

Modelling of the technological innovation process within SME: Application to the design of a new manufacturing technology based on the laser technique

Nicolas Roulet

▶ **To cite this version:**

Nicolas Roulet. Modelling of the technological innovation process within SME: Application to the design of a new manufacturing technology based on the laser technique. Humanities and Social Sciences. Arts et Métiers ParisTech, 2006. English. NNT : 2006ENAM0032 . pastel-00002065

HAL Id: pastel-00002065
https://pastel.hal.science/pastel-00002065

Submitted on 12 Jan 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.

N°: 2006 ENAM 0032

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

T H È S E

pour obtenir le grade de

Docteur

de

l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers

Spécialité "Génie Industriel"

présentée et soutenue publiquement
par

Nicolas ROULET

le 26 septembre 2006

MODELISATION DU PROCESSUS D'INNOVATION TECHNOLOGIQUE EN PME-PMI : APPLICATION A LA CONCEPTION D'UNE NOUVELLE TECHNOLOGIE DE FABRICATION BASÉE SUR LA TECHNIQUE LASER

Directeur de thèse : ***Améziane AOUSSAT***

Codirecteur(s) de thèse : ***Patrice DUBOIS***

Jury :

M. Michel CARRARD, Professeur, CRIIP, IUT GMP/CAO de Cachan ..... Président
M. Alain BERNARD, Professeur, IRCCyN, Ecole Centrale de Nantes ..... Rapporteur
M. Serge TICHKIEWITCH, Professeur, L3S, INPG..... Rapporteur
M. Améziane AOUSSAT, Professeur, LCPI, ENSAM Paris..... Examinateur
M. Patrice DUBOIS, Maître de Conférences, LCPI, ENSAM Paris ..... Examinateur
M. Jean-Pierre ROUX, Responsable Découpage Rotatif, Komori-Chambon..... Invité

Laboratoire de Conception de Produits et Innovation
ENSAM, CER de Paris

L'ENSAM est un Grand Etablissement dépendant du Ministère de l'Education Nationale, composé de huit centres :
AIX-EN-PROVENCE ANGERS BORDEAUX CHÂLONS-EN-CHAMPAGNE CLUNY LILLE METZ PARIS

A mes grands-parents et parents,

« Il faut agir en homme de pensée et penser en homme d'action»
Henri Bergson.

Remerciements

A travers ces quelques lignes, je souhaite exprimer ma reconnaissance et ma gratitude aux professeurs, docteurs, collègues et amis qui ont collaboré de près ou de loin à la réalisation de ce travail de thèse. Sans qui je ne pourrais pas, aujourd'hui, être fier de dire : "Je l'ai fait !".

Je tiens à remercier sincèrement Messieurs les Professeurs Alain BERNARD de l'Ecole Centrale de Nantes et Serge TICHKIEWITCH de l'Institut National Polytechnique de Grenoble pour l'attention qu'ils ont portée à ce travail et pour avoir accepté de l'évaluer en tant que rapporteurs.

Je tiens à remercier Monsieur le Professeur Michel CARRARD de l'Institut Universitaire de Technologie de Cachan pour avoir accepté de participer au jury de thèse en qualité d'examinateur et de président.

Je tiens à remercier Monsieur le Professeur Améziane AOUSSAT, Professeur des Universités et Directeur du Laboratoire Conception de Produits et Innovation du site de Paris, pour son rôle en tant que directeur de thèse et ses conseils avisés au long de ces trois ans, tout particulièrement lors de la rédaction de ce document.

Je remercie Monsieur Patrice DUBOIS, Maître de Conférences et co-directeur de cette thèse, pour son soutien permanent tout au long de ce chemin parsemé d'embûches. Merci Patrice pour ta disponibilité sans faille et ta motivation quotidienne. Ces journées de travail mensuelles très animées resteront gravées à jamais dans ma mémoire.

Je remercie aussi toute l'équipe du Laboratoire Conception de Produits et Innovation. Et plus particulièrement les doctorants que j'ai pu côtoyer à travers les réunions mensuelles de notre groupe de travail de thèse, et dont les remarques sur mon travail de recherche étaient toujours pertinentes : Diego ACUNA, Khaled BENFRIHA, Arnaud GROFF, Virginie HYERARD, Lien LUONG, Fabrice MANTELET, Stéphanie MINEL, Christophe PERINEAUD et Ornella PLOS. Ces échanges ont été des phases-clés dans mon travail de recherche. Je tiens à associer aussi à ces remerciements tous mes collègues de la promotion du DEA CPI 2002/2003.

Je tiens à remercier Messieurs Masahiko MASUDA et Jean Paul ROCHE pour m'avoir accueilli au sein de la société KOMORI-CHAMBON S.A. et m'avoir fait confiance pendant ces trois années de "recherche-action".

Un grand merci aussi à Monsieur Jean Pierre ROUX pour m'avoir accepté au sein de son service Bureau d'Etudes Découpage Rotatif, mais également pour son aide et sa confiance tout au long des projets de développement ainsi que sa disponibilité dans la transmission de son savoir et son expérience.

Je tiens à remercier également tous les collègues du BE/DR pour leur bonne humeur quotidienne et leurs conseils lors de mes premiers pas dans l'entreprise : Jean-Jacques BORDIER, Hervé BOUBAULT, Pierrick DANIEL, Régis GRANNEC, Philippe PASQUET, Philippe VALLET et Gérald VESTU. Un grand merci aussi à Messieurs Michel LOISEAU et Jacques HENRY, sans oublier tous les opérateurs et monteurs, toujours prêts à transmettre leurs savoir-faire et expérience.

Enfin je n'oublie pas mes parents, Elisabeth et Gérard, mon frère Thomas, ma famille "Niçoise", et tous les "gones" qui m'ont soutenu et encouragé tout au long de ce difficile "accouchement".

Table des matières

Introduction générale 12

Première partie : Contexte industriel et de recherche 18

1.1 Komori-Chambon S.A. : Concepteur et fabricant de machines d'impression et de façonnage en ligne d'emballages carton 19

1.1.1 La société Komori-Chambon S.A. *..... 19*

1.1.1.1 Le groupe Komori 19

1.1.1.2 La filiale française du groupe : Komori-Chambon S.A. 21

1.1.2 La machine d'impression et de façonnage en ligne : un produit spécifique à chaque client *..... 24*

1.1.2.1 Les différentes unités de la partie impression 25

1.1.2.2 Le façonnage en ligne 28

1.1.2.3 Les avantages de tels systèmes 29

1.2 Le Découpage Rotatif : un marché fortement concurrentiel 30

1.2.1 Généralités et principes *..... 30*

1.2.2 Les cylindres de découpe : des outils de précision *..... 32*

1.2.2.1 La découpe : trois profils de filets différents 32

1.2.2.2 Une faible répétitivité dans la conception et la fabrication 35

1.2.3 Le contexte industriel *..... 36*

1.2.3.1 L'activité DR 37

1.2.3.2 Un marché très concurrentiel 38

1.2.3.3 Les solutions face à ce constat 40

1.3 Le choix de Komori-Chambon : l'innovation technologique 41

1.3.1 La technologie comme levier stratégique *..... 42*

1.3.1.1 La technologie : une valeur sociale et économique 43

1.3.1.2 Une dimension clé de la stratégie d'entreprise 45

1.3.2 Qu'est ce que l'innovation ? *..... 47*

1.3.2.1 Quelques définitions pour l'innovation 47

1.3.2.2 Les typologies et intensités d'innovation 48
1.3.3 L'innovation technologique : formalisation d'un processus complexe *..... 51*
1.3.3.1 Les processus d'innovation dits "mécaniques" 52
1.3.3.2 Les processus d'innovation dits "organiques" 53
1.3.3.3 La complexité du processus d'innovation 55
1.3.4 Les enjeux industriels de l'innovation *..... 56*
1.3.4.1 Les chiffres de l'innovation 57
1.3.4.2 Un exemple d'innovation technologique : le ski parabolique 60
1.4 L'innovation technologique par le rechargement laser 62
1.4.1 La technique laser *..... 62*
1.4.1.1 Rappel historique 62
1.4.1.2 L.A.S.E.R : le principe général 63
1.4.1.3 Les lasers de puissance 64
1.4.2 Les applications industrielles de la métallurgie *..... 65*
1.4.3 Le rechargement laser : un potentiel technologique *..... 67*
1.4.3.1 Outillages de découpe rechargés laser 68
1.4.3.2 De la recherche fondamentale à l'outil de production 70
1.4.4 Gestion de l'innovation technologique via des partenariats externes *..... 72*
Seconde partie : Problématique scientifique et hypothèses 75
2.1 La conception en collaboration externe 76
2.1.1 La conception : méthodes, outils et organisation *..... 76*
2.1.1.1 Innover c'est concevoir ! 76
2.1.1.2 La conception de machines innovantes : absence de formalisation chez Komori-Chambon 78
2.1.1.3 Les processus de conception 80
2.1.1.4 Les outils de la conception : l'AFE, le SADT, l'AMDEC 85
2.1.1.5 Les modes d'organisation en conception 91
2.1.1.6 Positionnement des méthodes et outils dans notre contexte 93
2.1.2 La collaboration interdisciplinaire *..... 95*
2.1.2.1 Les freins à l'innovation : genèse de la collaboration 96
2.1.2.2 La collaboration interdisciplinaire : quelles difficultés ? 97
2.2 Connaissances techniques et intégration technologique 102

2.2.1 Les connaissances : bases de l'innovation technologique ... *103*
2.2.1.1 Les connaissances : fondements de la technologie ... *103*
2.2.1.2 Le cycle d'évolution d'une technologie ... *104*
2.2.1.3 Frontières entre données, information et connaissance ... *106*
2.2.2 L'intégration de nouvelles technologies : l'enjeu des connaissances ... *109*
2.2.2.1 Transferts de technologie et intégration ... *109*
2.2.2.2 La gestion de connaissances facilite les perspectives d'intégration ... *112*
2.3 Formalisation de la problématique scientifique ... 116
2.4 Hypothèses de résolution ... 118
2.4.1 Première hypothèse : Approche amont de collaboration ... *120*
2.4.2 Seconde hypothèse : Réalisation d'un saut technologique ... *122*
Troisième partie : Expérimentations industrielles ... 125
3.1 Cadre du "Projet Laser" ... 126
3.1.1 Contexte du "Projet Laser" ... *127*
3.1.1.1 Historique du projet ... *127*
3.1.1.2 Besoin et objectifs de la mission ... *129*
3.1.2 Déroulement du "Projet Laser" ... *131*
3.1.3 Les protocoles expérimentaux ... *133*
3.2 Première expérimentation : Formalisation de la collaboration afin d'optimiser la conception ... 137
3.2.1 Mise en évidence des problèmes liés à la collaboration ... *138*
3.2.1.1 Analyse de la collaboration avec l'expert laser ... *138*
3.2.1.2 Exemple d'impact d'une mauvaise collaboration sur le développement ... *139*
3.2.2 Définition du besoin de collaboration ... *141*
3.2.2.1 Quels besoins et quels objectifs pour la collaboration ? ... *141*
3.2.2.2 Analyse Fonctionnelle Externe du système de collaboration ... *143*
3.2.3 Evaluation et répartition des compétences ... *147*
3.2.4 Formalisation des échanges entre partenaires ... *152*
3.2.4.1 Mise en place d'un protocole d'échanges avec l'expert laser ... *152*
3.2.4.2 Construction d'un cahier des charges spécifique aux opérations laser sur cylindres ... *155*
3.2.5 Influences de la formalisation de la collaboration sur la conception ... *157*

3.2.5.1 Interaction entre le processus de conception d'un procédé de rechargement laser d'outillages de découpe et une démarche de collaboration *158*
3.2.5.2 Exemple de l'élaboration conjointe de trajectoires de rechargement *161*
3.2.6 Synthèse et résultats de la première hypothèse *163*
3.3 Seconde expérimentation : Réalisation d'un saut technologique par la définition d'un seuil minimum de connaissances à maîtriser **167**
3.3.1 Evaluation des connaissances issues du développement du procédé *168*
3.3.2 Identification des connaissances directement liées à la fiabilité du processus .. *170*
3.3.2.1 Choix des outils prototypes *171*
3.3.2.2 Analyse des modes de défaillance du nouveau procédé de fabrication *172*
3.3.2.3 Corrélation entre les modes de défaillance et les connaissances d'industrialisation : Identification des "connaissances de fiabilité" *176*
3.3.3 Synthèse de la seconde hypothèse et constitution d'un seuil minimum de connaissances à maîtriser *177*
Quatrième partie : Proposition d'un modèle du processus d'innovation technologique en PME-PMI **182**
4.1 Pourquoi proposer un modèle ? **182**
4.2 Description des trois sous processus **184**
4.2.1 Le processus de gestion de projet *185*
4.2.2 Le processus de conception *189*
4.2.3 Les processus de collaboration et d'intégration *192*
4.2.3.1 Le processus de collaboration *192*
4.2.3.2 Le processus d'intégration *195*
4.3 Modèle : support des activités d'innovation technologique en PME **197**
4.3.1 Mise en oeuvre du modèle *198*
4.3.2 Apports et limites du modèle *200*
Conclusion générale et perspectives **202**
5.1 Conclusions et apports **202**
5.2 Perspectives **205**
Bibliographie **206**
Annexes **220**

Table des illustrations

Figure 1 : Parts de marché par constructeur 19
Figure 2 : Répartition du CA du groupe par continent 20
Figure 3 : Premières machines Chambon (1889) 22
Figure 4 : Les trois premiers groupes de l'industrie de l'emballage 22
Figure 5 : Photos des différents emballages réalisés via les presses Komori-Chambon 23
Figure 6 : Exemple de système d'impression et de façonnage Komori-Chambon 24
Figure 7 : Unité d'impression offset Komori-Chambon 26
Figure 8 : Unité d'impression héliogravure Komori-Chambon 27
Figure 9 : Les deux systèmes de découpe 28
Figure 10 : Tableau récapitulatif des spécifications machines Héliogravure et Offset 29
Figure 11 : Module de banc de découpe (2 postes) et cassette 30
Figure 12 : Exemple d'un outil "2 poses en laize / 8 poses au tour" 31
Figure 13 : Profil de filet de coupe "*Single Knife*" 32
Figure 14 : Profil de filet de coupe "*Twin Knife*" 33
Figure 15 : Coupe *TK* d'une forme carrée 34
Figure 16 : Profil de filet de marquage de plis 34
Figure 17 : Le cube métier de l'entreprise [RIBAULT et al. 91] 46
Figure 18 : Les différents concepts d'innovation 49
Figure 19 : Exemples de modèles séquentiels 52
Figure 20 : Modèle de la chaîne interconnectée [KLINE et al. 86] 54
Figure 21 : Complexité des processus d'innovation [THOUVENIN 02] 55
Figure 22 : Les principaux objectifs de l'innovation technologique [SESSI 99] 57
Figure 23 : Valeur actionnariale des entreprises innovantes [LITTLE 99] 59
Figure 24 : L'innovation technologique par typologie [SESSI 02] 59
Figure 25 : Libération des photons lumineux [ROULET et al.03] 63
Figure 26 : Schéma d'une cavité résonnante 64
Figure 27 : Tableau des caractéristiques de rechargement laser et de rechargement à l'arc 67
Figure 28 : Exemple de rechargement laser 69

Figure 29 : Paliers d'industrialisation du rechargement laser 71
Figure 30 : Schématisation des échanges lors du développement du procédé laser 72
Figure 31 : Synthèse du contexte 74
Figure 32 : Cycle de vie d'un procédé et d'un produit associé 78
Figure 33 : Conception de la technologie 79
Figure 34 : Nécessité de faire appel à la recherche en Génie Industriel 80
Figure 35 : La démarche de conception CPN [AOUSSAT 90] 82
Figure 36 : Conception séquentielle / simultanée [BOURDICHON 94] [LONCHAMPT 04] 83
Figure 37 : La roue de l'Ingénierie Concourante [PARSAEI et al. 93] 84
Figure 38 : Exemple de "Bête à Cornes" d'un lave vaisselle 87
Figure 39 : Actigramme et Datagramme de l'outil SADT 88
Figure 40 : Décomposition d'une modélisation SADT 89
Figure 41 : Exemple d'un tableau AMDEC d'un système de convoyage 90
Figure 42 : Conception centrée métier / Conception centrée produit [POVEDA 01] 92
Figure 43 : Positionnement des principaux outils de la conception 94
Figure 44 : Grille de hiérarchisation des partenariats [PERROTIN et al. 02] 100
Figure 45 : Représentation des échanges initiaux sur le projet laser 101
Figure 46 : Le concept de technologie 104
Figure 47 : Cycle d'évolution des technologies [RIBAULT et al. 91] [NEAU 03] 105
Figure 48 : Modèle DIK de Baker appliqué à notre étude [DE FOUCHECOUR 04] 106
Figure 49 : Modèle de compétence de Nielsen [NIELSEN 00] 108
Figure 50 : Processus de transfert de technologie des projets TEURPIN [TEURPIN 01] 110
Figure 51 : Principe d'asymétrie croisée des connaissances 112
Figure 52 : Le cercle de création des connaissances [NONAKA et al.95] 113
Figure 53 : Schéma de résolution de la problématique scientifique 119
Figure 54 : Schéma résumant la première hypothèse 122
Figure 55 : Défauts présents sur un secteur de coupe rechargé laser 128
Figure 56 : Extrait de l'AFE du système de rechargement laser de cylindre de découpe 129
Figure 57 : Démarche globale du "Projet Laser" 133
Figure 58 : Positionnement des expérimentations 134
Figure 59 : Protocole d'expérimentation de la première hypothèse 135
Figure 60 : Protocole d'expérimentation de notre seconde hypothèse 136
Figure 61 : Schéma des échanges lors des premiers essais sur pièces cylindriques 139

Figure 62 : "Bête à Cornes" du système de collaboration 142
Figure 63 : Outils pieuvre des trois phases du cycle de vie du système de collaboration 145
Figure 64 : Tableau de caractérisation des fonctions du système de collaboration 146
Figure 65 : Carte des compétences sur le "Projet Laser" 148
Figure 66 : Table des compétences 151
Figure 67 : Trame du protocole d'échanges 154
Figure 68 : Influence des résultats de la collaboration sur le processus de conception 160
Figure 69 : Représentation des échanges sur les phases du processus de conception 165
Figure 70 : Synthèse des résultats expérimentaux 166
Figure 71 : Synthèse de l'expérimentation 166
Figure 72 : Création d'une base de connaissances à partir des résultats de la première expérimentation 168
Figure 73 : Table de critères de l'AMDEC Processus 174
Figure 74 : Modes de défaillance et criticité 176
Figure 76 : Seuil minimum des connaissances nécessaires au saut technologique 179
Figure 77 : Macro modèle du processus d'innovation technologique 184
Figure 78 : Modélisation SADT du processus de gestion de projet 188
Figure 79 : Modélisation SADT du processus de conception 191
Figure 80 : Modélisation SADT du processus de collaboration 194
Figure 82 : Modélisation SADT du processus d'intégration 196
Figure 83 : Synthèse de l'apport méthodologique 198
Figure 84 : Ordonnancement des activités du processus d'innovation technologique modélisé 199

Introduction générale

Ce travail de thèse s'inscrit dans le domaine du Génie Industriel et s'intitule "Modélisation du processus d'innovation technologique en PME-PMI : Application à la conception d'une nouvelle technologie de fabrication basée sur les techniques laser". Il porte plus particulièrement sur les problématiques d'innovation technologique en PME. Nous avons travaillé pendant trois ans dans le cadre d'une convention CIFRE au sein de la société Komori-Chambon S.A., située à Orléans, et en partenariat avec le Laboratoire de Conception de Produits et d'Innovation de l'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers de Paris.

Face à une concurrence internationale de plus en plus vive, les petites et moyennes entreprises françaises du secteur de la mécanique de précision, se doivent d'optimiser leur triptyque "Coût/Qualité/Délais" si elles désirent conserver leurs parts de marché et en acquérir de nouvelles. Le recours qui paraît le plus évident pour une entreprise française souhaitant évoluer sur un marché mondial, est la délocalisation d'une partie de ses activités. Cependant, cette solution avantageuse (proximité de la clientèle et masses salariales faibles) se révèle très compliquée puisqu'elle nécessite : le transfert de moyens et de savoir-faire, l'adaptation à la culture du pays accueillant, le respect des fondamentaux administratifs locaux … Ces projets de délocalisation, parfois inévitables, sont cependant très longs et très coûteux. Les entreprises ont alors la possibilité, en parallèle à ce type de projet, d'actionner un levier stratégique tout aussi influant sur leur compétitivité : le développement et l'intégration de nouvelles technologies.

Il est vrai que pour répondre à des marchés de plus en plus complexes et à une compétitivité de plus en plus intense, l'innovation technologique devient un critère stratégique de premier ordre pour une grande majorité des sociétés françaises. Cependant innover technologiquement n'est pas quelque chose de simple ni d'innée. En effet, le développement de technologies émergentes requiert, le plus souvent, diverses expertises techniques complémentaires. Le manque de compétences techniques et de ressources humaines incite les PME à concevoir leur innovation en collaboration avec des centres de recherche ou des sociétés expertes. La mise en

place de ces partenariats est la seule voie possible pour innover et concevoir de nouvelles technologies.

L'entreprise Komori-Chambon, et plus particulièrement le service de Découpage Rotatif, a fait le choix de l'innovation technologique de procédé. Il s'agit là de développer conjointement un procédé de fabrication, qui intègre d'un côté les paramètres internes à l'entreprise (développement interne) et de l'autre les spécificités des technologies émergentes (développement externe). Pour assurer la pérennité de leurs activités, les industriels se doivent d'être capable de maîtriser complètement leur innovation au terme de leur "co-développement".

L'objectif de ce travail de recherche est donc d'apporter des réponses industrielles et scientifiques aux difficultés de collaboration et d'intégration rencontrées lors de projets innovants en partie externalisés.

La structure de ce document de thèse s'articulera autour de cinq parties distinctes.

Dans **la première partie** nous serons amenés à détailler le contexte industriel au sein duquel nous avons évolué durant ces trois années de recherche-action. Nous présenterons tout d'abord les activités de la société Komori-Chambon S.A., filiale française du groupe japonais Komori qui fait partie des leaders mondiaux sur le marché des machines d'impression. Cette PME conçoit et fabrique des lignes de production pour l'industrie de l'emballage carton : machines s'appuyant sur les techniques rotatives et donc dédiées à un grand nombre de tirages de qualité (quelques milliards de boîtes). La quasi-totalité de ces machines sont voués à l'exportation en Asie, en Amérique du Nord ou encore en Russie. Nous décrirons ensuite le domaine sur lequel nous avons travaillé : le façonnage en ligne, et plus particulièrement la conception et la fabrication d'outillages de découpe. Cette activité est bien plus cyclique que la conception de machines, puisque pour chaque nouveau type de tirage (nouvelle forme de boîte) le client doit se munir de nouveaux outillages. Aujourd'hui la concurrence internationale sur ce secteur est de plus en plus intense et il est très difficile pour Komori-Chambon de conserver ses parts de marché. En effet, son éloignement géographique par rapport à ses clients, le taux de parité monétaire déséquilibré ou encore les coûts de main-d'œuvre très élevés sont les principaux facteurs de l'extension de la plupart des concurrents sur le marché. Dans l'objectif de pérenniser une partie de l'activité de découpage rotatif, la

société a donc décidé de développer et d'intégrer de nouvelles technologies de fabrication : c'est-à-dire d'**innover technologiquement**. Nous reviendrons alors sur les fondements de l'innovation technologique et sur l'intérêt stratégique que suscite un tel phénomène auprès des industriels. Cependant réussir une innovation n'est pas quelque chose de si simple. On peut la retrouver sous différentes formes (de l'innovation technologique à l'innovation politique) et de nombreux auteurs se sont intéressés à la modélisation de ces processus complexes. Malgré ces difficultés, innover est aujourd'hui le passage obligé des entreprises pour survivre (conserver ses parts de marché) et se développer (conquérir de nouveaux marchés). La solution technologique qu'a choisie la société Komori-Chambon est le rechargement laser appliqué à la fabrication d'outillages rotatifs. Nous verrons que le saut technologique à franchir pour aboutir à un nouveau moyen de production, permettant d'atteindre les objectifs stratégiques fixés, est important. Il est pour cela nécessaire de faire appel à des compétences qui ne sont pas présentes au sein de la PME. Ce sont essentiellement le manque de connaissances en techniques laser qui ont incité l'entreprise à lancer ce projet avec l'appui d'un partenaire. Mais face à ce contexte particulier de collaboration, **comment peut-on gérer l'ensemble des éléments du projet innovant afin de réussir son innovation technologique et la pérenniser dans son entreprise ?**

Dans **la seconde partie** nous positionnerons notre recherche en abordant les différents champs disciplinaires qui définissent le cadre de la thématique de gestion de l'innovation technologique. Ceci nous permettra d'identifier les contraintes et les difficultés que peuvent rencontrer certains industriels face à la complexité des projets innovants. Nous rappellerons, dans un premier temps, que pour pouvoir innover il faut être capable de recourir à des activités de conception. En effet, la conception d'un produit, d'un procédé ou d'un service, doit représenter la "colonne vertébrale" d'un projet innovant afin de répondre aux besoins et ainsi favoriser l'impact économique sur le futur marché [KLINE et al. 86] [PERRIN 01]. Pour pallier aux manques de références internes dans le domaine de la conception innovante, nous nous sommes appuyés sur un état de l'art non exhaustif des processus de conception (simultanés et séquentiels) rencontrés dans la littérature. Cependant nous préciserons que la conception est une étape nécessaire mais non suffisante pour innover technologiquement. Concevoir une nouvelle technologie en PME, implique souvent de faire appel à des compétences externes. Or la mise en présence et l'intégration de différents experts autour des activités de conception ne suffit pas à instaurer la collaboration [MIDLER 93] [SARDAS et

al. 02]. Cette dernière doit donc être rigoureuse et formalisée, de manière à favoriser la communication et l'interaction entre chaque acteur métier [MABILE 02]. Mais pour réussir à gérer une innovation technologique il faut non seulement, créer et développer (concevoir en collaboration), mais aussi comprendre et maîtriser la technologie afin de la pérenniser dans son nouvel environnement. Nous montrerons que les fondements primaires de la technologie résident dans les connaissances techniques et scientifiques. Ce sont les éléments qui permettent de garantir la maîtrise et l'évolution de l'innovation technologique au cours du temps. Nous rappellerons en quoi nous pouvons différencier une connaissance, d'une information ou d'une donnée [DE FOUCHECOUR 04] : trois termes qui peuvent parfois porter à confusion. Il paraît donc évident que la gestion des connaissances, transférées et créées tout au long du projet innovant, facilite les perspectives d'intégration de la future technologie. Compte tenu de notre positionnement par rapport à la conception en collaboration et l'intégration de l'innovation technologique en PME, nous poserons la problématique scientifique suivante : **Quels sont les conditions et critères favorisant la réussite d'une innovation technologique lorsque celle-ci met en jeu la pérennité des activités d'une PME-PMI ?**

A partir de cette question posée nous formulerons deux hypothèses de résolution. La première porte sur la mise en place d'un processus de collaboration dès la définition du projet innovant, dans le but de formaliser les échanges (données, connaissances, expériences…) entre les différents acteurs du projet et ainsi limiter les dérives en conception. Celle-ci sera présentée de la manière suivante : **la prise en compte d'une démarche de collaboration, dès les phases amont d'un projet innovant, garantit une conception de l'innovation technologique à des coûts et délais acceptables.** Notre seconde hypothèse porte sur la nécessité de définir un seuil minimum de connaissances techniques à maîtriser pour pouvoir intégrer et pérenniser l'innovation technologique dans son nouvel environnement. Nous la formalisons de la manière suivante : **pour qu'il y ait innovation technologique, il est nécessaire de réaliser un saut technologique.**

Dans **la troisième partie** nous présenterons nos expérimentations en décrivant, dans un premier temps, le cadre du "Projet Laser" : son histoire et son environnement. Puis nous expliciterons les protocoles expérimentaux mis en place pour valider nos hypothèses de recherche.

En ce qui concerne la première expérimentation, nous expliquerons comment nous avons pu corréler les problèmes liés à la conception de la machine (et plus particulièrement dans la phase de développement du procédé) avec les pratiques de collaboration existantes. Nous décrirons pourquoi la définition des besoins de collaboration était nécessaire dans une telle situation. L'Analyse Fonctionnelle Externe qui en résultera, permettra de cibler les compétences externes et internes nécessaires au projet ainsi que les objectifs respectifs de chacun des partenaires. Nous démontrerons à travers la formalisation de protocoles d'échanges et la création d'un cahier des charges spécifiques avec l'expert laser, qu'une collaboration étroite et rigoureuse facilite le transfert et la création de connaissances communes. Nous évaluerons les résultats obtenus sur le processus de conception de la machine innovante.

Nous aborderons ensuite la validité de notre seconde hypothèse de recherche. A partir de la base de connaissances projet, créée à la suite de la première expérimentation, nous évaluerons en quoi celle-ci peut favoriser l'intégration et la pérennité de l'innovation technologique au sein de l'entreprise. Nous montrerons, à travers une campagne de tests, qu'il n'est pas nécessaire de maîtriser l'ensemble de ces nouvelles connaissances pour être capable d'agir sur la technologie une fois le projet clos, mais qu'un seuil minimum, défini par la réalisation d'une AMDEC sur le nouveau processus de fabrication, peut suffire à l'intégration de ce saut technologique.

Dans **la quatrième partie** nous proposerons un modèle de processus d'innovation technologique qui s'articulera autour de quatre sous-processus interdépendants : un processus de gestion de projet, un processus de conception, un processus de collaboration et un processus d'intégration. Nous décrirons les entrées et sorties de ces activités ainsi que leurs interactions avec chacun des sous-processus. Seule la maîtrise conjointe de l'ensemble, assurera le succès de l'innovation technologique. Enfin, nous montrerons quels peuvent être les avantages et les limites d'un tel modèle par rapport à ceux déjà proposés dans la littérature.

Dans **la cinquième et dernière partie** nous conclurons ce mémoire de thèse par la description des apports scientifiques, industriels et personnels de ce travail de recherche. Nous proposerons des perspectives d'amélioration de notre modèle (l'instrumentation de certaines phases). Mais il devra, avant tout, être mis à l'épreuve dans des projets techniques à contextes

plus variés (autre secteur, autres techniques, innovation technologique produit…) afin d'être affiné.

Première partie : Contexte industriel et de recherche

Au cours de cette première partie nous souhaitons décrire le contexte industriel au sein duquel nous avons évolué pendant trois ans. Notre objectif est de montrer à travers ce document que l'innovation, de quelle typologie soit-elle, devient de plus en plus une condition nécessaire mais non suffisante à la survie d'un service, d'un département, d'une entreprise française….

Dans un premier temps, nous présenterons la société au sein de laquelle nous avons effectué nos travaux de recherche, les systèmes qu'elle conçoit et fabrique pour l'industrie de l'emballage carton. Nous verrons que ces derniers, comparables à des lignes de production de plusieurs dizaines de mètres, se composent de deux grandes unités : l'unité d'impression et l'unité de façonnage. Dans un second temps, nous détaillerons le domaine au sein duquel notre champ d'action s'est inscrit : le façonnage en ligne et, plus particulièrement, les processus de conception et de fabrication des outillages de découpe. Nous évoquerons le contexte international difficile que subit notre société franco-japonaise sur ce secteur du découpage rotatif.

Malheureusement, ce contexte industriel n'est pas exclusif à la société Komori-Chambon, il s'étend à de nombreux autres secteurs. Pour répondre à ces marchés de plus en plus complexes et à une concurrence de plus en plus intense, l'innovation est devenue un critère stratégique pour une grande majorité des sociétés françaises. De nombreuses entreprises se lancent dans l'innovation avec plus ou moins de succès. Face à la situation actuelle, les dirigeants de Komori-Chambon, ont décidé de fixer de nouveaux objectifs stratégiques : **Réduire les coûts et les délais de production des outillages rotatifs par le développement et l'intégration de nouvelles technologies ;** c'est-à-dire : **Innover Technologiquement** dans le but de récupérer des parts de marché et d'en acquérir de nouvelles.

La technique de **rechargement laser** est apparue comme la plus adaptée aux outils de découpage rotatif et présentant le potentiel le plus élevé. Cependant nous verrons que c'est une technique qui exige des connaissances pointues. Le gap technologique à franchir pour aboutir à l'application des outils de découpe rechargés par laser est important.

1.1 Komori-Chambon S.A. : Concepteur et fabricant de machines d'impression et de façonnage en ligne d'emballages carton

Dans cette partie nous présenterons un bref historique de l'évolution de l'entreprise Komori-Chambon Machinery, filiale française du groupe japonais Komori Corporation et ses activités sur les marchés internationaux. Nous détaillerons ensuite les systèmes d'impression et de découpe conçus par la PME française. Enfin, nous nous attacherons plus particulièrement à décrire le secteur du Découpage Rotatif, au sein duquel nous avons réalisé nos travaux de recherche.

1.1.1 La société Komori-Chambon S.A.

1.1.1.1 Le groupe Komori

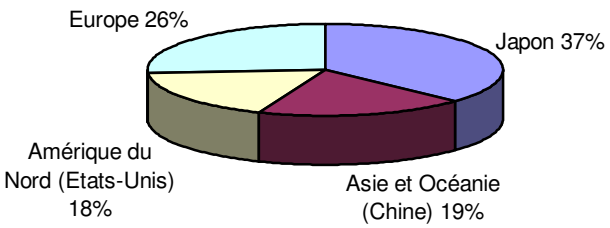
Le groupe japonais Komori Corporation, fondé en 1923, s'est spécialisé au fil des années dans la fabrication et la vente d'équipements d'impression. Il se place aujourd'hui en leader national sur le marché de l'impression japonaise et fait partie des cinq premiers constructeurs mondiaux de systèmes à imprimer. Le marché est principalement dévolu aux firmes allemandes qui ont une très solide expérience de l'industrie graphique. Une société telle que Heidelberg, implantée en plein coeur du berceau historique de l'impression, fait figure de référence dans le domaine.

Heidelberg Druckmaschinen (Allemagne)	20%
Xerox (US)	15%
Man Roland (Allemagne)	9%
KBA (Allemagne)	5%
Komori (Japon)	4%
Goss (US)	4%
Mitsubishi (Japon)	3%
Wifag (Suisse)	1%
Cerutti (Italie)	1%
Creo/Scitex (Canada/Israël)	1%
Autres	37%

Source : Financial Times 18 Avril 2000

Figure 1 : Parts de marché par constructeur

Komori Corporation emploie plus de 2300 salariés à travers le monde. Il a réalisé un chiffre d'affaires de 768 millions d'euros au cours de l'exercice 2004. Ce chiffre est en augmentation de 7% par rapport à l'année précédente. Ces résultats sont principalement liés à une reprise de l'industrie graphique au Japon, à de nombreux renouvellements d'équipements, à un redressement du marché aux Etats-Unis ainsi qu'à une constante progression de ce dernier en Chine [KOMORI 04].



Source : Annual Report 2004 [KOMORI 04]

Figure 2 : Répartition du CA du groupe par continent

La compagnie regroupe seize sociétés qui fabriquent et exportent ses divers produits dans plus de 60 pays. Ses différentes implantations en Europe (Komori International Europe B.V.), aux Etats-Unis (Komori America Corporation) et en Asie (Komori Hong Kong Limited, Komori Taiwan Limited et Komori Trading Shenzhen Company) lui permettent de travailler en étroite relation avec les plus grands imprimeurs et de s'assurer que les produits répondent bien aux différents besoins des clients.

Les principales branches d'activités de Komori Corporation sont au nombre de quatre :

- les presses offset papier (bobines ou feuilles)

- les presses de billets de banques ou autres productions de valeurs

- les systèmes d'impression pour le marché de l'emballage carton (bobines)

- les divers équipements d'impression (pupitres, logiciels, systèmes de contrôles couleur…)

Pour ce faire, elle regroupe 6 sites de production et de montage qui sont implantés au Japon et en France :

• L'usine de Yamagata produit les presses offset pour les feuilles de petits formats (gammes de type Lithrone et Sprint),

• Les usines de Toride et de Tsukuba fabriquent les presses offset pour les feuilles de taille moyenne (gamme de type Lithrone),

• L'usine de Sekiyado fabrique les presses offset pour des feuilles larges (Lithrone 50) mais aussi tous les systèmes d'impression de billets de banques (Banknote Series),

• Les usines de la Voulte et d'Orléans, en France, produisent et assemblent toutes les pièces nécessaires à la réalisation des systèmes d'impression (offset ou héliogravure sur bobines) et de façonnage d'emballages carton.

A travers sa gamme variée d'équipements, le groupe s'est majoritairement spécialisé dans la technique d'impression offset rotative. Cette technique, qui propose une meilleure qualité d'impression et une vitesse de production accrue, lui permet d'accéder à un marché plus étendu (publicité, feuilles, brochures, conditionnement, affiches…). Ce choix stratégique se révèle bénéfique au groupe puisque les volumes imprimés en offset rotative sont en constante progression ces dernières années. Ceci aux dépens des techniques d'offset à plat, de typographie et d'héliogravure.

1.1.1.2 La filiale française du groupe : Komori-Chambon S.A.

La société Machines Chambon est fondée à Paris en 1887 par un ingénieur Arts et Métiers, Louis Chambon. Dans un premier temps, elle conçoit et fabrique des lignes d'impression et de façonnage de papier à cigarettes. Mais deux ans plus tard, au cours de l'exposition universelle de Paris, les inventions de Louis Chambon se transforment en succès commerciaux dans l'industrie de l'emballage. Plusieurs filiales et points de vente s'implantent à l'étranger (Royaume Uni, Amérique du Sud…). La société se spécialise dans l'activité de "Groupe à sucre" dès 1950 : lignes parallèles permettant de transformer le sucre en morceaux (moulage par compression), d'imprimer et de découper l'emballage correspondant. Cette technique est toujours d'actualité et de nombreuses machines tournent encore avec une capacité de

production de 50 tonnes de sucre par jour (Arthenay, Beghin Say, La générale Sucrière…). Une fois le marché saturé, l'entreprise réoriente son activité vers l'impression et la finition d'emballages.

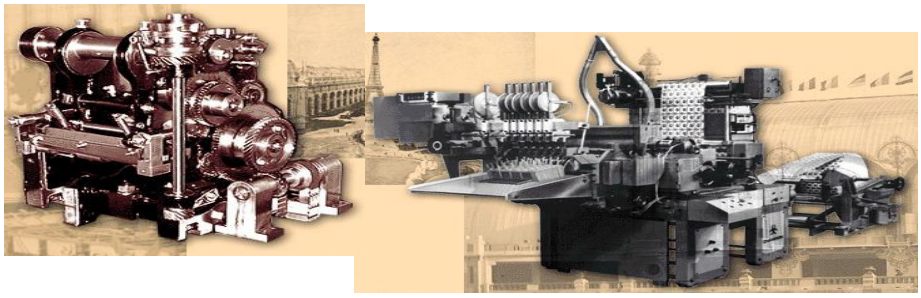


Figure 3 : Premières machines Chambon (1889)

Dans les années 1980, la société fait face à de grosses difficultés financières. Elle dépose le bilan en 1989, est rachetée par le groupe japonais Komori qui souhaite s'implanter en Europe. De cette alliance technologique et financière naît la société Komori-Chambon S.A. qui devient la filiale française du groupe Komori Corporation.

Le siège social est basé depuis plus de trente ans à Orléans. Elle a conservé son usine de production à la Voulte-sur-Rhône et emploie un peu plus de 200 salariés sur les deux sites réunis. Son chiffre d'affaires annuel est proche des 36 millions d'euros. Sa mission consiste aujourd'hui, en la conception et la fabrication de systèmes d'impression et de découpe d'emballages carton pour les grosses productions. Ces lignes de production atteignent plus de 60 mètres de long. Les principaux clients de Komori-Chambon font partie des premières sociétés mondiales de l'industrie de l'emballage papier carton.

Société	***Pays***	***CA emb (M€)***	***Activité d'embal.***
Tetra Pak	Suède, Italie, Allemagne, Etats-Unis, Brésil, Argentine Japon, Thaïlande…	7600	Machine, Papier-carton
International Paper Company	Etats-Unis, Corée, Japon, Taiwan	7381	Papier-carton
Smurfit Stone Container Corp.	Etats-Unis	7372	Papier-carton

Source : Emballages Magazine n°13 (Décembre 2002)

Figure 4 : Les trois premiers groupes de l'industrie de l'emballage

On comprend alors facilement que la société exporte plus de 95% de sa production vers les Etats-Unis, le Japon, l'Asie (Chine, Corée…) et plus rarement l'Europe. Environ une petite

dizaine de systèmes sont conçus et implantés chaque année à travers le monde. Il est intéressant de savoir que ce type de machine coûte entre 2 et 6 millions d'euros pour un délai de livraison équivalent à 10 mois. Les délais de mise en impression de ces machines sont courts, les gâches de matériaux réduites et la capacité d'adaptation à divers types de travaux importante. La gamme de presses à emballer Komori-Chambon, offre le choix entre deux techniques d'impression : l'offset rotative et l'héliogravure.

A travers sa diversité de lignes d'impression, la société peut répondre aux trois marchés majoritaires de l'emballage papier-carton :

- l'emballage liquide (boîte de lait, boîte de jus de fruit…)

- l'emballage général (boîte de céréales, boîte de surgelés, boîte de glaces…)

- le "flip top" (boîte de cigarettes)



Figure 5 : Photos des différents emballages réalisés via les presses Komori-Chambon

L'industrie de l'emballage papier-carton est en pleine croissance. Aujourd'hui le papier-carton représente plus de 35% des matières premières consommées dans le secteur de

l'emballage dans le monde. Il devance le verre, le plastique, le bois et le métal. En outre, un peu plus de la moitié de ces emballages papier-carton sont imprimés en offset. Ceci montre que les entreprises du secteur sont de plus en plus sensibles à cette technique qui offre de multiples avantages. Les choix stratégiques effectués par l'entreprise, notamment son positionnement en leader mondial des rotatives offset, sont aujourd'hui payants et devraient continuer à l'être dans le futur.

1.1.2 La machine d'impression et de façonnage en ligne : un produit spécifique à chaque client

Les systèmes conçus par la société Komori-Chambon sont basés sur le concept d'impression et de façonnage en ligne. Ils permettent aux clients de réaliser des produits finis à forte valeur ajoutée à partir de bobines de carton. Ces systèmes sont donc de véritables lignes de production pour l'industrie de l'emballage. Les compétences techniques et le savoir-faire de la société, confèrent aux machines une haute qualité d'impression et un façonnage adapté au type d'emballage que l'utilisateur souhaite produire.

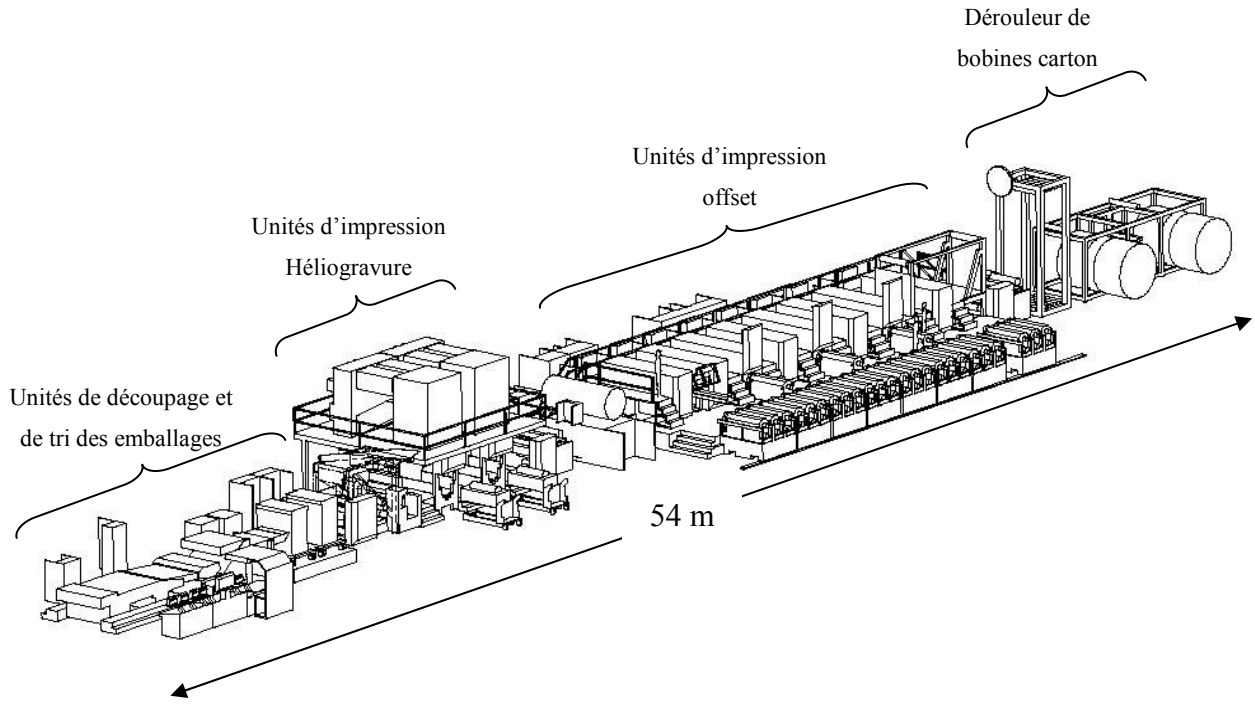


Figure 6 : Exemple de système d'impression et de façonnage Komori-Chambon

On peut diviser ces lignes en deux grandes parties : une partie impression et une partie façonnage en ligne. Chacune de ces parties est constituée de plusieurs unités qui forment l'ossature des différentes machines Komori-Chambon. Cependant chaque client a des recommandations particulières étant donné l'investissement qu'il fait pour acquérir un module qui gèrera l'ensemble de sa production. Ces exigences sont liées à sa propre expérience et sont spécifiques aux emballages qu'il doit réaliser. Les deux bureaux d'études (Impression et Découpage Rotatif) sont alors à l'écoute du client pour lui proposer des solutions techniques répondant à son besoin. La société conçoit et fabrique des "machines sur mesure" en essayant de garder une base commune. Dans les paragraphes suivants nous nous attacherons à décrire brièvement les différentes unités primaires qui forment cette base.

1.1.2.1 Les différentes unités de la partie impression

La première unité de chacune des machines Komori-Chambon est le dérouleur. Ce dispositif permet de réaliser des changements de bobines de carton en continu. En effet sur ces machines dévolues aux longs tirages, le moindre arrêt est très coûteux. Pendant l'impression de la première bobine, on dépose sur la suivante une bande de collage constituée d'un adhésif double face. Sur les presses de la dernière génération, cette opération ainsi que le positionnement des rouleaux sont automatisés. La bande de carton passe ensuite à travers un débiteur d'entrée dont les deux fonctions principales sont de guider latéralement et de tendre la nappe, avant qu'elle ne rentre dans les unités d'impression.

L'impression du carton est ensuite principalement réalisée par impression offset ou par héliogravure :

- L'offset est une technique d'impression indirecte par forme imprimante sans relief basée sur le phénomène de répulsion entre l'encre gras et l'eau. L'offset fut développé industriellement au début du vingtième siècle. Les textes ou les dessins à reproduire sont reportés par procédé photochimique sur une plaque de métal que l'on fixe autour d'un cylindre. La surface de cette plaque est humidifiée par un dispositif de mouillage, puis encrée par des rouleaux encreurs. Les parties imprimantes de la plaque sont hydrophobes (retenant l'encre) les autres hydrophiles (retenant l'eau). A chaque rotation la plaque passe tout d'abord sous les rouleaux mouilleurs. Les rouleaux encreurs peuvent ensuite déposer de l'encre sur les zones non recouvertes d'eau. Le cylindre porte-plaque transpose à l'envers

son image sur un blanchet (cylindre en caoutchouc) qui lui-même va reporter l'image à l'endroit par pression (cylindre presseur) sur le carton.

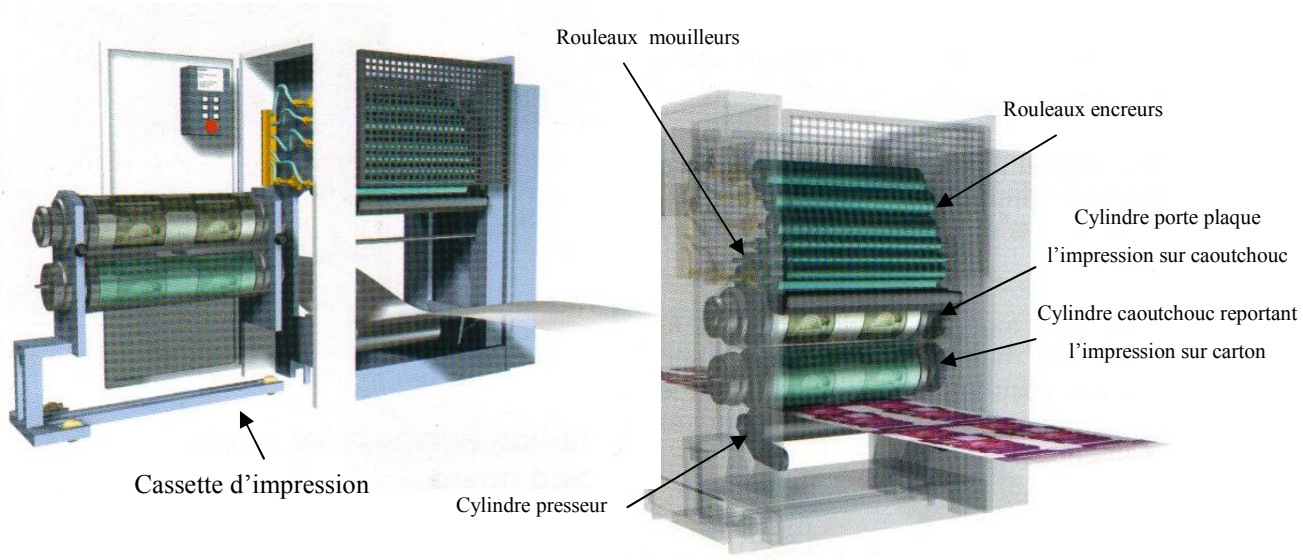


Figure 7 : Unité d'impression offset Komori-Chambon

Il est à noter que chaque unité d'impression dépose une seule couleur sur la surface du carton. Les presses Komori-Chambon peuvent aligner aujourd'hui jusqu'à neuf unités offset. Le client est ensuite capable de jouer avec les diverses unités pour obtenir des couleurs spécifiques sur certaines zones. Pour changer les motifs d'impression sur ses emballages, il doit refaire faire des plaques en conséquence. Mais si les opérations de préparation d'un nouveau travail ont déjà été réalisées, les changements se font très rapidement sur ces unités d'impression: sortie de l'ancienne cassette – entrée de la nouvelle cassette.

A la suite des groupes offset on trouve une unité de séchage d'impression, même si la nappe est partiellement séchée à l'air entre chaque unité. Ce séchage est généralement réalisé par lampes UV. Ces faisceaux ultraviolets permettent au film d'encre, par des phénomènes de polymérisation, de se solidifier en une seconde. La nappe de carton est ensuite vernie pour lui donner un peu plus de brillance, puis resséchée par 4 lampes UV.

- L'héliogravure est une technique d'impression par forme imprimante en creux. Elle consiste à graver électromécaniquement par diamant ou par laser une forme imprimante sur un cylindre en acier recouvert de cuivre et chromé. La profondeur des alvéoles est fonction de la trame originale. Lors de l'impression, l'encre viendra remplir les alvéoles du cylindre.

Un système de raclage enlèvera l'excès d'encre et le carton sera ensuite pressé (cylindre presseur) contre la forme imprimante (cylindre gravé) pour réaliser le tirage. L'encre déposée est séchée à air chaud durant le parcours que la nappe fait dans la partie supérieure de l'unité.

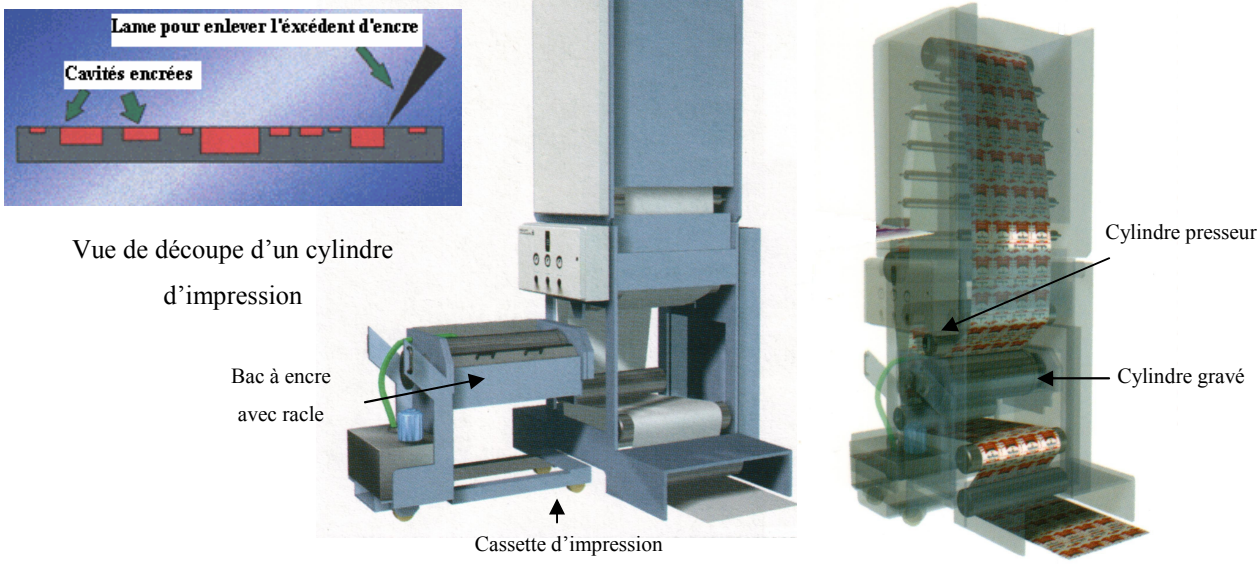


Figure 8 : Unité d'impression héliogravure Komori-Chambon

Les marchés habituels de l'héliogravure se définissent plus en termes de volume qu'en termes de qualité puisque cette dernière est limitée par l'opération de gravage (dimension des alvéoles) des cylindres. Les couleurs sont plus vives que pour l'impression offset mais la précision est moindre. En général on choisit ce type d'impression pour la production de paquets de cigarettes. Il est à noter que la durée de vie de ces systèmes est supérieure à celle des unités offset mais que les changements de travaux sont plus longs et plus coûteux.

Il est possible de combiner les deux types d'impression sur une même ligne. Par exemple, des unités d'impression héliogravure peuvent être incorporées à une ligne offset pour fournir au client une machine combinée complète. Ces unités d'héliogravure permettent alors de réaliser des impressions spécifiques sur le carton comme les revêtements très brillants (couleur métallique : argent ou or). La machine représentée sur la figure 6 en est l'exemple même.

Certains clients souhaitent des machines "bobine/bobine". Dans ce cas là, la dernière unité de travail, en aval des unités offset et d'héliogravure, est un enrouleur. On récupère donc en

sortie de machine une bobine de carton imprimée, qui pourra être transportée et façonnée dans d'autres locaux.

1.1.2.2 Le façonnage en ligne

Cependant la majorité des clients préfèrent une ligne de production complète. C'est pourquoi, aujourd'hui, certains fabricants de presse d'un côté et de façonnage de l'autre, tentent de créer des partenariats pour proposer des solutions complètes. La société Komori-Chambon tire un atout commercial considérable de son savoir-faire et de son expérience dans ces deux domaines depuis de longues années.

Le façonnage en ligne se compose de 4 modules :

- une unité de Débiteur/Pantin/Redresseur qui permet de remonter la nappe de carton à hauteur de la découpe, de la retendre et de la repositionner latéralement avant d'entrer dans l'unité de façonnage

- un banc de découpage à plat ou de découpage rotatif

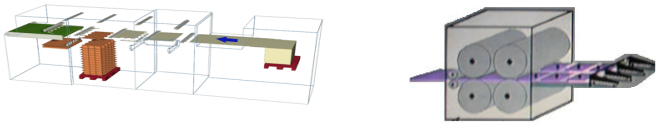


Figure 9 : Les deux systèmes de découpe

La société a, pendant de nombreuses années, proposé à ses clients le choix entre deux systèmes de découpe. Cela fait maintenant un peu moins de dix ans que Komori-Chambon s'est focalisée sur la technologie la plus productive à ses yeux : le Découpage Rotatif. Nous en décrirons le principe et les activités qu'elle génère dans la partie 1.2.

- une unité de Transfert/Ejecteurs qui permet de positionner les étuis en écailles en réduisant leur vitesse mais aussi d'éjecter de la ligne les étuis non conformes. Cette unité est généralement dotée d'un système de comptage d'étuis.

- un système de réception pour stocker tous les étuis en piles et placer ces dernières à hauteur d'homme.

1.1.2.3 Les avantages de tels systèmes

Malgré des spécificités propres à chaque client, Komori-Chambon propose des gammes de produit en fonction de deux critères : le type d'impression (Héliogravure ou Offset) et la valeur de la laize (largeur de la nappe).

Largeur carton (en mm)	520	650	720	830	1020	1220
Vitesse maximum (m/min)	350	350	350	350	350	350

Figure 10 : Tableau récapitulatif des spécifications machines Héliogravure et Offset

Quels que soient ces critères, les concepteurs s'attachent à maintenir le même niveau de vitesse carton de manière à ce que les machines soient toujours aussi productives. Les caractéristiques techniques avancées de ces lignes de production, ont propulsé Komori-Chambon en position de leader mondial des fabricants de machines d'impression et de façonnage "haut de gamme". De plus, il est important de rappeler qu'il est le seul groupe au monde à fabriquer l'ensemble des éléments constitutifs de ces machines.

Les systèmes d'impression et de façonnage en ligne d'emballages conçus et fabriqués par la société française présentent donc de nombreux intérêts :

- Obtention d'un produit fini à forte valeur ajoutée (impression, découpe, contrôle) en moins de 15 secondes

- Faible taux de gâche donc réduction optimale des volumes de production

- Mise en route et changements de travaux (impression et forme de découpe) très courts. Le temps d'arrêt d'un changement de production pour une machine offset de laize 650 millimètres est de 15 minutes.

- Diminution du nombre d'interventions sur le processus de production et très peu de personnel qualifié pour encadrer la production (trois techniciens sur les petites machines)

- Interlocuteur unique sur toute la ligne ce qui engendre une relation client fournisseur simplifiée

Il ne faut cependant pas perdre de vue que chaque commande de machine est une commande spécifique et répond donc à des besoins uniques. De multiples innovations techniques sont

apportées à la base commune pour pouvoir apporter à sa ligne de production la singularité que le client recherche.

1.2 Le Découpage Rotatif : un marché fortement concurrentiel

Après avoir décrit brièvement l'ensemble du système d'impression et de façonnage en ligne, nous nous attacherons à présenter en détail le domaine dans lequel nous avons été plongés durant ces trois années de recherche-action : le Découpage Rotatif. Nous détaillerons plus particulièrement les processus de conception et de fabrication des outillages rotatifs, axes sur lesquels nous nous sommes focalisés. Enfin nous positionnerons le service Découpage Rotatif et ses missions au sein de l'entreprise qui ne sont pas exclusivement liés aux commandes de machines. Le contexte international, de plus en plus concurrentiel dans ce secteur, entraîne une perte conséquente de parts de marché. Nous présenterons les nouveaux objectifs stratégiques que s'est fixée l'entreprise pour faire face à cette compétitivité accrue.

1.2.1 Généralités et principes

Le découpage rotatif est issu d'un principe très simple. Une nappe de carton est pressée entre deux cylindres pour être gaufrée, marquée et découpée. Ces cylindres mis en vis-à-vis, sont montés dans des cadres que l'on appelle cassettes. Ces dernières sont glissées à l'intérieur du banc de Découpage Rotatif.

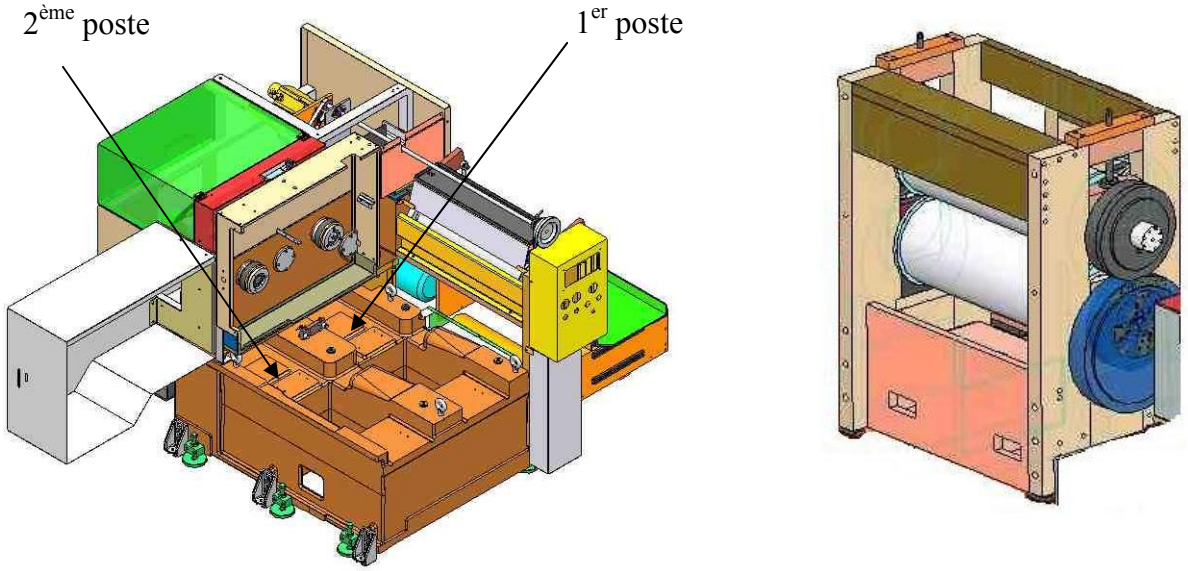


Figure 11 : Module de banc de découpe (2 postes) et cassette

Il peut contenir deux à trois postes (découpe, marquage et gaufrage), suivant le façonnage que souhaite le client. Les moteurs installés sur le banc permettront d'entraîner les cylindres par des systèmes d'engrenages. A chaque cassette correspondent un type de coupe et un développé de cylindre appelé aussi "format" (Ft = Л x $Ø_{cyl}$). Ce format est fonction des dimensions de la boîte et du nombre d'itérations possibles à chaque révolution des cylindres ($Ø_{cyl}$ = (Nbre de poses x $L_{boîte}$)/Л). Le nombre de boîtes positionnées sur la longueur du cylindre est fonction de la largeur de nappe que peut passer le client sur sa machine.

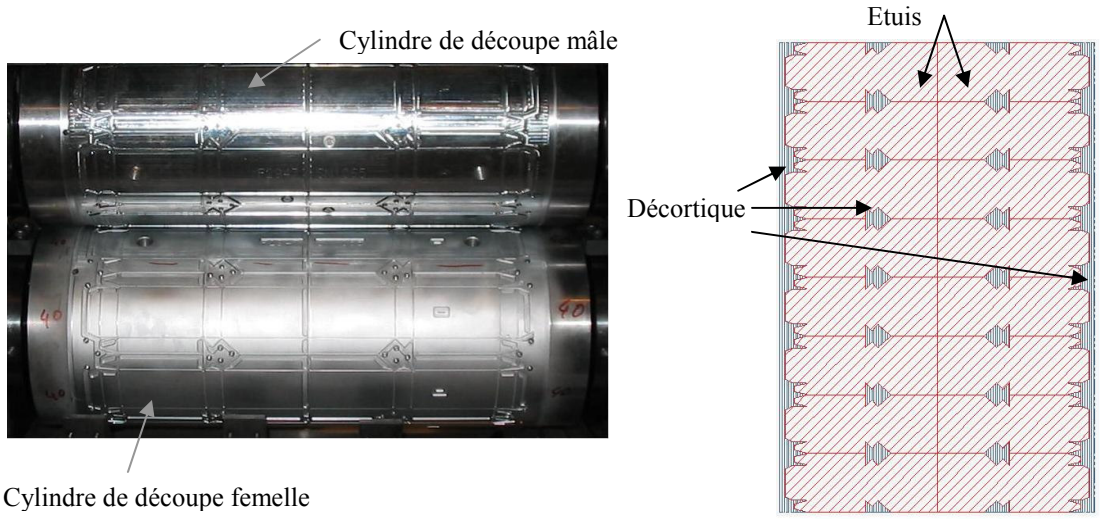


Figure 12 : Exemple d'un outil "2 poses en laize / 8 poses au tour"

Lorsque le client souhaite changer le type de boîte à découper, il doit donc interchanger les cassettes à l'intérieur de son banc. Les multiples astuces techniques du système de découpage rotatif Komori-Chambon permettent un changement de production très rapide (un quart d'heure) et un préréglage précis des cassettes. En sortie de banc de découpe, nous retrouvons généralement une unité de décorticage qui peut être intégrée ou séparée de la cassette. Sa fonction principale est d'évacuer la décortique (gâche de carton réalisée par la découpe) de la ligne de production. Cette unité est totalement dépendante de la forme des boîtes. Plusieurs roues mises en vis-à-vis et placées aux positions opportunes par rapport à la décortique, piqueront et entraîneront cette dernière vers une zone d'évacuation.

Tous les éléments de constitution du découpage rotatif (banc, moteurs, cassettes, paliers, cales, engrenage, roue de décortique…), à l'exception des cylindres de découpe, ne nécessitent pas de conception particulière à chaque commande. En effet, les nouveaux

développements et les re-conceptions de bancs et de cassettes de découpe font toujours appel à des concepts mécaniques très proches.

1.2.2 Les cylindres de découpe : des outils de précision

Après avoir décrit une vue d'ensemble du Découpage Rotatif nous allons nous attacher à détailler les cylindres de découpe. La conception et la fabrication de ces outils sont le cœur du champ d'action de notre travail de recherche. C'est la partie la plus singulière du découpage rotatif puisque aucune forme n'est jamais la même. Les designers de l'emballage ont besoin de modifier sans cesse les lignes des boîtes pour conquérir de nouveaux marchés ou regagner des anciens. Chaque outillage rotatif est donc particulier et nécessite une conception particulière de plus en plus raccourcie. Nous présenterons dans ce paragraphe les différents outils de coupe réalisés par Komori-Chambon. Puis nous détaillerons les processus de conception et de fabrication de ces outillages qui semblent trop lourds par rapport à la réactivité demandée du marché.

1.2.2.1 La découpe : trois profils de filets différents

Les outillages rotatifs, pour pouvoir découper ou marquer, présentent en leur surface des filets. Actuellement il existe trois profils différents dans l'industrie des machines de découpe de carton : la coupe *SK*, la coupe *TK* et le marquage de plis.

Les filets de coupe de type "*Single Knife*" sont employés pour des cartons dont les épaisseurs ne dépassent pas 0,6 millimètres. Le cylindre mâle présente une lame de coupe fine qui viendra lors de la découpe du carton rencontrer la surface plane du cylindre femelle (la contrepartie). Ces outils permettent de marquer et couper le carton en une seule opération sans le déformer. Cette opération comprime les fibres du carton au niveau de la coupe.

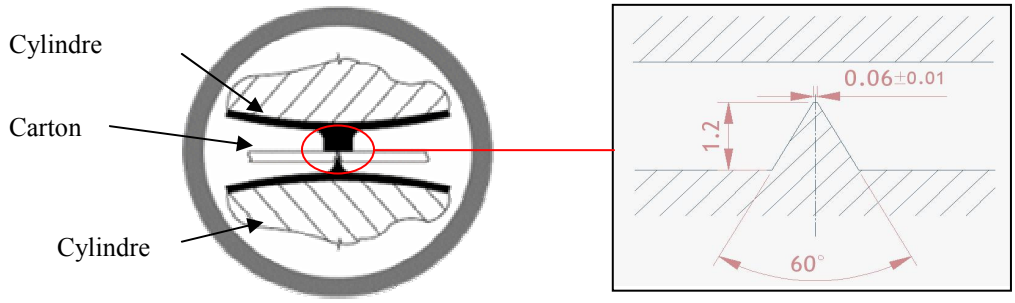


Figure 13 : Profil de filet de coupe "*Single Knife*"

Le *SK* est employé pour façonner des boîtes d'emballages liquides qui nécessitent du carton d'épaisseur moyenne (entre 0,4 et 0,7 mm) contenant une ou plusieurs couches de polyéthylène. On utilise aussi ce type de coupe pour produire des paquets de cigarettes (e_{carton}=0,3mm). C'est une coupe qui a l'avantage d'être franche et précise. En réduisant la hauteur des filets de 0.1mm on réalise des filets "mi-chair". Ces filets permettent, pour tous types d'emballages, de réaliser des "points de colle" : petites incisions que l'on remplit de colle lors des opérations de pliage des emballages.

Les filets de coupe de type "*Twin Knife*" sont employés pour des cartons épais (entre 0,5 et 0.8 mm) et très abrasifs. Les filets de coupe du cylindre mâle et du cylindre femelle sont identiques mais décalés l'un par rapport à l'autre. Ce décalage permettra sous la pression du filet mâle de faire éclater le carton par cisaillement. Cette technique, à l'inverse de la coupe SK, allongera les fibres du carton au niveau de la coupe. Deux paramètres importants sont de rigueur pour régler correctement les outils *TK* : l'*overlap* (valeur de chevauchement des deux profils de coupe) et le *gap* (distance entre les deux cylindres).

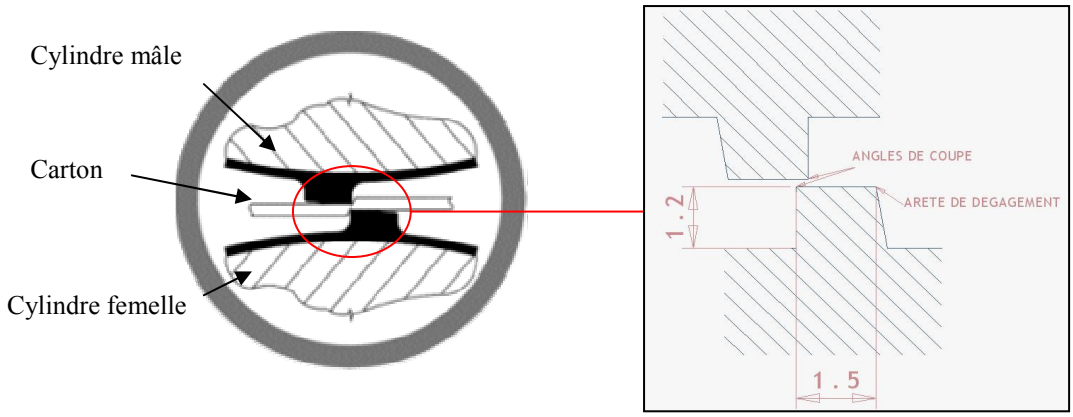


Figure 14 : Profil de filet de coupe "*Twin Knife*"

Ce type de coupe, de par son principe, est de moins bonne qualité que la coupe *SK*. En effet, pour pouvoir régler l'outil suivant les axes X et Y, il est nécessaire de changer le côté de matière du filet lors de certains changements de directions. Ces changements de côté matière entraînent des emprisonnements de carton qui se traduisent par des défauts de coupe dans les angles de la boîte.

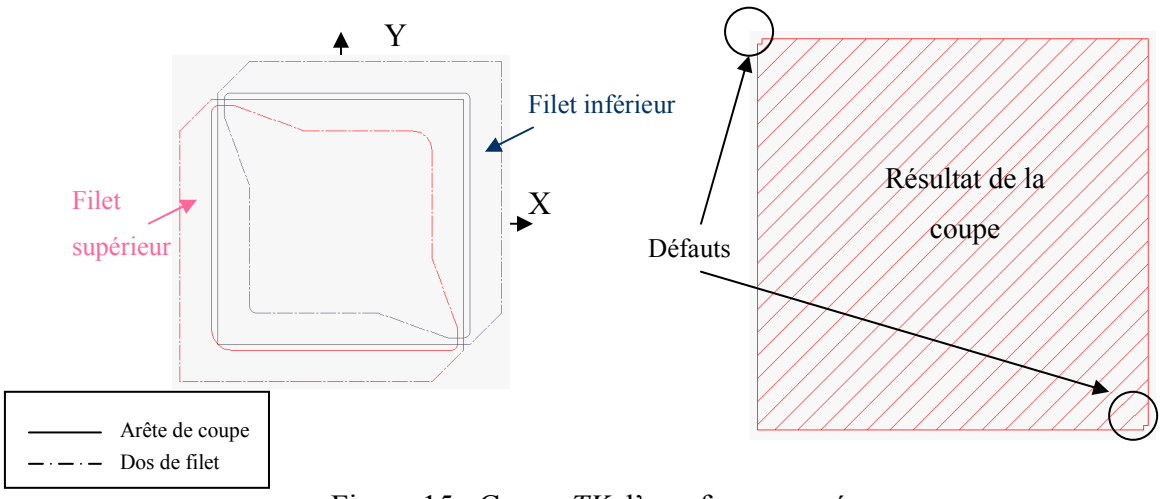


Figure 15 : Coupe *TK* d'une forme carrée

On utilise le "*Twin Knife*" pour façonner les boîtes d'emballage général (boîtes de céréales, boîtes de mouchoirs, boîtes de glace, boîtes de sucre…).

La technique du marquage de pli est, quant à elle, employée pour tous les types de cartons. Elle va permettre comme son nom l'indique de réaliser des marques sur le carton sans le découper pour autant. Le filet du cylindre mâle vient presser le carton lorsqu'il se retrouve dans la rainure du cylindre femelle. Cette pression provoque une marque sur le carton qui permettra par la suite de plier l'emballage avec facilité sans le craqueler.

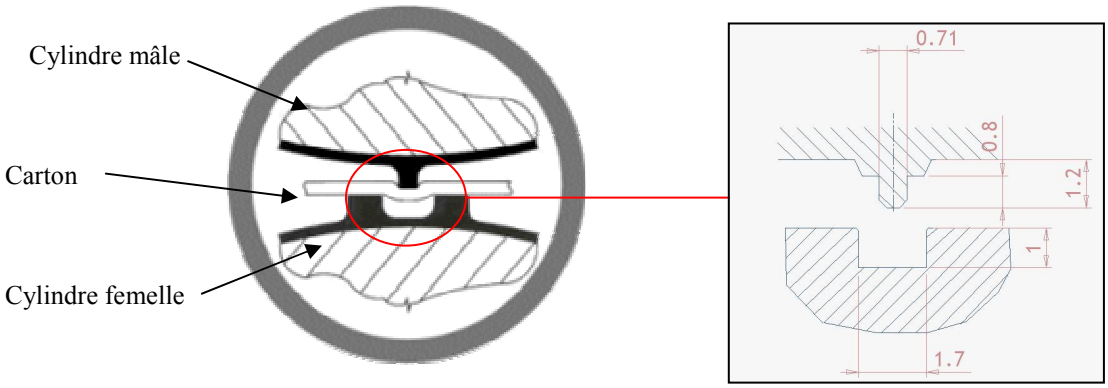


Figure 16 : Profil de filet de marquage de plis

Sur le même principe de marquage, la société Komori-Chambon propose une technique de gaufrage. Cette option, fournie sous forme de secteurs ajustés sur les cylindres, permet de réaliser des empreintes sur le carton et d'attirer le regard du consommateur vers une marque ou un logo.

On peut retrouver sur un même outillage de découpe un seul ou plusieurs types de filets. Par exemple dans l'emballage général un même cylindre pourra présenter de la coupe *TK*, de la

coupe "mi-chair" et du pli. Les réglages de plis étant moins fins que pour de l'emballage liquide (une cassette de coupe et une cassette de plis/gaufrage) on peut les réunir sur une même cassette. On s'aperçoit donc que, quel que soit le client, ses exigences et le type de machines qu'il possède, le service de Découpage Rotatif de Komori-chambon s'adapte pour fournir le meilleur compromis.

1.2.2.2 Une faible répétitivité dans la conception et la fabrication

On peut alors se demander comment la société gère la conception et la fabrication de ce produit singulier? En effet, l'avantage commercial de proposer des outils spécifiques de qualité à ses clients, induit fortement sur la maîtrise et l'optimisation de ses délais de mise à disposition. Elle a su pourtant, à travers son expérience sur l'ensemble du cycle de vie des outils rotatifs (conception, fabrication, expédition et maintenance), mettre en place des standards et des démarches de conception et de fabrication optimisées. La démarche de conception des outillages rotatifs se décompose en quatre phases (cf. Annexe 1).

Le client est dépendant des formes établies par les designers de son donneur d'ordre. Il transmet au bureau d'études un plan papier ou informatique de la boîte à produire ainsi que les options et spécificités qu'il souhaite. A partir de ces données techniques, traduction du besoin client, un plan de format est réalisé. Ce plan présente l'imposition des boîtes sur un cylindre ainsi que toutes les spécificités exigées par le client. Pendant que ce dernier valide la proposition, les premières spécifications techniques sont définies (paliers, engrenages, flasques, matière et diamètre cylindres…). Cette étape permet de lancer les premiers approvisionnements matière de manière à minimiser les délais d'attente entre la validation de la conception et la fabrication. Une fois le plan de format signé, la conception des outillages peut commencer. L'évolution de cette phase permettra de compléter, au fur et à mesure, les spécifications techniques de la commande (secteurs optionnels, gaufrage, décorticage…). Les résultats issus de cette étape seront diffusés sous forme de plans techniques : plans de fraisage, développés de coupe, plans de secteurs… Une étape de validation de l'ensemble créé se fera, via la conception assistée par ordinateur. Celle-ci ne consistera qu'en un contrôle de la conception et, en aucun cas, une validation mécanique des nouvelles fonctionnalités de l'outillage rotatif. Chaque outil client est donc un semi-prototype testé en fin de fabrication.

Pour pouvoir fabriquer ces outils de précision, Komori-chambon a développé au fil des années tout un savoir-faire dans le domaine de la trempe, de l'usinage des aciers durs fortement alliés et des post-traitements (rectification, chromage, nickelage…). Ceci lui a permis d'élaborer des gammes de fabrication optimisées propres à chaque type de coupe (cf. Annexe 2). Cette production qualifiée de "haut de gamme" confère aux outillages rotatifs Komori-Chambon leur notoriété internationale pour leur grande qualité (précision de coupe et durée de vie). Les cylindres bruts et les flasques de cassette de façonnage sont réalisés dans notre usine de la Voulte-sur-Rhône. Toute la valeur ajoutée que l'on retrouve sur les outillages est produite à Orléans. L'atelier de Découpage Rotatif dispose de quatre centres d'usinage, de deux rectifieuses, d'une chaîne de montage, de plusieurs fraiseuses et tours. L'ensemble de ces procédés, qui reste toutefois très conventionnel, est complètement maîtrisé par la société. Les techniciens de l'atelier conçoivent même leurs propres outils pour graver les filets. Ils mettent leur expérience personnelle au profit de la performance de l'outil. Cette minutie et ce savoir-faire de plus de trente ans dans la fabrication des outillages, garantissent au client un outil de toute première qualité.

Cette fabrication semi-industrielle dénote, comme le dit Mercier, d'une "culture ou les réflexes productifs sont plus proches de la fabrication artisanale que de l'activité industrielle", [MERCIER 98]. Elle montre une réelle flexibilité et une capacité d'adaptation à chaque situation, qui représentent les principales caractéristiques de nombreuses PME.

Cependant, ce processus quasi-artisanal à faible niveau technologique (utilisation de procédés conventionnels) est aujourd'hui trop contraignant pour pouvoir faire face aux sociétés concurrentes qui s'introduisent sur le marché. La qualité est donc la seule arme permettant à Komori-Chambon de conserver ses clients.

1.2.3 Le contexte industriel

Comme nous l'avons explicité précédemment, les processus de conception et de fabrication des outillages rotatifs ne permettent plus à Komori-Chambon d'être aussi compétitif qu'auparavant. Cette situation s'est dégradée au fil des années, de par l'évolution des exigences du marché mais aussi par l'apparition d'entreprises concurrentes en augmentation ces dernières années. C'est dans cet environnement industriel que notre recherche-action a débuté. Dans ce paragraphe nous resituerons les activités du service Découpage Rotatif et la

place qu'il tient au sein de l'entreprise. Puis nous évoquerons le contexte international très concurrentiel auquel il fait face depuis quelques années. Enfin nous présenterons les choix stratégiques proposés par les décideurs de Komori-Chambon pour relancer ses activités.

1.2.3.1 L'activité DR

Le secteur de Découpage Rotatif est basé au siège social d'Orléans. Il se compose de deux services qui sont un bureau d'études et un atelier de fabrication. Cet ensemble regroupe environ quarante salariés. Le bureau d'études est divisé en deux entités : une entité de deux projeteurs s'occupant du développement de l'environnement des outils (bancs, cassettes, unité de transfert/éjecteurs…) et une entité de deux projeteurs et trois dessinateurs s'occupant de la conception des outillages rotatifs. Dans le cadre de ma thèse CIFRE, mon travail d'ingénieur du bureau d'études, en charge des projets de développement de conception et de fabrication des outillages rotatifs, m'a amené à me rapprocher fortement de cette seconde entité, en relation étroite avec l'atelier de fabrication.

L'activité de Découpage Rotatif tient une part importante dans l'activité générale de Komori-Chambon et même du groupe Komori. Elle permet à l'entreprise, dans un premier temps de fournir un façonnage en ligne sur les commandes de machines et, dans un second temps, de disposer d'une activité où le produit a un cycle de vie plus court :

- le délai de conception et de fabrication d'un outillage est de 15 semaines contre 10 mois pour une machine ;

- le coût moyen de vente d'une cassette munie de ces cylindres est de 100 000€ pour une durée de vie de six mois à plein régime ;

- les clients changent de type de tirage très fréquemment sur leur machine. Le même outil ne travaille donc pas en continu sur une longue période, mais plutôt sur des périodes de quelques semaines (quelques dizaines de millions de boîtes) ;

Le renouvellement des outils se fait de manière très disparate suivant les clients ce qui entraîne une visibilité en terme de charge de travail très courte (3 à 4 mois). Les commerciaux sont alors en perpétuelle recherche de nouveaux clients. Cependant le chiffre d'affaires annuel du DR est principalement réalisé grâce à un carnet de commande de clients fidèles (taux de

nouveaux clients <10% sur le nombre de commandes annuelles). Il représente environ 10% du chiffre d'affaires total de la société. Komori-Chambon exporte ses outillages rotatifs à travers le monde entier avec des pays très demandeurs comme les Etats-Unis, le Japon, la Corée, la Chine, l'Indonésie et l'Europe du Nord. Mais l'activité qui est assez cyclique montre des signes de réelles faiblesses depuis plusieurs années.

1.2.3.2 Un marché très concurrentiel

Le marché de l'outillage rotatif est un marché que l'on pourrait définir "de niche", puisque les avantages de tels systèmes ne sont valables que sur un nombre très important de tirages, et seuls les grands groupes de l'emballage carton (International Paper Company, TetraPak, Graphic Packaging, Cascades Boxboard, Elopak…) ont les moyens de répondre à de telles demandes. Il y a actuellement six entreprises capables de concurrencer Komori-Chambon sur le domaine des outillages rotatifs. Cependant le marché n'est pas très étendu et certains fabricants de presses à platine dérivent sur ce secteur. On comprend alors aisément que le marché du découpage rotatif pour emballages carton soit fortement concurrentiel et ce au plan mondial.

Au milieu des années 1990, un nouveau marché s'ouvre au découpage rotatif : le paquet de cigarette chinois. Pendant quelques années Komori-Chambon et quelques uns de ces concurrents vont surfer sur ce nouveau terrain encore inexploité par la concurrence nationale. Le chiffre d'affaires outillage pour la Chine atteint alors 40% du chiffre d'affaires total de l'activité DR. Cependant de petites entreprises de mécanique commencent à se développer, elles copient les produits et fournissent leurs compatriotes. Tant et si bien que les chinois ont récupéré le monopole du marché de découpage rotatif dans leur pays. Ce vide depuis le début des années 2000, n'a toujours pas été comblé par un nouveau marché aussi prospère. Les charges de travail au sein de la cellule DR ont donc baissé continuellement.

Cette baisse des activités du DR est en partie liée à ces périodes de creux postérieures aux défrichements de nouveaux marchés, mais pas seulement. En effet, nous pouvons relever plusieurs facteurs responsables de la situation actuelle de Komori-Chambon :

- Les taux de parités monétaires, dont l'influence est déterminante dans les niveaux de compétitivité des fabricants. En un an l'euro a gagné plus de 30% sur le dollar (1€=1.30$), ce qui entraîne les américains à voir les prix de vente augmenter de 30% lorsqu'il font la

conversion. Ils préfèrent donc acheter à leurs compatriotes. Les Etats-Unis étant aujourd'hui le plus important vivier de clients pour placer des outils de découpage rotatif, on comprend que cette situation économique est pénalisante. Afin d'éviter ces influences monétaires et être plus proche des imprimeurs, le plus grand concurrent européen de Komori-Chambon a choisi de créer une filiale aux Etats-Unis.

Cependant il n'y a pas qu'aux Etats-Unis que la conquête de nos parts de marché par nos concurrents est amorcée. Tous les pays dont la monnaie est indexée sur le dollar deviennent de nouvelles cibles potentielles (par exemple la Chine et l'Indonésie). C'est d'ailleurs actuellement le principal réquisitoire de plusieurs entreprises françaises, exportatrice hors zone euro, qui se retrouvent à vendre plus cher leur produit. Et dans cette situation ce sont les petites et moyennes entreprises qui sont les plus fragiles, car elles n'ont pas les moyens de redéployer leur outil de production en dehors de ce que, Monsieur Yvon Jacob, président de la Fédération des Industries de la Mécanique, appelle "l'Euroland" [BISEAU et al. 03].

- Le coût horaire de la main d'oeuvre qui est un facteur prépondérant dans les coûts de production d'un produit à forte valeur ajoutée comme le sont les outillages de découpe (plus de 150 heures de travail). En effet, les coûts de revient de la main d'œuvre et les charges salariales sont plus faibles dans de nombreux pays en voie de développement comme la Chine, l'Inde…

- Les ressources humaines et matérielles qui présentent une influence sur les délais de mise en service du produit. Certains concurrents ont un réservoir de main d'œuvre identique à Komori-Chambon mais concentré sur une seule activité : le Découpage Rotatif. Ceci leur permet de traiter beaucoup plus de commandes dans des délais plus brefs (moyenne de 12 semaines) tout en utilisant des technologies de fabrication identiques.

- L'éloignement du client est un paramètre qui, aujourd'hui face à des exigences de plus en plus pointues, est un point négatif dans une vente d'outillages. En effet l'activité DR de Komori-Chambon a l'avantage d'être au confluent de ses principaux marchés, mais sa localisation présente l'inconvénient de n'être près d'aucun de ces principaux clients. Le service après vente et les interventions techniques chez le client manquent alors de réactivité. Les imprimeurs et façonneurs, préfèrent donc parfois, aux dépens d'une qualité moindre, choisir un fournisseur plus accessible.

Tous les facteurs énumérés ci-dessus amènent la plupart des concurrents de la société à conquérir ses anciennes parts de marché et à se positionner solidement sur les nouveaux marchés, en proposant des outillages moins chers avec une mise à disposition plus rapide. Face au constat d'une compétition de plus en plus intense et d'un marché de plus en plus exigeant, la bibliographie s'accorde à dire qu'il est nécessaire d'innover. En effet l'innovation est présentée aujourd'hui, dans le monde industriel mais aussi public, comme le seul recours pour redynamiser l'activité d'une entreprise et lui permettre de retrouver une compétitivité certaine. Nous essayerons d'expliciter les tenants et les aboutissants de ce nouveau phénomène dans le paragraphe suivant.

1.2.3.3 Les solutions face à ce constat

Aujourd'hui face à cette concurrence de plus en plus vive et ce contexte économique pénalisant, la société se doit de répondre au triptyque "Coût / Qualité / Délais" si elle désire reconquérir ses parts de marché et en acquérir de nouvelles. Pour cela les décideurs du groupe Komori et de Komori-Chambon se sont retrouvés face à deux scénarii :

- Implanter une unité de fabrication dans le pays où l'activité est la plus importante,

et/ou

- Réduire les coûts et les délais de conception et de fabrication des outillages.

La première solution permettrait à la société d'être plus proche de ses principaux clients et de proposer une majorité de ses outils à des prix qui ne soient pas influencés par la parité monétaire. Les projets de délocalisation d'une partie de ses activités deviennent de plus en plus des sujets d'actualité au sein des entreprises françaises (une PME sur six). Ils sont principalement motivés par des considérations de marché et notamment par des réductions de la masse salariale (salaire, charges salariales, charges patronales). Cependant, comme nous l'avons expliqué précédemment, l'activité DR est cyclique et les marchés sont changeants. Le chiffre d'affaires de l'activité par pays est très variable et entièrement dépendant de ces fluctuations difficilement prévisibles. Le choix de l'implantation n'aura aucune lisibilité à long terme. De plus un tel investissement reste considérable en ressources matérielles et humaines pour une PME, même lorsque celle-ci s'appuie sur un grand groupe mondial. C'est une décision qui présente un risque majeur pouvant mettre en péril la santé financière du

groupe. Ces raisons nous apparaissent être celles pour lesquelles l'option d'implantation à été écartée par les décideurs. Nous les suggérons de manière à éclairer la décision sans avoir l'impudence d'affirmer que ces critères de choix furent ceux retenus.

La société s'est donc orientée vers la seconde et unique perspective pour rivaliser face à la concurrence : **Réduire les coûts et les délais de conception et de fabrication des outillages rotatifs**. A l'annonce de ces nouvelles directives plusieurs analyses techniques ont été réalisées sur le processus de fabrication dans un premier temps. Les résultats de ces analyses ont montré que seule l'optimisation des gammes de fabrication ne permettrait pas d'obtenir des gains en terme de délais et de coûts assez conséquents. L'objectif n'étant pas de s'aligner sur les prix et les délais des concurrents mais de faire mieux. L'heure est donc à la re-conception d'un nouveau processus de fabrication. Des études de veille concurrentielle ont été réalisées afin d'analyser le potentiel des technologies conventionnelles alternatives connues telles que la forge, le brasage, l'électroérosion, la gravure par attaque chimique. Aucun de ces procédés n'était capable de réellement s'imposer et être plus compétitif que la gamme actuelle.

Face à ces premiers échecs, Komori-Chambon s'est donc retrouvée dans l'obligation de se focaliser sur l'émergence de nouvelles technologies de fabrication pour pouvoir assurer la pérennité de l'activité de découpage rotatif. L'objectif de ma mission au sein de la société fût donc d'**étudier et développer de nouvelles technologies, au service de la production, permettant de fabriquer les outillages avec des délais et des coûts inférieurs à la concurrence.**

On peut alors s'interroger sur la pertinence de ce choix. Est-ce qu'innover (nous parlerons plus particulièrement d'innovation technologique) peut permettre à une entreprise de relancer sa compétitivité ? Quelle place peut tenir l'innovation technologique dans la stratégie concurrentielle d'une PME internationale ? Est-il aussi simple d'innover ? Ce sont les questionnements auxquels nous essayerons de répondre dans le chapitre suivant.

1.3 Le choix de Komori-Chambon : l'innovation technologique

Comme nous l'avons vu précédemment, il existe peu de recours pour une PME française si elle veut continuer à pouvoir évoluer face à une concurrence internationale, sur un marché

mondial. En effet, quand les moyens sont trop faibles pour pouvoir s'implanter et transférer une chaîne de conception et/ou de production sur un territoire avantageux (proximité clientèle, masse salariale faible…), la technologie devient alors le principal levier stratégique pour être compétitif. En effet, face à la mondialisation des marchés, la technologie est une des principales armes de réponse des entreprises françaises sur le critère de la compétitivité. Elle fait partie des composantes fondamentales de la stratégie globale d'entreprise. Cependant pour que ces objectifs stratégiques se transforment en avantage concurrentiel, il faut être capable de maîtriser sa technologie pour la faire évoluer.

Nous situerons le concept d'innovation et les différents sens qu'on peut lui allouer aussi bien dans les milieux économiques que dans les milieux scientifiques. Ce terme, vecteur de communication, renvoyant un message d'évolution, s'est invité dans des domaines variés. Nous vous proposerons les différentes déclinaisons de l'innovation rencontrées dans la littérature, en nous arrêtant plus particulièrement sur le concept **d'innovation technologique**. Cependant pour pouvoir accéder à l'innovation en tant que résultat (produit, procédé, service, organisation…), il est nécessaire de déployer une succession d'actions. Afin de formaliser un processus parfois un peu subjectif, de nombreux auteurs ont cherché à le modéliser. Nous présenterons brièvement les deux types d'approches et les spécificités de quelques modèles déployés par les auteurs. Enfin nous verrons que cette notion a pris de l'ampleur ces dernières années, en devenant une des principales préoccupations des entreprises occidentales.

1.3.1 La technologie comme levier stratégique

Face à une économie et des marchés de plus en plus complexes, la technologie devient un critère fondamental de compétitivité mondiale. Elle a un impact décisif sur l'avantage concurrentiel d'une entreprise. Cet impact amène de plus en plus d'entrepreneurs de grandes entreprises, comme des PME-PMI, à réfléchir leur stratégie globale autour d'une politique technologique pour assurer une rentabilité et une pérennité de leurs activités.

Afin de mieux expliquer ce phénomène nous reviendrons, dans un premier temps, sur les dimensions économiques et sociales qui sont liées à la notion de technologie. Ces valeurs, et plus particulièrement l'évolution rapide des marchés, sont à l'origine d'une implication de plus en plus importante de la technologie dans la stratégie d'entreprise. Nous montrerons

qu'elle s'insère bien au cœur des stratégies concurrentielles grâce à son influence indéniable sur le critère de compétitivité de la firme.

1.3.1.1 La technologie : une valeur sociale et économique

Le terme technologie est la réunion de deux racines grecques que sont : "τέχνη" dont le sens général signifie l'art et "λόγος" qui désigne la description attentive d'un phénomène. Ce sens étymologique conduit Charpin à définir la technologie comme "l'ensemble des procédures qui caractérise les savoirs et savoir-faire échappant aux déductions spéculatives mais reposant sur des connaissances expérimentales" [CHARPIN 97]. Bien que cette définition montre le lien fort entre la technologie et l'expérimentation nous ne pouvons nous en contenter. En se plongeant dans le dictionnaire du Petit Robert, nous retrouvons la définition suivante : 1. *Didactique* - La théorie générale et les études spécifiques (outils, machines, procédés…) des techniques. 2. *Courant* - Technique moderne et complexe. Ces définitions nous permettent d'affirmer que la technologie fait appel aux études spécifiques des techniques et qu'on lui affecte souvent un caractère novateur.

D'autres auteurs définissent la technologie comme une combinaison de plusieurs techniques [ROCHE et al. 99], en considérant la technique comme une somme de connaissances, de procédés, de méthodes qui appartiennent au domaine public [MORIN 92]. La technologie correspond, quant à elle, au développement et/ou à l'adaptation de certaines connaissances et méthodes permettant l'utilisation efficace de diverses techniques, pour une action bien précise. Ces définitions relèvent bien la notion de spécificité et de singularité que l'on souhaite associer à l'emploi du mot technologie.

Pour le Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie la technologie est "une activité de conception et de production, souvent industrielle mais aussi de service, en réponse à des besoins de marché. "Elle combine pratiques, techniques et connaissances scientifiques, au service de finalités économiques explicites" [DIGITIP 00]. Cette définition fait intervenir la forte dépendance du terme de technologie à l'économie. En effet, la technologie permet de produire une valeur ajoutée satisfaisant directement ou indirectement le besoin d'un marché. Elle a donc une valeur sociale (interaction avec l'homme) mais aussi économique pour l'entreprise qui l'a acquise. Par exemple, l'augmentation de parts de marché peut apparaître comme l'une des finalités de la technologie.

Nous retiendrons pour la suite de nos travaux, une définition qui à notre sens regroupe toutes les notions mises en lumière précédemment. **La technologie est "l'ensemble des connaissances scientifiques, techniques et connexes, face à un marché (c'est-à-dire face à un système client), dans un environnement socio-économique donné"** [CASTAGNE 87]. C'est une notion qui est donc propre à son environnement (entreprise) et qui est en interaction permanente avec l'homme et les marchés.

La technologie ne peut donc se définir sans son interaction avec le milieu humain. En effet, non seulement l'évolution de la technologie subit l'influence de l'homme à travers les époques, mais elle impacte aussi sur le milieu social environnant. La technologie répond directement ou indirectement à des demandes et est élaborée à partir de variables sociales (culture, compétences, organisation…) propres à l'entreprise et aux salariés. Comme le confirme Boly dans son ouvrage, une technique peut engendrer des technologies différentes suivant les sociétés et leur culture [BOLY 04]. Par ailleurs, tout renoncement à une technologie dépassée et toute introduction d'une nouvelle influent sur les rapports sociaux. Nous pouvons citer en exemple, l'intégration des nouvelles techniques de l'information et de la communication (Internet, logiciels de CAO, FAO, GPAO…) avec lesquels certains fondements de travail ont été remis en cause. Ces changements technologiques impactent donc sur les organisations du travail et les manières de penser [CADIX et al. 02]. Il ne faut négliger ni l'influence que la société exerce sur les technologies, ni l'impact que ces dernières peuvent avoir sur le milieu social.

L'interaction entre technologie et économie a elle aussi donné lieu à de nombreux travaux de recherche. Dès le début du XIX^{ème} siècle, le progrès technique était déjà identifié comme facteur principal de la croissance économique. Les conclusions de Smith furent ensuite reprises par Marx, Schumpeter puis Solow pour conclure, dans les années 1950, que la technologie n'est finalement qu'un élément exogène du processus économique, parce que régie par les lois de la nature et issue d'objectifs non économiques [GUELLEC 99]. Ce n'est qu'au début des années 1980 que Romer réhabilite la technologie comme un élément endogène du processus de croissance économique. Ceci en prouvant que les changements technologiques résultent d'investissements régis par des variables économiques. Nous ne rentrerons pas dans le détail de ces théories économistes, mais ces références nous permettent d'affirmer la dépendance de la technologie à l'économie.

On s'aperçoit bien aujourd'hui que l'économie et les marchés connaissent des mutations de plus en plus rapide, la compétition est de plus en plus rude, les demandes clients sont de plus en plus exigeantes et tous ces phénomènes socio-économiques liés entre eux influent sur l'évolution des technologies.

1.3.1.2 Une dimension clé de la stratégie d'entreprise

La stratégie d'entreprise peut être définie comme l'ensemble des orientations et actions préconisées par les dirigeants dans le but de faire évoluer leur société sur un marché existant ou sur de nouveaux marchés. En effet, la direction de chaque société "se doit d'analyser et d'évaluer les facteurs reliés à son organisation et à son environnement, afin d'être en mesure de mieux comprendre les enjeux, les risques, les forces et les faiblesses de son milieu et ainsi déceler plus efficacement les opportunités stratégiques pour assurer le développement de son entreprise"[COUTU 03].

Si l'on se réfère à l'ouvrage collectif de Stratégor, on distinguera deux niveaux de stratégies génériques dans les entreprises [STRATEGOR 97] :

- **la stratégie de groupe** ou *Corporate Strategy* qui conduit l'entreprise à déterminer les domaines d'activité dans lesquels elle compte s'engager et les marchés qu'elle compte toucher (diversification, spécialisation, acquisition, partenariats, repli…)

- **la stratégie concurrentielle** ou *Business Strategy* qui définit dans chacune de ces activités, les actions à entreprendre pour se positionner favorablement par rapport à la concurrence (réduction des coûts et/ou des délais, différenciation). C'est ce second niveau stratégique qui nous intéressera plus particulièrement.

Pour de nombreux auteurs, la stratégie concurrentielle n'a de sens que si elle s'articule autour de politiques (stratégies) propres à chacune des fonctions de l'entreprise : la politique technologique, la politique de distribution, la politique commerciale, la politique financière…mais qui se doivent d'être en cohérence les unes avec les autres. Cependant certaines de ces politiques présentent un potentiel de contribution à la compétitivité plus important que d'autres.

La technologie est devenue, aujourd'hui, une des principales composantes représentative des forces et faiblesses d'une entreprise (aussi bien en son sein que d'un point de vue extérieur). Alors qu'il y a seulement quelques années elle était considérée comme une ressource qui, suivant la stratégie définie, permettait de réaliser une activité de l'entreprise. Ceci est lié à l'évolution des marchés de plus en plus exigeants et de plus en plus concurrentiels. Nous rejoindrons les propos de Ribault lorsqu'il affirme qu'il n'existe que trois dimensions stratégiques sur lesquelles l'entreprise peut manœuvrer pour se développer. Il représente ce triptyque "produit/marché/technologie" sous forme d'un cube qu'il définit comme **le métier de l'entreprise**.

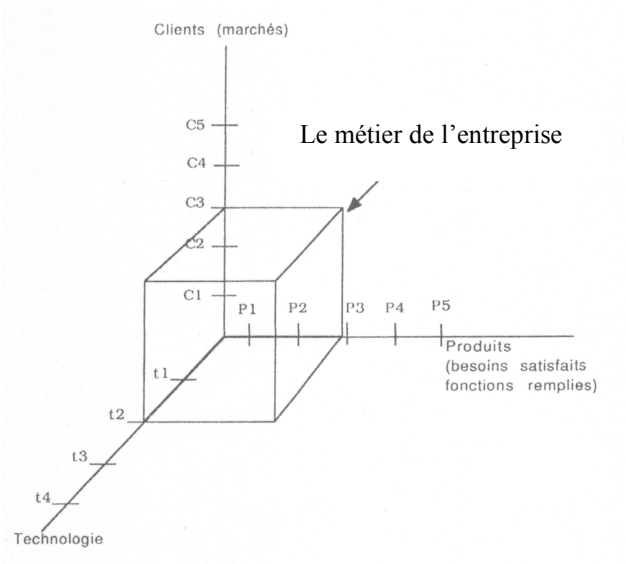


Figure 17 : Le cube métier de l'entreprise [RIBAULT et al. 91]

Parmi ces trois dimensions, les axes clients et produits font partie de la stratégie de groupe alors que l'axe technologique est inhérent à la stratégie concurrentielle. Progresser sur la voie technologique doit permettre à l'entreprise d'accéder à de nouvelles technologies pour être plus compétitive que ses concurrents. La politique technologique s'inscrit alors pleinement dans des démarches d'amélioration des coûts des produits, de réduction des délais, d'adaptation des produits aux besoins de l'utilisateur, d'amélioration de la qualité des produits… La compétitivité qui est la résultante du positionnement de l'entreprise par rapport aux forces en présence du secteur industriel, est complètement représentative des avantages concurrentiels liés à la maîtrise des technologies et à leur mise en œuvre. Ainsi comme l'écrit Arasti, "la stratégie technologique fournit une base pour établir une nouvelle stratégie

concurrentielle" [ARASTI et al.97]. Les dirigeants d'entreprise auront donc du mal à passer outre les réflexions sur le développement et la valorisation des technologies si ils souhaitent conserver et accentuer leur compétitivité. De multiples outils ont été proposés dans de nombreux ouvrages pour aider les entreprises dans ses choix technologiques : l'analyse des secteurs d'activité [PORTER 86], les grappes technologiques [GEST 86], les matrices de positionnement de Mac Kinsey ou encore la veille technologique [SAMIER 95]. Cependant le choix des technologies n'est pas une fin en soi pour pouvoir affirmer sa compétitivité et sa pérennité. Ce n'est qu'une phase d'amorçage du processus d'évolution technologique.

Mais ce lien entre technologie et compétitivité n'est pas si direct. Pour que la ou les technologies aient un impact économique sur le marché (généralement via un produit), il est nécessaire d'**innover**.

1.3.2 Qu'est ce que l'innovation ?

1.3.2.1 Quelques définitions pour l'innovation

C'est un économiste autrichien, Joseph Alois Schumpeter, qui en 1934 publie la première étude sur le concept d'innovation. Dans ses travaux, il souligne la distinction entre invention et innovation : "**L'innovation** correspond au premier usage commercial d'un produit, un procédé ou un service, qui n'avait jamais été exploité auparavant" [SCHUMPETER 39]. Il définit donc l'innovation comme le résultat de la mise en valeur économique et sociale d'une invention. Une idée nouvelle doit trouver une application (interne ou externe) sur un marché pour devenir une innovation. C'est à partir des années 60 que l'on commence à percevoir, dans certains travaux, l'innovation comme une succession d'actions et même comme "un processus global de sous processus inter-reliés" permettant de créer de la valeur [KNIGHT 67] [MARQUIS et al.69] (cf § 1.3.3). En effet, comme le dira plus tard Gonard lorsqu'il retiendra l'idée forte qui ressort de sa recherche bibliographique, "l'innovation ne peut être considérée comme un instant précis, celui de la mise sur le marché de la nouveauté, mais doit être envisagée en tant que processus" [GONARD et al .97]. A travers ces premiers points de vue sur l'innovation, nous pouvons distinguer deux courants de pensée : les auteurs qui positionnent **l'innovation comme un résultat** (le produit, le service ou le procédé mis sur le marché est une innovation) et ceux qui positionnent **l'innovation comme le processus**

permettant d'atteindre ce résultat (les différentes actions qui transformeront l'invention en un succès économique et social).

Lorsque ce concept a réellement suscité l'intérêt des industriels et des scientifiques au début des années 80, de nombreux écrits se sont focalisés sur le sens à lui donner. S'en sont alors déduites de nombreuses définitions en fonction du contexte de travail et des disciplines d'expérience des auteurs. Pour certains, l'innovation reste un processus assez générique que l'on peut assimiler à "la conception, l'acceptation, la mise en œuvre et la diffusion de nouveaux procédés, produits ou services" [KANTER 83] [UTTERBACK et al. 75]. Ribault, lui, définit ce concept comme "un véritable transformateur de potentiel" faisant le lien entre inventions (techniques) et compétitivité [RIBAULT et al. 91]. Seul Boly lorsqu'il parle d'innovation décrit un concept polysémique et préfère ne pas se référer à une seule définition mais plutôt à chacune des différentes pensées scientifiques : la vision de l'économiste, la vision opératoire, la vision du cogniticien, la vision systémique, la vision du sociologue, la vision du biologiste… [BOLY 04]. Chaque discipline crée donc sa propre formalisation du concept d'innovation.

Comme nous avons pu le constater, nous retrouvons dans la littérature de multiples définitions qui sont loin d'être exhaustives. Il ne nous paraît pas nécessaire de rajouter une définition plus proche de la représentation que nous nous en faisons de par notre contexte de travail. Cependant il nous semble important d'insister sur le fait que l'on ne peut parler d'innovation dans les phases préliminaires d'un développement. C'est un concept qui se construit et l'innovation en tant que résultat ou processus ne peut être abordée tant que le nouveau produit, service ou procédé n'a pas trouvé un marché. Comme le souligne Legardeur dans sa thèse, "…il faut connaître les résultats de développement pour obtenir le label d'*innovation*" [LEGARDEUR 01]. On ne dira donc pas "nous innovons" mais plutôt "nous avons innové".

1.3.2.2 Les typologies et intensités d'innovation

Il y a encore peu de temps les différentes typologies données à l'innovation par les économistes (Schumpeter), étaient encore d'actualité :

"- L'innovation consistant à promouvoir une nouvelle méthode de production,

- L'innovation destinée à économiser un facteur de production (travail, matières premières, énergie, informations…),

- L'innovation destinée à améliorer l'organisation." [PERRIN 01]

L'innovation était alors un concept employé et utilisé pour de nouveaux procédés, de nouveaux produits ou encore de nouvelles organisations. Aujourd'hui le concept d'innovation devient de plus en plus commun dans de nombreux secteurs d'activité. Il s'est rapidement banalisé, et revêt maintenant des formes très différentes pour recouvrir, l'ensemble des domaines d'activités des entreprises : le marketing, la finance, les organisations, le processus de production, la conception de produits, les techniques… [MABILE 02]. Il est même en train de dépasser le monde de l'entreprise pour s'implanter dans des domaines plus proches du grand public. On parle ainsi de:

- l'innovation politique : de plus en plus utilisée dans les discours en cette période de crise. Ce terme montre une détermination à vouloir changer les pensées et les actions politiques.

- l'innovation sociale : approche pour améliorer ou solutionner des problèmes sociaux mis en place par les institutions, les organisations ou certaines communautés

- l'innovation culturelle, et quelques autres encore...

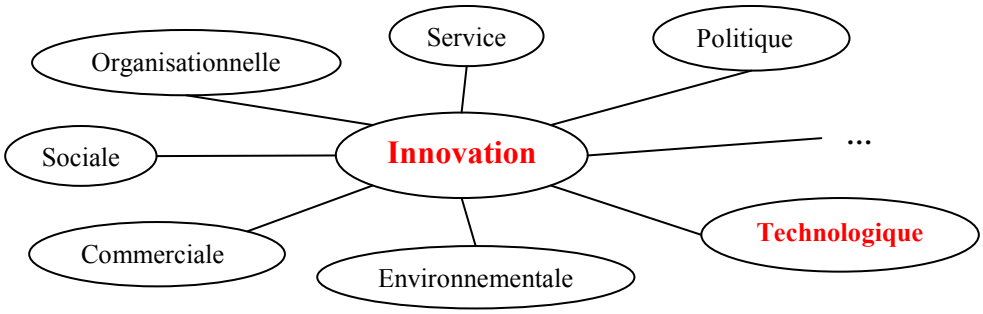


Figure 18 : Les différents concepts d'innovation

Parmi ces multiples typologies d'innovation qui ont pu être énoncées, nous nous intéresserons plus particulièrement au concept d'**innovation technologique** (produits ou procédés), ce dernier étant celui au sein duquel s'insère pleinement notre démarche de recherche-action.

Pour définir l'innovation technologique nous nous réfèrerons au manuel d'Oslo, rédigé par l'Organisation de Coopération et de Développements Economiques de la commission européenne, qui scinde le concept en deux types d'innovations (produit et/ou procédé) :

- l'innovation de produit : "l'introduction sur le marché d'un produit (bien ou service) nouveau ou nettement modifié au regard de ses caractéristiques fondamentales, ses spécifications techniques, des logiciels incorporés ou de tout autre composant immatériel ainsi que de l'utilisation prévue ou de la facilité d'usage" [OCDE 97]

- l'innovation de procédé : "l'introduction dans l'entreprise d'un procédé de production, d'une méthode de fourniture de services ou de livraison de produits, nouveaux ou nettement modifiés. Le résultat doit être significatif en ce qui concerne le niveau de production, la qualité des produits ou les coûts de production et de distribution" [OCDE 97].

Selon Neau, nous pouvons distinguer deux niveaux de mise en œuvre de l'innovation dans l'entreprise : l'innovation incrémentale et l'innovation de rupture.

- **l'innovation incrémentale** ne bouleverse pas les valeurs d'usage et la technique d'un produit ou d'un procédé, mais y apporte une amélioration sensible [NEAU 03]. Elle est souvent le fruit de la volonté de l'entreprise de conserver son avance technologique sur ses concurrentes. Ce champ d'action peut être plus communément appelé **l'amélioration continue**. On parlera, par exemple, d'innovation incrémentale pour souligner le passage du téléphone fixe au mobile, du moteur à essence au moteur diesel, de l'ordinateur fixe à l'ordinateur portable…

- **l'innovation de rupture**, quant à elle, modifie profondément les conditions d'utilisation par les clients et/ou s'accompagne souvent d'un bouleversement technologique [NEAU 03]. L'imprimerie, la télévision, les ordinateurs ou encore l'automobile sont des innovations de rupture. Ce type d'innovation a un impact sur le niveau macroscopique (les filières, le marché, le monde) et sur le niveau microscopique (l'entreprise, les individus) alors que l'innovation incrémentale n'influe que sur l'un de ces deux niveaux [GARCIA et al. 02].

Cependant quel que soit son niveau de mise en œuvre, l'innovation technologique est aujourd'hui le concept le plus utilisé dans l'industrie et celui sur lequel le plus grand nombre d'entreprises s'emploie. "En règle générale ce sont les innovations technologiques que cherchent à stimuler les politiques d'innovation, et tout particulièrement les innovations technologiques qui sont produites ou utilisées par les entreprises pour accroître leur performance" [CSTQ 02]. Cependant pour pouvoir aboutir à ce résultat concluant il est nécessaire de suivre un processus bien défini.

1.3.3 L'innovation technologique : formalisation d'un processus complexe

Comme nous l'avons évoqué précédemment l'innovation peut décrire une succession de tâches ayant pour objectif final d'innover. La bibliographie est non restrictive sur l'innovation en tant que processus. Nous retiendrons cependant la définition de Boly, qui met en évidence la nécessité d'adapter ces différentes actions au milieu environnant (la structure, les individus, les processus existants, la culture…) pour réussir son innovation : "l'innovation est une série (non linéaire) d'étapes cohérentes entre elles et tendant vers un résultat identifiable, représenté par une activité industrielle nouvelle et ancrée dans son environnement" [BOLY 04]. Pour formaliser une démarche qui reste souvent complexe, de nombreux auteurs ont proposé des modèles. On a longtemps opposé les modèles de type "*market pull*" aux modèles de type "*science push*" suivant que l'innovation était initiée par le progrès technique ou par la demande du marché [RIBAULT et al. 91]. Aujourd'hui, suite à l'évolution du monde industriel, de nombreux auteurs s'accordent à dire que finalement une innovation ne peut naître sans la réunion, dès l'amorce d'un projet, de ce "phénomène de couplage" entre technique et marché [FREEMAN 79] [MOWERY et al. 79] [CHANAL 95]. L'analyse des multiples modélisations de la bibliographie, nous invite à dégager deux types d'approches : les processus dits "mécaniques" (séquentiels) et les processus dits "organiques" (non séquentiels). Le choix de chacune de ces voies dépend essentiellement du contexte industriel et des structures d'accueil. Mais quelle que soit celle empruntée par le chef de projet et le niveau de détail du modèle, l'innovation demeurera un phénomène complexe de par les différents éléments qu'il implique et l'incertitude qu'il génère.

1.3.3.1 Les processus d'innovation dits "mécaniques"

Les processus séquentiels des actions à mener dans le temps pour pouvoir innover, ont été les plus représentés dans la littérature. Ils partent de l'idée d'une nouveauté pour aboutir à la commercialisation effective de celle-ci. Nous avons repris ci-dessous trois des modèles représentatifs de ce que la bibliographie peut proposer.

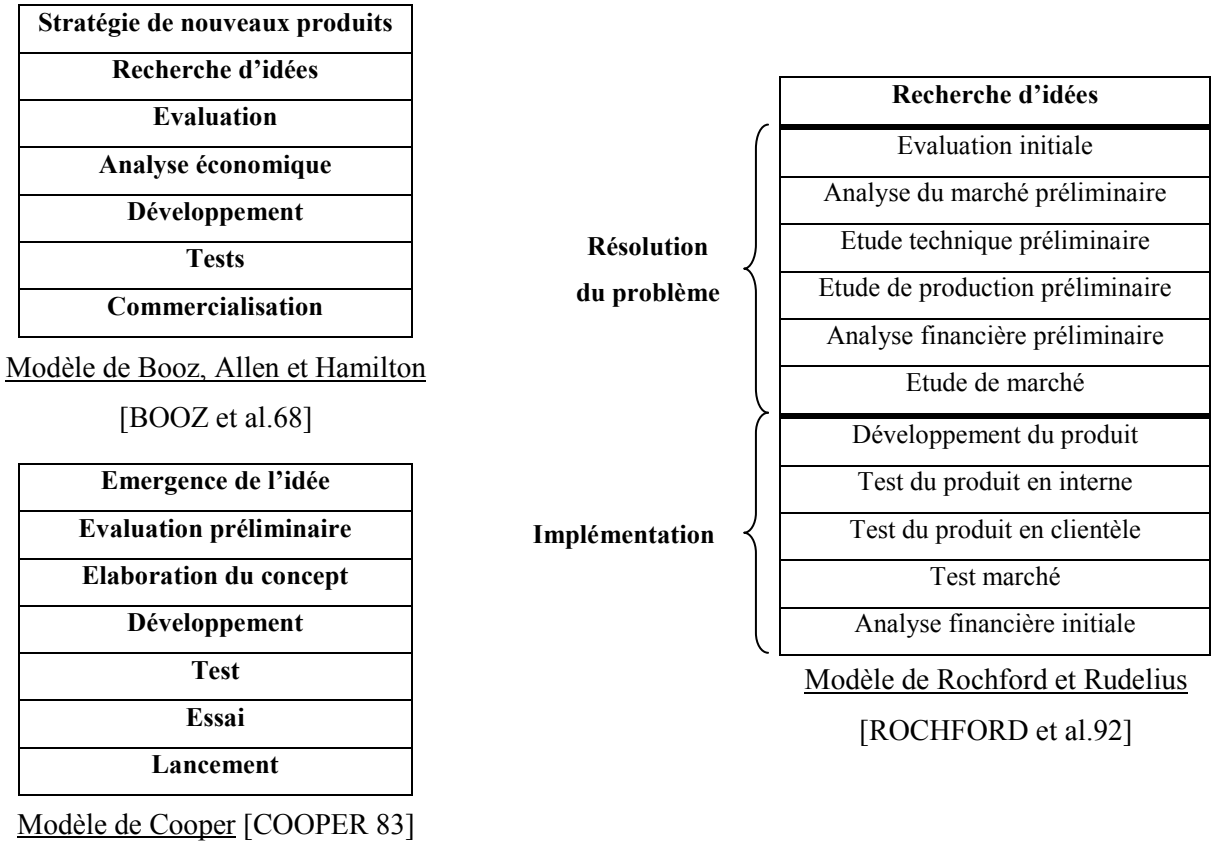


Figure 19 : Exemples de modèles séquentiels

Dès les prémices de la modélisation, Booz, Allen et Hamilton ont introduit dans leur processus en sept phases des actions liées à la stratégie, l'économie et les tests pour optimiser le processus d'innovation. Les modèles qui ont suivi étaient plus ou moins détaillés dans les actions à mener, mais proposaient tous une même ligne directrice. Ces niveaux de détails et les différents agencements des phases dépendent finalement des objectifs du modélisateur et du contexte dans lequel il se trouve [CHANAL 95] : guide d'action pour les responsables d'entreprise, mise en évidence des différences organisationnelles entre la phase d'initialisation et la phase d'implémentation, résolution de problèmes spécifiques à des contextes particuliers…

Ces processus ont été déployés après de nombreuses études et validations en milieu industriel. Ils ont donc été largement utilisés et permettent de bien voir, étape par étape, le cheminement des auteurs vers des concepts commercialisés.

1.3.3.2 Les processus d'innovation dits "organiques"

Pour certains auteurs, les modèles hiérarchiques et linéaires de l'innovation présentés précédemment ne permettent pas de rendre compte des nombreux flux d'informations qui structurent les différentes tâches et l'agencement de ces dernières [PERRIN 01]. C'est pourquoi les recherches actuelles sont principalement axées sur la proposition de modèles organiques plus proches de la réalité. Ces représentations sont, en effet, plus en adéquation avec le mode de fonctionnement du milieu industriel. Les différentes tâches du processus d'innovation sont réalisées en parallèle (les études marketing et les études techniques par exemple) par des équipes différentes ou identiques (équipe pluridisciplinaire).

Parmi les modèles étudiés au cours de notre recherche bibliographique nous en présenterons brièvement deux : ceux que l'on estime les plus proches de notre réflexion de recherche. En effet, ces modèles présentent les tâches de conception comme des éléments essentiels dans la réussite de l'innovation. Nous verrons dans le second chapitre l'importance du processus de conception dans la réussite d'une innovation.

Le modèle de Kline et Rosenberg présente de manière détaillée les interactions et itérations qui caractérisent le processus d'innovation. Les activités de conception jouent, dans cette modélisation, un rôle central pour donner une impulsion au processus d'innovation [KLINE et al. 86].

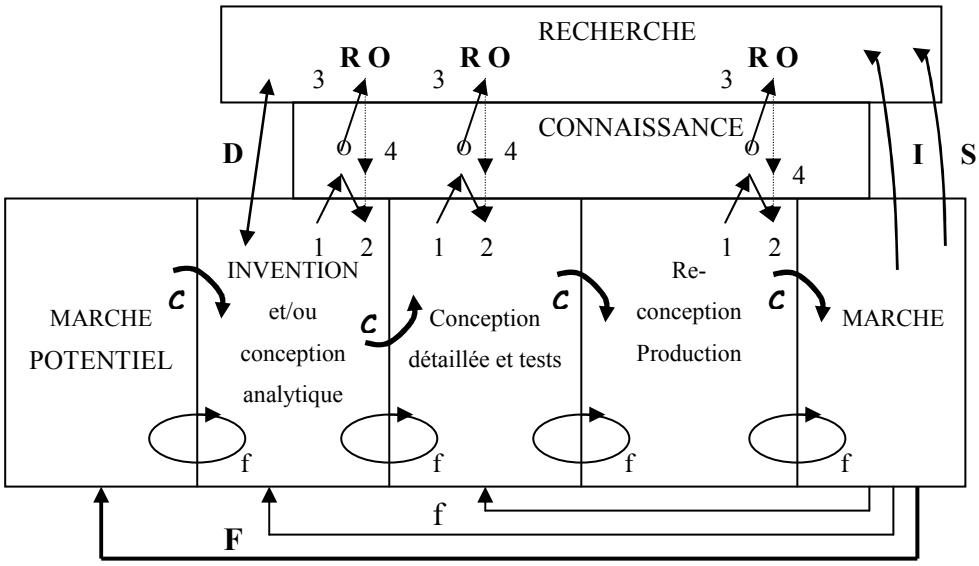


Figure 20 : Modèle de la chaîne interconnectée [KLINE et al. 86]

Les enchaînements des différentes phases du processus de conception (des besoins du marché au produit commercialisé) sont caractérisés par la lettre *C*. Les auteurs ont représenté les principales boucles d'informations récursives qui permettent au processus de ne pas dériver de ces objectifs initiaux (F et f). La seconde particularité de ce modèle réside dans la formalisation de liens entre les domaines de la science et de l'innovation et plus particulièrement des connaissances et de la recherche. En effet, quand des problèmes spécifiques liés aux projets innovants nécessitent des connaissances nouvelles, l'on fait appelle à la recherche. Cette formalisation de Kline et Rosenberg peut être caractérisée comme macroscopique, reflétant bien la conduite de l'innovation dans l'ingénierie.

Le modèle de Roozenburg et Eeckels, quant à lui, impose au processus d'innovation de mobiliser l'ensemble des services de l'entreprise (la conception, la production, le marketing….) [ROOZENBURG et al. 95]. Les auteurs ont souhaité montrer le fait que l'innovation passe par un processus pluridisciplinaire défini par une stratégie spécifique et est supportée par de nombreuses interactions entre le processus de conception du produit, le processus de conception du système de production associé et du plan marketing. Ce modèle met en évidence que l'innovation ne peut voir le jour sans des services propres à une entreprise industrielle.

Ces différentes modélisations nous amènent à affirmer que l'innovation ne peut être réduite à la capacité de créer individuellement et spontanément. C'est un processus qui nécessite une

interaction forte avec les attentes du marché, un processus de conception formalisé, des relations privilégiées avec certains domaines scientifiques et une structure d'entreprise bien distincte.

1.3.3.3 La complexité du processus d'innovation

Comme nous l'avons vu précédemment l'innovation a un impact sur tout le système industriel qui la supporte, lui-même constitué de plusieurs sous systèmes interdépendants [LORINO 95]. Ces derniers réunissent des éléments de domaines divers qui se retrouvent en interaction régulière avec le processus d'innovation. Ceci, dans l'unique objectif d'aboutir, par rétroactions successives, à un résultat (produit, procédé, service, organisation…) accueilli positivement par le marché. Mais innover c'est aussi agencer de nombreuses tâches les unes par rapport aux autres et gérer une multitude de contraintes et d'objectifs qui sont revus, au fur et à mesure de l'avancement du projet [THOUVENIN 02].

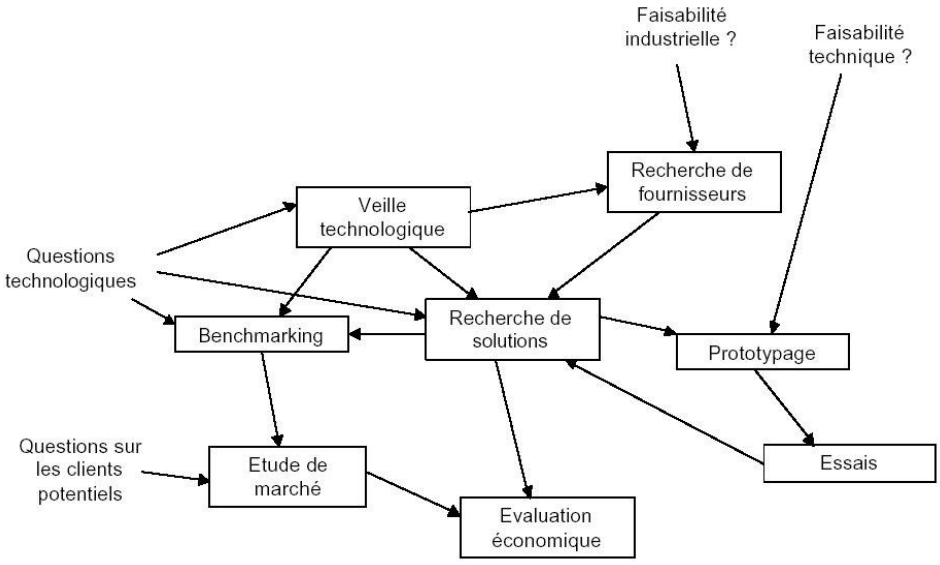


Figure 21 : Complexité des processus d'innovation [THOUVENIN 02]

Pour Boly, le qualificatif de complexité que l'on confère au processus d'innovation est principalement dû à trois phénomènes : la multiplicité des liens entre les variables (conception, compétences, production, organisation, maintenance, livraison…), l'aspect hautement contradictoire de certains enjeux industriels (objectifs locaux et globaux), la rupture d'équilibre dans les échanges aussi bien au sein même du système industriel qu'avec son environnement connexe [BOLY 04]. On peut ajouter que l'innovation réside dans la

résolution de problématiques inconnues. Cet aspect non négligeable accroît l'incertitude sur les résultats de tels projets et alimente ainsi la dimension complexe du phénomène. Nous avons vu auparavant que le propre de l'innovation était de développer une activité inexistante, de générer de nouveaux savoirs et de nouvelles expériences. Innover revient donc un peu à avancer dans une pièce inconnue, dans le noir et sur la pointe des pieds. Tout cela ne favorise pas la simplification du processus.

La complexité de l'innovation est donc un fait qui ne peut être remis en cause. C'est sûrement de cela qu'on en retire l'émergence d'un concept inexistant auparavant. Cette complexité du processus d'innovation peut aussi bien engendrer des comportements de peur comme de fascination suivant la psychologie de certains acteurs ou pilotes de projets [DUKAN 04]. Ces ressentis vont alors orienter des comportements et des décisions différentes face à certaines caractéristiques d'un projet innovant.

Dans un monde où aujourd'hui tous les systèmes et les marchés se complexifient, il est important de ne pas sombrer dans la simplification mécaniste qui rendrait le processus et système stables sans aucune évolution ni interactions [MANZANO 97]. De nombreux outils et méthodes ont été développés et expérimentés pour optimiser l'innovation et mieux appréhender cette dimension complexe. Il est cependant important de souligner que nous innovons dans la complexité mais aussi et surtout par la complexité [DUKAN 04].

1.3.4 Les enjeux industriels de l'innovation

Nous avons essayé de faire ressentir, à travers les paragraphes précédents, que le concept d'innovation technologique était difficile à mettre en œuvre par sa complexité, par les structures qui doivent le supporter ou encore par les incertitudes qu'il peut générer au sein d'un environnement spécifique (social et économique). Cependant malgré ces difficultés il apparaît comme la solution face à un contexte économique, technique et stratégique de plus en plus exigeant à l'échelle internationale. "L'innovation est avant tout considérée comme un moteur économique, comme génératrice de richesses" [BTR 00]. C'est pourquoi depuis quelques années, l'innovation devient un critère de référence pour les entreprises occidentales ?

1.3.4.1 Les chiffres de l'innovation

Depuis les années 80, les problématiques auxquelles ont été confrontés l'ensemble des chefs d'entreprises résident principalement dans la réduction des cycles de vie des produits, la réduction des coûts et des délais, l'accès à certains marchés spécifiques, la différenciation par rapport aux concurrents directs et indirects… L'adaptation des entreprises à de nouvelles technologies et à de nouvelles pratiques devient une nécessité de plus en plus présente. Les évolutions techniques toujours plus rapides entraînent une remise en question des produits, des services ou des processus de production. L'entreprise est confrontée à des changements permanents y compris au sein de sa structure et de ses méthodes de management. "Dans de nombreux cas un refus ou même un retard à s'adapter conduira inexorablement l'entreprise à son déclin" [MABILE 02]. Face à cette caractéristique conjoncturelle, l'innovation technologique ne représente plus simplement l'attribution d'un critère nouveau à un produit ou à un procédé, mais une véritable stratégie d'entreprise de manière à rester présent sur les marchés.

Objectif d'innovation technologique	Grandes entreprises	PME-PMI	Total*
Remplacer un produit obsolète	34,0	22,8	23,6
Améliorer la qualité des produits	58,4	49,5	50,2
Elargir la gamme des produits	54,7	49,2	49,7
Conquérir de nouveaux marchés ou accroître la part de marché	**67,0**	**57,1**	**57,8**
Réduire les atteintes à l'environnement	20,2	11,1	11,8
Satisfaire aux législations, réglementations, normes, standards	25,2	22,4	22,5
Conférer davantage de souplesse à la production	21,0	20,3	20,3
Réduire les coûts salariaux par unité produite	34,1	22,0	22,7
Réduire les consommations de matières premières	28,4	16,8	17,6

Source : Sessi-enquête innovation 1997

*Total = toutes entreprises confondues

Figure 22 : Les principaux objectifs de l'innovation technologique [SESSI 99]

En 1997, les résultats de l'enquête du SESSI, montrent que la motivation première à l'innovation technologique est l'accroissement et la conquête de nouveaux marchés. Dans une étude un peu plus récente, le même organisme affirme que cette motivation est toujours la première pour 80% des entreprises innovantes [SESSI 02]. Ce qui n'était qu'une tendance à la fin des années 90, devient aujourd'hui le seul et unique objectif du lancement de projets innovants technologiquement dans les entreprises. Ces chiffres rejoignent nos propos du chapitre 1.3.1, où nous soulignions que la technologie était un élément majeur de la stratégie

concurrentielle des entreprises. En effet, développer et concevoir de nouvelles technologies qui auront une répercussion positive sur les marchés (c'est-à-dire innover technologiquement) génèrera forcément un impact sur l'activité de l'entreprise et sa compétitivité. Ce concept est donc devenu en quelques années l'élément majeur de la stratégie concurrentielle des entreprises. Un élément qu'il faut sans cesse optimiser car c'est un des seuls à se retrouver en lien quasi-direct avec les marchés et le seul à avoir le plus d'influence sur ce dernier. L'innovation technologique est un moteur de la croissance économique et du développement social.

L'Innovascope a publié en février 2005 un baromètre des politiques d'innovation, basé sur une étude détaillée des rapports d'activités des 166 premières entreprises françaises. Cette analyse s'est articulée autour de trois indicateurs : "le discours sur l'enjeu de l'innovation", "le discours sur la mise en œuvre de l'innovation" et "la communication sur l'innovation" [JDM 05]. Il ressort de cette étude que les entreprises considèrent de plus en plus l'innovation comme un enjeu stratégique. Les notes attribuées sur le premier indicateur, qui modélise la vision de l'innovation par l'entreprise, ont grimpé d'environ 50% en deux ans. Le marché industriel français prend conscience que l'innovation est un paramètre à ne pas négliger dans le maintien de sa compétitivité. En ce qui concerne le second indicateur sur la mise en œuvre de l'innovation, les résultats prouvent un réel engagement à optimiser le processus (conception de méthodes, outils et structures…). Enfin l'étude révèle que les entreprises communiquent de moins en moins sur les organisations et les actions élaborées pour aboutir à leur innovation. Ces informations deviennent confidentielles de manière à garder une certaine avance par rapport à la concurrence. Ce rapport vient conforter nos propos précédents sur l'avènement de l'innovation technologique comme pilier de la stratégie concurrentielle des entreprises.

Sachant aujourd'hui l'importance que revêt l'innovation sur la compétitivité d'une entreprise, on peut se demander si ce phénomène est quantifiable économiquement. D'après un sondage réalisé par le magazine *Fortune's* auprès de plus de 500 entreprises, le comportement innovant paraît être en moyenne bien récompensé. La valeur créée par l'entreprise en une dizaine d'années est considérable. Cette valeur exprimée par la mesure de la valeur actionnariale (plus values des actionnaires + dividende) oscille entre 5% et 20% suivant le niveau d'implication de l'innovation dans l'entreprise.

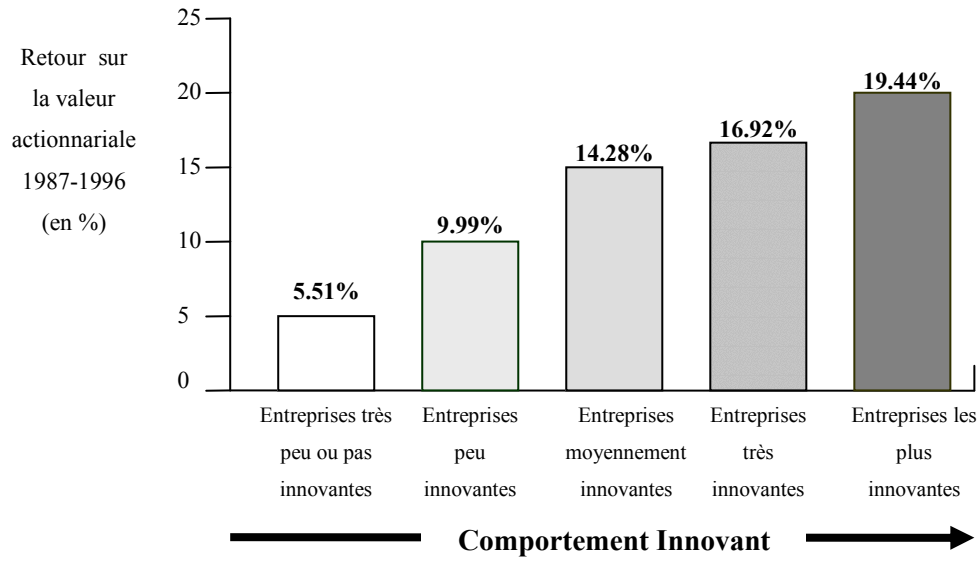
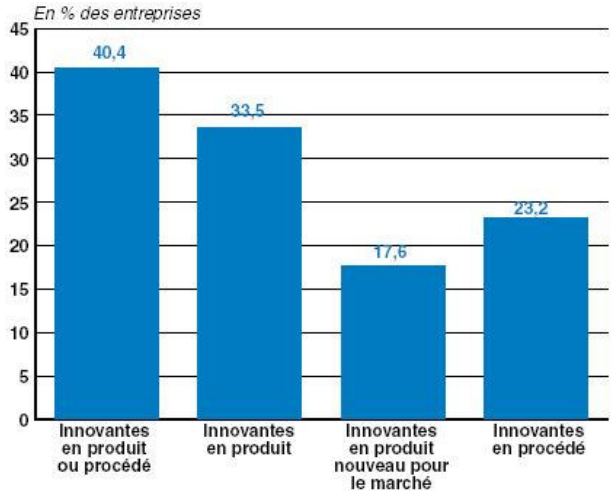


Figure 23 : Valeur actionnariale des entreprises innovantes [LITTLE 99]

On notera que les entreprises très innovantes ont créé 12% de valeur actionnariale de plus que les entreprises dont l'innovation n'est pas une priorité. Nous pouvons donc en conclure que les bénéfices engendrés par un management de l'innovation efficace sont conséquents.

D'après l'enquête du SESSI les entreprises industrielles françaises ont plus tendance à réaliser des innovations technologiques de produit.



Source : enquête 2001 Sessi CIS3 et SCEES CIS3

Figure 24 : L'innovation technologique par typologie [SESSI 02]

Sur 34% de ces entreprises innovantes en produits, un peu plus de la moitié ont lancé des produits nouveaux sur le marché entre 1998 et 2000. Elaborer de nouveaux procédés, comme c'est notre cas, est une facette un peu moins commune de l'innovation (23 % des firmes industrielles innovent en procédés). Dans leur grande majorité, ces nouveaux procédés de production sont mis en place pour permettre le lancement de produits novateurs. Parmi les secteurs les plus actifs dans le domaine de l'innovation technologique, on retrouve l'électronique, l'électrique, la chimie et l'automobile.

1.3.4.2 Un exemple d'innovation technologique : le ski parabolique

Pour illustrer le concept d'innovation technologique, nous relaterons l'exemple d'une innovation de produit qui a révolutionné le monde des sports de neige il y a de cela cinq ans : le ski parabolique. Ces skis courts aux courbes évasées ont métamorphosé et redynamisé un marché qui était en stagnation depuis quelques années. Cet exemple d'innovation technologique, un parmi tant d'autres, est tiré des propos de Jean Luc Diard, Président Directeur Général de Salomon, dans le Journal du Management du mois de Juin 2004 [DIARD 04].

L'idée du ski parabolique : croisement d'une constatation sur les possibilités du surf et d'un projet de skis très courts. "Nous avions observé que le surf des neiges permettait de faire des choses impossibles à ski, indépendamment du hors-piste. Ce qui a interpelé notre bureau d'étude. Dans le même temps, nous avons développé des petits skis aussi courts qu'une patinette…qui se sont révélés très stables" [DIARD 04]. Cette entreprise réputée innovante a su ensuite diffuser son message en faisant adopter ses prototypes par le milieu de la compétition (Florence Masnada, Mario Matt, Anja Paerson…). Après deux championnats du monde gagnés en 2001, l'engouement a été spectaculaire aussi bien dans le milieu professionnel que dans le milieu amateur. Salomon avait changé les a priori des skieurs confirmés (la vitesse atteinte est proportionnelle à la longueur des skis) et a considérablement facilité la pratique aux débutants (les quarts paraboliques permettent de tourner plus facilement). Cette innovation technologique aura mis trois ans à voir le jour. Elle aura permis cependant à Salomon de rester un an sans aucune concurrence sur le marché et les deux ans suivant d'être hautement compétitif par rapport aux suiveurs. Son chiffre d'affaires a augmenté de 20% en deux ans grâce à ces nouveaux skis. Aujourd'hui, 80 % des skis produits

mesurent entre 1m60 et 1m70 de long et l'entreprise a décidé d'arrêter de produire des skis longs.

Cependant il est important de rappeler que la société n'en était pas à sa première innovation puisque quelques années auparavant elle avait lancé les skis mono quart qui avaient connu un petit succès. Ces innovations répétitives, montrent bien qu'une structure spéciale a été formalisée et mise en place pour favoriser ce processus. L'entreprise est organisée en *business units* par lignes de produits et est composée d'une équipe transversale. Chacune des innovations créées en stimule d'autres dans d'autres domaines. Deux chiffres sont assez révélateurs de l'engagement pris par Salomon dans cette voie de la perpétuelle innovation : le budget alloué à la R&D (4,5% du CA) et le nombre de brevets déposés (~70 par an). La preuve en est que Salomon vient de sortir sa nouvelle innovation technologique : un surf des mers élaboré à partir des technologies du ski, du surf des neiges et du skate.

Le terme d'innovation est donc devenu un véritable vecteur de communication, synonyme de changement et d'avancée pour une entreprise. Il est trop souvent employé par abus de langage, mais garde de toute façon un impact indéniable sur la société, quelle que soit la typologie qu'on lui confère. L'innovation technologique permet tout de même de conduire à une plus grande compétitivité, à un renouvellement qui évite l'obsolescence et à un maintien de la valeur du patrimoine des actionnaires car elle est en lien direct avec les marchés économiques. La pertinence du choix pour une entreprise de lancer un projet innovant technologiquement ou de mettre en place un véritable management de l'innovation ne se pose plus. Cette voie devient l'unique solution pour survivre dans un contexte de compétition internationale. Le service Découpage Rotatif de la société Komori-Chambon doit s'orienter vers le développement et la conception de nouvelles technologies de fabrication. Cependant pour pouvoir atteindre cet objectif, certaines conditions sont requises et de nombreuses contraintes et problématiques se révèlent en cours de projet.

1.4 L'innovation technologique par le rechargement laser

Dans cette dernière partie du premier chapitre, nous décrirons le contexte d'intervention auquel nous avons fait face pendant trois ans : la technique laser. Nous en rappellerons les principes théoriques et décrirons les différentes applications industrielles qui lui permettent de mettre ses nombreux avantages en valeur. Nous nous arrêterons sur la technique de rechargement laser qui paraît être la plus adaptée à la fabrication des outillages rotatifs et qui présente un potentiel technologique important. Cependant le rechargement laser fait partie des techniques de haute précision à fortes connaissances scientifiques, encore peu exploitées sur des cas industriels particuliers. Il réunit un certain nombre de domaines scientifiques tels que la mécanique des fluides, les matériaux ou encore l'optique. Le gap technologique à franchir pour passer du connu (recherche et cas industriels) aux outils de découpage rotatifs rechargés par laser est important. Tous ces éléments ont incité la société Komori-Chambon à faire appel à des compétences externes pour réaliser conjointement son innovation technologique. Cependant gérer un projet innovant lorsqu'il est en partie externalisé n'est pas si simple.

1.4.1 La technique laser

1.4.1.1 Rappel historique

C'est en 1917 qu'Albert Einstein publie ses premiers travaux sur les différences entre les principes de l'émission spontanée et l'émission stimulée. Ces écrits furent la base physique théorique sur laquelle se reposèrent de nombreux scientifiques pour tout d'abord élaborer des systèmes M.A.S.E.R (*Microwave Amplication by Stimulated Emission of Radiation*) [DANDLIKER 96]. Les études sur ces phénomènes de rayonnement électromagnétique des micro-ondes furent à l'origine des technologies radars utilisées pendant la seconde guerre mondiale. Mais ce n'est cependant qu'au milieu des années 50 que l'américain Charles Townes crée le premier MASER. Et en voulant étendre le principe à une plus grande partie du spectre électromagnétique, les premiers systèmes L.A.S.E.R (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) virent le jour dès le début des années 1960. Notamment le laser gazeux (Hélium-Néon) à faisceau continu établi par Javan, Bennet et Herriot en 1961. Depuis cette période, de nombreuses découvertes et développements permirent l'amélioration de ces lasers et la naissance de nouveaux systèmes. Ces recherches fructueuses ont conduit deux grands types de lasers à s'introduire en masse dans les industries : les lasers à cavité

gazeuse et les lasers à cavité solide. En effet, depuis ces vingt dernières années, la technique laser connaît un développement en recherche appliquée considérable. De plus en plus de laboratoires travaillent sur de nouvelles applications et de plus en plus d'entreprises investissent dans cette technique qui permet d'améliorer leur productivité et la qualité de leur produit [SCHERER et al. 03]. Le laser est devenu en quelques années une technique presque incontournable dans de nombreux domaines tels que la communication, la médecine, le traitement de surface ou encore la métrologie.

1.4.1.2 L.A.S.E.R : le principe général

Comme son nom l'indique le laser est un dispositif permettant de produire et d'amplifier un rayonnement électromagnétique par le phénomène contrôlé d'émission stimulée. Le principe repose sur un phénomène de pompage par excitation. L'énergie primaire est amenée de l'extérieur du système par alimentation haute tension (pompage électronique) ou par lampes ou diodes (pompage optique), jusqu'au matériau actif (liquide, gaz, solide…). Cette énergie va exciter les électrons des atomes du matériau. Ces derniers vont alors passer d'un certain niveau d'énergie à un niveau d'énergie supérieur. En revenant à leur état initial, ils libèreront leur énergie sous forme de photons lumineux.

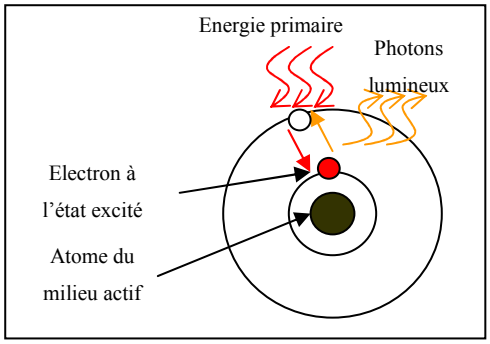


Figure 25 : Libération des photons lumineux [ROULET et al.03]

L'énergie de ces photons dépendra de la fréquence de propagation de l'énergie primaire imposée (E=hv). Cette excitation déclenchera l'émission de photons en cascade. Le matériau actif est enfermé dans une cavité, qui confine le rayonnement. Aux extrémités de la cavité sont placés deux miroirs renvoyant sans cesse le rayonnement à l'intérieur. Ils sont indispensables à la création de l'amplification et ils définissent une direction privilégiée des photons : leur normale (cf. Figure 26). Le miroir arrière est totalement réfléchissant alors que

le miroir avant laisse passer une partie du rayonnement, ce qui autorise l'émission laser. Les différents photons sont donc "sélectionnés" par leur densité, et rejetés hors de la cavité, au travers du miroir semi transparent, sous forme de rayon laser.

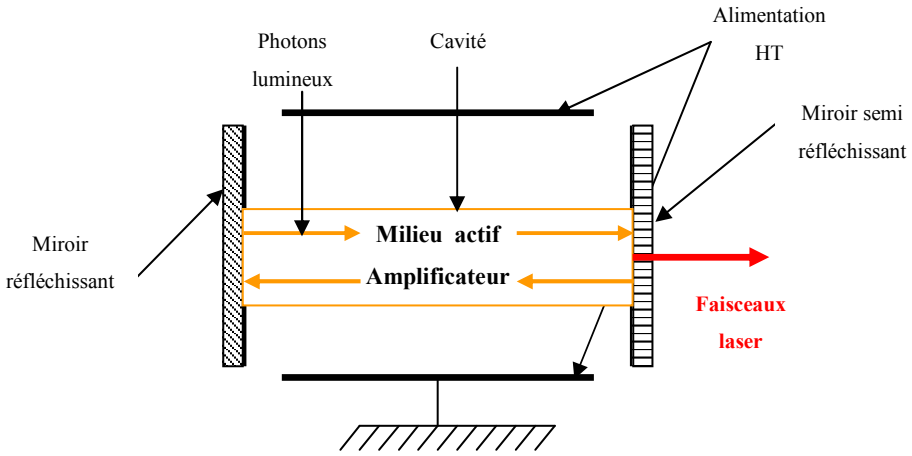


Figure 26 : Schéma d'une cavité résonnante

Ce faisceau traverse ensuite un système optique pour pouvoir se focaliser sur le plan de travail.

1.4.1.3 Les lasers de puissance

Il existe trois grandes familles de générateurs laser à fortes implications industrielles. Ceux-ci se différencient par la nature de leur cavité : les cavités gazeuses, les cavités solides et les lasers à semi-conducteur comme le laser diode.

- Les lasers à cavité gazeuse :

Les lasers à cavité gazeuse sont à l'origine de l'invention laser en 1960. Le milieu générateur de photons est ici un gaz contenu dans un tube en verre ou en quartz, auquel est appliqué une décharge électrique. Le faisceau émis est particulièrement étroit et la fréquence d'émission est très pure. Les exemples les plus connus sont les lasers He-Ne (λ=632,8 nm, rayonnement rouge) utilisés dans les lecteurs de codes barres, et les lasers CO_2 (λ=10,6 µm, rayonnement infrarouge) capables de produire de très fortes puissances (jusqu'à 15kW).

- Les lasers à cavité solide :

Les lasers à cavité solide utilisent des cristaux comme milieu d'émission des photons (le plus connu est le laser à rubis). Ce sont les lasers les plus puissants (jusqu'à quelques MegaWatts) qui peuvent fonctionner de manière pulsée et émettre aussi bien dans le visible que dans l'UV ou les rayons X. Le laser le plus utilisé industriellement est le laser Nd:YAG (λ=1064 nm, rayonnement infrarouge).

- Les lasers à semi-conducteur

Ces lasers apparaissent en 1962 mais attendent plusieurs dizaines d'années avant d'apparaître dans le milieu industriel. Le pompage se fait à l'aide d'un courant électrique qui enrichit le milieu générateur (diodes principalement ; λ~890 nm, rayonnement rouge) en trous et en électrons. Le faisceau est produit par la recombinaison des trous et des électrons. Ces lasers diodes sont les moins volumineux mais aussi les moins puissants du marché (jusqu'à 6kW). Ils sont utilisés dans les imprimantes, les lecteurs de disques compacts, ou encore en télécommunication [DANDLIKER 96].

Aujourd'hui les lasers CO_2 sont les lasers les plus répandus dans le monde industriel car ils présentent un des rendements le plus élevé, une manipulation aisée du faisceau et sa précision de focalisation de la lumière cohérente.

1.4.2 Les applications industrielles de la métallurgie

Après trente années de développement intensif, la technique laser est en passe de trouver depuis quelques années de plus en plus d'applications industrielles et celles-ci dans des domaines variés : la communication, la métrologie, la médecine ou encore la métallurgie. Notre domaine d'intervention et d'action portera sur le domaine de la métallurgie.

Le rayon laser est un faisceau d'énergie très concentrée, qui permet de délivrer sur des surfaces très petites des quantités d'énergie très importantes. C'est cette principale propriété, en dehors de la puissance, la flexibilité et la précision, qui est mise à profit pour travailler la matière. Voici les cinq domaines d'applications les plus développés dans la métallurgie :

– l'usinage : le perçage (première application industrielle du laser en 1966), le grainage et la mise en forme tridimensionnelle. Le laser peut usiner des matériaux durs (ex : le diamant, le

tungstène, des alliages bases nickel) mais aussi des matériaux non conducteurs tels que les céramiques, les plastiques et les polymères.

– la découpe des matériaux est à ce jour une des plus importantes applications industrielles métallurgiques. On peut, grâce au système laser, découper tous les types de matériaux (aciers, céramiques, plastiques etc.…) présentant des épaisseurs allant jusqu'à 20 millimètres, avec des précisions et une qualité incomparables [DELPORTE et al. 1999].

– les traitements de surface : le durcissement, la refusion et le rechargement laser.

• L'opération de durcissement consiste à échauffer rapidement et localement le matériau à une température légèrement inférieure à sa température de fusion. Le refroidissement de la zone durcie se fait par conduction thermique vers le cœur de la pièce et on observe alors le phénomène de trempe laser. Grâce à cette technique on a la possibilité d'améliorer les propriétés mécaniques de surface et les comportements tribologiques (dureté, résistance à l'abrasion, résistance à l'usure) d'aciers faiblement alliés [AVRIL 03].

• L'opération de refusion consiste à échauffer le matériau en son point de fusion et de créer ainsi un bain liquide qui refroidira par conduction thermique. Ce phénomène entraîne une modification de la structure cristalline du matériau de base sans pour autant altérer sa composition chimique. C'est une technique principalement utilisée pour améliorer la résistance à la corrosion du matériau.

• L'opération de rechargement de matière consiste à venir déposer, sous forme de poudre ou de fil, une autre matière possédant des caractéristiques mécaniques intéressantes. Le faisceau laser fond localement les matériaux d'apport et le substrat. L'objectif de cette opération est d'améliorer les propriétés de la pièce dans certaines localités. Ces opérations se sont faites pendant de nombreuses années par soudure à l'arc (TIG ou MIG). Cependant le taux de dilution du substrat était trop élevé pour avoir un dépôt uniforme de bonne qualité (le taux de dilution altère les propriétés mécaniques du dépôt). Aujourd'hui, grâce au laser, le taux de dilution et la précision de dépôt sont quasi maîtrisés.

	Rechargement à l'arc	Rechargement laser
Taux de dilution	≈ 20 %	< à 5 %
Précision de dépôt	± 100 µm	± 50 µm
Vitesse d'exécution	≈ 100 mm/min	≈ 1m/min

Figure 27 : Tableau des caractéristiques de rechargement laser et de rechargement à l'arc

On s'aperçoit, grâce à ce comparatif, que la technique laser est aujourd'hui la plus performante, en terme de qualité de dépôt (taux de dilution, caractéristiques mécaniques…), de précision et de vitesse d'exécution.

– la soudure laser se fait sans apport de matière. Ses principaux avantages par rapport à des méthodes conventionnelles sont : une vitesse d'exécution, un retrait mécanique plus faible du fait de l'étroitesse de la zone affectée thermiquement et une grande précision d'exécution.

– le prototypage rapide ou les méthodes de fabrication par ajout de matière (l'objet est constitué par un empilement séquentiel de couche de matière les unes sur les autres) [BERNARD et al. 98]. La technique laser permet, ici, d'amener l'énergie nécessaire à la polymérisation d'une résine ou au frittage d'une poudre métallique et de solidifier ainsi une section correspondant à l'objet final. Les lasers utilisés sont principalement des lasers de faible puissance, les matériaux n'étant pas des matériaux à hautes caractéristiques mécaniques [BODDU et al. 01]. Ces technologies de prototypage rapide se sont donc vite imposées dans le processus de conception du produit et tendent à s'immiscer depuis peu dans le processus de fabrication. En effet, s'il devient possible de fabriquer des prototypes fonctionnels, c'est-à-dire qui répondent aux caractéristiques du produit final, pourquoi ne pas fabriquer ces produits directement par prototypage rapide ? C'est la raison pour laquelle "certains paramètres du prototypage rapide comme la précision, l'épaisseur des couches, les vitesses de réalisation, les coûts, les types de matériaux employés, font l'objet de recherche intensive afin d'aboutir au concept de rapid manufacturing" [DUBOIS 1999].

1.4.3 Le rechargement laser : un potentiel technologique

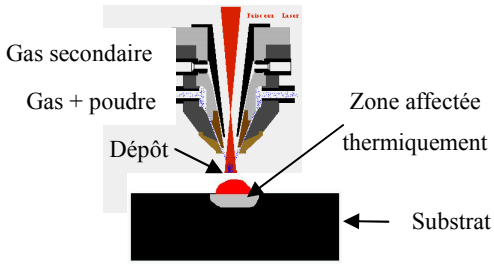
Comme nous l'avons expliqué précédemment (cf. chap 1.2.3), la société au sein de laquelle nous sommes intervenus, voit ses parts de marché du secteur de découpage rotatif diminuer depuis quelques années. Cette perte est due en majeure partie à des coûts de production trop importants et des délais de mise en service trop longs par rapport à une concurrence

internationale qui a su les réduire. Le processus de fabrication des outillages est basé sur des gammes qui sont lourdes mais optimisées. Pour pouvoir évoluer et redevenir compétitif sur le marché mondial, l'entreprise a fixé une nouvelle politique d'évolution technologique. "Ce sont les pressions de la concurrence sur les marchés qui poussent les entreprises à innover en trouvant des applications nouvelles à des technologies déjà exploitées ou nouvelles" [RIBAULT et al. 91]. Nous présenterons la technique identifiée ainsi que les bénéfices qu'elle pourrait apporter à la société. Puis nous insisterons ensuite sur le statut du rechargement laser dans l'industrie française et sur le gap technologique à franchir pour passer de la recherche fondamentale et appliquée à une application singulière. Même en faisant appel à des "experts laser" pour externaliser une partie du développement, de nombreux verrous technologiques (inhérents à toutes techniques émergentes face à un environnement singulier) restaient en suspens. Nous nous sommes donc lancés dans un développement externe (rechargement laser) et un développement interne (post traitements) totalement dépendants techniquement.

1.4.3.1 Outillages de découpe rechargés laser

Les outils de précision réalisés par Komori-Chambon doivent présenter de hautes caractéristiques mécaniques sur leurs filets de coupe. Depuis une dizaine d'années la gamme de fabrication des outils de type *Twin Knife*, a été optimisée à son maximum (cf §1.2.1.2, Figure 18). Elle reste cependant très contraignante : trempe de pièce massive (jusqu'à trois tonnes), usinage de matière noble (aciers à outils fortement alliés) avant et après trempe, micro revêtements... Ce processus ancré dans la société induit d'importantes contraintes techniques dans la fabrication de ces pièces.

Une veille concurrentielle et technologique ainsi que des analyses pré-techniques ont permis d'identifier la technique laser comme pouvant libérer certaines des contraintes techniques et alléger la gamme de fabrication (nombre d'opérations, durée des opérations, coût de la matière…). Cette technique choisie est le rechargement laser, qui consiste à fusionner et solidifier par faisceau laser une poudre ou un fil métallique, à caractéristiques mécaniques ou métallurgiques intéressantes, sur un substrat. Seule une faible épaisseur de ce substrat doit être fondue de manière à obtenir une liaison métallurgique avec un minimum de dilution et ainsi garder les propriétés de la matière déposée.



Source : site internet de la société Techlase

Figure 28 : Exemple de rechargement laser

Cette technique développée comme outil de production de l'entreprise, permettrait de déposer un acier à outil (dans les zones les plus sollicitées mécaniquement) sur un substrat facile à travailler (acier de construction), l'objectif technique étant de garantir une tenue mécanique et une résistance à l'abrasion des futurs outils de découpe au moins équivalentes aux outils antérieurs (et supérieurs à la concurrence).

L'évaluation des gains que pourraient générer cette évolution technologique est considérable dans le contexte fortement concurrentiel présenté précédemment :

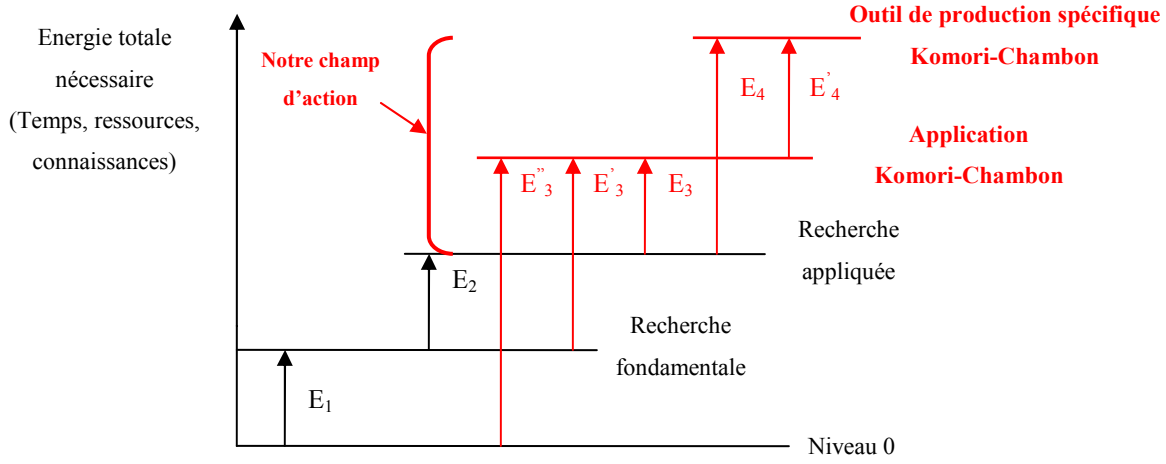
- **Réduction des délais de production d'environ 40%**

- **Réduction des coûts de production d'environ 30%**

Mais ces avantages techniques et ces perspectives de réduction alléchantes n'ont pas lieu d'exister si techniquement la réalisation de cylindres rechargés laser n'est pas viable. Il est à noter que le procédé de rechargement laser ne permettra pas à lui seul d'atteindre des précisions assez fines pour répondre aux cahiers des charges de ces outils de précision ; les techniques conventionnelles (usinage, rectification…) restent donc incontournables [ROULET et al. 02]. Il sera nécessaire d'insérer une nouvelle technologie de fabrication de rechargement laser au sein d'un processus existant. Nous verrons qu'il ne s'agit pas là d'une simple intégration de machine ou d'une simple adaptation de procédé (paramétrage), mais d'un réel développement pour aboutir à un outil de production spécifique à la société Komori-Chambon.

1.4.3.2 De la recherche fondamentale à l'outil de production

Avant toute chose, il est important de noter que la technique de rechargement laser est une technique nouvelle qui a fait son apparition au début des années 1980 suite aux premiers travaux scientifiques de Cline et Anthony (analyse de la structure d'un mélange liquide induit par un faisceau laser). Depuis, de nombreuses recherches ont été entreprises pour rendre la distribution d'énergie du faisceau plus homogène, analyser certains cycles thermiques, améliorer les systèmes optiques et les buses de rechargement ou encore concevoir des systèmes environnants. Ces avancées techniques ont permis au rechargement laser de métaux (les bases Cobalt principalement) de s'implanter très rapidement dans deux milieux industriels : l'automobile (valves, pots d'échappement, arbres, paliers, têtes de soupape…) et l'aéronautique (rechargement d'aubes de turbines). Cependant cette technique n'est pas encore à ce jour assez mature pour permettre aux industriels de créer de nouvelles applications sans un long processus expérimental. Schneider souligne dans sa thèse que le développement d'une nouvelle application de rechargement laser est encore aujourd'hui un processus basé sur l'expérimentation. En effet, le manque de modèles (physiques, numériques, méthodologiques…) contribue à la nécessité de mettre en place des séries d'essais et des tests de faisabilité coûteux pour chaque nouvelle application [SCHNEIDER 98]. Nous avons représenté sur la figure ci-dessous, l'énergie à fournir par une entreprise pour passer d'un stade connu de la technique de rechargement laser (recherche fondamentale et recherche appliquée) à un procédé spécifique à la fabrication d'un produit (application Komori-Chambon) pour aboutir enfin à un outil de production (nouvelle technologie dans l'environnement existant).



E_1 : Faisceaux laser (profils d'intensité, dimension de spots…), Systèmes optiques (miroirs, scanning, fenêtre de tir…)

E_2 : Interaction laser/matière, Cycles thermiques, Forme des pièces, Matière spécifique (Stellites essentiellement, aciers rapides, céramiques…)

E_3, E'_3 et E''_3 : Buses de rechargement (Coaxiale/tangentielle, conicité, écoulement des gaz, distance de travail), Métallurgie des poudres (granulométrie, composition, comportements mécaniques), Interaction poudre/substrat (dilution, métallographie, épaisseur de dépôt, fissure/parcours faisceau), Environnement mécanique (portique, table, diviseur…)

E_4 et E'_4 : Post traitements (usinage, rectification…), Intégration dans un processus de fabrication (organisation, transfert, diffusion)

Figure 29 : Paliers d'industrialisation du rechargement laser

Comme nous pouvons le constater sur ce schéma, les travaux de recherche fondamentale et de recherche appliquée ont permis de créer une base de connaissances nécessaire au développement d'applications industrielles, mais cependant loin d'être suffisante. La technologie que nous souhaitons développer fait appel à des spécificités techniques non négligeables et nouvelles par rapport aux applications déjà introduites dans plusieurs secteurs industriels :

- obtenir des précisions de dépôt de l'ordre de quelques 1/100ème de millimètre

- altérer le moins possible les propriétés du matériau déposé (acier à outils) tout en gardant une accroche satisfaisante

- aucun défaut au sein du dépôt ne pouvait être accepté (porosités, fissures, manques de matière)

- usiner ce dépôt en obtenant des précisions de coupe de l'ordre du 1/100ème de millimètre (matière stable autour de 400-600°C)

Ces fonctions techniques primordiales dans la réussite du projet, ne pouvaient amener l'entreprise à maîtriser tous les problèmes techniques sans de nombreuses phases d'expérimentation. La technique de rechargement laser (en phase d'émergence industrielle) n'est donc pas encore assez mature pour permettre la mise en place et la maîtrise à court terme d'une application singulière. Même pour des personnes déjà expertes dans le domaine du laser, le gap technologique à franchir est grand et les verrous à débloquer sont nombreux.

1.4.4 Gestion de l'innovation technologique via des partenariats externes

Le domaine d'expertise de la PME pour laquelle nous avons travaillé est la mécanique de précision. Sachant que le laser et ses systèmes associés, regroupent des connaissances dans le domaine de la mécanique des fluides, de l'optique et des matériaux, la compagnie n'avait pas les ressources et l'expérience nécessaires pour développer seule la technologie désirée. C'est essentiellement le manque de connaissances internes sur la technique laser qui a incité la PME à sous-traiter une partie du développement à un centre de recherche et un sous-traitant expert laser.

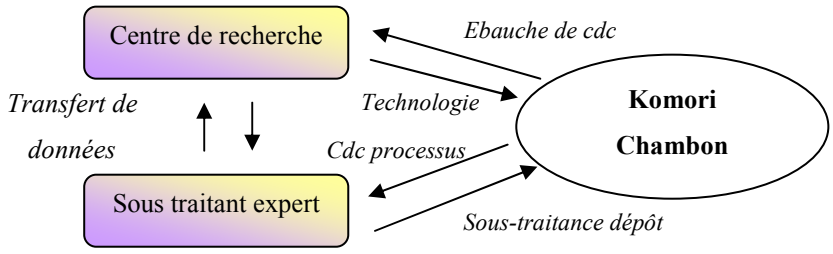


Figure 30 : Schématisation des échanges lors du développement du procédé laser

Un "partenariat d'exploration" a donc été établi [SEGRESTIN 03] : un partenariat consistant à soutenir une activité d'investigation et de reconnaissance de nouveaux champs d'action ou, plus spécifiquement, de "champs d'innovation". En parallèle au développement externe sur le seul procédé laser, a été mené un développement interne : l'optimisation des opérations des post-traitements, l'intégration de la technologie au processus de fabrication existant… Ces

deux développements complètement dépendants l'un de l'autre, appartiennent à deux domaines d'expertise différents réunis pour établir une nouvelle application industrielle.

Ce projet de conception et de développement de ce procédé de dépôt laser pour outils de découpage rotatif, en collaboration étroite avec un centre de recherche et un sous-traitant expert, s'est divisé en trois étapes : Mise au point d'une technologie/d'un procédé, Conception et Développement d'une machine, Mise en service (gestion partielle ou intégrale par Komori-Chambon). Ma mission au sein de l'entreprise, résidait dans la prise en charge de ce développement avec pour objectif **d'intégrer l'innovation technologique dans le processus de fabrication et proposer des premiers outillages à nos clients**.

Face à un contexte particulier de collaboration, le développement et l'intégration d'un procédé de fabrication aussi pointu (de par les connaissances techniques qu'il requiert et de par sa difficulté de mise en œuvre) paraît peu évidente. En effet, ce projet avait de forts risques de donner naissance, à un procédé laser et une machine maîtrisés par une entité extérieure d'un côté, et à des opérations amonts et avales maîtrisées par Komori-Chambon de l'autre. Cette situation devait être à tout prix évitée pour que l'entreprise puisse garder **la maîtrise de l'ensemble de son processus de fabrication des outillages de découpe**, et ainsi **pérenniser l'innovation technologique dans l'environnement d'accueil** (optimisation et évolution au cours du temps). Afin de devenir, à moyen ou long terme, **totalement dépendante** (stratégique, technique et économique), l'entreprise Komori-Chambon devait donc **être capable de gérer et de contrôler l'ensemble des différents éléments de son innovation technologique** (plus particulièrement ceux externalisés). Mais tout ceci ne s'entreprend pas de manière naturelle. Il est nécessaire de mettre en place des collaborations étroites et de suivre une démarche formalisée.

Nous avons mis en évidence à travers cette première partie **la nécessité d'innover technologiquement en PME** lorsque l'on se retrouve dans **un contexte économique difficile**. Cependant ce type d'entreprises n'a pas les moyens et les structures lui permettant d'être très familiarisé à ce type de démarche. Elles se retrouvent donc, à un moment précis, face à **un manque méthodologique** et **une nécessité d'externaliser** une partie du développement de la nouvelle technologie. Face à cette situation, elles se demandent

comment **gérer** et **maîtriser l'ensemble du processus d'innovation technologique** afin de rendre **pérenne** leur technologie dans l'entreprise ? Nous avons montré que les **modélisations** existantes, issues de la littérature (cf. §1.3.3), ne sont **pas adaptées aux caractéristiques des PME**.

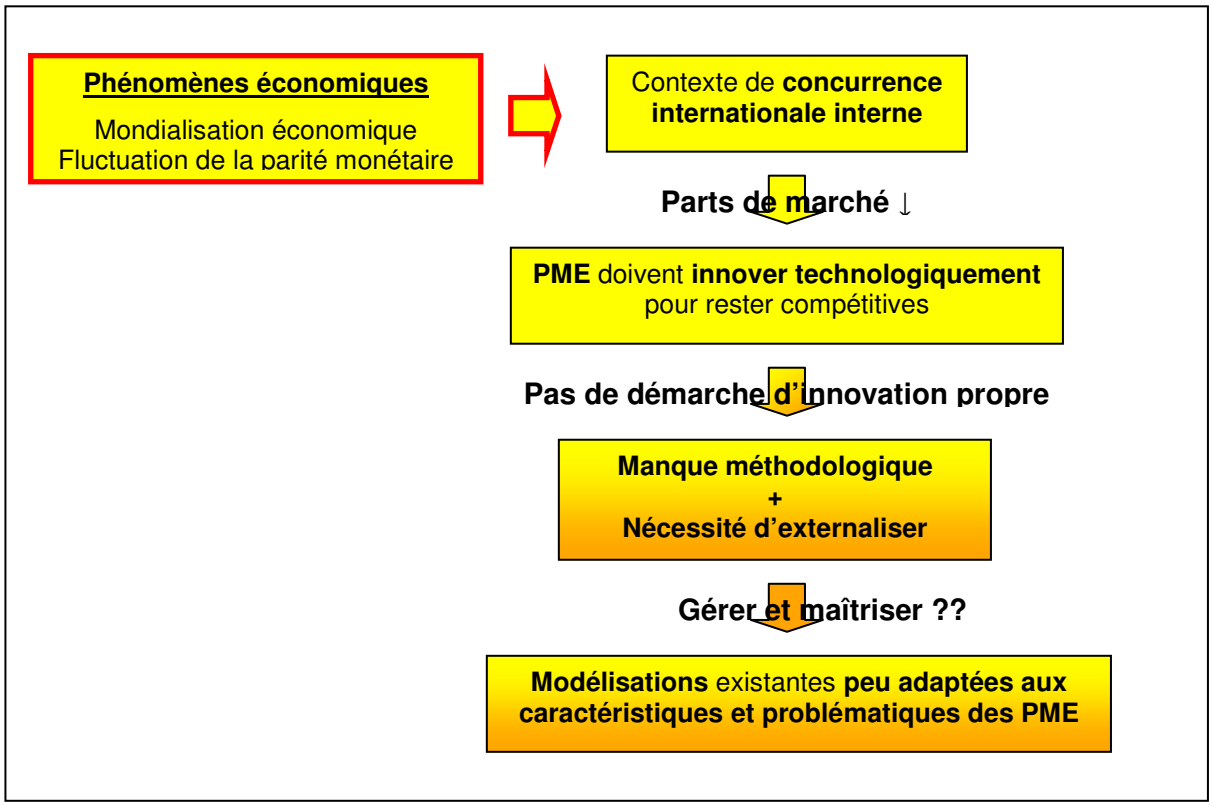


Figure 31 : Synthèse du contexte

Ce positionnement par rapport à un contexte de recherche général et un contexte et industriel particulier, nous permettra d'aborder dans la seconde partie de ce mémoire les thèmes sur lesquels nous nous sommes appuyés pour favoriser la réussite de notre innovation technologique : la conception (produits, procédés ou machines), la collaboration interdisciplinaire, la création et le transfert de connaissances … L'analyse de ces champs nous aidera donc à formaliser une problématique scientifique. Face à cette dernière nous émettrons deux hypothèses de travail, orientées vers des notions apparues comme primordiales dans le cadre de notre projet : la prise en compte de la collaboration dès les phases amont du projet et l'intégration d'un saut technologique par la définition d'un seuil minimum de connaissances.

Seconde partie : Problématique scientifique et hypothèses

Afin de justifier le positionnement de notre problématique scientifique, nous allons à travers ce chapitre explorer et définir le cadre de notre thématique de recherche. Pour pouvoir innover et intégrer une nouvelle technologie de fabrication dans une entreprise, il faut être capable de la développer et de la concevoir, seule ou en partenariat. Nous verrons au travers de premières constatations que la société Komori-Chambon manque de référence interne dans le cadre d'une démarche de conception innovante. Il nous a donc été nécessaire de nous appuyer sur la bibliographie du domaine pour trouver un support d'aide adéquate à la conception d'une machine de rechargement laser de cylindres de découpe. Cependant nous montrerons que les processus méthodologiques et les outils issus de ce champ de recherche, ne peuvent être seuls garants de la réussite d'une innovation technologique. Et ceci tout particulièrement lorsque la situation initiale incite les entreprises à passer par des compétences externes et donc à concevoir en collaboration. Cette externalisation est souvent propre aux PME-PMI qui, pour lancer un projet innovant, manquent de compétences et de pluridisciplinarité. Cependant la collaboration n'est pas une démarche innée et les difficultés qu'elle génère, impactant sur la conception, se révèlent être généralement les causes de retards et d'abandons de projets. Les industriels doivent donc prendre conscience que, sans une conduite rigoureuse de leur collaboration (communication, suivi, transfert, partage…), la conception de l'innovation technologique sera plus longue, plus coûteuse, moins fiable et moins bien adaptée à l'environnement d'accueil. De plus, sans une maîtrise de leur technologie, une future dépendance économique, stratégique et technique est inenvisageable. Nous nous appuierons alors sur la thématique des connaissances scientifiques et techniques, qui représentent les fondements de la technologie, pour évoquer de sérieuses pistes de réflexions quant à l'intégration de son innovation. Ces analyses et observations sur le domaine de la conception, de la collaboration et de la création de connaissances, nous permettront de conclure par la formalisation de notre problématique scientifique : **Quels sont les conditions et critères favorisant la réussite d'une innovation technologique lorsque celle-ci met en jeu la pérennité des activités d'une PME-PMI ?**

Afin de répondre à cette question, nous poserons comme première hypothèse de résolution que **la prise en compte d'une démarche de collaboration, dès les phases amont d'un projet innovant, garantit une conception de l'innovation technologique à des coûts et délais acceptables**. Cependant la collaboration ne peut, à elle seule, permettre l'intégration d'une innovation technologique et ainsi la rendre pérenne au sein de l'entreprise. Pour cela nous mettrons en évidence la nécessité d'évaluer les connaissances techniques créées et transmises au cours du projet. Cette constatation nous amènera à poser notre seconde hypothèse de résolution : **pour qu'il y ait innovation technologique, il est nécessaire de réaliser un saut technologique.**

2.1 La conception en collaboration externe

Dans cette première partie nous montrerons que pour innover, il est nécessaire de s'appuyer sur le domaine de la conception et ses avancées scientifiques. Afin de gérer au mieux notre projet de développement et d'intégration d'un procédé de rechargement laser d'outillages de découpe, nous avons donc, dans un premier temps, dressé un état de l'art des réflexions issues du domaine, ceci afin de déterminer un cadre de référence quant à la conception de la future machine de dépôt laser. Nous décrirons alors les différents processus de conception formalisés à ce jour (processus séquentiels, concurrent engineering…), ainsi que les différents outils développés pour structurer et fiabiliser les activités de conception (SADT, Analyse fonctionnelle, AMDEC…). Nous expliciterons ensuite les choix que nous avons faits dans un contexte particulier. Les mises en application de ces méthodes et outils ont permis au bureau d'études non seulement de formaliser les besoins exprimés et les objectifs techniques à atteindre, mais aussi d'agencer les différentes phases du projet. Nous montrerons cependant que ces derniers ont mis en évidence certaines lacunes techniques et un manque d'expertise de l'entreprise pour gérer, contrôler et maîtriser le co-développement et la conception de la future machine.

2.1.1 La conception : méthodes, outils et organisation

2.1.1.1 Innover c'est concevoir !

"Les acteurs de l'innovation œuvrent à l'évolution de projets et donc de la technologie par les travaux de conception" [BOLY 04]. En effet, pour pouvoir innover technologiquement, c'est-

à-dire transformer une ou plusieurs idées en objets matériels et fonctionnels reconnus sur le marché, n'est-il pas nécessaire d'avoir recours à la conception ?

Si nous définissons la conception comme l'ensemble des activités permettant de passer d'un espace abstrait (idée, réflexion,…) à un espace physique concret (spécifications, plans, maquettes, prototypes …) alors ce domaine fait bien partie intégrante de l'innovation [SUH 90] [DUBOIS 99]. Les activités de conception permettent de définir complètement un système répondant à des fonctionnalités définies. Pour certains, la conception consiste à "donner un ensemble de propositions permettant de décrire le produit (forme, dimension, moyen d'obtention ...) et répondant globalement à un cahier des charges (fonctions à assurer, conditions de fonctionnement, durée de vie souhaitée, environnement, ...)" [TICHKIEWITCH et al. 93].

Innover revient finalement à concevoir un produit, un procédé, une organisation, qui présentent des fonctionnalités novatrices et qui sont susceptibles d'avoir un impact sur le marché. L'innovation ce n'est pas seulement la création d'une idée, ce n'est pas la conception d'un nouveau produit, ce n'est pas non plus le développement d'un nouveau marché mais c'est l'intégration simultanée de tous ces éléments [MARQUIS et al. 69] [MILLET 01]. Comme nous avons pu l'évoquer dans la première partie de ce mémoire (cf. §1.3.3.2), lors de la description du modèle d'innovation de Kline et Rosenberg, "les activités de conception impulsent l'innovation" [PERRIN 01]. La conception représente, pour de nombreux scientifiques, la colonne vertébrale du processus d'innovation. Cette activité est donc bien nécessaire à l'innovation mais elle n'est cependant pas suffisante. Pour innover il est nécessaire d'optimiser la conception en formalisant et en approfondissant les liens entre les différentes variables et disciplines qui gravitent autour de ce domaine (technique, marketing, ergonomie, design, maintenance…). Ces variables doivent être représentatives de l'ensemble du cycle de vie du futur procédé conçu et du produit en découlant.

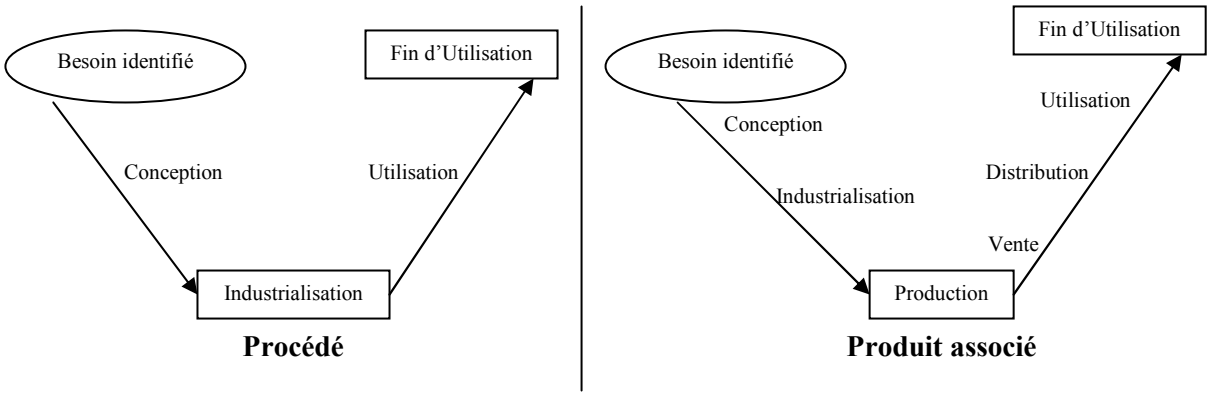


Figure 32 : Cycle de vie d'un procédé et d'un produit associé

Les acteurs de la conception, de par l'utilisation de sciences pour l'ingénieur et de sciences humaines et sociales, sont confrontés à la gestion d'une multitude de variables qui rendent le processus complexe [AOUSSAT 90] [LE MOIGNE 90]. La conception est une discipline transverse qui fait donc appel à des champs de connaissances pluridisciplinaires devant être maîtrisés [AOUSSAT 90] [BOCQUET 98]. Mais concevoir c'est aussi faire face à la complexité des tâches à réaliser, la complexité des buts à atteindre, la complexité de l'organisation ou encore la complexité intrinsèque des produits ou procédés associés. Pour mener à bien cette activité globale et gérer la corrélation entre cette multitude de disciplines, il est nécessaire de suivre un ensemble d'étapes élémentaires qui, agencées entre elles, forment **le processus de conception**.

2.1.1.2 La conception de machines innovantes : absence de formalisation chez Komori-Chambon

Nous avons, au cours de la première partie du mémoire, insisté sur l'objectif industriel que souhaitait atteindre l'entreprise : non seulement développer en collaboration un procédé de rechargement laser appliqué à la fabrication d'outillage de découpe, mais encore disposer à terme d'un outil de production lui permettant d'être autonome et de valider la mise en exploitation industrielle du système. Si l'on se rapporte à la figure 30 (cf. § 1.4.3.2) des paliers d'industrialisation du rechargement laser, nous faisons référence ici aux deux derniers niveaux : le développement d'un procédé pour une application singulière et la conception de l'outil de production.

Dans un contexte industriel d'externalisation, la conception de l'outil de fabrication est une étape nécessaire à la démarche d'innovation technologique. Si le donneur d'ordre désire à terme maîtriser son processus de fabrication, il faut qu'il puisse conduire et contrôler cette conception. En la réalisant en parallèle au développement externe, on créera ainsi un contexte propice à un échange plus direct entre la recherche appliquée et le milieu industriel. Par ce fait les deux partis concevront un outil de production plus proche des besoins du donneur d'ordre et adapté à son futur environnement (intégrable dans le processus de fabrication existant). L'innovation technologique passe donc d'abord par la conception de la machine de production.

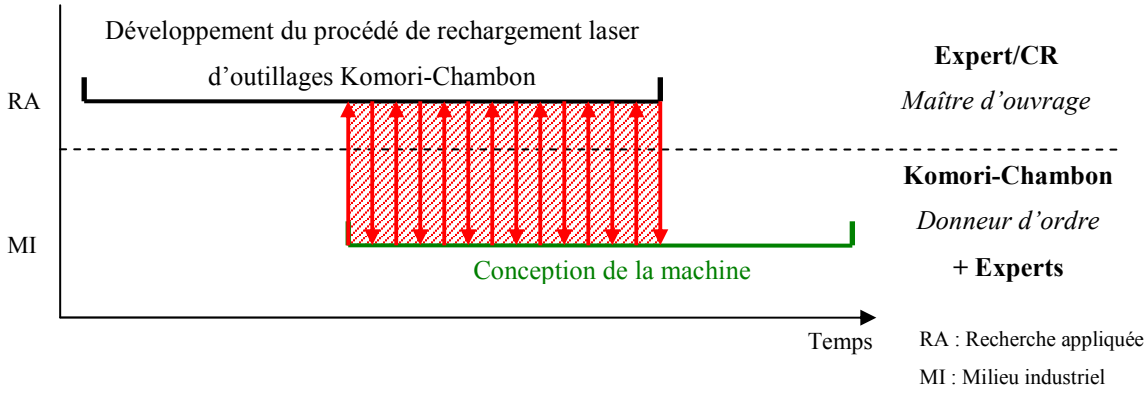


Figure 33 : Conception de la technologie

Cette constatation impose de nous appuyer sur un processus de conception bien défini. Nous nous sommes donc reportés, dans un premier temps, aux démarches de conception utilisées par la société Komori-Chambon pour concevoir ses presses rotatives. L'analyse effectuée nous a permis de constater que les processus mis en place étaient plus adaptés à des activités de re-conception (adaptation à des largeurs de carton et à des formes de boîtes différentes, implantation de nouveaux appareils au sein de la presse…) qu'à une conception totalement novatrice (cf. §1.2.1). Il n'y avait donc aucun support de référence (méthodes ou outils), pour initier et gérer la conception d'une machine innovante au service de la production.

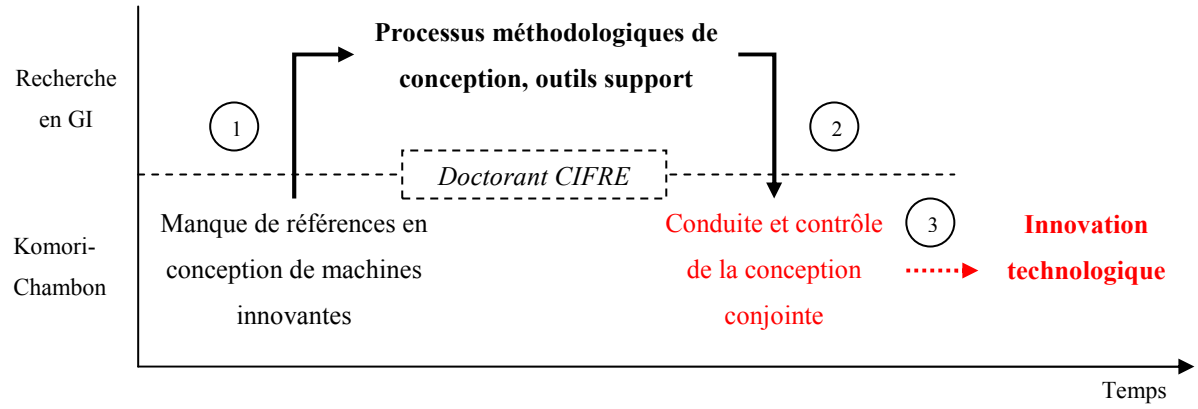


Figure 34 : Nécessité de faire appel à la recherche en Génie Industriel

Mon double rôle de doctorant Cifre et d'acteur d'interface (entre l'expert laser et le Service Découpage Rotatif de Komori-Chambon), m'a orienté naturellement vers le domaine du Génie Industriel afin de trouver des éléments de réponse à la problématique de mise en oeuvre de la conception de nouvelles machines. L'analyse bibliographique entreprise devait donc me permettre de trouver un support de conception approprié à notre contexte industriel et à notre volonté d'innover technologiquement.

2.1.1.3 Les processus de conception

Plusieurs écrits ont prouvé que les procédures de mise en œuvre de la conception étaient parfois disparates et non formalisées. Ceci engendrait alors des résultats matériels qui n'étaient pas conformes aux attentes du marché. Suite à ces nombreuses difficultés en entreprise, les scientifiques se sont attachés à proposer des modèles, relatant les différentes activités élémentaires participant à la conception, leur ordonnancement et les acteurs impliqués [PRUDHOMME 99]. Quelques laboratoires de recherche français sont très actifs dans ce domaine (le Laboratoire de Conception de Produits et d'Innovation de l'ENSAM Paris, le Laboratoire de Génie Industriel de l'Ecole Centrale de Paris ou encore le Laboratoire 3S de l'Institut National Polytechnique de Grenoble). Lorsque l'on dresse un état de l'art des processus de conception formalisés, on peut dissocier deux types de modélisation : les modèles séquentiels et les modèles simultanés.

Le premier modèle séquentiel qui a fait son apparition dans les années quatre vingt, est celui de Pahl et Beitz. Les auteurs proposent une "méthode systématique de conception" en quatre phases : Détermination des spécifications, Emergence des concepts, Conception

architecturale, Conception détaillée [PAHL et al. 84]. Ce modèle exclusivement axé sur l'aspect technique du futur produit permet, à partir de spécifications formalisées, d'aboutir à un concept (qualité, détail des formes, matières, tolérances, procédés…) prêt à être lancé en fabrication. Il est encore d'actualité dans les entreprises où les valeurs techniques du produit sont perçues comme uniques et où les délais de développement ne sont pas imposés par le marché et la concurrence. Ulrich propose, sur la même base, un modèle en six phases, un peu plus complet que celui de Pahl et Beitz, où s'ajoute une phase de tests et d'améliorations du produit (fabrication de prototypes) ainsi que la mise en place de l'industrialisation [ULRICH et al.00].

Cependant la caractéristique d'un processus séquentiel réside dans le fait que le résultat d'une phase constitue la donnée d'entrée de la phase suivante. Les personnes de différents métiers qui, devant s'impliquer dans une phase du projet, ne peuvent le faire que si toutes les étapes précédentes ont été validées. Aujourd'hui, face à un besoin grandissant en terme de réduction de délai de mise sur le marché et de coût de développement, les entreprises souhaitent limiter les incompatibilités ou des réitérations entre les phases. C'est ce que nous avions tendance à constater lors de l'application de ce type de modèles. Améziane Aoussat, dans la méthode de conception de nouveaux produits qu'il propose, essaie de pallier à ce problème. Son modèle est basé sur une organisation séquentielle mais itérative, intégrant dès le départ, l'ensemble du cycle de vie du produit (conception, industrialisation, production, distribution, maintenance, recyclage…). Cette prise en compte au plus tôt de la démarche, permet d'identifier toutes les contraintes relatives à l'ensemble des phases de vie du futur produit, procédé ou machine et d'établir le coût de chacune de ces étapes. C'est une approche pluridisciplinaire de la conception qui fait appel à des domaines transverses (la technique, l'ergonomie, le design, la qualité, le marketing…) [AOUSSAT 90]. Ce brassage de disciplines permet surtout aux concepteurs d'être plus proches des besoins du marché mais tend aussi à favoriser l'innovation. La démarche se divise en quatre phases : Traduction du besoin, Interprétation du besoin, Définition du produit et Validation du produit.

La première phase de "Traduction du besoin" doit permettre de formuler les performances et caractéristiques du produit à concevoir. L'outil principalement utilisé pour formaliser les besoins clients est l'Analyse Fonctionnelle Externe. La synthèse des diverses analyses réalisées (expression et validation du besoin par l'entreprise, connaissance du marché, de la

concurrence et des utilisateurs) permet d'aboutir à une représentation abstraite du produit. Le document final de cette phase est le cahier des charges fonctionnel (CdCF) qui regroupe l'ensemble des fonctions (primaire, secondaire, de contrainte) que doit remplir le produit au long de sa vie. La seconde phase consiste ensuite à interpréter le besoin en élargissant le champ des concepts possibles pour répondre aux attentes formulées. Cette phase fait appel à la créativité de chacun des concepteurs et participants. Pour stimuler l'esprit créatif, l'on fait appel aux techniques telles que le brainstorming, l'analogie, la purge, etc... Chacun des concepts issu de ces séances est formalisé sous forme de fiche idées. Chacune d'elle est évaluée suivant différents critères avant d'être consignée dans le cahier des charges concepteur (Cdc C) renfermant la description des concepts validés issus des différents métiers : Design (rough, maquette, prototypes démonstrateurs), technologie (les principes techniques, la fiabilité et les performances du produit) et marché (prévision, volumes et prix de vente, ...).

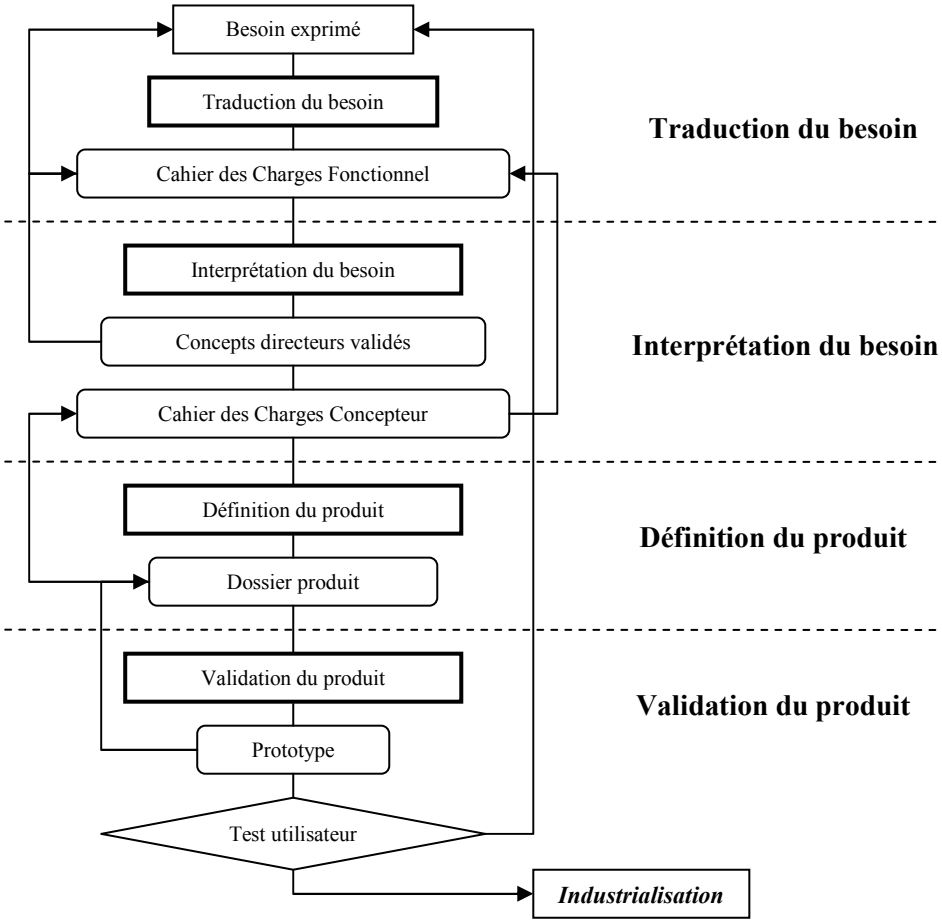


Figure 35 : La démarche de conception CPN [AOUSSAT 90]

La phase suivante consiste à définir le produit en vue de son industrialisation. Le cahier des charges concepteur ayant figé les différentes caractéristiques du produit, ce dernier est développé dans le détail. Toutes les données relatives au produit, à son architecture, aux technologies qui le composent, aux moyens à mettre en oeuvre pour le fabriquer, à l'organisation à mettre en place, aux résultats des études de fiabilité et des études technico-financières, sont inscrites dans un Dossier Produit. La "Validation du Produit" est une étape intermédiaire avant le lancement. Elle comporte la fabrication d'un prototype et la réalisation de tests utilisateurs qui permettront de vérifier que le besoin exprimé et les performances souhaitées (aspect d'usage et fonctionnel) sont atteints. Ce processus, malgré son organisation séquentielle, reste très ouvert à l'intégration de multiples disciplines (dès le début et tout au long de la démarche) et permet une certaine souplesse dans la réitération de certaines phases. Ces avantages le catégorisent comme un processus ouvert à toutes évolutions. Il n'est donc pas impensable de re-agencer ses tâches de conception de manière concourante.

Au détriment des modèles séquentiels, nous avons vu apparaître ces dernières années, des approches organisationnelles dites de *Concurrent Engineering*.

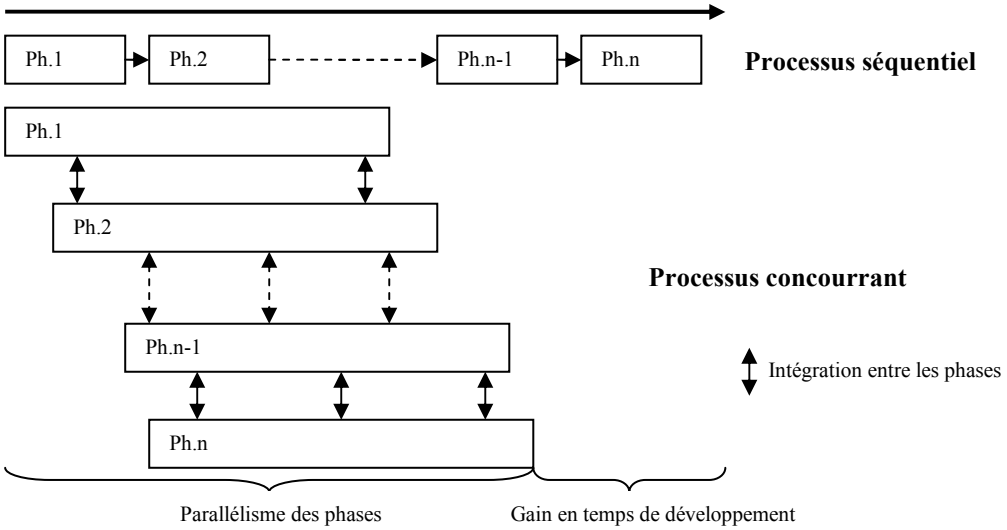


Figure 36 : Conception séquentielle / simultanée [BOURDICHON 94] [LONCHAMPT 04]

Au lieu de considérer le déroulement des phases comme séquentiel, les modèles se basent ici sur leur déroulement en parallèle. En effet, les problèmes de compatibilité entre certaines fonctionnalités du produit, proposées ou exigées par certains experts métiers, généraient des réitérations et donc des coûts et délais supplémentaires pour les entreprises qui utilisaient des

modèles séquentiels. Ces approches simultanées ont sans aucun doute permis aux sociétés de s'adapter aux besoins grandissants en terme de délai de mise sur le marché, de coût de développement, et de qualité du produit [DUBOIS 99] [LONCHAMPT 04]. Pour Pallot, les deux concepts innovants de l'ingénierie concourante sont d'une part l'optimisation, en terme de performance, du couple produit/processus et d'autre part la vision du cycle de vie du produit [PALLOT 04].

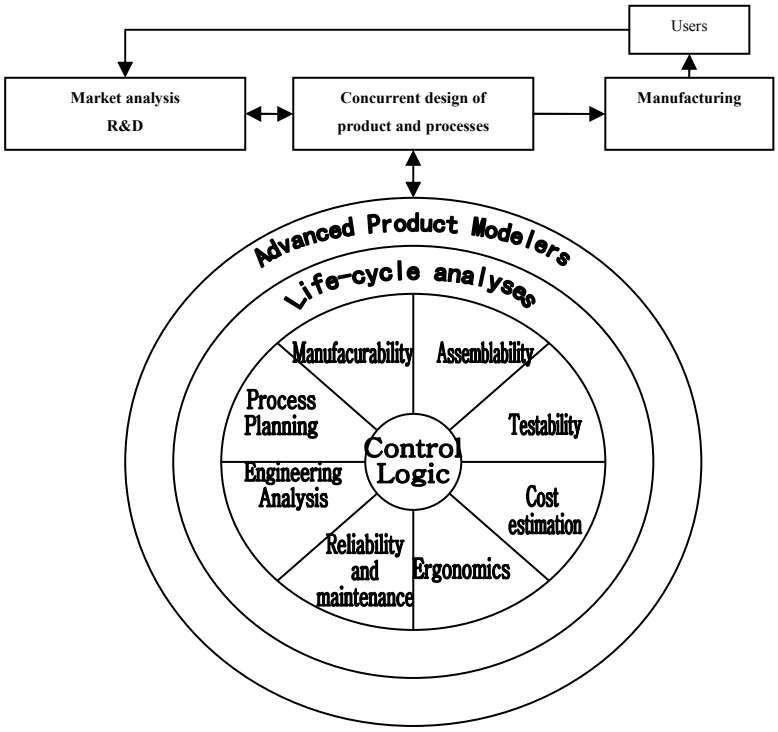


Figure 37 : La roue de l'Ingénierie Concourante [PARSAEI et al. 93]

Le produit mais aussi son système de fabrication, ses moyens d'assemblage et de production, son ergonomie, sa fiabilité, sa maintenance, ses moyens de logistique et de distribution sont pris en compte et définis aux mêmes instants. C'est donc une approche qui permet à tous métiers et à toutes disciplines d'intervenir au plus tôt dans le processus et ainsi d'anticiper certaines contraintes du produit [MIDLER 93]. Mais cet aspect de simultanéité de la conception nécessite, pour être efficace, une réelle intégration de tous les aspects ou caractéristiques définis au cours des phases précédentes. Une telle approche ne peut être menée par tous types d'entreprises puisqu'elle nécessite une coordination rigoureuse, une coopération structurée et une ouverture à des organisations nouvelles telles que les plateaux projets (directeur de projet, chefs de projets métiers, intervenants extérieurs) [PRUDHOMME

99]. De ces nouvelles approches d'ingénierie concourante se sont déclinés des modèles de processus de conception simultanée ou intégrée [PARSAEI et al.93]. La complexité à gérer cette simultanéité a amené le laboratoire 3S à focaliser une partie de ses travaux de recherche sur l'intégration des diverses connaissances dans la conception, l'interaction des experts et la définition de critères d'évaluation [BRISSAUD et al. 98].

Nous avons passé en revue quelques modèles du processus de conception proposés dans la littérature. Cette présentation n'est pas exhaustive (l'Analyse de la Valeur, le *Total Design*, l'*Axiomatic Design*, le *Conceptual Design*…) car chacun des modèles bibliographiques s'appuie sur des caractéristiques propres à un objectif particulier de conception. On dit que la diversité des modèles et méthodes de conception, est essentiellement due à la diversité des produits à concevoir. Cependant parmi les multiples pratiques on ne retrouve qu'une seule et même trame : Connaître et comprendre les besoins des clients, Définir les problèmes à résoudre, Conceptualiser la solution, Optimiser la solution, Vérifier la conception [SUH 90]. Nous avons pu noter qu'aujourd'hui, face à une concurrence des marchés de plus en plus intense, les délais de développement et de mise sur le marché des produits deviennent des critères essentiels pour l'entreprise. La conception a donc tendance à devenir parallèle, simultanée et collaborative. Le processus de conception reste néanmoins très singulier. C'est une démarche qui est "contextuelle et fonction des acteurs et de leurs logiques d'action propres, de la situation problématique à laquelle ils sont confrontés, de leurs connaissances personnelles, des outils dont ils disposent" [ROUCOULES 99].

Nous avons choisi de concevoir notre machine de rechargement laser de cylindres de découpe en nous appuyant sur la méthode d'Améziane Aoussat. Nous pensons qu'elle est la plus adaptée face à des problèmes de ressources et d'organisation, mais aussi à une inexpérience en conception innovante : les spécificités liées au contexte industriel dans lequel nous nous trouvons.

2.1.1.4 Les outils de la conception : l'AFE, le SADT, l'AMDEC…

Comme nous l'avons souligné précédemment, il a été nécessaire de développer des outils méthodologiques pour pouvoir supporter ces différentes étapes de la conception. Ces supports ont permis, au fil du temps, d'optimiser l'activité et de fiabiliser les produits conçus. La bibliographie à ce sujet étant très riche, nous nous contenterons de décrire brièvement les

outils que nous avons utilisés sur le terrain, comme support des méthodes de conception présentées précédemment.

L'Analyse Fonctionnelle permet de poser et formaliser les bases d'un projet, de manière à ne jamais se détourner de ces objectifs lors de la conception. La modélisation SADT aide le concepteur à mieux visualiser les relations dans un système complexe. Il identifie alors plus facilement les problèmes locaux. Enfin l'outil AMDEC, qui permet de valider la conception ou d'identifier les points non satisfaisants, par l'analyse des modes de défaillance du futur système ou produit. Sachant que notre contexte se situe dans le cadre de la conception d'un procédé à forte dominante technique, nous avons volontairement choisi d'occulter les nombreux outils développés dans le domaine du Design, de l'Ergonomie ou encore de la Créativité et qui sont tout aussi importants dans l'optimisation de la conception.

2.1.1.4.1 L'Analyse Fonctionnelle Externe : le Cahier des Charges Fonctionnel

L'Analyse Fonctionnelle est une étape de la démarche de conception d'Analyse de la Valeur (AV). Elle est définie par les normes AFNOR qui standardisent les pratiques fonctionnelles dans l'industrie [NF-X-50-100] [NF-X-50-152]. C'est une démarche qui doit permettre de rechercher, ordonner, caractériser, hiérarchiser les fonctions du produit attendu par l'utilisateur [NF-X-50-100]. On retrouve dans l'AV deux types d'Analyse Fonctionnelle: l'Analyse Fonctionnelle Externe (AFE) et l'Analyse Fonctionnelle Interne (AFI). L'une s'intéresse aux relations externes entre un nouveau produit et son futur environnement et l'autre à la re-conception de produits (optimisation du coût des fonctions).

Nous axerons notre description sur l'Analyse Fonctionnelle Externe (AFE), qui paraît être plus en adéquation avec notre contexte d'innovation au sein d'un processus de fabrication d'outillages de découpe (nouvelle conception de procédé). L'AFE permet de valider le besoin exprimé et de structurer le processus de conception en donnant à l'objet technique des fonctions déterminées. Elle se décline en cinq étapes : l'expression et la validation du besoin fondamental, la détermination du cycle de vie du produit, la détermination des milieux extérieurs, la définition des fonctions de service, la caractérisation des fonctions de service, la valorisation des fonctions [DUBOIS et al. 00] [APTE 03]. Dans un premier temps, il est nécessaire d'analyser le besoin qui justifie le projet afin de ne pas privilégier des solutions

déjà connues. Il convient donc d'expliciter l'exigence fondamentale qui initie la nouvelle conception via un outil de représentation appelé "Bête à Cornes" (méthode APTE).

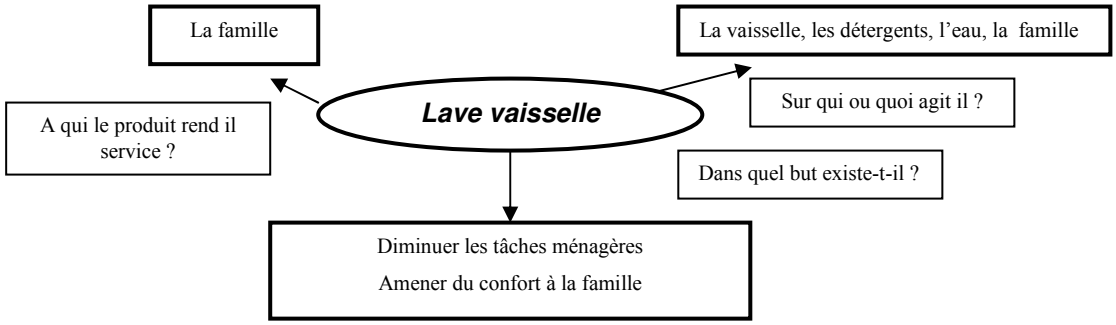


Figure 38 : Exemple de "Bête à Cornes" d'un lave vaisselle

Une fois la pertinence du projet validé par l'ensemble des acteurs, il s'agit de déterminer les phases de vie du produit et les interactions (fonctions) entre le système et son milieu extérieur. Cette approche fonctionnelle, promeut un raisonnement inductif qui impose, avant toute recherche de solutions, de définir les finalités du bien. L'ensemble des fonctions, auquel doit répondre le futur produit tout au long de son cycle de vie, est regroupé dans un Cahier des Charges Fonctionnel. Ce dernier doit être représentatif de l'expression fonctionnelle du besoin des utilisateurs. On peut différencier trois types de fonctions [DUBOIS et al. 00] [TASSINARI 97]: **les fonctions principales** (Quelles sont les raisons pour lesquelles l'objet a été créé ?) qui traduisent une relation entre le système et au moins deux éléments du milieu extérieur, **les fonctions secondaires** qui représentent le même type de relation mais leur importance est plus faible vis-à-vis de l'utilisateur (représentative d'un besoin complémentaire) et **les fonctions de contrainte** (Quelles sont les contraintes auxquelles l'objet doit satisfaire ?) qui traduisent une relation de contrainte entre le système et un seul élément du milieu extérieur. On peut identifier ces fonctions à partir de l'outil Pieuvre utilisé par la méthode APTE (cf. Annexe 3). Ces dernières ne doivent, en général, pas faire état d'un caractère qualitatif ou quantitatif lorsqu'elles sont posées.

Ce n'est qu'une fois listées dans un tableau que nous pouvons leur conférer des critères aidant à apprécier la manière dont elles doivent être remplies (le critère d'appréciation, le niveau du critère d'appréciation, la limite d'acceptation, la flexibilité, la classe de flexibilité et le taux d'échange). Cette caractérisation des fonctions permet de fixer certains choix en conception.

On remarquera que, dans la plupart des cas pratiques, les concepteurs n'utilisent pas l'ensemble des moyens de caractérisation disponibles (cf. Annexe 3).

Le Cahier des Charges Fonctionnel est devenu un des outils incontournable de la conception de produit permettant, à travers la formalisation du besoin des futurs utilisateurs, de définir et paramétrer les différentes fonctions auxquelles doivent répondre les concepts. Ce cahier des charges, une fois rédigé, doit être validé par l'ensemble des acteurs du projet.

2.1.1.4.2 Le SADT (*Structured Analysis and Design Technic*)

Le SADT, est comme son nom l'indique, une technique structurée d'analyse et de modélisation des systèmes. Elle a été créée en 1978 par une société d'ingénierie informatique dans le but de maîtriser la conception de ses logiciels. C'est un outil qui met en évidence les fonctions à assurer (d'un processus, d'un procédé, d'un produit, d'une machine ou d'une organisation) en proposant une approche hiérarchique descendante et modulaire (datagrammes ou actigrammes).

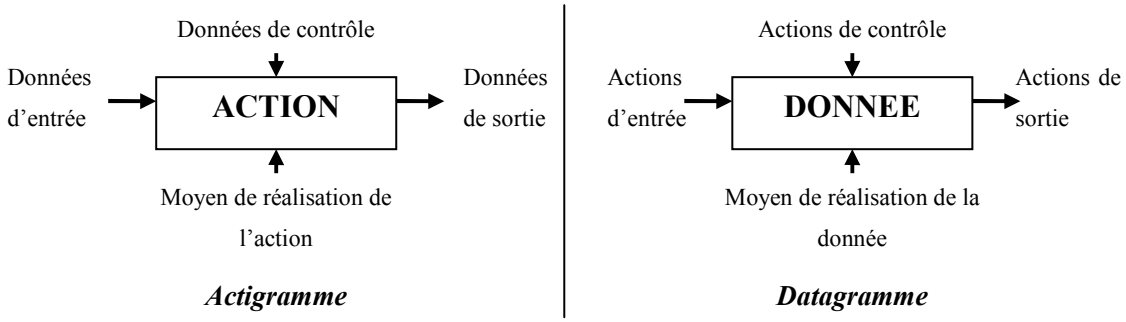


Figure 39 : Actigramme et Datagramme de l'outil SADT

L'actigramme représente un diagramme d'activité qui transforme, modifie, change une ou plusieurs données d'entrée, à l'aide de supports et sous contrôles, pour générer une ou plusieurs données de sortie. Chaque action est décomposée en sous-actions plus précises. Le plus haut niveau (A-0) englobe l'ensemble du système ou du problème. Les niveaux inférieurs (A0, A1, A2,…A11, A12…) sont ensuite décomposés en respectant les entrées et sorties du niveau supérieur. Cette décomposition en sous-activités se poursuit jusqu'à atteindre le niveau souhaité par l'utilisateur. La représentation du datagramme se base sur le même principe, à l'exception près que ce sont les données qui modifient les actions.

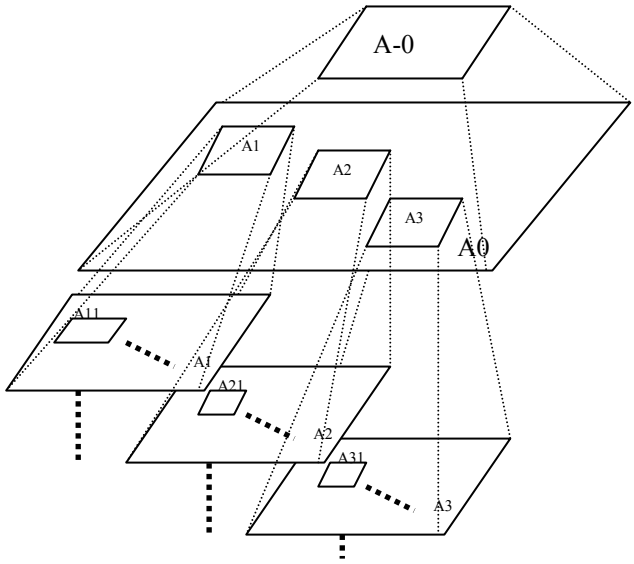


Figure 40 : Décomposition d'une modélisation SADT

Pour décrire et concevoir son travail, le chef de projet peut recourir au SADT. Par son formalisme et son principe de décomposition, il est compréhensible par la quasi totalité des acteurs projets. Ceux-ci pourront donc **communiquer sur une base commune** et seront à même de venir l'enrichir. L'objectif de ces représentations revient essentiellement à visualiser et identifier les problèmes liés aux processus industriels et à leur complexité en spécifiant clairement ce que nous voulons obtenir avant de définir comment l'obtenir. C'est un outil garant de la fiabilité et de la qualité en conception qui peut venir compléter des outils de gestion de projet (PERT et GANTT).

2.1.1.4.3 L'AMDEC

L'Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC), a été initialement créée en 1960 pour améliorer la prise en compte de la fiabilité des équipements aéronautiques [FAUCHER 04]. Malgré son coût et sa lourdeur d'application, son utilisation s'est très rapidement étendue à de nombreux domaines (la conception, la production, la qualité, la maintenance, la sécurité…). Dans le cadre de la conception, l'AMDEC est employée comme soutien de l'activité, sur une base d'évaluation prévisionnelle des risques de défaillance dans l'obtention d'un produit ou d'un procédé plus performant en terme de fiabilité. Cet outil se positionne généralement dans la phase de "Définition du produit" de la démarche d'Aoussat (cf. Figure 35) afin d'identifier et de rechercher les faiblesses potentielles d'un produit ou d'un système. On retrouve trois types d'AMDEC suivant les besoins

souhaités : l'AMDEC Produit (pour augmenter la fiabilité du produit), l'AMDEC Processus (pour aider à valider l'industrialisation) et l'AMDEC Moyen de production (pour fiabiliser la conception de ce moyen par rapport à la gamme de fabrication). Quel que soit le mode choisi, le cheminement est identique. Il est recommandé avant d'effectuer une AMDEC, de bien connaître le fonctionnement du système analysé ou d'avoir les moyens de se procurer l'information auprès de ceux qui la détiennent [GABRIEL 05]. Dans un premier temps, il est donc nécessaire d'avoir réalisé une décomposition fonctionnelle et organique du système. Les résultats de l'analyse fonctionnelle externe ou interne sont donc les principales données d'entrée de base de l'AMDEC. A partir de ces éléments il est possible de déterminer la manière dont les défaillances pourraient apparaître (modes de défaillance), les évènements initiateurs de ces dernières (causes de la défaillance) ainsi que leurs conséquences sur les utilisateurs (effets de la défaillance).

L'AMDEC permet non seulement d'identifier les modes de défaillance d'un système ou des composants d'un système, mais aussi de les hiérarchiser en fonction de leur criticité, ceci dans le but de mener des actions correctives face aux défaillances jugées inacceptables. Cette Criticité est définie dans la bibliographie comme étant le produit de la Fréquence d'apparition des défaillances, de leur niveau de Gravité et de leur probabilité de non Détection (C=F*G*D) [GABRIEL 05] [RIDOUX 02]. Le groupe de travail ou le chef de projet devra affecter une échelle de notes à chacun de ces trois critères. Une réduction de cette criticité pourra être menée par des actions correctives en réduisant un ou plusieurs de ces critères.

Elément	**Modes de défaillance**	**Effets de la défaillance**	**Causes de la défaillance**	**F**	**G**	**D**	**C**	**Actions correctives**
Pignon	Dents cassées	Déraillement de la chaîne	Usure due au contact de la chaîne	3	3	4	36	
				1			12	Revêtement anti-usure
Capteur	Mauvaise information	Mauvaise gestion de flux	Capteur obturé autrement que par le produit convoyé	3	1	2	6	
				2			4	Surveillance opérateur
Vérin	Blocage vérin position rentré	Flux d'emballage non contrôlé	Pas assez de pression	1	2	4	8	
						1	2	Contrôle pression par manomètre

Figure 41 : Exemple d'un tableau AMDEC d'un système de convoyage

La richesse de l'AMDEC vient, pour une grande part, de l'identification des composants d'un système, de leur fonction et de leurs modes de défaillance associés, l'objectif étant d'éliminer ou de minimiser les conséquences de ces défaillances [FAUCHER 04]. Cet outil conduit tout naturellement à augmenter les connaissances sur le processus. Il est cependant limité par ses difficultés d'analyser l'apparition simultanée des deux défaillances. En effet, il est fait l'hypothèse que tout le reste du système fonctionne correctement lors de l'analyse d'un mode. Les combinaisons de défaillances pourront être traitées par des outils complémentaires tel que la méthode des arbres de défaillance.

Il existe de nombreux autres outils pour aider le concepteur à gérer son projet du mieux possible et surtout mettre sur le marché un produit innovant. Nous avons ici occulté les **outils de créativité** qui permettent une recherche optimum de solutions (les matrices de découverte, le brainstorming, la métaphore, l'analogie, la purge, le QQOQCP, la méthode TRIZ…) et la naissance d'un maximum de concepts [DEGRANGE 92]. De nombreux **outils de design** ont aussi été développés pour améliorer la prise en compte du domaine dans la conception de nouveaux produits : le brief, le scénario, le mapping sémantique, la planche de tendances, le rough… [BOUCHARD et al. 99]. De même que l'on retrouve de plus en plus d'outils devant faciliter la communication, le partage et la diffusion entre les différents métiers lors de la conception. Outre la **CAO**, la **DAO** et le **prototypage rapide**, on relèvera les outils singuliers de transfert de données [MINEL 03] [LEGARDEUR 01]. Ces supports offrent aux différents acteurs la possibilité de se retrouver face à des bases communes pour optimiser la conception.

2.1.1.5 Les modes d'organisation en conception

Comme nous le soulignions précédemment lors de la description des processus de conception (cf. §2.1.1.3), de nouvelles formes d'organisation se développent pour optimiser ces activités. Elles sont la conséquence des volontés de regroupement et d'intégration de différents acteurs métiers (technologue, designer, ergonome, mercateur…) dans les projets de conception de nouveaux procédés et produits. Ce travail pluridisciplinaire aide à mettre en commun, en amont des projets, les prescriptions de chaque métier. Il permet ainsi d'éviter la prise en compte de certaines fonctionnalités ou contraintes du produit trop tardivement dans un projet. Comme le décrit Améziane Aoussat, "la conception de produit est nécessairement une

discipline horizontale dans laquelle la maîtrise des points de rencontre avec des *disciplines carrefours* est indispensable" [AOUSSAT 90]. La conception de produit passe donc obligatoirement par la mise en place d'un environnement, commun à tous les acteurs, qui puisse faciliter le travail coopératif et les échanges au cours du processus [POVEDA 01]. Un des modes d'organisation le plus reconnu en conception est le plateau projet. Cette structure s'organise exclusivement autour du produit à concevoir. Les acteurs des différents métiers sont physiquement délocalisés en un lieu commun, ce qui leur permet d'accroître la communication entre les différents intervenants.

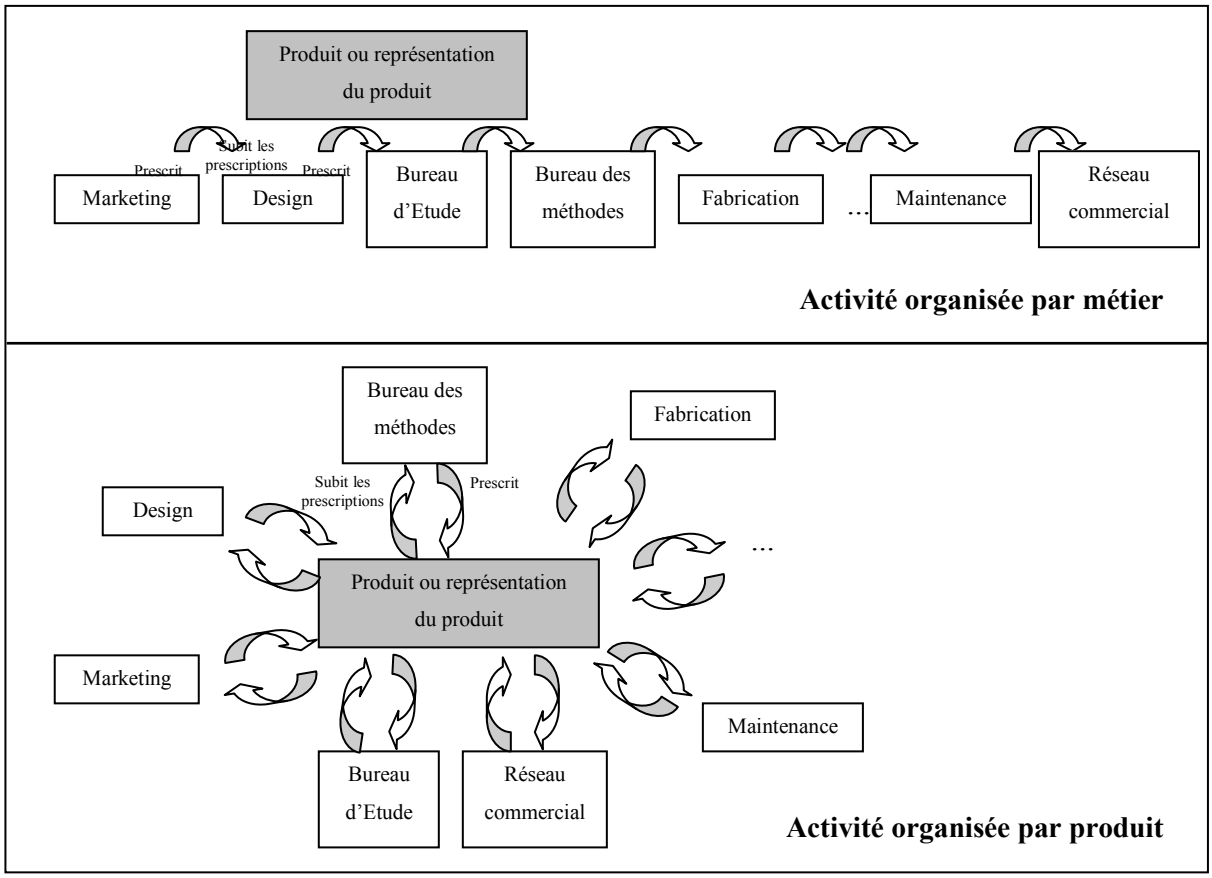


Figure 42 : Conception centrée métier / Conception centrée produit [POVEDA 01]

Les différents acteurs de la conception peuvent donc se retrouver à travailler ensemble dans les mêmes lieux (mode synchrone), comme ils peuvent être amenés à travailler dans des lieux différents (mode asynchrone). Les organisations et échanges ne sont alors plus les mêmes. Comme le soulignent Blanco et Gardoni, les croquis ou modèles CAO sont le plus souvent accompagnés d'explications orales qui n'existent plus lorsque l'on travaille ensemble dans des lieux différents [BLANCO 98] [GARDONI 99]. Ces nouvelles approches peuvent donc

mettre rapidement en évidence des manques de coordination, de gestion et de compréhension des différentes interventions au cours du processus. Il n'est donc pas si simple de passer d'une conception centrée métier (conception séquentielle) à une conception centrée produit (conception intégrée).

Les modes d'organisation sont donc non seulement liés aux caractéristiques du produit mais aussi aux entreprises et aux compétences qu'elles renferment. On comprend alors aisément que la formalisation de ces organisations est propre à chaque projet et chaque catégorie d'entreprise. Chacun doit donc être capable de développer ses propres organisations en fonction de son contexte industriel. C'est notre cas puisque nous nous retrouvons dans une situation un peu particulière : un développement externalisé (asynchrone) mais aussi un développement interne sur des post-traitements qui doit s'intégrer dans la conception de la nouvelle machine (synchrone).

2.1.1.6 Positionnement des méthodes et outils dans notre contexte

Notre contexte de développement et de conception d'une machine de rechargement laser singulière est particulier. Nous nous retrouvons dans le cadre d'une PME qui souhaite innover sur son processus de production mais qui n'a pas d'importante pression du marché pour réduire au maximum ses délais de développement. Le concept d'ingénierie simultanée n'a donc pas ou peu de sens d'application. Par ailleurs l'entreprise n'a pas les ressources humaines et financières pour pouvoir réunir autour de son projet une organisation multidisciplinaire (organisation en plateaux projets, implication de nombreux sous-traitants, coordination de plusieurs services internes à l'entreprise…). De plus, cette société n'ayant aucune expérience dans la conception de moyens innovants, il n'était donc pas envisageable d'opter pour une démarche simultanée. Nous avons donc choisi, lorsque nous avons repris le projet déjà bien entamé (développement validé), de nous appuyer sur la méthode de conception d'Améziane Aoussat. Cette démarche nous paraissait assez claire et simple pour être suivie par une PME peu experte en la matière. De plus, ce processus est assez ouvert à l'introduction d'expert métiers et à la coopération pluridisciplinaire pour enrichir la conception. En effet, même si notre conception peut paraître comme ne faisant appel qu'à des caractéristiques techniques, elle doit pouvoir s'ouvrir à des domaines externes à l'entreprise (les matériaux, la métallurgie, les lasers, l'optique, la mécanique des fluides…) pour être

efficace. Nous avons donc repris chacune des phases de la conception en recommençant par la formalisation du besoin fondamental de l'entreprise.

Certains des outils support de l'activité de conception ont été présentés précédemment sans que leur intervention n'ait été positionnée dans le processus.

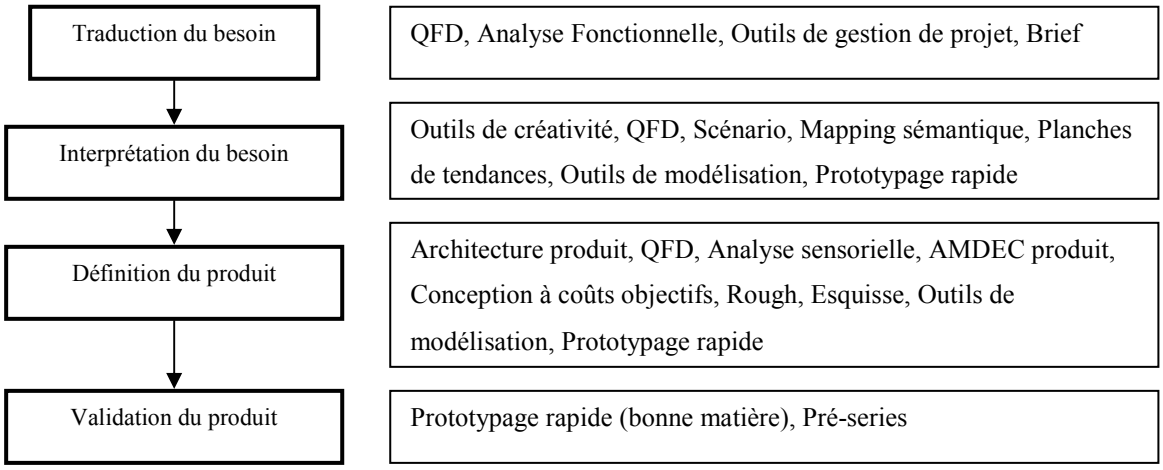


Figure 43 : Positionnement des principaux outils de la conception

Face à cette multitude d'outils nous avons dû faire un premier choix par rapport à nos attentes et nos objectifs. Le premier outil sur lequel nous nous sommes penchés fut l'Analyse Fonctionnelle. Elle nous a permis de redéfinir le besoin réel du service Découpage Rotatif de Komori-Chambon, mais aussi de formaliser les fonctions de service et de contrainte que devait remplir la future machine au long de son cycle de vie (cf. Annexe 3). En effet, des analyses stratégiques de réduction des coûts et des délais avaient été définies, mais aucun des objectifs techniques macroscopiques et microscopiques n'avait été formalisé. La rédaction d'un Cahier des Charges Fonctionnel et la hiérarchisation des fonctions étaient donc primordiales pour établir les bases et les lignes directrices de notre projet.

Dans un second temps nous avons, après avoir analysé en profondeur les processus de fabrication actuels au sein de la société, modélisé ceux-ci via la méthode SADT (cf. Annexe 4). La confrontation de ces représentations communes du processus actuel et du futur processus a mis en relief les premières différences. De plus cette formalisation nous a aussi aidés à nous familiariser avec le processus actuel (nouveau dans l'entreprise) et à réunir les informations indispensables à la conception et l'intégration de notre futur moyen de

production dans l'environnement actuel : les fonctions remplies, les acteurs, les biens d'équipement, les spécifications (cahier des charges, données de contrôle), les flux de données. Elle servira de support décisionnel dans la conception et permettra de visualiser le positionnement du futur procédé ainsi que ses influences sur l'environnement actuel de l'entreprise.

L'Analyse Fonctionnelle et le SADT sont deux outils de la conception qui se sont proposés à nous pour traduire le besoin fondamental de l'entreprise et analyser son organisation actuelle. Alors que l'entreprise était déjà dans une phase de définition du procédé de rechargement laser, en collaboration avec le sous-traitant expert, des problèmes techniques apparaissaient sur des pièces d'essais sans que la cause en puisse être trouvée. Ces problèmes (porosités au sein du dépôt) rédhibitoires pour Komori-Chambon, étaient présents depuis le début du projet sans avoir jamais été mis en évidence. L'analyse fonctionnelle réalisée à cette époque avait mis rapidement l'accent sur le manque de maîtrise technique de la partie "rechargement laser" en interne et donc à fortiori de l'ensemble du futur processus de fabrication. Tout cela sans que pour autant cette démarche ou ces outils ne puissent nous apporter de réponses concrètes quant à la mise en œuvre d'une collaboration plus efficace et quant à la garantie d'obtenir une innovation technologique.

2.1.2 La collaboration interdisciplinaire

Nous avons vu précédemment que les démarches et outils de la conception avaient mis rapidement en relief, dans notre contexte, des lacunes dans la communication et le transfert des connaissances entre le développement interne (rechargement laser) et le développement externe (post-opérations) : deux développements qui sont pourtant complètement dépendants (cf. § 1.4.4). Nous reviendrons dans ce paragraphe sur les raisons pour lesquelles une PME comme Komori-Chambon, s'est vue obligée de mettre en place un ou plusieurs partenariats ou collaborations pour innover technologiquement dans le domaine de l'outillage de découpe. Nous verrons ensuite quels types de relation ont été mis en œuvre avec le sous-traitant expert. Nous montrerons que pour pouvoir utiliser toute la puissance de la collaboration il est nécessaire avant tout de favoriser la communication entre les différents acteurs. Sachant que collaborer revient à transmettre un peu de son savoir, à partager des expériences et à faire valoir son métier dans l'activité de conception, on comprend aisément que les échanges n'aient pas été, jusqu'à présent, sans difficulté.

2.1.2.1 Les freins à l'innovation : genèse de la collaboration

Aujourd'hui même si l'innovation technologique semble être une passerelle stratégique vers l'accroissement de la compétitivité (cf. § 1.3.4), il n'en reste pas moins que de nombreuses entreprises connaissent, dans ce domaine, de cinglants échecs. Si l'on se réfère aux chiffres relevant d'une enquête du Ministère de l'Industrie, 60% des entreprises innovantes retardent leurs projets innovants et 30 % d'entre elles les abandonnent [SESSI 99]. Il existe donc bien des freins à l'innovation dans les PME comme dans les grands groupes. Mabile, dans son ouvrage, recense cinq facteurs d'échecs majeurs rencontrés au cours de la conduite de projets innovants [MABILE 02] :

- le manque d'adhésion des équipes au projet (sensibilisation inadéquate, objectifs stratégiques trop flous…)

- l'écart entre les attentes initiales du marché et la réalisation du produit (mauvaises définitions et formalisation des besoins fondamentaux et secondaires, non respect de ces derniers dans les phases de conception)

- le manque de qualité et de fiabilité du produit (démarche de conception non aboutie, mauvaise utilisation de l'AMDEC et des outils qualité…)

- l'arrivée d'un produit encore plus innovant sur le marché avant terme (retard de développement inhérent à des problèmes techniques, problèmes de planification, processus de conception trop séquentiels…)

- **les difficultés dans la maîtrise des processus techniques et industriels** (manques de compétences internes, problématiques de technologies de pointe, complexité des procédés et processus…)

Aux raisons inhérentes à la taille et le statut de chaque entreprise, vient s'ajouter le manque de ressources humaines, techniques et financières des PME [BEISSIERE 92] [MERCIER 98]. En effet, même si les PME présentent des systèmes et structures propices à l'innovation (circuits d'information courts, forte adaptabilité aux évolutions…), il n'empêche que ses faiblesses en ressources et en outils méthodologiques sont des freins manifestes à l'innovation technologique [THOUVENIN 02]. Nous nous focaliserons sur le dernier facteur noté par Mabile qui est, à notre sens, celui pour lequel l'entreprise Komori-Chambon s'est tournée vers

une aide extérieure. Le manque de ressources techniques en interne (aucune compétence dans les techniques laser) ont poussé les décideurs à mettre en place une collaboration avec un centre de recherche et un sous-traitant expert. Lorsque l'on fait un état de l'art des principes à respecter pour réussir une innovation, s'ouvrir vers l'extérieur ou coopérer est une préconisation qui revient constamment [BOLY 04] [MABILE 02]. Cette démarche permet d'aller chercher de la connaissance et de la compétence métier dans d'autres domaines que ceux de l'entreprise. Cette diversification amène à faire évoluer les savoirs scientifiques et connexes dans le but d'améliorer la compétitivité de l'entreprise. Pour d'autres auteurs, collaborer en interne ou en externe est une condition nécessaire à l'innovation : "Mettre en œuvre une innovation de procédé nécessite plus que jamais d'instaurer le travail collaboratif des acteurs au sein du processus de conception" [LEGARDEUR 01] [ANTIDE 97].

La démarche des entreprises devient cependant, aujourd'hui, très contradictoire puisque ces dernières cherchent à se recentrer sur leur métier de base en externalisant quelques unes de leurs activités (secteurs de l'automobile par exemple) tout en essayant de favoriser la conception de ses produits par la concourrance et la coopération métier [CLARK et al. 91] [MIDLER 93]. Ce qui n'était avant qu'une simple coordination des contributions de chacun des concepteurs devient, de plus en plus, une problématique de mise en œuvre de la collaboration interdisciplinaire. L'introduction de ce type de pratiques en entreprise, ces dernières années, se révèle être un réel catalyseur d'innovations. En effet, pour certains sociologues de l'innovation tels que Akrich, Callon ou encore Latour, ce sont **les innovations qui créent de la collaboration et qui en résultent simultanément** [SEGRESTIN 03].

2.1.2.2 La collaboration interdisciplinaire : quelles difficultés ?

Lorsque l'on parle de collaboration, de co-développement ou encore de partenariat, on évoque un fonctionnement en groupe (partage des ressources, des connaissances et des moyens) pour la réalisation d'objectifs communs. Au contraire d'une coopération, la collaboration doit engendrer la réalisation d'un produit fini. Cette pratique fait donc partie intégrante des activités de conception puisque comme le dit Segrestin, dans sa thèse, "les activités de conception et de développement de produit apparaissent comme le point nodal où vont devoir s'articuler renouvellement des produits, dynamique d'apprentissage et dynamique des relations" [SEGRESTIN 03]. En se référant à la bibliographie sur le sujet, nous avons pu

relever cinq critères majeurs permettant la réussite d'une collaboration ou d'un co-développement [GAREL et al. 98] [LAIGLE 95] [LEGARDEUR 01] :

- Choix précoce du fournisseur ou partenaire (dès les phases exploratoires) sur des critères stratégiques (compétences techniques, moyens, collaboration à long terme)

- Périmètre d'activité élargi pour le fournisseur

- Le fournisseur s'engage sur une responsabilité de résultat global

- **Une exigence de communication étroite, continue et transparente** (identifier les problèmes rapidement, instruire en commun des solutions…)

- Une intégration de la logique économique et technique

Notre contexte industriel particulier nous a amenés à nous focaliser sur le critère de communication qui est apparu à nos yeux, comme prépondérant dans la réussite d'un co-développement et finalement le plus délicat à respecter. Nous nous sommes retrouvés, selon la définition de Denis, dans le cadre d'une collaboration interdisciplinaire : c'est-à-dire une collaboration entre personnes de disciplines différentes, en vue d'apporter de la complémentarité [DENIS 03]. Et comme le dit Midler, la mise en présence et la rencontre des experts métiers ne suffit pas à garantir et à instaurer la collaboration [MIDLER 93] [SARDAS et al. 02]. Une collaboration ne s'improvise pas ; il est indispensable d'avoir développé un langage commun afin de partager les cultures métier [MABILE 02]. On ne peut donc parler de travail collaboratif que lorsque deux ou plusieurs personnes : échangent des points de vue sur des informations existantes, planifient et gèrent leur temps, organisent leur travail, partagent de l'expérience, définissent des objectifs communs, construisent des informations et des compétences par leur travail commun [BOCQUET 00]. On tire alors essence de la spécificité de chaque discipline où chaque acteur doit exprimer son regard sur le problème tout en comprenant le point de vue de l'autre [MINEL 03]. Il faut qu'il y ait une envie de part et d'autre, que chaque acteur soit prêt à donner un peu de sa compétence et de ses connaissances pour avancer ensemble.

Les différents projets de conception en industrie ont montré que le phénomène de collaboration, dès les phases amont, est d'autant moins évident à instaurer que les incertitudes techniques sont nombreuses (tous projets innovants). Il est à noter qu'aujourd'hui, après

quelques années d'expérience, les grands groupes commencent à bien maîtriser ces pratiques de travail collaboratif (conception en plateau projet…). Le fait que les tâches soient éclatées et accomplies par des équipes distinctes dans les grandes structures a favorisé son intégration. Ce n'est pas le même tableau pour les PME-PMI où, généralement, le concepteur est habitué à réaliser seul toutes les tâches [MERCIER 98]. Il est donc, a fortiori, d'autant moins habitué à partager ses activités avec d'autres, à communiquer sur ses expérimentations et encore moins à interagir avec d'autres experts. Il est clair que la collaboration se base essentiellement sur les capacités de communication et d'interaction de chacun des acteurs et donc la formalisation d'un espace d'échange où le langage est assimilable par tous les acteurs. Les différents contextes industriels qui ressortent de notre état de l'art, mettent en exergue des difficultés pour faire naître des collaborations métiers entre les disciplines techniques et connexes à l'entreprise (exemple de l'ergonomie et de la mécanique [MINEL 03], de l'environnement et l'électronique [JACQUESON 02], …). Cependant les problématiques de collaboration entre deux ou plusieurs disciplines purement techniques ne sont pas à écarter car elles sont loin d'être évidentes (exemple des matériaux et de la vibro-acoustique [LEGARDEUR 01]).

Dans le cadre de la conception de notre processus de fabrication d'outils de découpe par rechargement laser, nous avons dû avoir recours à la collaboration métier. La part d'inconnu dans les projets innovants peut être divisée en trois catégories : le domaine du connu mais non formalisé, le domaine de l'inconnu pour l'entreprise mais connu et maîtrisé d'un point de vue technique et scientifique à l'extérieur de l'entreprise par les organismes experts et le domaine de l'inconnu pur qui se situe aux limites de la connaissance technique et scientifique [MERCIER 98]. Cet inconnu, notamment sur les techniques laser, était trop important pour que la PME puisse gérer ce projet toute seule. Nos premières observations et actions sur le projet laser ont révélé de réelles difficultés de collaboration entre les deux parties (domaine de la mécanique de précision et le métier très particulier de l'outillage de découpe d'un côté et le domaine des applications laser de l'autre). Les relations, au départ du projet, étaient plus proches des relations de sous-traitance (donneur d'ordre/exécutant) que de celles d'un co-développement. Si l'on se réfère à la hiérarchisation des partenariats proposée par Perrotin, nous nous positionnions, au départ du projet, sur l'axe de la gestion et la coordination d'un partenariat simple (phase de production) alors que nous souhaitions atteindre un objectif de conception commune d'une nouvelle machine de dépôt laser.

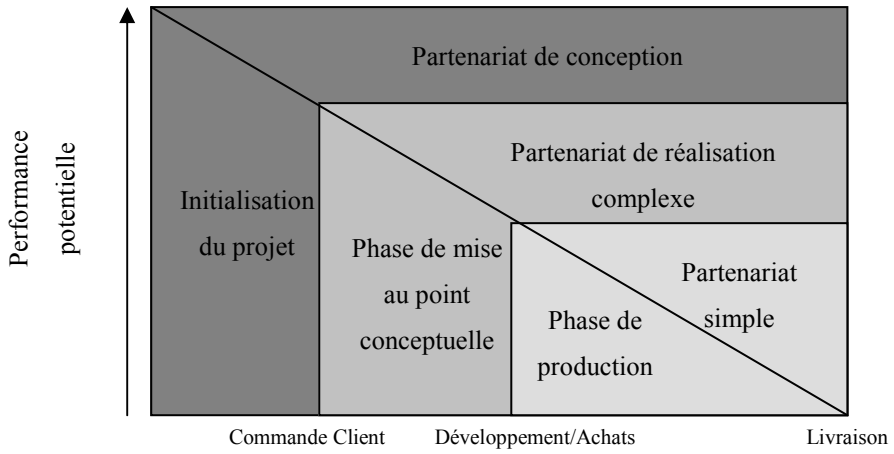


Figure 44 : Grille de hiérarchisation des partenariats [PERROTIN et al. 02]

De plus la plupart des connaissances n'étaient plus alors détenues par le Bureau d'Etudes Découpage Rotatif mais par le sous-traitant extérieur. Les acteurs se retrouvant dans une première expérience de collaboration, n'avaient donc plus aucun référentiel technique, économique et stratégique. Dans ces conditions, il était impossible d'avancer sur deux développements dépendants. Car il s'agissait bien entre Komori-Chambon et l'expert laser de développer un procédé ensemble qui intègre d'un côté les paramètres internes à l'entreprise et de l'autre les spécificités des technologies laser. Ces développements demandaient, de plus, la réunion de capacités scientifiques non négligeables pour pouvoir définir le champ des connaissances et des compétences dans ce nouveau domaine (réunion des deux métiers). Comme nous pouvons l'observer sur le schéma ci-dessous, les entretiens étaient tous oraux et spécifiques au métier de chacun avec un échange d'informations souvent informelles et mal interprétées. Ces interactions étaient donc finalement peu efficaces sur l'avancée du projet puisque chaque métier semblait avancer indépendamment (mécanicien et expert laser). Les multiples boucles de rétroaction étaient alors inévitables.

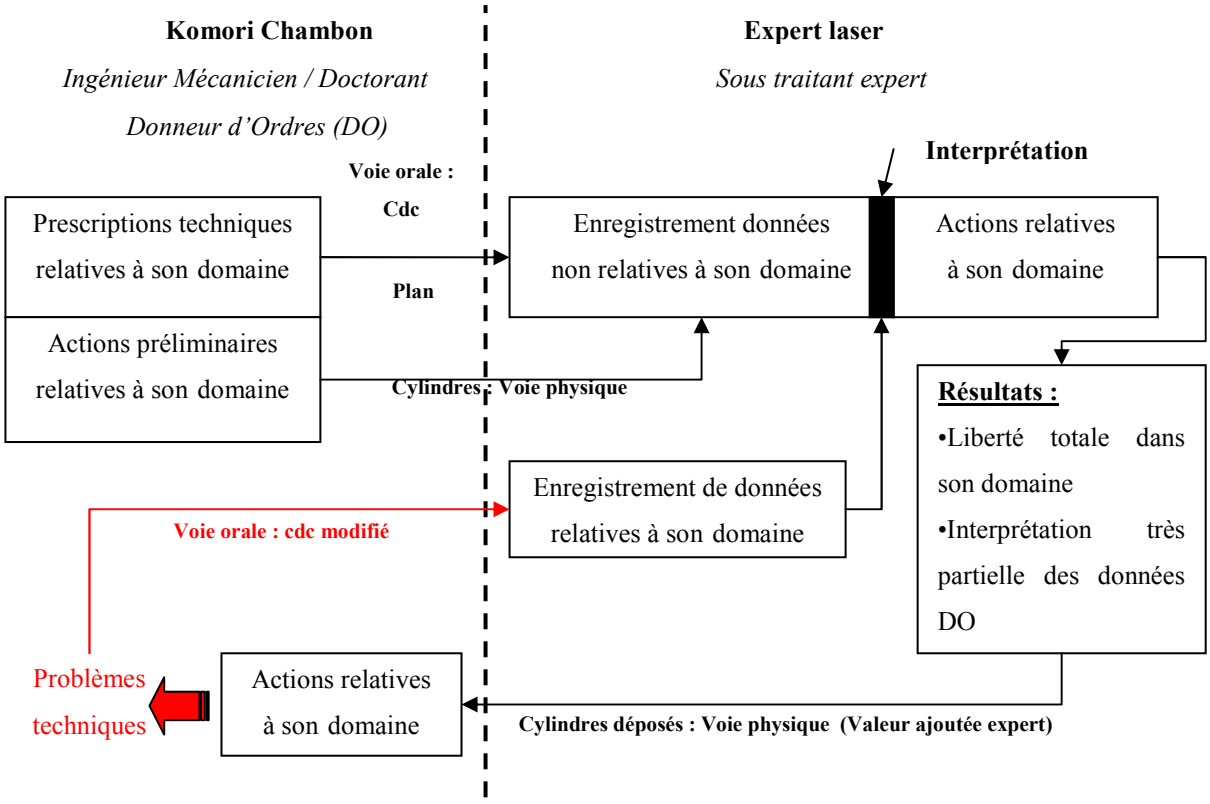


Figure 45 : Représentation des échanges initiaux sur le projet laser

La société Komori-Chambon n'ayant, au départ, aucune connaissance sur les techniques de rechargement laser, n'en avait pas ou peu appris sur les données et connaissances créées par l'expert. Sachant que l'entreprise se devait de connaître la technologie et ses évolutions pour pouvoir agir sur les opérations suivantes mais aussi maîtriser l'ensemble de son nouveau processus de fabrication, il était nécessaire de créer les conditions propices à l'optimisation de cette collaboration, de manière à ce que chacun des acteurs puisse s'exprimer et partager leur vision, leurs idées, leurs expériences pour évoluer ensemble et aboutir à l'innovation technologique.

L'analyse bibliographique, supportée par les expériences industrielles, nous amène à conclure que la collaboration interdisciplinaire ou le co-développement suppose, à la fois, des méthodologies communes de travail et des outils spécifiques quant à la gestion de processus innovants. **Il apparaît cependant évident que l'innovation technologique nécessite plus que jamais de favoriser la collaboration interdisciplinaire**.

Nous avons montré au long de ce chapitre que les processus et outils de la conception sont nécessaires à l'instrumentation de l'innovation technologique mais pas suffisants pour pouvoir assurer une communication étroite entre différents acteurs. La collaboration interdisciplinaire vient, de plus en plus, supporter les activités de conception pour permettre aux entreprises d'étoffer la valeur ajoutée de leurs produits. L'intégration rapide de cette pratique s'est faite grâce à l'explosion des nouvelles technologies (Internet, Intranet, CAO/DAO/PAO…) et des réseaux d'entreprises. Cependant sa mise en œuvre reste encore très délicate pour les sociétés non expérimentées. La communication et l'interaction entre différents experts sont loin d'être innées. Et pour favoriser la collaboration interdisciplinaire, "il ne suffit pas d'utiliser une approche méthodique de conception intégrant l'ensemble des compétences et les éléments du cycle de vie" [PALLOT 04]. Il est important, non seulement d'adapter les processus de conception et outils méthodologiques aux cas particuliers rencontrés (métiers, collaborateurs, besoins…), mais aussi de conduire un processus de collaboration favorisant la communication, le partage d'expériences, la création de connaissances communes…

2.2 Connaissances techniques et intégration technologique

Lorsque l'on souhaite innover technologiquement en entreprise, il faut pouvoir être capable de créer, comprendre, maîtriser et faire évoluer sa future technologie. Dans cette seconde partie nous montrerons que l'intérêt pour la conception en collaboration et l'intégration d'un nouveau moyen de fabrication, nous ont amenés à nous rapprocher du domaine des connaissances. Qu'elles soient scientifiques et techniques ou connexes, les connaissances sont l'essence même des technologies. Elles permettent à l'entreprise de contrôler les évolutions technologiques et d'être libre de ses stratégies. Dans le chapitre précédent, la communication entre plusieurs acteurs de métiers différents est apparue comme un facteur prépondérant dans les difficultés rencontrées en collaboration. Ces constatations nous ont permis de nous orienter vers le domaine des connaissances (création, formalisation, transmission, gestion…). A travers un état de l'art non exhaustif, nous essaierons de dégager des éléments qui pourraient appuyer notre réflexion sur l'intégration de notre innovation technologique (Bureau d'Etudes Découpage Rotatif et Expert laser). La maîtrise des connaissances techniques créées et transférées au cours d'un projet innovant, apparaît comme une condition nécessaire dans la volonté d'intégrer et de pérenniser la nouvelle technologie.

2.2.1 Les connaissances : bases de l'innovation technologique

Pour mieux comprendre l'importance des connaissances dans un projet d'innovation technologique, il faut revenir à la définition de la technologie retenue dans la première partie du document (cf. §1.3.1.1) : la technologie est "l'ensemble des connaissances scientifiques, techniques et connexes, face à un marché (c'est-à-dire face à un système client), dans un environnement socio-économique donné" [CASTAGNE 87]. Ce terme est souvent présenté comme possédant trois composantes : les **connaissances**, les **moyens** et les **savoir-faire**. Nous montrerons que les connaissances doivent être considérées comme le cœur des technologies et de leurs évolutions. Il ne faut cependant pas les confondre avec des notions proches telles que les données et les informations.

2.2.1.1 Les connaissances : fondements de la technologie

La technologie ne peut se résumer à un ensemble de connaissances techniques et connexes. D'après Ribault, nous ne pouvons réduire la technologie à une seule des trois composantes suivantes [RIBAULT et al. 91]:

- **les connaissances scientifiques et techniques** qui appartiennent à une ou plusieurs disciplines décrivant les phénomènes physiques de base exploités par la technologie.

- **les moyens** correspondent à la concrétisation matérielle de la technologie. Ribault parle ici principalement d'équipements mais nous pouvons aussi y ajouter les ressources humaines.

- **les savoir-faire** sont quant à eux, représentatifs de l'expérience acquise au travers de la pratique sur le terrain par une personne ou une société. Elle peut se caractériser par l'habileté que peut avoir quelqu'un à résoudre des problèmes pratiques.

A ces trois composantes fondamentales nous devons rajouter **les connaissances** dites **connexes** à la technologie, que nous représentons sur le schéma du concept de technologie par l'orbite des connaissances connexes (cf. Figure 46). Ce sont les connaissances de l'entreprise (économique, stratégique, commerciale…), qui environnent de manière directe ou indirecte les technologies de conception ou de production. Ces diverses connaissances, accumulées et partagées au sein de l'entreprise, constituent ce que l'on appelle "la culture d'entreprise". Il est indispensable de les faire interagir dans le développement, l'adaptation ou

l'implantation de technologies puisque par définition chaque technologie doit se fondre dans son entreprise.

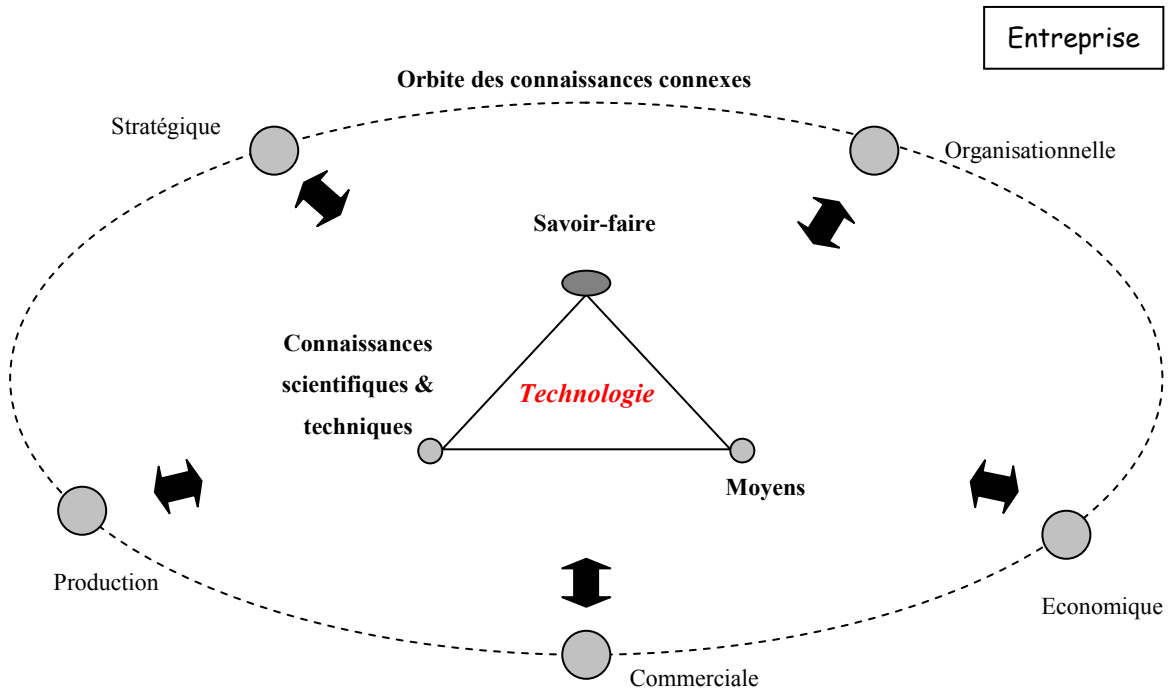


Figure 46 : Le concept de technologie

Cependant, nous pensons que ces quatre composantes ne peuvent être placées sur un même niveau d'acquisition. En effet, le savoir-faire ne peut s'acquérir sans connaissance technique et sans moyen. Nous pourrons donc distinguer les composantes de base d'une technologie (les connaissances scientifiques et techniques, les connaissances connexes et les moyens) de la composante résultante (le savoir-faire). Parmi ces piliers de la technologie certains peuvent parfois prendre le pas sur d'autres. C'est le cas des connaissances scientifiques et techniques que l'on peut considérer comme le cœur de la technologie puisque cette dernière puise dans les sciences et les techniques pour exister. Sans ce travail de recherche scientifique et cette création de connaissances théoriques et pratiques, le mot technologie n'a plus aucune signification. Cependant il ne faut pas pour autant négliger les autres composantes de base et résultante pour permettre à l'entreprise de faire évoluer sa technologie au cours du temps.

2.2.1.2 Le cycle d'évolution d'une technologie

Toute technologie se doit d'évoluer, au fil des années, dans son environnement industriel. Ces cycles d'évolution peuvent être plus ou moins courts suivant les entreprises, leurs ressources

et les marchés. Par exemple, dans le domaine informatique les technologies évoluent très rapidement, ce qui est beaucoup moins le cas dans une industrie comme celle de la mécanique. Elles ont été largement représentées graphiquement dans la littérature par des "courbe en S", que l'on peut morceler en quatre phases : une phase d'émergence, une phase de développement, une phase de maturité et une phase de déclin.

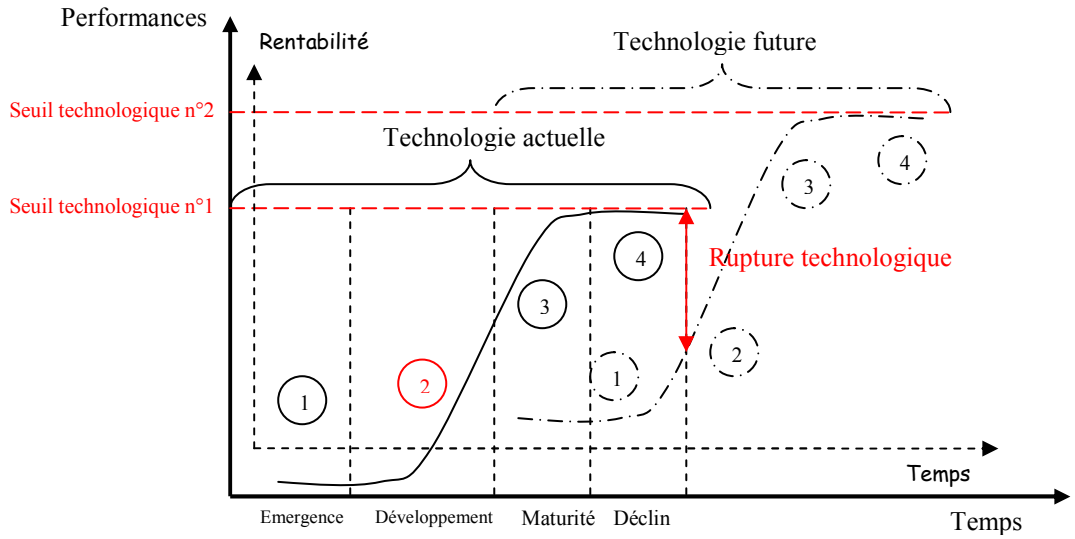


Figure 47 : Cycle d'évolution des technologies [RIBAULT et al. 91] [NEAU 03]

Ces courbes sont représentatives de l'amélioration des technologies au cours du temps. Le contrôle des connaissances est nécessaire à une évolution optimum (courbe en S allant jusqu'au seuil technologique) de la technologie. Pour décrire cette évolution nous reprendrons les termes de Boly, "dans un premier temps on constate un premier palier de type apprentissage puis la performance technologique s'accroît mais selon un taux qui va en décroissant avant de s'annuler" [BOLY 04]. Cette phase de déclin est généralement la conséquence du franchissement d'un seuil de limite technologique (connaissances, savoir-faire et moyens optimisés). Il est important d'anticiper le déclin d'une technologie de manière à préparer, en amont, une technologie future plus performante et réduire au maximum la rupture technologique que peut induire le changement. A ce sujet, nous rejoignons la position de Foster lorsqu'il affirme que le remplacement de technologies est provoqué dans le cadre d'une stratégie de conquête et que ce phénomène ne peut être naturel [FOSTER 86]. En effet, ces évolutions sont généralement entreprises par la pression de phénomènes externes tels que la demande du marché (*demand pull*) ou les progrès techniques (*technology push*), plutôt que par des initiatives strictement internes à l'entreprise.

2.2.1.3 Frontières entre données, information et connaissance

Nous avons démontré précédemment que les connaissances, surtout scientifiques et techniques, sont le fondement de toutes technologies. On peut alors se poser la question de ce que représente exactement une connaissance ? Quelles sont les différences qu'on peut lui attribuer par rapport à une donnée ou une information ? Ces trois termes portent souvent à confusion et sont, par le fait, utilisés à mauvais escient dans la littérature. Cependant comme le souligne Baker dans son modèle *Data-Information-Knowledge* (DIK), il existe bien des niveaux de hiérarchisation qui permettent de les différencier. Ces niveaux sont fonction des implications respectives des machines et/ou des hommes [DE FOUCHECOUR 04].

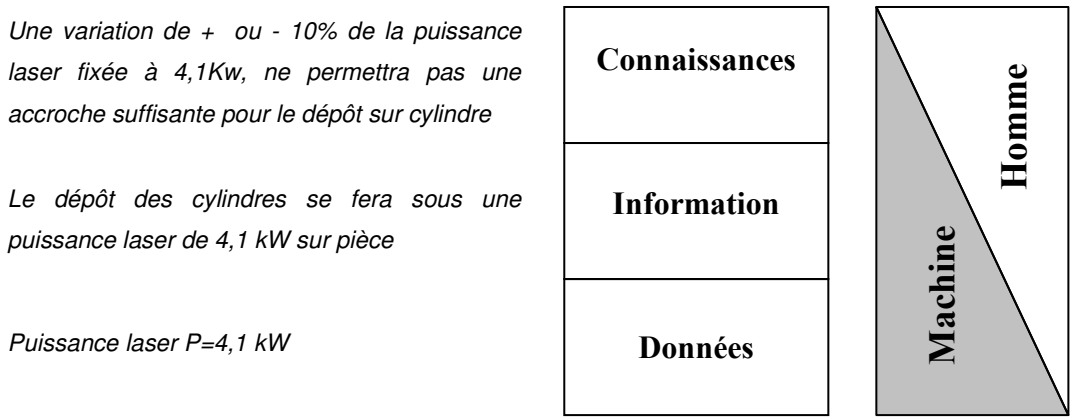


Figure 48 : Modèle DIK de Baker appliqué à notre étude [DE FOUCHECOUR 04]

En appliquant ce modèle à notre "Projet Laser", nous avons pu prendre conscience de ces différences. Les données représenteront pour nous des valeurs techniques qui n'ont finalement aucune signification sans la compréhension de l'environnement qui l'entoure et les conditions dans lesquelles elles ont été créées. La donnée n'est finalement pas porteuse de sens pour celui qui n'est pas expert, elle "correspond typiquement au contenu d'une cellule de tableur" [DE FOUCHECOUR 04]. L'information, elle, se révèle être un ensemble qui regroupe plusieurs données structurées. Cette structuration forme une phrase qui devient compréhensible pour n'importe quel être humain. Cette donnée brute de puissance laser (P_{laser}= 4,1 kW) trouve alors son intérêt dans le support d'un contexte de sens : le rechargement de cylindre Komori-Chambon. Cependant toutes les informations ne sont pas utiles à chaque individu et n'ont pas de signification pour eux. La connaissance devient alors au sens de Rhéaume, l'information utile aux acteurs qui leur permettent de dégager des

interprétations et des réfléxions [RHEAUME 97]. Les informations et les connaissances sont étroitement liées puisque, comme l'écrit Gardoni dans sa thèse, "les connaissances sont matérialisées par les informations traitées. Elles peuvent être considérées comme un raffinage des informations" [GARDONI 99]. Dans notre exemple, la connaissance correspond plus à la description du phénomène physique lorsque la ou les données, dont elle est issue, varient. Nous avons pris appui ici sur des données, informations ou connaissances exclusivement liées au développement externe réalisé par l'expert laser. Dans notre projet de co-développement, les données issues de chacun des deux domaines peuvent amener à la construction de nouvelles connaissances. Le terme de connaissances fait donc preuve d'un caractère plus intellectuel que les données et les informations [EARL 05].

L'information est extraite des données et la connaissance de l'information. Mais ce que certains acteurs de la conception considèrent comme une connaissance, peut représenter une information pour d'autres. C'est souvent le cas dans les collaborations interdisciplinaires internes. L'information prise en exemple dans notre modèle DIK, aurait pu ne rester qu'une information pour Komori-Chambon. Mais pour des raisons techniques et stratégiques, il était important que cette dernière devienne une connaissance de manière à lier les deux développements. L'information paraît donc être un terme plus générique dans la compréhension par un plus grand nombre d'acteurs alors que la connaissance est plus spécifique. D'après le document Defidoc, les entreprises ont tendance aujourd'hui à passer de la gestion de données à la gestion de connaissances. On peut maintenant aisément le comprendre, puisqu'une base de connaissances permet de capitaliser une valeur ajoutée beaucoup plus significative pour l'entreprise et son métier [FROCHOT 03]. En effet, ce qui intéresse les acteurs ce ne sont pas des données brutes mais bien le sens profond qu'elles vont véhiculer via les connaissances. La connaissance reste "l'ingrédient essentiel de la création de valeur" [MACK 95].

Mack, dans sa chaîne de transformation des données, fait apparaître la compétence au-dessus des connaissances. Il la définit comme la mise en application des connaissances et des savoir-faire [MACK 95] [TARONDEAU 98]. Pour d'autre comme Nielsen, la compétence se définit comme la réunion de trois types de connaissances :

- les connaissances spécifiques (scientifique et technique)

- les connaissances intégratives (combinaison de plusieurs connaissances spécifiques)

- les connaissances de déploiement (connaissances permettant de valoriser l'avantage de la technologie)

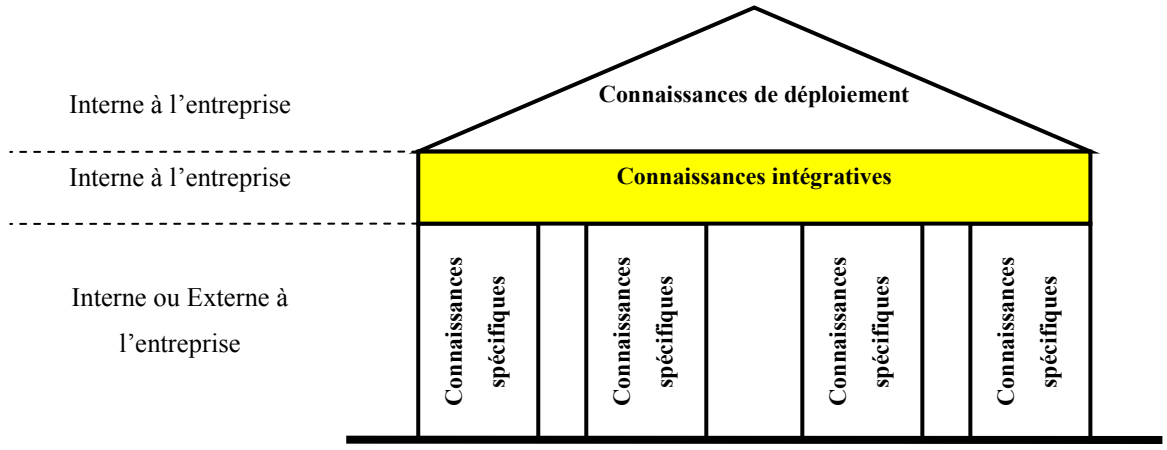


Figure 49 : Modèle de compétence de Nielsen [NIELSEN 00]

De même que pour la connaissance, la compétence pour certains peut être considérée comme une information par d'autres.

A travers ce paragraphe, nous avons souhaité montrer les caractéristiques et les fondements de la technologie. Nous insistons sur le fait que la maîtrise des technologies et de leur évolution repose principalement sur les connaissances scientifiques et techniques. Ces dernières doivent être considérées comme la base de l'interaction entre différents experts travaillant sur des développements dépendants. Il paraît donc légitime que, dans un contexte particulier comme le nôtre (le développement d'un procédé de rechargement laser singulier et la conception en collaboration de la machine correspondante), les connaissances capitalisées par le chef de projet représentent un passage obligé vers l'intégration de l'innovation technologique. Il est donc nécessaire de favoriser le transfert et la création commune de nouvelles connaissances lors de la collaboration, afin de faciliter l'intégration de l'innovation technologique et garantir sa pérennité dans l'entreprise.

2.2.2 L'intégration de nouvelles technologies : l'enjeu des connaissances

Après avoir souligné les difficultés que peut soulever la collaboration en conception et le rôle primordial que tiennent les connaissances dans toutes créations et évolutions de technologies, nous souhaitons nous attarder sur la notion de transfert de technologies. Ceci afin de montrer l'importance de l'intégration (non pas matérielle mais bien intellectuelle) d'un gap technologique dans une entreprise. En effet, pendant de longues années et encore aujourd'hui, les transferts de technologie complexe ont connu de nombreux échecs liés à des faiblesses d'intégration.

Nous avons montré dans le paragraphe précédent que la connaissance, essentiellement scientifique et technique, était à la base de toutes technologies. Cette connaissance, tirée de l'organisation, l'utilisation et l'amélioration des informations, est donc un élément majeur dans la maîtrise d'une innovation technologique. En effet, comme le souligne Jean Marc Laurent sur le site internet de l'OCSIMA, "une innovation se développe sur des informations synthétisées et des croisements d'idées, sur une rencontre entre connaissances, sur un chemin d'échanges, connaissances et idées que les PME doivent apprendre à gérer pour croître" [LAURENT 05]. Nous ne pouvions donc pas, dans le cadre de notre contexte de recherche, ne pas nous intéresser aux champs de la gestion de connaissances. Notre travail ne s'inscrit pas dans une thématique de *Knowledge Management*. Cependant, nous souhaitons amener des éléments de réflexion sur l'aide à l'intégration d'une innovation technologique issue de la collaboration. Nous nous appuierons particulièrement sur la notion de diffusion et de création de connaissances communes.

2.2.2.1 Transferts de technologie et intégration

Nous avons souhaité en préambule à ce paragraphe, expliciter la notion de transfert de technologies en industrie. Au sens usuel du terme, le transfert de technologie désigne "un processus par lequel une technologie, une connaissance ou une information développée dans une organisation, dans un domaine, ou dans un but précis, est transférée pour être appliquée ou utilisée dans une autre organisation, un autre domaine ou dans un autre but" [BONVIN 02]. Le transfert consiste donc, pour une entreprise ou un centre de recherche, à mettre à disposition d'autres sociétés la technologie développée. Ce partenariat peut prendre différentes formes : accord de licence, collaboration technique, accord de fabrication ou

accord commercial, sous-traitance, joint venture, acquisition de nouveaux produits ou procédés. Cependant cette notion a, pendant de nombreuses années, renvoyé l'image d'un échange commercial mettant l'accent sur les transmissions de licences et de brevets et les droits d'utilisation s'y rattachant [ROUACH et al. 93]. La littérature s'est donc principalement orientée sur les aspects économiques et stratégiques des transferts, laissant de côté les problématiques de transferts de données, d'informations, de connaissances ou encore de compétences. L'exemple du processus de transfert de technologie proposé lors des projets TEURPIN entrepris en Europe de 1998 à 2001, est à l'image de ces analyses. Ce processus divisé en six phases, ne décrit la phase de réel transfert (phase d'exploitation) que par un acte de commercialisation. La phase la plus importante aux yeux du récepteur, ne se résume finalement que par une acquisition de matériel. Le pourvoyeur se présentera ensuite en aval du processus comme le seul soutien technique. On ne donne donc pas à l'entreprise les moyens intellectuels de devenir autonome face à sa technologie.

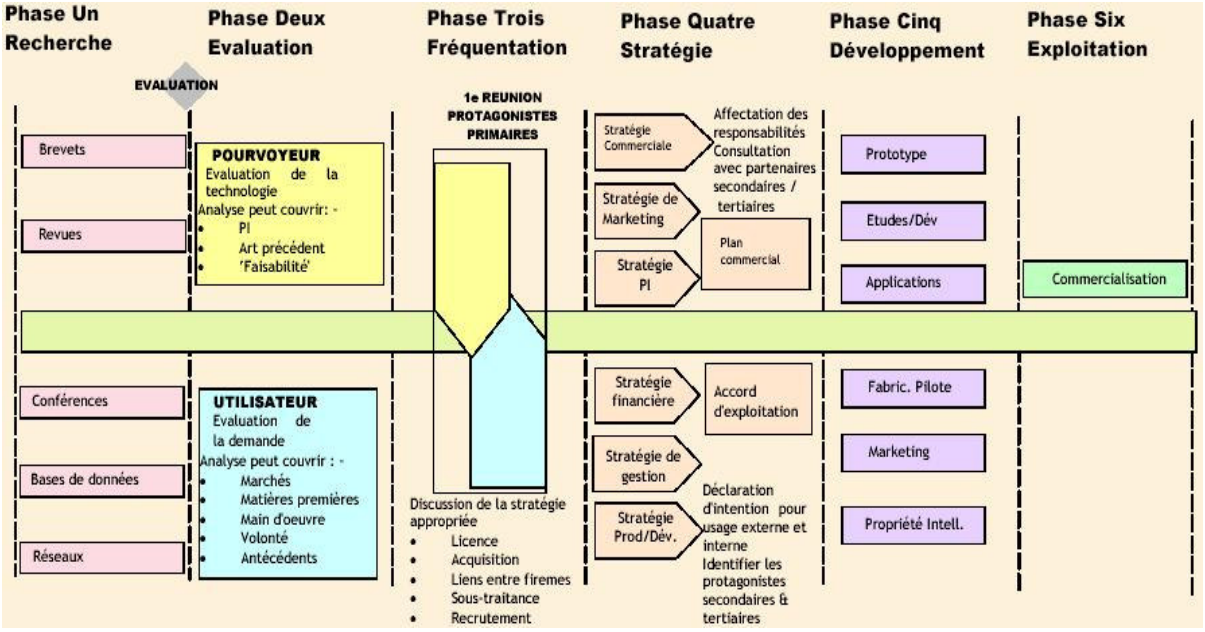


Figure 50 : Processus de transfert de technologie des projets TEURPIN [TEURPIN 01]

En pratique, on assiste donc le plus souvent à des transferts matériels sans aucune adaptation à leur environnement d'accueil et bien souvent aussi sans transfert de compétences. Dans le cadre de technologies conventionnelles nécessitant peu ou pas de connaissances nouvelles, ce type de processus peut être suffisant à une bonne intégration. Malheureusement pour les technologies innovantes à fortes connaissances techniques ces projets sont inévitablement

voués à l'échec. "On ne peut pas limiter l'ensemble des intérêts mis en commun au seul niveau des acteurs de la négociation ; il est nécessaire d'élargir la discussion au travail de ceux qui permettent la réalisation concrète du transfert" [LE GOFF 94]. Les techniciens du récepteur se trouvent souvent incapables de mettre au point ou de réparer ces nouveaux équipements.

Seule Hendrickx, dans sa thèse, présente le transfert de technologie comme un processus organisationnel d'acquisition, d'assimilation et de création de compétences. Cependant aucun outil adéquat n'a, à ce jour été, élaboré pour permettre aux industriels d'analyser les moyens dont ils disposent afin de développer au mieux leurs capacités technologiques internes et l'assimilation de technologies externes [HENDRICKX 95]. Cela montre bien que le transfert de technologie ne doit plus, aujourd'hui, se limiter à l'assimilation d'une technologie extérieure par l'imitation, mais doit déboucher sur la création d'une nouvelle base technologique et de nouvelles compétences. Comme le souligne Mabire, il est fondamental, dans un transfert de technologie, de comprendre la technologie initiale, son application dans le nouveau secteur d'activité et enfin comprendre la relation de passage entre les deux [MABIRE 95]. Il préconise notamment l'utilisation de **l'organigramme technique du produit** pour s'imprégner de la technologie initiale. D'autres proposent des outils d'approche organisationnelle tels que **les grilles heuristiques** afin de mieux structurer l'intégration de la technologie (point de vue récepteur) ou encore, des **grilles d'évaluations** de documents afin d'optimiser la transmission de connaissances [CALLEJA 96] [VERDOUX 03].

La vision traditionnelle du transfert de technologie est trop restrictive et trop éloignée d'une problématique de conception en collaboration et d'intégration d'une technologie telle que la nôtre. Comme le dit Le Goff, "le transfert est une innovation par l'impact qu'il a sur l'ancien environnement sociotechnique, mais ne constitue pas intrinsèquement un processus d'innovation" [LE GOFF 94]. Nous avons seulement souhaité, à travers la description de cette notion, mettre en exergue la nécessité de favoriser l'intégration pour être capable de pérenniser la technologie dans l'entreprise. L'intégration de ce gap technologique passe par la maîtrise des connaissances transférées et créées lors de la conception de l'innovation technologique.

2.2.2.2 La gestion de connaissances facilite les perspectives d'intégration

Comme nous le disions précédemment il est aujourd'hui intéressant pour les entreprises de pouvoir gérer ses connaissances, c'est-à-dire de les capturer et les capitaliser au sein de la société. Ce domaine, plus connu sous le nom de *Knowledge Management*, séduit de plus en plus d'industriels et de chercheurs. Il offre des solutions au repérage, à la valorisation et à l'actualisation des connaissances (non seulement documentaires mais aussi celles développées par les salariés) pour que ces dernières deviennent des éléments du management stratégique [GRUNDSTEIN 98] [ERMINE 96]. Face à ce champ très large de la gestion des connaissances, nous nous focaliserons sur une notion pouvant aider à franchir le palier de la conception en collaboration à celui de l'intégration d'une nouvelle technologie de pointe : le transfert et la création de connaissances.

Concevoir une nouvelle technologie de fabrication en collaboration, implique le développement de nouvelles connaissances communes avec les acteurs possédant l'expertise manquante.

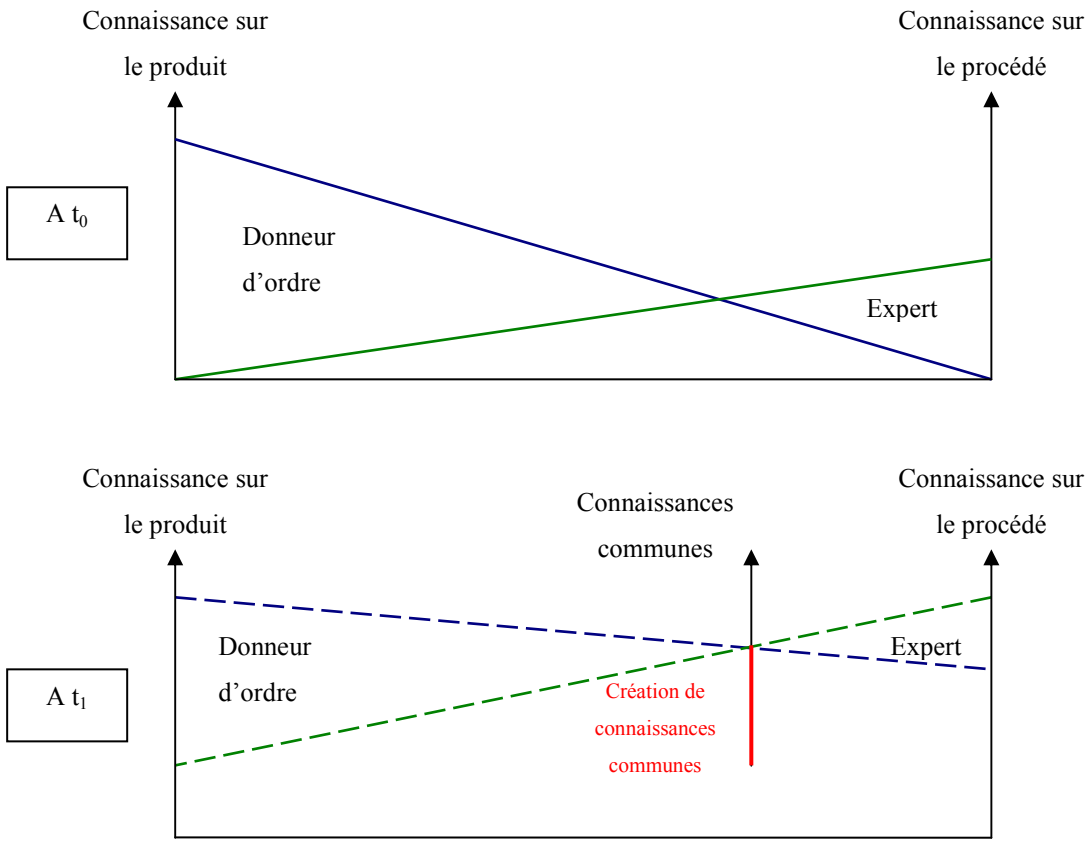


Figure 51 : Principe d'asymétrie croisée des connaissances

A l'initiative du projet, chacun des experts métiers maîtrise une partie ou la totalité de leur champ d'expertise. Ils doivent être capables au cours du temps, non seulement d'évoluer aussi bien sur leur propre métier que sur le métier de leur partenaire, mais aussi de créer de nouvelles connaissances communes aux deux expertises. La création de ces connaissances communes peut être alors considérée comme un des indicateurs d'une bonne collaboration en conception.

Avant de poursuivre, il est important de rappeler que l'on peut distinguer à travers les écrits de Polanyi, deux types de connaissances : les connaissances tacites et les connaissances explicites [POLANYI 83]. Les premières sont connues sans en avoir conscience et sont difficilement formalisables. Elles restent intimement rattachées à son détenteur car enracinées dans l'action, dans les routines quotidiennes et dans les contextes spécifiques [ADOUANI et al. 03]. Les connaissances explicites sont, elles, communicables dans un langage formel, codifié et systématique. Elles peuvent ainsi échapper à leurs détenteurs.

Les travaux de Nonaka et Takeuchi, ont abouti à la formalisation "d'un cercle de création de connaissances" représentant quatre grands modes de transformation des connaissances individuelles et collectives [NONAKA et al. 95] :

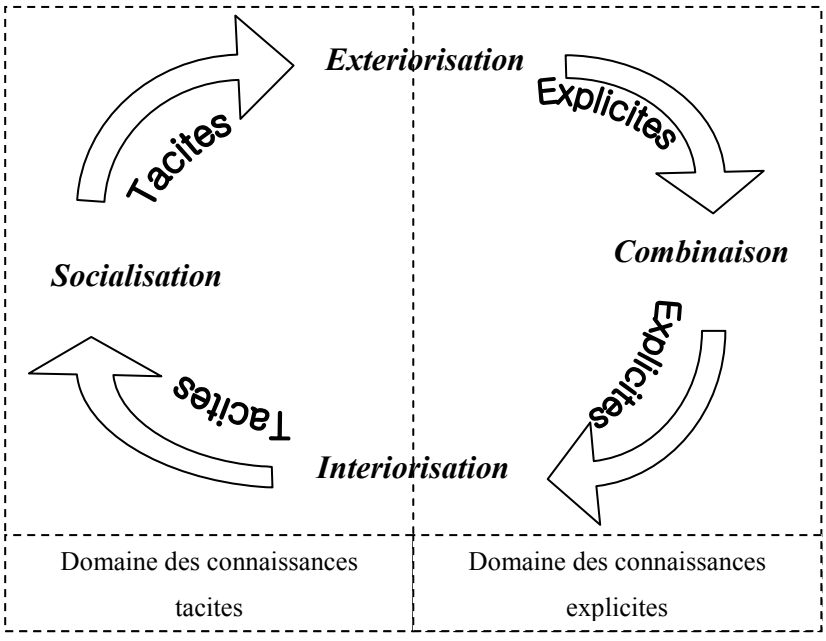


Figure 52 : Le cercle de création des connaissances [NONAKA et al.95]

- L'étape de socialisation qui permet de partager des expériences et ainsi, créer de nouvelles connaissances tacites. L'observation, l'imitation et la pratique sont les critères premiers de cette étape. Ce transfert direct peut se réaliser via le compagnonnage par exemple (maître et apprenti) ou encore le travail en groupe (le brainstorming…). On parle alors de création de "connaissances assimilées".

- L'étape d'extériorisation consiste à passer des connaissances tacites aux connaissances explicites par la formalisation et l'explicitation. Elle permet d'inscrire et de codifier les connaissances individuelles dans la mémoire de l'entreprise, l'objectif étant de diffuser ou transmettre cette connaissance à d'autres acteurs sous une forme plus accessible. On obtient ici une "connaissance conceptuelle".

- L'étape de combinaison consiste en l'interaction de deux ou plusieurs connaissances explicites. Les salariés, partenaires ou collaborateurs échangent leurs connaissances via les supports d'information (intranet, mails, documents, banques de données…) pour en créer de nouvelles. Ces combinaisons de connaissances donnent naissance à des brevets, de nouvelles technologies, de nouveaux produits… On crée ainsi des "connaissances systémiques".

- L'étape d'intériorisation correspond à la conversion de connaissances explicites en connaissances tacites. Jacqueson interprète cette quatrième phase comme la transposition de la connaissance en savoir-faire. Il parle de processus d'apprentissage par l'action. Les tests de prototypes et les évaluations clients participent à la construction de "connaissance opérationnelle" [SAMIER 04].

Dans notre contexte industriel particulier, nous ne nous sommes pas focalisés sur un des quatre modes. Cependant, il paraît évident que le mode d'externalisation sera nécessaire pour récupérer des connaissances explicites de la part de l'expert laser et la combinaison sera fondamentale dans la réalisation de notre innovation technologique. Comme le souligne Minel dans sa thèse, les connaissances tacites qui sont les plus difficiles à recueillir (puisque non formalisées), sont pourtant porteuses de valeurs pour l'individu et donc finalement les plus représentatives de l'avantage concurrentiel d'une entreprise [MINEL 03]. On peut alors se demander :

- Quelle est la connaissance à mettre en commun pour que l'on puisse créer une nouvelle technologie de fabrication ?

- Quelle est la quantité de connaissances que le chef de projet doit transmettre aux futurs acteurs de l'entreprise pour s'assurer de la maîtrise de la future technologie ? Est-il nécessaire de transférer toutes les connaissances capitalisées au cours du projet ?

Autant de questions qui montrent que la problématique de gestion de l'innovation technologique ne fait pas appel qu'aux domaines techniques, elle nécessite aussi une part non négligeable de stratégie, de structure organisationnelle et de gestion des connaissances…

La représentation de Nonaka et Takeuchi nous a permis de prendre conscience de l'importance des organisations et des supports pour favoriser la diffusion et la création de connaissances. Le succès de toutes démarches où la connaissance est un enjeu, dépend essentiellement de la capacité des entreprises, des salariés et des collaborateurs à changer leurs modes de fonctionnement (adaptation des organisations) et leurs habitudes de travail (nouveaux modes de pensée, nouveaux outils).

Nous avons souhaité montrer à travers ce chapitre, qu'il est crucial, pour favoriser la conception en collaboration externe d'une nouvelle technologie, de s'intéresser à l'activité de transfert et de création de connaissances. Nous avons aussi établi que ces activités sont fondamentales dans la perspective d'une intégration de l'innovation technologique. Cependant il paraît évident que, seule une partie des connaissances créées et capitalisées au cours du projet, doit être transférée au sein de l'entreprise : le juste nécessaire pour mettre au point, maintenir ou améliorer la technologie.

Tous ces éléments mettent en évidence la nécessité de créer une dynamique autour des connaissances techniques et des interactions entre les différents acteurs. Après avoir explicité le contexte industriel dans le lequel nous avons été plongés au cours de ces trois dernières années et positionné notre contexte de recherche, nous pouvons maintenant formaliser notre problématique scientifique.

2.3 Formalisation de la problématique scientifique

Nous avons vu, à travers cette seconde partie, que l'innovation technologique en entreprise appelait à prendre en compte des aspects relevant des domaines de la conception (méthodes et outils), de la collaboration interdisciplinaire, du transfert et de la création de connaissances (scientifique et technique principalement), du management des hommes ou encore du management stratégique. Chacun de ces différents domaines qui amène une vision spécifique aux acteurs de projets innovants favorise ainsi la conception d'une nouvelle technologie dans une entreprise de taille moyenne. Nous pensons donc que, seule une approche réunissant en parallèle l'ensemble de ces disciplines, peut apporter une réponse aux industriels qui, par manque de ressources techniques, souhaitent innover en collaboration externe.

Le chef de projet, comme nous l'avons explicité au cours de la première et la deuxième partie, a du mal à trouver ses repères lors d'une première conception innovante en collaboration externe. Il est en relation avec des partenaires qui lui amènent les expertises techniques manquantes et pourtant il ne maîtrise aucun des paramètres et connaissances extérieures. Ceci est d'autant plus vrai lorsque l'on fait appel à de nouvelles connaissances pointues comme celles que renferment les systèmes laser. Le partenaire a parfois du mal lui aussi à comprendre quelles sont les caractéristiques fondamentales du produit de l'entreprise. Chacun des partis se retrouve donc déstabilisé stratégiquement (nouveaux objectifs), structurellement (nouvelles organisations), et technologiquement (nouvelles connaissances, nouvelles techniques). Tout ceci provoque des incertitudes et des freins quant à la possibilité de concevoir et d'innover de manière conjointe. Ces projets représentant de véritables enjeux de stratégie concurrentielle, il est nécessaire de les gérer en étroite collaboration avec ses nouveaux partenaires afin d'optimiser le processus d'innovation et être capable, le jour de l'intégration physique, de gérer sa technologie de manière autonome. En effet, une collaboration formalisée doit favoriser les échanges d'expériences, ainsi que le transfert et la création de connaissances communes. Et comme le souligne Boly, "l'appropriation d'une innovation technologique dépend de la compréhension et de la maîtrise par une équipe, des nouvelles connaissances correspondantes" [BOLY 04]. L'intégration de l'innovation technologique en développement ne peut donc se faire sans une maîtrise partielle ou complète des connaissances techniques et scientifiques s'y référant.

C'est pourquoi nous avons abordé les thématiques de la collaboration interdisciplinaire et de transfert et création de connaissances. La collaboration entre différents métiers (techniques ou autres) nécessite la mise en œuvre d'importants moyens organisationnels (réseaux, plateaux projets, services transversaux…) et méthodologiques (Internet, Intranet, CAO/DAO/FAO, ERP, Workflow…). Plusieurs de ces concepts de travail sont entrepris dans les grands groupes qui possèdent les ressources permettant de les supporter et d'accepter les changements qu'ils requièrent. Mais nous restons sceptiques quant à l'adaptation de ceux-ci à de petites structures et à un processus de conception tel que celui que nous avons choisi. Nous n'avons aujourd'hui aucune possibilité de nous appuyer sur un quelconque cadre de référence ou modèle opérationnel d'innovation technologique adaptée aux moyens (techniques, humains et méthodologiques) des petites et moyennes entreprises. Seules certaines réflexions soulignées dans la première et la seconde partie, nous permettent d'entrevoir des pistes de proposition : les enjeux stratégiques conférés à tous projets d'innovations technologiques, l'importance d'une collaboration rigoureuse et formalisée, l'élaboration d'un langage commun d'interface afin de favoriser l'échange entre acteurs de la conception (mécanicien / expert systèmes laser), la mise en place d'outils spécifiques de transfert et de création de connaissances nécessaires à l'intégration…

Compte tenu des enjeux stratégiques que renferme l'innovation technologique et des difficultés actuelles que rencontrent les entreprises pour faire aboutir leurs projets mais aussi, face à la nécessité de solliciter plusieurs expertises extérieures pour innover, aux freins au transfert et à la création que peut engendrer cette collaboration, nous posons la problématique suivante :

Quels sont les conditions et critères favorisant la réussite d'une innovation technologique lorsque celle-ci met en jeu la pérennité des activités d'une PME-PMI ?

Dans la suite du document nous nous attacherons à apporter une réponse à cette question en proposant deux hypothèses de résolution : l'une portant sur la mise en place d'une démarche de collaboration dès les phases amont d'un projet innovant et l'autre sur la définition d'un seuil minimum de connaissances à transférer pour intégrer l'innovation technologique.

2.4 Hypothèses de résolution

Dans ce chapitre nous présenterons les hypothèses scientifiques posées pour répondre aux difficultés rencontrées lors de la réalisation d'une innovation technologique en PME, et présentées dans notre problématique : **Quels sont les conditions et critères favorisant la réussite d'une innovation technologique lorsque celle-ci met en jeu la pérennité des activités d'une PME-PMI ?**

Nous avons vu, au cours de la première partie, l'intérêt que peut avoir une entreprise à développer et intégrer une innovation technologique de production. Cependant la société doit être capable de maîtriser l'ensemble de son processus de fabrication si elle veut, à terme, pouvoir le pérenniser et obtenir une indépendance stratégique, technique et économique. Pour ce faire, la conduite d'une conception conjointe d'un moyen de production ou d'un produit doit faire émerger un contexte favorable à l'optimisation du processus d'innovation technologique.

Tout au long de la seconde partie nous avons montré, par la bibliographie, qu'il existait un manque réel d'aide méthodologique pour les chefs de projet de petites structures (TPE et PME-PMI) qui souhaitent réaliser une innovation technologique par l'intermédiaire, en partie, de compétences externes. En effet, nous n'avons pas trouvé de cadre de référence sur lequel nous appuyer pour mener à bien, sur le terrain, notre projet innovant. Cependant nous avons pu montrer qu'innover, impliquait la conduite rigoureuse d'une activité de conception. Malheureusement, le processus de conception utilisé reste cependant limité quant à la mise en œuvre d'une collaboration étroite entre PME et centres de recherche ou sociétés expertes [SARDAS et al. 02]. Or il est primordial, pour pouvoir innover technologiquement, d'échanger, partager, transférer et créer avec la personne ou la collectivité partenaire. Pour Jay V. Ihlenfeld, Directeur R&D du groupe 3M, la culture d'innovation d'une entreprise est directement liée à sa culture de collaboration [IHLENFELD 05]. Mais comme le confirme de nombreux auteurs, cette activité de collaboration n'est pas innée [MINEL 03]. On comprend alors aisément la nécessité, pour les personnes en charge de tels projets en entreprise, de disposer d'un modèle permettant de garantir le succès de leur innovation technologique. La mise en place d'un processus de collaboration dès les phases de lancement du projet et un suivi tout au long de la conception, peut apparaître comme une solution pertinente pour pallier ces difficultés.

Par ailleurs, nous avons montré précédemment que les connaissances techniques et scientifiques sont nécessaires à la maîtrise et à l'évolution d'une technologie. Elles se retrouvent donc au cœur de la question de l'intégration d'un nouveau domaine ou d'une nouvelle technologie dans l'entreprise [JACQUESON 02]. Or, l'intégration se doit d'être une phase prépondérante dans la validation d'un processus d'innovation technologique notamment lorsque celle-ci porte sur des moyens de production totalement dépendants d'un environnement existant. Il nous apparaît donc primordial de proposer un moyen et/ou un processus permettant d'assurer la migration d'une ancienne technologie vers une nouvelle. Nous pensons que cette migration, et par là même l'intégration de l'innovation, ne peut se faire que par la maîtrise d'un minimum de connaissances techniques et scientifiques.

Ainsi, à partir de ces constatations, nous nous appuierons sur une première hypothèse qui portera sur la mise en place d'une approche amont de collaboration dans un processus d'innovation technologique et une seconde sur la réalisation d'un saut technologique par la définition d'un seuil minimum de connaissances à maîtriser.

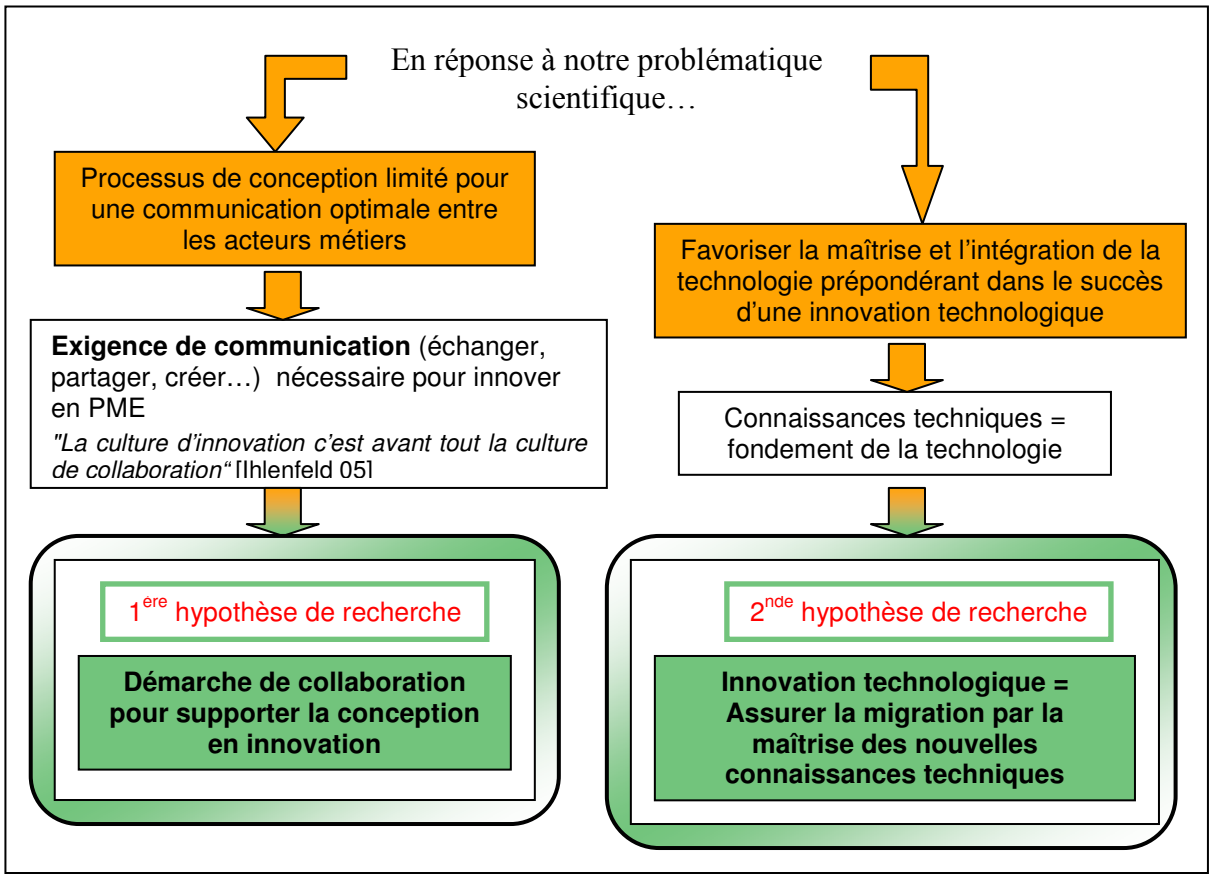


Figure 53 : Schéma de résolution de la problématique scientifique

Ces deux hypothèses scientifiques, permettront de répondre à la carence des processus d'innovation et à la demande industrielle de pérennisation de son futur processus de fabrication. Nous détaillerons successivement la construction de ces deux hypothèses de résolution dans les paragraphes suivants.

2.4.1 Première hypothèse : Approche amont de collaboration

Nous souhaitons à travers ce paragraphe, expliciter le cheminement qui nous a incités à poser cette première hypothèse de résolution.

Le contexte industriel et le positionnement scientifique, décrit dans la première et la seconde partie, nous ont incités à nous interroger sur la conduite d'un projet d'innovation technologique et, plus particulièrement, sur sa mise en œuvre en PME. De nombreux écrits sur le développement et l'intégration de procédés ou de technologies innovantes se rejoignent pour proposer six conditions de réussite [CADIX et al. 02] [IANSITI 98] [MERCIER 98] [RIBAULT et al. 91]:

- Suivre une démarche structurée : avoir la possibilité d'être guidé au cours du projet innovant afin de ne pas se disperser face à la complexité (cf. § 1.3.3.3).

- Adapter le procédé à l'entreprise : la nouvelle technologie doit être en harmonie avec les valeurs de l'entreprise et sa structure actuelle (cohérence entre les objectifs stratégiques et les résultats intermédiaires).

- **Faire appel à des sociétés extérieures :** être ouvert aux autres compétences métier, former un réseau afin d'aller puiser les connaissances manquantes nécessaires à l'innovation technologique (cf. § 2.1.2.1).

- **Créer et s'approprier la future technologie** : être capable de maîtriser sa nouvelle technologie (les connaissances correspondantes) et de la faire évoluer au sein de sa nouvelle structure (cf. § 2.2.1).

- Anticiper les interactions inattendues : être capable de déterminer, en amont de l'intégration physique, les problèmes que peut engendrer l'insertion de cette nouvelle technologie.

- Prendre en compte des paramètres sociaux et culturels : sensibiliser et motiver les futurs acteurs afin de faciliter le phénomène de réticence aux changements.

Cependant à partir de ces six critères de réussite, aucun de ces auteurs ne propose de démarche formalisée pouvant servir de cadre de référence aux chefs de projet souhaitant conduire un projet innovant.

Comme nous l'avons souligné précédemment, la collaboration et la création d'un réseau de compétences externes est, aujourd'hui pour la PME, un passage obligé vers l'innovation technologique.

De nombreux processus ont été modélisés dans la littérature (cf. § 1.3.3.1 et 1.3.3.2) cependant, aucun d'entre eux ne propose de solutions quant à la gestion de la collaboration et pourtant, nous avons montré que la conception n'était pas suffisante pour gérer une collaboration efficace et donc des espaces de partage (cf. § 2.1.1.4). Il est donc nécessaire de faire interagir un processus de collaboration en parallèle au processus de conception, ceci afin d'optimiser la communication et de construire une collaboration plus étroite et donc plus efficace. Nous postulons donc que la mise en place d'une démarche rigoureuse pourra aider les acteurs de l'entreprise, en charge de projets innovants externalisés, à favoriser la conception de leur nouvelle technologie. Cette démarche de collaboration doit être initiée dès les phases de lancement du projet de manière à définir le réseau de compétences et les contributions de chacun des experts avant le développement. Elle permettra aussi au chef de projet, en interne, de se rapprocher de son ou ses partenaires par la formalisation des échanges techniques et donc une optimisation des transferts et des réflexions communes. Cette collaboration doit créer une dynamique autour du projet innovant, mettre en place des protocoles rigoureux qui faciliteront les échanges et éviteront le grand nombre d'itérations au cours du développement. Cette approche facilitera donc les phases de conception conjointe de l'innovation technologique et donc par là même, augmentera les chances de réussite.

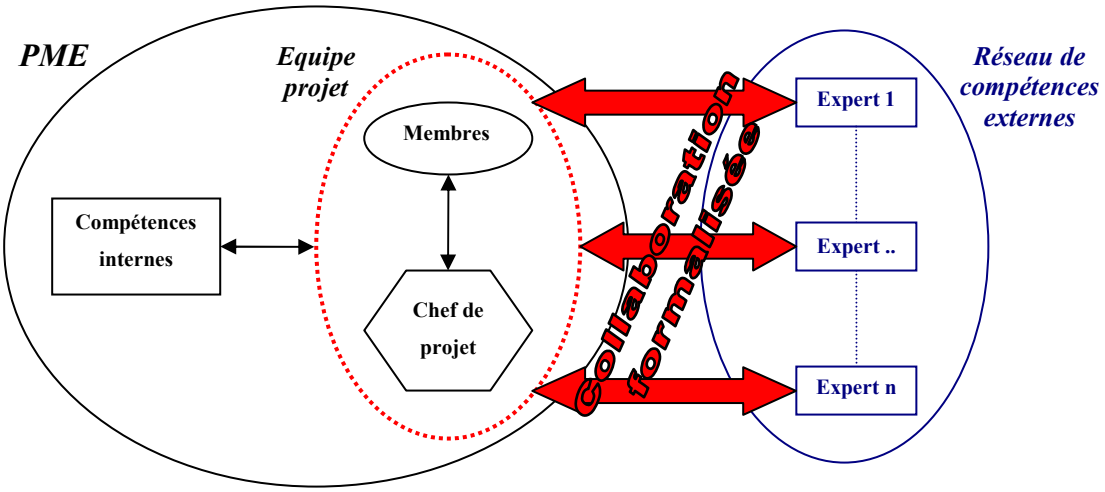


Figure 54 : Schéma résumant la première hypothèse

A partir de ce positionnement scientifique nous émettons l'hypothèse suivante : **la prise en compte d'une démarche de collaboration, dès les phases amont d'un projet innovant, garantit une conception de l'innovation technologique à des coûts et délais acceptables.**

2.4.2 Seconde hypothèse : Réalisation d'un saut technologique

La formalisation d'un processus de collaboration en interaction avec un processus de conception ne peut être seule garante de la réussite d'une innovation technologique. En effet, il est tout aussi nécessaire de favoriser l'intégration de la future technologie (nouveau domaine, nouvelles connaissances et compétences) au sein de l'entreprise. Celle-ci passe par la réalisation d'un saut technologique, c'est-à-dire la migration de l'ancien système de conception ou de production vers un nouveau système plus performant. Pour cela les acteurs de l'entreprise doivent être en mesure d'assimiler et de maîtriser le développement de la future technologie ainsi que son industrialisation. En effet, comme nous le dit Jacqueson dans sa thèse, "l'appropriation d'un nouveau domaine par les différents acteurs hiérarchiques et fonctionnels de l'entreprise participe de façon significative à son intégration" [JACQUESON 02]. L'appropriation est bien considérée comme un passage obligé vers l'intégration et l'amélioration continue de l'innovation technologique. En se référant au propos de Proulx, celui-ci met en évidence la réunion de trois conditions pour que l'appropriation d'une technologie soit possible :

" 1. Une maîtrise cognitive et technique minimale de l'objet ou du dispositif technique

2. Une intégration sociale significative de l'usage de cette technologie dans la vie quotidienne de l'agent humain

3. La possibilité qu'un geste de création soit rendu possible par la technologie, c'est-à-dire que l'usage de l'objet technique fasse émerger de la nouveauté dans la vie de l'usager " [PROULX 01].

Nous interprétons, à travers ce discours, que Proulx positionne l'appropriation comme l'étape ultime d'une démarche d'usage. Cependant, nous pensons que placer l'appropriation au sein du processus d'innovation permettrait d'anticiper, en amont de la validation industrielle, la maîtrise technique et l'adaptation du bien en construction aux valeurs et aux structures de l'entreprise (cf. §1.4.4). Ainsi nous créerons des conditions favorables à la réalisation du saut technologique nécessaire à l'intégration de la future technologie et donc, à la réussite de l'innovation.

Dans notre contexte industriel d'externalisation, ce positionnement paraît d'autant plus évident que certaines des connaissances, au départ, se trouvent à l'extérieur de l'entreprise. Le positionnement de Mallet, qui évoque la possibilité de préparer le saut technologique très en amont de l'usage de la technologie et ceci plus précisément dès les phases de conception, confirme notre sentiment [MALLET 04]. Nous pouvons même affirmer que la formalisation d'une démarche de collaboration (première hypothèse) favorisera cette phase d'intégration puisqu'elle optimisera les échanges (connaissances et expériences principalement) entre les compétences extérieures et l'entreprise (le chef de projet).

Il est important de rappeler que la connaissance technique et scientifique est le pilier de la maîtrise d'une technologie (cf. § 2.2.1). Pour mener à bien un saut technologique il sera donc conseillé de formaliser et de recueillir l'ensemble des connaissances liées au développement de la technologie et à la fiabilité du système dans l'environnement de l'entreprise. Cependant les futurs utilisateurs du procédé ont-ils besoin de maîtriser la totalité de ces connaissances créées et acquises, en externe et en interne, au cours du processus d'innovation ? Nous pensons qu'il est inévitable de réduire cet ensemble au minimum nécessaire à l'assimilation et la pérennité de la technologie en interne. En conclusion, la réalisation du saut technologique passera nécessairement par la définition d'un seuil minimum de connaissances techniques à acquérir pour maîtriser son nouvel outil industriel.

Suite à ce cheminement et ce positionnement nous formulons notre seconde hypothèse de résolution : **Pour qu'il y ait innovation technologique, il est nécessaire de réaliser un saut technologique.**

Afin de mettre à l'épreuve nos deux hypothèses de recherche, relatives aux conditions nécessaires à l'optimisation d'un processus d'innovation technologique, nous expliciterons dans la troisième partie les expérimentations réalisées.

Troisième partie : Expérimentations industrielles

Nous avons montré au cours de la première et seconde partie, que gérer un projet innovant dans l'industrie, c'est se confronter à la complexité et à l'incertain. Mais l'innovation technologique est devenue un passage obligé aussi bien pour les grands groupes que pour les petites et moyennes entreprises afin de survivre dans le contexte économique actuel. Depuis déjà quelques décennies, les sociétés importantes ont su développer leur propre culture d'innovation et leur propre structure pour concevoir en collaboration. Malheureusement, les PME se retrouvent dans un contexte qu'elles maîtrisent beaucoup moins, où des ingénieurs se retrouvent seuls à mener des projets complexes et incertains mais vitaux pour l'avenir de la société. Nous avons montré, dans la seconde partie, qu'il était nécessaire de proposer des solutions pragmatiques à ces problématiques de conduite de l'innovation technologique, et que la mise en place d'un processus de conception ne peut garantir, à lui seul, le succès d'une innovation technologique, d'autant plus lorsque celle-ci est le fruit de l'importation de compétences externes à l'entreprise.

Dans cette partie, dédiée à l'expérimentation des deux hypothèses explicitées précédemment, nous allons tout d'abord présenter le cadre du projet industriel au sein duquel nous avons pris place : le "Projet Laser". Nous reviendrons sur l'environnement autour du projet pendant les trois années de recherche, avant de présenter les protocoles expérimentaux mis en place pour valider chacune de nos deux hypothèses.

La première expérimentation aura pour but de vérifier que la prise en compte d'une approche de collaboration, dès les phases amont, d'un projet innovant permet d'optimiser les activités de conception. Nous présenterons les différentes étapes que nous avons mises en place afin d'initier la collaboration et favoriser les échanges entre les différents partenaires et l'équipe projet. Puis nous montrerons quels impacts ils ont eu sur la conception de l'innovation technologique et, plus particulièrement, sur les phases de développement. La seconde expérimentation nous permettra de valider l'intégration de l'innovation technologique par la réalisation d'un saut technologique. Nous décrirons comment le résultat de la première hypothèse favorise la capitalisation des connaissances techniques. Cependant nous verrons

que d'autres connaissances liées à la fiabilité du processus de fabrication, doivent être identifiées et créées pour valider notre saut technologique. L'ensemble de ces connaissances techniques constituera le seuil minimum de connaissances à maîtriser par le chef de projet et les futurs acteurs de la technologie.

Ces expérimentations doivent nous permettre de répondre de manière pertinente à la problématique scientifique posée dans la seconde partie de ce mémoire : **Quels sont les conditions et critères favorisant la réussite d'une innovation technologique lorsque celle-ci met en jeu la pérennité des activités d'une PME-PMI ?**

3.1 Cadre du "Projet Laser"

C'est au cours du "Projet Laser", initié par les dirigeants de la société Komori-Chambon au début des années 2000, que nous avons pu valider les hypothèses explicitées précédemment. Ce paragraphe a pour objectif de définir le cadre du projet et son environnement afin de montrer son intérêt par rapport au travail de recherche.

Nous avons présenté, dans la première partie de ce mémoire, quel était l'objectif stratégique du lancement de ce projet innovant (cf. § 1.4.3), les caractéristiques des techniques laser (cf. § 1.4.1) et les avantages qu'elles pourraient amener dans la fabrication d'outillages de découpe. Nous avons aussi évoqué les difficultés pour passer d'un stade connu sur des techniques en pleine expansion, à un outil de production (nouvelle technologie dans un environnement existant) ainsi que les spécificités techniques et nouvelles à développer (précision de dépôt, aucun défaut dans les cordons, matière pouvant être gravée avec précision…) par rapport à des applications déjà opérationnelles dans certains secteurs (cf. § 1.4.3.2). Ce projet à forte consistance technique nous offre un champ d'investigation d'autant plus intéressant.

Nous souhaitons, à travers ce chapitre, définir le contexte et les objectifs du projet, décrire le déroulement global du développement technique (les différentes phases d'action) ainsi que les protocoles expérimentaux mis en place pour répondre aux deux hypothèses de recherche.

3.1.1 Contexte du "Projet Laser"

3.1.1.1 Historique du projet

Il est important de rappeler que le développement de cette nouvelle technologie de fabrication avait pour principal objectif de réduire considérablement les coûts et les délais (respectivement 30 et 40%) de production des outillages de découpe de type *Twin Knife* (cf. § 1.4.3.1). Il devait ainsi permettre à la société d'accroître les parts de marché de cylindres dédiés à la production d'emballage général. En effet, après la perte quasi-totale du marché chinois sur les emballages cigarettes, il devenait indispensable, pour la pérennité de l'activité, de mettre les moyens pour conquérir de nouvelles commandes sur un secteur fortement concurrentiel. Quoi de plus attractif pour un client que de se voir proposer des outils moins chers, dans des délais plus courts tout en gardant (voire même "en augmentant") sa performance en terme de durée de vie?

C'est une veille concurrentielle qui a mis la société Komori-Chambon sur la voie des techniques laser comme moyen de fabrication des outillages. Un des principaux concurrents dans le domaine du découpage rotatif s'essayait à la trempe et au rechargement laser de cylindres. Les demandes de dépôt de deux brevets mondiaux (PCT) furent alors analysées. L'ingénieur à l'origine de cette veille, s'est mis en relation avec des spécialistes du domaine afin d'évaluer la faisabilité technique du projet. C'est ainsi qu'a été initié le "Projet Laser" et qu'ont été lancées des "études de rechargement de filet de coupe résistant à l'usure" par un centre de recherche expert. Cette entité extérieure a expérimenté de nombreuses configurations techniques (nature du faisceau laser, matière, substrat, trajectoires, préchauffage, pré-dépôt à haut coefficient de dilatation, dilution, sous couches…) afin de limiter la fissuration et d'optimiser l'accroche au substrat, ceci tout en gardant les caractéristiques mécaniques de la matière déposée. Après un peu plus de deux ans de recherche appliquée, des choix ont été faits pour l'application Komori-Chambon (matière, nature du faisceau, nature du dépôt, paramétrage dépôt) en fonction des différentes réactions lors des post-opérations (usinage, rectification…) et de son évolution au cours du temps (estimation de la durée de vie). C'est à ce stade qu'ont pu commencer les essais sur pièces réelles via le sous-traitant expert. Deux cylindres prototypes ont été déposés sous les configurations prescrites par les études externes. Malgré les quelques porosités apparentes au sein du dépôt, le procédé a été validé en choisissant la solution qui paraissait la plus

industrialisable (Source laser X / Matière Y / Substrat *Z*) ceci, en espérant que le phénomène d'apparition de défauts puisse être résolu rapidement.

Lors de mon arrivée en janvier 2003 au sein de la société, le projet subissait certaines controverses puisque le phénomène de porosités s'aggravait au fil du projet (au lieu de rester constant ou de diminuer le nombre de défauts augmentait au sein du dépôt). Ces porosités apparaissaient de plus en plus sur les arêtes de coupe et imposaient la mise en œuvre de protocoles de réparation très lourds. Après de multiples essais (propreté et qualité des matières, taux de soufre très faible, variation de vitesse…) les causes d'apparition restaient inconnues.

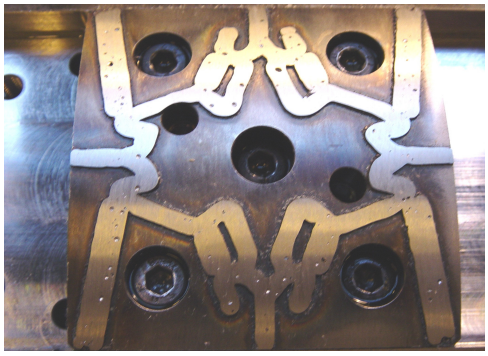


Figure 55 : Défauts présents sur un secteur de coupe rechargé laser

Le projet était donc remis en cause à l'ultime étape de la validation, lors de la prise de commandes clients car des étapes fondamentales du projet n'avaient pas été respectées. C'est à cet instant que la société a pris conscience qu'elle ne contrôlait que très peu d'éléments techniques du projet mais aussi que les experts eux-mêmes avaient du mal à résoudre certains problèmes qui leur incombaient. Mener à bien notre innovation technologique nécessitait le regroupement de fortes connaissances techniques et la mise en oeuvre de nombreuses expérimentations. Sans une maîtrise technique du projet et une implication plus forte dans le développement externe, la réussite était compromise. Il était nécessaire de reconsidérer une grande partie de l'étude en étant plus proche des partenaires de manière à mieux comprendre leur travail et d'être plus sûr de notre innovation.

3.1.1.2 Besoin et objectifs de la mission

Afin de traduire le besoin exprimé par la société et les objectifs à atteindre avec les partenaires majeurs (le centre de recherche et le sous traitant expert), ma première action fut de réaliser une Analyse Fonctionnelle Externe du "Projet Laser". Ceci a permis une formalisation explicite et commune des finalités du projet, détaillée par la définition des fonctions associées au système de dépôt laser de cylindres de découpe.

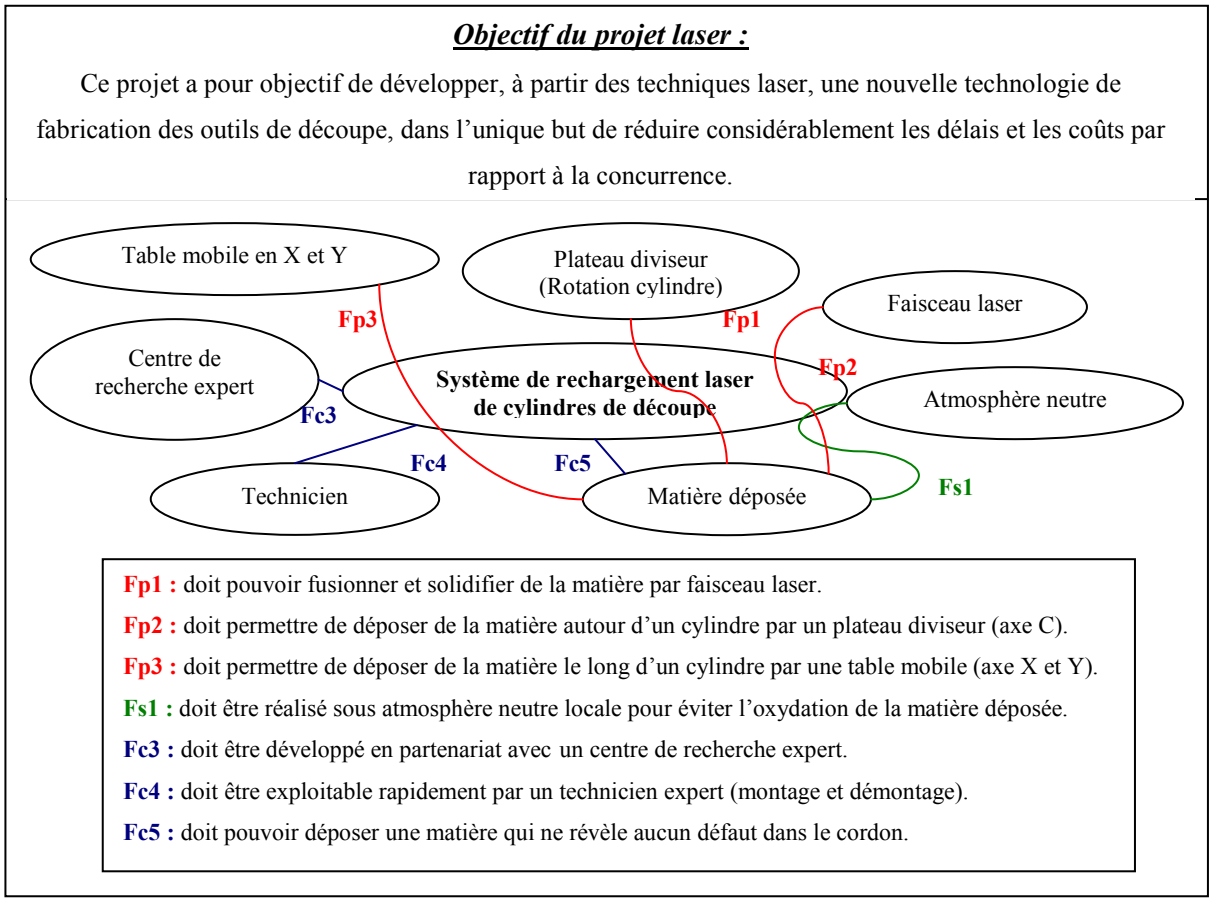


Figure 56 : Extrait de l'AFE du système de rechargement laser de cylindre de découpe

Elle permet de définir les fonctions primaires et secondaires qui sont, le plus souvent, connues par l'équipe projet mais qui méritent d'être écrites et hiérarchisées afin d'être toujours présentes à l'esprit lors de la conception. Au-delà des fonctions représentatives des relations entre le système et son environnement, l'analyse fonctionnelle facilite l'identification des contraintes extérieures imposées au système. On retrouve dans l'extrait de l'AFE réalisée au début de mon travail de recherche, la fonction de contrainte liée aux problèmes relevés avant mon arrivée : *le système de rechargement laser de cylindres doit déposer une matière qui ne*

révèle aucun défaut dans le cordon. Tant que cette fonction n'est pas respectée, et plus particulièrement tant que le niveau des critères d'appréciation n'est pas atteint, le procédé ne répond pas totalement au besoin fondamental exprimé au début du projet. Il est encore une fois prouvé ici que l'analyse fonctionnelle est un outil indispensable à toutes activités de conception car il permet, non seulement d'éviter un maximum de retours en arrière au cours du développement, mais aussi de fixer des objectifs techniques (pouvant être révisés) et des contraintes à tenir. Cependant l'analyse fonctionnelle ne résout pas tout ! Elle n'a le mérite que d'établir les fondamentaux des activités de conception.

Le travail qui m'a été confié sur ce projet de réalisation d'un nouveau système de rechargement laser, s'est intégré dans une démarche globale de recherche-action, ce qui nous a permis, en agissant concrètement sur le terrain, de tester et d'enrichir les postulats directement liés à des problématiques industrielles actuelles. Celle sur laquelle nous nous sommes penchés au cours de ces trois années de thèse CIFRE fut la suivante : **Comment développer et intégrer une innovation technologique en partenariat ?** En effet, comme nous l'avons expliqué précédemment, il est délicat pour les PME de contrôler l'ensemble de leur innovation technologique puisqu'elles sont obligées d'externaliser une partie de leur conception (cf. § 2.1.2.1). Ceci est donc un frein à la maîtrise de l'ensemble de leur processus de fabrication et à une intégration réussie du nouveau système (appropriation et possibilité d'évolution au cours du temps). L'entreprise devient complètement dépendante de ses partenaires dès que la technologie est transférée, sans pouvoir par la suite pérenniser son innovation comme elle l'entend. Il est donc nécessaire pour la société donneuse d'ordre, de collaborer étroitement avec ses partenaires tout au long des développements externes. Face à ce contexte industriel, notre mission consistait à :

- Réaliser un état de l'art des gammes de production existantes et analyser l'implantation du futur système au sein d'une de ces gammes (cf. Annexe 2 : *Modélisations SADT du processus de conception et de fabrication d'outillages de découpe*).

- Solutionner rapidement ce problème de porosités générées au sein du dépôt par la mise en œuvre de campagnes de tests.

- S'intégrer et participer au développement externe du procédé et de la machine de rechargement laser, prendre en charge les développements internes liés au procédé

(reconstruction des gammes d'usinage, paramétrage des opérations de rectification, procédures de réparation des outils…).

- A moyen terme, de réaliser des outillages clients (via cette nouvelle technologie) afin d'évaluer en conditions réelles la durée de vie de ces cylindres et pouvoir ainsi valider l'ensemble du nouveau processus de fabrication d'un point de vue technique, économique et temporel (délais de fabrication).

Le rendu final de ce projet sera donc un système de rechargement laser de cylindres de découpe, intégré dans un processus de fabrication existant. Ce système doit être maîtrisable en interne afin d'être pérennisé au sein de l'entreprise.

3.1.2 Déroulement du "Projet Laser"

Les aspects techniques et technologiques du "Projet Laser" se sont subdivisés en trois grandes étapes : la Mise au point d'une solution de rechargement pour outillage de découpe, la Conception et Développement d'un système de rechargement de cylindres de découpe et la Validation du processus de fabrication par la mise en service et l'intégration de la machine de rechargement.

La première phase consiste à étudier la faisabilité d'un rechargement spécifique (filet de coupe résistant à l'usure). L'étape de *Veille concurrentielle* est initiatrice de ce projet et a, pour finalité, la détection et l'intégration d'informations relatives aux nouvelles technologies développées ou mises en service par les concurrents. Cette évaluation permet de fixer des objectifs sur des nouveaux développements au sein de l'entreprise. Dans le cadre du "Projet Laser", le service Découpage Rotatif a lancé une étude plus poussée sur la faisabilité du rechargement laser par l'intermédiaire de spécialistes du domaine. Cette étude avait pour but d'évaluer et de valider la solution technique (nature du dépôt et du substrat, influence des paramètres de rechargement, paramétrage…). De cette analyse ont résulté plusieurs scénarios possibles (substrats, matière, nature du rechargement). Ces derniers ont été évalués en milieu industriel par les technologies internes de la société (évaluation des défauts par rapport à la future utilisation, techniques d'usinage spécifique et tests de durée de vie). Ces étapes ont fait converger le projet vers une solution technique de rechargement applicable à l'outillage de

découpe. Malheureusement, nous avons vu précédemment que le choix s'est révélé au fil du projet comme inadapté au besoin final (cf. § 3.1.1.1).

Une fois le scénario de rechargement validé, la seconde phase résidait dans le développement du procédé et la conception de l'outil de production spécifique. Suite aux problèmes rencontrés à mon arrivée, la première étape fut de traduire le besoin de la société face au futur système, de manière à valider l'ensemble des fonctions auxquelles il devait répondre. Nous avons ensuite pu nous concentrer sur le développement et la conception technique de l'outil de production (machine de rechargement laser propre à l'application Komori-Chambon). Ce développement s'est fait en étroite collaboration avec le sous-traitant expert sur des pièces d'essais assimilables aux outillages finaux (formes, matières, état de surface…). C'est à la suite de ces essais qu'ont pu être soulevées certaines spécificités techniques du rechargement de cylindres et qu'ont pu être engagées des optimisations au niveau des procédés en aval sur la chaîne de fabrication (optimisation de la gravure par exemple). Une fois le développement validé, il était nécessaire de définir et formaliser l'architecture de la machine de rechargement laser de cylindres. Ceci s'est fait en relevant chacun des éléments machines et chacun des paramètres dans les différentes configurations possibles. Cette architecture a été validée par les trois membres les plus impliqués : le sous-traitant expert, le responsable de production et le chef de projet.

Enfin la troisième et dernière phase a permis de valider le bon fonctionnement du système dans son nouvel environnement industriel. Une campagne de prototypes a été réalisée afin de tester l'ensemble du processus de fabrication. Nous avons choisi de fabriquer une douzaine de jeux de cylindres afin de regrouper l'ensemble des caractéristiques représentatives des outillages *Twin Knife* (diamètres et poids des cylindres, formes de découpe, longueur de parcours, nature du carton à découper). Ces outillages ont été placés en production chez plusieurs des clients fidèles de la société. Les différents problèmes survenus lors de la fabrication et les retours d'informations de la clientèle, ont impliqué la modification de certaines phases du processus de fabrication (nettoyage des cylindres, optimisation des paramètres de rechargement, granulométrie de la poudre, réduction des passes de rectification…).

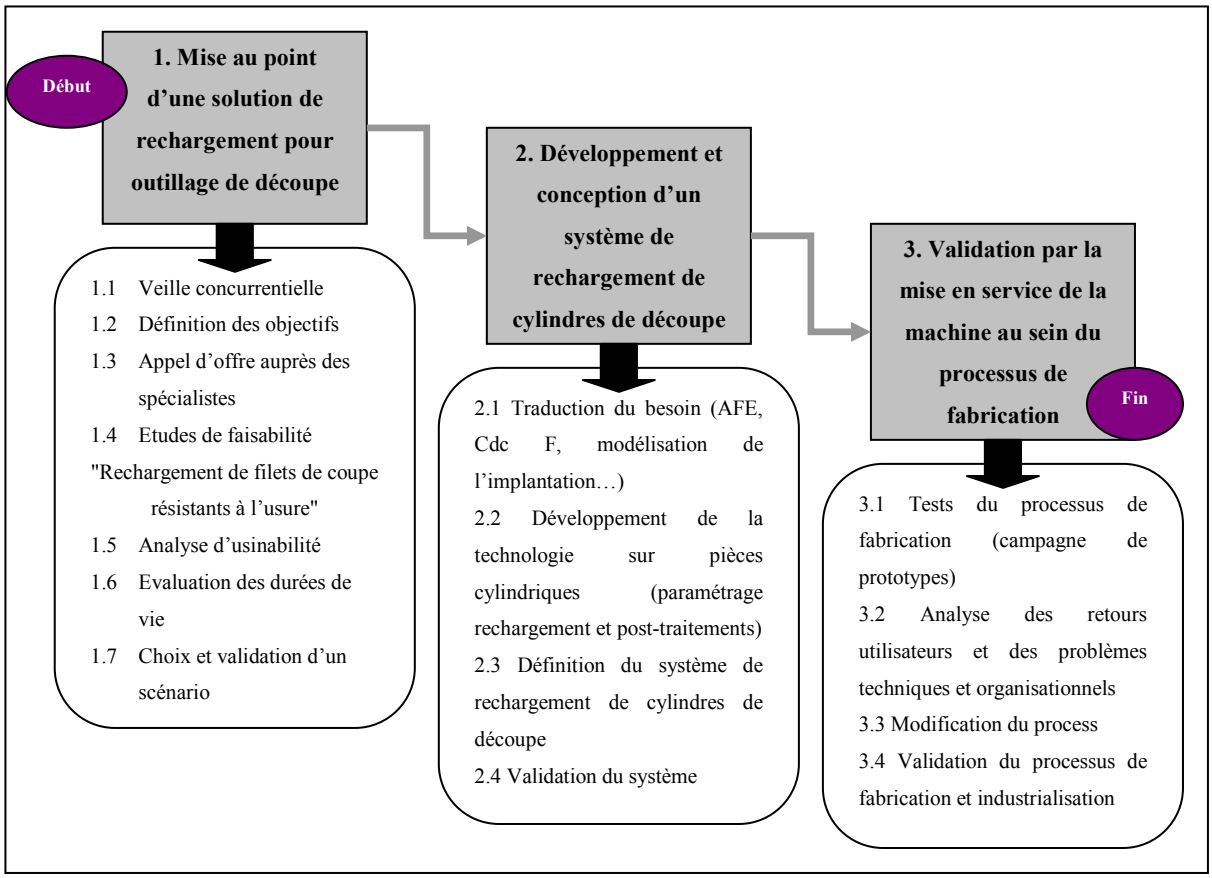


Figure 57 : Démarche globale du "Projet Laser"

Si ces phases et étapes du projet ont été schématisées de manière séquentielle pour des facilités de compréhension, il en a été tout autrement dans la réalité. En effet, de nombreuses étapes ont été réalisées simultanément, notamment au cours de la campagne de prototypes.

Le "Projet Laser" nous a fourni un contexte très appréciable pour pouvoir valider nos hypothèses scientifiques. Les expérimentations, relatives à la validation de notre travail de recherche-action se situeront autour de ces trois phases techniques du projet et porteront sur les notions de collaboration et d'intégration dans une démarche d'innovation technologique.

3.1.3 Les protocoles expérimentaux

Les expérimentations que nous allons présenter et décrire dans le prochain chapitre doivent nous permettre de valider nos deux hypothèses de recherche et ainsi, répondre à la problématique scientifique posée. La première expérimentation sera réalisée au cours de la conception du nouveau système de rechargement laser pour cylindre de découpe. Elle

consistera en la conception d'une démarche de collaboration. La seconde expérimentation, quant à elle, au cours de la phase de test de l'ensemble du nouveau processus de fabrication, une fois le système développé. Nous préparerons alors la migration de l'ancien système de fabrication vers le nouveau système.

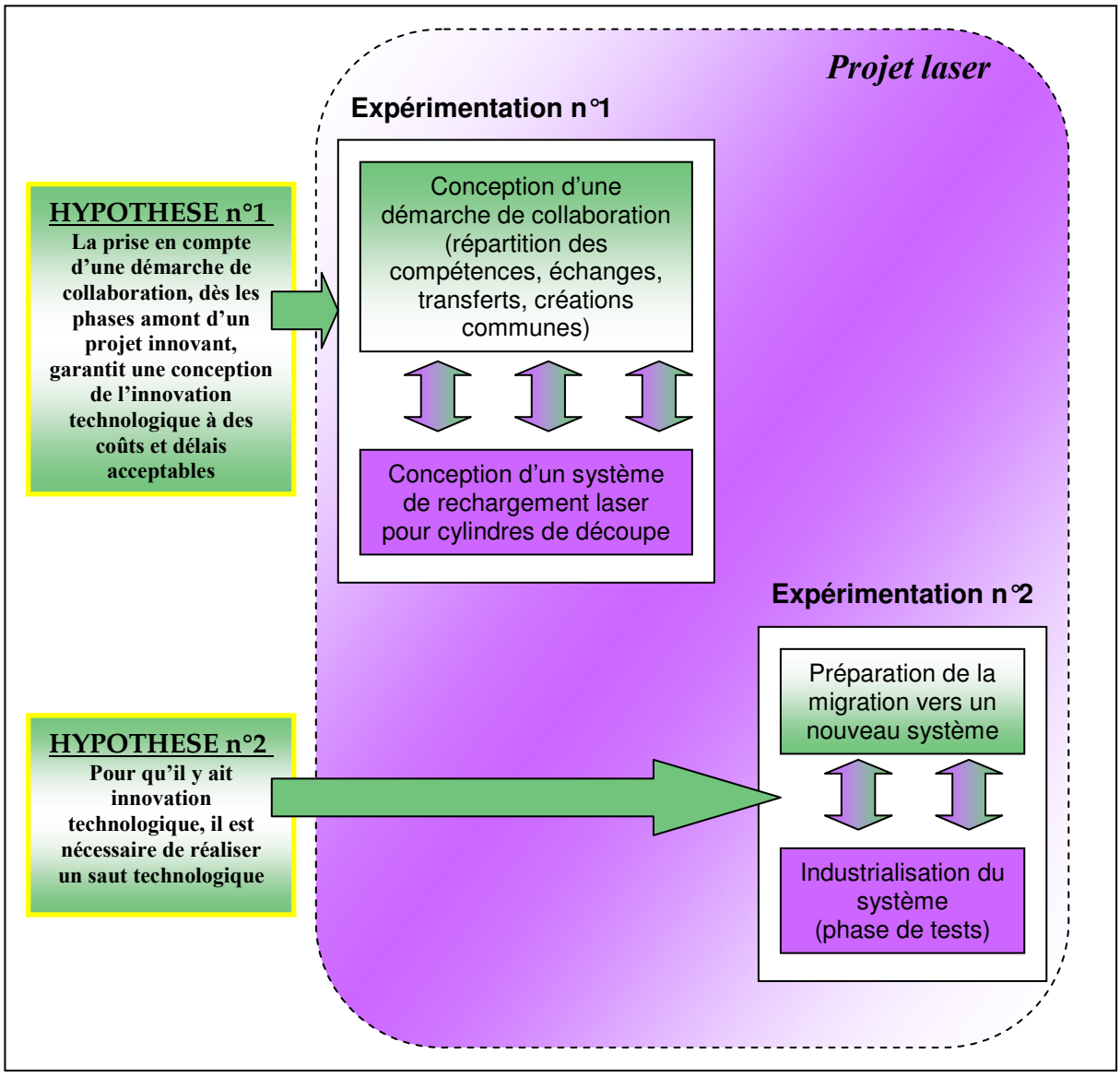


Figure 58 : Positionnement des expérimentations

Pour ce faire, nous avons élaboré deux protocoles expérimentaux afin de faciliter la compréhension et le suivi des actions.

La première hypothèse porte sur la mise en place d'un processus de collaboration afin de fiabiliser la conception de l'innovation technologique.

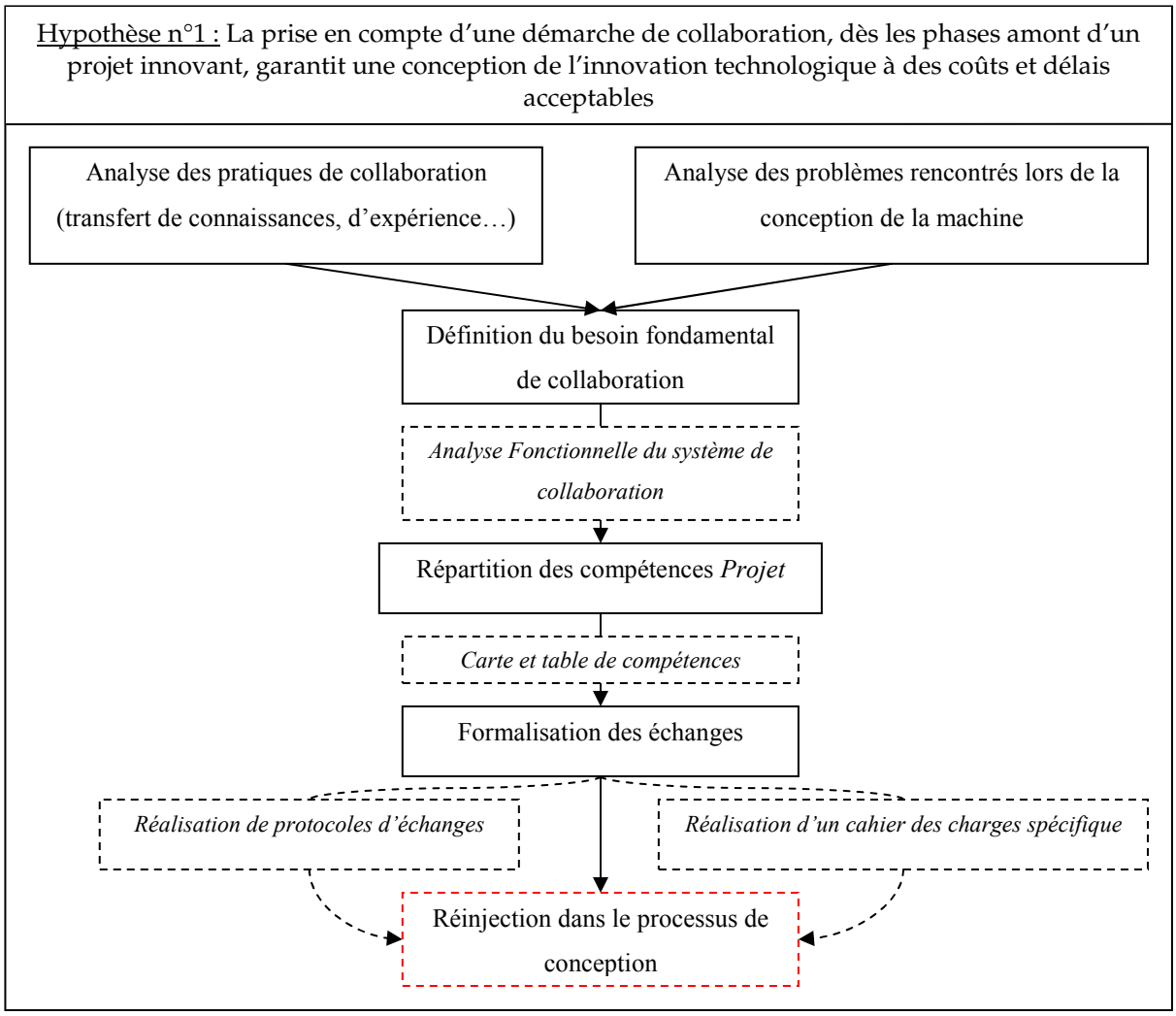


Figure 59 : Protocole d'expérimentation de la première hypothèse

Nous avons défini, au cours de l'expérimentation de notre première hypothèse, trois étapes fondamentales permettant d'optimiser la collaboration :

- Tout d'abord, il est nécessaire de définir le besoin de collaboration dans ce projet innovant.

- Ensuite, il faut pouvoir identifier les compétences internes et externes qui devront être allouées au projet et faire un premier état de la répartition des contributions dans le temps.

- Enfin, la formalisation des échanges par la réalisation conjointe de protocoles d'échanges et de Cahier des charges communs.

Notre seconde hypothèse de recherche porte sur la nécessité de réaliser un saut technologique pour faciliter la réussite de son innovation technologique. Ce saut technologique impliquera la définition d'un seuil minimum de connaissances techniques à acquérir pour maîtriser son nouvel outil industriel.

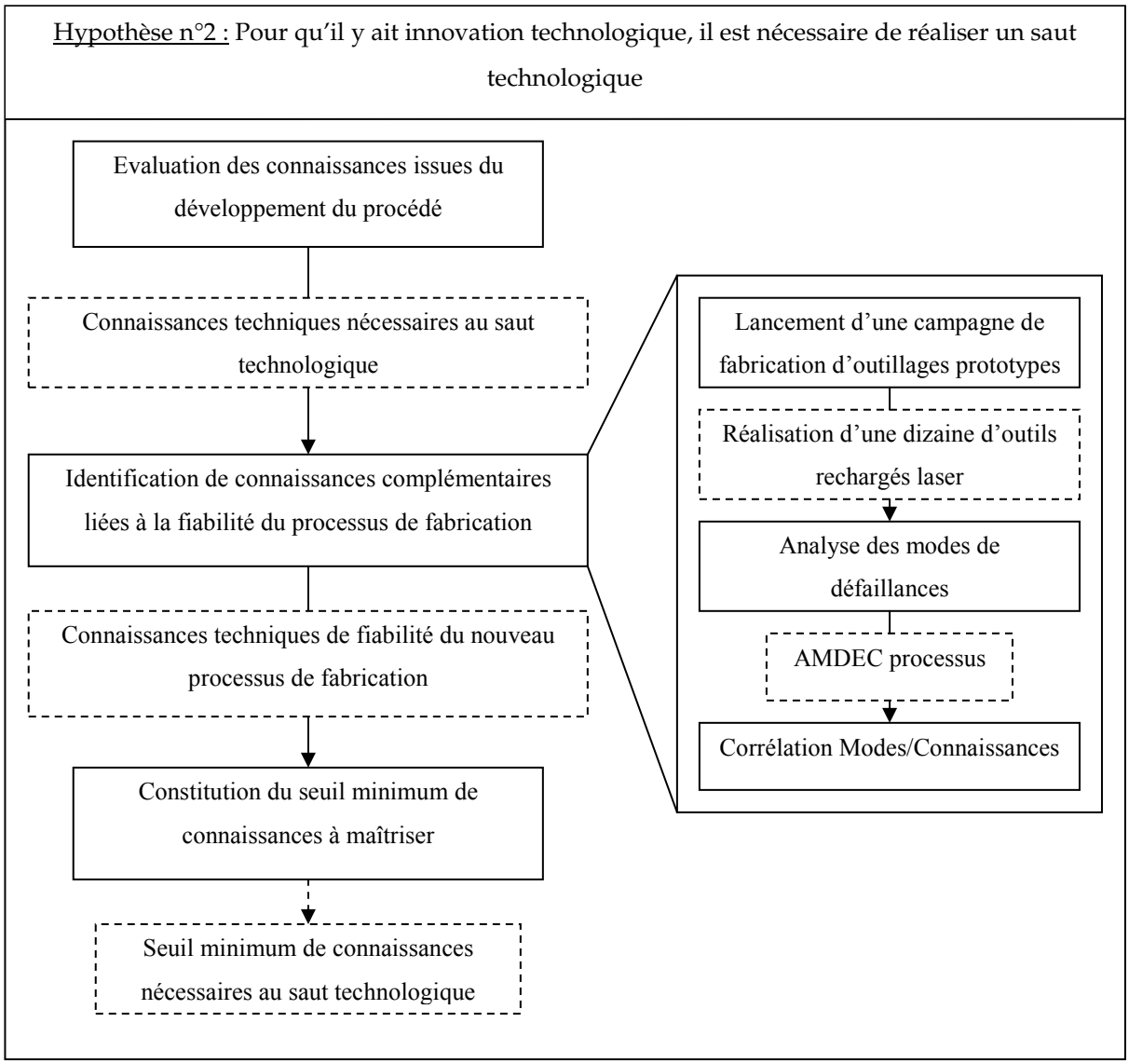


Figure 60 : Protocole d'expérimentation de notre seconde hypothèse

Nous nous sommes appuyés sur les résultats de notre première expérimentation (le suivi du protocole d'échanges et l'utilisation de documents communs) pour créer une base de connaissance projet et initier notre seconde expérimentation. La première étape consistera à évaluer les connaissances recueillies et créées au cours du développement de la nouvelle technologie. La seconde étape permettra, quant à elle, d'identifier l'ensemble des

connaissances complémentaires liées à la fiabilité de la nouvelle technologie dans son futur environnement. Pour ce faire, nous avons lancé une campagne de fabrication d'outillages prototypes rechargés par laser. L'ultime phase de cette expérimentation nous aidera à constituer le seuil minimum de connaissances techniques à maîtriser dans le cadre de la réalisation d'un saut technologique.

Nous allons dans les deux prochains chapitres détailler ces expérimentations.

3.2 Première expérimentation : Formalisation de la collaboration afin d'optimiser la conception

Nous présenterons dans ce chapitre les différentes étapes (cf. Figure 59) qui nous ont amenés à formaliser et optimiser la collaboration avec nos partenaires sur le "Projet Laser" et, plus particulièrement, notre principal partenaire : l'expert laser. Nous analyserons et observerons les problèmes de collaboration rencontrés lors de mes premiers pas sur le projet, ceci afin de montrer que la conception efficace de notre innovation technologique passe forcément par une communication (échanges, transferts, créations communes…) intensive et rigoureuse entre partenaires. Nous illustrerons ce propos par un exemple vécu au cours de la phase de développement du procédé de rechargement laser d'outillages de découpe. Suite à ces observations nous avons souhaité formaliser le besoin fondamental et les objectifs de collaboration afin de répondre aux bonnes questions avant tout projet, mais aussi de fixer les bases de la voie à entreprendre pour favoriser le travail collaboratif asynchrone. L'Analyse Fonctionnelle Externe qui résultera de cette étape permettra de définir et de hiérarchiser les fonctions que le système de collaboration devra remplir. Cependant, pour savoir à qui ce système devra s'appliquer, nous identifierons les compétences externes et internes dont nous aurons besoin au long du projet et les répartirons en fonction du contenu et des objectifs prévisionnels de chacune des phases. L'implication de chacun des experts permettra de faire la distinction entre les collaborations primordiales à l'avancée du projet et celles qui le sont un peu moins. En définissant l'expert laser comme partenaire principal nous centrerons exclusivement la suite de l'expérimentation sur nos relations avec cet acteur. Nous rédigerons un protocole d'échanges et élaborerons un cahier des charges spécifiques (évolutif au cours du projet) des opérations laser, ceci dans l'unique but de définir, de commun accord, le type communication à engager et de favoriser le transfert et la création de connaissances

communes. Nous évaluerons l'impact de la collaboration construite avec l'expert laser sur le processus de conception de la machine innovante. Nous illustrerons ces effets par la description d'un des essais en phase de développement : l'élaboration conjointe des trajectoires de rechargement.

3.2.1 Mise en évidence des problèmes liés à la collaboration

Au cours de nos premiers mois d'intégration dans le projet, nous avons souhaité comprendre pourquoi, aussi tard dans la conception, nous nous apercevions de l'impact de ces problèmes de porosités (cf. § 3.1.1.1) sur la viabilité du procédé. La légitimité du système de dépôt laser était remise en cause très tardivement par un problème, certes technique, mais conséquent à un manque de communication. En effet, le transfert et la compréhension des besoins et contraintes de chacun des partis n'étaient pas optimisés pour rendre le développement conjoint de l'innovation technologique efficace. Ainsi, nous rappellerons brièvement dans ce paragraphe l'état de la collaboration avec l'unique partenaire au départ : l'expert laser. Et nous présenterons un exemple tiré de notre expérience sur le projet, afin de montrer l'influence que peut avoir une communication non formalisée sur une conception conjointe.

3.2.1.1 Analyse de la collaboration avec l'expert laser

Les problèmes de collaboration ont déjà été brièvement exprimés précédemment (cf. §2.1.2.2). Nous étions positionnés sur l'axe d'un partenariat simple selon Perrotin (cf. Figure 44), alors que nous souhaitions concevoir conjointement une nouvelle machine [PERROTIN et al.02]. Si l'on se réfère à la figure 61, on retrouve des transferts physiques de pièces mais un manque complet de spécifications écrites ou de transfert de données, en amont et en aval de l'opération de dépôt. Toutes les préconisations étaient orales à l'exception de fichiers CAO correspondant aux plans du parcours de dépôt à réaliser. On envoyait un plan et une pièce cylindrique pour réaliser un essai défini à l'avance en interne. L'expert laser réalisait la prestation et nous renvoyait la pièce à forte valeur ajoutée. Mais lui-même profitait de l'occasion pour ajuster ces paramètres (sans en faire référence) en pensant que cela n'aurait aucune influence sur la logique de nos essais. Chacun des experts réalisait donc son travail dans son domaine, sans qu'il y ait assez de concertation pour élaborer des essais communs. En schématisant grossièrement, nous récupérions des pièces d'essais à forte valeur ajoutée qui

étaient peu exploitables puisque impossibles à corréler avec nos précédents essais. Tout ceci remettait en cause, en interne, la constance des techniques laser pour notre application.

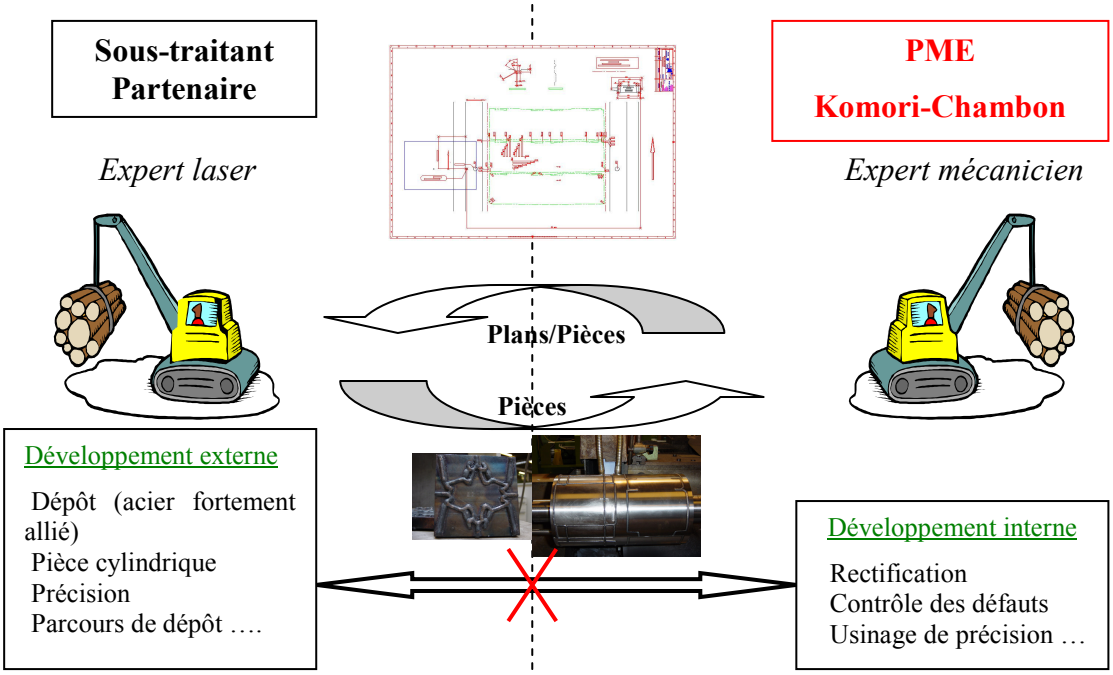


Figure 61 : Schéma des échanges lors des premiers essais sur pièces cylindriques

Nous avions précisé dans la première partie que la technologie de dépôt laser de cylindre de découpe était très pointue. C'est à ce moment là que nous en avons réellement pris conscience. Une simple variation de quelques paramètres pouvait engendrer des conséquences désastreuses sur la qualité des filets de coupe et leur usinabilité. Il est vrai que pour d'autres applications, comme le rechargement d'alliage sur des socles de charrue par exemple, cette stabilité n'était peut être pas nécessaire. Mais pour nous elle devenait indispensable dans l'objectif d'un développement conjoint cohérent. Les échanges d'information informels et parfois mal interprétés ne devaient donc pas être de mise. Ces relations n'étaient pas proches pour être efficaces sur l'avancée du projet. En effet, chaque métier semblait vouloir avancer indépendamment et aucune structure n'était mise en place pour favoriser la réunion des compétences et la création commune.

3.2.1.2 Exemple d'impact d'une mauvaise collaboration sur le développement

C'est à la suite d'un des nombreux essais réalisés sur un cylindre de découpe que nous avons réellement pu prendre conscience du manque de communication entre l'expert laser et nous

mêmes. Cet essai devait nous permettre d'évaluer des critères d'usinabilité de la matière (développement d'une nouvelle gamme d'usinage) et de précision du dépôt (manques de matières, décalage de la machine).

Jusqu'ici, l'expert avait toujours déposé sa matière via un faisceau laser X (plus performant) qu'il empruntait à un centre de recherche spécialisé (centre ayant réalisé les études de faisabilité). Cependant ce jour-là, face à une demande pressante de notre part pour valider certaines hypothèses techniques, il décide d'utiliser un faisceau laser Y plus puissant dont il est propriétaire. En effet, ne pouvant avoir accès à la source diode sous trois semaines et pensant que l'influence sur la nature du dépôt serait nulle, il changea sa source et sa buse. Puis réalisa le rechargement avec les mêmes matières, les mêmes substrats et les mêmes paramètres (dilution, vitesse, débit…) en considérant que ces conditions étaient similaires aux essais précédents. A ces yeux le changement de source ne devait en rien altérer, pour lui comme pour nous, le développement de la technologie.

Sans avoir été informés de cette modification, nous avons effectué les opérations prédéfinies sur ce cylindre (plus particulièrement des essais de gravure avec des outils de coupe du commerce). Nous avons rencontré alors d'énormes problèmes d'usinage. L'usure de nos outils était multipliée par trois sur des longueurs de parcours équivalents aux essais précédents. Il nous était impossible de retrouver les résultats antérieurs et ainsi valider nos nouvelles observations. Nous nous sommes alors interrogés sur la reproductibilité du procédé et nous nous sommes inquiétés d'une telle disparité. Nous avons finalement lancé un autre essai afin de comprendre quelle pouvait être la raison de ce phénomène et nous avons appris de l'expert, quelques mois plus tard, au cours de la gravure de ce second essai, que la source laser avait été changée.

Ce type d'erreur grossière peut sembler impensable dans le milieu industriel, mais pourtant elle est belle et bien réelle. Cet exemple prouve qu'une communication plus rigoureuse avec l'expert laser et qu'un transfert d'information, quelle que soit leur importance, éviteraient de rajouter de la complexité sur un projet déjà très pointu. Nous aurions pu ainsi gagner quelques mois de développement en nous affranchissant de contraintes techniques inutiles et limiter les coûts de conception.

3.2.2 Définition du besoin de collaboration

Suite à cette première analyse des problèmes de communication rencontrés au cours du projet, nous avons d'abord souhaité redéfinir les besoins de collaboration de Komori-Chambon face à la particularité de la situation. Ceci afin d'identifier les objectifs (non techniques) à atteindre et de rechercher, ordonner, caractériser et hiérarchiser les différentes fonctions que doit remplir le système de collaboration à élaborer [TASSINARI 97]. Cette étape permettra de clarifier la situation en interne et de valider les lignes directrices pour la mise en place d'une organisation plus intensive et plus efficace sur le "Projet Laser".

3.2.2.1 Quels besoins et quels objectifs pour la collaboration ?

Avant toute collaboration avec un partenaire externe, nous nous devons de nous poser les questions fondamentales à l'initiation de telles activités et de fixer des objectifs à atteindre sur ce point spécifique. Notamment lorsque l'on a l'intime conviction que ces préconisations auront un impact non négligeable sur la réussite de l'innovation technologique. Le fondement de cette étape, est avant tout, d'exprimer et de formaliser "la raison d'être" du système de collaboration que nous souhaitons voir édifier entre les partenaires et le chef de projet. Les premières interrogations qui me sont venues à l'esprit, à ce moment-là, furent les suivantes : Pour quelles raisons doit-on collaborer ? Qu'est-ce-que cela va nous apporter ? Sur qui nous appuyer en interne et en externe pour réunir les compétences nécessaires à la réussite du projet ? Quels peuvent-être les intérêts de chacun des collaborateurs à faire évoluer le projet ? Comment instaurer et garder le dialogue avec les principaux partenaires ? Comment récupérer un maximum de données, d'information et de connaissances ? Même si nous avions déjà quelques réponses à ces questions, d'autres restaient en suspend. La solution à ces interrogations devait faciliter la mise en place d'un système cohérent avec la stratégie d'actions du projet technique.

Afin de transformer toutes ou partie de ces interrogations en réponses formalisées, nous nous sommes appuyés sur la première phase de l'Analyse Fonctionnelle Externe : l'expression et la validation du besoin fondamental [DUBOIS et al. 00]. Elle propose de répondre à trois questions sur les interactions entre le futur produit ou procédé (ou organisation) à concevoir et son environnement extérieur : A qui rend-t-il service ? Sur quoi agit-il ? Dans quel but existe-t-il ? Ces dernières ont pour but de faciliter l'expression du besoin fondamental d'un système

de collaboration. Cette phase doit être réalisée en accord avec l'historique du projet et les volontés de la société. Pour ce faire, nous avons donc sollicité l'intervention du responsable du Bureau d'Etudes Découpage Rotatif (initiateur et responsable du "Projet Laser" jusqu'à présent). Fort d'une solide expérience du projet (tenants et aboutissants techniques et stratégiques), sa participation nous a permis de confronter notre regard extérieur sur la situation actuelle à son point de vue. Elle a aussi contribué à une expression des besoins aux plus justes des objectifs de la société Komori-Chambon.

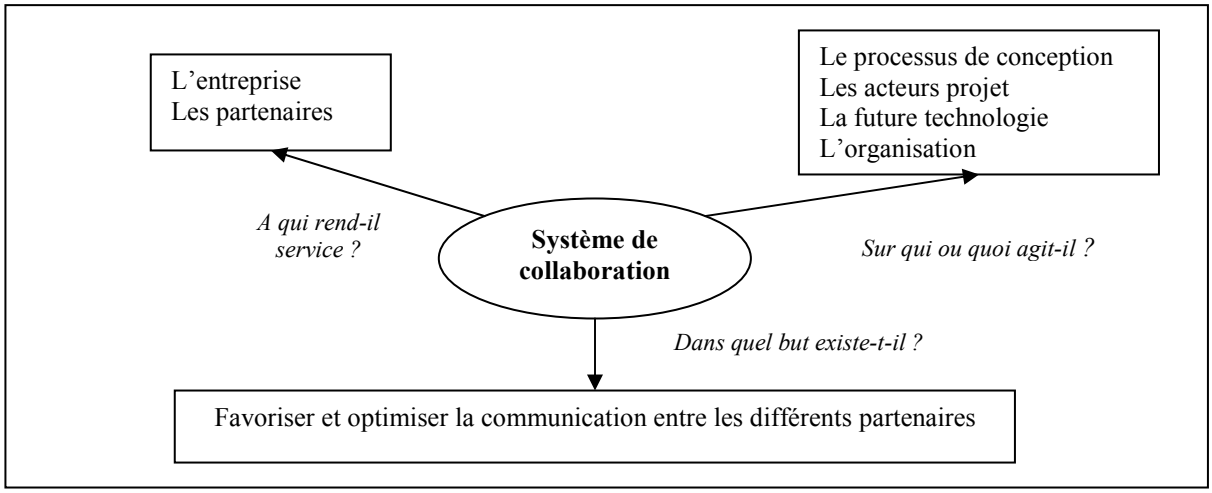


Figure 62 : "Bête à Cornes" du système de collaboration

La représentation de cette "Bête à Cornes" a favorisé la définition du besoin fondamental du système de collaboration : Favoriser et optimiser la communication entre les différents partenaires. Cependant, si l'on se réfère à la norme de l'analyse fonctionnelle spécifique à l'expression du besoin, celui-ci ne peut être validé qu'après avoir répondu aux questions suivantes [NF-X-50-151]:

- Pourquoi ce système existe-t-il ?

  • Parce que la société manque de compétences internes pour pouvoir développer son innovation technologique

  • Parce que le développement conjoint du procédé de rechargement laser de cylindres de découpe est long et coûteux.

  • Parce que la communication avec l'expert laser manque de rigueur.

  • Parce que la société a des difficultés à gérer et maîtriser le développement externe.

- Dans quel but ce besoin existe-t-il ?

  • Pour pouvoir instaurer un travail collaboratif rigoureux avec les différents partenaires du projet.

  • Pour améliorer les phases de conception de l'innovation technologique et limiter les coûts et les délais de développement.

  • Pour créer des connaissances et des expériences communes.

- Quelles sont les causes d'évolution ou de disparition de ce besoin ?

  • L'utilisation sur d'autres projets innovants à fortes composantes techniques.

  • La disparition des principaux partenaires au cours du projet.

  • L'abandon du projet pour des raisons économiques ou techniques.

Réfléchir autour de ces questions fondamentales nous a permis de valider la pertinence de la construction d'un système de collaboration au cours de notre "Projet Laser".

L'objectif attendu d'un tel système est de pouvoir travailler avec ses partenaires de manière rigoureuse et efficace. Il devra favoriser la création de connaissances communes en optimisant les échanges et la compréhension des contraintes respectives de chaque parti.

3.2.2.2 Analyse Fonctionnelle Externe du système de collaboration

L'analyse de la valeur et, plus particulièrement l'analyse fonctionnelle externe, est une méthode généralement utilisée dans le cadre de la conception de produits ou de procédés. Nous avons souhaité l'appliquer à la conception d'une démarche de collaboration.

Elle permettra une formalisation explicite des finalités du projet, détaillée par l'expression et la validation de fonctions principales, secondaires et de contraintes associées au "Système de collaboration" (cf. 2.1.1.4). C'est une méthode contraignante par sa lourdeur d'exécution. Mais comme l'affirme Thouvenin dans sa thèse, "celui qui n'en connaît pas le principe ne peut être efficace dans un processus de conception" [THOUVENIN 02]. Elle nous apportera donc une vision objective sur la nature des livrables à fournir pour construire une démarche adaptée à notre besoin. De plus elle aidera à la spécification des contraintes et des exigences d'usage du système.

Nous avons décidé de réaliser l'analyse fonctionnelle du système de collaboration car c'est, à notre sens, le meilleur outil qui puisse nous permettre de définir comment travailler de manière réfléchie avec les autres acteurs du projet. "La démarche fonctionnelle est le plus sûr moyen d'obtenir une réponse adaptée et d'améliorer la communication et la compréhension entre partenaires" [AFAV 89]. En suivant les étapes définies par la norme de l'analyse fonctionnelle externe, nous avons déterminé le cycle de vie du système de collaboration. Ce dernier distinguera trois phases : la phase de conception, la phase d'utilisation et la phase d'adaptation ou de recyclage pour d'autres applications.

Nous avons utilisé l'outil pieuvre de la méthode APTE pour représenter les interactions entre le système et son milieu environnant, lors des trois phases du cycle de vie de la démarche à construire [APTE 03]. Cet outil est un support à la recherche et à la définition des fonctions que devra remplir le système de collaboration pour satisfaire les besoins définis précédemment (cf. 3.2.2.1). Nous avons fait le choix de définir les fonctions du système de collaboration seul. C'est un choix qui peut être discuté mais, étant l'unique utilisateur de ce système en interne, la contribution des membres du service Découpage Rotatif n'a pas été jugée nécessaire. Par contre nous nous sommes appliqués à prendre en compte les préconisations et besoins de notre unique partenaire à cette époque : l'expert laser. Ce dernier n'a pas participé directement à la réalisation de cette analyse fonctionnelle, mais il a été vivement sollicité afin de nous faire partager ses contraintes structurelles (TPE) et d'exprimer, à son tour, son besoin de collaboration (avoir un retour formalisé des informations tirées des essais chez nous, afin de faire évoluer de manière efficace le développement de la technologie).

Nous avons donc identifié, dans la phase d'utilisation, les relations à créer par le système de collaboration entre le chef de projet, les partenaires, le processus de conception, le processus de gestion de projet, les connaissances techniques externes et les connaissances techniques communes. Ce système a pour première fonction principale de permettre une interaction optimum entre le chef de projet et un des partenaires. A travers le processus de conception, il doit aussi favoriser l'assimilation des connaissances techniques externes et la création de connaissances techniques communes au cours du développement. De plus, nous avons établi deux fonctions secondaires : par l'intermédiaire du chef de projet, le système de collaboration

doit permettre le contrôle du processus de gestion de projet et favoriser l'acquisition des connaissances techniques externes.

En ce qui concerne les contraintes, elles sont imposées principalement dans la phase de conception du système, par les organisations de chacun des services collaborant.

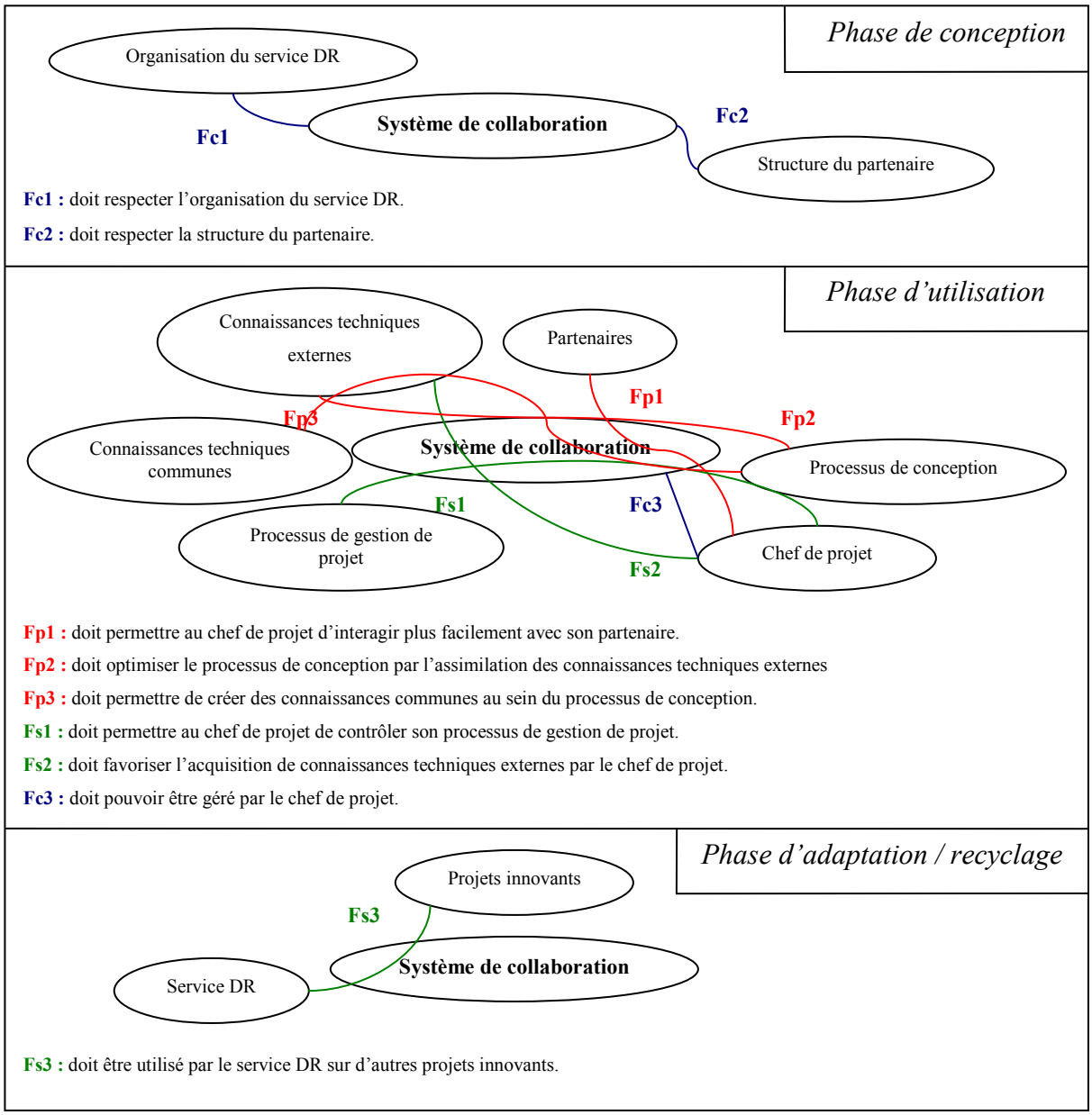


Figure 63 : Outils pieuvre des trois phases du cycle de vie du système de collaboration

Cette source méthodologique est indispensable pour révéler les interactions possibles entre le système et son milieu environnant. Cependant, la construction du Cahier des Charges Fonctionnel qui constituera l'expression du problème auquel devra répondre le système de

collaboration, doit passer par la caractérisation des fonctions. "L'Analyse Fonctionnelle Externe exige une caractérisation des fonctions sous forme de critères d'appréciation. C'est une façon de déterminer les performances nécessaires au futur produit afin de satisfaire le besoin" [LUONG 05].

Fonction	Critères	Niveaux	Flexibilité
Fp1 : Le système de collaboration doit permettre au chef de projet d'interagir plus facilement avec son partenaire	- Protocole d'échanges - Moyens de communications	-Pertinence des informations dans documents - Rapide	- Appréciation du chef de projet et de l'équipe interne
Fp2 : Le système de collaboration doit optimiser le processus de conception par l'assimilation des connaissances techniques externes	- Coûts et des délais de développement	- Minimisation du nombre d'essais	- Appréciation des dirigeants
Fp3 : Le système de collaboration doit permettre de créer des connaissances communes au sein du processus de conception	- Nbre de Connaissances communes	- Influence sur les avancées techniques	
Fs1 : Le système de collaboration doit permettre au chef de projet de contrôler son processus de gestion de projet	- Prise de décisions optimisées	- Influences positives sur le projet	
Fs2 : Le système de collaboration doit favoriser l'acquisition de connaissances techniques externes par le chef de projet	- Base de connaissances	- Nécessaires à la maîtrise du projet	- Appréciation du chef de projet
Fs3 : Le système de collaboration doit être utilisé par le service DR sur d'autres projets innovants	- Adaptabilité	- Utilisation partielle sur projets techniques	- Appréciation du responsable du service DR
Fc1 : Le système de collaboration doit respecter l'organisation du service DR	- Modification de la structure - Implication des acteurs internes	- Faible - Expertises nécessaires	
Fc2 : Le système de collaboration doit respecter la structure du partenaire	- Participation du partenaire	- Maximum	
Fc3 : Le système de collaboration doit pouvoir être géré par le chef de projet	- Complexité des tâches de travail	- Simple	

Figure 64 : Tableau de caractérisation des fonctions du système de collaboration

Nous avons donc établi des critères d'appréciation pour chacune des fonctions identifiées. En se référant au tableau ci-dessus, on pourra notamment s'attarder sur les critères d'appréciation relevés pour les trois fonctions principales : **les protocoles d'échanges**, **les moyens de communication**, **les connaissances communes** ainsi que **les coûts et délais de conception**. Ce sont les principaux facteurs qui permettront, non seulement de mettre en œuvre la collaboration avec les partenaires mais aussi, de juger de sa performance. On pourra noter aussi que la base de connaissances externes est retenue comme un critère permettant d'apprécier l'acquisition des connaissances externes au sein de la société. Nous verrons plus

tard que cette base de connaissances, généralisée au projet technique, est un résultat clé dans l'intégration de l'innovation technologique. Enfin, on n'omettra pas de souligner les critères d'adaptabilité de la démarche aux structures internes et externes mais aussi de simplicité de mise en œuvre, ceci afin de ne pas créer des lourdeurs de réalisation et d'utilisation qui seraient néfastes à la collaboration.

L'analyse fonctionnelle a participé, grâce à son caractère méthodologique, à la définition et la formalisation des tenants et aboutissants d'un système de collaboration. Même si les niveaux des critères d'appréciation restent très subjectifs, comparés à la caractérisation de fonctions techniques d'un produit, ils n'en restent pas moins indispensables pour les étapes suivantes. A l'issue de ce travail, choisir et mettre en place des protocoles ou outils adéquats devient plus facile.

3.2.3 Evaluation et répartition des compétences

Une fois le Cahier des Charges Fonctionnel du système de collaboration élaboré, il nous fallait déterminer les partenaires avec lesquels le mettre en place. L'expert laser faisait déjà partie intégrante du projet mais il était le seul collaborateur externe. N'avions-nous pas besoin de réunir toutes les connaissances et l'expérience dans d'autres domaines, pouvant apporter une assistance au développement technique ?

Pour ce faire, nous nous sommes concertés en interne afin de définir les compétences techniques, aussi bien internes qu'externes, nécessaires au développement et à la conception de la nouvelle technologie. Nous avons d'abord dressé une liste de l'ensemble des domaines techniques pouvant être regroupés au sein du "Projet Laser". Ensuite, nous avons réparti ces derniers, en branches, suivant les compétences primaires à laquelle nous pouvions les rattacher. La "Carte de compétences" (cf. Figure 65) représente l'ensemble des compétences techniques et des domaines à solliciter au cours du projet. Nous avons identifié et positionné sur cette carte une compétence interne (le découpage rotatif) et trois compétences externes (les techniques laser, l'usinage et la métallurgie) ainsi que les champs respectifs que chacune d'entre elles est censée maîtriser.

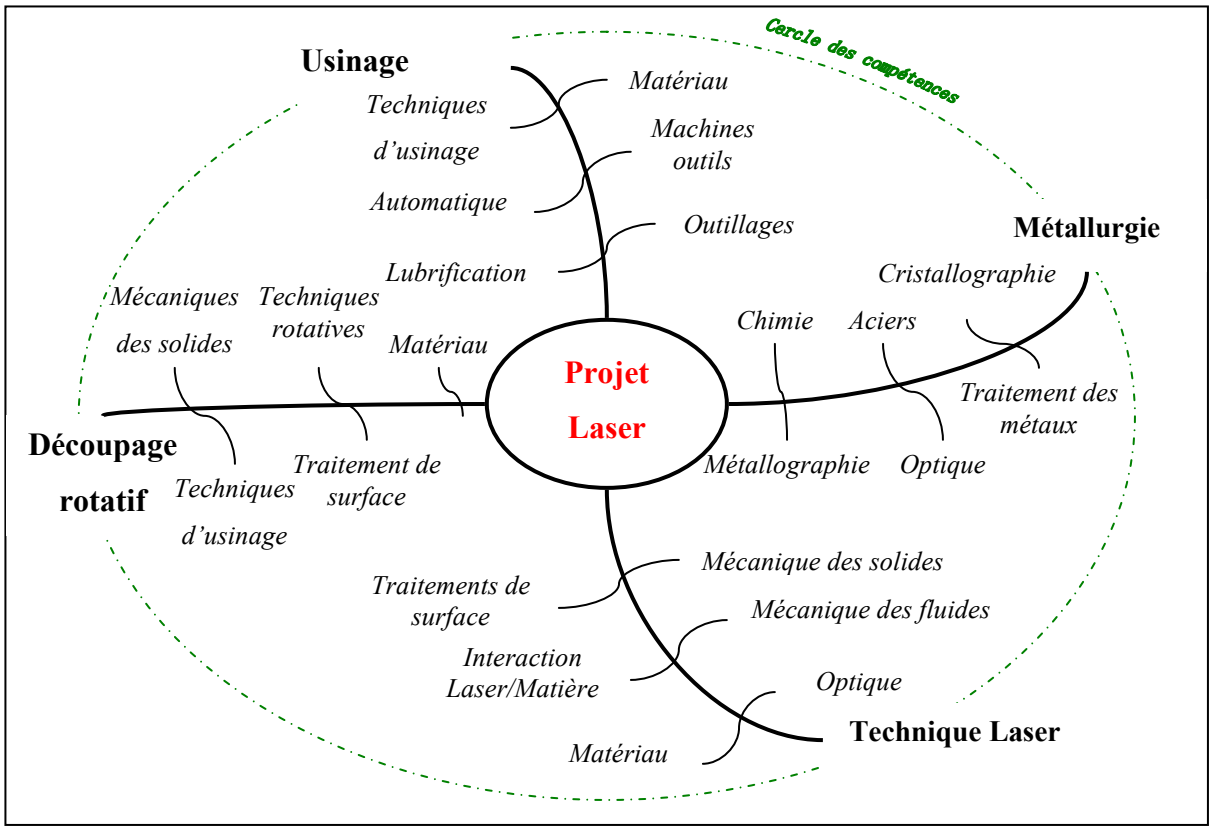


Figure 65 : Carte des compétences sur le "Projet Laser"

Nous pouvons remarquer que de nombreux domaines techniques sont communs à plusieurs des compétences, ce qui devra permettre de favoriser le rapprochement entre les différents acteurs métiers. De plus, nous pourrons alors prendre différents avis et confronter ces réflexions sur un même domaine.

A partir de cette carte de compétences, nous avons recherché chacun des experts répondant aux profils établis. Cette recherche a été essentiellement conduite à partir du réseau déjà construit par le responsable du bureau d'études. Les choix se sont ensuite faits sur le terrain, à l'appréciation des compétences démontrées face à la complexité du sujet. Nous avons, en quelques semaines, constitué non pas une équipe projet, mais une structure que nous appellerons "réseau projet". En effet, les compétences seront sollicitées par le chef de projet lorsque celui-ci estimera que la contribution de l'expert peut résoudre certaines problématiques. Chacune des compétences ne sera donc que très rarement (sur certaines phases du projet) mise en confrontation. On ne peut donc pas, dans cette configuration, parler d'équipe projet.

Les descriptions des profils de chacune des personnes ou organisations engagée dans le "Projet Laser" sont présentées ci-dessous.

• Le Centre de Recherche Laser (CRL) : est un centre de ressources technologiques spécialisé dans le traitement des matériaux par laser. Il propose des activités de recherche et de développement ainsi que la réalisation d'études de faisabilité sur l'industrialisation de procédés laser.

• L'Expert Laser en traitement de surface (ELTS) : est un ancien membre du CRL reconverti dans la sous-traitance en trempe, refusion et rechargement laser de pièces mécaniques. Il est responsable de la mise en oeuvre industrielle des procédés étudiés et développés par le CRL.

• Le Centre de Recherche Usinage (CRU) : est un centre de recherche universitaire qui travaille essentiellement sur l'optimisation des paramètres de coupe pour l'usinage (perçage tournage et fraisage) de matières spécifiques et de pièces complexes.

• L'Expert Usinage (EU) : est un technicien d'un fabricant d'outils de coupe spécialisé dans les usinages spécifiques. Il est en liaison directe avec son centre de recherche qui développe et conçoit des outils de coupe (diamètre, types de carbure, revêtement, profil de dents et d'hélices) travaillant dans des conditions environnantes particulières.

• Le Centre de Métallurgie (CM) : est un centre spécialisé dans l'expertise métallurgique, le soudage ou encore la métrologie. Il possède d'importants moyens techniques pour analyser les matières, évaluer les caractéristiques mécaniques, réaliser des contrôles non destructifs et examiner des microstructures.

• L'Expert en Mécanique de Précision (EMP) : est un des techniciens de l'entreprise Komori-Chambon. Il maîtrise l'ensemble du processus de fabrication des outillages de découpe et, plus particulièrement, toutes les techniques et moyens qui ont trait à la gravure de précision.

• L'Expert en Découpage Rotatif (EDR) : est le responsable du service découpage rotatif. Il possède une très solide expérience dans la conception, la fabrication et l'utilisation des modules et outils de façonnage.

• Le Chef de Projet (CP) : est le coordinateur de toutes les activités du projet. Il dispose de connaissances en gestion de projet et en méthodologie de conception, mais aussi d'une formation en génie des matériaux.

Nous pouvons ajouter à ce groupe d'acteurs projet, un expert un peu particulier : la bibliographie (BL). On peut la retrouver sous forme de thèses de doctorat, d'ouvrages, d'articles de recherche ou encore d'articles de presse. Elle représente une aide très appréciable dans un projet technique (dans son positionnement et la résolution de problématiques spécifiques).

Nous avons ensuite réparti l'implication des différents acteurs suivant les phases du projet. On reprendra donc les phases décrites précédemment (cf. § 3.1.2), les champs techniques communs essentiels (matériaux et mécaniques) et les compétences révélées par la carte de compétences pour construire la table des compétences. Nous avons rajouté, dans ce tableau, les expertises méthodologiques qui devront être impliquées dans la gestion et le contrôle du projet technique. On disposera dans chacune des cases de la table, les personnes ou institutions à solliciter durant les trois grandes phases (cf. Figure 66). Le centre de recherche laser n'interviendra que dans la phase de mise au point de la solution de rechargement laser. C'est ensuite l'expert laser en traitement de surface qui prendra le relais pour la conception de la machine de dépôt. On notera que, parmi tous les acteurs externes, c'est ce dernier qui s'impliquera le plus souvent. C'est donc bien avec cet intervenant qu'il faut tout particulièrement optimiser la collaboration. En effet, c'est avec cette personne qu'il y aura le plus d'échanges de données, de connaissances et d'expériences techniques lors des phases clés du projet.

Ces deux représentations que sont la carte et la table de compétences, permettront au responsable de savoir qui solliciter et à quel moment, avant le début du projet. En fonction des aléas et de l'avancée technique, la table des compétences pourra être réactualisée. Cette étape d'évaluation des compétences permet au chef de projet de former son réseau de projet en amont des phases de conception de son innovation technologique. Dans le cadre de notre expérimentation, la table de compétence confirme bien l'implication majeure de l'expert laser au cours du projet. Nous avons donc fait le choix de nous attarder, dans les étapes suivantes, sur la collaboration et les outils spécifiques mis en place exclusivement avec ce partenaire.

Phases du Projet Laser / Domaines et compétences		Technique						Projet / Méthodologie	
		Laser (optique, faisceau, interaction…)	**Matériaux**	**Métallurgie**	**Usinage**	**Mécanique**	**Découpage rotatif**	**Méthodes**	**Outils**
1. Mise au point d'une solution de rechargement pour outillage de découpe	1.1 Veille concurrentielle	BL	BL	BL			EDR		CP
	1.2 Définition des objectifs techniques						EDR	EDR	
	1.3 Contact de spécialiste							EDR	
	1.4 Etude de faisabilité	CRL	CRL	CM					
	1.5 Analyse d'usinabilité				CP, CU, CM				
	1.6 Evaluation des durées de vie						CP, EDR		
	1.7 Choix et validation des scénarios							EDR	
2. Développement et conception d'un système de rechargement de cylindres de découpe	2.1 Traduction du besoin	CRL, ELTS	CRL, ELTS			EMP	EDR	CP	CP
	2.2 Développement de la technologie sur pièces cylindriques	ELTS	CP, ELTS	CP, CM	EU, CU	EMP	EDR	CP	CP
	2.3 Définition du système de rechargement de cylindres de découpe	ELTS				EMP	EDR	CP	CP
	2.4 Validation du système	ELTS				EMP	EDR	CP	CP
3. Validation par la mise en service de la machine au sein du processus de fabrication	3.1 Test du processus de fabrication - Prototypes	ELTS				EMP	EDR	CP	CP
	3.2 Analyse utilisateurs (problèmes techniques et organisationnels)							CP	CP
	3.3 Modification du processus	ELTS				EMP	EDR	CP	CP
	3.4 Validation du processus de fabrication	ELTS					EDR	CP	CP

Figure 66 : Table des compétences

3.2.4 Formalisation des échanges entre partenaires

Une fois que les compétences nécessaires au projet ont été définies, nous nous sommes intéressés à la formalisation des échanges avec notre principal partenaire. Nous avons aussi, et sur la même base, construit des protocoles avec les autres acteurs externes. Cependant nous choisissons de focaliser notre expérimentation sur la personne avec laquelle les échanges seront les plus fréquents et les plus riches techniquement. En effet, nous considérons cette relation comme le cœur du projet. Elle sera donc la première à créer de la valeur ajoutée.

Dans ce paragraphe, nous mettrons en œuvre les moyens permettant de remplir la fonction primaire du système de collaboration identifiée précédemment (cf. 3.2.2) : *Le système de collaboration doit permettre au chef de projet d'interagir plus facilement avec son partenaire*. Pour ce faire, nous avons donc décidé de définir un protocole d'échanges entre le responsable du "Projet Laser" (moi-même) et l'expert laser en traitement de surface (ELTS) car c'est, à notre sens, le meilleur critère d'appréciation pour cette fonction (cf. Figure 64). La mise en place de ce protocole d'échanges donnera lieu, entre autre, à la construction commune d'un cahier des charges spécifique aux opérations de rechargement.

3.2.4.1 Mise en place d'un protocole d'échanges avec l'expert laser

La définition et la rédaction d'un protocole d'échanges sont, avant tout, les fruits des nombreuses questions organisationnelles soulevées au cours du projet : Comment supporter la communication orale pour multiplier les échanges et les rendre plus formels? Quelles modalités envisager pour favoriser les échanges? Que faut-il échanger (données techniques, informations, expériences…)? Quels sont les moyens communs qui nous permettraient d'échanger? Quelles sont nos attentes et celles du partenaire face à l'élaboration de documents spécifiques? La construction conjointe d'un protocole d'échanges permettra de formaliser des réponses à ces interrogations.

Un protocole est défini par un ensemble de règles de structuration des informations et de traitements associés visant à organiser l'échange de données entre systèmes distribués [AIDE 06]. Nous souhaitons préciser qu'à notre sens, un protocole d'échanges rassemblera l'ensemble des règles à respecter pour accompagner une procédure de communication entre deux partenaires ou deux organisations. Ceci dans le but d'émettre et de recevoir des données,

informations et connaissances nécessaires à l'instauration d'une collaboration efficace. Comme le confirme Segrestin dans sa thèse, "les protocoles d'accord permettent de définir l'objet, les conditions et les modalités précises dans lesquelles se dérouleront les négociations" [SEGRESTIN 03]. Chaque protocole est bien sûr spécifique aux besoins des acteurs ainsi qu'aux moyens mis à disposition. Dans notre contexte, le protocole que nous décrirons nous permettra d'amener une certaine fluidité dans les échanges avec le partenaire laser et contribuera à la formalisation d'un processus de collaboration.

Nous avons construit ce protocole d'échanges au cours de plusieurs réunions de travail avec l'expert laser. Il est nécessaire d'impliquer, dès sa définition, l'ensemble des partenaires de manière à ce que le protocole soit bien conforme à toutes les attentes. Les demandes qui ont été exposées au cours de ces séances, notamment dans le but de coordonner les actions de développement, ont été les suivantes :

- Pour l'expert laser : un manque d'information sur les cylindres (références, caractéristiques techniques…) mais aussi une nécessité d'avoir des retours sur la nature et les résultats des post-traitements

- Pour le service DR : un manque d'information sur les procédures de dépôt réalisées chez l'expert et sur les modifications de paramétrage permanentes au cours des essais de développement.

Les exigences ainsi posées, nous avons pu commencer à détailler des formes d'échanges. Nous avons pris le parti, en accord avec le partenaire, de formaliser ces attentes par la rédaction de documents pratiques, assimilables par les deux organisations. En effet, de par l'éloignement des deux entités, cela nous a semblé être le moyen d'expression et de transfert le plus sûr.

Nous avons choisi de faire figurer sur ce protocole d'échanges : le principe du protocole, l'objectif du protocole, ses modalités d'exécution, le schéma des échanges et les moyens communs de communication (cf. Figure 67). L'énoncé du principe est là pour rappeler l'action à mener afin de répondre à la fonction primaire du système de collaboration (ligne directrice). L'objectif du protocole représente le besoin fondamental du système de collaboration : *Favoriser et optimiser la communication entre les différents partenaires*. Mais le cœur du protocole réside dans la description des modalités d'échanges. Cette partie a été

divisée en deux : les règles auxquelles doivent se plier le partenaire et la société Komori-Chambon au cours du développement de la nouvelle technologie. Il a été décidé, d'un commun accord, que l'expert laser devrait rédiger **une procédure de dépôt** spécifique à l'application de rechargement de cylindres de découpe. De plus, il établira **un procès verbal** à chacun des essais réalisés. Par ailleurs la société Komori-Chambon, par l'intermédiaire du chef de projet, s'engage à fournir **un cahier des charges spécifique** pour chaque opération de rechargement. Il lui incombera aussi de rédiger **un rapport d'analyses des post-traitements** (rectification et usinage principalement) mis en oeuvre après chaque essai. Ce document sera ensuite transféré à l'expert laser. Le contenu de ces quatre documents est accessible en annexes, dans le protocole d'échanges entre le service Découpage Rotatif et l'expert laser en traitement de surface (cf. Annexe 5). Après avoir défini les modalités d'échanges, nous proposons une représentation schématique de la communication au cours d'un essai ainsi que l'ordre dans lequel ils doivent intervenir (cf. Annexe 5). Enfin, il a été décidé de lister l'ensemble des moyens de communication, communs aux deux partenaires, permettant d'instrumenter ce protocole d'échange.

Protocole d'échanges

1) Principe

2) Objectif du protocole

3) Modalités

Le partenaire 1 doit :
….

Le partenaire 2 doit :
….

4) Schémas des échanges

5) Moyens de communication

Figure 67 : Trame du protocole d'échanges

Ce protocole d'échanges ainsi créé, est le point de départ du système de collaboration puisqu'il matérialise le contenu des interactions et leur ordonnancement. Cette étape, basée sur la représentation des modalités d'échanges à entretenir avec l'expert laser, a permis

d'affiner la définition des documents à utiliser lors de la conception de l'innovation technologique (et plus particulièrement lors des phases conjointes de développement). L'étape de formalisation du protocole d'échanges conduit naturellement à la construction des documents cités précédemment. Nous avons fait le choix, dans ce document, de nous limiter à l'élaboration du **cahier des charges spécifique** aux opérations laser sur cylindres.

3.2.4.2 Construction d'un cahier des charges spécifique aux opérations laser sur cylindres

Pour construire notre cahier des charges spécifique aux opérations laser, nous nous sommes d'abord appuyés sur les prescriptions du protocole d'échanges (cf. Annexe 5) : spécifier les objectifs internes de l'essai, noter les références des pièces et des plans envoyés, rappeler les paramétrages du dépôt et les spécificités de montage des cylindres, ajouter des recommandations auprès du partenaire ainsi que des annotations particulières sur les problèmes générés en amont de l'opération de dépôt laser. L'objectif de ce document était, dans un premier temps, de mettre à la disposition du chef de projet, de l'expert laser et des acteurs du développement l'ensemble des prescriptions de chaque métier et des données communes (le propre d'une technologie) représentatives d'un essai, ceci de manière à rendre plus efficace les développements internes et externes et à favoriser la corrélation entre eux. Ce cahier des charges rédigé par le chef de projet, à l'attention de l'expert laser, sera particulier à chaque essai réalisé. Le document joue ici le rôle d'initiateur de l'essai, il doit donc fixer les conditions de celui-ci.

Au cours d'une table ronde, nous avons défini les paramètres fondamentaux que devait contenir chacun des critères. Les acteurs présents (le chef de projet et l'expert laser principalement) se sont attachés à voir figurer les données et informations qui leur semblaient indispensables à la réalisation de ses actions. L'expérience des problèmes issus des précédents essais a permis une identification des manques très rapide. Par exemple, l'expert laser a demandé à ce que les paramètres des spécificités de programmation du parcours laser soient : le numéro du plan CAO se référant à l'essai, le diamètre théorique à prendre en compte par la commande numérique (programmation à plat + enroulement autour d'un cylindre) et l'autorisation ou non à utiliser un pas de report angulaire, dans le but d'optimiser sa programmation et de limiter les incertitudes face au plan CAO. De même, concernant les indications de montage, nous avons pris le parti d'indiquer à l'expert les types de bagues à monter sur son axe rotatif et comment se prendre du côté du diviseur (mors dur si les fusées

sont juste ébauchées et les mors doux si les fusées sont finies), ceci afin d'éviter les interrogations et les erreurs qui s'y rattachent, lorsque des cylindres n'ont pas les mêmes dimensions et les mêmes aspects de surface. D'un autre côté nous avions le souhait, après les incidents de faisceau laser (cf. § 3.2.1.2), de pouvoir prescrire certaines recommandations concernant les paramètres primaires de dépôt. Nous avons donc ajouté dans notre document : la nature du faisceau, la puissance laser sur pièce, la vitesse de dépôt, l'appellation commerciale de la poudre déposée, sa provenance et sa granulométrie. Ceci afin de nous assurer que les essais étaient réalisés conformément à nos attentes et ainsi, optimiser le développement interne (réalisation des post-opérations). La première version du cahier des charges spécifique aux essais de dépôt laser est représentée dans les annexes (cf. Annexe 6).

Dans un contexte d'essais où les paramètres n'étaient pas figés, ce cahier des charges nous a permis, avant tout, de garder une trace écrite des diverses configurations testées. Nous l'avons bien sûr fait évoluer au cours du développement non seulement, grâce au transfert bilatéral établi par cette première version, mais aussi grâce à la création de connaissances communes initiée par l'élaboration d'autres documents (procédure de dépôt, procès verbaux et rapport d'analyses). L'évolution s'est focalisée plus particulièrement sur la définition de nouveaux paramètres de programmation. En effet, c'est une partie de la future technologie sur laquelle nous avons travaillé conjointement de manière assez poussée afin de supprimer la majorité des défauts présents au sein du dépôt. Nous avons donc fixé des valeurs de prolongement de filets débouchant et les intersections et nous avons aussi schématisé les trajectoires à privilégier. Ces informations sont le fruit de connaissances créées par le rapprochement entre l'expert laser et le chef de projet et donc par la corrélation entre leur développement respectif.

La première version du cahier des charges avait été construite sous le logiciel Excel. Cette base informatique nous a rapidement autorisés à créer des listes sur chacun des paramètres (type de dépôt, type de laser, nature du nettoyage, type de matière…). Ces listes correspondent à l'archivage de chacune des données techniques testées sur le système de rechargement de cylindres de découpe. La création d'un cahier des charges, lors du développement, peut créer une ou plusieurs nouvelles valeurs pour un paramètre existant et alimente ainsi la liste correspondante. Cependant plusieurs de ces listes élaborées sont liées les unes aux autres. Par exemple, le choix d'un faisceau laser (X ou Y) doit appeler une liste de puissance sur pièce et de vitesse de dépôt qui le caractérise. Afin d'automatiser l'utilisation

de la trame du cahier des charges, nous avons mis en relation ces listes via la création de "listes dynamiques".

Deux types de configurations peuvent être observées en annexes (cf. Annexe 7). Si nous souhaitons réaliser un essai de dépôt plus résistant à l'usure et à l'abrasion, nous faisons donc le choix d'un faisceau laser Y (résultat issu des essais conjoints de dépôt et de gravure). Ce dernier introduit dans le cahier des charges, nous amène directement les propositions de puissance et de vitesse correspondant à toutes les configurations réalisées lors des essais sous ce type de faisceau. La création de cette petite automatisation permet d'alléger la tâche du chef de projet et de segmenter l'ensemble des données récupérées et analysées. D'autres "listes dynamiques" ont été construites concernant la dépendance des paramètres de granulométrie et de débit en fonction du choix de la poudre utilisée pour l'essai ou le test.

La version finale du cahier des charges spécifique est placée en annexes (cf. Annexe 8). Ce document a été fondamental dans l'initiation de la communication avec l'expert laser. C'est un support qui nous a permis d'être plus sûr de notre développement interne, par la prise de connaissance et la formalisation des paramètres fondamentaux utilisés lors des essais de rechargement. Il a aussi fortement restreint le champ d'intervention et d'interprétation de l'expert laser, ce qui a engendré une limitation des variations de paramètres de rechargement à chaque nouvel essai et a permis de fixer une certaine régularité tout en faisant évoluer le nouveau procédé de fabrication. Il a aussi servi de soutien technique auprès du partenaire, notamment sur des domaines spécifiques au métier du découpage rotatif (programmation autour d'un cylindre, montage et dégauchissage d'un cylindre). Aujourd'hui, partiellement automatisé, le cahier des charges spécifique est reconverti en document de suivi et de traçabilité de fabrication pour chaque cylindre réalisé via la nouvelle technologie laser.

3.2.5 Influences de la formalisation de la collaboration sur la conception

Nous avions souligné, dans la première et la deuxième partie de ce mémoire, les difficultés à gérer et contrôler l'ensemble de notre innovation technologique. Nous avions pour cela et à partir d'une analyse bibliographique, essayé d'adapter le processus de conception d'Améziane Aoussat à notre contexte d'élaboration d'un nouveau procédé de rechargement laser. Cependant, dans une situation où la conception et l'innovation dépendent fortement de

l'intégration de compétences extérieures, nous avions montré que les activités de conception étaient nécessaires mais pas suffisantes.

Dans ce paragraphe nous décrirons les différentes phases du processus de conception construit pour notre procédé de rechargement laser de cylindres de découpe. Nous montrerons aussi où les éléments de collaboration créés précédemment interagiront sur ces phases de conception. Nous expliquerons ce qu'ils apportent aux acteurs du projet et au "Projet Laser" en général : la garantie d'une communication optimum au cours de la conception. Nous prouverons, à partir d'un exemple d'élaboration conjointe de trajectoires de rechargement, que la démarche de collaboration mise en place optimise la conception de l'innovation technologique en lui permettant de réduire les coûts et les délais de développement.

3.2.5.1 Interaction entre le processus de conception d'un procédé de rechargement laser d'outillages de découpe et une démarche de collaboration

Pour innover, nous avons vu précédemment (cf. § 2.1.1.1 et 2.1.1.2) qu'il fallait s'appuyer sur des activités de conception. La démarche de conception de la machine de dépôt laser s'appuie fortement sur le processus de conception de nouveaux produits défini par Améziane Aoussat (cf. 2.1.1.3). Elle s'est construite en cinq phases : la traduction du besoin, le développement du procédé, la définition de la machine, les tests de l'ensemble du processus de fabrication et la validation de ce nouveau processus.

La phase de "Traduction du besoin" a pour objectif de traduire le besoin exprimé par la société Komori-Chambon face à cette future technologie. Cette phase consiste en la réalisation de l'Analyse Fonctionnelle Externe du procédé de rechargement laser de cylindres de découpe (cf. Annexe 3). Celle-ci nous a permis de lister l'ensemble des fonctions et de formuler les performances que doit remplir le procédé au cours de son cycle de vie (conception, réalisation, utilisation et recyclage). Les résultats de cette étape sont : le Cahier des Charges Fonctionnel du système de rechargement laser de cylindres de découpe et les modélisations SADT de l'ancien et du futur processus de fabrication. La confrontation de ces deux modélisations met en relief les avantages organisationnels et techniques qu'apportera la future technologie.

La phase de "Développement du procédé" consiste d'abord en l'évaluation de la faisabilité technique du rechargement laser de filets de coupe résistants à l'usure. Une fois cette

faisabilité validée, nous avons lancé le développement dans des conditions proches des futures conditions industrielles (cylindres, matières, environnement mécanique). Ce développement est, comme nous l'avons expliqué auparavant (cf. § 1.4.4), externe à la société pour la machine de rechargement laser et interne pour les post-opérations (usinage, rectification, chromage…). Ces deux développements totalement dépendants l'un de l'autre, ont donné lieu à de nombreux essais techniques (analyses d'usinabilité, recherche de paramètres optimums, évaluation des durées de vie, paramétrage des dépôts…), ceci tout en respectant le besoin fondamental exprimé et les fonctions primaires identifiées dans la phase précédente.

La phase de "Définition de la machine" doit permettre de détailler les différentes caractéristiques de la machine de rechargement laser, en vue de son industrialisation. La réalisation de cette étape passe par la formalisation de l'architecture de la machine, c'est-à-dire lister les différents éléments qui la constituent et définir la nature des interfaces. Il s'agit ici aussi de fixer, à travers les résultats des développements, le paramétrage des diverses configurations (dépôt laser X, dépôt laser Y et trempe laser).

La phase de "Test de l'ensemble du processus" est une étape intermédiaire avant le lancement de la technologie. La fabrication d'une série de prototypes (représentative de la majorité des caractéristiques des outillages *TK*) et la réalisation de tests clients permettront de valider les performances de l'ensemble du nouveau processus de fabrication. Elle peut soulever les derniers problèmes techniques ou organisationnels au cours d'une évaluation globale.

La phase de "Validation du processus" permet de vérifier que ce nouveau processus de fabrication répond bien au besoin exprimé par l'entreprise et que ses performances (techniques et économiques) sont à la hauteur des attentes engagées au départ du projet.

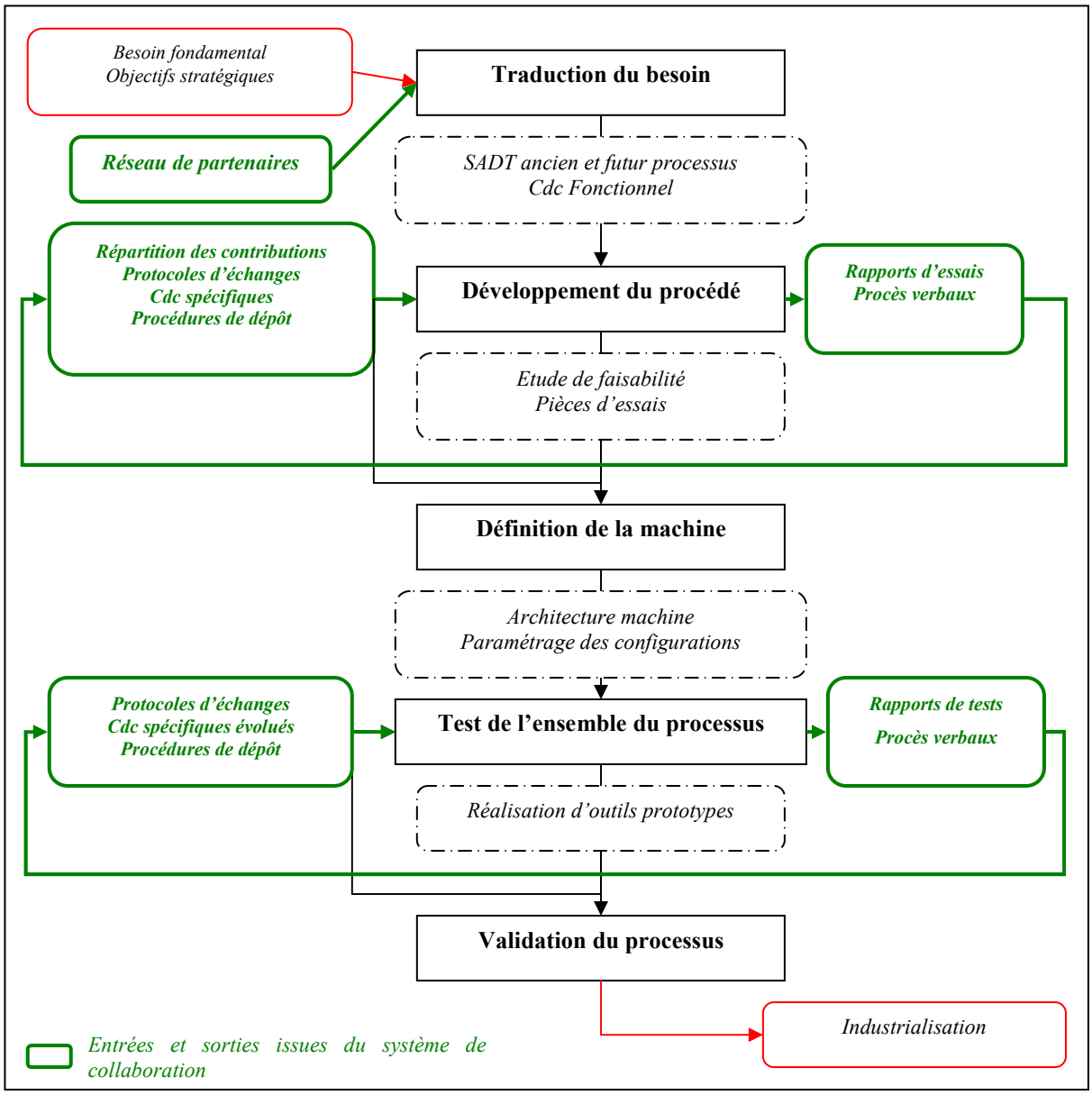


Figure 68 : Influence des résultats de la collaboration sur le processus de conception

Nous avons alors confronté nos résultats de collaboration à ce processus de conception. On pourra observer sur la figure précédente (cf. figure 68) les phases sur lesquelles vont venir interagir les résultats de la démarche de collaboration instaurée avec les partenaires du projet. Nous positionnons la constitution du réseau de partenaires, créée à partir des carte et table des compétences, comme une entrée de la phase de "Traduction du besoin". Cette formalisation du "réseau projet" (cf. 3.2.3) permet, lors de l'analyse fonctionnelle, d'avoir déjà une représentation des experts ou domaines qui seront impliqués dans le projet. La qualité de cette analyse ne pourra en être que meilleure puisque ces personnes seront sollicitées dans la

définition des critères et des niveaux d'appréciation des fonctions qui engageront leurs compétences. Ces éléments de la démarche de collaboration interviendront essentiellement pour supporter le développement du procédé et la phase de tests du processus de fabrication.

Ces documents répondent entièrement au besoin formalisé en amont de la démarche de collaboration : *Favoriser et optimiser la communication entre les partenaires*. Cette communication plus intense se traduit par des échanges de données, d'informations, ou encore d'expériences plus formalisés. Ce travail a un impact indéniable sur le développement du procédé et donc sur le processus de conception. Nous avons observé que cette démarche engendrait non seulement une meilleure compréhension de chacun des acteurs face aux différents métiers engagés, mais aussi une implication beaucoup plus forte dans le projet. Tout cela facilite l'élaboration d'essais conjoints pouvant être aussi bien bénéfiques au développement interne qu'au développement externe. Et comme l'innovation technologique aura du mal à voir le jour sans la corrélation entre l'un et l'autre, cette communication et ce transfert sont d'autant plus importants. De plus, ce rapprochement favorise clairement la création de connaissances communes et fait donc avancer de manière considérable le développement du procédé. Les documents tels que le cahier des charges, la procédure de dépôt ou encore les procès verbaux, seront aussi utilisés sur la phase de test du processus de fabrication puisqu'ils ont pour finalité d'évoluer en fonction des résultats techniques et organisationnels du "Projet Laser". Afin de prouver les apports de la collaboration sur le processus de conception de l'innovation technologique, nous présenterons un exemple d'essai construit conjointement.

3.2.5.2 Exemple de l'élaboration conjointe de trajectoires de rechargement

Les exemples de travaux conjoints au cours de la conception du moyen de production de rechargement laser de cylindres furent nombreux. Nous n'en citerons et décrirons qu'un, représentatif des résultats obtenus sur l'ensemble de ce travail collaboratif : l'élaboration conjointe de trajectoires de rechargement laser.

Les formes de découpe et la disposition des boîtes d'emballage sur un outillage génèrent souvent de nombreuses intersections de filets de coupe et, comme les parcours de rechargement laser suivent le listel de ces filets, les intersections se retrouvent naturellement au niveau du dépôt. Certains essais précédents, dédiés à l'évaluation de l'usinabilité, avaient

permis d'observer en interne la présence de défauts dans ces zones délicates. En effet, la largeur des filets est beaucoup plus faible (0,3 mm contre 1,5 mm) dans les intersections et les changements de directions (cf. § 1.2.1.1). Ceux-ci se révélaient sous la forme de fissures et de manques de matières dont les largeurs étaient proches du millimètre. L'outil ne pouvait donc remplir sa fonction principale (découper) et, de plus, ces défauts laissaient présager d'une durée de vie très faible (pour cause de rupture mécanique). Après discussion avec l'expert laser, nous avons identifié les raccordements de cordons de matière comme principaux responsables. Nous lui avons alors expliqué, preuves à l'appui (photos et échantillons d'emballages rebutés), en quoi cela était rédhibitoire dans le cadre de notre application. En s'imprégnant des difficultés de chacun face à cette problématique, nous avons tenté de construire ensemble un essai permettant de déterminer les trajectoires et les paramétrages optimums dans les raccordements de cordons et les changements de direction.

Nous avons, dans un premier temps, réfléchi en interne (CP, EMP et EDR) aux formes représentatives de l'ensemble des croisements et changements de direction (inférieurs, égal et supérieurs à 90°) présents sur nos outillages. Nous nous sommes arrêtés sur deux types de boîtes qui semblaient convenir aux critères de l'essai (cf. Annexe 9). Nous avons ensuite rédigé un cahier des charges spécifique qui, après avoir été étudié par l'expert, nous a été retourné avec les paramètres machine qu'il jugeait influents sur l'apparition des défauts dans les intersections : les temporisations de faisceau ainsi que les prolongements et raccourcissements de parcours (départ et fin de cordons). Il nous a fait part aussi de son impossibilité de réduire sa vitesse de faisceau ou augmenter son débit de poudre dans les changements de direction. La seule solution que nous pouvions tester (développement externe) était de faire un point de rechargement dans ces zones avant de déposer sur le parcours. De notre côté (développement interne), il nous était possible de rayonner les changements de direction brutaux sur les trajectoires CAO que nous définissions.

De nombreuses configurations pouvaient alors faire l'objet de ce test afin de résoudre ces deux problèmes. Chacun des parcours du cylindre a été défini d'un commun accord avec l'expert laser (cf. Annexe 9).

Ces essais ont donné lieu à un procès verbal de l'opération de rechargement laser qui nous est parvenu en même temps que notre cylindre d'essai déposé. Ce document nous a permis d'identifier, avant la réalisation des post-opérations, les zones sur lesquelles l'opérateur avait

rencontré des difficultés liées à la fiabilité de la machine (coupure faisceau, échauffement de la buse, décalage de parcours). Nous avons donc écarté ces quelques zones de notre analyse post-opératoire. La rectification du cylindre (par passes de quelques millimètres) nous a permis d'observer les différences que ces multiples configurations de dépôt pouvaient générer au final. Nous avons rédigé un rapport d'essai dans lequel figurait la présence ou non de défauts sur l'ensemble du cylindre (cf. Annexe 10). Nous avons fait part des résultats à l'expert laser en lui indiquant la programmation qu'il fallait envisager dans chaque intersection lors d'un rechargement de cylindre de découpe.

Ces préconisations ont été prises en compte et retranscrites dans la procédure de dépôt spécifique à l'application de Komori-Chambon. En ce qui concerne les changements de direction nous avons fait le choix, au vu des résultats de l'essai, de rajouter lors de la définition du fichier CAO, des rayons de X mm dans tous les changements de direction inférieurs ou égaux à 90°.

Nous pouvons affirmer à la suite de cet essai que la collaboration instaurée avec le principal partenaire a fortement contribué à l'optimisation de la conception de notre innovation technologique. L'échange d'information mais aussi l'assimilation des contraintes de chaque parti au cours du développement, ont facilité la création de connaissances communes. L'essai de définition de trajectoires laser en est l'exemple même : *Le parcours laser doit commencer X millimètres avant un point d'intersection et se terminer X millimètres avant l'autre raccordement afin d'éviter les manques de matière sur les filets de coupe*. Ces connaissances diverses (issues d'essais ou d'autres actions) ont fortement contribué à l'avancée technique du projet. Ce travail collaboratif rigoureux a, de plus, limité le nombre d'essais lors de la phase de développement. En effet, l'essai de trajectoires n'aurait pu être réalisé sans ces documents d'échange ou alors aurait été divisé en plusieurs tests itératifs sans aboutir à un résultat aussi probant. Tout ceci nous a donc permis de minimiser des coûts de conception et, par la même, les délais puisqu'en trente mois nous avons réussi à mettre sur pied et industrialiser cette technologie de rechargement laser de cylindre de découpe.

3.2.6 Synthèse et résultats de la première hypothèse

Nous avons pu aborder dans ce chapitre les différentes étapes du protocole d'expérimentation permettant de valider notre première hypothèse : **la prise en compte d'une démarche de**

collaboration, dès les phases amont d'un projet innovant, garantit une conception de l'innovation technologique à des coûts et délais acceptables.

Dans un premier temps nous avons pu montrer, par l'analyse du contexte de départ, que sans un minimum de communication et d'échanges avec le principal partenaire, la nouvelle technologie de fabrication ne pouvait être industrialisée rapidement. Nous avons donc décidé de traduire le besoin fondamental de la société Komori-Chambon, face à un système de collaboration, en réalisant une Analyse Fonctionnelle Externe. Grâce à celle-ci, nous avons pu identifier les principaux critères d'appréciation permettant de garantir une bonne collaboration : les **protocoles d'échanges**, les **moyens de communication**, la **création de connaissances communes** ainsi que les **coûts et délais de conception**. Nous avons ensuite défini ce que nous avons appelé le "réseau projet". Par des représentations telles que la carte et la table des compétences, nous avons déterminé l'ensemble des domaines techniques qui pouvait contribuer à l'éclosion du "Projet Laser". La création de ce réseau et la répartition de chaque contribution sur l'ensemble des phases du projet, ont permis de hiérarchiser l'implication des partenaires dans le projet technique et, ainsi, d'établir des protocoles d'échanges à la hauteur de la valeur ajoutée que pourrait amener l'expert. Un "réseau projet" composé de huit membres a donc été constitué : cinq partenaires externes (CRL, ELTS, CRU, EU et CM) et trois membres internes (CP, EMP et EDR). Ce groupe a consolidé l'appui technique dès la définition de l'Analyse Fonctionnelle du système de rechargement laser de cylindres de découpes (première phase du processus de conception). Nous avons ensuite formalisé les échanges avec notre principal partenaire par la construction d'un protocole d'échanges. Celui-ci s'est orienté principalement vers l'utilisation de documents écrits : une **procédure de dépôt**, des **cahiers des charges spécifique**, des **procès verbaux** et des **rapports d'analyses internes**.

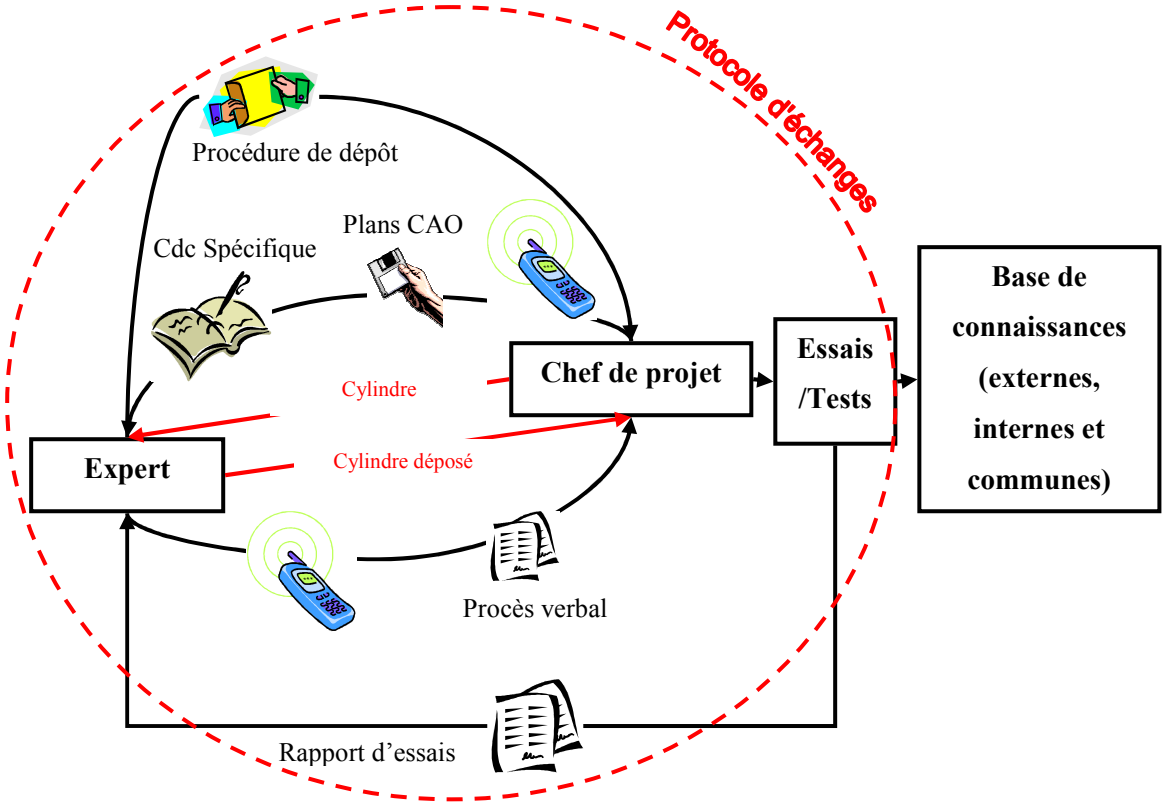


Figure 69 : Représentation des échanges sur les phases du processus de conception

Ces documents, aussi bien dans leur construction que dans leur utilisation, ont favorisé le rapprochement entre le chef de projet et l'expert laser. C'est à partir de cet instant qu'une collaboration constructive s'est instaurée. Les échanges de données, de points de vue et d'expériences, mais aussi la recherche de solutions techniques ensemble, se sont multipliés. Ces étapes de formalisation des échanges ont créé une confiance entre les partenaires, qui s'est traduite par l'expression de leurs contraintes techniques et organisationnelles respectives face à certaines problématiques. Cette collaboration rigoureuse a aussi contribué au transfert et à la création de connaissances communes. Ce qui a permis, en interne, de mieux gérer et contrôler l'ensemble des éléments de l'innovation technologique. Ce travail collaboratif rigoureux a aussi fait évoluer beaucoup plus rapidement la conception du futur procédé notamment en limitant le nombre d'essais lors du développement (réduction des coûts et des délais).

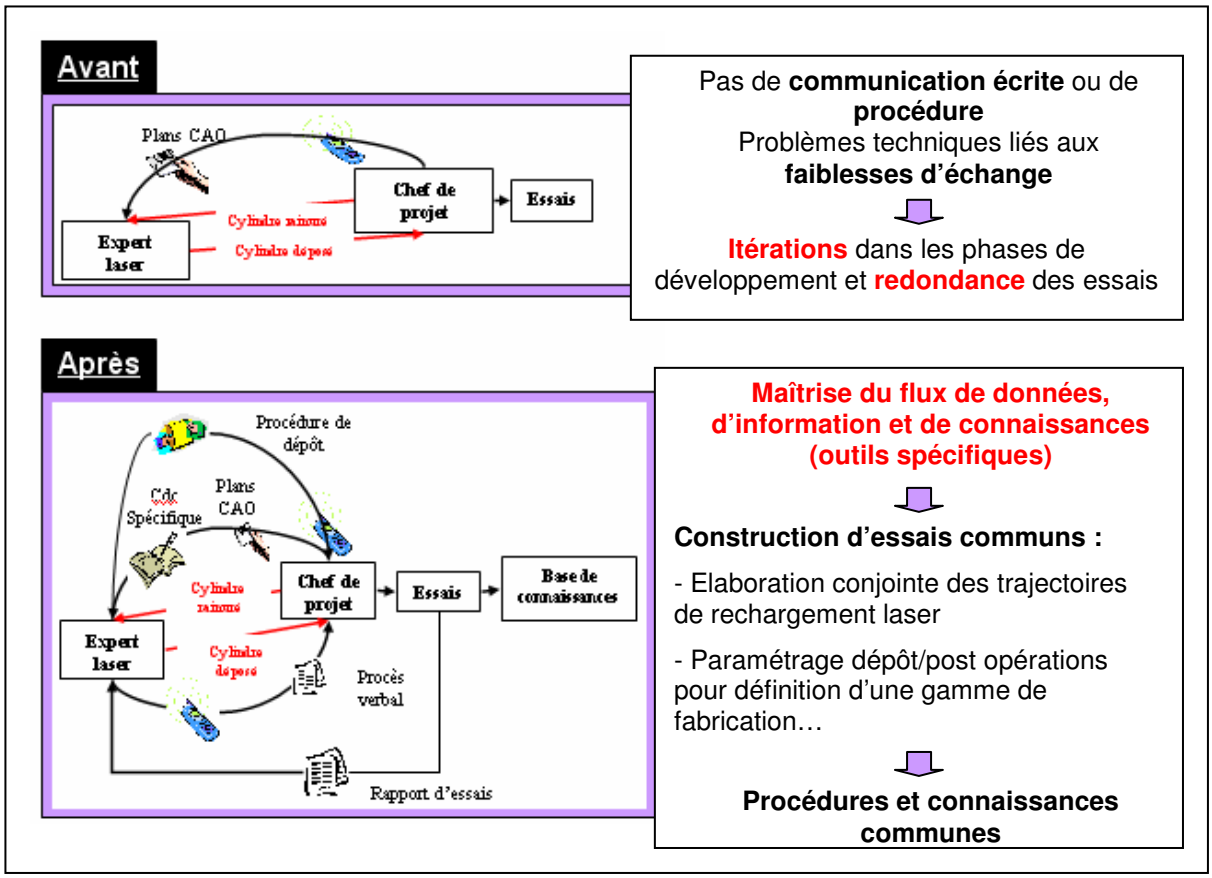


Figure 70 : Synthèse des résultats expérimentaux

Afin d'amener une première réponse à notre problématique scientifique, nous conclurons ce chapitre en affirmant que **la mise en place d'une démarche de collaboration rigoureuse est une condition qui favorise la réussite d'une innovation technologique en PME**.

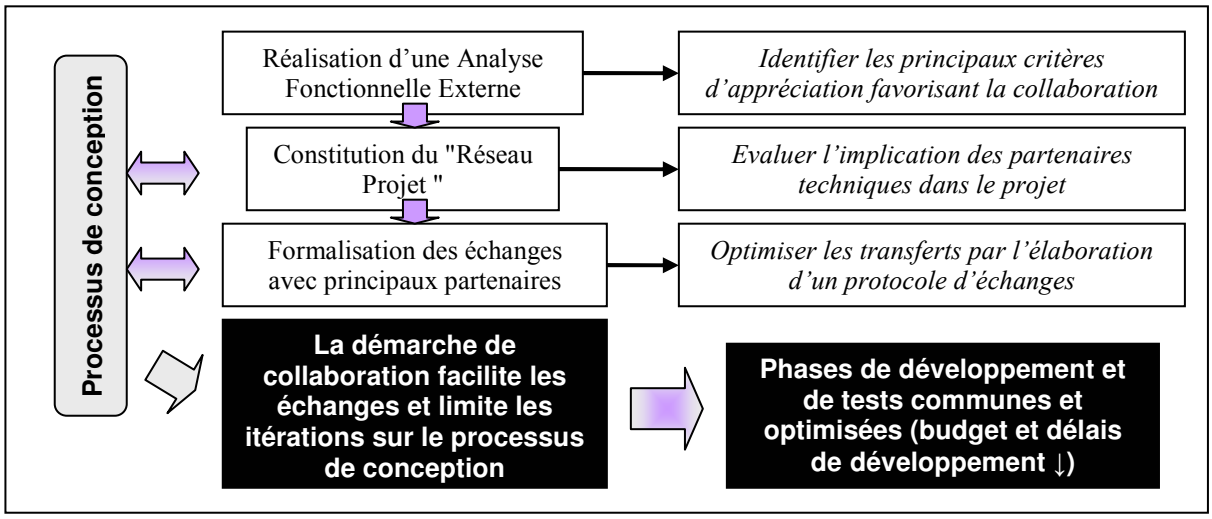


Figure 71 : Synthèse de l'expérimentation

Cette collaboration devra être prise en compte dès le début du projet, de manière à anticiper les interactions avec chacun des acteurs externes. De plus, elle devra garantir une bonne interaction entre les partenaires, des échanges de données et d'informations optimums et favoriser la création de connaissances communes pour avoir un impact positif sur le processus de conception.

3.3 Seconde expérimentation : Réalisation d'un saut technologique par la définition d'un seuil minimum de connaissances à maîtriser

Nous présenterons, dans ce chapitre, les différentes étapes (cf. Figure 60) qui nous ont amenés à définir le seuil minimum de connaissances nécessaire à la réalisation du saut technologique.

Nous verrons, qu'à partir du travail effectué lors de la première expérimentation, nous avons pu construire non seulement une base de "données projet" mais aussi une base de "connaissances projet". Nous nous intéresserons plus particulièrement aux connaissances techniques qui représentent à nos yeux le cœur de toute technologie (cf. § 2.2.1.1). Cependant, parmi l'ensemble de ces connaissances stockées et référencées, quelles sont celles que l'on doit maîtriser pour faire migrer la nouvelle technologie au sein de l'entreprise ? Et ces connaissances, issues principalement de la phase de développement, sont-elles suffisantes pour réaliser le saut technologique ? Nous assurons que certaines d'entre elles sont nécessaires mais pas suffisantes. Pour ce faire, nous réalisons une première évaluation de la base de connaissances afin d'en extraire celles qui permettront aux futurs acteurs internes de maîtriser la nouvelle technologie. Les critères d'évaluation que nous avons fixés sont relatifs aux choix primaires effectués au cours de la phase de développement du procédé : la matière déposée, le substrat utilisé, la géométrie du dépôt et la nature du faisceau laser (X, Y et Z). Mais nous ne pouvons pas nous arrêter là car la phase de "Test de l'ensemble du processus" doit révéler et générer d'autres connaissances tout aussi importantes et directement liées à la fiabilité du nouveau processus de fabrication (cf. Figure 68). Nous avons choisi un panel d'une dizaine de boîtes *TK* pour tester la fiabilité du processus de fabrication de cylindres de découpe et, plus particulièrement, la fiabilité de la machine de rechargement laser. Ce choix s'est fait en fonction des densités et difficultés de parcours, des dispositions des boîtes, des poids des cylindres, ou encore de la qualité du carton utilisé par le client. La fabrication de ces prototypes nous a permis de mettre en œuvre une AMDEC Processus qui a révélé l'ensemble

des modes de défaillance. Cette dernière a nécessité la mise en place d'une équipe, la définition de table de critères (détection, fréquence, gravité) et la définition d'un seuil de criticité des modes de défaillance. Les causes des défaillances que nous relèverons et les actions correctives engagées, favoriseront la formalisation et la création de nouvelles connaissances techniques. Nous corrèlerons ensuite ces connaissances aux modes de défaillance. Le seuil de criticité, défini par l'équipe AMDEC, aidera alors à identifier ce que nous appellerons les "connaissances de fiabilité" : les connaissances directement liées à la fiabilité du nouveau processus de fabrication. Ces connaissances sont à nos yeux aussi importantes, si ce n'est plus, que celles identifiées par la première évaluation. La réunion des deux groupes de connaissances ainsi créés, formera le seuil minimum de connaissances pour qu'il y ait saut technologique et pour que l'on maîtrise l'ensemble de son innovation technologique.

3.3.1 Evaluation des connaissances issues du développement du procédé

Grâce à la collaboration instaurée au cours de la première expérimentation ainsi qu'à son interaction avec le processus de conception nous avons pu emmagasiner, stocker et archiver de nombreuses connaissances scientifiques et techniques. Ces connaissances se sont essentiellement révélées, construites et créées au cours de la phase de développement du nouveau procédé de rechargement laser de cylindres de découpes. En effet, elles sont issues non seulement des échanges formalisés via la démarche de collaboration, mais aussi de la recherche bibliographique entreprise dès les prémices du projet.

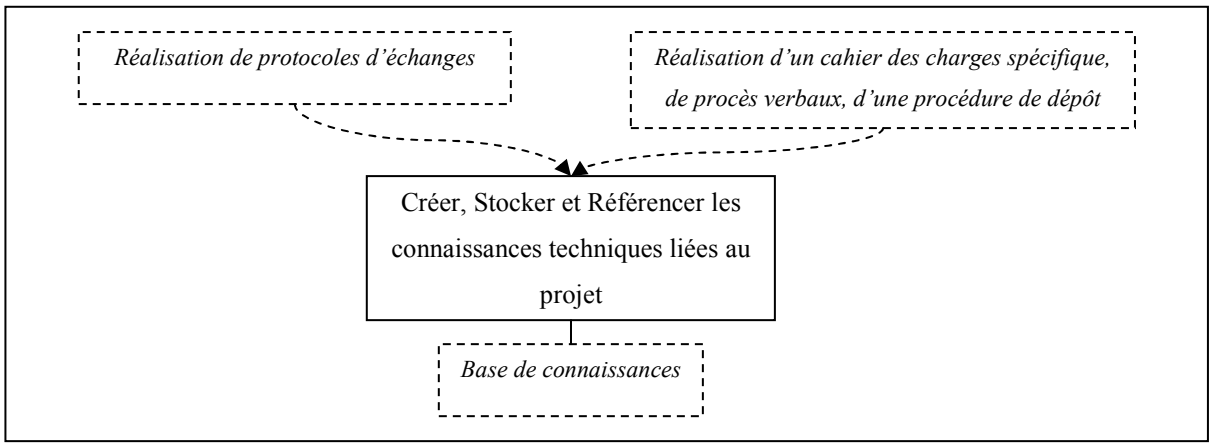


Figure 72 : Création d'une base de connaissances à partir des résultats de la première expérimentation

Tout ceci nous a permis de construire et d'enrichir une base de connaissances techniques sur le "Projet Laser". Nous les avons répertoriées en quatre catégories : les connaissances bibliographiques, les connaissances internes (liées aux essais post-opératoires), les connaissances externes (liées aux opérations de rechargement) et les connaissances combinées (ou communes). Chacune d'entre elles a été référencée en fonction des documents dont elle avait été extraite (publications internationales, thèses de doctorat, rapports d'essais, procès verbaux…). De manière à pouvoir identifier les contextes particuliers de formalisation de ces connaissances et faciliter la recherche de précisions techniques, nous avons créé une table de références (cf. Annexe 11). Cette dernière est relative à l'archivage des documents réalisés et consultés durant le projet (numéro de référence, type de document, nom de la revue, titre, auteurs et année de parution).

Nous avons créé cette table de références à l'attention des actuels ou futurs chefs de projet qui souhaitent en savoir un peu plus sur les techniques de rechargement laser, ou plus précisément, sur la technologie mise en œuvre au sein de l'entreprise.

En même temps que nous extrayions ces connaissances, nous les évaluions par l'identification des quatre paramètres considérés comme primaires dans les spécifications de notre futur procédé de rechargement : la matière déposée, la nature du substrat, la géométrie du dépôt et la nature du faisceau laser (cf. Annexe 12). Nous avons aussi souhaité rajouter la personne à qui pouvait s'adresser cette connaissance en interne, une fois la technologie industrialisée.

Une centaine de connaissances techniques a été recensée dans la base de connaissances, ceci avant la phase de "Définition de la machine" (cf. figure 68). Cependant est-il nécessaire de maîtriser l'ensemble de ces connaissances pour faire migrer la nouvelle technologie ? Nous décidons de les réduire au juste nécessaire, aux connaissances indispensables à la maîtrise du développement du nouveau procédé et donc à la réalisation du saut technologique. Nous nous limiterons aux connaissances qui ont trait aux choix de matière, de substrat, de laser et de géométrie, validés à la suite de la phase de "Développement du procédé" (cf. Annexe 12).

Nous avons donc réalisé un filtre automatique (personnalisé) via les fonctionnalités du logiciel Excel. Ceci nous a permis de sélectionner les indicateurs choisis dans la base de connaissances "Projet Laser" et d'en extraire les connaissances nécessaires à la maîtrise de la future technologie. Nous avons donc défini un premier minimum d'une vingtaine de

connaissances que l'on ne peut pas écarter dans la réalisation du saut technologique (cf. Annexe 13).

Mais peut-on s'arrêter à ce seul minimum de connaissances pour valider le saut technologique et la réussite de l'innovation technologique ? Nous affirmons que non puisque ces connaissances, extraites de la base, ne sont pas représentatives du nouveau processus de fabrication. Elles ne sont donc pas suffisantes à la maîtrise de ce dernier. La phase de "Test de l'ensemble du processus de fabrication" nous le prouvera en nous permettant d'identifier des connaissances complémentaires liées à la fiabilité du processus.

3.3.2 Identification des connaissances directement liées à la fiabilité du processus

Afin d'identifier les connaissances liées à l'industrialisation du procédé, nous avons testé l'ensemble du processus de fabrication en réalisant des outillages de découpe prototypes. Cette phase du processus de conception doit nous permettre de valider les performances globales de la nouvelle chaîne de fabrication, en évaluant la fiabilité de la machine de rechargement laser, en optimisant les post-opérations et en travaillant sur des outils réels (diamètres et poids variables) qui seront mis en production (cf. § 3.2.5.1). Au cours de la fabrication de ces prototypes, nous nous sommes uniquement focalisés sur les problèmes techniques. Nous avons hiérarchisé les défaillances générées par le nouveau processus de fabrication, en fonction du niveau de risque lié à la qualité des outillages. Pour ce faire, nous avons réalisé une Analyse des Modes de Défaillance des Effets et de leur Criticité (AMDEC). Cet outil nous a permis non seulement d'affecter une criticité à chacun des modes de défaillance mais aussi d'en identifier les causes et les effets. Les actions correctives portées sur chacun des modes (indice de criticité oblige) et les causes de défaillances relevées, nous permettront de formaliser de nouvelles connaissances techniques liées à la fiabilité du processus de fabrication. Ces dernières se retrouveront donc hiérarchisées en fonction du mode de défaillance auquel elles sont rattachées. Nous avons profité de cet outil AMDEC Processus, non seulement pour valider l'industrialisation du nouveau procédé de rechargement laser (processus de conception) mais aussi pour formaliser et extraire les connaissances techniques qui s'y affèrent.

Dans ce paragraphe, nous décrirons donc les spécificités de chacun des outils qui ont été choisis pour cette campagne de prototypes. Après avoir constitué notre équipe AMDEC, défini une table de critères (Détection, Fréquence et Gravité) et fixé un seuil de criticité, nous réaliserons l'analyse des modes de défaillance du nouveau processus de fabrication Enfin nous corrèlerons ces modes aux connaissances techniques d'industrialisation et nous extrairons celles jugées indispensables à la réalisation du saut technologique : les "connaissances de fiabilité".

3.3.2.1 Choix des outils prototypes

Lorsque nous avons décidé de lancer des outils prototypes pour tester l'ensemble du processus de fabrication, nous nous sommes attachés à proposer un panel représentatif de l'ensemble des boîtes générales réalisées jusqu'à présent. Nous avons extrait des boîtes en fonction de leur taille, leur forme spécifique, leur disposition sur un cylindre et les caractéristiques de ce même cylindre (poids, longueur et diamètre). Ceci de manière à ce que ces prototypes puissent balayer les caractéristiques de la majorité des outils fabriqués jusqu'à présent. Cependant nous avons une contrainte importante sur le choix des boîtes : le client. L'objectif final étant de valider la qualité et la durée de vie de l'outil, il était nécessaire de mettre ces prototypes rapidement en production. Nous avons donc démarché nos meilleurs clients en leur proposant des conditions de prix très avantageuses moyennant un retour d'information sur la durée de vie des outils. En effet, la société ne pouvait se permettre de réaliser ces prototypes à perte. La plupart d'entre eux ont accepté en imposant les boîtes qui correspondaient à leurs futures productions. Malgré cela, nous avons réussi à mettre en place une campagne de huit prototypes présentant chacun des spécificités intéressantes en vue de l'industrialisation du procédé (cf. Annexe 14). La validation du choix de ces outils prototypes s'est faite conjointement entre le Chef de Projet (CP) et l'Expert en Découpage Rotatif (EDR).

Certains outils avaient été choisis pour tester les limites de la machine de rechargement laser de cylindres. C'est le cas par exemple de la boîte de savon, dont le parcours de filets de coupe est le plus long et le plus dense jamais réalisé sur un outillage de découpe. Cela pouvait provoquer, au cours de l'opération, des phénomènes de chauffe de la buse ou du cylindre et ainsi favoriser l'apparition de défaillances. L'outillage de la boîte à pizza présente les cylindres les plus lourds (~1,5 t) jamais réalisés chez Komori-Chambon et les diamètres les

plus élevés (Ø= 456 mm). Ces masses et inerties importantes pouvaient non seulement mettre en relief les capacités du diviseur de la machine de rechargement mais aussi générer des défauts particuliers au sein du dépôt (plus de fissures transverses, une perte de précision…). A l'inverse, d'autres formes plus simples comme le brassard ou la boîte de sucre (formes assimilables à des rectangles), devaient nous permettre de nous conforter dans l'industrialisation du procédé sur nos outillages les plus évidents. En revanche, le type de carton utilisé pour ces boîtes (très abrasif) sera un critère prépondérant dans l'évaluation de la durée de vie des cylindres.

Cette période de fabrication des prototypes s'est déroulée sur une durée de huit mois. Le délai de fabrication d'un outillage de découpe étant d'environ douze semaines, plusieurs de ces huit outils ont donc été réalisés simultanément. Il était alors difficile de mener des actions correctives sur certaines défaillances observées. Cependant nous avions des engagements envers nos clients, c'est pourquoi un des modes de défaillance, très risqué pour l'outillage, nous a imposé d'engager des corrections immédiates ceci, de manière à pouvoir livrer ces prototypes à nos clients. Chacun des autres modes a été identifié et hiérarchisé à la suite de cette campagne de prototypes, au cours de notre AMDEC Processus.

3.3.2.2 Analyse des modes de défaillance du nouveau procédé de fabrication

L'AMDEC est un outil adapté à notre situation à forte connotation technique et très utilisé au cours des activités de conception (cf. § 2.2.1.4). Il a pour vertu d'identifier les défaillances prévisionnelles d'un système, ses causes et ses effets, dans le but de les éliminer ou d'en minimiser les conséquences avant de valider la conception d'un produit ou d'un procédé [FAUCHER 04].

Nous avons décidé d'utiliser cet outil en vue de réaliser un double objectif : mener des actions correctives afin de rendre le nouveau processus de fabrication industrialisable et identifier les connaissances techniques directement liées à la fiabilité de ce dernier. Cette opération permettra, non seulement de valider la conception de la fabrication de la machine de rechargement laser mais aussi, de favoriser la migration de l'ancienne gamme de fabrication vers la nouvelle.

Constitution d'une équipe AMDEC

Avant de réaliser l'AMDEC du processus de fabrication de cylindres de découpe, nous avons constitué un groupe représentatif de l'ensemble des futurs utilisateurs de la nouvelle gamme de fabrication. La mise en place de cette analyse devait faciliter la cohésion interne autour de la technologie, sensibiliser les acteurs, mais aussi et surtout confronter les différents points de vue par rapport aux prototypes réalisés. Il fallait donc choisir parmi les personnes qui s'étaient retrouvées sur le chemin de production et qui avaient été acteurs directs de leur fabrication. Nous avons retenu sept personnes pour faire partie de cette équipe AMDEC : un chef de projet, un responsable production, un rectifieur, deux graveurs (dotés d'une expérience de près de trente ans et d'une expérience de près de dix ans) et l'expert laser.

J'ai à nouveau exposé les objectifs du "Projet Laser" à chacun de ces futurs utilisateurs : réduire les coûts et les délais de fabrication afin de redevenir compétitifs par rapport aux concurrents internationaux. Quelques unes des personnes avaient déjà participé aux essais de gravure lors des phases de développement. Elles étaient déjà bien sensibilisées aux potentiels de gain du nouveau procédé. Cependant, aucun de ces membres n'avaient d'expérience dans le domaine de l'analyse des défaillances. J'ai donc présenté à chacun d'entre eux, très succinctement, le but de cette analyse : évaluer et hiérarchiser les problèmes techniques apparus lors de la fabrication des prototypes et les traiter en fonction de la criticité (le degré d'importance) qu'ils présentent sur le bon fonctionnement du processus.

Elaboration d'un tableau de critères

En tant que chef de projet, j'ai pris en charge la création de la table des critères permettant d'évaluer la criticité des défaillances. J'ai fait le choix de définir une quantification par les notes plutôt que par les repères pour chacun des trois critères : la détection, la fréquence et la gravité. L'analyse qualitative me paraissait trop délicate pour des personnes n'ayant aucune expérience de l'AMDEC. Le système de notation, plus simple d'appréhension, permet de hiérarchiser les défaillances les unes par rapport aux autres de manière plus évidente et plus rigoureuse [FAUCHER 04]. Cette échelle de notation se décompose en quatre niveaux afin d'éviter les hésitations des membres de l'équipe. De plus, sur une expérience aussi courte (huit outils) il sera difficile pour les acteurs d'avoir une représentation très précise de chaque critère. Il n'est donc pas nécessaire de les faire se perdre dans des niveaux qu'ils ne pourront pas départager. Concernant la construction des trois échelles de notation, j'ai souhaité donner

plus de poids à la gravité des défaillances. Car c'est, à mon sens et dans notre contexte industriel, le facteur qui a le plus d'impact sur la criticité des modes de défaillance. En effet, si un type de défauts n'est pas souvent détecté, qu'il est très fréquent mais qu'il n'arrête pas la production parce que le produit peut sortir conforme, alors cette défaillance n'est pas critique. En revanche, si un type de défaut est détectable de manière certaine, peu fréquent mais entraîne la fabrication d'un produit à rebuter, la criticité de cette défaillance doit être maximisée. La gravité est donc pour nous le facteur prépondérant dans l'évaluation de la criticité d'un mode de défaillance. Nous lui affectons une échelle de type 1, 5, 10, 20.

Tableaux de critères

Probabilité de non détection des défauts	Valeur de D
Détection certaine (100% des défauts sont détectés)	1
Détection partielle des défauts (+ de 50% des défauts détectés, risque faible de fournir des pièces non conformes)	2
Détection faible des défauts (- de 50% ne seront pas détectés ; risque élevé de fournir des pièces non-conforme)	3
Absence totale de détection des défauts; totalité des pièces fournies non-conformes	4

Probabilité de fréquence de la défaillance	Valeur de F
Observable sur deux des outils tests ou moins	1
Observable sur trois à cinq des huit outils tests	2
Observable sur six à sept des huit outils tests	3
Observable sur tous les outils tests	4

Probabilité de gravité de la défaillance	Valeur de G
Arrêt de production inférieur à 2h, contrôle du responsable d'usinage	1
Arrêt de production compris entre 2h et une journée, intervention de réparation sur la même machine	5
Arrêt de la production supérieur à une journée	10
Arrêt définitif de la production, rebut de la pièce et relance d'un nouvel outil	20

Figure 73 : Table de critères de l'AMDEC Processus

Cette table de critères a ensuite été soumise au responsable de production pour avoir un avis sur la hiérarchisation de ces critères. Nous l'avons validée avant de la transmettre aux membres de l'équipe afin qu'ils puissent évaluer et noter les modes de défaillance.

Par ailleurs, j'ai souhaité que nous définissions un seuil de criticité à partir duquel les défaillances seront considérées comme critiques. Ceci afin de donner la priorité aux actions correctives à entreprendre et de ne pas s'attarder sur les défaillances qui n'ont pas un impact primordial sur la fiabilité du procédé et la qualité de l'outillage. Dans notre contexte la note maximale de criticité est de 320 (4 pour la non détection, 4 pour la fréquence et 20 pour la gravité). Nous estimons qu'un seuil de criticité fixé à $1/10^{ème}$ de la note maximale peut convenir. On fixera donc le seuil minimum de criticité à 32. Cependant, la définition de ce seuil est entièrement arbitraire. Chaque mode de défaillance dont la criticité sera inférieure à 32, requerra l'avis des membres du groupe pour juger de l'importance ou non d'engager des actions correctives. En revanche, un mode de défaillance dont la criticité sera supérieure au seuil, devra être corrigé sous peine de voir l'industrialisation du procédé rejetée.

Identification des modes de défaillance

Une fois les huit outils fabriqués, nous avons fait un tour de table avec les membres du groupe AMDEC afin de recenser l'ensemble des modes de défaillance constatés au cours de cette phase de tests. Six modes de défaillance ont été formalisés : une **mauvaise accroche du dépôt**, un **décalage entre le positionnement du dépôt et l'axe du filet**, des **éclats du dépôt après la gravure**, l'**apparition de petites bulles dans les intersections du dépôt**, des **fissures transversales et longitudinales dans le dépôt** et enfin des **bouts de plis qui éclatent lors de l'usinage**. Ces modes ont été validés par l'ensemble des acteurs de cette AMDEC.

Nous avons ensuite réuni l'expert laser en traitement de surface et le responsable de production dans l'objectif d'identifier les causes possibles de ces défaillances et les effets engendrés sur le cylindre de découpe (cf. Annexe 15).

Puis un tableau d'évaluation des modes de défaillance (tableau AMDEC) a été transmis à chacun des membres du groupe pour qu'ils puissent renseigner les notations sur la non détection, la fréquence et la gravité des six modes de défaillance. Certains d'entre eux ont même proposé des actions correctives sur ces défaillances. Nous avons placé en annexes la

table d'évaluation d'un des membres de l'équipe AMDEC (cf. Annexe 16). De manière à synthétiser les résultats de cette évaluation nous avons moyenné les notes sur chaque critère.

	Cotation			
Modes de défaillance	D	F	G	**C**
Mauvaise accroche du dépôt	3	2	20	**120**
Décalage entre le dépôt et l'axe du filet	3	2	3	**18**
Apparition de bulles dans les intersections du dépôt	2	1	5	**20**
Eclatement du dépôt après la gravure	3	4	7	**84**
Fissures transversales dans le dépôt	3	4	3	**36**
Bouts de plis éclatés à l'usinage	2	1	5	**10**

Figure 74 : Modes de défaillance et criticité

Les défaillances du processus de fabrication qui se révèlent être les plus critiques à la suite de cette analyse sont : **la mauvaise accroche du dépôt** et **les éclatements du dépôt après usinage**. Sur les six modes identifiés au cours de la phase de test du processus de fabrication, trois d'entre eux ont une notation supérieure au seuil fixé. Nous avons donc mené des actions correctives sur ceux-là (modification de certains paramètres de la machine de rechargement laser, réduction des passes de rectification, optimisation de la gamme d'usinage…). Ces changements ont été validés sur quatre autres outils. En ce qui concerne l'apparition de bulles dans les intersections du dépôt et les bouts de plis éclatés, modes dont l'indice de criticité est inférieur au seuil défini, le groupe AMDEC a décidé, au cours d'une réunion, que leur fréquence était trop faible et leur apparition trop aléatoire pour pouvoir engager des corrections.

3.3.2.3 Corrélation entre les modes de défaillance et les connaissances d'industrialisation : Identification des "connaissances de fiabilité"

L'identification des causes de défaillances (cf. Annexe 15) et les actions correctives menées sur les trois modes les plus critiques, nous ont permis d'identifier et de formaliser de nouvelles connaissances. Ces dernières sont directement liées aux défaillances du nouveau processus de fabrication de cylindres de découpe et à leur résolution. Nous les avons répertoriées dans le tableau AMDEC final (cf. Annexe 17), de manière à faciliter la hiérarchisation de leur impact sur la fiabilité du nouveau procédé de rechargement laser et de l'ensemble du processus de fabrication. C'est en fait l'indice de criticité, calculé et déterminé

précédemment par l'équipe AMDEC, qui nous permettra de distinguer les connaissances les plus importantes à maîtriser concernant l'industrialisation du procédé, de celles qui le sont moins. Nous avons extrait de ces dix connaissances techniques, celles qui sont liées à une action corrective engagée grâce à l'AMDEC. Nous définissons donc les **"connaissances de fiabilité"** comme les connaissances d'industrialisation dont l'indice de criticité est supérieur au seuil fixé (IC>32). Plus précisément, nous affirmons que les "connaissances de fiabilité" sont construites à partir des actions correctives décidées et menées par les membres de l'équipe AMDEC.

Les analyses puis les corrections techniques entreprises, nous imposent de relever six "connaissances de fiabilité" sur le "Projet Laser". Ces dernières sont corrélées aux trois modes de défaillance les plus critiques : **Mauvaise accroche du dépôt**, **Eclatements du dépôt après la gravure** et **Fissures transversales et longitudinales dans le dépôt**.

Ces connaissances sont essentielles dans l'industrialisation du procédé de rechargement. Ce sont elles qui décrivent les phénomènes et actions qui nous ont permis de valider l'industrialisation. Elles sont donc autant nécessaires à la réalisation du saut technologique que le minimum de connaissances issues du développement (cf. § 3.3.1). Les autres connaissances du tableau AMDEC seront stockées, référencées et archivées dans la base de connaissances "Projet Laser" décrites dans le paragraphe précédent.

3.3.3 Synthèse de la seconde hypothèse et constitution d'un seuil minimum de connaissances à maîtriser

Nous avons pu aborder dans ce chapitre les différentes étapes du protocole d'expérimentation permettant de valider notre seconde hypothèse : **Pour qu'il y ait innovation technologique, il est nécessaire de réaliser un saut technologique.**

Dans un premier temps nous avons évalué les connaissances archivées au cours du développement du procédé, qui constituaient une base de connaissances du "Projet Laser". Nous en avons extrait une vingtaine, directement liée aux choix techniques réalisés à la fin du développement. Ces dernières représentent le cœur du procédé de rechargement laser de cylindres de découpe. Cependant, pour pouvoir assimiler et maîtriser entièrement cette nouvelle technologie, c'est-à-dire être capable de réaliser un saut technologique par la

migration de l'ancien processus vers le nouveau, ces connaissances ne sont pas suffisantes. Il faut, au cours des phases de test du processus de fabrication, identifier et créer les connaissances d'industrialisation du système. Car, réaliser un saut technologique dans l'entreprise, c'est aussi maîtriser les connaissances qui font du nouveau processus de fabrication un processus fiable mais qui permettront de le faire évoluer. Le suivi du processus de conception, présenté dans la première expérimentation (cf. figure 68), nous a permis de réaliser une campagne de prototypes et ainsi d'identifier l'ensemble des défaillances du processus lors de la fabrication de vrais outillages (qui seront mis en production). Ces défaillances nous ont incités à créer de nouvelles connaissances, soit en recherchant leurs causes soit en menant des actions correctives. Mais grâce à l'AMDEC, nous avons extrait de cette étape d'industrialisation, les "connaissances de fiabilité" qui sont dépendantes des résultats des actions correctives menées (cf. Annexe 17). Ces connaissances sont tout aussi nécessaires que les premières dans la réalisation du saut technologique.

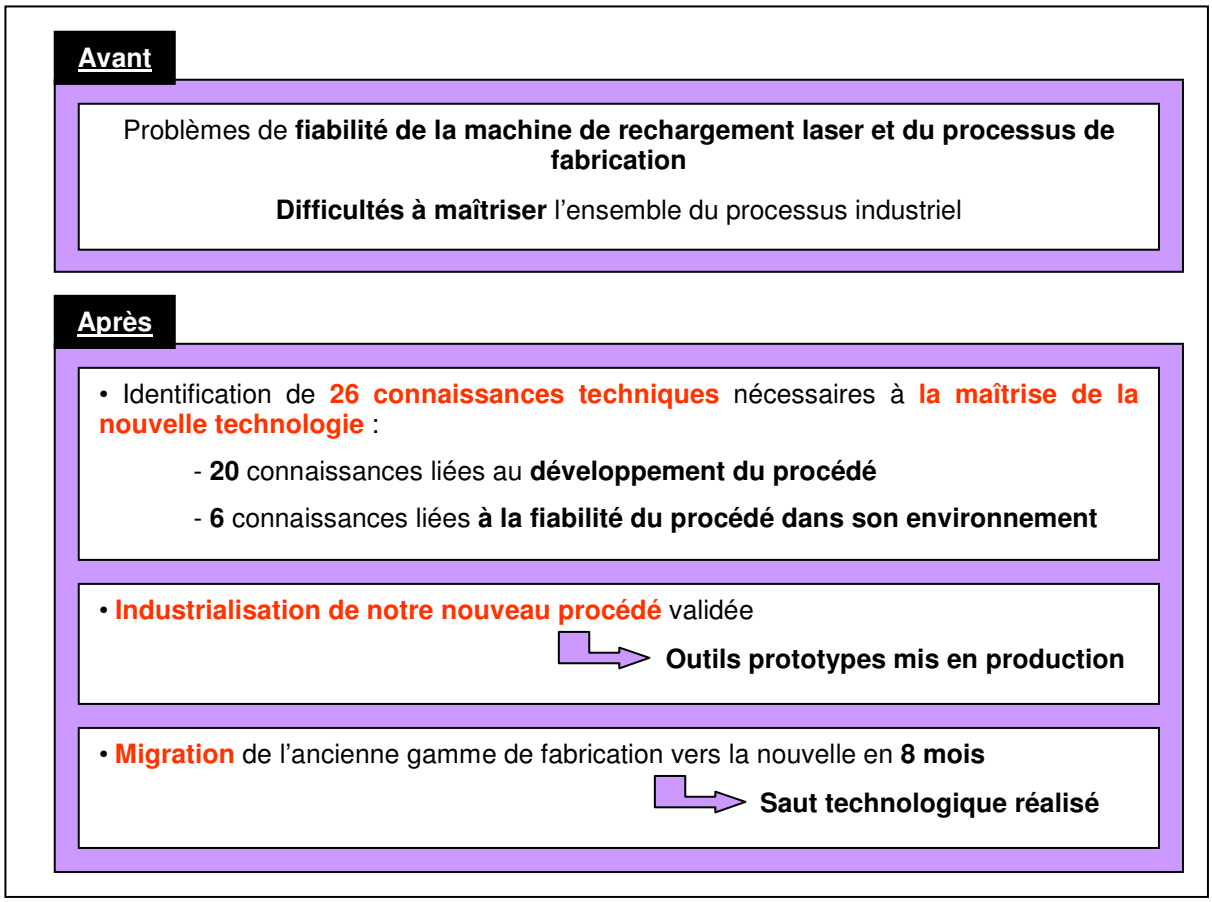


Figure 75 : Synthèse des résultats expérimentaux

Nous avons donc montré au cours de cette expérimentation qu'il était nécessaire d'identifier non seulement des connaissances liées au développement du procédé de rechargement laser, mais aussi des connaissances dépendantes de la validation de son industrialisation, afin de maîtriser son nouveau processus industriel. La réunion de ces deux groupes de connaissances restreints, constitue **le seuil de connaissances techniques à maîtriser pour réaliser le saut technologique dans l'entreprise**.

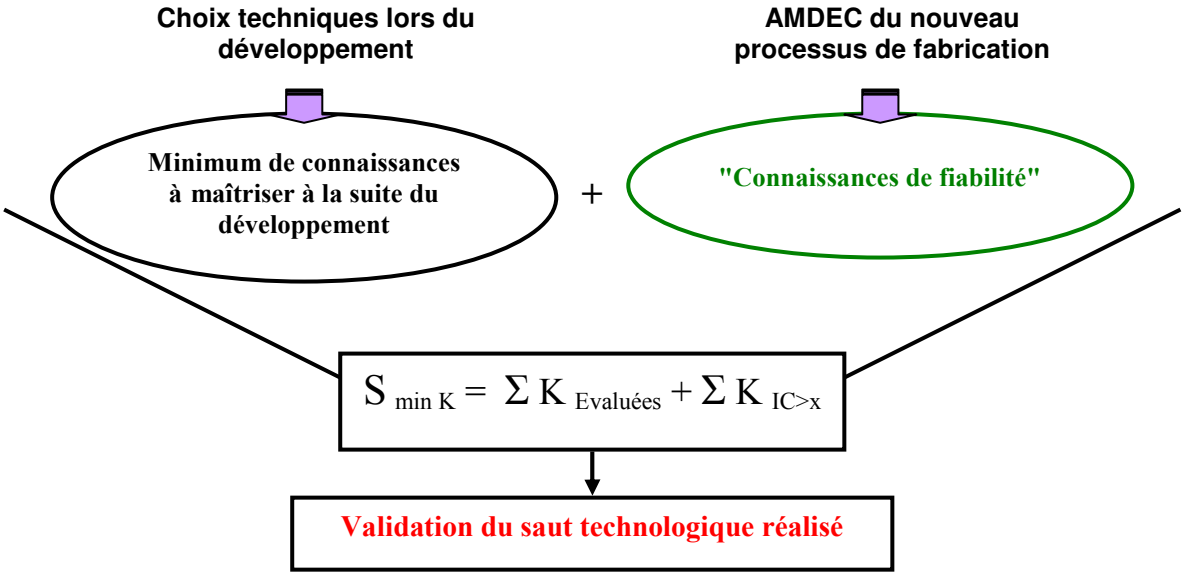


Figure 76 : Seuil minimum des connaissances nécessaires au saut technologique

Nous nous rappelons que les industriels, au cours de la conduite de projets innovants, rencontrent des difficultés dans la maîtrise des processus industriels et techniques (cf. § 2.1.2.1). Ces difficultés, liées à l'intégration de techniques non maîtrisées, représentent le principal facteur d'échecs de projets innovants en PME. La maîtrise de ces connaissances techniques garantit ainsi la migration de la technologie dans le nouvel environnement. Dans notre contexte d'expérimentation, seul le chef de projet (c'est-à-dire moi-même) maîtrise en interne l'ensemble de ces connaissances techniques. Cependant, il a créé les conditions favorables au transfert de ces dernières (définition d'un seuil minimum) vers les futurs utilisateurs. Le transfert de ce minimum s'est fait, très implicitement à la validation du "Projet Laser", sans aucune formalisation spécifique mais une simple et étroite communication avec les acteurs. A ce jour, nous ne fabriquons plus aucun de nos outillages *Twin Knife* avec l'ancien procédé de fabrication. D'autre part nous réfléchissons à des adaptations de cette

nouvelle technologie, en particulier sur d'autres outillages. Tout ceci est bien la preuve que le saut technologique est réussi.

Afin d'amener une seconde réponse à notre problématique scientifique, nous conclurons ce chapitre en affirmant que **l'innovation technologique ne peut exister et être pérennisée que si il y a la réalisation d'un saut technologique**. Le saut technologique est bien la condition qui garantit l'intégration de l'innovation technologique dans l'entreprise et ainsi favorise ses chances de succès. Cependant ce saut technologique ne sera validé sans la maîtrise d'un seuil minimum de connaissances techniques (connaissances de développement évaluées et "connaissances de fiabilité").

En conclusion de cette troisième partie, nous avons, à travers ces deux expérimentations, vérifié nos hypothèses de recherche et répondu à la problématique scientifique posée : **Quels sont les conditions et critères favorisant la réussite d'une innovation technologique lorsque celle-ci met en jeu la pérennité des activités d'une PME-PMI ?**

Nous avons montré que les deux conditions primordiales à la réussite d'une innovation technologique en PME sont :

- **la mise en place d'une démarche de collaboration rigoureuse** dès les phases amont du projet innovant, de manière à supporter et à optimiser les activités de conception. L'efficacité de cette collaboration pourra s'apprécier à travers la création d'**un "Réseau Projet"**, l'élaboration de **protocoles d'échanges**, la formalisation de **documents spécifiques**, la **maîtrise des flux** (données, informations et connaissances) et la création de **connaissances communes**.

- **la réalisation d'un saut technologique** qui permettra d'intégrer l'innovation technologique et de la pérenniser au sein de l'entreprise. Cette migration de la nouvelle technologie ne pourra voir le jour que par la **maîtrise d'un seuil minimum de connaissances techniques**.

A partir de ces résultats expérimentaux, nous avons construit un modèle de processus d'innovation technologique en PME-PMI qui sera destiné aux chefs de projet. Il favorisera la réussite de leur projet innovant en leur apportant un support méthodologique basé sur des activités de gestion de projet, de conception, de collaboration et d'intégration. Nous décrirons ce modèle et sa mise en œuvre dans la quatrième partie.

Quatrième partie : Proposition d'un modèle du processus d'innovation technologique en PME-PMI

Suite à l'analyse de la littérature et aux différentes réflexions issues de nos expérimentations sur le "Projet Laser", nous avons souhaité proposer un modèle de processus d'innovation technologique qui intègre les différents besoins exprimés dans les parties précédentes de ce document. Ce modèle se voudra plus proche de la réalité industrielle des petites et moyennes entreprises et devra apporter un support méthodologique aux responsables de projets innovants.

Dans un premier temps, nous exprimerons les raisons qui nous ont amenés à proposer un nouveau modèle de processus d'innovation technologique. Nous avons montré à travers nos résultats expérimentaux, qu'il était primordial, pour mener à bien son innovation, de formaliser les activités de collaboration et de faciliter l'intégration de la technologie. Malheureusement les processus modélisés jusqu'à présent, qu'ils soient "mécaniques" ou "organiques", ne se sont pas penchés sur ces problématiques. C'est pourquoi nous avons décidé de proposer un modèle qui les prenne en compte, tout en conservant comme pilier central les activités de conception. Dans un second temps, nous décrirons l'ensemble de notre modèle qui se compose de quatre sous-processus interdépendants les uns des autres : un processus de gestion de projet, un processus de conception, un processus de collaboration et un processus d'intégration. Enfin, nous expliciterons comment le chef de projet peut mettre en œuvre ce modèle en PME.

4.1 Pourquoi proposer un modèle ?

Dans l'état de l'art des processus d'innovation (cf. § 1.3.3) réalisé au cours de la première partie, nous avons relevé deux types d'approches : les approches dites "mécaniques" et les approches dites "organiques". Si l'on reprend l'analyse des modèles "mécaniques", on relève, quels que soient ces derniers, une trame directrice de phases quasi-identiques : Recherche d'idées, Elaboration des concepts, Développement, Essais, Commercialisation (cf. figure 21).

Cette trame n'est, ni plus ni moins, que la modélisation d'un processus de conception d'une nouvelle technologie. Or, nous avons montré dans la seconde partie du document (cf. Chap.2.1), que mener à bien une innovation technologique c'est d'abord avoir recours à des activités de conception mais que cela ne suffit pas. De plus, aucun flux d'information, de données, de connaissances et de résultats n'est représenté sur ces modèles. Les utilisateurs se retrouvent perdus puisqu'ils n'arrivent pas à identifier les jalons qui leur permettent de passer d'une phase à l'autre. Ils se retrouvent donc dans l'impossibilité de créer le lien entre leur contexte industriel d'innovation (complexe et incertain) et les supports méthodologiques tels que ceux-ci (simples et peu détaillés). Ces modélisations restent trop éloignées de la réalité industrielle. Elles ne peuvent donc pas servir la réussite d'une innovation technologique en PME. Comme le souligne Manzano dans sa thèse, il ne faut pas sombrer dans la simplification des modèles si l'on souhaite coller à la réalité des interactions et des évolutions [MANZANO 97]. D'autre part, si on analyse les modélisations "organiques", on retrouve des modèles plus proches de la réalité industrielle. Ils placent les activités de conception comme pilier de l'innovation (cf. figure 22) et introduisent l'interaction avec un autre domaine pour supporter ces activités : le domaine de la recherche ("la sphère de la connaissance" comme l'appelle Perrin) [PERRIN 01]. C'est lui qui amène les connaissances et les expertises techniques manquantes pour réaliser son innovation technologique. Cependant, les interactions entre ces deux entités paraissent très implicites et peu formalisées. Les concepteurs font appel à leur service de recherche afin qu'il leur transfère la connaissance technique dont ils ont besoin pour continuer leur processus d'innovation. Quand ces entités font partie de la même entreprise, qu'elles sont habituées à travailler de manière collaborative pour amener au développement un véritable appui technique, on admettra que la collaboration peut devenir aussi aisée. Cependant lorsqu'une PME souhaite innover, elle doit très souvent faire appel à des entités extérieures (centres de recherche ou entreprises expertes) en ayant pas ou peu d'expérience de la manière dont elle doit collaborer pour "co-développer" (cf. § 2.1.2). Ces modèles n'aident pas les responsables de projets innovants en PME, à maîtriser les flux de connaissances transférées et créées au cours du projet. Ceci rend la pérennisation de leur nouvelle technologie très délicate.

Face aux limites de ces modèles, j'ai souhaité, en tant que chef de projet en milieu industriel, proposer une modélisation organique qui fasse place à la formalisation d'une démarche de collaboration (dans le but d'optimiser la conception de l'innovation) et à l'intégration de

l'innovation technologique (assimiler la nouvelle technologie pour la pérenniser au sein de l'entreprise). Nous construirons notre modèle autour de quatre processus qui représentent à nos yeux et en considération de nos résultats expérimentaux, le noyau dur de l'innovation technologique en PME-PMI.

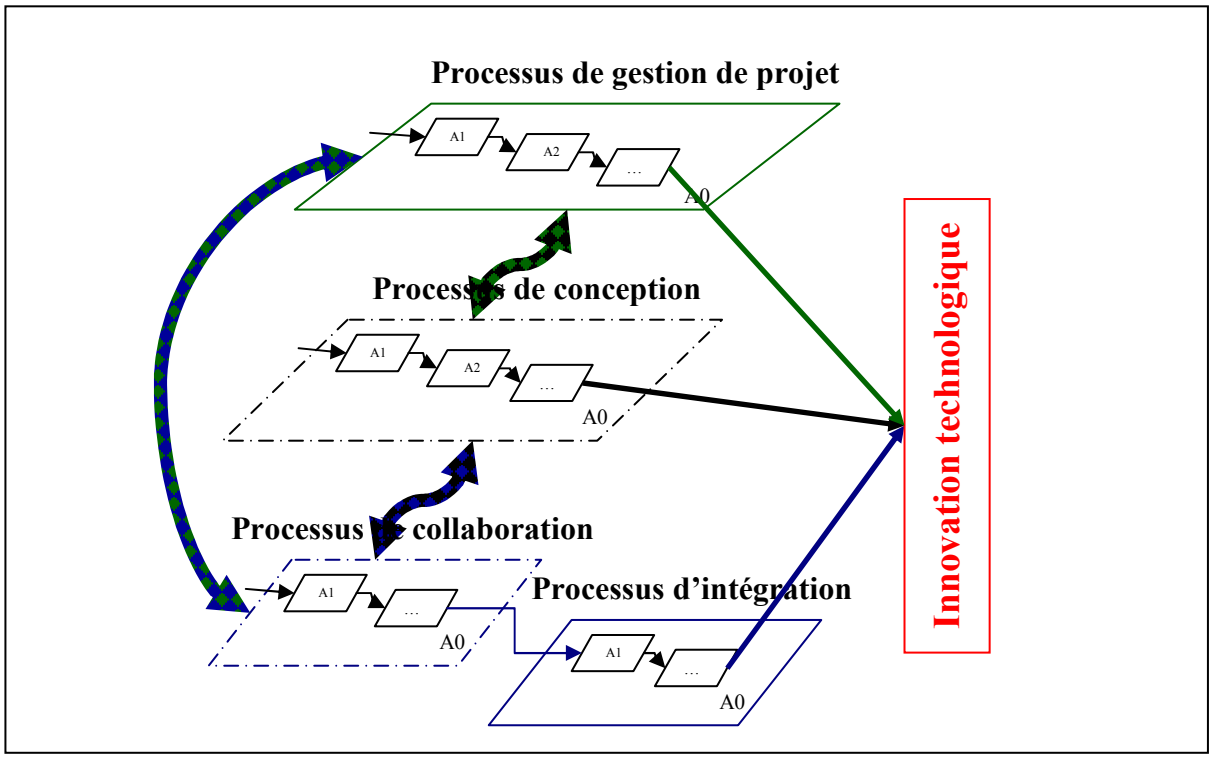


Figure 77 : Macro modèle du processus d'innovation technologique

Ces processus interagissent entre eux tout au long du processus d'innovation technologique, ils sont donc interdépendants. Nous décrirons chacune de leurs activités dans le paragraphe suivant. Il est important de rappeler que ce modèle a un objectif d'action pour les responsables de projet et que son utilisation doit favoriser la réussite d'une innovation technologique en PME-PMI.

4.2 Description des trois sous processus

Dans cette partie, nous allons développer les quatre processus qui composent notre modèle. Nous les décrirons les uns après les autres pour permettre une meilleure compréhension du lecteur. Cependant il faudra garder à l'esprit, qu'une action d'un processus pourra dépendre des résultats issus d'un des autres processus. Chacun de ces derniers se gérera de manière

simultanée tout au long de l'innovation technologique. Nous avons choisi, pour représenter ces processus et leurs activités, d'utiliser la modélisation SADT. Cette dernière présente un formalisme et une décomposition en actions, compréhensibles par une grande majorité d'acteurs industriels (cf. § 2.1.1.4.2). De manière à laisser une marge de manoeuvre aux utilisateurs, dans la réalisation de leur innovation technologique, nous nous sommes limités à une représentation de niveau A0 sur chacun des quatre processus.

4.2.1 Le processus de gestion de projet

Tout d'abord, nous devons rappeler que toute innovation technologique relève des enjeux stratégiques concurrentiels forts (cf. chap. 1.3). Ces projets innovants sont très souvent pour les PME, le seul moyen de redevenir compétitif sur leurs marchés. L'innovation ne peut donc se réaliser sans l'implication de la hiérarchie et sans un minimum d'analyse et de réflexions sur les objectifs à atteindre. Il est important de construire son projet de manière cohérente même si celui-ci reste très incertain et nous plonge dans l'inconnu [BOLY 04]. Comme le souligne Chambon il est important, dans tous projets, de faire un état des lieux, de clarifier les objectifs et de poser le cadre du projet [CHAMBON et al. 00]. C'est ce que nous souhaitons apporter à notre modèle d'innovation technologique par le biais d'un processus de gestion de projet. Nous formaliserons aussi un contrôle et un suivi de la hiérarchie pour éviter les dérives stratégiques et techniques fréquentes en innovation. De plus, il sera important, au cours du projet, de communiquer sur les avancées techniques afin de mettre en valeur l'enjeu du projet et fédérer l'ensemble des salariés autour de ce nouveau défi. Nous ne développerons pas ici les nombreux outils et méthodologies existants dans le domaine de la gestion de projet [CHAMBON et al. 00] [GIARD 91] [MADERS et al. 02]. Nous nous sommes fortement appuyés sur ces travaux pour élaborer **un processus de gestion de projet qui permette de définir et d'accompagner le projet innovant**. Il s'organise autour de six phases : **Anticiper**, **Initier**, **Lancer**, **Communiquer**, **Accompagner/Contrôler** et **Statuer**. La personne qui pilote ce processus est le directeur technique de l'entreprise. Les acteurs qui y participent sont les membres de la direction générale, les chefs de services et le chef de projet. C'est une étude de marché qui initiera ce processus (initiateur de toute innovation de type *Market Pull*), duquel résultera une innovation technologique assimilée au sein de l'entreprise.

La phase d'anticipation est la première étape de ce processus d'innovation technologique. C'est d'abord une phase de veille concurrentielle qui permet l'identification des évolutions

techniques et des atouts de chacune des entreprises qui se positionnent sur le même secteur. L'ensemble de ces informations peut être obtenu par des rencontres et des discussions avec les principaux clients, une présence assidue sur des salons métiers ou encore par la recherche et l'analyse de brevets concurrents…Cette étape a pour mission de rendre compte de la situation de l'entreprise et de chacune de ses activités face à son marché. Elle donne lieu à la rédaction d'**un rapport de contexte industriel** et **une analyse technique des produits concurrents**. Ces rapports sont généralement le fruit de recoupements d'informations entre techniciens et commerciaux.

La phase d'initiation permet la définition du projet innovant. A partir d'un contexte industriel formalisé et d'un positionnement par rapport à la concurrence, le directeur technique peut soumettre des propositions de projets innovants (issus de *brainstorming* avec ses techniciens par exemple). Elles seront évaluées par la direction générale en fonction de leur critère stratégique et de leur potentiel technologique. Cette initiation doit se solder par la **formalisation des objectifs stratégiques** du projet choisi, **l'attribution d'un budget annuel** (recherche de financement ou allocation R&D interne) et la formulation d'une **fiche projet** (Objectifs stratégiques, chef de projet, service porteur du projet, définition du concept technique…).

La phase de lancement ne peut se réaliser qu'une fois les **besoins de la nouvelle technologie** formalisés, le **CdCF** défini (issus tous les deux de la phase *Traduire* du processus de conception) mais aussi **le "réseau projet"** constitué (issu de la phase *Rechercher/Constituer* du processus de collaboration). Au cours de cette phase, le chef de projet désigné précédemment, planifie l'ensemble du projet. Tout en sachant qu'il peut y avoir des évolutions, il définit une trame directrice qui lui servira de fil conducteur au long du projet. Cette **planification** peut se faire à l'aide d'outils d'ordonnancement tels que les diagrammes de Gantt ou PERT. Elle permet, au cours de la collaboration, de créer **la table des compétences**. La phase de lancement se réalise en simultanée avec la phase *Rechercher/Constituer* du processus de collaboration. Le chef de projet a donc, au moment du lancement, une idée des contributions de chacun des futurs partenaires sur son projet innovant. Une fois que ces tâches sont validées par la hiérarchie, on prend la décision de lancer le projet.

Les phases de communication mais aussi d'accompagnement et de contrôle se réalisent simultanément aux phases techniques du processus de conception (Développer, Définir et Tester). En ce qui concerne la première phase, elle consiste à informer l'ensemble des salariés sur les objectifs et les avancées du projet. Cette communication se fait par le chef de projet, ou sa hiérarchie, au cours de **réunions** ou lors de la rédaction de **notes internes** (mensuelles). Ces présentations du concept et de son évolution, fédèrent l'ensemble des dirigeants et des salariés autour du projet innovant. La seconde phase (Accompagner/Contrôler), quant à elle, implique fortement la direction de l'entreprise. Celle-ci se doit, par la mise en place de comités de Recherche et Développement ou de réunions projet (trimestriels ou semestriels), de vérifier l'avancée technique du projet. Le chef de projet présente le travail effectué depuis la dernière réunion. L'ensemble des dirigeants évalue ou réévalue les progressions techniques, définit des réorientations jugées nécessaires, contrôle les budgets dépensés ou encore vérifie l'adéquation entre la nouvelle technologie en développement et la culture de l'entreprise. Ces entretiens permettent à la direction de superviser la qualité des travaux réalisés et d'évaluer leurs portées stratégiques. Ils redirigent le chef de projet mais aussi font en sorte d'arrêter à temps un projet innovant voué à l'échec. Cette phase d'accompagnement pourra se solder par des **restrictions de budget**, des **réorientations techniques**, ou **des prises de décision pour passer à l'étape suivante** (notamment au niveau du processus de conception).

Enfin, l'ultime étape de notre processus de gestion de projet vise à clore le projet. Suite à la validation de la conception de la nouvelle technologie, la direction de l'entreprise et le directeur technique tirent le bilan du projet et fixent des objectifs d'amélioration continue.

L'objectif principal de ce processus de gestion de projet est de préparer le projet innovant, d'éviter les dérives techniques et stratégiques liées à la complexité et à l'inconnu, de communiquer sur le projet (afin qu'il ait une résonance dans l'entreprise), mais aussi de prendre les décisions (décision de lancer le développement, décision de lancer les tests, décision d'arrêter le projet, décision de restreindre le budget…) aux moments opportuns.

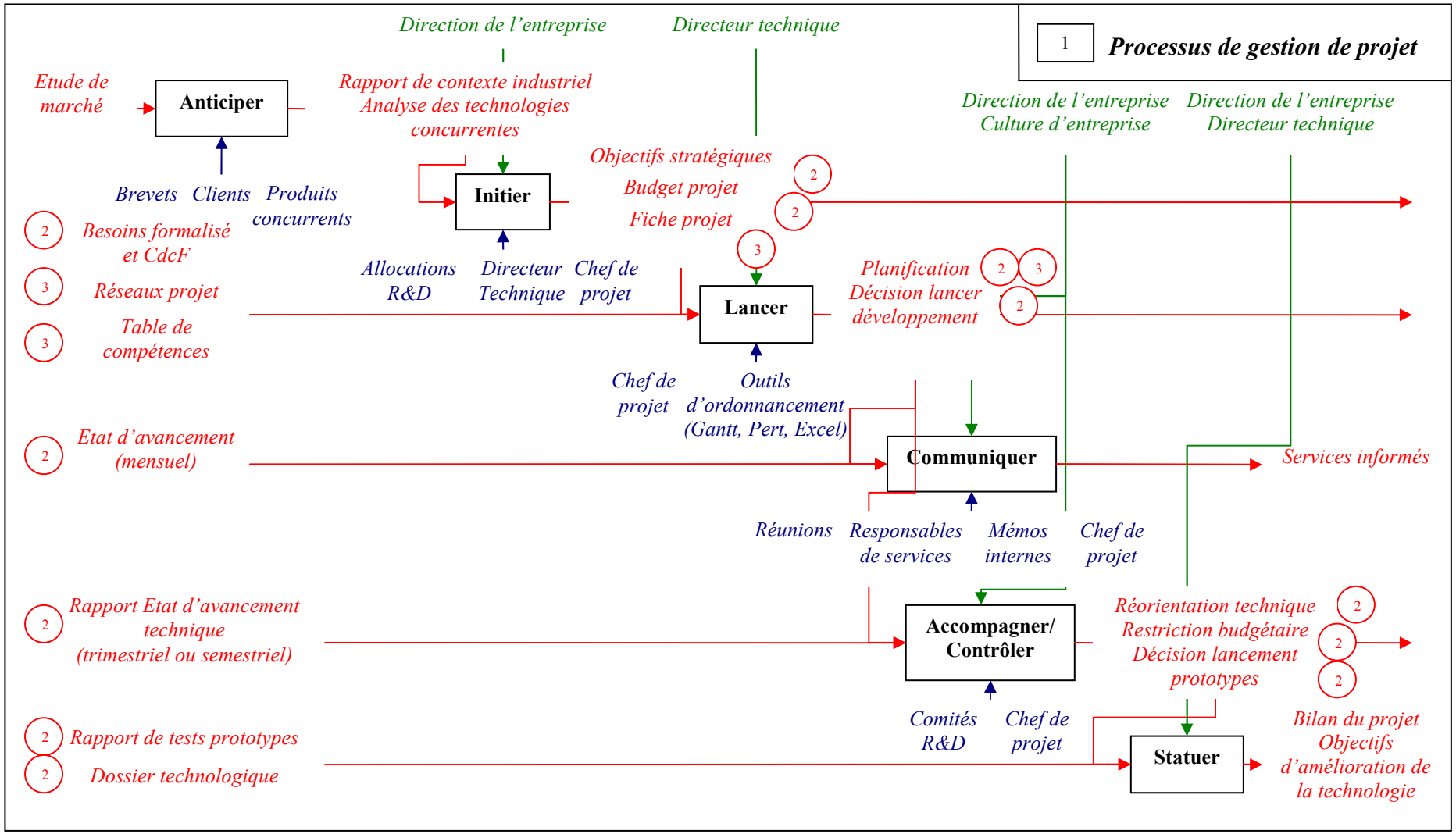


Figure 78 : Modélisation SADT du processus de gestion de projet

4.2.2 Le processus de conception

En parallèle au processus de gestion de projet décrit précédemment, l'innovation technologique telle que nous la définissons, impose le recours à un processus de conception de la technologie. Pour ce faire, nous nous sommes appuyés sur le processus de conception défini par Ameziane Aoussat (cf. 2.1.1.3), que nous avons adapté à la réalisation d'une nouvelle technologie de fabrication (cf. 3.2.5.1). Il nous permettra de développer une nouvelle technologie (développement interne et/ou développement externe) qui soit en accord avec les besoins de l'entreprise et qui réponde aux fonctions techniques que celle-ci doit remplir. Le processus de conception proposé, s'organise autour de cinq phases : **Traduire**, **Développer**, **Définir**, **Tester** et **Valider**. La personne qui pilote ce processus est le chef de projet et les acteurs qui interagissent sur ces phases sont les membres du "réseau projet" (cf. 3.2.3) constitué au cours du processus de collaboration (acteurs externes et acteurs internes).

Le processus de conception ne démarre que lorsque les **objectifs stratégiques** du projet innovant sont définis (processus de gestion de projet) et le **"réseau projet" constitué** (processus de collaboration). Ces entrées permettront de réaliser la phase de traduction qui consiste en la formalisation du besoin fondamental et la réalisation d'une Analyse Fonctionnelle Externe de la technologie à concevoir. Cette phase nous permettra de lister l'ensemble des fonctions techniques et des performances auxquelles doit répondre la future technologie (exemple en Annexe 3). Cette première phase donnera lieu à la constitution d'un Cahier des Charges Fonctionnel et à des modélisations de l'intégration de la nouvelle technologie dans l'entreprise (modélisations SADT des gammes de fabrication par exemple).

Une fois que la décision de lancer le développement est prise (processus de gestion de projet) et que les contributions de chaque partenaire sont réparties (issues du processus de collaboration), le chef de projet pourra commencer son développement technique. Cette étape est principalement constituée d'essais techniques, réalisés conjointement avec les entités externes partenaires. En prémisse à un développement poussé, on réalise **une étude de faisabilité**. Dès que celle-ci démontre la possibilité technique de mettre en œuvre le concept émis, le chef de projet lancera des essais techniques qui se rapprocheront des conditions industrielles. Les développements externes et internes seront supportés par les résultats du processus de collaboration (**protocoles d'échanges, cahier des charges spécifiques…**) qui favoriseront **la communication avec les experts externes** et **optimiseront le transfert de**

données et la création de connaissances techniques communes. Chacun de ces essais techniques donnera lieu, par l'intermédiaire du chef de projet, à l'émission de rapports d'essais et de rapports d'avancement (donnant des éléments de développement aux experts externes et permettant, au processus de gestion de projet, de juger des avancées réalisées). La phase de développement ne pourra être validée par le chef de projet et les dirigeants de l'entreprise, que lorsque la technologie répondra aux fonctions déterminées dans la première phase du processus.

La phase de définition permettra, à partir des développements réalisés, de détailler les différents éléments et caractéristiques de la technologie en vue de son industrialisation. La réalisation de cette étape passera par la formalisation de l'**architecture de la nouvelle technologie** (éléments, interfaces, configurations ou paramétrages…).

La phase de tests ne pourra débuter qu'une fois la décision prise au cours du processus de gestion de projet. Son objectif est de valider les performances et la fiabilité de la nouvelle technologie implantée dans son futur environnement industriel. Elle renfermera par exemple, la mise en œuvre d'une campagne de prototypes et de tests utilisateurs. Ces tests auront le mérite de soulever les derniers problèmes techniques. La réalisation d'une AMDEC (Processus ou Machine) permettra de mettre en évidence les défaillances sur lesquelles devront être engagées des actions correctives.

Enfin l'étape de validation, dernière étape de ce processus de conception, clôturera l'industrialisation de la technologie avant la migration au sein de l'entreprise. Elle consistera à vérifier que la nouvelle technologie répond bien aux besoins exprimés par l'entreprise et que ses performances sont à la hauteur des objectifs engagés au départ du projet innovant. Les résultats de cette phase seront : **une technologie industrielle** et la constitution d'**un dossier technologique** par le chef de projet (Seuil minimum de connaissances techniques, Outils spécifiques, Paramétrages machines et opérations …).

L'objectif principal de ce processus de conception est de regrouper les moyens techniques et méthodologiques mais aussi les compétences techniques externes nécessaires à la mise en oeuvre d'une nouvelle technologie répondant aux besoins de l'entreprise.

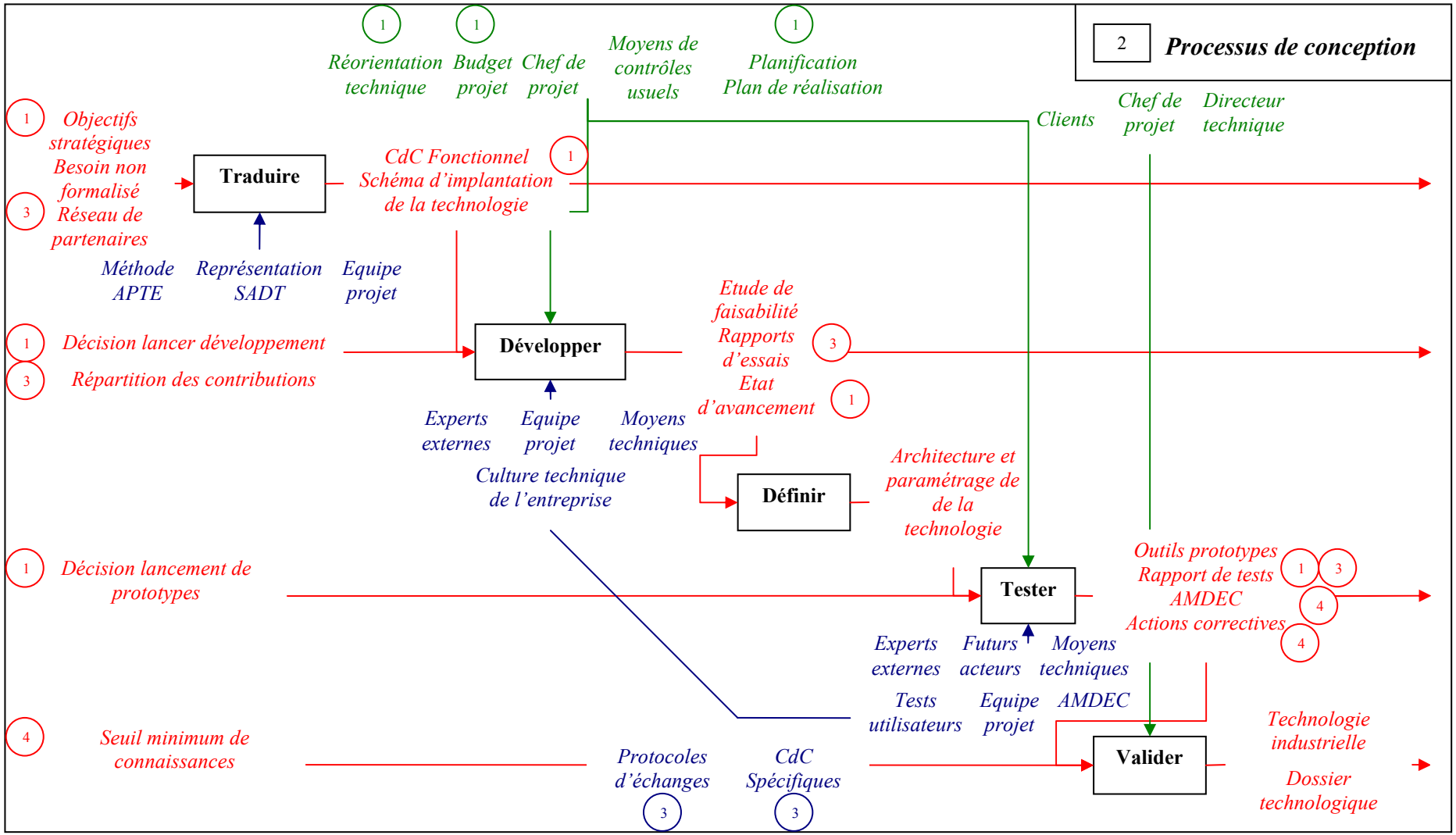


Figure 79 : Modélisation SADT du processus de conception

4.2.3 Les processus de collaboration et d'intégration

Tout au long du document, nous avons mis l'accent sur l'importance d'une collaboration rigoureuse lorsque l'on souhaite innover en PME, sur la nécessité de réaliser un saut technologique afin d'assimiler et de pérenniser la technologie dans l'entreprise. Il est donc primordial de formaliser ces actions dans un modèle de processus d'innovation technologique. Ainsi, nous avons modélisé un processus de collaboration qui permettra d'optimiser et de formaliser les échanges entre les partenaires externes et le chef de projet. Le processus d'intégration qui suivra cette collaboration, devra garantir la maîtrise en interne de l'innovation technologique.

4.2.3.1 Le processus de collaboration

A notre sens, un processus d'innovation technologique doit recourir à un processus de collaboration rigoureux dont l'objectif principal sera l'optimisation de la conception conjointe. D'autant plus que nous savons que la PME est peu encline à ce genre de pratiques. Mais nous l'avons démontré précédemment, la collaboration est une des conditions favorisant la réussite de l'innovation technologique. Ce processus de collaboration permet de favoriser la communication et les échanges avec les acteurs externes (cf. § 3.2). Il s'organise en quatre phase : **Identifier/Définir**, **Rechercher/Constituer**, **Formaliser** et **Utiliser/Stocker**. Il est piloté par le chef de projet. Les acteurs, qui interviendront sur ce processus, sont les membres du "réseau projet".

La phase d'identification et de définition n'est lancée qu'une fois la **fiche projet définie** (processus de gestion de projet). A partir de la définition du concept technique et de l'**évaluation des compétences internes** dans l'entreprise, le chef de projet doit **identifier les compétences externes** nécessaires à la conception de la technologie. Pour ce faire, il réalise **une carte de compétence** (cf. Figure 65) qui lui permet de référencer l'ensemble des domaines techniques auxquels il fera appel au cours du projet. Dans le même temps, il effectue une **analyse fonctionnelle du système de collaboration** ceci afin traduire le besoin fondamental de la collaboration et d'identifier les fonctions qui permettront de rendre plus intensive et plus efficace la conception.

Une fois les compétences du "réseau projet" identifiées, le chef de projet doit prendre contact avec ses futurs intervenants. Il fait alors appel à son réseau métier ou participe à des colloques spécialisés pour constituer le "réseau projet". Grâce à **la planification** réalisée lors du processus de gestion de projet, il affectera les contributions de chacun des membres du réseau sur les phases techniques du projet : ceci constituera **la table des compétences** (cf. figure 66). Ce travail lui donnera une prévision assez juste des personnes ou entités les plus influentes sur le développement (échanges les plus fréquents et les plus riches techniquement). C'est avec celles-ci qu'il faudra privilégier la collaboration.

La phase de formalisation a pour mission de fixer des règles d'interactions entre le chef de projet et les acteurs externes. Par l'intermédiaire de séances de travail, les partis établiront, d'un commun accord, **un protocole d'échanges** (exemple en Annexe 5) rassemblant les modalités et supports de communication. Ces derniers favoriseront l'émission et la réception de données, informations et connaissances nécessaires à l'instauration d'une collaboration efficace. L'établissement de ce protocole d'échanges donnera lieu à l'établissement de **documents d'échanges** (**procédures**, **rapports**, **cahiers des charges spécifiques**…). Cette phase entraînera la matérialisation du contenu des échanges et leur ordonnancement. Ainsi, le chef de projet établira les conditions fondamentales à la maîtrise de l'ensemble des flux de communication gravitant autour du projet innovant.

L'utilisation de l'ensemble de ces documents au cours des phases de conception de la technologie, initiera la phase d'utilisation et de stockage de ce processus de collaboration. En effet, l'expérimentation des documents permettra non seulement de les optimiser mais aussi de stocker leurs contenus. Le chef de projet pourra ainsi référencer et archiver (sous une base Excel par exemple) toutes **les données et les connaissances techniques** créées au cours du développement. Les connaissances techniques, fondement de la maîtrise d'une technologie, favoriseront son intégration. Cette **base de connaissances projet** devra s'enrichir tout au long de la phase de développement du processus de conception. C'est cet ultime résultat qui sera le point d'entrée du processus d'intégration.

L'objectif principal de ce processus de collaboration est de garantir une bonne interaction entre les différents partenaires, des échanges optimums et la création de connaissances communes, dès les phases amont du projet innovant.

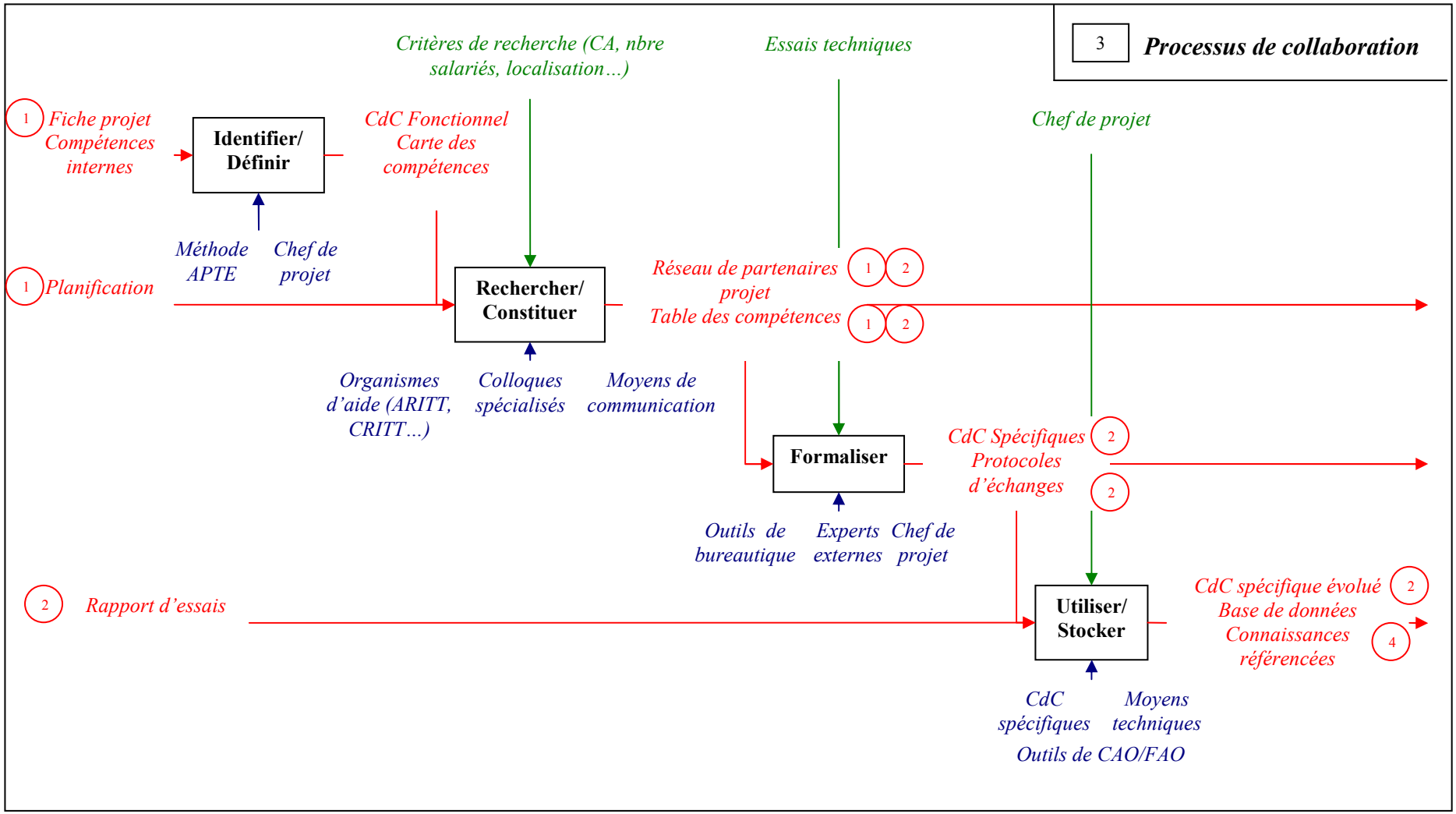


Figure 80 : Modélisation SADT du processus de collaboration

4.2.3.2 Le processus d'intégration

Il doit permettre de réaliser le saut technologique indispensable à l'intégration de la nouvelle technologie. Ce processus s'articulera autour de cinq phases, qui se repartiront en deux voies simultanées : **Evaluer** et **Extraire** d'un côté et **Corréler** et **Extraire** de l'autre, pour converger vers **Réunir**. C'est le chef de projet qui pilote ce processus d'intégration. Les seuls acteurs qui participeront à son élaboration seront les membres de l'équipe AMDEC, définie au cours du processus de conception.

En ce qui concerne la première voie (Evaluer et Extraire), celle-ci ne démarrera qu'une fois le développement terminé. **La base de connaissances techniques**, formalisée au cours de la collaboration, devra être évaluée à l'aide de critères techniques (définis par le chef de projet) directement liés à la technologie développée. Nous rappelons que l'objectif de cette voie est d'identifier les connaissances nécessaires à la maîtrise de la future technologie en interne. Le chef de projet les extraira de la base grâce aux choix techniques (valeurs affectées aux critères) effectués à la suite du développement (cf. § 3.3.1). Elles représenteront le **minimum de connaissances à maîtriser à la suite du développement** et donc, celles que l'on ne peut écarter dans la réalisation du saut technologique.

La seconde voie (Corréler et Extraire), quant à elle, est simultanée à la phase de tests du processus de conception. On ne pourra réaliser la corrélation entre les connaissances techniques et les modes de défaillance, qu'une fois l'AMDEC de la nouvelle technologie réalisée. Les modes de défaillance identifiés lors de l'évaluation de la fiabilité industrielle de la technologie (phase de test du processus de conception), initialiseront la création de nouvelles connaissances. Ces dernières seront non seulement liées aux causes de ces défaillances mais aussi aux actions correctives menées. On les répertoriera en fonction de leur mode de défaillance respectif. C'est au cours de la phase d'extraction que, supporté par l'équipe AMDEC, le chef de projet définira les **"connaissances de fiabilité"** (cf. § 3.3.2.3). Elles seront extraites notamment à partir du seuil de criticité défini lors de la préparation de l'AMDEC (processus de conception). Ces connaissances représentent les connaissances techniques d'industrialisation de la technologie à maîtriser par l'entreprise.

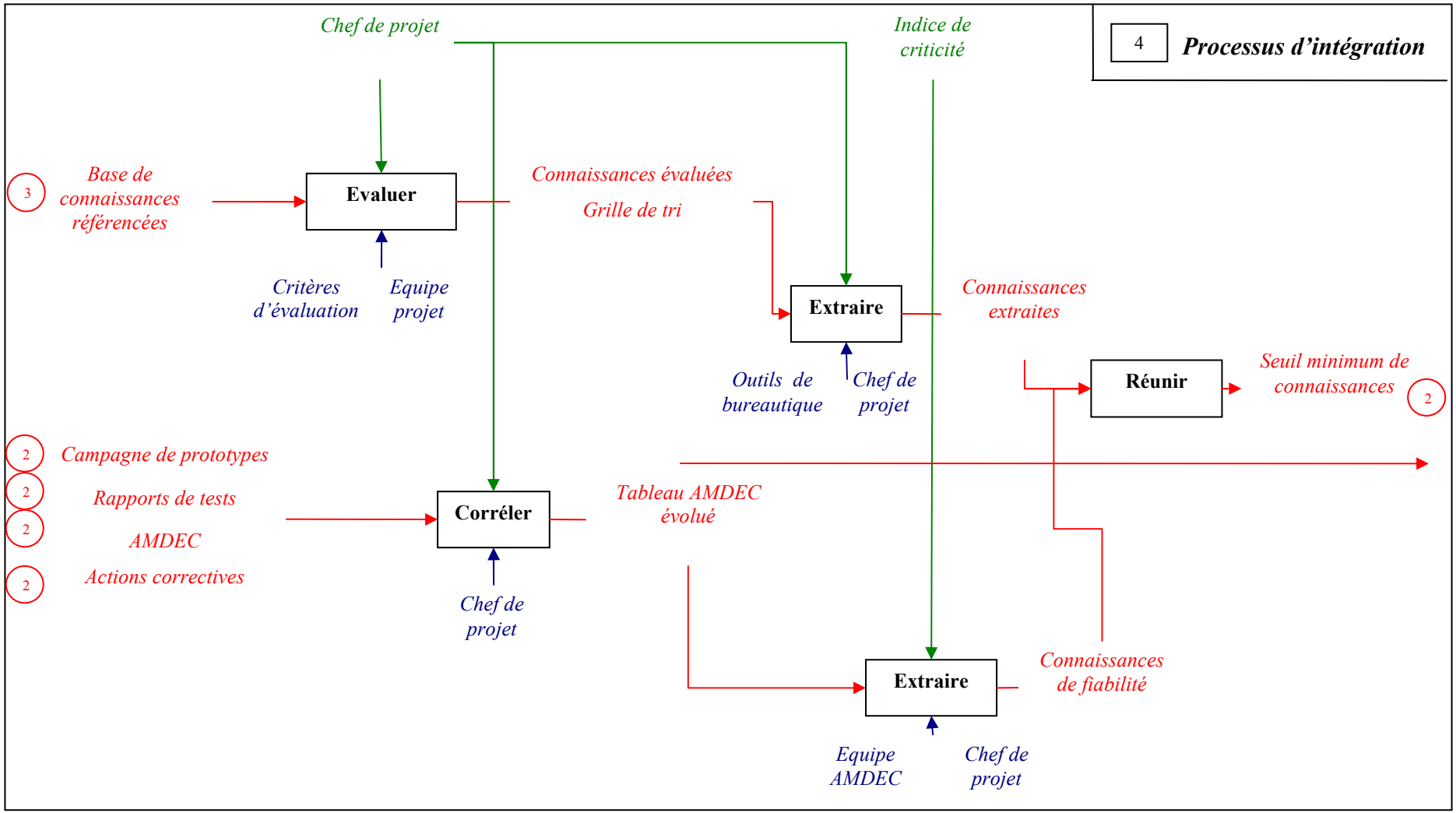


Figure 82 : Modélisation SADT du processus d'intégration

La phase de réunion consistera à rassembler les deux groupes de connaissances identifiées : le minimum de connaissances techniques liées au développement et les "connaissances de fiabilité" liées à l'industrialisation de la technologie. Elles formeront le seuil minimum de connaissances techniques à maîtriser pour réaliser le saut technologique, c'est-à-dire pour être capable de migrer de l'ancienne vers la nouvelle technologie.

L'objectif principal de ce processus d'intégration est de créer les conditions favorables à l'assimilation de la nouvelle technologie au sein de l'entreprise. La maîtrise des connaissances identifiées garantira l'intégration et la pérennisation de l'innovation technologique.

4.3 Modèle : support des activités d'innovation technologique en PME

Nous avons montré précédemment que les processus d'innovation technologique classiques (cf. §1.3.3), ne prescrivent pas de démarches à suivre quant à la résolution des problématiques liées à la collaboration en conception et à l'intégration de l'innovation, alors que ce sont pourtant deux éléments qui conditionnent la réussite de projets innovants en PME. Notre apport réside dans le fait que, grâce au processus que nous préconisons, les acteurs de l'innovation en PME créeront les conditions favorables à la maîtrise d'une technologie issue d'un "co-développement" et à sa pérennité au sein l'entreprise (engager des améliorations continues).

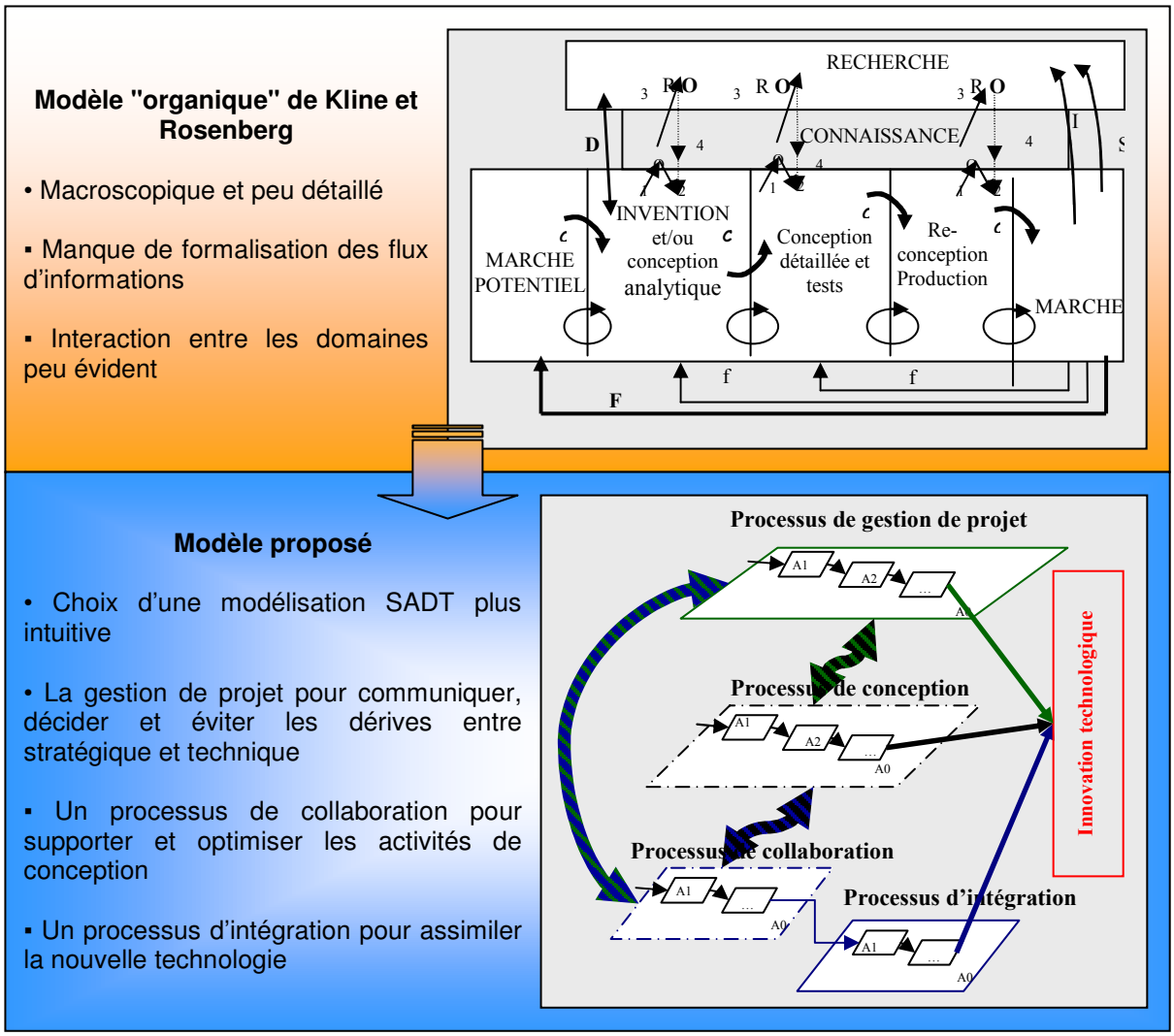


Figure 83 : Synthèse de l'apport méthodologique

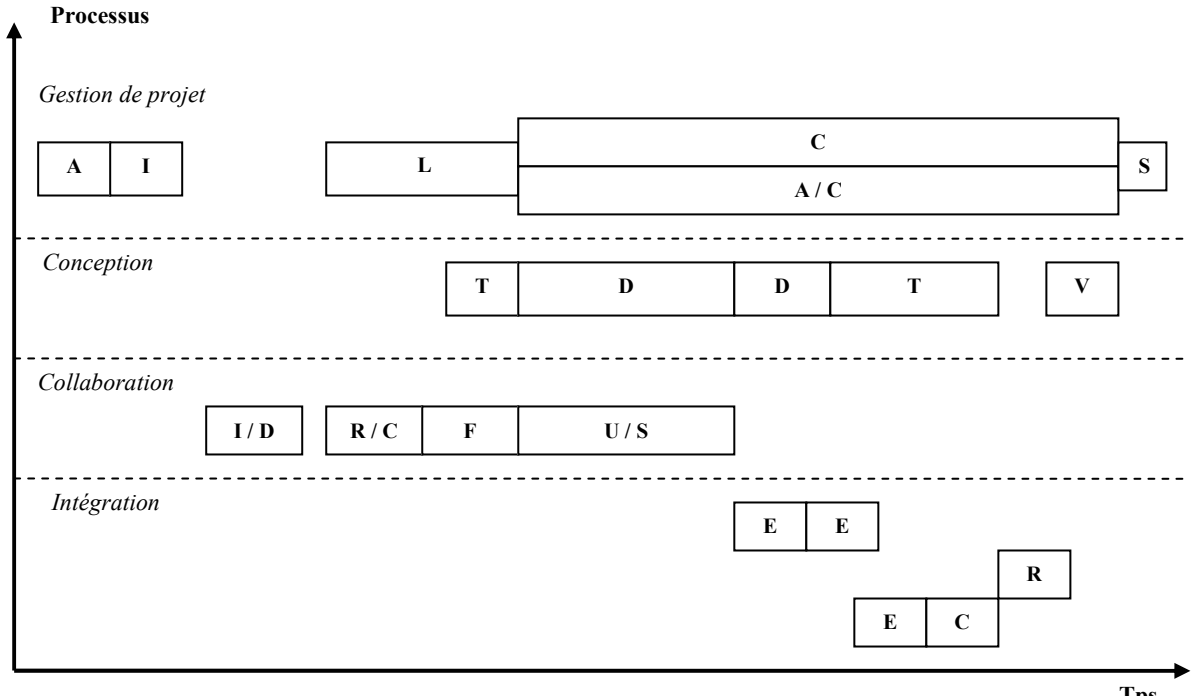
Afin de dresser un bilan sur le processus d'innovation technologique modélisé, nous apporterons quelques recommandations sur sa mise en œuvre et nous présenterons les avantages et les limites de son application en milieu industriel.

4.3.1 Mise en oeuvre du modèle

Tout d'abord il est important de rappeler que, sans l'implication des dirigeants de l'entreprise dès les phases amont du projet, le projet innovant ne pourra reposer sur aucun fondement. En effet, c'est bien la direction qui, par ses intérêts stratégiques, soutiendra le processus d'innovation technologique. Les phases amont du processus de gestion de projet sont donc des étapes clés dans la légitimation de l'innovation au sein de l'entreprise.

Le lecteur aura pu relever lors de la description du modèle, la place centrale que tient le chef de projet autour de ces quatre processus. C'est lui qui active ce processus d'innovation technologique par ses rôles de coordinateur, de communicateur, d'initiateur, de technicien ou encore d'acteur d'interface. Il doit être à la fois à l'écoute des besoins et des contraintes de ses partenaires externes, tout en conservant à l'esprit les valeurs de son entreprise. Ceci de manière à mixer et harmoniser les diverses compétences techniques nécessaires à la conception de la technologie. Le processus de collaboration établi devra servir de base pour initier l'ensemble de ces échanges, dont l'assimilation et la maîtrise sont les clés de la réussite de l'innovation. Sa mission principale consiste donc en la mise en œuvre d'un travail collaboratif lui permettant de concevoir en maîtrisant l'ensemble des éléments de sa future technologie.

Par ailleurs, il convient aussi de mettre l'accent sur le rôle du "réseau projet" dans ce processus. C'est lui qui va amener les compétences et les expertises techniques qui sont nécessaire à la réalisation de la technologie. Ce réseau contribue donc à l'efficacité de la mise en œuvre du modèle. Il est important que le chef de projet lors de sa constitution en soit pleinement conscient.



Chacune des lettres majuscules se réfère aux activités citées précédemment

Figure 84 : Ordonnancement des activités du processus d'innovation technologique modélisé

Afin de faciliter la mise en œuvre du processus modélisé sous forme SADT, nous avons représenté, sur la figure ci-dessus, la disposition dans le temps de chacune des actions prescrites.

4.3.2 Apports et limites du modèle

Ce modèle de processus d'innovation technologique présente, tout d'abord, l'avantage d'être construit selon une démarche de type "organique". Il permet ainsi d'appréhender le processus d'innovation dans sa globalité, en intégrant l'ensemble des acteurs qui y participeront et les interactions qu'ils susciteront. De plus, cette représentation nous paraît objective par rapport à une situation perçue comme complexe dans un contexte d'innovation industrielle. Le chef de projet doit donc se positionner plus facilement vis-à-vis de ce modèle et ainsi y retrouver des prescriptions utiles.

Par ailleurs, nous avons vu que, seule la conduite conjointe des quatre processus (gestion de projet, conception, collaboration et intégration), permet une maîtrise globale du projet innovant. Le modèle garantit ainsi l'adéquation et la pérennisation de l'innovation technologique dans l'entreprise. Il favorise aussi une communication optimum entre le niveau stratégique et le niveau technique, de manière à ce que l'innovation technologique soit en perpétuelle confrontation face aux objectifs de compétitivité.

Enfin, nous pensons que ce modèle constitue le réel apport de notre travail de recherche en mettant l'accent sur deux aspects souvent négligés lorsque l'on lance un projet innovant en PME : la collaboration avec des partenaires externes et l'assimilation par l'entreprise du saut technologique réalisé.

Malgré les avantages du modèle, une vigilance s'impose sur certains aspects. En effet, sa mise en œuvre reste relativement complexe et prenante, ce qui peut rendre difficile, dans un contexte de PME, l'alternance avec d'autres tâches ou d'autres projets, habituellement dédiés à la vigilance des chefs de projet. Leur rôle central dans notre processus les incite à consacrer un temps considérable au projet innovant. Nous pensons donc qu'il est important d'évaluer, dès les phases d'initiation, le temps nécessaire au pilotage de ce processus car c'est un investissement en temps et en argent que l'entreprise ne doit pas sous-évaluer. D'autre part ce modèle est basé sur une anticipation du concept technique à réaliser, ceci dès les phases

amont du projet (par exemple la constitution du "réseau projet"). Il serait donc intéressant pour les dirigeants de l'entreprise, avant de s'engager financièrement, de pouvoir évaluer les risques liés au projet. Enfin, dans une PME où les actions à court terme l'emportent parfois sur les actions à long terme, la mise en œuvre de ce modèle peut nécessiter, suivant le profil des acteurs, un changement radical dans la méthodologie de pensée et d'action.

Conclusion générale et perspectives

Dans cette ultime partie nous apporterons des conclusions à ce travail de recherche-action effectué au sein de la société Komori-Chambon et en partenariat avec le Laboratoire Conception de Produits et Innovation de l'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers de Paris. Nous évoquerons les apports d'une expérience très enrichissante aussi bien en terme de recherche que d'un point de vue industriel et personnel. Puis nous exposerons les perspectives que nous envisageons concernant le modèle de processus d'innovation technologique proposé dans la quatrième partie et notamment, la nécessité de l'expérimenter sur d'autres terrains que ceux de la conception de nouveaux procédés de fabrication.

5.1 Conclusions et apports

Cette recherche se positionne dans le cadre d'une convention CIFRE entre le laboratoire Conception de Produits et Innovation et une entreprise du domaine de la mécanique. Les apports de ce travail se situent donc aussi bien sur un plan scientifique que sur un plan industriel.

En ce qui concerne les apports de recherche, ce travail a contribué à formaliser une nouvelle approche de l'innovation technologique en PME. Nous avons montré, à travers ce document, que **la collaboration dans les projets innovants est une condition de réussite**, et que celle-ci passe, forcément, par **l'élaboration d'une démarche rigoureuse afin d'optimiser la communication et les échanges avec les partenaires**. Nous avons aussi mis en avant les difficultés des industriels à maîtriser leurs processus techniques lorsqu'ils innovent. Pour solutionner cette problématique, nous proposons de **formaliser les connaissances techniques transférées et créées pendant la conception**. En effet, la connaissance étant le fondement à toutes technologies, ce n'est que par la maîtrise des connaissances que l'on contrôlera mieux l'innovation. Par ce biais, nous avons démontré que **l'intégration et la pérennisation de l'innovation technologique impliquent la réalisation d'un saut technologique**. Ce dernier doit permettre la migration de l'ancienne vers la nouvelle technologie par l'assimilation d'un seuil minimum de connaissances (connaissances techniques liées au développement et à

l'industrialisation de la technologie). Ces résultats scientifiques ont contribué à la construction d'un modèle de processus d'innovation technologique destiné aux PME. Ce dernier aura pour vocation de supporter les responsables de projet dans leur démarche d'innovation. Cette recherche a donc apporté des éléments nouveaux :

- en terme de **prescriptions méthodologiques quant à la réalisation d'une innovation technologique en PME-PMI.** En effet, nous soutenons que le suivi d'une **démarche de collaboration rigoureuse** (menée en parallèle aux activités de conception) et **la réalisation d'un saut technologique** (intégration et pérennisation de la technologie dans l'entreprise) **sont les deux conditions nécessaires à la réussite d'un projet innovant**.

- en terme d'**élaboration d'outils** (Protocoles d'échanges, Carte et table des compétences, CdC Spécifiques…) **supports de la collaboration asynchrone au cours de projets innovants.** Ces outils permettent non seulement de **formaliser et d'optimiser les échanges entre partenaires** mais aussi de **créer des connaissances communes**, prépondérantes dans l'émergence d'une innovation technologique.

- en terme d'**identification et de formalisation de connaissances techniques nécessaires à la maîtrise d'une nouvelle technologie dans l'entreprise.** L'utilisation de l'AMDEC **Processus** pour **extraire les connaissances techniques influant sur la fiabilité du processus** et ainsi, en déduire le seuil minimum de connaissances nécessaires à la réalisation du saut technologique, est une voie originale.

- en terme de **modélisation du processus d'innovation en PME.** Nous proposons un modèle construit autour de **quatre processus interdépendants** faisant place à **la gestion de projet**, à **la conception**, à la **formalisation d'une démarche de collaboration** et à **l'intégration de la nouvelle technologie**. Il a pour vocation d'être **plus proche des problématiques de terrain que ne le sont d'autres modèles**.

Cette recherche aura donc permis d'enrichir les modèles existants de processus d'innovation, en mettant en exergue la nécessité de collaborer de manière rigoureuse et de réaliser le saut technologique par la maîtrise du seuil minimum de connaissances techniques. Cette démarche doit aider les chefs de projets innovants qui éprouvent des difficultés à maîtriser l'ensemble des éléments de leurs procédés industriels.

D'un point de vue industriel, j'ai contribué modestement à la finalisation d'un projet technique innovant de conception d'un système de rechargement laser de cylindres de découpe. Ce système est, aujourd'hui, **totalement intégré dans la nouvelle gamme de fabrication des outillages de découpe de type *Twin Knife*.** Nous avons fourni, à ce jour, pas moins de **20 jeux de cylindres rechargés laser** dont les plus anciens, ont été placés en production depuis plus d'un an. Certains ont donc déjà atteint un nombre de révolutions assez important (un peu plus de 10 millions de révolutions ce qui correspond à 2/3 de la durée de vie des anciens outillages) pour nous permettre d'être confiant concernant la durée de vie de ces nouveaux outils. Grâce à la réussite de cette innovation technologique, la société Komori-Chambon a atteint son objectif de **réduction des coûts de production de 30% en comparaison de l'ancienne gamme de fabrication**. **Les délais ont, quant à eux, été réduits de 20% et nous sommes capables, aujourd'hui, de livrer un outil en 12 semaines au lieu de 15 semaines.** Ces résultats sont inférieurs à ceux escomptés au début du projet, puisque l'objectif fixé était de réduire les délais de 40% (9 semaines). Pour atteindre cette valeur, il nous faudra affiner le processus de fabrication et, plus particulièrement, revoir les méthodologies de lancement de matière et de pièces sous-traitées. Toutefois, ce nouveau procédé de fabrication permet à l'entreprise de reconquérir, depuis quelques mois, des parts de marché dans un secteur où elle n'était plus compétitive (euro fort et gamme de fabrication trop lourde et trop coûteuse). **A la clôture de l'exercice 2005/2006, on relève une augmentation de plus de 50% du nombre d'outillages *TK* fabriqués et livrés, en comparaison de chacun des quatre exercices précédents.** Face au meilleur exercice depuis le début des années 2000 (l'exercice 2000/2001), l'augmentation n'atteint que 30%. **L'exercice 2006/2007, quant à lui, semble suivre la même trajectoire puisque plus d'un tiers des commandes de l'exercice précédent a déjà été réalisé en moins de trois mois.** Ce projet de recherche-action a aussi, et surtout, permis de réaliser un saut technologique qui contribuera à l'engagement d'améliorations continues de la technologie. Le futur est donc à l'ouverture de nouvelles parts de marché mais aussi à **l'adaptation de la nouvelle technologie à d'autres types d'outillages Komori-Chambon**.

Sur un plan personnel, cette thèse CIFRE m'a permis de développer de nouvelles connaissances et d'acquérir de nouvelles compétences dans un domaine qui m'était inconnu jusqu'alors : la conception de machines spéciales destinées à l'industrie de l'emballage carton et, plus particulièrement, les techniques de Découpage Rotatif. Les projets qui m'ont été

confiés m'ont permis de confronter certains points de vue avec de nombreux techniciens aussi bien au sein même de l'entreprise qu'à l'extérieur, ce qui a enrichi mon expérience professionnelle et personnelle. Le "Projet Laser" a aussi été le terrain de renforcement de mes connaissances en matériaux et m'a donné la possibilité de confronter certains concepts théoriques à la réalité. Enfin, ces trois années de recherche m'ont permis d'investiguer d'autres champs moins techniques, mais tout aussi passionnants : l'innovation, les méthodologies de conception, le management, la gestion de projet…. La participation à des colloques internationaux spécialisés dans le domaine du management des technologies, de la conception de produits ou encore du prototypage rapide, ont été très bénéfiques dans la confrontation de certaines idées et positions avec des spécialistes internationaux du domaine.

5.2 Perspectives

La première perspective que nous pouvons envisager sur le modèle proposé dans la quatrième partie, serait de le mettre en application par l'intermédiaire de porteurs de projets innovants en PME. En effet, il est nécessaire, pour prouver sa viabilité et le faire évoluer, de l'expérimenter sur :

- les mêmes terrains que celui sur lequel nous l'avons construit : la conception de nouveaux procédés de fabrication.
- de nouveaux terrains tels que la conception de produits techniques par exemple

D'autre part, nous pensons qu'un élément doit être rajouté lorsque le chef de projet n'est pas voué à rester dans l'entreprise. Il doit alors envisager de transférer les connaissances techniques, identifiées au cours du développement et durant l'industrialisation, vers les futurs utilisateurs de la nouvelle technologie. Le modèle devrait alors en rendre compte.

Enfin la migration de notre nouvelle technologie de fabrication, permet à la société Komori-Chambon d'envisager aujourd'hui des actions d'améliorations continues ou des adaptations à d'autres types d'outillages. Ainsi nous travaillons actuellement sur de nouvelles gammes de fabrication basées sur ce système de rechargement laser et prometteuses d'avenir.

Bibliographie

[ADOUANI et al. 03] ADOUANI N. et BOUGHZALA I., *Une grille d'analyse de l'appropriation des connaissances. Cas des projets E-learning et CRM*, Actes du 8ème Colloque Francophone de l'Association Information et Management (AIM) à Grenoble, du 21 au 23 mai 2003.

[AFAV 89] ASSOCITION FRANCAISE POUR L'ANALYSE DE LA VALEUR, *Exprimer le besoin – Application de la démarche fonctionnelle*, Edition AFNOR, 1989.

[AIDE 06] A L'AIDE.COM, Dictionnaire sur internet, visité en février 2006. (http://www.alaide.com/dico.php?q=Protocole)

[AOUSSAT 90] AOUSSAT A., *La pertinence en innovation : nécessité d'une approche plurielle*, Thèse de Doctorat en Génie Industriel, ENSAM Paris, 1990.

[APTE 03] APPLICATION DES TECHNIQUES D'ENTREPRISE, *La méthode APTE d'Analyse Fonctionnelle et Analyse de la Valeur*, Site Internet, visité en juillet 2003. (http://www.methode-apte.com/methode_apte.html)

[ANTIDE 97] ANTIDE, *Cultiver le développement industriel*, Editions Territoires et Développement, 1997.

[ARASTI et al. 97] ARASTI REZA M. et VERNET M., *Mécanisme d'Elaboration de stratégies technologiques cohérentes avec la stratégie globale d'entreprise*, Actes du 2nd Congres International Franco-Québecois à Albi, septembre 1997.

[AVRIL 03] AVRIL L., *Elaboration de revêtements sur acier inoxydable. Simulation de la fusion par irradiation laser. Caractérisation structurale, Mécanique et tribologique,* Thèse de Doctorat en Science des Matériaux et Génie des Procédés, ENSAM d'Angers, 2003.

[BEISSIERE 92] BEISSIERE B., *La conception de produits nouveaux en PME*, Thèses de Doctorat en Génie Industriel, ENSAM Paris, 1992.

[BERNARD et al. 98] BERNARD A. et TAILLANDIER G., *Le Prototypage rapide*, Edition Hermès, 1998.

[BISEAU et al. 03] BISEAU G., DE FILIPPIS V. et LOSSON C., *Trichet aux manettes d'un euro trop fort*, Extrait d'un article du quotidien Libération, 1er novembre 2003. (http://www.france-mail-forum.de/fmf32/pol/32biseau.htm)

[BLANCO 98] BLANCO E., *L'émergence du produit dans la conception distribuée - vers de nouveaux modes de rationalisation dans la conception de systèmes mécaniques*, Thèse en génie industriel, INPG, 1998.

[BOCQUET 98] BOCQUET J.C., *Ingénierie Simultanée, Conception Intégrée*, In Conception de produits mécaniques. Méthodes, modèles et outils, Edition Hermès, pp 29-52, 1998.

[BOCQUET 00] BOCQUET F., *Travail Collaboratif... de quoi parle-t-on ? Typologies et usages des outils de bases*, Présentation du Séminaire sur les Technologies de l'Information et de la Communication dans les Enseignements d'ingénieurs et dans l'industrie (TICE) à Nantes, le 6 avril 2000.

[BODDU et al. 01] BODDU R.M., LANDERS R. et LIOU F., *Control of laser cladding for rapid prototyping – A review*, Actes du 12ème Congrès annuel de *Solid Freeform Fabrication* à Austin, pp460-467, du 6 au 8 août 2001.

[BOLY 04] BOLY V., *L'ingénierie de l'innovation – Organisation et méthodologies des entreprises innovantes*, Editions Hermès Science, 2004.

[BONVIN 02] BONVIN J., *Transfert de technologie du public au privé : apprenons (enfin) à modéliser*, Article paru dans le quotidien suisse Le Temps, le 14 janvier 2002. (http://www.taverniertschanz.com/index.php?page=Bonvin)

[BOOZ et al. 68] BOOZ , ALLEN et HAMILTON, *Management of New Products*, Booz, Allen and Hamilton Inc., Chicago, 1968.

[BOUCHARD et al. 99] BOUCHARD C., CHRISTOPHOL H. et ROUSSEL B., *Anticipation and integration of trends in design and engineering design*, Actes de la 12ème

Conférence Internationale d'Ingénierie en Conception (ICED) à Munich, du 24 au 26 août 1999.

[BOURDICHON 94] BOURDICHON P., *L'ingénierie simultanée et la gestion d'informations*, Editions Hermès, 1994.

[BOURGEON 01] BOURGEON L., *Nouveaux produits, temps et apprentissage organisationnel*, Revue Française de Gestion, p 103-111, janvier - février 2001.

[BRISSAUD et al. 98] BRISSAUD D. et GARRO O., *Conception Distribuée, émergence*, In Conception de Produits Mécaniques. Méthodes, modèles et outils, Editions Hermès, pp 105-114, 1998.

[BTR 00] GROUPE FORETZ ET ASSOCIES INC., *L'innovation : un rien peut changer le mond*e, Bulletin Technique, Edité par Renault, Volume n°87, pp34-36, décembre 2000.

[CADIX et al. 02] CADIX A. et POINTET J.M., *Le management à l'épreuve des changements technologiques : Impacts sur la société et les organisations*, Editions d'Organisation, 2002.

[CALLEJA 96] CALLEJA I., *Processus de transfert de technologie en PE : dynamique de logique résiliaire*, Actes du 3ème Congrès International Francophone sur la PME (AIREPME) à Trois-Rivières, octobre 1996.

[CASTAGNE 87] CASTAGNE M., *Le génie des Systèmes Industriels en France, Développement et perspectives*, Les cahiers du CEFI, 1987.

[CAZAUBON 97] CAZAUBON C., *Management de projet technique : Méthodes et outils*, Editions Ellipses, 1997.

[CLARK et al. 91] CLARK K.B. et FUJIMOTO T., *Product Development Performance - Strategy, Organization and Management in the World Auto Industry*, Harvard Business School Press, 1991.

[CHAMBON et al. 00] CHAMBON M. et PEROUZE H., *Conduire un projet dans les services*, Editions Chroniques Sociales, 3ème édition, 2000.

[CHANAL 95] CHANAL V., *Le management de l'innovation de produits industriels : Mise en œuvre d'une démarche de diagnostic pour améliorer notre compréhension du processus*, Thèse de Doctorat en Science de Gestion, Ecole Supérieure des Affaires de Grenoble, 1995.

[CHARPIN 97] CHARPIN F., *De la technologie*, Groupe Interuniversitaire de Recherche en Sciences de l'Information et de la Communication, In revue SOLARIS, volume n°4, décembre 1997.

[COOPER 83] COOPER R., *A process model for industrial new product management*, IEEE Transactions on Engineering Management, vol. EM-30, n°1, pp 02-11, 1983.

[COUTU 03] COUTU M., *Modèle pour l'élaboration d'une stratégie globale d'entreprise*, Direction du développement des entreprises et des affaires, Développement Economique et Régionale du Québec, 2003.

[CSTQ 02] CONSEIL DE LA SCIENCE ET DE LA TECHNOLOGIE DU QUEBEC, *La science et la technologie favorisent l'innovation*, Gouvernement du Québec, 2002.

[DANDLIKER 96] DANDLIKER R., *Les lasers, principe et fonctionnement*, Nouvelle édition revue et augmentée, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1996.

[DE FOUCHECOUR 04] DE FOUCHECOUR M., *Management des connaissances pour l'innovation*, In L'innovation à l'ère des réseaux, Editions Hermès, Chapitre 8, pp169-196, 2004.

[DEGRANGE 92] DEGRANGE M., *Pratique, Théorie et Technique de créativité*, Publication scientifiques et techniques de l'ENSAM, 1992.

[DELPORTE et al. 99] DELPORTE S. et CURINCKX L., *Les lasers de découpe*, Site Internet, janvier 1999. (http://perso.wanadoo.fr/delporte/travaux/decoupe.htm)

[DENIS 03] DENIS M., *Cognition humaine*, Exemples d'Activités de Recherche du groupe, Laboratoire d'Informatique pour la Mécanique et les Sciences de l'Ingénieur, 2003. (http://www.limsi.fr/RS2002FF/CHM2002FF/CH2002FF)

[DIARD 04] DIARD J.L., *Il faut deux à trois ans pour lancer une véritable innovation*, Interview dans le dossier innovation de la rubrique Management, Journal du Net, juin 2004. (http://management.journaldunet.com/dossiers/040640innovation/diard.shtml)

[DIGITIP 00] DIRECTION GENERALE DE L'INDUSTRIE DES TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION ET DES POSTES, *Technologies clés 2005*, Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie, octobre 2000.

[DUBOIS 99] DUBOIS P., *Formalisation d'une démarche pour la conception d'un processus de prototypage rapide*, Thèse de Doctorat en Génie Industriel, ENSAM Paris, 1999.

[DUBOIS et al. 00] DUBOIS P. et PLOMMET S., *Analyse de la valeur – Analyse Fonctionnelle*, Polycopié de cours de DEA Conception de Produit et Innovation, ENSAM Paris, 2000.

[DUKAN 04] DUKAN L., *Psychologie de l'innovation et facteurs de changement*, L'innovation à l'ère des réseaux, Editions Hermès, Chapitre 15, 2004.

[EARL 05] EARL M.J., *Toutes les entreprises font de l'information*, In L'art du management de l'information, Article paru dans le quotidien Les Echos, site visité en septembre 2005. (http://www.lesechos.fr/formations/manag_info/articles/articles_1_5.htm)

[ERMINE 96] ERMINE J.L., *Les systèmes de connaissances*, Edition Hermès Science, 1996.

[FAUCHER 04] FAUCHER J., *Pratique de l'AMDEC – Assurez la qualité et la sûreté de fonctionnement de vos produits*, équipements et procédés, Série Performance Industrielle, Editions Dunod, 2004.

[FOSTER 86] FOSTER R., *L'innovation, avantage à l'attaquant*, Edition Interéditions, 1986.

[FREEMAN 79] FREEMAN C., *The Economics of Industrial Innovation*, Frances Pinter 2nde édition, 1979.

[FROCHOT 03] FROCHOT D., *Document, Donnée, Information, Connaissance, Savoir*, Les documents du Défidoc, 2003. (http://www.defidoc.com)

[GABRIEL 05] GABRIEL M., *La méthode AMDEC*, In AMDEC, Chapitre 2, Université Henri Poincaré de Nancy, Editions Médiatice, site visité en juillet 2005. (http://www.cyber.uhp-nancy.fr/demos/ MAIN-003/chap_deux/cours_2_1.html)

[GARCIA et al. 02] GARCIA R. et CALANTONE R., *A critical look at technological innovation typology and inovativeness terminology : a literature review*, In Journal of Product Innovation Management, Volume 19, pp110-132, 2002.

[GARDONI 99] GARDONI M., *Maîtrise de l'information non structurée et capitalisation de savoir et savoir-faire en ingénierie intégrée*, Thèse de doctorat en Génie Industriel, Université de Metz, 1999.

[GAREL et al. 98] GAREL G. et KESSELER A., *New Car Development Projects and Supplier Partnership, in Projects as Arenas for Renewal and Learning Processes*, Lundin R. A. & Midler C. édition, 1998.

[GEST 86] GROUPE ETUDE DES STRATEGIES TECHNOLOGIQUES, *Grappes technologiques, les nouvelles stratégies d'entreprise*, Ouvrage collectif du Groupe Etude des Stratégies Technologiques, Editions Mac Graw Hill, 1986.

[GIARD 91] GIARD V., *Gestion de projets*, Editions Economica, 1991.

[GONARD et al. 97] GONARD T. et LOUAZEL M., *Comprendre les processus d'innovation technique à l'aide du concept de réseau : un programme de recherche*, Actes de la 2nde Conférence de l'Association Internationale du Management Stratégique (AIMS) à Montréal, août 1997. (http://www.strategie-aims.com)

[GUELLEC 99] GUELLEC D., *Economie de l'innovation*, Editions de la Découverte, 1999.

[GRUNDSTEIN 98] GRUNDSTEIN M., *La capitalisation des connaissances de l'entreprise, système de production de connaissances*, L'entreprise apprenante et les sciences de la complexité, 1998. (http://www.multimania.com/veille/connaissances.htm)

[HENDRICKX 95] HENDRICKX C., *Transfert de technologie inter-firmes : Un renouvellement par l'analyse de la diffusion et de la création de technologie*, Thèse de Doctorat en Sciences Economiques, Université de Nice Sophia-Antipolis, 1995.

[IANSITI 98] IANSITI M., *Technological integration: Making critical choices in a turbulent world*, Harvard Business School Press, 1998.

[IHLENFELD 05] IHLENFELD J., *L'innovation chez 3M*, Les Rendez-vous de la technologie, Renault Communication, 25 octobre 2005.

[JACQUESON 02] JACQUESON L., *Intégration de l'environnement en entreprise : Proposition d'un outil de pilotage du processus de création de connaissances environnementales*, Thèse de Doctorat en Génie Industriel, ENSAM Paris, 2002.

[JDM 05] JOURNAL DU MANAGEMENT, *Le retour en grâce de l'innovation*, Dossier Innovation, mars 2005.(http://management.journaldunet.com/0503/050374innovascope.shtml)

[KANTER 83] KANTER R.M., *The Change Masters: Innovation for Productivity in the American Corporation*, Edition Basic Books, 1983.

[KLINE et al. 86] KLINE S. J. et ROSENBERG N., *An Overview of Innovation*, *in The Positive Sum Strategy*, Editions Landau R. et N. Rosenberg, National Academy Press, pp 275-305, 1986.

[KNIGHT 67] KNIGHT K., *A descriptive model of the intra-firm innovation process*, *Journal of Business* de l'Université de Chicago, Volume n°40, pp 478-496, octobre 1967.

[KOMORI 04] KOMORI CORPORATION, *Annual Report 2004*, Edité par Komori Corporation, aout 2004. (http://www.komori.com)

[LAIGLE 95] LAIGLE L., *De la sous-traitance classique au co-développement*, Actes de la 14ème Conférence du Groupe d'Etude et de Recherche Permanent sur l'Industrie et les Salariés de l'Automobile (GERPISA) à Evry, pp 23-40, mai 1995.

[LAURENT 05] LAURENT J.M., *Knowledge Management, support de l'innovation, stratégies des PME-PMI*, Méthode OCSIMA, Conseil en Gestion des connaissances, site visité en septembre 2005. (http://ocsima.neuf.fr/innovation.htm)

[LEGARDEUR 01] LEGARDEUR J., *Méthodes et outils pour l'innovation produit/process. Le cas de l'intégration des matériaux composites SMC*, Thèse de Doctorat en Mécanique et Energétique, INPG, 2001.

[LE GOFF 94] LE GOFF J.L., *L'appropriation collective des connaissances techniques*, In La coopération technologie internationale : les transferts de technologies, Editions DeBoeck Université, Chapitre 15, 1994.

[LE MOIGNE 90] LE MOIGNE J.L., *La modélisation des systèmes complexes*, AFCET Systèmes, Editions Dunod, 1990.

[LITTLE 99] LITTLE A.D., *The Innovation Premium : Creating It, Sustaining It, Leveraging It for Growth*, Prism Leading-Edge Thinking on Innovation, Arthur D. Little Publications, Third Quarter, 1999.

[LONCHAMPT 04] LONCHAMPT P., *Co-évolution et processus de conception intégrée de produit : Modèle et support de l'activité de conception*, Thèse de Doctorat en Génie Industriel, INPG, 2004.

[LORINO 95] LORINO P., *Le déploiement de la valeur par les processus*, Revue française de Gestion, Volume 104, pp55-71, juin – juillet - aôut 1995.

[LUONG 05] LUONG L., *Conception de Moyens d'Expérimentation, Approche de cohérence en Coût - Performance*, Thèse de Doctorat en Génie Industriel, ENSAM Paris, 2005.

[MABILE 02] MABILE M., *La maîtrise de l'innovation technologique - Jouer gagnant malgré l'incertain*, Edition Dunod, 2002.

[MABIRE 95] MABIRE P., *L'analyse de la valeur dans le transfert de technologie : Application au développement d'un système de maintenance de réseaux d'assainissement*, Thèse de Doctorat en Génie Industriel, ENSAM Paris, 1995.

[MACK 95] MACK M., *L'organisation apprenante comme système de transformation de la connaissance en valeur*, Revue française de gestion, pp43-48, septembre – octobre 1995.

[MADERS et al. 02] MADERS H-P., LE GALLAIS C. et GAUTHIER E., *Conduire un projet d'organisation : Guide méthodologique*, Editions d'organisation, 2002.

[MALLET 04] MALLET C., *L'appropriation d'une TIC par des utilisateurs, un nouveau paramètre pour la gestion de projet*, Actes des 2èmes Doctoriales du Groupement de

Recherche des Technologies de l'Information et de la Communication et Société, ENPC Paris, 28 et 29 janvier 2004.

[MANZANO 97] MANZANO R., *Modéliser pour prescrire : Approche systémique des systèmes de production*, Thèse de Doctorat en Génie Industriel, ENSAM Paris, 1997.

[MARQUIS et al. 69] MARQUIS D. et MEYERS S., *Successful industrial innovations*, National Science Foundation, U.S. Government Printing Office, 1969.

[MERCIER 98] MERCIER S., *L'innovation en PME : Prise en compte de la dimension structurelle et structurante des projets*, Thèse de Doctorat en Génie Industriel, ENSAM Paris, 1998.

[MIDLER 93] MIDLER C., *L'auto qui n'existait pas*, Edition Interédition, 1993.

[MILLET 01] MILLET D., *Management du processus d'innovation*, Polycopié de cours de DEA Conception de Produit Nouveaux et Innovation, ENSAM Paris, 2001.

[MINEL 03] MINEL S., *Démarche de conception collaborative et proposition d'outils de transfert de données métier : Application à un produit métier "le siège d'automobile"*, Thèse de Doctorat en Génie Industriel, ENSAM Paris, 2003.

[MORIN 92] MORIN J., *Des technologies, des marchés et des hommes – Pratiques et perspectives du management des ressources technologiques*, Editions d'Organisation, Paris, 1992.

[MOWERY et al. 79] MOWERY D. et ROSENBERG N., *The influence of market demand upon innovation : a critical review of some recent empirical studies*, Research Policy, vol n°8, pp103-153, 1979.

[NEAU 03] NEAU E., *L'innovation et l'information stratégique*, Site internet visité en décembre 2003. (http://erwan.neau.free.fr/innovation.htm)

[NF-X-50-100] NF-X-50-100, *Analyse Fonctionnelle – Caractéristiques fondamentales*, Normes AFNOR.

[NF-X-50-151] NF-X-50-151, *Analyse de la valeur, Analyse Fonctionnelle – Expression fonctionnelle du besoin et cahier des charges fonctionnel*, Normes AFNOR.

[NF-X-50-152] NF-X-50-152, *Analyse de la Valeur – Caractéristiques fondamentales*, Normes AFNOR.

[NIELSEN 00] NIELSEN A.P., *Capturing Knowledge within a competence*, Actes de la 9ème Conférence Internationale sur le Management des Technologies (IAMOT) à Miami, du 20 au 25 février 2000.

[NONAKA et al. 95] NONAKA I. et TAKEUCHI H., *The Knowledge Creating Company : How Japanese companies create the dynasties of innovation*, Oxford University Press, 1995.

[OCDE 97] ORGANISATION DES COOPERATION ET DES DEVELOPPEMENTS ECONOMIQUES, *Manuel d'Oslo – La mesure des activités scientifiques et technologiques, Principes directeurs proposés pour le recueil et l'interprétation des données sur l'innovation technologique*, Commission Européenne, 1997.

[PAHL et al. 84] PAHL G. et BEITZ W., *Engineering Design : A Systematic Approach*, Springler Verlag Edition, 1984.

[PALLOT 04] PALLOT M., *Communautés concourantes pour une innovation durable*, L'innovation à l'ère des réseaux, Edition Hermès Science, Chapitre 3, 2004.

[PARSAEI et al. 93] PARSAEI H.R. et SULLIVAN W.G., *Principles of concurrent engineering*, Concurrent engineering contemporary issues and modern design tools, Edition Chapman & Hall, 1993.

[PERRIN 01] PERRIN J., *Concevoir l'innovation industrielle: Méthodologie de conception de l'innovation*, Edition du Centre National de la Recherche Scientifique, 2001.

[PERROTIN et al. 02] PERROTIN R. et LOUBERE J.M., *Stratégie d'achat : sous-traitance, coopération, partenariat*, Editions d'Organisation, 2002.

[POLANYI 83] POLANYI M., *The Tacit Dimension*, Peter Smith réédition, Library of Congress, 1983.

[PORTER 86] PORTER M., *L'avantage concurrentiel*, Edition Interédition, 1986.

[POVEDA 01] POVEDA O., *Pilotage technique des projets d'ingénierie simultanée, modélisation des processus, analyse et instrumentation*, Thèse de Doctorat en Génie Mécanique, INPG, 2001.

[PROULX 01] PROULX S., *Les formes d'appropriation d'une culture numérique comme enjeu d'une société du savoir*, Actes du colloque COREVI organisé par le Groupe de Recherche sur les Multimédias, Gouvernance et usages d'internet : vers un nouvel environnement normatif, Montréal, 10 décembre 2001.

[PRUDHOMME 99] PRUDHOMME G., *Le processus de conception de systèmes mécaniques et son enseignement – La transposition didactique comme outil d'une analyse épistémologique*, Thèse de Doctorat en Génie Mécanique, Université Joseph Fourier de Grenoble, 1999.

[RHEAUME 97] RHEAUME J., *L'information de la communication*, In La courbe d'apprentissage, Facultés de Sciences de l'Education Canadienne de Laval, Chapitre 8, 1997. (http://www.fse.ulaval.ca/mediatic/courbe/cou8.htm)

[RIBAULT et al. 91] RIBAULT J.M., MARTINET B. et LEBIDOIS D., *Le management des technologies*, Les Editions d'Organisations, 1991.

[RIDOUX 02] RIDOUX M., *AMDEC - Moyen*, Editions Techniques de l'Ingénieur, AG 4220 – 2, 2002.

[ROCHE et al. 99] ROCHE L. et GRANGE T., *Innovation et technologie – Créativité, imagination et culture technique*, Edition Laurent du Mesnil, Collection Maxima, 1999.

[ROCHFORD et al. 92] ROCHFORD L. et RUDELIUS W., *How involving more functional areas within a firm affects the new product process*, In Journal of Product Innovation Management, Volume 9, n°3, pp 287-299, 1992.

[ROOZENBURG et al. 95] ROOZENBURG N.F. et EECKELS J., *Product Design: Fundamentals and Methods*, Edition John Wiley & Sons, 1995.

[ROUACH et al. 93] ROUACH D. et KLATZMANN J., *Les transferts de technologies*, Collection Que sais je ?, Editions Presse Universitaire de France, 1993.

[ROUCOULES 99] ROUCOULES L., *Méthodes et connaissances : contribution au développement d'un environnement de conception intégrée*, Thèse de Doctorat en Génie Mécanique, INPG, 1999.

[ROULET et al. 02] ROULET N. et DUBOIS P., *Evolutions dans le domaine de la fabrication rapide de pièces métalliques : de nouvelles voies d'investigation*, Actes du 9ème Colloque CONFERE à Nancy, pp 309-318, les 4 et 5 juillet 2002.

[ROULET et al. 03] ROULET N., DUBOIS P. et AOUSSAT A., *La technologie laser : démarche d'intégration au sein d'un processus de fabrication d'une PME*, Actes du 3ème Colloque International de Conception et Production Intégrées (CPI) à Meknès, Article n°75, du 22 au 24 octobre 2003.

[SAMIER 95] SAMIER H., *Contribution de la veille technologique à la conception de produits*, Thèse de Doctorat en Génie Industriel, ENSAM Paris, 1995.

[SAMIER 04] SAMIER N., *Evaluation des compétences-clés pour l'innovation : l'approche par les tableaux de bord de pilotage*, In L'innovation à l'ère des réseaux, Editions Hermès, Chapitre 16, pp 306-320, 2004.

[SARDAS et al. 02] SARDAS J.C., ERSCHLER J. et DE TERSSAC G., *Coopération et organisation de l'action collective*, In Coopération et connaissance dans les systèmes industriels : une approche interdisciplinaire, Editions Hermès Science, pp 69-90, 2002.

[SCHERER et al. 03] SHERER M., LE TOULLEC M. et GUEZEL J.C., *Le laser se surpasse*, Article paru dans Industrie et Technologies, Volume n°848, pp 46-60, mai 2003.

[SCHNEIDER 98] SCHNEIDER M., *Laser cladding with powder – Effect of some machining parameters on clad properties*, Thèse de Doctorat, Université de Twente en Hollande, 1998.

[SCHUMPETER 39] SCHUMPETER J.A., *Business cycles , a theorical, historical, and statistical analysis of the capitalist process*, Edition Mac Graw Hill, 1939.

[SEGRESTIN 03] SEGRESTIN B., *La gestion des partenariats d'exploration : spécificités, crises et formes de rationalisation*, Thèse de Doctorat en Sciences de Gestion, Ecole des Mines de Paris, 2003.

[SESSI 99] DIGITIP, *L'état des PMI : édition 1999*, Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie, SESSI, 1999.

[SESSI 02] DIGITIP, *L'innovation technologique dans l'industrie*, Le 4 Pages des statistiques industrielles, Ministère de l'Economie des Finances et de l'Industrie, SESSI, décembre 2002.

[STRATEGOR 97] STATEGOR, *Stratégie, Structure, Décision, Identité : Politique Générale d'entreprise*, Ouvrage collectif des membres du Département Stratégie et Politique d'Entreprise, Edition Dunod, 1997.

[SUH 90] SUH N.P, *The principles of Design*, Oxford University Press, 1990.

[TARONDEAU 98] TARONDEAU J.C, *Le management des savoirs*, Colleciton Que sais je ?, Edition Presses Universitaires de France, 1998.

[TASSINARI 97] TASSINARI R., *Pratique de l'Analyse Fonctionnelle*, Seconde édition, Edition DUNOD, 1997.

[TEURPIN 01] TEURPIN, *Transfert Européen de technologie, Guide des règles de l'art*, 2001.

[THOUVENIN 02] THOUVENIN E., *Modélisation des processus de conception de produits et développement de la capacité d'innovation : application au cas des PME-PMI*, Thèse de Doctorat en Génie Industriel, ENSAM Paris, 2002.

[TICHKIEWITCH et al. 93] TICHKIEWITCH S., TIGER H. et JEANTET A., *Ingénierie Simultanée en conception de produits*, Université d'été du pôle productique Rhône Alpes à Aussois, 1993.

[ULRICH et al. 00] ULRICH K.T. et EPPINGER S.D., *Product design and development*, Seconde édition, Edition Mac Graw Hill, 2000.

[UTTERBACK et al. 75] UTTERBACK J. et ABERNATHY W., *A dynamic model of process and product innovation*, OMEGA The International Journal of Management Science, vol.3, n°6, pp639-656, 1975.

[VERDOUX 03] VERDOUX V., *Problématique du transfert de connaissances : Application au cas de l'externalisation de la conception d'un produit innovant en PME*, Mémoire de DEA Conception de Produits et Innovation, ENSAM Paris, 2003.

[VIGIER 92] VIGIER M.G., *La pratique du QFD (Quality Fonction Deployment)*, Editions d'Organisation, 1992.

Annexes

Annexe 1 : Modélisation de la démarche de conception des outillages

Annexe 2 : Exemples de trois des gammes de fabrication

Annexe 3 : Analyse Fonctionnelle Externe du procédé de rechargement laser

Annexe 4 : Modélisations SADT du processus de conception et de fabrication d'outillages de découpe (actuel et futur)

Annexe 5 : Protocole d'échanges entre le service Découpage Rotatif de Komori-Chambon et l'Expert Laser en Traitement de Surface

Annexe 6 : Première version du cahier des charges spécifique

Annexe 7 : Exemple d'automatisme sur l'utilisation du cahier des charges

Annexe 8 : Version finale du cahier des charges spécifique des opérations laser sur cylindres

Annexe 9 : Schéma des trajectoires et paramètres de dépôt et représentation des congés dans les changements de direction

Annexe 10 : Extrait du rapport d'essais

Annexe 11 : Extrait de la table de référence

Annexe 12 : Extrait de la base de "connaissances projet" et critères de choix techniques

Annexe 13 : Connaissances techniques issues du développement du procédé et identifiées comme nécessaires à la réalisation du saut technologique

Annexe 14 : Tableau des spécificités techniques et photos des dix boîtes choisies pour les outillages prototypes

Annexe 15 : Identification des causes et effets des défaillances

Annexe 16 : Tableau AMDEC rempli par un des membres du groupe pour l'évaluation de la criticité des modes de défaillance

Annexe 17 : Modes de défaillance et "connaissances de fiabilité"

Modélisation du processus d'innovation technologique en PME-PMI : Application à la conception d'une nouvelle technologie de fabrication basée sur la technique laser

RESUME : Aujourd'hui face à une concurrence internationale de plus en plus vive, les petites et moyennes entreprises françaises se doivent d'optimiser leur triptyque "Coût/Qualité/Délais" en développant de nouvelles technologies de fabrication. Il est vrai que pour répondre à des marchés de plus en plus complexes et à une compétitivité de plus en plus intense, l'innovation technologique devient un critère stratégique pour une grande majorité des sociétés françaises. Cependant innover technologiquement n'est pas quelque chose de simple ni d'innée. C'est un processus qui fait appel à la pluridisciplinarité et plus particulièrement à la réunion de diverses compétences techniques complémentaires. Ceci incite les sociétés à innover en partenariat avec des centres de recherche et des sociétés expertes. Mais pour assurer la pérennité de leur entreprise et de leur futur processus de fabrication, les industriels se doivent d'être capable de maîtriser leurs innovations au terme de leur "co-développement". Face à ces situations qui ne facilitent pas la réussite d'une innovation technologique, nous avançons deux hypothèses : la conception d'une démarche de collaboration dès les phases amont du projet innovant et la réalisation d'un saut technologique par la définition d'un seuil minimum de connaissances techniques à maîtriser. Nous avons expérimenté ces propositions dans le cadre d'un projet de conception d'un procédé de rechargement laser de cylindres de découpe. Le résultat de cette recherche nous a permis de proposer un modèle de processus d'innovation technologique pouvant servir de support aux responsables de projet en PME.

Mots-clés : Innovation, PME, collaboration, connaissances techniques, technique laser, saut technologique.

Modelling of the technological innovation process within SME: Application to the design of a new manufacturing technology based on the laser technique

ABSTRACT : Today faced with an increasingly keen international competition, small and medium-sized French companies must optimize their "Cost/Quality/Time" triptych by developing new manufacturing technologies. It is true that in order to answer complex markets and heavy competitiveness, the technological innovation becomes a strategic criterion for a majority of the French companies. However innovating technologically is not something simple and innate. It's a process which calls upon the multidisciplinarity – i.e. the meeting of various complementary technical skills. This encourages firms to innovate in partnership with research centers and expert companies. But to ensure the perenniality of their activities and their future manufacturing process, the industrialists must be able to control their innovation at the end of the "co-development". Faced with these situations which do not facilitate the success of technological innovations, we advance two hypothesies : the design of a collaboration process from the upstream phases of the innovating project and the achievement of a technological gap by the definition of a minimum threshold of technical knowledge to control. We experimented these proposals within a project of designing a cladding laser process for rotary cutting dies. The result of this research enabled us to propose a technological innovation process model which can be used as a support to the persons in charge of innovating project within SME.

Keywords : Innovation, SME, collaboration, technical knowledge, laser technique, technological gap.

ENSAM
Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers