pour épaisseur 1-2,5. DIN 7337		Restagraf	
8	14	Coude de raccordement	1				
9		Embout de raccordement	1	M5.	Modèle 2601 selon Catalogue 2001 de CAMOZZI	CAMOZZI	
10		Joint coude-gicleur	1	Tube silicone 60 SH A. Longueur 6.5mm. Diamètre int. 6mm. Diamètre ext. 12mm.	Tubes BIOSIL de ASICOMO A/S. Code 2006306990	ASICOMO A/S	
11		Vis générale d'assemblage	2	TORX® M3x6	Vis tête cylindrique tête basse à six lobes internes	BAFA-SA	
12		Rondelle anti-desserrage	2	M3. DI : Denture intérieure	Code 526-574 du Catalogue Radiospares.	Radiospares	0.01

Option 2 de raccordement

6	11,12	Guidage	1				
7	13	Patte arrivée d'air	1				
19	22	Ressort lame	1	Force de restitution en configuration montrée : 1kgf	Le matériau est défini par le fabricant d'après l'effort de restitution spécifié		
47		Rivet de fixation ressort	1	Diam. 3mm x 4.5 pour épaisseur 1-2,5. DIN 7337		Restagraf	
8		Coude de raccordement	1	Mâle M5 / Femelle M5.	Modèle 2021 selon Catalogue 2001 de CAMOZZI	CAMOZZI	

Indice	Plans	Désignation	Quantité	Spécifications	Remarques	Fournisseur référencé	Prix*
9		Embout de raccordement	1	M5. Dureté 55 SH A. Épaisseur 1mm.	Modèle 2601 selon Catalogue 2001 de CAMOZZI	CAMOZZI	
10		Joint coude-gicleur	1	Diamètre int. 3mm. Diamètre ext. 7mm	Collé au coude 8 sur mâle M5		
11		Vis générale d'assemblage	2	TORX® M3x6	Vis tête cylindrique tête basse à six lobes internes	BAFA-SA	
12		Rondelle anti-desserrage	2	M3.	Code 526-574 du Catalogue Radiospares.	Radiospares	0.01

Sous-ensemble C : cartouche (Plan 15)

13	16	Couvercle	1	Diamètre 60 avec épaulement intérieur	Prévoir pas de vis selon récipient 21		
14	17	Cheminée	1	Diamètre 12 p6 (sur H7 pièce 18)			
15	18	Gicleur haut	1	Diamètre 6 p6 (sur H7 pièce 18)			
16	19	Gicleur bas	1				
17	20	Rondelle cloison	1	55 SHA ; e=0.5			
18	21	Guide glissière	1	Diamètre 12 H7			
21		Récipient	1	St. Gobain 370ml normalisé (réf. 4.30.351.01)			
22		Ecrou cheminée	1	M12 Hm(bas) DIN 439 contre-écrou		BAFA-SA	
46		Plongeur	1	Diamètre extérieur=4 ; Longueur=120			

Sous-ensemble D : façade-serrure (Plan 23)

Indice	Plans	Désignation	Quantité	Spécifications	Remarques	Fournisseur référencé	Prix*
23	24	Façade	1	Planche plastique 3mm			
24	25	Bouton ouverture/fermeture	1	A partir de barre Diam.36	delrin ou nylon 6+MOS2 extrudé		
25	26	Pion de guidage	1				
26		Goujon ¼ tour	1	Tête moletée. Réf. Southco® : 85-13-580-16	Jeu Southco Fixations ¼ tour Grande taille: goujon, réceptacle, rondelle de retenue,ressortSouthco. éjecteur et rondelle support.		
27		Ressort éjecteur	1	Conique. Réf. Southco® : 14-18-150-24	Jeu Southco Fixations ¼ tour Grande taille: goujon, réceptacle, rondelle de retenue,ressortSouthco. éjecteur et rondelle support.		
28		Rondelle support	1	Cuvette en nylon noir. Réf. Southco® : 85-46-101-41	Jeu Southco Fixations ¼ tour Grande taille: goujon, réceptacle, rondelle de retenue,ressortSouthco éjecteur et rondelle support.		
29		Rondelle de retenue	1	Nylon noir. Réf. Southco® : 85-34-301-12	Jeu Southco Fixations ¼ tour Grande taille: goujon, réceptacle, rondelle de retenue,ressortSouthco. éjecteur et rondelle support.		

Sous-ensemble E : profilé central-réceptacle (Plan 27)

30	27	Profilé-châssis central	1	DIN 46277-3 35x7.5x1 non perforé	A perforer selon plan	SCAME	
----	----	-------------------------	---	----------------------------------	-----------------------	-------	--

Indice	Plans	Désignation	Quantité	Spécifications	Remarques	Fournisseur référencé	Prix*
31		Réceptacle ¼ tour	1	A lame ressort. A riveter. Réf. Southco® : 85-35-295-15	Jeu Southco Fixations ¼ tour Grande taille: goujon, réceptacle, rondelle de retenue, ressort éjecteur et rondelle support.	Southco	
32		Rivet	2	Diamètre 3mm. Epaisseur à assembler=5mm DIN 7337 : 3x8	Déformer jusqu'à 3.5-3.9mm. recommandation Southco	Voir Restagraf	

Sous-ensemble F : Cache (Plan 29)

33	30	Cache machine	1		Soudage au cache raccordement par point électrique		
34	31	Cache raccordement	1		Soudage au cache machine par point électrique		

Autres composants :

35	32	Profilé-châssis long	1		Pièces 35 et 36 ont la même section		
36	33	Profilé-châssis court	1				
37		Carte électronique	1				
38	34	Pompe	1	Schego optimal	Prévoir taraudage M3. Voir plan		
39		Plot antivibratoire	3	Amortisseur élastique. Fixation mâle/mâle M3.	Réf. A-ZY3-8-8 du Catalogue HPC 2003.	Catalogue HPC 2003	1.00
40		Ecrou de fixation pompe	3	M3	En jeu avec rondelle anti-desserrage. 560-293 du Catalogue Radiospares	Code Radiospares	3.58/250

Indice	Plans	Désignation	Quantité	Spécifications	Remarques	Fournisseur référencé	Prix*
41		Tuyau de raccordement	1	En tygon. 60 SH A. Longueur 30cm Diamètre int. 4.8mm. Diamètre ext. 6.4mm.. Diamètre du câble: 6.4-7.4.	Code 418-9860 du Catalogue Radiospares.	Radiospares	0.57
42		Passe-fils à blocage	1	Logement rond ou avec méplats (pour blocage en rotation).	Code 543-872 du Catalogue Radiospares.	Radiospares	0.09
43		Interrupteur à bascule rond	1	Version ON-OFF. Led rouge. Unipolaire. Diamètre 23mm	.Code 329-7134 du Catalogue Radiospares.	Radiospares	2.34
44		Butée adhésive	4	Caoutchouc moulé. Diamètre 19mm. Hauteur 9.6mm. Réf. 3M : SJ5017	Code 120-6079 du Catalogue Radiospares. A installer par l'utilisateur (en option)	3M ; Radiospares	1.80
11		Vis générale d'assemblage	7	TORX® M3x6	Vis tête cylindrique tête basse à six lobes internes	BAFA-SA	
45		Vis d'assemblage du profilé central	2	TORX® M3x12	Vis tête cylindrique tête basse à six lobes internes	BAFA-SA	
12		Rondelle anti-desserrage	6	M3.	Code 526-574 du Catalogue Radiospares.	Radiospares	0.01

* Prix de référence rapporté à l'unité, la livraison et le prix y associé pouvant être par lot, sachet, à l'unité, ...

NOMENCLATURE DES COMPOSANTS (VERSION B)

Vue générale version b : Plan 1b

Indice	Plans	Désignation	Quantité	Spécifications	Remarques	Fournisseur référencé	Prix*
Sous-ensemble A : Boîtier (Plan 2b)							
1b	2b,3b	Boîtier monobloc	1	Plastique ABS	Fabrication par moule d'injection	Voir liste de fabricants	
Sous-ensemble B : guidage-raccordement (Plan 10)							
Option 1 de raccordement							
6	11,12	Guidage	1				
7	13	Patte arrivée d'air	1				
19	22	Ressort lame	1	Force de restitution en configuration montrée :Le matériau est défini par le fabricant d'après 1kgf	l'effort de restitution spécifié		
47		Rivet de fixation ressort	1	Diam. 3mm x 4.5 pour épaisseur 1-2,5. DIN 7337		Restagraf	
8	14	Coude de raccordement	1				
9		Embout de raccordement	1	M5.	Modèle 2601 selon Catalogue 2001 de CAMOZZI	CAMOZZI	

Indice	Plans	Désignation	Quantité	Spécifications	Remarques	Fournisseur référencé	Prix*
10		Joint coude-gicleur	1	Tube silicone 60 SH A. Longueur 6.5mm. Diamètre int. 6mm. Diamètre ext. 12mm.	Tubes BIOSIL de ASICOMO A/S. Code 2006306990	ASICOMO A/S	
11		Vis générale d'assemblage	2	TORX® M3x6	Vis tête cylindrique tête basse à six lobes internes	BAFA-SA	
12		Rondelle anti-desserrage	2	M3. DI : Denture intérieure	Code 526-574 du Catalogue Radiospares.	Radiospares	0.01

Option 2 de raccordement

6	11,12	Guidage	1				
7	13	Patte arrivée d'air	1				
19	22	Ressort lame	1	Force de restitution en configuration montrée : 1kgf	Le matériau est défini par le fabricant d'après l'effort de restitution spécifié		
47		Rivet de fixation ressort	1	Diam. 3mm x 4.5 pour épaisseur 1-2,5. DIN 7337		Restagraf	
8		Coude de raccordement	1	Mâle M5 / Femelle M5.	Modèle 2021 selon Catalogue2001 de CAMOZZI		
9		Embout de raccordement	1	M5.	Modèle 2601 selon Catalogue 2001 de CAMOZZI		
10		Joint coude-gicleur	1	Dureté 55 SH A. Épaisseur 1mm. Diamètre int. 3mm. Diamètre ext. 7mm	Collé au coude 8 sur mâle M5		

Indice	Plans	Désignation	Quantité	Spécifications	Remarques	Fournisseur référencé	Prix*
11		Vis générale d'assemblage	2	TORX® M3x6	Vis tête cylindrique tête basse à six lobes internes	BAFA-SA	
12		Rondelle anti-desserrage	2	M3.	Code 526-574 du Catalogue Radiospares.	Radiospares	0.01

Sous-ensemble C : cartouche (Plan 15b)

13b	16b	Couvercle	1	Diamètre 60 avec épaulement intérieur	Prévoir pas de vis selon récipient 21		
15b	18b	Gicleur haut	1	Diamètre 6 p6 (sur H7 pièce 18)			
17	20	Rondelle cloison	1	55 SHA ; e=0.5			
21		Récipient	1	St. Gobain 370ml normalisé (réf. 4.30.351.01)			
46		Plongeur	1	Diamètre extérieur=4 ; Longueur=120			

Sous-ensemble D : façade-serrure (Plan 23)

23	24	Façade	1	Planche plastique 3mm			
24	25	Bouton ouverture/fermeture	1	A partir de barre Diam.36	delrin ou nylon 6+MOS2 extrudé		
25	26	Pion de guidage	1				
26		Goujon ¼ tour	1	Tête moletée. Réf. Southco® : 85-13-580-16	Jeu Southco Fixations ¼ tour Grande taille: goujon, réceptacle, rondelle de retenue, ressort Southco. éjecteur et rondelle support.		

Indice	Plans	Désignation	Quantité	Spécifications	Remarques	Fournisseur référencé	Prix*
27		Ressort éjecteur	1	Conique. Réf. Southco® : 14-18-150-24	Jeu Southco Fixations ¼ tour Grande taille: goujon, réceptacle, rondelle de retenue,ressortSouthco. éjecteur et rondelle support.		
28		Rondelle support	1	Cuvette en nylon noir. Réf. Southco® : 85-46-101-41	Jeu Southco Fixations ¼ tour Grande taille: goujon, réceptacle, rondelle de retenue,ressortSouthco éjecteur et rondelle support.		
29		Rondelle de retenue	1	Nylon noir. Réf. Southco® : 85-34-301-12	Jeu Southco Fixations ¼ tour Grande taille: goujon, réceptacle, rondelle de retenue,ressortSouthco. éjecteur et rondelle support.		

Sous-ensemble E : profilé central-réceptacle (Plan 27)

30	27	Profilé-châssis central	1	DIN 46277-3 35x7.5x1 non perforé	A perforer selon plan	SCAME	
31		Réceptacle ¼ tour	1	A lame ressort. A riveter. Réf. Southco® : 85-35-295-15	Jeu Southco Fixations ¼ tour Grande taille: goujon, réceptacle, rondelle de retenue,ressortSouthco. éjecteur et rondelle support.		
32		Rivet	2	Diamètre 3mm. Epaisseur à assembler=5mm DIN 7337 : 3x8	Déformer jusqu'à 3.5-3.9mm. recommandation Southco	Voir Restagraf	

Sous-ensemble F : Cache (Plan 29b)

Indice	Plans	Désignation	Quantité	Spécifications	Remarques	Fournisseur référencé	Prix*
33b	30b	Cache monobloc	1	Plastique ABS. Epaisseur générale des parois=3mm	Prévu pour fabrication par moule d'injection.	Voir liste de fabricants	

Autres composants :

35	32	Profilé-châssis long	1		Pièces 35 et 36 ont la même section		
36	33	Profilé-châssis court	1				
37		Carte électronique	1				
38	34	Pompe	1	Schego optimal	Prévoir taraudage M3. Voir plan		
39		Plot antivibratoire	3	Amortisseur élastique. Fixation mâle/mâle M3.	Réf. A-ZY3-8-8 du Catalogue HPC 2003.	Catalogue HPC 2003	1.00
40		Ecrou de fixation pompe	3	M3	En jeu avec rondelle anti-desserrage. Code 560-293 du Catalogue Radiospares	Radiospares	3.58/250
41		Tuyau de raccordement	1	En tygon. 60 SH A. Longueur 30cm Diamètre int. 4.8mm. Diamètre ext. 6.4mm.. Diamètre du câble: 6.4-7.4.	Code 418-9860 du Catalogue Radiospares.	Radiospares	0.57
42		Passe-fils à blocage	1	Logement rond ou avec méplats (pour blocage en rotation).	Code 543-872 du Catalogue Radiospares.	Radiospares	0.09
43		Interrupteur à bascule rond	1	Version ON-OFF. Led rouge. Unipolaire. Diamètre 23mm	Code 329-7134 du Catalogue Radiospares.	Radiospares	2.34
44		Butée adhésive	4	Caoutchouc moulé. Diamètre 19mm. Hauteur 9.6mm. Réf. 3M : SJ5017	Code 120-6079 du Catalogue Radiospares. A installer par l'utilisateur (en option)	3M ; Radiospares	1.80

Indice	Plans	Désignation	Quantité	Spécifications	Remarques	Fournisseur référencé	Prix*
11		Vis générale d'assemblage	7	TORX® M3x6	Vis tête cylindrique tête basse à six lobes internes	BAFA-SA	
45		Vis de fixation au boîtier	5	FX ST 3,5x12 autoformeuse M3. DIN 7981	Vis autoformeuse tête cylindrique tête basse à six lobes internes.	BAFA-SA	
12		Rondelle anti-desserrage	6	M3.	Code 526-574 du Catalogue Radiospares.	Radiospares	0.01

* Prix de référence rapporté à l'unité, la livraison et le prix y associé pouvant être par lot, sachet, à l'unité, ...