



HAL
open science

Propositions de modèles et méthodes pour l'aide à l'évaluation des performances d'une innovation dès sa conception

Frédéric Tomala

► To cite this version:

Frédéric Tomala. Propositions de modèles et méthodes pour l'aide à l'évaluation des performances d'une innovation dès sa conception. Automatique / Robotique. Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, 2002. Français. NNT : 2002VALE0022 . tel-03442323

HAL Id: tel-03442323

<https://uphf.hal.science/tel-03442323v1>

Submitted on 23 Nov 2021

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.

2002 VAE 00 22



UMR CNRS 8530



Numéro d'ordre : 02-27

THESE

présentée à
L'UNIVERSITE DE VALENCIENNES ET DU HAINAUT CAMBRESIS

en vue de l'obtention du titre de

DOCTEUR de l'Université de Valenciennes

Spécialité Automatique des Systèmes Industriels et Humains

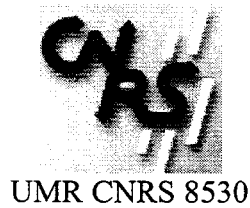
par
Frédéric TOMALA

Maître ès Automatismes Industriel CNAM

**PROPOSITION DE MODELES ET METHODES POUR L'AIDE A
L'EVALUATION DES PERFORMANCES D'UNE INNOVATION DES SA
CONCEPTION**

Soutenue le 18 octobre devant la commission d'examen :

J.P.BOURRIERES	Rapporteur	Professeur de l'Université Bordeaux 1
A.EL MHAMEDI	Rapporteur	Professeur de l'Université Paris 8
P.LUTZ	Examineur	Professeur de l'Université de Franche Comté
M.BIGAND	Examineur	Maître de Conférence à l'École Centrale de Lille
C.TAHON	Directeur de thèse	Professeur de l'Université de Valenciennes
O.SENECHAL	Co-directeur de thèse	Maître de Conférence de l'Université de Valenciennes
G.SEGARRA	Invité	Société Renault



Numéro d'ordre : 02-27

THESE

présentée à
L'UNIVERSITÉ DE VALENCIENNES ET DU HAINAUT CAMBRESIS

en vue de l'obtention du titre de

DOCTEUR de l'Université de Valenciennes

Spécialité Automatique des Systèmes Industriels et Humains

par
Frédéric TOMALA

Maître ès Automatismes Industrielles CNAM

**PROPOSITION DE MODÈLES ET MÉTHODES POUR L'AIDE A
L'ÉVALUATION DES PERFORMANCES D'UNE INNOVATION DÈS SA
CONCEPTION**

Soutenue le 18 octobre devant la commission d'examen :

J.P.BOURRIERES	Rapporteur	Professeur de l'Université Bordeaux 1
A.EL MHAMEDI	Rapporteur	Professeur de l'Université Paris 8
P.LUTZ	Examineur	Professeur de l'Université de Franche Comté
M.BIGAND	Examineur	Maître de Conférence à l'École Centrale de Lille
C.TAHON	Directeur de thèse	Professeur de l'Université de Valenciennes
O.SENECHAL	Co-directeur de thèse	Maître de Conférence de l'Université de Valenciennes
G.SEGARRA	Invité	Société Renault

A ma famille

Remerciements

Les travaux présentés dans ce mémoire ont été réalisés au sein de l'Équipe Systèmes de Production du Laboratoire d'Automatique et de Mécanique Industrielles et Humaines de l'Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis. Je remercie vivement le Professeur Christian TAHON directeur de cette thèse de m'avoir accueilli au sein de son équipe, du soutien qu'il m'a apporté tout au long de ces années et de m'avoir guidé et conseillé dans mes recherches.

Je remercie également les professeurs Jean Paul BOURRIERES, de l'Université Bordeaux 1, et Abderrahman EL MHAMEDI, de l'Université Paris 8, d'avoir accepté d'être les rapporteurs de ce travail.

J'exprime toute ma gratitude à Philippe LUTZ de l'université de Franche Comté et à Michel BIGAND de l'école centrale de Lille pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Que Gérard SEGARRA, responsable du service d'informatique de la société RENAULT, trouve ici l'expression de ma gratitude pour m'avoir proposé un contexte d'application et de validation de mes propositions.

Je ne peux également que vivement remercier Olivier Sénéchal, Maître de Conférence au LAMIH, pour avoir su écouter et répondre à mes innombrables questions, et pour son aide précieuse durant ces années.

Je remercie également les membres de l'équipe Systèmes de Production en particulier et les membres du LAMIH en général. En vrac : Stéphanie, Philippe, Pascal, Damien, Marc, Yann, Max, Nathalie, Salah, Dante, Philémon, et les autres.

Pour terminer, je ne peux oublier d'exprimer ma reconnaissance envers mon épouse, mes parents, ma grand-mère, mon frère et tout le reste de la famille, sans oublier les amis, pour leur présence à mes côtés et pour leurs encouragements.

Références personnelles

Thèse

Proposition de modèles et méthodes pour l'aide à l'évaluation des performances d'une innovation dès sa conception.

Revues

- Tomala F., Gartiser N., *Les contraintes de la créativité industrielle : le difficile passage à l'innovation*, en soumission dans la revue IJODIR (International Journal Of Design and Innovation Research) 2002.
- Tomala F., Sénéchal O., *Innovation Management : academic and industrial point of view*, accepté dans la revue IJPM (International Journal of Project Management), Elsevier Science, 2002.
- Tomala F., Sénéchal O., *Modèles de produits et de processus pour l'analyse de l'impact de l'introduction d'une innovation dans un produit existant*, revue JESA (Journal Européen des Systèmes Automatisés), Hermès, Paris, Volume 36 n°2/ 2002.
- Tomala F., Sénéchal O., *Méthode d'Analyse des Effets de l'Introduction d'une Innovation*, revue RFGI (Revue Française de Gestion Industrielle), volume 21, juin 2002.

Conférences avec comité de lecture

- Tomala F., Sénéchal O., *Évaluation de performance a priori d'une innovation*, JDA2001 25 au 27 septembre 2001, Toulouse, France.
- Tomala F., Sénéchal O., Tahon C., *Modèle de processus d'innovation*, MOSIM2001 du 25 au 27 avril 2001, Troyes, France.
- Tomala F., Sénéchal O., Tahon C., *Proposition d'application de méthodes d'analyse de données pour le management de la qualité en conception de produit*, Qualita2001 du 18 au 20 mars, 2001 Annecy, France.
- Tomala F., Sénéchal O., Tahon C., *Study of the innovation performance evaluation*, Conference ASI 2000 : Advanced Summer Institute, Life-Cycle Approaches to Production Systems Management, Control, Supervision 18th - 20th, 2000 Bordeaux, France.
- Deneux D., Sénéchal O., Tomala F. & Lawson M., *Towards a methodology for estimating the global impacts of innovative design scenarii*. Proc. of 4th IFIP WG5.2 Workshop on Knowledge Intensive CAD (KIC-4). Parma, Italy. May 2000.

Conférences sur invitation

- Tomala F., *Impacts d'une innovation*, séminaire du GRP (Groupe de Recherche en Productique), Montpellier, les 29 et 30 Mars 2001.
- Tomala F., *État de l'art académique et industriel de l'innovation*, séminaire du GRP (Groupe de Recherche en Productique), Valenciennes, les 26 et 27 octobre 2000.

Rapports

- Tomala F., Sénéchal O., Deneux D., *État de l'Art sur l'innovation académique et industriel*, rapport d'avancement du projet METACOG (Programme PROSPER/ CNRS), décembre 2000.
- Tomala F., *Modèles et méthodes pour l'innovation*, rapport interne de thèse de l'université de Valenciennes (LAMIH/ SP), juillet 2000.
- Tomala F., Matéo E., Rouanet D., *Synthèse du projet METACOG*, rapport de synthèse du projet METACOG (Programme PROSPER/ CNRS), juin 2000.
- Tomala F., *État de l'Art des modèles de processus*, rapport interne de thèse de l'université de Valenciennes (LAMIH/ SP), septembre 1999.

Ouvrage

- Tomala F., Girard P., *Évaluation en phase de conception du système de production*, contribution à l'ouvrage collectif 'Évaluation des performances des systèmes de production' chapitre 2 partie 3 'Contexte', coordonnée par C. Tahon, P. Burlat, E. Marcon, L. Berrah, O. Sénéchal, J.L. Paris et M.H. Gentil, Hermès, Paris 2003 à paraître.
- Tomala F., Sénéchal O., *Évaluation prospective de la performance des systèmes de Production - considérations économiques*, contribution à l'ouvrage collectif 'Évaluation des performances des systèmes de production' chapitre 3 partie 4 'Mise en œuvre', coordonnée par C. Tahon, P. Burlat, E. Marcon, L. Berrah, O. Sénéchal, J.L. Paris et M.H. Gentil, Hermès, Paris 2003 à paraître.

Autres

- Acteur du projet METACOG (CNRS)
- Participations aux séminaires du GRP: Groupe de Recherche en Productique
- Participation à la création et au développement du Groupe Innovation du GRP
- Membre de l'AFIM (Association Française des Ingénieurs en Maintenance)

Sommaire

Introduction générale	20
Chapitre 1	22
Introduction.....	22
I. Évolution de l'entreprise et de son environnement	22
I.1. Après guerre : Supériorité de la demande par rapport à l'offre.....	23
I.2. Autour des années 75 : Équilibre entre l'offre et la demande	23
I.3. Les années 90 : Supériorité de l'offre par rapport à la demande	24
I.4. Aujourd'hui.....	24
I.5. Synthèse.....	25
II. La performance.....	27
II.1. Définition de la performance.....	27
II.2. Caractérisation de la performance.....	28
Aspect multidimensionnel de la performance.....	28
Les différents niveaux d'évaluation.....	28
III. L'innovation.....	29
III.1. Définitions.....	29
L'innovation.....	29
Innovation et invention	30
Invention et découverte.....	31
III.2. Typologies d'innovation	31
Classification fondée sur l'intensité de l'innovation.....	31
Classification des innovations fondée sur leur nature intrinsèque.....	32
Classification fondée sur les caractéristiques du processus d'innovation.....	34
IV. Rôle de l'innovation dans la compétitivité actuelle.....	34
IV.1. L'innovation dans le contexte actuel	34
IV.2. L'intérêt des entreprises pour l'innovation	35
Les entreprises innovantes	35
Investissement pour l'innovation	36
V. La problématique de l'innovation en conception.....	37
V.1. La conception innovante	37
Évolution de la conception.....	37
Importance de la conception	38
V.2. Les risques liés à l'innovation.....	39
VI. Manager l'innovation.....	39
VI.1. Cycle de vie, coût, valeur et acteurs	40
Le cycle de vie	40
Le coût global.....	41
La valeur et les acteurs.....	44
VI.2. Modèle de l'environnement de l'innovation.....	47
VI.3. Nouvelle définition de l'innovation.....	48
VI.4. Illustrations industrielles.....	49
Conclusion	51
Chapitre 2	52
Introduction.....	52
PREMIÈRE PARTIE : Le processus d'innovation.....	52
I. Définitions et spécificités	53

I.1. Définitions.....	53
I.2. Spécificités du processus d'innovation.....	54
II. Les modèles de processus d'innovation.....	55
II.1. Le modèle linéaire.....	55
II.2. Le modèle à structure parallèle.....	55
II.3. Autres modèles.....	56
II.4. Modèle de processus d'innovation produit.....	58
III. Synthèse.....	64
DEUXIÈME PARTIE : Évaluation de performance en conception innovante.....	65
I. Pilotage et évaluation de la performance.....	65
I.1. Les indicateurs de performance.....	65
I.2. Mesure, évaluation et estimation.....	66
I.3. Comment évaluer la performance ?.....	67
Évaluation de performances a priori.....	67
Évaluation de performances a posteriori.....	68
Évaluation de la performance d'une innovation.....	68
I.4. La performance globale d'une innovation.....	69
Caractérisation de la performance globale d'une innovation.....	69
II. Méthodes et outils d'évaluation en conception.....	71
II.1. Les méthodes et outils de la conception.....	71
II.2. Les méthodes d'analyse des risques.....	72
Approches logiques.....	72
Approches expertes.....	72
II.3. Les moyens d'analyse de la valeur.....	72
Jugement d'expert.....	73
Tests et questionnaires.....	73
Analyse de la valeur.....	74
II.4. Les méthodes d'analyse des coûts.....	75
Méthodes traditionnelles d'estimation de coût.....	75
La méthode ABC.....	75
II.5. Synthèse.....	77
Conclusion.....	80
Chapitre 3.....	81
Introduction.....	81
I. Présentation globale de la proposition.....	81
I.1. Objectifs.....	81
I.2. Les méthodes proposées.....	82
Principe de la méthode A.E.I.I.....	82
Principes des méthodes E.E.M.E. et E.E.M.C.I.....	83
II. La méthode A.E.I.I.....	88
II.1. Définition de la méthode.....	88
L'AMDE et L'AMDEC.....	88
L'AMDE et de l'AMDEC pour notre cadre d'étude.....	89
II.2. Les éléments de la méthode A.E.I.I.....	89
Définitions des éléments.....	89
Comparaison AEII/ AMDEC.....	92
III. Mise en œuvre de la méthode A.E.I.I.....	93
III.1. Démarche globale d'établissement des A.E.I.I.....	93
III.2. Phase d'acquisition (A).....	95

Acquisition d'informations sur l'existant	95
- Acquisition d'informations sur le nouveau système	95
III.3. Phase d'analyse et d'évaluation des effets d'une innovation (B)	96
Étape 1 : Identification des événements initiaux	96
Étape 2 : Identification des conséquences	97
Étape 3 : Évaluation des innovations	98
III.4. Phases de décision (C), d'observation (D), de mesure et de capitalisation (E)	100
Phase de décision (C)	100
Phase d'observation (D)	101
Phase de mesure et de capitalisation (E)	101
IV. Comparaison des solutions	101
IV.1. L'approche multicritère pour la résolution d'un problème	102
IV.2. L'intérêt de l'approche multicritère dans la méthode A.E.I.I.	103
IV.3. La comparaison des solutions	104
Conclusion	107
Chapitre 4	108
Introduction	108
I. La méthode E.E.M.E. (Estimation des Effets de l'introduction d'une innovation à l'aide de Modèles de type Événement)	108
Problématique abordée	108
La méthode E.E.M.E.	110
I.1. Les modèles produit et leurs limites	111
I.2. Modèle produit proposé	112
Les éléments du modèle	113
La structure du modèle et les relations	114
I.3. Modèle processus sur le cycle de vie	118
Les modes d'exécution	118
Les processus sur le cycle de vie	118
II. Mise en œuvre de la méthode E.E.M.E.	121
II.1. Construction des modèles de produit et de processus	121
II.2. Définition des règles de calcul et de propagation	123
La base de règles	123
La base de faits	124
L'inférence	124
Les fonctions du système support de la méthode E.E.M.E.	124
III. La méthode E.E.M.C.I. (Estimation des Effets de l'introduction d'une innovation à l'aide de Modèles de type Caractéristiques de l'Innovation)	134
III.1. Caractéristiques d'une innovation	134
Caractéristiques 'Générales'	135
Caractéristiques 'Valeur'	136
Caractéristiques 'Technologiques'	137
Caractéristiques 'Physiques'	137
Caractéristiques 'Événements'	137
III.2. Indicateurs de performance en conception innovante	137
IV. Mise en œuvre de la méthode E.E.M.C.I.	138
IV.1. Le processus de modélisation	138
IV.2. Élaboration des modèles de la méthode E.E.M.C.I.	140
Modèle 1 : indicateurs génériques / caractéristiques générales	140

Modèle 2 : indicateurs génériques / caractéristiques de valeur	141
Modèle 3 : volume de vente / caractéristiques de valeur.....	142
Modèle 4 : prix admissible de vente / caractéristiques de valeur	142
Modèle 5 : indicateurs génériques / caractéristiques technologiques.....	143
Modèle 6 : indicateurs génériques / caractéristiques physiques.....	144
Modèle 7 : indicateurs génériques / caractéristiques événementielles	145
V. Architecture fonctionnelle du système d'aide à l'évaluation	146
V.1. Intérêt de l'approche SIAD.....	146
Système d'Aide à la Décision pour l'Innovation (SADI).....	146
V.2. Modèle de l'environnement d'aide à l'évaluation	147
Conclusion.....	150
Chapitre 5.....	151
Introduction	151
I. Objectifs de validation	151
I.1. Validation des concepts et modèles proposés	151
I.2. Validation du système d'aide à l'évaluation et son support informatique	152
I.3. Validation du système en terme de réponse aux besoins de l'entreprise	152
II. La maquette.....	152
II.1. L'architecture fonctionnelle de la maquette	152
II.2. Les fonctions mises en œuvre.....	154
Conception des modèles d'estimation	154
Conception du système de comparaison.....	156
Exploitation du système de comparaison	157
Visualisation des indicateurs de performance	157
III. Mise en œuvre des méthodes A.E.I.I. et E.E.M.E.	158
III.1. Contexte de l'expérimentation	158
III.2. Configuration de l'entreprise	158
III.3. Le projet METACOG.....	159
III.4. Les attentes de l'entreprise.....	159
III.5. Démarche expérimentale	161
III.6. Mise en œuvre	161
Phase 0 - Organisation.....	162
Phase 1 - Constitution d'un groupe projet.....	162
Phase 2 - La modélisation.....	162
Phase 3 - Les différents scénarios d'innovation	163
Phase 4 - Estimation	164
Phases 5 et 6 - Comparaison des scénarios et choix d'une solution.....	166
IV. Mise en œuvre de la méthode E.E.M.C.I.	168
IV.1. Présentation de l'étude	168
Objectif.....	168
L'étude statistique.....	168
Les données de l'étude	169
IV.2. Résultats de l'étude	170
Le prix de revient au kilomètre (PRK).....	170
Rang de préférence (RDP).....	173
Caractéristiques techniques	174
IV.3. Exploitation des résultats de la deuxième étude.....	174
V. Analyse des résultats de l'ensemble des deux études.....	176
V.1. Apport pour l'évaluation.....	176

V.2. Apport pour la conception d'innovation	177
V.3. Apport potentiel pour l'entreprise.....	177
V.4. Points restant à valider	178
V.5. Perspectives de développement.....	178
Conclusion	179
Conclusion générale	180
Perspectives.....	183
I. Prise en compte des informations imprécises dans les méthodes.....	184
II. Guides d'innovation	184
II.1. Guide d'innovation 1	184
II.2. Guide d'innovation 2 : Arbre des situations.....	185
II.3. Guide d'innovation 3 : Analyse multicritère.....	185
Bibliographie	186
Sigles et Abréviations.....	196
Glossaire.....	197
Table des illustrations.....	205
Annexes	208
Annexe 2.1 : Activités A2, A3, A4, A5 et A6 du modèle de processus d'innovation.....	208
Annexe 3.1 : Guide pour l'étude des impacts d'une innovation.....	213
Annexe 4.1 : Le modèle processus.....	214
Annexe 4.2 : Considérations concernant les règles génériques	215
Annexe 4.3 : Algorithme et exemples de chaînage.....	219
Annexe 4.4 : Règles spécifiques à chaque paramètre (W,X,Y,Z)	222
Annexe 5.1 : Les scénarios d'innovation.....	223
Annexe 5.2 : Méthode des plans d'expériences.....	225
Annexe P.1 : Optimisation du profit à l'aide du modèle 4 de la méthode E.E.M.C.I.....	229
Annexe P.2 : Guide d'innovation 2 : Arbre des situations.....	231
Annexe P.3 : Guide d'innovation 3 : Analyse multicritère.....	232
Index.....	234

Introduction générale

Depuis le début de l'ère industrielle, toute action menée au sein d'une entreprise, à quelque niveau et de quelque nature qu'elle soit, est justifiée par la volonté de performance. Être meilleur, satisfaire les clients, dépasser la concurrence, s'enrichir...sont, à l'heure actuelle, autant d'objectifs sur lesquels est jugée la performance des entreprises.

La performance prend des déclinaisons diverses, complémentaires, parfois contradictoires, telles que productivité, variété, qualité, délai, réactivité,...Son expression diffère d'un point de vue à un autre, interne, externe, financière, économique, opérationnelle,...Les moyens pour l'atteindre se multiplient et se diversifient (juste à temps, démarches qualité, automatisation,...). La performance évolue avec le contexte [Berrah, 97].

Le contexte actuel a changé. En effet, dans le monde des échanges marchands à très forte concurrence qu'elles ont à affronter, les entreprises sont tenues d'innover constamment, rapidement et avec succès. L'innovation est devenue un véritable enjeu de survie. Il apparaît aujourd'hui que la compétitivité repose sur les critères de coût, de délai et de qualité mais aussi sur la capacité des entreprises à générer un flux constant d'innovation. C'est ainsi que les responsables d'une entreprise (telle que Renault) énoncent qu'afin de répondre au mieux aux besoins des clients dans un contexte de très forte concurrence, il est essentiel d'innover de plus en plus rapidement et donc de mieux s'organiser. Il est nécessaire aujourd'hui de converger globalement, l'innovation doit être totale, collective et solidaire. L'innovation est devenue un facteur de compétitivité très important [Le Mensuel Consulting, 00], [Xuereb, 91].

Le nouveau contexte, dans lequel se trouvent les entreprises, appelle une nouvelle définition de la performance et des moyens de l'évaluer et conduit les entreprises à évaluer et à piloter leurs performances dès la phase de conception de produit et des processus.

Notre contribution dans ce cadre est la proposition de méthodes et modèles d'évaluation de la performance globale d'une innovation, dès la phase de conception. Notre proposition repose principalement sur trois éléments : un modèle du processus d'innovation, un ensemble de modèles et méthodes d'évaluation de l'innovation et un environnement d'aide à la décision permettant la mise en œuvre des méthodes.

Le plan que nous suivons dans ce mémoire est le suivant :

Dans le premier chapitre, nous analysons tout d'abord l'impact des transformations du monde industriel, des techniques, des technologies, des organisations et du système d'information des entreprises sur l'évolution de la compétitivité et de la notion de performance. Nous mettons ensuite en évidence la nécessité pour les entreprises d'innover et de déterminer de nouveaux modes d'évaluation de la performance. Après avoir défini les concepts de performance et d'innovation, nous montrons l'importance d'innover et les risques liés à cet acte. Enfin, nous présentons dans une dernière partie une étude portant sur plusieurs entreprises françaises et sur la littérature scientifique et économique. Cette étude montre le manque de moyens pour innover. Cette dernière analyse nous permet de définir la problématique du management de l'innovation, sur lequel porte notre étude.

Dans le deuxième chapitre, nous distinguons deux grandes parties :

Dans la première, nous présentons un état de l'art des modèles de processus d'innovation et leurs limites par rapport à notre problématique. Nous proposons ensuite un nouveau modèle de processus d'innovation.

Dans la deuxième, nous montrons les objectifs de l'évaluation de performance dès la phase de conception et caractérisons la performance globale d'une innovation. Nous présentons ensuite les méthodes et outils d'évaluation en conception et mettons en évidence leurs limites.

Dans le troisième et quatrième chapitres, nous proposons trois méthodes pour l'évaluation de la performance globale d'une innovation dès sa conception.

Dans le troisième chapitre nous décrivons, dans un premier temps, l'ensemble de la proposition de manière générale puis présentons en détail la première méthode proposée.

On trouve également une partie définissant l'intérêt de l'approche multicritère dans cette méthode.

Dans le quatrième chapitre, nous présentons en détail les moyens d'élaboration des modèles utilisés par les deux autres méthodes proposées ainsi que les moyens de mise en œuvre de chaque méthode en précisant l'intérêt de chacune d'elle.

Une partie présente un état de l'art des modèles produits et leurs limites par rapport à notre problématique. Nous définissons également le concept de 'features' (caractéristiques) que nous appliquons à l'innovation.

Nous décrivons ensuite l'environnement d'aide à la décision pour la mise en œuvre des méthodes d'évaluation proposées, la structure fonctionnelle de cet environnement, ses modes d'exploitation et sa structure de données.

Dans le but de valider les méthodes proposées, nous présentons dans le dernier chapitre deux expérimentations, l'une réalisée au sein de la société Renault et l'autre réalisée à partir d'enquêtes effectuées auprès de conducteurs de véhicules et d'informations issues d'une revue spécialisée automobile. Nous décrivons tout d'abord la démarche expérimentale et la maquette que nous avons développée. Nous analysons enfin les résultats obtenus et les apports des méthodes proposées.

Ce travail nous permet de mettre en évidence des perspectives sur lesquelles nous travaillons actuellement.

Par ailleurs, un glossaire définissant les mots du vocabulaire particulier employé (indiqué dans le texte par un astérisque *) et un index des notions clés sont proposés en annexe. Il est ainsi possible d'aborder ce mémoire dans l'ordre des chapitres, ou d'y entrer par les références données aux mots clés.

Chapitre 1

Innovation et performance

Neuf innovations sur dix n'arrivent pas à leur terme, quatre vingt dix neuf innovations sur cent ne servent à rien. Il en reste une qui vaut la peine d'avoir tenté toutes les autres [Bellon, 97].

Introduction

En moins de vingt ans nous sommes passés d'une économie de production où la demande était supérieure à l'offre, à une économie de marché ou de différenciation des entreprises par l'excellence [Marty, 91]. La concurrence*, résulte principalement de la mondialisation des échanges commerciaux. Il apparaît aujourd'hui que la compétitivité* repose sur les critères de coût*, de délai et de qualité* mais aussi sur la capacité des entreprises à générer un flux constant d'innovation*.

Cette évolution du monde industriel conduit à la modification de la notion de performance* et à l'élaboration de nouveaux modes d'évaluation* de la performance.

La première partie de ce chapitre rappelle brièvement l'évolution des entreprises et du marché, et montre l'évolution de la notion de performance et l'importance de l'innovation.

Dans la deuxième partie, nous définissons et caractérisons le concept de performance.

Dans la troisième partie nous précisons les concepts, souvent confondus, de découverte*, d'invention* et d'innovation et présentons une typologie des innovations. L'innovation constitue actuellement un des enjeux majeurs de l'entreprise, c'est pourquoi nous nous intéressons, dans la quatrième et cinquième parties, au rôle et à l'importance de l'innovation et de la conception innovante dans le contexte industriel actuel ainsi qu'aux risques et difficultés d'innover.

Dans la dernière partie nous définissons les notions relatives à notre problématique (coût, cycle de vie, valeur) et proposons un modèle de l'environnement de l'innovation et une nouvelle définition de l'innovation intégrant ces notions.

Nous présentons finalement une étude réalisée dans plusieurs entreprises françaises et une étude de la littérature montrant le manque de moyens pour innover.

I. Évolution de l'entreprise et de son environnement

L'historique de l'environnement industriel a été largement analysé (voir notamment [Chandler, 88], [Gallois, 89], [Cochet et Henry, 95]). L'évolution du monde industriel et de son environnement conduit aujourd'hui à une nouvelle vision de la notion de performance. Parmi les bouleversements les plus significatifs de l'entreprise d'après guerre, on note la relation* liant l'offre du fournisseur (production) à la demande du client* (besoin*). De ce point de vue, trois grandes phases peuvent être distinguées :

- supériorité de la demande par rapport à l'offre,
- équilibre entre l'offre et la demande,
- supériorité de l'offre par rapport à la demande.

I.1. Après guerre : Supériorité de la demande par rapport à l'offre

Les années de croissance d'après-guerre appelées les « trente glorieuses », sont marquées par la stabilité des structures industrielles : stabilité des marchés et de la technologie. Le producteur est dominant pendant cette période, le produit* proposé aux clients ne résulte que des capacités des entreprises à le concevoir et à le fabriquer. Les entrepreneurs des pays développés exploitent une quantité importante de marchés jusque là inexplorés. Il suffit d'anticiper sur les besoins potentiels des consommateurs et sur la croissance pour lancer une production de masse, créer des emplois et distribuer les salaires qui, en retour, alimentent la demande. Le client est peu pris en compte par le producteur. L'entreprise est caractérisée par :

- une production de masse,
- une faible différenciation des produits,
- une segmentation inexistante des marchés.

La stabilité technologique et l'absence d'une véritable concurrence (stabilité des marchés) favorisent la standardisation des produits. Cette standardisation se traduit par l'accroissement de la variété des usages d'un produit, et par l'augmentation du volume de production de ce même produit. L'entreprise évolue ainsi dans un environnement marqué par un très faible niveau de complexité. Standardisée, la production est gérée dans le but de saturer la charge des équipements.

Mais la production à outrance et la maximisation de la productivité atteignent leurs limites et mettent un terme à la domination des producteurs. En effet, durant cette période une forte croissance et une importante activité* industrielle, entraînent la baisse des prix* des produits ainsi que l'augmentation du pouvoir d'achat. Ces éléments font naître de nouveaux types de besoins chez les clients potentiels et de nouveaux marchés. De plus, les économies des grands pays industriels connaissent une diminution de leurs performances : productivité des facteurs de production dans un premier temps, taux de marge et rentabilité du capital dans un second temps [Xuereb, 91].

I.2. Autour des années 75 : Équilibre entre l'offre et la demande

Jusqu'à la fin des années soixante, les stratégies industrielles reposent sur une production de masse d'objets peu différenciés et proposés sur un marché non segmenté. Dans les années soixante dix les économies s'ouvrent sur l'extérieur et à de nouveaux types de besoins (le client 'roi' remplace le client 'consommateur'). Les nouveaux marchés changent la nature de la compétition entre les entreprises. Les technologies sont en forte évolution et demandent un renouvellement rapide et une grande diversification des produits. La versatilité des clients s'accroît et les produits sont de plus en plus complexes.

Les nouveaux pays industrialisés sont devenus des concurrents redoutables en jouant, à la fois, de leurs avantages salariaux et de leur capacité à absorber les techniques de pointe les plus avancées [Bellon, 97]. Ils mettent sur le marché des produits de qualité dans des délais courts. C'est une période marquée par la compétition.

L'organisation de l'entreprise doit être à même d'évoluer et de s'adapter à ces nouvelles conditions de marché. Elle doit être en mesure de gérer le changement concurrentiel plutôt que le subir. Ainsi, la réduction de la demande, notamment dans un contexte économique de crise à partir de 1973, contraint les entreprises à développer leurs services

commerciaux, afin d'organiser leurs ventes (approvisionnements, gestion des stocks et distribution) et de promouvoir leur produits (publicité). Ceci oblige les entreprises à faire communiquer la fonction vente avec la fonction production (terme élargi à l'ensemble des activités d'acquisition, de finition et de distribution) par l'intermédiaire de la conception qui devient une fonction prépondérante de l'entreprise.

Les entreprises cherchent à préserver leurs parts de marché et leurs avantages concurrentiels en s'interrogeant sur les critères de choix des clients. Le marketing, la publicité, la politique de marque et la différenciation du produit qui occupent une place déterminante, sont les leviers dont dispose l'entreprise pour vendre au mieux. Par exemple l'extrême variété des emballages de boissons est un facteur permanent d'innovation. Un produit très différencié constitue un marché relativement protégé et donc, en principe, rentable.

I.3. Les années 90 : Supériorité de l'offre par rapport à la demande

L'environnement économique des années 90 est des plus instables, les entreprises opèrent sur de petits marchés extrêmement versatiles qui peuvent s'ouvrir et disparaître en l'espace de douze à dix-huit mois [Jagou, 93]. Toutefois, ces micros marchés existent, ils sont offerts aux entreprises les plus performantes, capables de les saisir. Ce sont les nouvelles exigences du client qui poussent un nombre toujours plus important d'entreprises vers de nouvelles méthodes* de management, d'organisation et de gestion. De plus, la réduction des délais de production n'est plus suffisante, il faut également diminuer les temps de conception et augmenter la qualité des produits dans un environnement incertain et très évolutif. Pour cela, il est nécessaire de concevoir, de produire, et de vendre vite, ce qui contraint les entreprises à imaginer des organisations décloisonnées et communicantes. Ces phénomènes font émerger des philosophies nouvelles comme la gestion de projets* [Giard, 91] [Midler, 93] et l'ingénierie concurrente [Jagou, 93].

I.4. Aujourd'hui

Les entreprises subissent toujours plus de contraintes, plus sévères et plus contradictoires. La capacité à développer rapidement et efficacement de nouveaux produits et de nouvelles technologies (système* physique (objet manufacturé) ou système virtuel (service proposé à la clientèle)) devient un avantage concurrentiel décisif. Les innovations de service sont de plus en plus fréquentes, on parle désormais de compétitivité par les services [Segarra et Sechi, 01].

Le durcissement de la concurrence dans de nombreux secteurs stratégiques a définitivement déplacé la dynamique de l'innovation du côté des laboratoires de recherche des entreprises et des universités. En tout état de cause, l'innovation se trouve au cœur des transformations actuelles des économies et des sociétés occidentales, et de leurs défis futurs.

Chaque entreprise se trouve intégrée dans des structures plus globales d'interrelations industrielles et financières, une nouvelle notion émerge : 'l'entreprise étendue' [Browne et al., 95] : flux d'échanges entre entreprises d'activités différentes, qui s'analysent en termes d'échanges intersectoriels et de filières ; relations d'influence, de pouvoir ou de coopération, qui s'analysent en termes de réseaux d'alliances ou de groupes, voire de situations de sous-traitance ou d'exploitation de brevets (figure 1.1). Les informations sont normalisées par l'utilisation commune du concept d'échange de données

informatisées (Electronic Data Interchange : EDI) [Eymery, 97] et les outils de travail coopératif (Groupware, Workflow,...)[Voisin et al., 00], [Beuscart et al., 94].

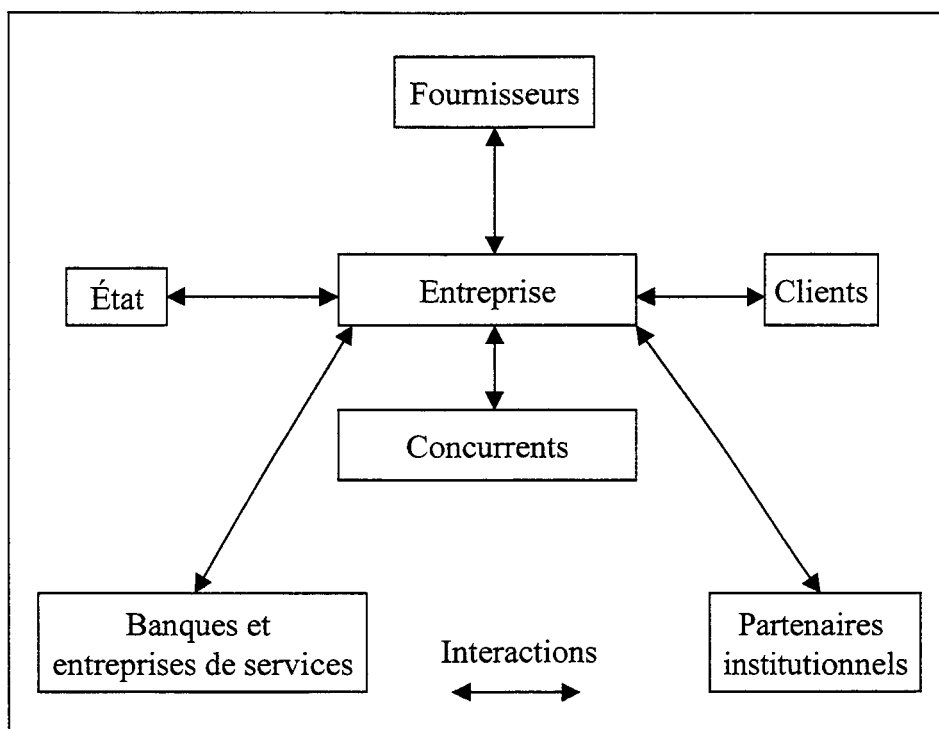


Figure 1.1 : L'entreprise étendue [Bellon, 97]

Les grandes mutations technologiques concernent les produits et les systèmes de production et résultent principalement des développements de l'informatique et de l'électronique.

Pour un grand nombre d'entreprises, ces évolutions induisent une véritable remise en cause de l'ensemble de leurs structures d'information et de décision et de leurs systèmes opératoires. De nouvelles technologies de l'information et de la communication (TIC) prennent leur essor dans le milieu industriel. On voit apparaître les structures 'client - serveur' (architecture distribuée des informations) et de nouveaux outils de conception pour concevoir plus rapidement de nouveaux produits au moindre coût. L'entreprise dispose d'outils informatiques de plus en plus performants : conception assistée par ordinateur (CAO et CFAO), gestion électronique de documents (GED), nouveaux outils de gestion de projets.

Dans le but d'être toujours plus performantes, les entreprises analysent et diagnostiquent leurs processus*. L'objectif est la reconception des processus industriels pour éliminer les activités qui ne sont pas nécessaires et non productives. Un nouveau concept apparaît : la ré-ingénierie des processus industriels (Business Process Re-engineering ; BPR) [Hammer et Champy, 93], [Vernadat, 96].

I.5. Synthèse

L'évolution la plus importante pour l'entreprise est le passage d'une économie contrainte par l'offre à une économie contrainte par la demande. Un exemple en est le passage du prix de vente d'un produit déduit des données internes de l'entreprise au prix de vente fixé par les lois du marché. La compétitivité de l'entreprise, mesurée jusqu'à

aujourd'hui par sa capacité à produire en grande quantité, se mesure actuellement par sa capacité à [Perrin, 96a] :

- mettre de nouveaux produits sur le marché,
- améliorer l'attrait des nouveaux produits pour le client,
- réduire les délais de mise sur le marché et diminuer leurs coûts d'investissement.

Auparavant, la compétitivité d'une entreprise pouvait être atteinte par l'obtention de performances relatives aux critères coût, délai et qualité. Il apparaît aujourd'hui que la pérennisation de cette compétitivité repose sur la nouveauté des produits, sur leur adaptation à une demande toujours plus diversifiée. La compétitivité passe ainsi par le développement et la gestion de ses capacités d'innovation [Crawford, 96],[Gaillard, 99], [Xuereb, 91].

Il ne suffit plus de mettre un nouveau produit sur le marché de temps en temps, au gré des opportunités, il faut désormais y parvenir systématiquement et rapidement. Se placer en premier sur un marché est une condition indispensable pour dégager des marges importantes. Que leur secteur d'origine concerne l'industrie traditionnelle, la haute technologie ou les services, les entreprises passent de stratégies centrées sur un seul ou quelques produits, à des politiques de gammes beaucoup plus diversifiées et fréquemment renouvelées.

Une économie croît quand elle adopte de nouvelles techniques de production ou quand elle gagne de nouveaux marchés, notamment par le biais de nouveaux produits. L'innovation permet de renouveler l'intégralité du processus productif et ainsi d'accroître la productivité et par là même le niveau de vie à long terme [SESSI, 98].

Ainsi, au triptyque classique, image de la performance (coût, délai, qualité) s'ajoute l'innovation, que l'on définira et caractérisera plus précisément au paragraphe III de ce chapitre.

L'évolution du monde industriel et de son environnement entraîne donc l'apparition de nouveaux objets à mesurer (innovations) et de nouveaux objectifs* à atteindre (gestion optimale de l'innovation : plus efficace, moins coûteuse). Ceci implique pour les entreprises de maîtriser l'innovation en adoptant de nouvelles organisations et méthodes de conception. De nouveaux modes d'évaluation de la performance de l'entreprise sont aujourd'hui nécessaires [Lepetit, 97] :

- les nouveaux impératifs de la compétitivité poussent à renouveler les produits et à décloisonner les organisations,
- les limites actuelles des outils de gestion issus de la conception taylorienne de la production sont liées à une évaluation fondée sur le critère de productivité apparente du travail, dominé par la problématique de la réduction du coût unitaire sous contrainte financière des capitaux engagés. Ces outils de gestion ne permettent plus aujourd'hui de réaliser une évaluation significative de la performance de l'entreprise,
- l'évaluation de la performance ne se limite plus au seul niveau financier (coût), elle doit être aussi évaluée au niveau 'physique' et au niveau 'marchand'(valeur*) [Jacot, 97],
- la performance de l'entreprise ne se limite plus aujourd'hui au système de production, elle doit s'évaluer en considérant l'entreprise au sein de son environnement.

Nous définissons la notion de performance dans la suite de ce chapitre.

II. La performance

II.1. Définition de la performance

La variété des usages du terme 'performance', fait que celui-ci est très rarement explicitement défini, même dans des ouvrages dont il représente l'objet d'étude central [Berrah, 97], [Gandois, 92], [Jacot et Micaelli, 96]. Nous soulignons toutefois l'effort d'Annick Bourguignon, qui sur la base de la définition suivante : « En matière de gestion, la performance est la réalisation des objectifs organisationnels » [Bourguignon, 95] précise que la performance :

- dépend d'un référent : l'objectif (ou but) ;
- est multidimensionnelle si les buts sont multiples ;
- est un sous-ensemble de l'action :
 - au sens strict : elle est l'effet, le résultat de l'action
 - au sens large, dans une approche plus systémique, un résultat n'est rien en soi mais indissociable de ses moyens (buts, activités, feedback) : elle est l'ensemble des étapes logiques élémentaires de l'action, de l'intention au résultat effectif ;
- est subjective car elle résulte du rapprochement de la réalité d'un souhait.

Philippe Lorino [Lorino, 96] propose quant à lui la définition suivante : « la performance est tout ce qui, et seulement ce qui, contribue à améliorer le couple valeur-coût, ce qui ne veut pas dire forcément de diminuer le coût ou d'augmenter la valeur isolément. Dans une entreprise la performance est tout ce qui contribue à atteindre les objectifs stratégiques. La performance est toujours le résultat d'une action elle-même consécutive à une décision et à un choix d'objectifs ».

Pour C. Merle [Merle, 90], la performance s'articule autour de trois objectifs :

- le savoir-vendre, qui informe de l'évolution de l'entreprise, du secteur d'activité, des marchés et clients des produits (services) de la concurrence,
- le savoir-faire, qui analyse respectivement la relation entre les produits (services) et les clients, fournisseurs, moyens humains et techniques,
- le savoir-gérer qui analyse les aspects financier, humain, technique et organisationnel de la structure.

Ces définitions mettent en évidence que la performance dépend des décisions stratégiques de l'entreprise. Il n'existe pas de définition exhaustive et universelle de la performance et pourtant chaque entreprise doit définir son propre concept de performance pour améliorer sa compétitivité et sa communication interne et externe.

La performance industrielle

La notion de performance est présente en entreprise depuis le début de l'ère industrielle. Elle est de différentes natures (s'enrichir, satisfaire les clients, dépasser la concurrence,...), évolue avec le contexte et est parfois contradictoire (productivité, qualité, délai,...). Son expression diffère suivant les points de vue (externe, interne), mais le principe est toujours similaire : plus une entreprise satisfait ses objectifs, à condition que ceux-ci permettent la pérennisation de l'entreprise, plus elle est performante.

Satisfaire les clients impose de ne produire ce qui sera vendu en passant d'un système poussé par la production à un système tiré par les ventes. Cela implique d'améliorer

l'efficacité* de l'entreprise à court et long terme, de réviser le déroulement des processus, et d'organiser le lancement de nouveaux produits [Kaplan, 94].

A la notion d'aptitude à bien produire, se substitue celle de compétitivité, ou aptitude à entrer dans les meilleures conditions en compétition sur les marchés. Cela se mesure par un rapport valeur/ coût [Jacot, 90].

La compétitivité n'est plus fondée uniquement sur les coûts (compétitivité prix), mais également sur l'ensemble des facteurs intervenant dans l'atteinte d'un objectif global de satisfaction* des clients (compétitivité hors prix) [Jacot, 90].

La question que l'on peut se poser est : comment caractériser la performance au sein des entreprises ?

II.2. Caractérisation de la performance

Comme nous venons de le voir la performance n'est plus seulement fondée sur les coûts mais également sur d'autres facteurs. Dans ce cas, appréhender la performance ne peut plus se restreindre à évaluer sur un seul critère : la performance est multi-critères mais aussi multi-acteurs et multi-périodes*.

Aspect multidimensionnel de la performance

Les décisions concernant l'entreprise sont souvent issues d'un compromis entre différents critères par rapport aux objectifs. L'évaluation doit être multi-critères car elle doit représenter tous les aspects du compromis initial. Elle doit donc être évaluée par rapport aux différents critères associés au compromis.

La performance est également multi-acteurs car elle est influencée par chaque acteur maîtrisant un domaine de décision et possédant une marge d'autonomie liée à la performance. De plus la perception de la performance varie d'un acteur à un autre au sein parfois de la même organisation.

Enfin, la performance est multi-périodes, elle doit être prise en compte sur l'ensemble du cycle de vie* du produit ou du système de production. Elle doit tenir compte de certaines évolutions économiques et temporelles (taux d'actualisation, ...).

L'évaluation de la performance doit être considérée à différents niveaux et suivant différents horizons de décision. Nous les décrivons dans le paragraphe suivant.

Les différents niveaux d'évaluation

La performance n'est accessible que de manière globale (tout est lié: technologie, organisation, marché, formation, financement...). Dans ce sens, Jacot propose un 'déploiement' ou une 'déglobalisation' sur quatre niveaux [Jacot et Micaelli, 96]. La figure suivante illustre ces niveaux de performance (cf. figure 1.2) correspondant à quatre niveaux de décision.

L'évaluation se construit suivant trois niveaux : le niveau 'physique', 'marchand' et 'financier'. Le quatrième niveau 'métapolitique' concerne l'existence même de l'entreprise et de sa pertinence* pour la société. Ce niveau permet de prendre en compte la dimension publique, écologique et sociale de la performance.

Niveau de décision	Niveau de performance	Objectifs et critères habituels	Objectifs et critères nouveaux
Méta Politique	Sociétal	Performance interne de l'entreprise	Performance externe de l'entreprise
Stratégique	Financier	Rentabilité des capitaux	Pérennité de l'entreprise
Tactique	Marchand	Compétitivité prix	Compétitivité hors prix
Opérationnel	Physique	Productivité partielle du travail	Productivité globale des facteurs

Figure 1.2 : Les différents niveaux de performance

Par ailleurs, la dimension temporelle de l'évaluation s'exprime suivant plusieurs horizons de décision : le long terme, le moyen terme et le court terme [Bescos, 96], [Gallois, 90], [AFGI, 89] :

- l'horizon long terme : l'évaluation se situe au niveau stratégique et concerne le développement de l'entreprise au cours des années à venir,
- l'horizon moyen terme : l'évaluation se situe au niveau tactique et s'intéresse à la mise en œuvre des moyens humains, matériels et financiers afin d'atteindre les objectifs issus de la réflexion stratégique,
- l'horizon court terme : l'évaluation se situe au niveau opérationnel et concerne les décisions de déroulement des opérations courantes.

Dans les paragraphes précédents, nous avons défini et caractérisé la performance. Cette performance doit être analysée par rapport à l'innovation et à sa gestion, ce qui nous amène à préciser, au paragraphe suivant, le concept d'innovation.

III. L'innovation

Il est nécessaire de distinguer les concepts de découverte, d'invention et d'innovation. Cet effort de distinction permet de rendre plus compréhensible les modes, suivant qu'ils s'élaborent, se diffusent et se pérennisent [Forest et al., 97].

III.1. Définitions

L'innovation

Le concept d'« innovation » est présent dans des secteurs d'activités variés : industrie, science, administration, sport, loisirs. Le terme innovation a progressivement remplacé ceux de « nouveauté » et d'« invention » pour devenir un mot d'usage courant désignant une amélioration ou un perfectionnement de toute nature. Par conséquent, la généralité même du terme, comme dans le cas de la performance, rend difficile une définition précise.

Néanmoins, de nombreux auteurs [Le Bas, 95], [Gallouj, 96], [Alter, 93] prennent en référence l'économiste J.Schumpeter [Schumpeter, 35], qui a proposé de décliner l'innovation industrielle en cinq catégories :

- la formation d'un bien ou d'un service nouveau,
- l'introduction d'une nouvelle méthode de production,
- la mise au point ou l'implantation de nouveaux types d'organisation industrielle,
- la conquête d'un marché ou d'un débouché nouveau,
- la découverte d'une nouvelle matière première ou de nouveaux produits.

Cette définition met l'accent sur la multiplicité des innovations qui peuvent concerner divers domaines (technologie, organisation, méthode...) et qui peuvent être de niveaux d'intensité différents.

Freeman [Freeman, 74] rejoint Schumpeter en définissant l'innovation comme 'l'introduction avec succès d'un nouveau produit, d'un nouveau procédé ou d'une nouvelle organisation. C'est un acte voulu, concerté, précis, qui commence par une idée et finit par sa mise en œuvre'. Cette définition met en relation innovation et succès ; elle positionne l'innovation dans le contexte de marché, qui justifie et sanctionne l'innovation. Par 'nouveau' on entend de façon générique aussi bien les inventions récentes et totalement révolutionnaires que des solutions par ailleurs éprouvées mais utilisées pour la première fois dans un contexte original.

Une autre façon de définir la notion d'innovation consiste à la comparer à l'invention.

Innovation et invention

Schumpeter insiste sur la distinction entre l'invention et l'innovation en prenant comme critère le domaine d'étude. L'invention relève selon lui du domaine scientifique et technique, c'est un processus continu et extra-économique (il n'obéit pas prioritairement à des objectifs d'économie). L'innovation relève quant à elle du champ de l'analyse économique, c'est un processus discontinu, que Renaud qualifie de processus de création de valeur [Renaud et al., 99]. Les experts de l'OCDE dans le manuel de Frascati [OCDE, 94] insistent sur ce point et sur le caractère commercialisable de l'objet du projet d'innovation.

Selon Schumpeter, les entrepreneurs vont puiser dans un réservoir d'inventions (inventions « sur étagères ») et les mettre sur le marché. Certaines inventions ne constitueront jamais des innovations et resteront des curiosités scientifiques. D'autres attendront des décennies, ou des siècles avant d'accéder à ce titre (ex : la machine à vapeur).

Alors que l'invention peut être gratuite, l'innovation suppose d'envisager une application et une mise en œuvre sous forme de produit commercialisable. C'est la raison pour laquelle le terme d'« innovation » s'est progressivement substitué à celui d'« invention ».

Ce glissement de sens n'est pas lié à un simple effet de mode. Il découle d'une profonde transformation des techniques et des conditions de leur évolution. Jusqu'à la fin du XIXe siècle, les techniques les plus importantes (dans les domaines de la mécanique, de l'énergie, de la métallurgie...) restaient encore relativement simples et pouvaient être maîtrisées par des individus travaillant seuls et disposant de ressources* limitées. Des savants, des ouvriers, des ingénieurs étaient à même d'élaborer des idées nouvelles et de révolutionner certains secteurs comme le cinéma, l'automobile, l'aéronautique. L'ampoule électrique, le phonographe, le téléphone, la pénicilline, etc., sont apparus à peu près à la même époque et résultaient d'initiatives isolées.

Au XXe siècle, en revanche, les techniques sont devenues complexes : la chimie, l'électronique, le traitement des matériaux et de l'énergie mobilisent des connaissances très variées, nécessitent des équipements industriels lourds et des capitaux importants. Par ailleurs, les produits ne peuvent plus être obtenus par une simple juxtaposition de techniques de base. Au contraire, ils nécessitent la mise en cohérence de nombreuses connaissances et procédés : un nouveau moteur fait nécessairement appel à l'électronique, utilise de nouveaux matériaux, recourt aux derniers développements de la micromécanique et du traitement des surfaces.

La mise au point d'un nouveau produit ou d'une nouvelle technique demande donc la collaboration de spécialistes issus de domaines variés. Cette multiplicité des compétences à mobiliser est parfois source de difficulté, mais représente aussi une chance : chacun des domaines concernés peut contribuer à améliorer et à perfectionner le projet en cours de développement, et l'innovation peut venir de tous côtés. De plus en plus les entreprises doivent donc assurer une veille technologique, c'est-à-dire surveiller les évolutions techniques, organisationnelles et commerciales en cours, et ce dans tous les secteurs qui pourraient avoir une influence sur les produits ou services qu'elles produisent ou les techniques qu'elles utilisent.

Invention et découverte

Duchamp situe l'invention par rapport à la découverte [Duchamp, 99] : si l'invention résulte d'un processus de recherche mené avec intention (par exemple, l'intention de trouver un nouveau mode de production d'énergie mécanique), la découverte est quant à elle beaucoup plus inopinée, bien qu'elle soit énormément favorisée par une situation de recherche, plus ou moins formelle, qui suppose un état d'esprit, une méthode, une activité expérimentale (par exemple, la découverte du principe d'Archimède). Joëlle Forest précise que le processus de découverte combine à la fois des éléments d'indétermination tels que la chance et des éléments assurant une convergence, comme l'utilisation de connaissances existantes, la ténacité et la rigueur expérimentale [Forest et al, 97].

Définir l'innovation n'est pas suffisant pour déterminer les moyens (modèles*, méthodes et outils) nécessaires à sa gestion. La pertinence de ces moyens dépend de leur adéquation au type d'innovation.

III.2. Typologies d'innovation

Bon nombre d'auteurs ayant traité de l'innovation ont voulu mieux cerner ses caractéristiques essentielles en développant des classifications. Nous avons retenu l'une des plus classiques qui est celle de P.Y. Barreyre [Barreyre, 81]. Il propose une typologie des innovations sur trois critères de classement :

- l'intensité de l'innovation,
- la nature intrinsèque de l'innovation,
- les caractéristiques du processus d'innovation*.

Classification fondée sur l'intensité de l'innovation

- Les innovations radicales (ou en rupture) modifient totalement les références habituelles. Elles sont couramment accompagnées d'une multitude d'innovations mineures ou relatives qui correspondent au processus d'apprentissage (ex : le disque compact).

- Les innovations variations (ou incrémentales) sont des innovations légères n'ayant pas d'impacts profonds mais néanmoins peuvent entraîner des conséquences financières importantes avec un risque* minime (ex : amélioration progressive des performances des moteurs d'automobile). Les innovations industrielles ne se caractérisent donc pas nécessairement par un contenu technique très novateur, et de nombreuses entreprises arrivent à innover sur des produits faisant appel à peu de technologies. Les innovations incrémentales sont importantes pour deux raisons [SESSIa, 99] : d'une part, elles contribuent à diffuser de meilleures technologies dans le tissu productif ; d'autre part, elles fournissent une clientèle aux entreprises les plus innovantes, ce qui soutient l'incitation à innover de manière radicale.

S.C.Johnson et C.Jones [Johnson et Jones, 57] proposent de définir des classes intermédiaires résultant de la combinaison de nouveauté du concept et de la technologie. Les différents niveaux d'intensité de l'innovation ainsi définis sont : traditionnel (T), simplement amélioré (A), perfectionné (P) ou totalement nouveau (N).

Classification des innovations fondée sur leur nature intrinsèque

Les principales natures d'innovation répertoriées sont les suivantes :

- *Innovations à dominante technique* : l'innovation porte sur de nouvelles matières, de nouveaux produits, de nouveaux composants, de nouveaux procédés, etc. C'est, par exemple, l'apparition du disque compact. Utterback et Abernathy [Utterback et Abernathy, 75] et Hage [Hage, 87] suggèrent de distinguer particulièrement les innovations produits et les innovations procédés. J.Broustail et F. Fréry [Broustail et al., 93] précisent l'interdépendance entre ces deux types d'innovation, dans la mesure où l'innovation produit nécessite souvent de nouveaux procédés et inversement. Les innovations de procédé portent sur les techniques de conception et de fabrication mais n'affectent pas nécessairement le produit réalisé : quand un fabricant d'automobiles se dote d'installations robotisées et automatisées, les véhicules ne changent pas pour autant, ils sont simplement fabriqués dans des délais plus courts et à un coût moindre.
- *Innovations à dominante commerciale* : nouveau mode de distribution d'un produit, nouvelle présentation d'un produit...
- *Innovations à dominante organisationnelle* : nouvelles structures de management de projet, nouvelle organisation des ateliers, nouvelles relations client/ donneur d'ordre/ fournisseur. MacDonald's a innové en organisant rationnellement une chaîne de restaurants bon marché au service rapide.
- *Innovations à dominante socio-institutionnelle* : instauration de nouvelles normes.

Le SESSI [SESSIa, 98] distingue quant à lui les catégories suivantes :

- innovation produit, il convient de distinguer les améliorations substantielles (référentiel existant dans l'entreprise), les produits nouveaux pour le marché (pas de référentiel), les produits nouveaux pour l'entreprise (un référentiel existe hors de l'entreprise),
- innovation de procédé, on distingue les améliorations substantielles (un référentiel existe) et les nouveautés (pas de référentiel connu ou accessible). On distingue en outre les innovations de conditionnement, qui sont à la fois des innovations de produit et de procédé,
- innovation organisationnelle, on distingue les innovations organisationnelles pures (seule l'organisation interne est modifiée, sans que cela soit perceptible de l'extérieur) des innovations organisationnelles globales (visibles de l'extérieur car incluant

l'innovation commerciale, de communication, logistique...). On mentionne par ailleurs deux axes possibles pour l'innovation organisationnelle : l'action verticale (en général simplification des niveaux de hiérarchie) et l'action horizontale (amélioration de la communication au sein des niveaux).

On peut remarquer qu'en réalité la frontière n'est pas toujours très marquée entre ces différents types innovations. Fréquemment l'innovation technologique engendre l'innovation organisationnelle (l'informatique au service des banques : prélèvement automatique sur compte bancaire); la réciproque peut être vraie : certains changements organisationnels favorisent l'éclosion de l'innovation technique [Barreyre, 81]. Il arrive également qu'une innovation commerciale succède à une innovation technique (le commerce électronique sur Internet).

Une innovation peut donc induire d'autres innovations, de natures et de degrés d'innovation identiques ou différents. Le schéma ci-dessous représente les enchaînements possibles d'innovations (selon nos informations actuelles) (figure 1.3).

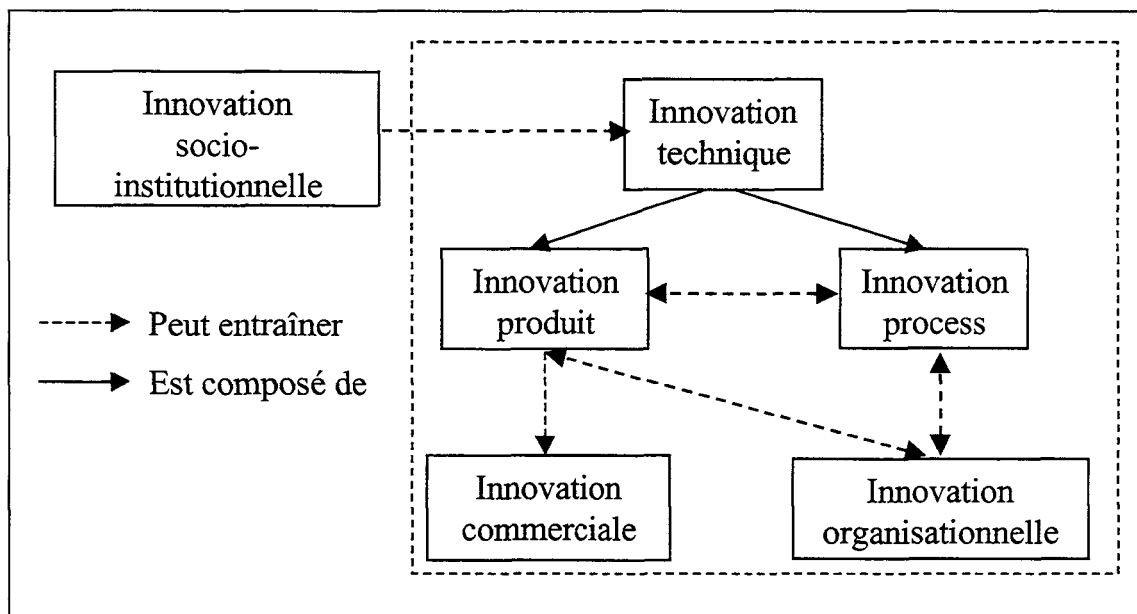


Figure 1.3 : Impacts possibles des innovations

Le Minitel en est un exemple significatif. Sa réussite a nécessité d'innover simultanément dans des registres fort différents (cf. figure 1.4).

Les premiers domaines concernés étaient scientifiques et techniques, l'innovation consistant à imaginer et à réaliser des banques d'informations consultables via le téléphone.

Mais, pour que le procédé se développe, il fallait résoudre un problème d'ordre industriel : concevoir et fabriquer des terminaux d'un prix modeste comparativement à celui des ordinateurs de l'époque.

Ensuite, pour convaincre les utilisateurs potentiels de se doter de ces terminaux, il a été nécessaire d'innover commercialement en les distribuant gratuitement au départ.

Enfin, pour stimuler le développement du trafic, un mode original de facturation a été créé, le «kiosque 3615 ». Il permet d'utiliser tous les services disponibles sans que le consommateur ne soit obligé, a priori, de s'abonner à ces services.

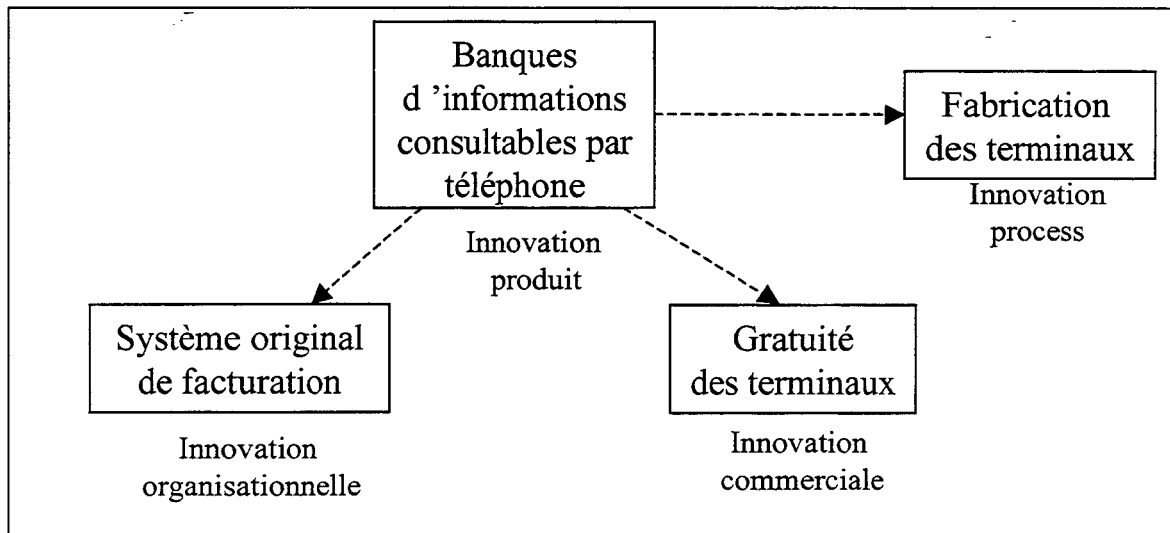


Figure 1.4 : Impacts du Minitel

Le succès du Minitel a donc résulté d'une idée originale, mais aussi de la conjugaison d'innovations scientifiques (en matière informatique et électronique), techniques et industrielles (la fabrication des terminaux), commerciales (gratuité des terminaux) et d'organisation (système original de facturation).

Classification fondée sur les caractéristiques du processus d'innovation

Les principales caractéristiques retenues par P.Y. Barreyre [Barreyre, 81] sont :

- le mode d'émergence de l'innovation : innovations en réponse à un manque ou à une menace, innovations opportunistes, innovations qui découlent d'un comportement proactif ou réactif,
- le mode de conduite de l'innovation : innovations programmées faisant l'objet d'une gestion prévisionnelle : définition de plans, de programmes, suivi budgétaire, coûtéance (gestion des projets par les coûts [AFNOR, 94]) ; ou innovations non programmées laissant place à l'improvisation, et à l'intuition [Knight, 67],
- l'objectif de l'innovation : d'un point de vue stratégique, l'entreprise est soit innovatrice (crée des innovations comme ce fut le cas pour Mercedes avec l'Airbag) ou elle est suiveuse (crée des innovations à caractère imitatif comme c'est le cas des entreprises suivant la firme Mercedes en installant des Airbags dans leurs véhicules). Certaines entreprises sont passées maître dans l'art des imitations [Ansoff et al., 67].

Après avoir précisé les concepts de découverte, d'invention et d'innovation et présenté une typologie des innovations, nous montrons dans la partie suivante le rôle et l'importance de l'innovation dans le contexte industriel actuel.

IV. Rôle de l'innovation dans la compétitivité actuelle

IV.1. L'innovation dans le contexte actuel

Cooper et Bellon affirment que les entreprises qui n'innovent pas ou qui échouent dans leurs développements de produits nouveaux disparaissent irrémédiablement [Cooper, 98], [Bellon, 97]. L'augmentation des innovations permet notamment de :

- répondre aux nouveaux besoins des consommateurs,

- proposer une gamme de choix de produits et de services plus importants,
- augmenter la qualité et la fiabilité des produits existants,
- réduire les coûts,
- observer les règles du respect de l'environnement,
- améliorer les performances des diverses fonctions* de service* qu'offrent les produits...

La création d'innovations est une solution à la situation de concurrence soutenue susceptible d'apporter aux entreprises un avantage compétitif, par rapport à leurs concurrents, en terme de coût, d'image, de valeur...

Elle nécessite cependant pour les entreprises un investissement non négligeable.

Ceci est d'autant plus vrai pour les PME qui n'ont parfois plus que ce seul moyen de faire face à la concurrence en offrant des produits ou services spécifiques pour échapper à une comparaison sur le seul prix de vente [Boly et Romon, 99]. L'innovation est un enjeu stratégique majeur pour les PME qui se trouvent dans un contexte caractérisé par la réduction du cycle de vie des produits, la réduction des délais de mise sur le marché, la concurrence accrue et l'impact croissant des conditions de conception sur la rentabilité.

IV.2. L'intérêt des entreprises pour l'innovation

Les entreprises innovantes

Selon le SESSI [SESSIb, 98], 35 % des entreprises française ont innové entre 1994 et 1996. Les objectifs importants de l'innovation technologique dans l'industrie (figure 1.5) sont pour 57,8 % (des entreprises innovantes) de conquérir de nouveaux marchés puis d'améliorer la qualité des produits, d'élargir la gamme de produits, de renouveler des modèles obsolètes,... et pour seulement 11,8 % de réduire les atteintes à l'environnement [SESSIc, 98].

En période de croissance en France, c'est l'innovation produit qui prédomine ou l'innovation de procédé. Dans le secteur automobile 44,2 % des entreprises innovent sur les produits, 38,3 % sur les procédés, 46,7 % sur l'un ou l'autre, ce qui montre que les deux aspects sont fortement corrélés. Une innovation de procédé s'accompagne souvent d'innovation organisationnelle.

La domination des innovations produit et procédé en période de croissance laisse supposer que ce sont ces types d'innovation qui sont surtout porteurs de valeur, et que les autres (innovations organisationnelles par exemple) sont peut être d'avantage porteuses d'économies.

En 1996, les entreprises innovantes ont consacré près de 6% de leur chiffre d'affaires à l'innovation, dont les deux tiers à la recherche en interne. Les entreprises du secteur automobile, (entreprises très innovantes), consacrent 4,2% de leur CA à l'innovation, soit 9,15 ME par entreprise innovante, contre 3,66 ME pour le secteur des biens d'équipement [SESSIa, 98].

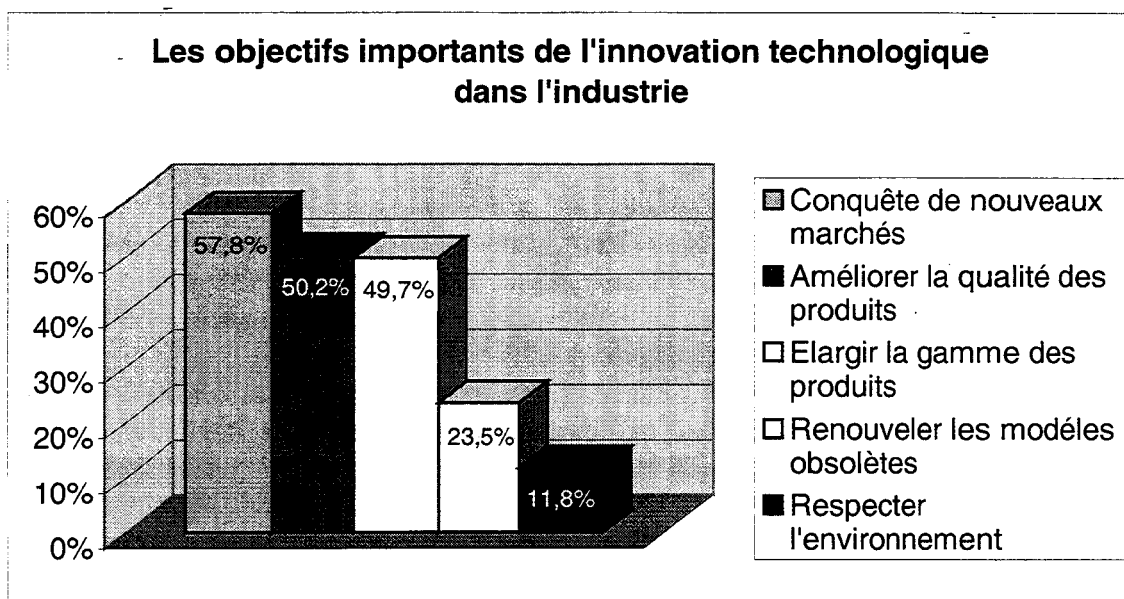


Figure 1.5 : Les objectifs importants de l'innovation technologique dans l'industrie [SESSIa, 98]

Investissement pour l'innovation

Les dépenses liées à l'innovation sont multiples. Elles comprennent notamment [SESSIa, 98]:

- la recherche et le développement expérimental (R&D), qui englobent les travaux de création entrepris de façon systématique en vue d'accroître la somme de connaissances ainsi que l'utilisation de cette somme de connaissances. Les entreprises consacrent une part de leur budget, de plus en plus importante, aux activités de recherche et développement. Elles considèrent leur capacité à renouveler leurs techniques et leurs produits comme une arme économique déterminante. Elles y consacrent des sommes et des moyens croissants : jusqu'à 25 % de leur chiffre d'affaires pour les grandes entreprises de l'aéronautique, et plus de 50 % du personnel dans l'industrie pharmaceutique,
- l'acquisition de machines et d'équipements (incluant les logiciels incorporés),
- l'acquisition d'autres technologies extérieures (brevets, licences, modèles et services informatiques, ...),
- la conception industrielle (plans et dessins, spécifications de produits, caractéristiques de fonctionnement, ...) et les préparatifs de la production (procédures de production et de contrôle qualité, méthodes et normes de fabrication, ...),
- la formation, incluant les dépenses internes et l'acquisition de services de formation extérieure,
- la commercialisation (études de marchés, publicité, frais de lancement des produits).

Une étude portant sur un échantillon de 5000 entreprises implantées en France et caractéristiques de tous les secteurs d'activités, montre que 75% des firmes qui investissent innovent, contre seulement la moitié de celles qui investissent peu [SESSIa, 98]. Une analyse des différents témoignages montre que les dépenses en capital durant le processus d'innovation sont importantes au début du processus. Mais d'autres investissements sont ensuite nécessaires si des débouchés sont confirmés pour le produit,

notamment un investissement matériel pour assurer une production à plus large échelle. Quand le produit est éprouvé sur le marché, il est nécessaire d'investir en innovations de procédés. En phase de pleine expansion, on poursuit les dépenses matérielles et dépenses de formation en vue de rationaliser la production et de maîtriser les coûts. Enfin, dès l'apparition de concurrents, le produit tend à se banaliser ce qui fait baisser le prix de vente.

Dans un contexte économique et concurrentiel en évolution permanente, les entreprises doivent donc innover de façon fréquente et régulière. L'innovation est un atout décisif, la conception et le développement d'innovations sont devenus, par conséquent, des fonctions prépondérantes dans les entreprises. Nous présentons dans le paragraphe suivant l'importance de la conception dans ce contexte de compétition puis les risques et les difficultés liés à la conception innovante.

V. La problématique de l'innovation en conception

V.1. La conception innovante

Évolution de la conception

Vers la fin des années 80, la conception (Engineering Design) est reconnue comme jouant un rôle fondamental dans les processus d'innovation et dans la compétition industrielle entre les entreprises et entre les nations. Elle est le moteur de l'innovation produit. De nouvelles méthodes apparaissent : Concurrent Engineering (Ingénierie Concourante), Simultaneous Engineering (Ingénierie Simultanée), Design for Manufacturing (Conception pour la Fabrication), Design for Assembly (Conception pour l'Assemblage), Design for Maintenance (Conception pour la Maintenance), Design for Marketability (Conception pour la Commercialisation), Design for Quality (Conception pour la Qualité), etc. Ces nouvelles méthodes de conception révèlent que la conception/développement de nouveaux produits relève de plus en plus d'une coopération élargie avec d'autres fonctions (production, marketing, qualité, R&D,...) au sein de l'entreprise ou autres organisations partenaires [Perrin, 99]. Mener à bien une innovation consiste à réussir à faire travailler ensemble des personnes issues de toutes les composantes d'une entreprise. « La conception innovante apparaît comme un contexte de communication élargie et de négociation entre les logiques hétérogènes des différents spécialistes- métiers participant » [Midler, 96]. L'innovation est une action collective. On parle alors de création d'intelligence collective.

L'ingénierie simultanée [Bourdichon, 94], [Jagou, 93] permet à l'entreprise de réduire le temps de conception d'un produit et donc de se placer plus rapidement sur des marchés devenus très versatiles (Time To Market). L'idée maîtresse réside dans la mise en place d'une collégialité de la conception, permettant d'utiliser et de coordonner de façon optimale l'ensemble de ses ressources humaines et techniques [Voss et al., 91], où tous les acteurs sont présents à tout moment, envisageant les conséquences des prises de décision collectives. Ce nouvel agencement est représenté sur la figure suivante (figure1.6) [Gordon et al., 88].

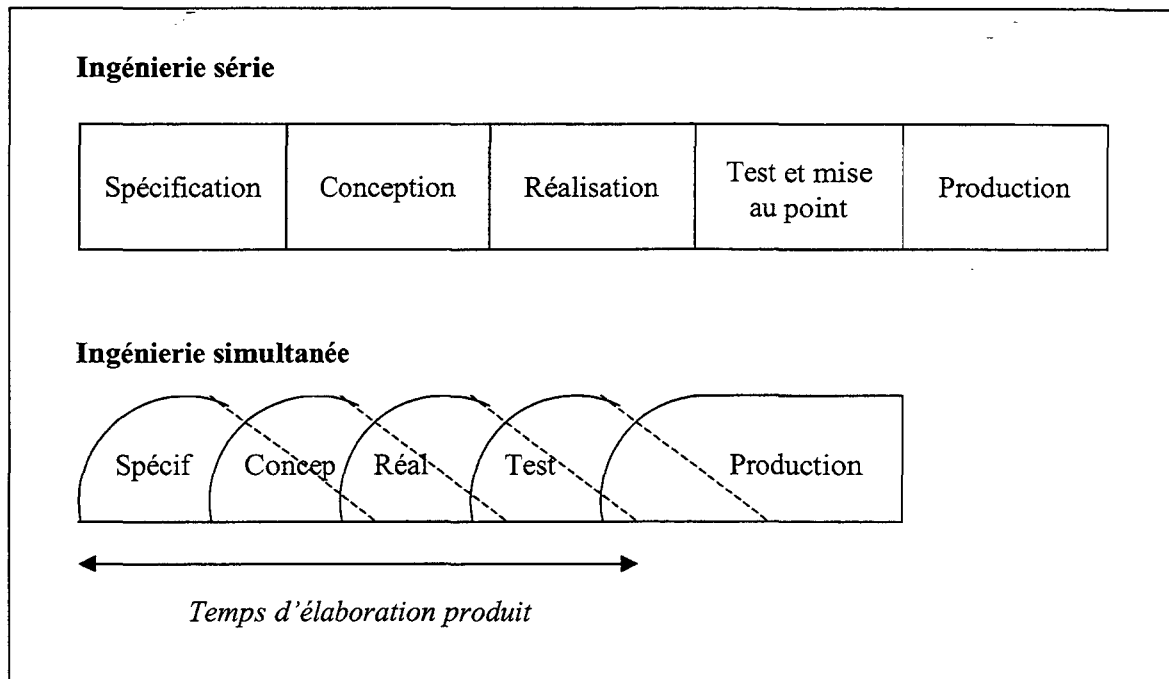


Figure 1.6 : Ingénierie série et simultanée

Les méthodes de conception d'un produit sont en très forte évolution depuis qu'elles représentent un facteur primordial de la compétitivité. La conception linéaire ou série a fait place au concept de conception parallèle, ou simultanée [Kusiak, 93] pour tendre vers la notion de conception intégrée [Tichkiewitch, 96].

Importance de la conception

Jacques Perrin a mis en évidence le rôle stratégique des activités de conception [ECOSIP, 99]. Il cite notamment le rapport *Made in America* (1990) dont les auteurs imputent au développement insuffisant des activités de développement / conception de produits la principale cause de la perte de compétitivité subie par les entreprises américaines durant la décennie 80. Plus précisément, c'est par leur incapacité à introduire sur le marché des produits simples, fiables, compétitifs et innovants que l'on explique le déclin de pays ayant pourtant les plus grandes capacités en terme de recherche fondamentale.

Même si toutes les activités de conception n'aboutissent pas forcément à des innovations dites « radicales », toutes les disciplines scientifiques sont d'accord sur le fait qu'elles sont du ressort de la créativité, en tant qu'activité de résolution de problèmes [Simon, 95], ou de construction d'une représentation d'artefact satisfaisant des contraintes diverses et variées [Mostow, 85], [Stephanopoulos, 89], [Darses, 94].

La conception doit toujours être innovante afin que l'entreprise soit compétitive, même si l'innovation qui en résulte est peu perceptible et entre dans la catégorie des innovations dites « incrémentales ».

Cependant, l'innovation entraîne l'apparition de nouveaux problèmes. Une innovation peut produire des effets en chaîne. Concevoir et lancer un produit nouveau sur le marché, c'est prendre un risque important. Il existe en effet une forte incertitude sur les attentes du marché, sur la réactivité des concurrents, sur les modifications à réaliser sur le produit et

les processus (en phase de conception, fabrication, commercialisation, utilisation et recyclage). Une erreur de conception peut être lourde de conséquences pour l'entreprise si le produit proposé ne correspond pas aux attentes des clients ou s'il implique trop de dépenses.

Nous présentons au paragraphe suivant les risques liés à l'innovation.

V.2. Les risques liés à l'innovation

S.Fernez-Walch [Fernez-Walch, 91] propose une liste des risques que l'on rencontre plus particulièrement dans un projet d'innovation :

- les risques liés au développement (conception, procédé de fabrication, procédé de conditionnement,...),
- les risques industriels (liés à des critères financiers, de logistique, de formation, de non-respect des plannings),
- les risques organisationnels (perturbation de l'organisation existante durant et après le projet),
- les risques de mauvaise perception du besoin de l'utilisateur final, de concepts obsolètes ou trop en avance,
- les risques du marché (mode de distribution, nouveauté de marché),
- les risques de concurrence (effet de temps, obsolescence de la technologie),
- les risques de mauvaise image de l'entreprise,
- les risques de positionnement du nouveau produit par rapport au portefeuille de produits existants (cannibalisation,...).

Bellon ajoute les risques humains [Bellon, 97] :

- les risques de manque de personnel qualifié,
- les risques de non-adhésion au projet d'innovation.

En effet, par leur caractère même de nouveauté, certaines innovations déstabilisent les modes de fonctionnement et les manières de faire traditionnelles des entreprises. Aussi suscitent-elles des refus ou des réticences de la part de ceux dont l'existence et les habitudes sont perturbées. Ces résistances au changement s'expriment, sous des formes diverses et pour des motifs différents, à tous les niveaux hiérarchiques de l'entreprise.

Selon Liberatone et Stylianou la plupart des idées n'arrivent pas sur le marché. Ils affirment que seulement 14 % des innovations ont un succès réel [Liberatone et Stylianou, 95]. Le risque pris en innovant est donc très important.

Mais comment, dans ce contexte, maîtriser les changements ?, comment sauvegarder le capital d'expérience et de savoir-faire accumulé par tous les acteurs de l'entreprise qui constitue son atout majeur, son nouveau patrimoine ?. L'enjeu est dans la maîtrise* de cette pratique nouvelle, qui est aussi un nouveau mode de réflexion : le management de l'innovation.

Dans le paragraphe suivant nous présentons tout d'abord notre vision du management de l'innovation et les éléments à prendre en compte pour cette gestion puis nous terminons par une étude montrant l'état des entreprises dans ce domaine.

VI. Manager l'innovation

L'évolution économique actuelle rend le management des projets d'innovations de plus en plus d'actualité (cf.[Tomala et Sénéchal., 01e]). Plusieurs auteurs montrent qu'il est

nécessaire de mieux gérer les innovations dans le but d'augmenter leurs chances de succès [Cooper, 98], [Clark et Wheelwright, 95]. Différentes analyses montrent qu'une partie substantielle des coûts récurrents est engendrée par des décisions prises avant que les opérations ne débutent effectivement. En conséquence, un des objectifs importants du management des projets de conception et développement d'innovations est d'influencer les décisions sources de dépenses mais aussi sources de valeur durant le cycle de vie du futur produit.

Pour cela, il est nécessaire de garantir une parfaite adéquation entre un état donné du système technologique et les états des systèmes d'information et de décision correspondants. En d'autres termes, il s'agit de fournir aux décideurs une information complète, fiable et pertinente sur les conséquences de leurs décisions, afin de les évaluer. Plus précisément, il est nécessaire de mettre en exergue l'importance de l'information technico-économique pour l'évaluation de la performance des projets innovants, où « le rôle des experts économiques n'est plus de chercher les informations chez le technicien et de produire des résultats, dont il était souvent difficile de trouver à quelle réalité physique ils correspondaient. Il est maintenant nécessaire d'apporter aux techniciens les éléments méthodologiques propres à une intégration correcte de la perspective économique dans les débats techniques » [Bobroff et al., 93]. La perspective économique est à prendre au sens large (conformément à ce qui a été dit au paragraphe II.2 : 'Aspect multidimensionnel de la performance'), c'est-à-dire la prise en compte des coûts générés par la réalisation de l'innovation mais aussi de la valeur apportée, sur toute la durée du cycle de vie du produit, pour les multiples acteurs concernés par cette innovation.

De manière générale, les concepteurs doivent être conscients des conséquences de l'innovation sur le produit, l'entreprise, les fournisseurs, les partenaires, les exploitants, la société... dès le début de sa conception en termes de coût et de valeur sur l'ensemble de son cycle de vie afin de prendre les meilleures décisions possibles.

Les notions de cycle de vie, de coût global* ainsi que de valeur multi-acteurs sont à prendre en considération comme principaux critères pour l'évaluation des décisions prises au sein d'un projet d'innovation. Nous précisons ces notions dans le paragraphe suivant.

VI.1. Cycle de vie, coût, valeur et acteurs

Le cycle de vie

Nous considérons qu'une innovation ne peut être complètement définie en faisant abstraction de son usage et de sa valeur pour les multiples acteurs concernés par l'innovation. Le terme usage, tout d'abord, est ici à prendre au sens large, puisqu'il peut s'agir de l'usage dans le cadre de l'exploitation de l'innovation (utilisation et recyclage), mais aussi de l'usage amont, par exemple dans sa production. L'innovation évolue dans le temps, elle suit le cycle de vie de tout produit ou service et diffère selon les époques. Par conséquent, l'innovation doit faire l'objet d'une approche de type cycle de vie.

Le terme 'cycle de vie du produit' exprime l'idée qu'un produit se trouve dans différentes phases, sous différentes formes tout au long de sa vie. Les différentes phases du cycle de vie du produit sont [Petitdemange, 91] :

- l'avant projet, marketing,
- la conception,
- la production,
- la commercialisation,
- l'utilisation,
- le recyclage.

Le pilotage* économique d'un projet de conception et de développement d'une innovation suppose d'évaluer l'ensemble des conséquences des décisions de conception sur les coûts ainsi que sur les avantages retirés du produit nouveau. En matière d'évaluation des coûts, le concept de coût sur le cycle de vie du produit (life cycle cost ou coût global) permet de prendre en compte les conséquences des décisions de conception sur l'ensemble des coûts récurrents et notamment les coûts de production (dans une optique d'ingénierie concurrente). Le coût sur le cycle de vie consiste en «l'accumulation des coûts des activités qui surviennent au cours de l'intégralité du cycle de vie d'un produit, de sa conception à son abandon par le producteur et par le client» [Berliner et Brimson, 88].

Le concept de coût sur le cycle de vie peut comprendre les charges supportées par l'industriel ou, de manière plus large, celles supportées par l'industriel et l'utilisateur du produit nouveau. Cette double perspective peut être représentée de la manière suivante (cf. figure 1.8).

Coût global dans l'optique du producteur :	Coût de possession utilisateur :
Coût de développement + Coût d'industrialisation + Coût de production + Coût de distribution + Coûts après-vente	Coût d'acquisition + Coûts annexes d'acquisition + Coût d'utilisation + Coût de maintenance + Coût de fin de vie

Figure 1.8 : Décomposition du coût global selon Gormand [Gormand, 95]

L'évolution du coût sur le cycle de vie d'un produit est traditionnellement présentée par les schémas suivants (figure 1.9) où l'on distingue la courbe des coûts engagés sur le cycle de vie de la courbe des coûts constatés (dépenses réelles). Ces schémas illustrent l'importance de la phase de conception par rapport au coût global. On estime en général que 70% à 80% des coûts de réalisation (industrialisation et production) d'un produit sont engagés par les choix effectués en phase de conception, alors que l'incidence du coût de cette phase n'est que de 5% à 10% du coût global du produit [Petitdemange, 91]. Les erreurs de conception sont progressivement plus onéreuses à corriger au fur et à mesure que la phase de développement se déroule. Il n'est jamais ni facile ni économique de changer la conception d'un produit alors que la production a commencé [O'Connor, 91].

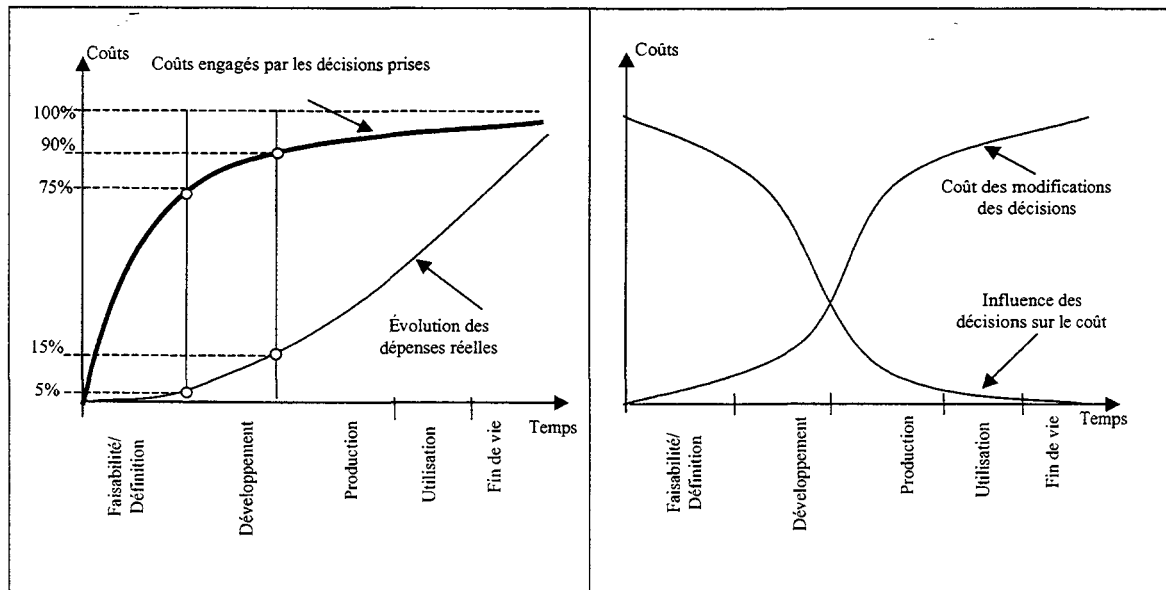


Figure 1.9 : Les coûts dans le cycle de vie

Dans le domaine automobile, quelques éléments du coût d'utilisation comme la consommation ou la prime d'assurance sont retenus dans les choix de conception, mais le coût d'utilisation et le coût de recyclage ne sont pas des informations clés pour les concepteurs à cause des difficultés à élaborer des modèles d'usage [Tomala et al., 00a].

Or, les décisions sont prises en comparant un coût et une recette. Actuellement, le coût retenu pour ces arbitrages se limite au prix de revient de fabrication. Mais rien n'indique que le coût global de la solution retenue permettra toujours d'assurer la rentabilité du véhicule sur l'ensemble de son cycle de vie.

La prise en compte du coût d'utilisation au moment de la conception du véhicule est devenue indispensable. En effet, le coût d'usage d'une voiture est maintenant un critère d'achat pour le consommateur. Ainsi, une économie sur le coût d'utilisation peut être valorisée comme une prestation* offerte au client. Dans le même ordre d'idée, la valeur de revente des véhicules d'occasion est aussi un élément perçu par le client (il est prêt à payer plus cher un véhicule qu'il pourra revendre à un bon prix). Par ailleurs, la prise en compte des contraintes de l'après vente oriente les réflexions sur le coût d'utilisation et son impact sur la conception. Par exemple, réduire le coût des réparations suppose d'utiliser de nouveaux matériaux (fiabilité) ou encore de concevoir le montage des éléments du moteur de façon à ce que les pièces à réparer soient facilement accessibles (maintenabilité).

Le montant de l'assurance est également un poste important du coût d'utilisation. La conception doit donc satisfaire aux critères des assureurs pour mettre à disposition des clients des véhicules dont l'assurance est peu coûteuse. Nous signalerons à titre d'exemple les cas de l'Allemagne et de la Grande Bretagne, où les primes d'assurance sont fonction des caractéristiques techniques des véhicules (résistance aux chocs, sécurité, protection contre le vol...). Une évolution dans ce sens est probable dans toute l'Europe.

L'analyse de l'introduction d'une innovation doit donc prendre en compte l'ensemble des conséquences sur le cycle de vie en terme de coût mais aussi en terme de valeur pour l'ensemble des acteurs liés à l'innovation. En effet, comme le précisent Fernez-Walch et Bellon (cf. paragraphe V.2) les risques ne sont pas uniquement économiques mais

concernent également la valeur que leur attribuent les acteurs touchés de près ou de loin par l'innovation (risques de mauvaise perception du besoin de l'utilisateur final, de concepts obsolètes ou trop en avance, du marché (mode de distribution, nouveauté de marché), de mauvaise image de l'entreprise, de manque de personnel qualifié, de non-partenariat des employés ou des fournisseurs au projet d'innovation...).

La valeur et les acteurs

L'un des principaux objectifs de la conception innovante est de créer de la valeur par l'intermédiaire de produits ou de services faisant l'objet de cette conception. Partant de cette problématique, il est raisonnable de poser l'hypothèse selon laquelle l'ensemble des objectifs du processus de conception peut être résumé par une finalité unique qu'est *la fourniture au client d'un produit de valeur maximale* [Sénéchal, 99], sachant que les notions de valeur et de client sont à prendre au sens large, conformément aux définitions que nous donnons plus loin. Plus une entreprise est capable d'intégrer le client dans son processus de conception / réalisation, plus elle est en mesure de limiter le décalage entre son produit et l'attente de son client. En réduisant l'écart entre l'attente du client et son offre, l'entreprise accroît la valeur attachée à ses produits.

Définitions

Il faut garder à l'esprit que la seule raison de l'existence d'un produit ou d'un service est la valeur dont il est porteur. Qu'il soit interne (perçu par l'entreprise) ou externe (perçu par le client, par le marché, par la société), c'est toujours au degré de satisfaction généré par le produit que l'on comparera les coûts pour juger de sa pertinence. Or, comme le souligne Philippe Lorino, la valeur exige la rencontre de deux entités physiques : des clients et des produits, et la rencontre de deux notions plus abstraites portées par ces entités physiques : des besoins portés par les clients et des prestations portées par les produits, satisfaisant à ces besoins [Lorino, 97]. Dans le cadre du management de l'innovation, ceci consiste à estimer, à chaque fois qu'une décision est à prendre à propos de l'innovation, les deux éléments suivants :

- le niveau d'adéquation de la (ou des) prestation(s) générée(s) par cette décision, avec les besoins réels (exprimés ou implicites) des clients (vision fonctionnelle de la valeur [NF X 50-150]), qui peut être traduit monétairement (vision financière de la valeur [Lachnitt, 94])
- le rapport entre ce niveau d'adéquation (que l'on appellera valeur) et l'ensemble des coûts générés sur tout le cycle de vie du produit support de l'innovation.

Concernant le premier point, la difficulté repose sur l'appréciation de la valeur : comment juger de l'adéquation d'une prestation qu'on ne connaît pas encore (puisqu'il s'agit d'une innovation) avec un besoin, avec quelle échelle de mesure, et comment la traduire financièrement ?

Pour le second point, se pose également le problème de méconnaissance du futur et donc des coûts qui pourraient être générés lors des phases d'usage et de recyclage. Mais encore faut-il que ces coûts concernent des éléments porteurs de valeur, or les pratiques courantes (analyse de la valeur* d'une part et comptabilité analytique d'autre part) consistent à considérer que la valeur est portée par les fonctions du produit, alors que les coûts le sont par les ressources utilisées pour sa conception, sa production, son utilisation ou son recyclage.

La valeur est définie, dans la norme AFNOR, comme « le jugement porté sur le produit par l'utilisateur sur la base de ses attentes et de ses motivations, exprimé par une grandeur qui croît lorsque, toutes choses égales par ailleurs, la satisfaction du besoin de l'utilisateur augmente et/ ou que la dépense afférente au produit diminue » [NF X 50-150]. La valeur constitue un jugement sur l'adéquation de l'usage fait de l'innovation, aux besoins relatifs aux éléments de son environnement. Nous rejoignons sur ce point la proposition de Lorino sur les relations entre produit/ prestation et besoin/ client [Lorino, 97], en confondant les notions de prestation et d'usage.

Ce jugement résulte d'une observation objective, le jugement porté par l'utilisateur en fonction de l'utilité qu'il retire du produit (la valeur d'usage) et d'une évaluation subjective, la considération affective que l'utilisateur attache au produit (valeur d'estime). Lorsqu'il n'est pas, ou pas encore possible de connaître les attentes et motivations de l'utilisateur même, ils sont exprimées par ceux qui ont mission de le représenter. Cette grandeur implique une relation entre satisfaction et dépense, plus communément dénommée « rapport qualité/ prix ». Cette relation traduit le caractère à la fois fonctionnel et économique de la démarche. Par « dépense afférente au produit », on peut entendre soit le coût d'acquisition (prix + dépenses annexes) ou le coût global, considéré par l'acheteur ou l'utilisateur, soit le coût considéré par l'industriel.

La valeur globale

La valeur n'est pas uniquement celle perçue par le client ou par les actionnaires comme le précise Denis Neveu « La création de valeur doit être prise dans un sens plus large que la satisfaction des actionnaires. Autour de cette notion porteuse de quatre sens, se construit l'entreprise de demain. Les quatre valeurs de cette entreprise sont : la valeur financière pour les actionnaires, la valeur humaine pour le personnel, la valeur sociétale pour l'environnement, la valeur pour le client, qui conditionne les trois autres » [Neveu, 00]. Cette nouvelle définition de la valeur s'inscrit dans les nouvelles orientations politiques de développement durable qui ont pour but de tenir compte de l'intérêt des générations futures lors de la conception et de la réalisation d'un système.

Les propos de Neveu suggèrent de considérer que la valeur pour le client n'est pas forcément la seule valeur produite par l'entreprise. En effet, l'entreprise elle-même, dans sa globalité, fait partie des clients de la conception, de par la valeur qu'elle va lui apporter (augmentation de chiffre d'affaire, amélioration de l'image de marque, gain d'une nouvelle part de marché, nouveaux savoir-faire). La vision interne de la valeur correspond à celle des dirigeants de l'entreprise. Elle traduit la contribution d'un processus à la réalisation de la stratégie en termes de création ou de développement de savoir-faire et d'utilisation de ressources des activités.

Les clients sont aussi les différents acteurs qui interviendront en aval du cycle de vie du produit ou du service, que ceux-ci fassent partie ou non de l'entreprise, avec autant de points de vue sur la valeur que de métiers représentés (fabricants, assembleurs, commerciaux, distributeurs, recycleurs...). La relation fournisseur- client n'est donc pas nécessairement contractuelle mais le client est toujours en position de demandeur, d'utilisateur et d'évaluateur de valeur. La valeur est toujours relative à une personne ou un groupe de personnes spécifiques.

En terme de valeur interne à l'entreprise, la décision d'utiliser un nouveau matériau, par exemple, pourra favoriser la réalisation de la stratégie en termes de création ou de développement de savoir-faire. Elle impliquera la mise en œuvre de processus de

formation générateurs de valeur pour l'entreprise et pour son personnel [Dupouy et al., 99]. Cependant, certains pourront percevoir cette innovation comme une génération de dégradation de leur valeur : les technologues spécialistes des matériaux traditionnels qui pour diverses raisons refuseront les formations, les directions fonctionnelles de l'entreprise qui, parce qu'une structure de projet de type « task force » est mise en place, perdent potentiellement leur autorité sur leur personnel... Du point de vue externe, s'il est évident que l'impact le plus fort sera sur la valeur écologique du produit, il ne sera certainement pas négligeable sur la valeur économique et sociale, si le matériau choisi implique le développement de réseaux d'entreprises de démantèlement et de recyclage (création d'emplois, développement de nouveaux métiers...).

Les relations de valeur

Le périmètre organisationnel du cycle de vie d'une innovation est très vaste, et caractérisé par des niveaux de coopération d'intensités variées. Au-delà du classique triptyque fournisseurs – donneur d'ordres – clients, ce périmètre peut se limiter à un ensemble d'acteurs intervenant plutôt séquentiellement et formant une « chaîne » de valeurs (cf. le concept de chaîne de valeur développé par Porter [Porter, 86]). Il peut s'étendre à un ensemble d'acteurs liés par des partenariats plus complexes formés autour de processus simultanés (notions d'entreprise étendue et plus généralement de « réseaux » d'acteurs).

Mais les acteurs ayant un point de vue sur la valeur, et ayant à supporter des coûts relatifs à l'existence de l'innovation ne se limitent pas aux acteurs impliqués dans une relation de partenariat : on se situe en fait dans un périmètre d'acteurs touchés plus ou moins directement par l'existence de l'innovation, formant ce que l'on pourrait appeler une « constellation d'acteurs » [Normann et al., 93] au sein de laquelle existent des coopérations d'intensités variées. Ces niveaux de coopération étant représentés par différentes « orbites » autour du donneur d'ordre. Le schéma suivant (figure 1.10) représente la constellation d'acteurs définie par Pierre Mévellec dans le cas de l'industrie automobile [PROSPER, 99].

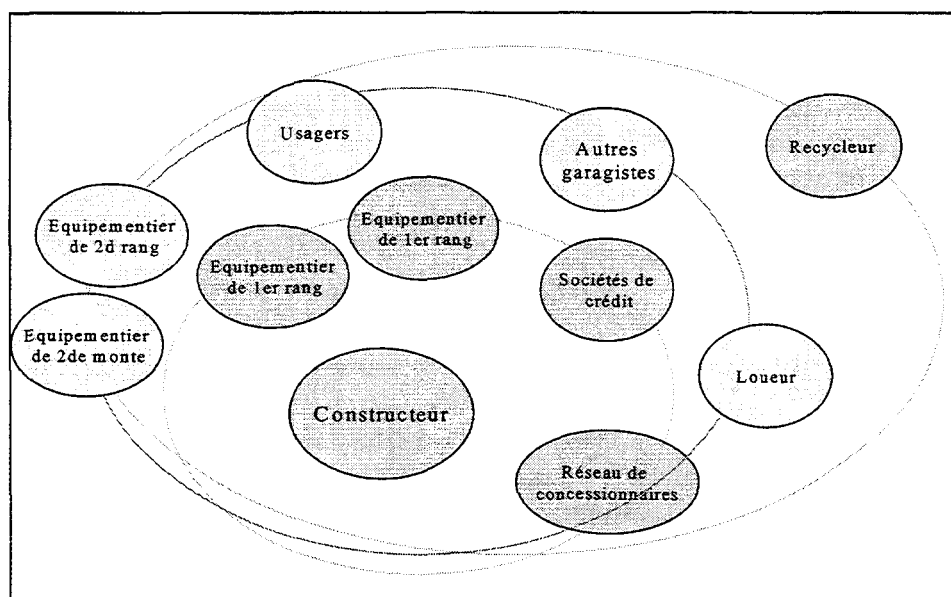


Figure 1.10 : La constellation d'acteurs d'une innovation (Mévellec).

La valeur se co-construit et circule au sein de la constellation d'acteurs au cours des transactions et il est ici délicat de fixer un début et une fin au processus de création de valeur. Néanmoins, pour procéder à une évaluation, il est nécessaire de borner le périmètre. Ceci se fera par le repérage des impacts et la mise en œuvre d'une convention limitant le périmètre d'analyse aux impacts d'un certain niveau. Il devient alors possible de formaliser une relation gagnant-gagnant à partir d'une action sur l'un des facteurs d'interdépendance repérés. L'action sur le coût en amont pourra trouver sa contrepartie dans une action sur la valeur en aval.

L'innovation doit donc être considérée d'une manière globale, dans son environnement avec lequel elle a des interactions, car comme l'affirme N.Sechi : « le processus de développement de solutions innovantes est un processus particulièrement réactif à l'environnement »[Sechi et al., 01].

L'environnement de l'innovation, les éléments de base qui la composent et les relations entre ces éléments doivent être modélisés. Ce modèle permet par ailleurs de synthétiser l'ensemble des propos précédents.

VI.2. Modèle de l'environnement de l'innovation

L'élément de réponse que nous proposons aux préconisations faites précédemment est une représentation de l'environnement de l'innovation, et des types de relations qui sont associées aux éléments constitutifs de cet environnement (figure 1.11).

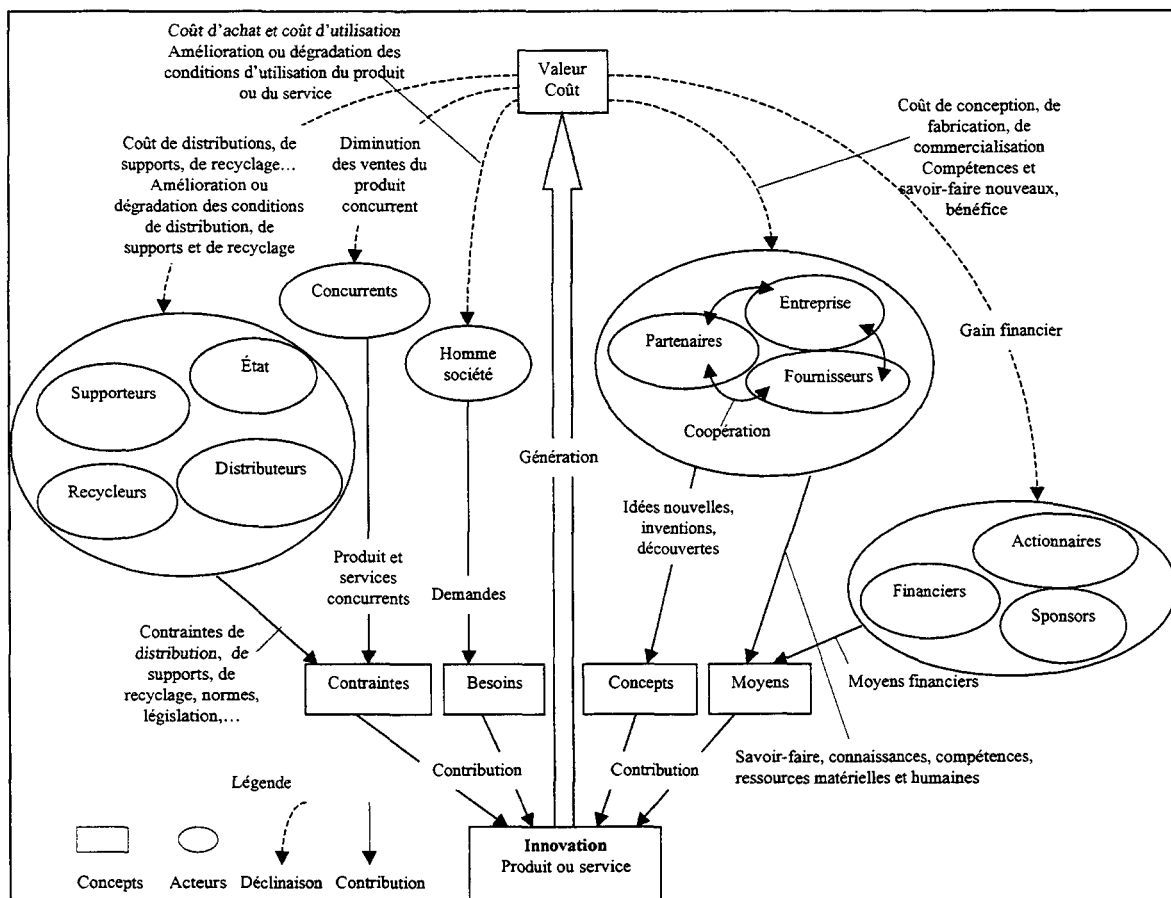


Figure 1.11 : L'environnement de l'innovation

La valeur créée par une innovation est déclinée de différentes manières suivant les acteurs (concurrents, homme...) ou groupe d'acteurs (entreprise, partenaires, fournisseurs) concernés par l'innovation. En effet, elle se concrétise :

- chez les constructeurs (entreprise, fournisseurs, partenaires) : par des bénéfices ou des déficits mais aussi par de nouvelles connaissances, de nouveaux savoir-faire, de nouveaux marchés, une image de marque embellie ou dégradée,...
- chez les actionnaires : par des gains financiers,
- chez les distributeurs, supporteurs, recycleurs et état : par des améliorations ou dégradations de leurs conditions d'exploitation,
- chez les concurrents : par une diminution ou augmentation des ventes de leurs produits,
- chez le client (homme, société) : par des améliorations ou dégradations des conditions d'utilisation du nouveau produit ou service.

Les coûts générés par l'innovation sont également différents suivant les acteurs. On distingue les coûts de conception, de fabrication, de commercialisation (entreprise, partenaires et fournisseurs), les coûts d'achat et d'utilisation (homme, société), les coûts de distribution, de supports, de recyclage (distributeurs, supporteurs, recycleurs), constituant le coût global ou coût sur le cycle de vie.

Les divers acteurs que nous venons de présenter contribuent aux quatre éléments principaux composant l'environnement de l'innovation, ce sont : les moyens (techniques, humains, financiers), les concepts (idées, inventions, découvertes), les besoins et les contraintes.

Ces éléments contribuent à leur tour à la conception de l'innovation. En effet, l'entreprise coopère avec des partenaires et fournisseurs dans le but de développer une innovation. L'innovation est créée à partir d'idées nouvelles, d'inventions, de découvertes (les concepts) appliquées à une cible, elle est construite à l'aide de savoir-faire technique, commercial, de gestion, des connaissances, des compétences, des ressources matérielles et humaines de ces entreprises et financée par des actionnaires, financiers et autres sponsors.

Les facteurs politiques et environnementaux (normes, législations), les concurrents, les distributeurs, les supporteurs (acteurs supportant l'innovation lors de sa phase d'utilisation, par exemple : garagistes, pompistes dans le cas d'une innovation automobile) ainsi que les recycleurs ont des influences sur l'innovation par l'intermédiaire des contraintes qu'ils génèrent. L'innovation est mise sur le marché pour l'homme, pour la société, les facteurs sociologiques ont des impacts directs sur les besoins.

Ce modèle de l'environnement de l'innovation nous amène à proposer une nouvelle définition de l'innovation.

VI.3. Nouvelle définition de l'innovation

Nous proposons une nouvelle définition de l'innovation qui a pour but d'intégrer l'ensemble des concepts précédemment définis : « L'innovation est l'application d'une découverte, d'une invention ou d'une idée originale (création). Elle est développée à l'aide de divers moyens (connaissances, techniques, finances,...) dans le but de satisfaire des besoins explicites ou implicites de clients potentiels, en prenant en compte les

contraintes des multiples acteurs concernés par l'innovation. L'innovation crée de la valeur mais aussi génère des coûts sur l'ensemble de son cycle de vie ».

Le schéma suivant (figure 1.12) illustre cette définition en précisant que :

- le système original (produit, service, organisation,...) est le résultat d'une combinaison originale des éléments constituant son environnement,
- le système original apporte une nouveauté par rapport à l'existant. La satisfaction résulte de la comparaison entre cette nouveauté et les besoins. La satisfaction est enfin comparée au prix de vente (coût + marge de l'entreprise) afin de vérifier si ce système original apporte de la valeur ou non. Si ce système apporte de la valeur alors il sera reconnu comme étant une innovation, on parlera alors de succès comme pour la carte à puce par exemple.

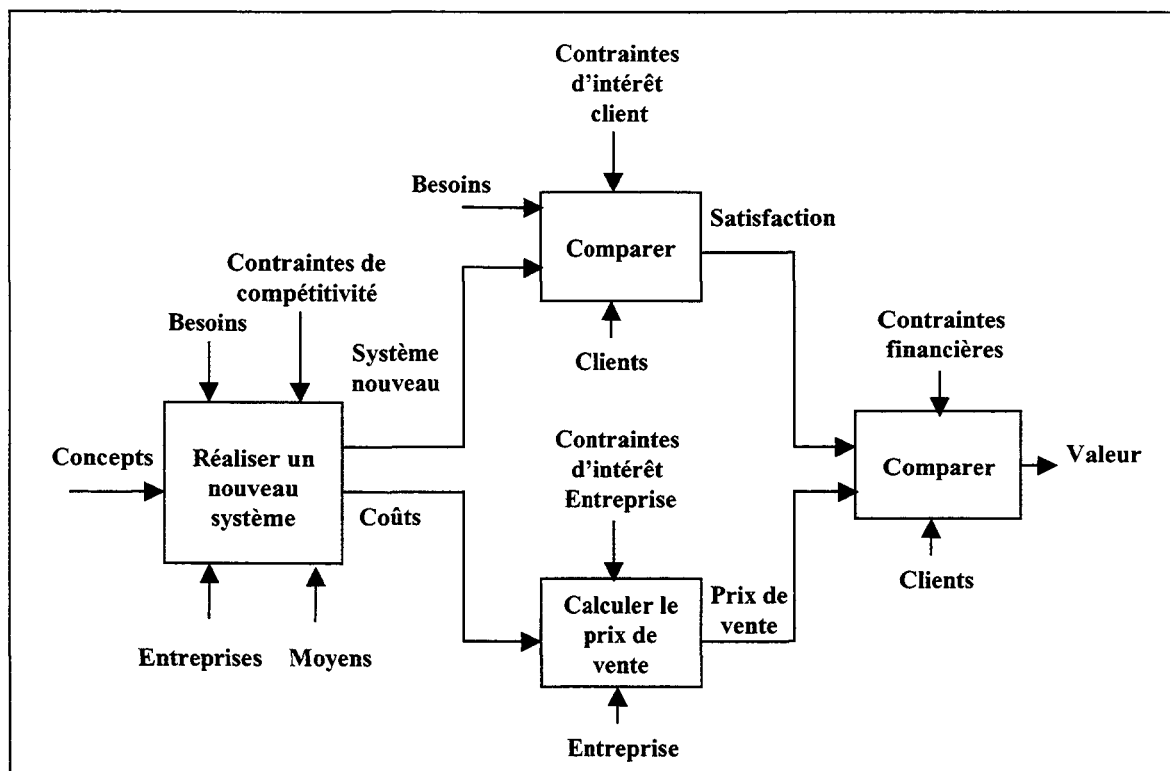


Figure 1.12 : Le processus de génération de valeur par l'innovation

Cette définition fait référence au processus qui génère l'innovation et à son évaluation.

Nous présentons dans une dernière partie une étude réalisée dans plusieurs entreprises françaises et une étude de la littérature montrant la manière dont les entreprises intègrent l'environnement global de l'innovation, son évaluation, les notions de coût, de valeur et de cycle de vie dans la gestion des innovations.

VI.4. Illustrations industrielles

Un travail de recherche a été réalisé au sein d'entreprises industrielles françaises (notamment le projet METACOG du programme de recherche CNRS PROSPER, mené en partenariat avec Renault) et complété par une étude de la littérature académique concernant l'intégration d'une innovation dans un environnement existant* [Tomala et

al., 00a], [Tomala et al., 00c], [Tomala et al., 00d]. Cette étude montre le manque de méthodes et d'outils à la disposition des entreprises, susceptibles de leur permettre d'améliorer les performances des innovations lors de la phase de conception. Les problèmes que nous avons constatés sont :

- peu d'informations sont capitalisées lors du développement (conception et mise en œuvre) de l'innovation aussi bien en ce qui concerne l'aspect technique que la gestion et l'état du marché (coût, valeur, acteurs). Les informations sont dispersées dans les différents services de l'entreprise,
- après la mise sur le marché de l'innovation, la capitalisation de connaissances, l'analyse sur les caractéristiques et les conséquences de l'innovation sur son cycle de vie, sont peu développées,
- seuls les coûts dépensés lors des deux premières phases du cycle de vie (conception et production) sont systématiquement calculés pour un projet nouveau,
- il n'existe pas de méthode systématique d'estimation* de la valeur accordée par le client à une innovation,
- la valeur est essentiellement centrée sur le client direct,
- le coût et la valeur sont mis en balance lors de la prise de décision, alors que ce sont des éléments de natures différentes,
- un nombre important d'idées demeurent à l'état conceptuel par manque d'informations fiables sur les conséquences de leur transformation en innovation,
- il existe une différence de vocabulaire entre les experts techniques et le client, ce qui amène une mauvaise interprétation des enquêtes effectuées et donc une mauvaise vision des besoins réels. De plus, les experts proposent parfois des améliorations de prestations qui ne sont pas toujours appréciées positivement par le client.

L'étude effectuée montre que les informations sur les innovations passées ne sont ni regroupées, ni analysées, ni triées, ni formalisées, or, comme le soulignent plusieurs auteurs, la capitalisation de connaissances dans l'entreprise est un enjeu important. Des approches orientées 'connaissance' centrées sur les processus d'acquisition et de production de l'expertise ont été développées [Leonard-Barton, 97], [Nonaka, 94], [Nonaka et al., 95]. Elles vont dans le sens du rapport rédigé dans le cadre de l'OCDE sur 'Les économies basées sur la connaissance'. Ce rapport souligne le fait que la connaissance est la principale source de valeur et de croissance [Foray et Lundvall, 95]. Hatchuel et Weil [Hatchuel et al., 99] considèrent d'ailleurs que les principes génériques d'une organisation pour l'innovation ne peuvent être mis en œuvre qu'au travers d'une approche de 'conception collective' associant les principes du management de projet aux principes de la gestion de connaissances.

Nous pouvons résumer l'ensemble de ces constats par l'une des principales conclusions du projet METACOG déjà cité :

les décisions dans le processus d'innovation sont prises actuellement avec une visibilité incomplète sur l'ensemble des coûts du cycle de vie, erronée sur la prise en compte de la valeur et nulle sur la rentabilité de l'innovation. De plus, le déroulement du processus d'innovation est peu ou mal défini, ce qui exclut son pilotage efficace.

La maîtrise de l'innovation exige, d'une part, la connaissance du processus d'innovation et, d'autre part, une connaissance suffisante des conséquences de son introduction sur le marché.

Par conséquent, la conception innovante appelle de nouvelles méthodes visant la maîtrise des risques inhérents à la mise sur le marché des innovations. Il est important que les concepteurs aient une vision globale des effets des décisions prises concernant une

innovation dès le début de sa conception. Il est important également qu'ils aient une connaissance approfondie et détaillée du processus d'innovation pour réaliser un meilleur pilotage de celui-ci : limiter les risques d'erreurs, les retards, les retours en arrière, augmenter les chances de succès d'une innovation et les services associés dans un souci constant de moindre coût.

Conclusion

Dans cette première partie nous avons montré qu'actuellement les entreprises se heurtent à un défi permanent et sont à la merci de changements de leur environnement qui déstabilisent leur équilibre. Les entreprises sont tenues à des choix stratégiques qui sont de véritables enjeux de survie. L'avantage comparatif des coûts et des prix ne suffit plus pour gagner des marchés. La conquête de ces marchés repose sur la nouveauté des produits, sur leur adaptation à une demande toujours plus diversifiée et plus personnalisée, et leur valeur d'usage qui influence leurs valeurs économique et sociale. L'innovation apparaît comme un facteur décisif du développement de l'entreprise, dont elle est devenue une 'variable stratégique'. Aujourd'hui elle irrigue toutes les fonctions de l'entreprise, elle est transversale.

Cette évolution conduit à une nouvelle vision de la performance car de nouveaux objets de mesure* sont apparus (nouvelles organisations, nouveaux produits...). Elle devient plus que jamais multi-critères, multi-périodes et multi-acteurs et doit être évaluée dès la phase de conception.

De nouvelles méthodes d'évaluation de la performance en phase de conception sont donc nécessaires, et elles nécessitent de caractériser la performance dès la phase de conception. C'est l'objet du chapitre suivant.

Chapitre 2

Processus d'innovation et évaluation de performance

Introduction

Nous avons présenté dans le chapitre précédent l'évolution de l'environnement industriel et la nécessité d'innover ainsi que les risques liés à l'innovation. Nous avons distingué deux problèmes principaux dans la conception d'innovations :

- le manque de connaissances sur le déroulement du développement d'une innovation,
- le manque de connaissances a priori des conséquences de la mise en œuvre de cette innovation.

Un pilotage performant de l'innovation passe donc par la résolution de ces deux problèmes. C'est pourquoi nous distinguons dans ce chapitre deux parties :

- partie 1 : le processus d'innovation,
- partie 2 : évaluation de performance en conception innovante.

Dans la première partie, nous présentons un état de l'art des modèles de processus d'innovation. Un nouveau modèle de processus d'innovation, intégrant notre vision globale de l'innovation, est ensuite décrit.

La deuxième partie traite du problème de l'évaluation de performance globale de l'innovation. Les notions d'indicateurs, de mesure, d'estimation et d'évaluation sont abordées ainsi que les différents types d'évaluation de la performance. Nous caractérisons ensuite la performance globale d'une innovation. Enfin, nous dressons un état de l'art des méthodes d'évaluation de performance les plus utilisées en les situant par rapport à notre problématique.

PREMIÈRE PARTIE : Le processus d'innovation

Selon Perrin [Perrin, 96b], le passage de l'invention à l'innovation n'est pas instantané mais il est le résultat du processus qui permet cette transformation. Pour une entreprise désireuse de transformer une idée d'invention en une réelle innovation utilisable et commercialisable, il est nécessaire de mobiliser de nombreuses activités. Les intrants du processus d'innovation lui sont fournis par plusieurs processus amont et ses extrants alimentent un certain nombre de processus aval.

L'identification de ces différents processus et des entités qui les traversent permet de construire le cadre du pilotage de l'innovation. Ceci en identifiant notamment les pré-requis nécessaires au développement de l'innovation, et les objectifs que l'on cherche à atteindre pour alimenter au mieux les processus aval du processus d'innovation.

I. Définitions et spécificités

I.1. Définitions

Le processus d'innovation a fait l'objet de plusieurs définitions :

- Pour R.G.Cooper [Cooper, 79] un processus d'innovation « débute par une idée, développée par des activités techniques et marketing qui s'effectuent au sein de départements dans lesquels sont prises des décisions et entre lesquels circulent des informations ».
- Pour Jean-Marc Xuereb, c'est « l'ensemble des activités mises en œuvre pour transformer une idée de produit nouveau en une réalisation effective » [Xuereb, 91].

On peut regretter que dans la première définition, il soit fait abstraction de la nécessaire pluridisciplinarité à mobiliser pour le développement d'idées et la prise de décision (qui ne peut avoir toujours lieu au sein d'un département de l'entreprise ou au sein de l'entreprise elle-même).

Dans la seconde définition, on considère l'idée de produit nouveau comme une donnée, alors que l'une des principales difficultés rencontrées dans le processus d'innovation porte sur le passage de l'invention à l'innovation, et donc sur l'identification d'un produit nouveau.

En outre, ces définitions ne permettent pas d'appréhender la « dynamique » du processus, c'est-à-dire les règles d'occurrence des activités qui le constituent, que chacun des auteurs cite dans sa définition. C'est sur ce point, et plus précisément sur le niveau de linéarité du processus, que la plupart des auteurs fondent leur modélisation.

- Le manuel de Frascati rédigé dans le cadre des travaux de l'OCDE [OCDE, 94], donne une définition plus précise du processus d'innovation technologique, en le décomposant en sept domaines d'activités novatrices :
 - *la Recherche et Développement* : elle constitue principalement une source d'idées inventives mais aussi le moyen de résoudre les problèmes qui peuvent surgir à n'importe quelle étape jusqu'à la réalisation,
 - *l'outillage et l'ingénierie industrielle* : cette activité couvre l'acquisition et les modifications des machines et outils de production, des procédures de production et de contrôle de la qualité, des méthodes et normes requises pour fabriquer le nouveau produit ou pour utiliser le nouveau procédé,
 - *le démarrage de la fabrication et le développement préalable à la production* : ces activités peuvent comprendre les modifications apportées au produit ou au procédé, le recyclage du personnel pour le former aux nouvelles techniques ou à l'utilisation de nouvelles machines, les essais de production s'ils s'accompagnent de travaux complémentaires de conception et d'ingénierie,
 - *la commercialisation des nouveaux produits* couvre les activités associées au lancement d'un produit nouveau. Ces activités peuvent inclure les essais de commercialisation, l'adaptation du produit à des marchés différents et la publicité accompagnant le lancement, mais ne s'étendent pas à la mise en place de réseaux de distribution pour la commercialisation des innovations,
 - *l'acquisition de technologie non incorporée* comprend l'acquisition à l'extérieur de technologies sous forme de brevets, inventions non brevetées, licences, divulgations de savoir-faire, marques de fabrique, études de conception, modèles et services ayant un contenu technologique,

- *l'acquisition de technologie incorporée* couvre l'acquisition des machines et d'équipements ayant un contenu technologique en relation avec les innovations soit de produit, soit de procédé, introduites par l'entreprise,
- *l'étude de conception* est un élément essentiel du processus d'innovation. Elle couvre les plans et les dessins destinés à définir les procédures, les spécifications techniques et les caractéristiques de fonctionnement nécessaires à la conception, à la mise au point, à la fabrication et à la commercialisation de nouveaux produits et procédés. Elle peut faire partie de l'élaboration initiale du produit ou du procédé, autrement dit de la recherche et du développement expérimental, mais elle peut être aussi liée à l'outillage, à l'ingénierie industrielle, au démarrage de la fabrication et à la commercialisation des nouveaux produits.

Nous présentons dans le paragraphe suivant les différentes particularités du processus d'innovation.

I.2. Spécificités du processus d'innovation

Les activités de conception de produits nouveaux ont pour principales caractéristiques l'unicité, l'irréversibilité, la simultanéité et une interrelation forte qui les rendent complexes [Gidel et al., 00]. Midler [Midler, 96] parle de contexte ambigu, incertain et fluctuant de la conception. En effet, il existe toujours un décalage important entre l'idée initiale et le produit ou le service effectivement réalisé. Ces décalages tiennent aux difficultés de mise en œuvre ou de réalisation, à l'évolution dans le temps des préoccupations ou des exigences des futurs utilisateurs et à l'existence, au sein d'une même entreprise, d'objectifs de développement qui peuvent être contradictoires.

Conduire un processus d'innovation, c'est redéfinir en permanence l'objet que l'on est en train de mettre au point (c'est-à-dire redéfinition des techniques employées, mais aussi de ses usages et de ses fonctions). Lors de la conception d'un produit nouveau, celui-ci passe progressivement de l'état d'une idée peu détaillée à l'état concret, exploitable précis et très détaillé. Le produit innovant est donc un système dynamique dans sa phase de conception.

Le développement de produits nouveaux se structure donc de façon progressive, parfois erratique, par des démarches d'essais-erreurs au fil des contraintes rencontrées. Pour Midler [Midler, 93], le processus d'innovation consiste en :

- un processus d'exploration et d'acquisition de connaissances pour réduire les incertitudes,
- un processus d'action ou de décision pour restreindre progressivement les degrés de liberté afin de focaliser l'action.

À cause de ces incertitudes, le début et la fin du projet d'innovation ainsi que la durée de réalisation ne sont pas clairement définis. Les activités de conception sont caractérisées par ces incertitudes fortes.

Dans le but d'améliorer le pilotage de l'innovation et de diminuer les incertitudes, il est nécessaire de connaître et de comprendre le fonctionnement du processus d'élaboration d'une innovation. Pour cela, il est essentiel de modéliser ce processus. En effet, on ne peut évaluer ou piloter sans représentation préalable du système sur lequel on veut agir et, le choix du modèle d'un processus détermine le choix de ses critères d'évaluation et de son mode de pilotage [Perrin, 99].

Plusieurs modèles de processus d'innovation ont été proposés, nous présentons les principaux dans le paragraphe suivant.

II. Les modèles de processus d'innovation

II.1. Le modèle linéaire

Le modèle de processus d'innovation le plus connu est le modèle linéaire et séquentiel, également appelé modèle du stage-gate system [Cooper, 90] dans [Pellegrin, 99]. Ce modèle, issu de la théorie néoclassique, est fondé sur une hypothèse de non-interaction entre production et recherche.

Il se présente sous la forme d'une succession de phases de recherche, de développement, de production et de commercialisation. Entre ces phases sont intercalées des phases de prise de décision de forme dichotomique, c'est-à-dire : décision entre la continuation ou l'arrêt du processus d'innovation (à associer en management de projets au mode de pilotage en « stop or go » [Bobroff et al., 93]).

Les conditions de déclenchement d'une phase opératoire sont d'une part la fin de la phase précédente et la décision de continuer d'autre part. Dans ce modèle linéaire, les risques financiers sont supposés limités. De plus, les contrôles et le suivi de l'innovation sont relativement simplifiés.

Le modèle linéaire ne permet pas, par contre, la mise au point rapide des innovations car le processus est long (la durée du processus est égale à la somme des durées de chaque activité à laquelle s'ajoute les temps de décision). Par ailleurs le succès ou l'échec du processus de décision dépend des relations entre les acteurs des différents départements de toutes les entreprises en relation avec l'innovation.

Chaque maillon de cette organisation est obligé d'accepter tel quel le projet développé en amont et peut difficilement y apporter les modifications qu'il estime nécessaires, sauf à reprendre le processus depuis sa phase initiale.

II.2. Le modèle à structure parallèle

A l'opposé du modèle linéaire, le modèle de Kline -Rosenberg [Kline et Rosenberg, 86] (figure 2.1) met l'accent sur les rétroactions, sur les retours des phases situées en aval vers les phases amonts, sur l'interactivité entre recherche et phases du processus d'innovation. Dans ce modèle, le déclenchement de l'activité n'est pas fonction de l'état final de l'activité précédente. Néanmoins, il conserve la phase de prise de décision à la fin de chaque activité. Par rapport à la structure séquentielle (modèle linéaire), cette structure permet de diminuer la durée du processus d'innovation mais augmente, selon certains auteurs [Xuereb, 91], les risques financiers car l'évaluation d'une étape a lieu alors que l'étape suivante est déjà commencée.

Ce modèle nommé également « modèle de liaison en chaîne » présente une structure parallèle. Il comporte :

- la « chaîne centrale d'innovation » (notée C) qui part de l'invention jusqu'au marketing,
- des boucles de retour (boucles courtes notées f et longues notées F) : information provenant d'autres phases,
- des liens entre « la chaîne centrale d'innovation » et « la science » (notée K, R). La science (connaissance) alimente l'innovation tout au long de « la chaîne centrale

- d'innovation ». Si le stock de connaissance (K) ne fournit pas de réponse au problème rencontré, un lien de recherche (R) est alors activé,
- les liens entre « la science » et « l'invention » (notée D) conduisant à des innovations radicales,
 - la « boucle de réaction » (I) reliant l'output de l'innovation à la science.

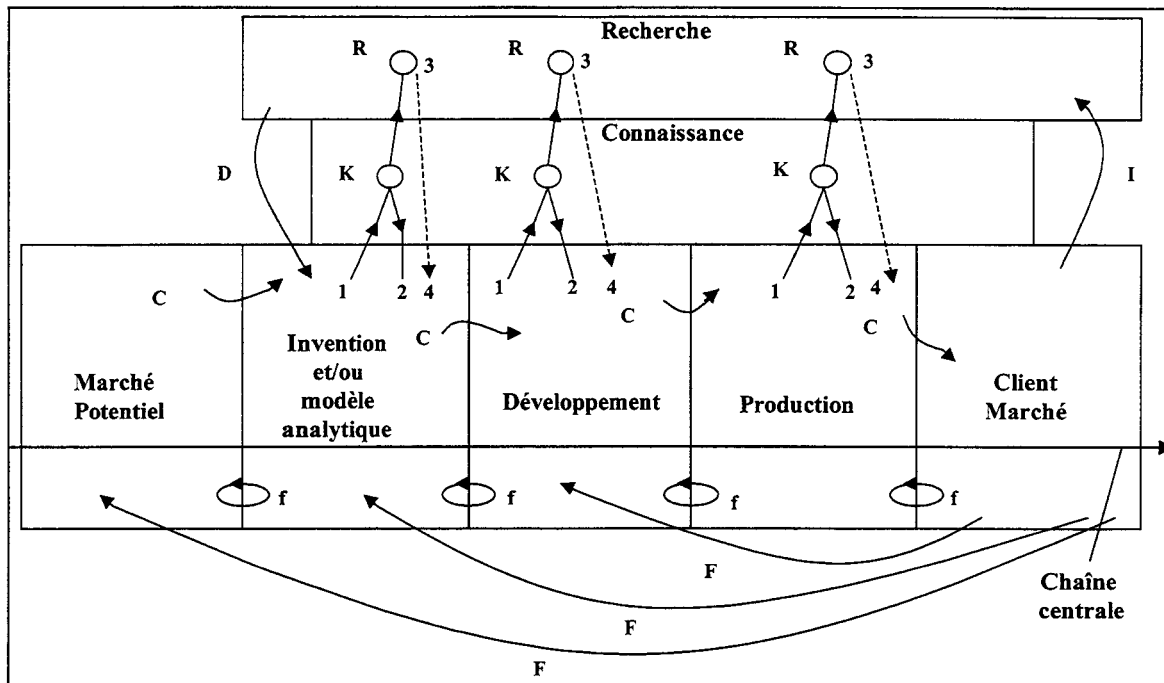


Figure 2.1 : Le modèle de liaison en chaînes selon Kline et Rosenberg (1986)

II.3. Autres modèles

De nombreuses expériences concrètes tendent à démontrer que toute innovation est unique et que le processus associé est une combinaison des deux logiques précédentes [Midler, 93]. Des modèles « mixtes » représentant de manière moins caricaturale les dispositifs de pilotage de l'innovation produit ont ainsi été proposés [Xuereb, 91], [Pellegrin, 99].

D'autres approches de modélisation prennent davantage en compte la nature du système que sa structure. Ainsi Rozenburg et Eeckels [Rozenburg et Eeckels, 95] proposent un modèle du processus d'innovation et un modèle du processus de décision, les chercheurs du laboratoire GRAI de Bordeaux distinguent clairement le système de décision, le système d'information et le système technologique [Dupouy et al., 99], [Girard, 99].

En reprenant le cadre conceptuel du modèle de Kline - Rosenberg, N.F. Rozenburg et J. Eeckels ont proposé une autre vision du processus d'innovation en se focalisant sur l'activité de conception (figure 2.2). Le principal apport de ce modèle est de souligner que le processus d'innovation mobilise toutes les fonctions de l'entreprise, de la définition d'une stratégie jusqu'à la mise sur le marché de l'innovation. On peut remarquer dans ce modèle que la fabrication est une des phases du processus d'innovation, mais elle n'est pas la plus importante pour sa réussite.

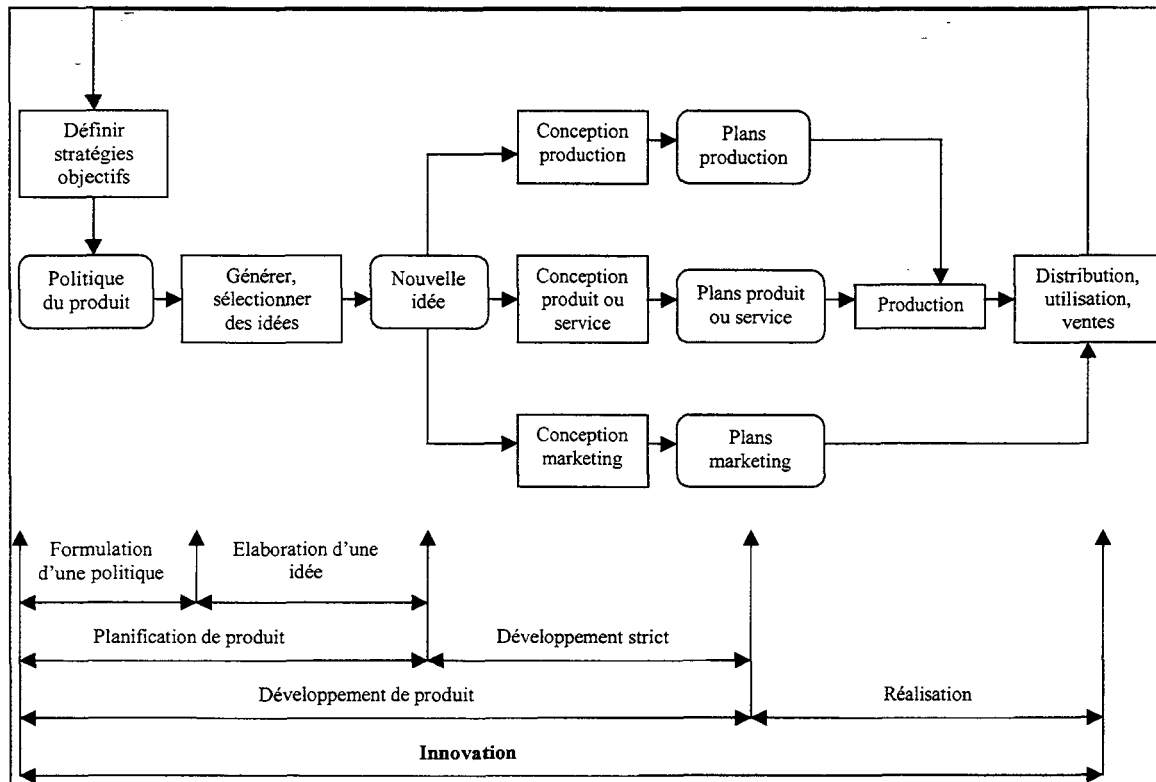


Figure 2.2 : Processus d'innovation selon N.F.Roozenburg et J.Eekels

D'autres travaux beaucoup plus récents s'intéressent à la modélisation et au pilotage des processus d'innovation. Parmi ceux-ci, le projet Ait IMPLANT est un projet européen visant essentiellement à développer des méthodes et outils pour le management de l'innovation. Ce projet de recherche a conduit à un modèle du processus d'innovation (GENCMP) [Cocquebert, 98].

Les approches de modélisation des processus d'innovation que nous venons de présenter contribuent à l'efficacité du pilotage de ces processus, c'est-à-dire à l'obtention de résultats cohérents avec les objectifs fixés. Le principal intérêt de ces différentes approches de modélisation réside dans le fait qu'elles peuvent permettre de situer, de comprendre et d'optimiser la prise de décision par rapport au processus. Ainsi la logique de type séquentiel impose des contraintes temporelles sur la prise de décisions, mais elle permet par contre une diminution du risque. La logique parallèle quant à elle assure une meilleure exhaustivité des contraintes prises en compte mais nécessite par conséquent un système de décision multicritère.

Nous considérons pour notre part que les modèles de processus d'innovation actuels :

- sont peu précis,
- ne sont pas suffisamment formalisés,
- ne considèrent pas l'innovation dans son environnement global,
- n'intègrent pas suffisamment les notions de coût et de valeur.

Pour ces raisons, ils ne permettent pas une évaluation fiable et précise du pilotage effectué. Nous proposons par conséquent un nouveau modèle de processus d'innovation intégrant ces remarques.

II.4. Modèle de processus d'innovation produit

Le modèle de processus d'innovation produit que nous proposons [Tomala et al., 01b] a été validé par Renault dans le cadre du projet METACOG, il a été élaboré à partir :

- d'une étude de terrain réalisée dans des entreprises industrielles françaises,
- d'une étude de la littérature académique concernant une innovation de type produit [Tomala et al., 00c],
- de témoignages d'industriels qui ont développé des innovations (tous types confondus et de degrés d'importance variés).

Le modèle proposé prend en compte les éléments suivants : les activités constitutives du processus, les événements déclencheurs de ces activités, les contraintes liées à la réalisation des activités (critères d'évaluation (coût et valeur), de décision, de réalisation), l'enchaînement et les relations entre activités, les circuits informationnel et physique, les décisions, les rétroactions, les ressources et les méthodes et/ ou outils utilisés dans ces activités.

Après une étude des différentes méthodes de modélisation de processus [Tomala, 99], notre choix s'est porté sur le formalisme graphique de la méthode SADT (« Structured Analysis and Design Technique ») [Ross, 77].

Cette méthode permet de créer un modèle graphique de manière simple et compréhensible par tous, favorisant ainsi le travail en équipe pluridisciplinaire pour l'élaboration et l'utilisation du modèle.

La figure 2.3 représente le premier niveau du modèle du processus d'innovation (de type produit) proposé portant sur un produit déjà existant ou pas.

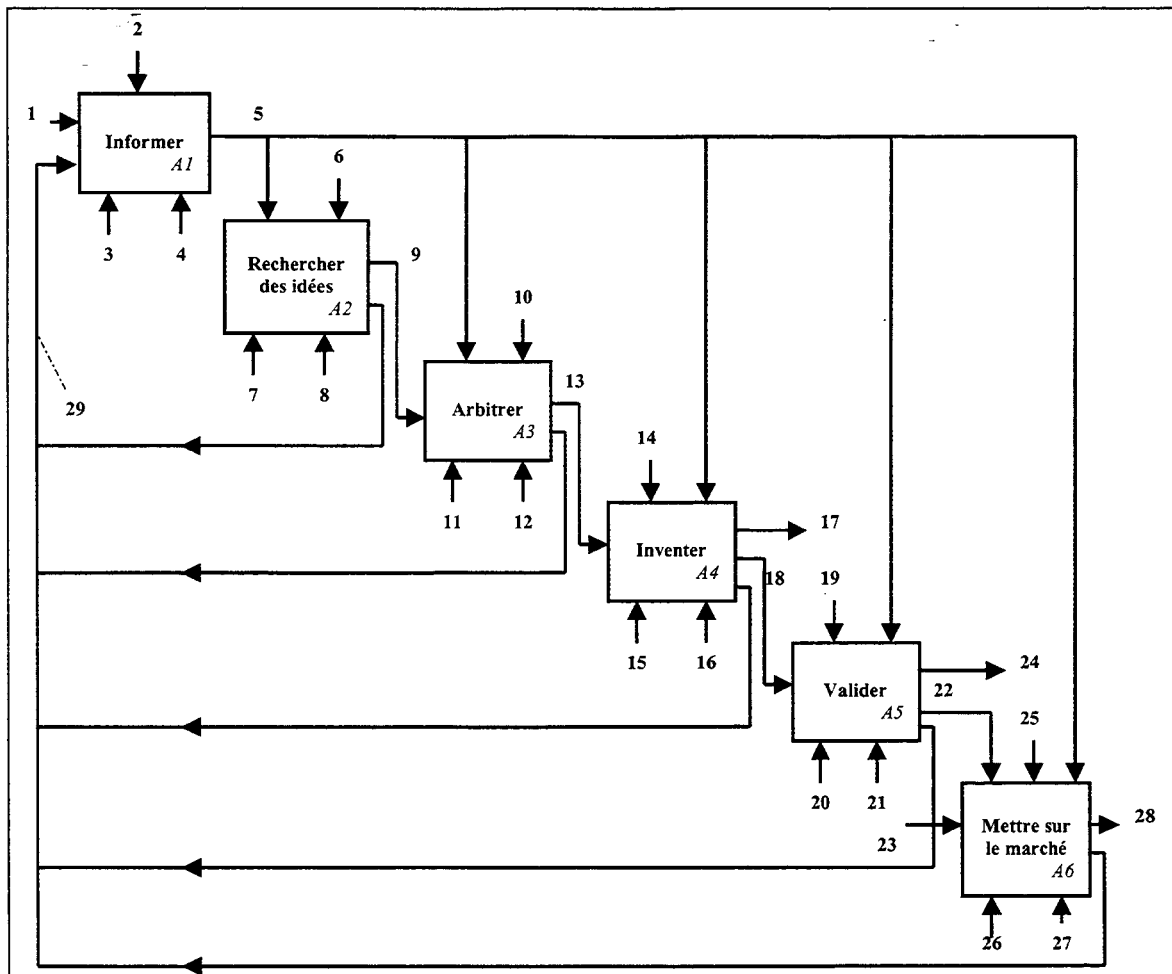


Figure 2.3 : Processus d'innovation

Les éléments du modèle présenté sur la figure 2.3 (objectif, intrants, contraintes, moyens techniques, moyens humains et extrants) sont précisés ci-dessous :

- **A1 : Informer**

Objectif

Le but de cette activité est de :

- surveiller l'environnement de l'entreprise et acquérir de nouvelles connaissances en collectant un maximum d'informations extérieures (découvertes, inventions, innovations des concurrents, nouvelles technologies,...) à l'aide de diverses techniques comme, par exemple, la veille (technologique, commerciale, concurrentielle,...),
- capitaliser l'expérience interne (fiches retour d'expérience, bilans, documents de synthèse,...).
- diffuser et partager informations collectées dans les différents départements de l'entreprise.

Intrants

(1) Informations sur les découvertes, les inventions, les innovations et brevets extérieurs, les besoins, les normes, les tactiques et stratégies des concurrents, les connaissances sur les fournisseurs, les marchés,...

(29) Retour d'expérience sur les innovations permettant la capitalisation des connaissances de tous les métiers de l'entreprise.

Contraintes

(2) Objectif de surveillance de l'environnement, d'acquisition et de distribution des connaissances internes et externes dans l'entreprise.

Moyens techniques

(3) Veille technologique, veille commerciale, veille concurrentielle, enquêtes clients, documents de synthèse d'expériences...

Moyens humains

(4) Les fonctions de Marketing, de Recherche et de Développement, d'Innovation ...

Extrant

(5) Les informations collectées, analysées et triées sont diffusées dans l'entreprise.

• *A2 : Rechercher des idées*

Objectif : élaborer des idées d'innovation

Les recherches d'idées sont réalisées soit individuellement, soit en groupe lors de réunion en utilisant des méthodes de créativité, le 'brainstorming' par exemple. Les idées sont spécifiées dans des dossiers d'invention qui sont plus ou moins formels.

Contraintes

(5) Les informations collectées sont diffusées et partagées dans l'entreprise.

Note : les informations de type (5) sont de différentes natures et peuvent se retrouver en contrainte, en support ou encore en entrée d'une activité. Pour des raisons de lisibilité du graphique nous avons positionné les informations de type (5) en contrainte uniquement.

(6) Innover pour répondre et anticiper les besoins des clients afin d'être compétitif.

Moyens techniques

(7) Brainstorming, le concassage, les matrices de découvertes...; suggestions d'invention, TRIZ.

Moyens humains

(8) Directions fonctionnelles de l'entreprise : direction du Produit, direction du Marketing, direction de la Recherche, direction du Développement, les inventeurs,...

Extrants

(9) Les idées spécifiées dans le dossier d'invention.

(29) Retour d'expérience sur les innovations permettant la capitalisation des connaissances de tous les métiers de l'entreprise.

• *A3 : Arbitrer*

Objectif : sélectionner un ensemble d'idées

Les dossiers d'invention sont examinés lors de réunions d'arbitrage, permettant de sélectionner les idées jugées adéquates selon des critères économiques, techniques et

stratégiques (première évaluation de l'innovation). Ces idées sont sélectionnées dans le but d'être développées afin d'être exploitables.

Intrant

(9) Les idées spécifiées dans le dossier d'invention.

Contraintes

(5) Les informations collectées, analysées et triées sont diffusées dans l'entreprise.

(10) Intérêt économique, stratégique et technique.

Moyens techniques

(11) Méthodes d'aide à la décision,...

Moyens humains

(12) Le directeur du Produit, le directeur de la Recherche, le directeur du Développement. Expérience, intuition, connaissances.

Extrants

(13) Les sélections des idées et des alternatives pour invention sont effectuées.

(29) Retour d'expérience sur les innovations permettant la capitalisation des connaissances de tous les métiers de l'entreprise.

- *A4 : Inventer*

Objectif

L'activité 'Inventer' permet de transformer l'idée en système concret, elle est réalisée à l'aide de chercheurs de l'entreprise mais aussi à l'aide d'experts externes (fournisseurs, partenaires, universitaires,...).

Intrant

(13) Idées et alternatives sélectionnées pour invention.

Contraintes

(5) Les informations collectées, analysées et triées sont diffusées dans l'entreprise.

(14) Objectif d'invention, de faisabilité, de conformité,...;

Moyens techniques

(15) Connaissances techniques, connaissances des standards internes de l'entreprise, expériences restituées,

Méthodes : AMDEC, analyse fonctionnelle, arbre des défaillances, analyse préliminaire des risques, outils de management de la qualité, Benchmarking, méthode d'estimation de coût,...

Moyens humains

(16) La direction du Produit, la direction du Développement, la direction de la Recherche, la direction de la Qualité, les Achats, les fournisseurs, le service financier, la comptabilité...

Extrants

(17) Décision d'arrêt de l'invention (idée sur étagère).

(18) Informations technico-économiques et pré-cahier des charges de l'innovation.

(29) Retour d'expérience sur les innovations permettant la capitalisation des connaissances de tous les métiers de l'entreprise.

- **A5 : Valider**

Objectif : établir une liste d'innovations à développer

L'activité 'Valider' est très importante car c'est durant cette phase que la décision de mise sur le marché ou pas est prise. Mettre sur le marché peut déboucher sur une réussite autant que sur un échec total de l'entreprise ou, sur une dépossession du résultat au profit d'un concurrent. Si l'invention est acceptée pour être commercialisée, l'activité 'Mettre le nouveau système sur le marché' est déclenchée.

Intrant

(18) Informations technico-économiques et pré-cahier des charges de l'innovation.

Contraintes

(5) Les informations diffusées et partagées dans l'entreprise.

(19) Objectif de rentabilité de l'innovation et du produit, conformité,...

Moyens techniques

(20) Méthodes d'aide à la décision, d'estimation des coûts, des risques, de la valeur...

Moyens humains

(21) Direction du projet, direction générale, direction du Produit, fonction de la Recherche et Développement...

Expérience, intuition, connaissances...

Extrants

(22) Acceptation de l'invention et cahier des charges technique réalisé.

(24) Annulation d'intégration de l'invention dans le produit (invention sur étagère).

(29) Retour d'expérience sur les innovations permettant la capitalisation des connaissances de tous les métiers de l'entreprise.

- **A6 : Mettre le nouveau système sur le marché**

Objectif

Au cours de cette activité sont réalisés les plans du produit ou service innovant, les plans des moyens de production ainsi que les plans marketing permettant la production et la vente du produit.

Intrant

(23) Matière première.

Contraintes

(5) Les informations collectées, analysées et triées sont diffusées dans l'entreprise.

(22) Acceptation de l'invention et cahier des charges technique réalisé.

(25) Objectifs de coût, de valeur pour le client et pour l'entreprise / concurrents.

Moyens techniques

(26)

- Outils informatiques : CAO, DAO, CFAO, simulation,...
- Méthodes : benchmarking, technique de constructions, plans d'expérience, tests, méthodes d'aide à la décision, du Marketing, de ventes...
- Ressources humaines : constructeur, fournisseurs,...
- Expérience, intuition, connaissances,...

Moyens humains

(27) Comité de pilotage du projet d'innovation, chef de projet de l'innovation, chef de projet du produit, direction générale, service financier, direction d'usine, direction du Marketing, concepteurs, fabricants, fournisseurs, techniciens, vendeurs...

Extrant

(28) Innovation et produit (ou service) mis en vente.

(29) Retour d'expérience sur les innovations permettant la capitalisation des connaissances de tous les métiers de l'entreprise.

Les activités du processus d'innovation présentées sur la figure peuvent être représentées avec un niveau de détail plus élevé. La figure suivante (figure 2.4) montre, pour exemple, le modèle de niveau 2 de l'activité A1 : 'Informer'. Le modèle complet est donné en annexe 2.1.

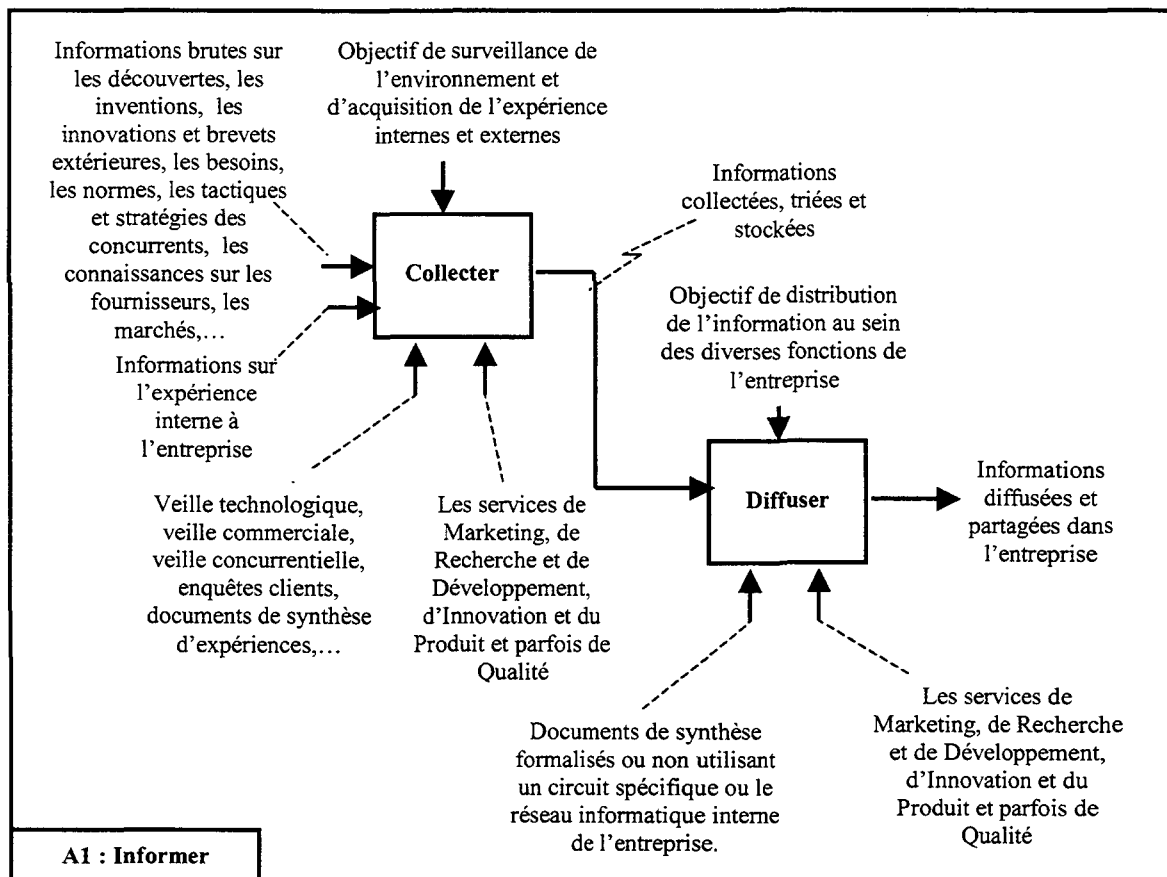


Figure 2.4 : Activité A1 : 'Informer'

III. Synthèse

Cette première partie a montré l'importance du processus d'innovation et l'intérêt d'en avoir une connaissance complète et détaillée. Plusieurs modèles de ce processus ont été proposés mais aucun d'entre eux n'est suffisamment précis pour prétendre à une évaluation fiable et précise du pilotage effectué. De plus, ils n'intègrent pas les concepts de coût, de valeur relatifs à l'ensemble des acteurs concernés par l'innovation sur l'ensemble de son cycle de vie.

Pour résoudre ce problème, nous avons proposé un nouveau modèle de processus d'innovation qui en donne une vision plus microscopique que les modèles existants tout en intégrant une vision globale de l'innovation. Cette intégration a pu être réalisée en précisant le contenu des différentes activités du processus d'innovation.

Le modèle que nous proposons :

- est plus précis,
- est formalisé par l'usage de la méthode SADT,
- montre les liens entre les différentes activités composant le processus,
- montre le circuit des informations,
- précise les entrées et les sorties de chaque activité,
- montre l'enchaînement des activités,
- définit la nature des informations,
- définit les acteurs (nature, compétences) et les moyens techniques (méthodes, machines) nécessaires à la réalisation des activités,
- indique les informations de coût et de valeur.

Cette vision plus microscopique du processus d'innovation permet :

- d'obtenir une meilleure compréhension de ce processus : connaissance des résultats attendus finaux et intermédiaires du processus d'innovation,
- d'obtenir une meilleure analyse des manques et des incohérences de ce processus,
- d'adapter le niveau d'analyse au pilotage réalisé,
- d'avoir une représentation commune aux différents acteurs, des processus complexes de l'élaboration d'une innovation, favorisant ainsi la coopération entre ces acteurs,
- de situer le processus de création, d'invention ainsi que les notions d'idées, de découvertes, d'expériences et de connaissances par rapport à l'innovation,
- d'identifier les leviers permettant aux concepteurs d'agir sur ce processus (ressources et contraintes des activités,...),
- de définir les indicateurs de performance indiquant les dérives éventuelles du développement de l'innovation (temps d'exécution, nombre de bouclage, nombre de fournisseurs,...).

Une des perspectives concernant ce modèle est de le faire évoluer, notamment en réalisant un modèle dynamique du processus d'innovation permettant ainsi d'effectuer des simulations aussi performantes que celles utilisées pour les processus de production. Ce qui aurait pour avantage de tester différents scénarios de pilotage de ce processus permettant finalement de choisir le meilleur.

Un meilleur pilotage du processus d'innovation passe par une meilleure connaissance de ce processus, mais aussi par une meilleure perception des conséquences et donc de l'évaluation des décisions prises lors de la conception d'innovation. La deuxième partie de ce chapitre traite de l'évaluation de performance en conception innovante.

DEUXIÈME PARTIE : Évaluation de performance en conception innovante

Cette deuxième partie traite du problème de l'évaluation de performance globale de l'innovation. L'évaluation de performance et les critères relatifs à la notion de performance globale y sont exposés.

Enfin, les méthodes d'évaluation les plus utilisées dans le cadre de la conception sont présentées et comparées dans cette partie.

I. Pilotage et évaluation de la performance

Nous avons vu précédemment que plus une entreprise satisfait ses objectifs, à condition que ceux-ci permettent sa pérennisation, plus elle est performante (chapitre 1). Le pilotage de la performance doit permettre de définir les actions à mettre en œuvre dans le but d'atteindre les objectifs que se sont fixés les décideurs de l'entreprise. Il est donc nécessaire, pour effectuer ce choix, d'estimer et de comparer (et donc d'évaluer, comme nous le verrons lors de la définition de ces termes) les actions à mener.

L'évaluation des performances permet de renseigner sur la qualité des actions menées pour atteindre des objectifs. Elle permet de renseigner également sur des dérives négatives éventuelles des performances.

Nous définissons dans la suite les termes d'indicateur de performance, d'évaluation, de mesure et d'estimation.

I.1. Les indicateurs de performance

Il existe plusieurs définitions de l'indicateur de performance [Savall et al., 89], [Bitton, 90], [Périgord et al., 93]. Nous adoptons la définition la plus complète proposée par la commission IP : Indicateur de Performance de L'AFGI (homologuée par l'AFNOR) [Gallois, 88] : « Donnée quantifiée, qui mesure l'efficacité de tout ou partie d'un processus ou d'un système par rapport à une norme, un plan ou un objectif déterminé et accepté, dans le cadre d'une stratégie d'entreprise ».

Cette définition implique plusieurs commentaires :

- il est nécessaire de considérer l'aspect global de la performance (et non des résultats locaux), à travers les notions de processus et de système,
- l'indicateur de performance est un objet complexe, association d'une mesure d'efficacité (ou d'efficience*, d'effectivité*, de pertinence), d'un objectif et de variables d'action,
- il existe une relation entre l'indicateur de performance et le système décisionnel et donc le 'processus de pilotage' de l'entreprise industrielle, ou dans notre cas du processus d'innovation,
- la performance ne se mesure pas uniquement en unité monétaire.

On peut conclure que l'évaluation de performance n'est pas une fin en soi mais qu'elle contribue à l'aide à la décision pour le pilotage. Le pilotage de la performance met donc en avant l'intérêt de la mesure et de l'évaluation et par conséquent celui de l'indicateur.

Les indicateurs sont conçus pour l'évaluation de la performance dans une démarche de pilotage de la performance de l'entreprise et de comparaison entre entreprises.

I.2. Mesure, évaluation et estimation

Il faut, comme le précise Jacot [Jacot, 91], distinguer clairement mesure et évaluation. « Évaluer, c'est assigner une valeur bonne ou mauvaise, meilleure ou pire, à une entité ou à un événement. Ce n'est donc pas simplement mesurer la valeur intrinsèque des objets, c'est établir un ordre de préférence ».

La mesure est « la détermination d'une grandeur par comparaison avec une grandeur constante de même espèce prise comme référence » [Larousse, 01]. La notion de mesure est donc réductrice et ne fournit qu'une information locale. Seule, la mesure ne peut suffire à l'élaboration d'un diagnostic pertinent, elle doit être complétée par une appréciation. L'évaluation vient enrichir la mesure pour en donner une interprétation par rapport à une vision globale ou cadre de référence. Dans le cas de l'évaluation de la performance industrielle, le cadre de référence est obtenu à l'issue d'une analyse stratégique de l'entreprise. Cette analyse permet de fixer et de pondérer les différents critères qui permettront d'apprécier la performance globale de l'entreprise..

Estimer, c'est « calculer approximativement, sans avoir à sa disposition les éléments nécessaires pour un calcul rigoureux (exemple : estimer une distance au jugé) » [Larousse, 01]. L'estimation fournit une valeur centrale à laquelle est associée une plage de confiance. Une estimation peut-être réalisée au jugé d'une personne ou par calcul. Elle a un caractère prédictif lorsqu'elle est effectuée avant l'occurrence des événements étudiés.

Étant données les définitions précédentes, nous considérons que l'évaluation comporte une phase mesure / estimation suivie d'une phase de comparaison permettant le choix d'une solution [Tomala et al., 00d].

Le schéma suivant (cf. figure 2.5) représente la boucle de pilotage dans laquelle se trouve l'évaluation. La boucle de pilotage est composée des éléments suivants : un objectif, un centre d'évaluation ('Évaluer'), un centre de décision (ou de pilotage : 'Choisir'), des moyens d'actions ('Réaliser'), des moyens de perception ou d'estimation ('Estimer/ Mesurer') et des moyens de comparaison ('Comparer').

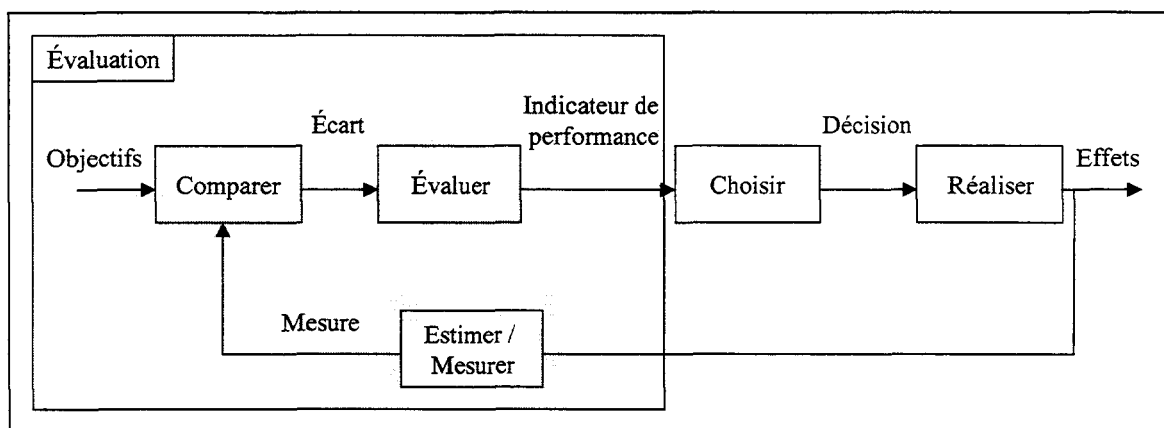


Figure 2.5 : Boucle de pilotage et d'évaluation

Le fonctionnement de la boucle est le suivant : les effets du système sont perçus à l'aide de moyens de mesure et / ou d'estimation. L'objectif est comparé au résultat mesuré du système, le centre d'évaluation permet d'apprécier le résultat de la

comparaison et d'informer le centre de pilotage qui prendra les décisions nécessaires pour améliorer les résultats et les faire tendre vers les objectifs. C'est à partir de ces informations que le pilotage sera effectué sur les variables d'actions. C'est dans cette logique que l'indicateur* de performance* est défini.

(Note : une étude des décisions prises dans le cadre de la conception d'une innovation a été réalisée, voir [Tomala et al., 00c]).

I.3. Comment évaluer la performance ?

Le problème de l'évaluation de performances est très différent suivant que l'on veut prédire les performances d'un futur système ou estimer celles d'un système en cours d'exploitation. Nous allons, dans les paragraphes qui suivent, distinguer ces deux aspects en considérant « l'évaluation de performances a priori » et « l'évaluation de performances a posteriori ».

Évaluation de performances a priori

Elle est mise en œuvre à chaque fois que l'on veut concevoir un nouveau système ou plus modestement modifier un système existant. De façon très générale, elle est nécessaire à chaque fois que l'on aimerait répondre à la question « que se passerait-il si? » et qu'il n'est pas possible de tester en grandeur nature les différentes solutions alternatives.

Dans une évaluation de performances a priori, les principales phases sont la modélisation tout d'abord, puis l'analyse du modèle obtenu. Cette phase d'analyse permet d'estimer les performances du modèle, sensées représenter celles du système modélisé.

Dans un objectif de conception il faut alors comparer les performances obtenues par rapport aux objectifs souhaités, et à partir des performances des configurations précédentes modifier les variables de décision. On obtient alors une nouvelle configuration, qu'il faut à nouveau analyser. Ce bouclage est appelé « optimisation ». Nous pouvons résumer ceci par le schéma de la figure 2.6.

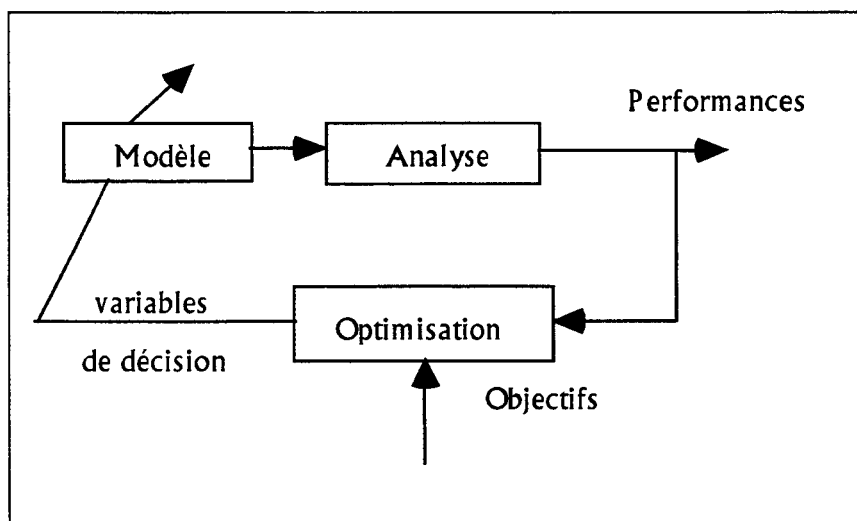


Figure 2.6 : Évaluation de performances a priori

Le terme optimisation mérite d'être explicité. Optimiser, c'est trouver les conditions les plus favorables, tirer le meilleur parti possible d'une situation. L'optimisation se résume parfois à un critère mathématique unique que l'on doit minimiser ou maximiser.

Il y a souvent plusieurs objectifs, certains étant parfois difficilement quantifiables. Dans ces cas le terme 'optimisation' signifiera le plus souvent trouver un ensemble de configurations, satisfaisant l'ensemble des contraintes et réalisant un bon compromis entre les différents objectifs (décision multicritère).

Évaluation de performances a posteriori

Il s'agit ici d'évaluer les performances d'un système en cours ou après exploitation. La première phase est tout d'abord le recueil ou la mesure de données sur le système en cours d'exploitation. Le point clé est ensuite l'interprétation de ces mesures. Ceci nécessite de comparer les mesures à des objectifs prédéfinis pour en déduire les actions nécessaires suivant les différents niveaux de décision. Cette dernière phase demande une très bonne connaissance de l'entreprise tant du système physique, que de son système d'information et de son système de décision. Cette connaissance nécessite le plus souvent un modèle de ces différents systèmes. Nous pouvons résumer ces différentes phases par la figure 2.7.

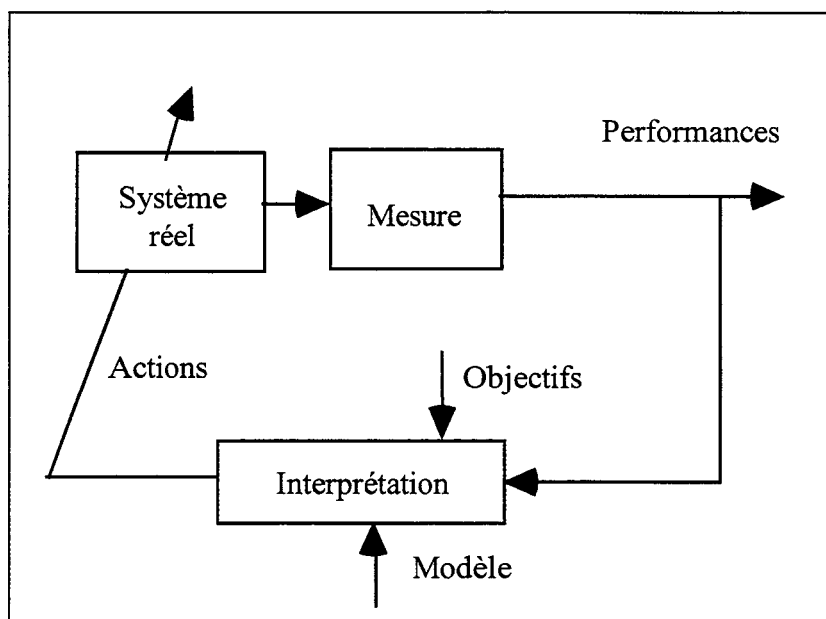


Figure 2.7 : Évaluation de performances a posteriori

Évaluation de la performance d'une innovation

Les décisions prises en conception ont pour but de concevoir la meilleure innovation, par le choix d'une solution parmi plusieurs possibles. Les concepteurs doivent rechercher le meilleur compromis entre les différents critères de performance construits à l'aide d'informations physiques, de coût, de valeurs relatives à l'innovation ou à son processus d'élaboration (processus d'innovation). La maîtrise de l'impact des décisions permet un véritable pilotage du processus d'innovation. Cette maîtrise passe par la détermination de modèles permettant de simuler ces impacts à partir des causes (leviers d'actions).

L'étude de la performance d'une innovation doit nécessairement être effectuée a posteriori, afin de construire les modèles de conséquences qui permettront ultérieurement

des évaluations a priori. Les éléments du modèle ainsi formé constituent les principaux leviers d'action sur la compétitivité des entreprises, disponibles en phase de conception. En se donnant les moyens d'accéder à ces leviers d'action, l'entreprise améliore sa maîtrise des risques de non-efficacité (c'est-à-dire de non adéquation des résultats par rapport aux objectifs fixés) et de non-pertinence (c'est-à-dire de non adéquation des moyens par rapport aux objectifs fixés) de ses activités.

Le principal apport attendu de l'évaluation de performance d'une innovation est de mettre en évidence l'efficacité du processus d'innovation et de la quantifier. Cette efficacité peut être définie par la conception d'une innovation qui permettra d'atteindre au mieux les objectifs stratégiques de l'entreprise, en passant par la satisfaction de la majorité des acteurs concernés.

Comme nous l'avons précisé, la performance est multicritère et prend en compte la globalité des facteurs intervenant au niveau de la satisfaction des clients. Cette affirmation nous amène à définir la notion de performance globale d'une innovation.

I.4. La performance globale d'une innovation

Pour Stéphanie Furon « la performance globale est une notion trop complexe pour être simplement et exhaustivement définie. Sa définition dépend fortement du point de vue considéré »[Furon, 00]. C'est pourquoi nous proposons un référentiel permettant de caractériser la performance globale d'une innovation.

Caractérisation de la performance globale d'une innovation

Nous proposons de caractériser la performance globale d'une innovation selon trois axes (cf. figure 2.8).

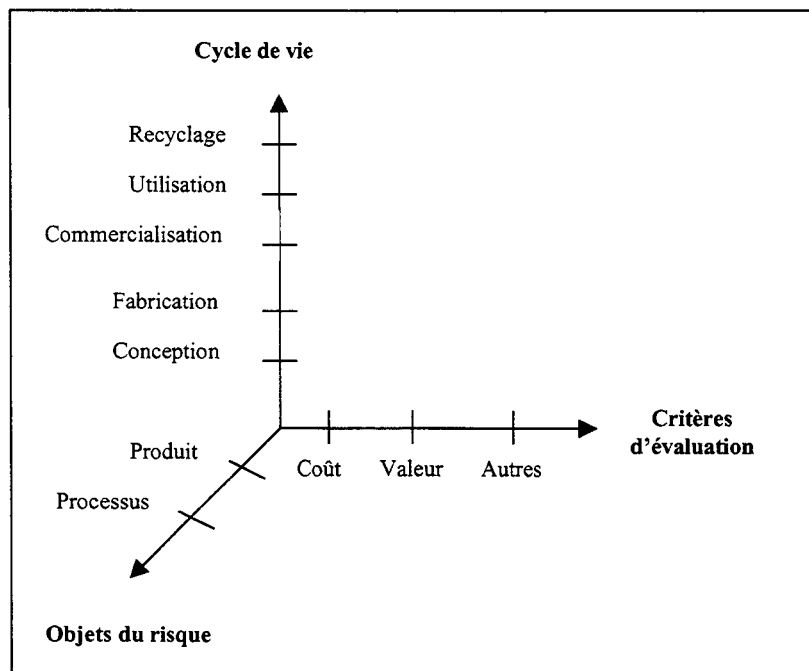


Figure 2.8 : Caractérisation de la performance globale d'une innovation

d'évaluation, nous allons en décrire quelques-unes dans le paragraphe suivant et les situer par rapport à notre problématique.

II. Méthodes et outils d'évaluation en conception

A l'heure actuelle, plusieurs méthodes d'évaluation existent. Notre étude porte sur les méthodes et outils d'analyse de la solution (qui, d'après Danielle Quarante, peuvent être qualifiés de méthodes et outils d'évaluation) : outils d'aide à la décision, de calcul de coût et de rapport qualité/ coût [Quarante, 84].

Nous positionnons tout d'abord ces méthodes et outils d'évaluation parmi l'ensemble des outils utilisés en conception, puis nous décrivons ensuite une typologie des méthodes d'évaluation de produit/ processus structurée, suivant les trois axes, identifiés précédemment, d'analyse de la performance globale d'une innovation.

II.1. Les méthodes et outils de la conception

P. Vadcard considère que la problématique de la conception fait appel à l'utilisation de méthodes et outils que l'on peut classer en sept familles. Cette taxinomie est basée sur les fonctions que remplissent les outils tout au long du processus de conception de produit [Vadcard, 95] (cf. figure 2.10).

Familles	Objectifs	Méthodes et outils
Les méthodes et outils de caractérisation pluridisciplinaire du besoin	Caractériser l'environnement du futur produit	Analyse fonctionnelle, le QFD, le FAST, l'analyse de la concurrence, l'analyse du marché,...
Les méthodes et outils de recherche de solution	Mettre à jour des concepts de solutions	Brainstorming, le concassage, les matrices de découvertes, Triz, la fiche idée,...
Les méthodes et outils de définition du produit	Caractériser les attributs du futur produit	Graphe de démontage, l'architecture produit, les dessins techniques...
Les outils de matérialisation de la solution	Matérialiser des solutions ou des éléments de solutions possibles	Maquette, les logiciels de CAO, de synthèse d'image, les outils de simulation, les démonstrateurs, le prototype,...
Les méthodes et outils d'analyse de la solution	Réaliser une analyse critique des solutions ou des principes de solution	AMDEC, les arbres de défaillances, l'analyse de la valeur, les analyses de coûts...
Les méthodes et outils de management de projets	Organiser et gérer le travail interdisciplinaire de la conception	Compte-rendu, les organigrammes techniques et de tâches, les diagrammes (Gantt) et réseaux (PERT et MPM), le plan de charge, les documents de coûts (le suivi financier du projet),...
Les outils de la qualité	Améliorer la qualité	Diagrammes cause- effets, diagrammes d'affinité, analyse PARETO, plans d'expériences...

Figure 2.10 : Méthodes et outils en conception

Les méthodes et outils concernant l'analyse des solutions doivent permettre d'évaluer le coût, la valeur et les risques en général. Il existe plusieurs types de méthodes qui peuvent satisfaire ces contraintes, ce sont :

- les méthodes d'analyse des risques,
- les moyens d'analyse de la valeur,
- les méthodes d'analyse des coûts.

Nous examinons ces méthodes dans le paragraphe suivant.

II.2. Les méthodes d'analyse des risques

La plupart des méthodes permettant d'établir la liste des événements porteurs de menace reposent sur la déduction logique, sur la connaissance et l'expérience ou l'intuition [Marciniak et Pagerie, 99].

Approches logiques

Les méthodes qui utilisent ces approches sont par exemple les AMDEC (analyse des modes de défaillances, de leurs effets et de leurs criticité*) [Marciniak et Pagerie, 99] et les méthodes quantitatives utilisées en sûreté de fonctionnement, comme la méthode de l'arbre des causes ou de défaillance (MAC/MAD), la méthode de l'arbre des conséquences (MACQ) et la méthode du diagramme de cause- conséquences (MDCC) qui est une combinaison des deux premières. Ces méthodes quantitatives permettent d'estimer à partir de modèles quantifiés, la probabilité d'apparition d'un événement, complétant ainsi l'analyse AMDEC.

D'autres méthodes permettent de réaliser des simulations des situations de modifications de relations (chaînes de Markov, les réseaux de Petri, les fluxgrammes...).

D'autres méthodes de management des risques existent également mais sont plus spécifiques à un domaine, on trouve l'APR (Analyse Préliminaire des Risques), l'APD (Analyse Préliminaire des Dangers), l'HAZOP (Hazard and Operability Study),... [Zwingelstein, 96].

Approches expertes

Dans bien des projets on utilise des approches situées entre l'approche intuitive un peu superficielle et l'approche logique un peu lourde et parfois illusoire. Ces approches sont basées sur l'expérience et les connaissances des experts, on peut citer quelques exemples : la check-list, le brainstorming, la méthode Delphi basée sur des questionnaires.

Ces méthodes peuvent être utilisées pour un produit, un service et un processus mais ne permettent pas d'évaluer les coûts et la valeur perçus par les différents acteurs liés à un produit nouveau. Ces méthodes peuvent potentiellement être utilisées sur l'ensemble du cycle de vie mais ne sont réellement appliquées qu'en phase de fabrication et de plus en plus en phase d'exploitation.

II.3. Les moyens d'analyse de la valeur

Nous présentons, dans ce paragraphe, les moyens les plus employés et dont l'efficacité a été démontrée, d'analyser la valeur : ce sont le jugement d'expert, les tests et l'analyse de la valeur.

Jugement d'expert

Les experts possèdent des connaissances approfondies dans un domaine (connaissance technique, scientifique,...) et sont à même d'émettre un jugement de qualité sur un sujet rentrant dans leur domaine de compétences.

Ce sont des spécialistes qui sont aptes à estimer l'importance et la valeur de faits par rapport au cahier des charges des prestations fonctionnelles d'objets.

En entreprise, ce sont des spécialistes désignés et reconnus de la mesure et de l'appréciation de la performance, pour une prestation donnée.

Tests et questionnaires

L'un des moyens privilégiés pour récolter des données sur l'appréciation de produit ou de service, en vue d'étudier la population, sont les tests et questionnaires à choix multiple (Q.C.M.). Ils sont réalisés pour plusieurs applications :

- la prospection commerciale,
- les enquêtes de satisfaction client,
- les études de marché,
- les sondages,...

La société Renault par exemple, réalise trois types de sondage de ses clients :

- prospectif (-3 à -5 ans avant la sortie véhicule) : enquêtes d'attentes, tests de style,
- d'étalonnage : positionnement / concurrence (+3 mois, 1 an),
- de mesure : après la vente, périodique (partiel et fragmenté).

Les trois sources d'informations les plus utilisées sont :

- les informations spontanées, transactionnelles (les appels clients),
- les enquêtes quantitatives et qualitatives,
- les informations publiques.

Traitement des résultats

Plusieurs études statistiques existent notamment dans le domaine automobile, où les évaluations du produit par les clients et les experts sont analysées lors de tests et d'enquêtes [Renault, 97a], [Renault, 97b], [Renault, 99].

- analyses statistiques des informations collectées (chiffrées et graphiques),
- analyses statistiques sur les questions ouvertes au travers d'une analyse des tendances...

Une analyse statistique a été réalisée par Schöggel qui propose d'établir des relations entre les appréciations subjectives globales ou locales et les caractéristiques techniques d'un produit (exemple : relations entre le confort véhicule à l'arrêt et le ralenti moteur). Il utilise la théorie des sous-ensembles flous permettant de prendre en compte l'imprécision des informations d'évaluation humaine (clients et experts). Il établit ensuite les relations entre données subjectives et objectives à l'aide des réseaux de neurones à partir de ces données floues [Schöggel, 99].

Pour notre part, nous avons utilisé la méthode des plans d'expériences. Cette approche est le plus souvent employée à des fins d'amélioration de la qualité en fabrication. Nous proposons de l'exploiter pour la qualité en conception.

L'étude que nous avons effectuée dans ce domaine concerne l'influence de caractéristiques fonctionnelles et techniques de véhicules automobiles sur la satisfaction client (appréciations subjectives), caractérisée par quatre éléments et sur le prix de revient au kilomètre (coût) [Tomala et al., 01a] (cette étude est présentée en détail au chapitre 5).

Cette étude nous a permis d'établir des modèles statistiques utilisables en conception.

En conclusion de cette étude des moyens d'analyse de la valeur, nous proposons la synthèse suivante :

- les jugements des experts sont souvent difficilement formalisables et donc difficilement réutilisables par d'autres personnes,
- les experts n'ont, bien sûr, pas une connaissance exhaustive des conséquences d'une innovation, ils ont en général des connaissances limitées à un domaine, ils ne peuvent apporter qu'un avis restreint sur l'apport de l'innovation,
- dans le domaine automobile, les questions sont seulement posées aux particuliers et pas aux utilisateurs de flottes, ni aux loueurs, or ce sont ces clients qui sont les plus sensibles au coût d'usage (bien que cette sensibilisation ait tendance à se généraliser aux clients particuliers),
- par rapport au bouclage théoriquement idéal des informations [Renault, 99] (Collecte/ Analyse/ Diffusion/ Utilisation), la véritable mise en œuvre de chacune des phases est variable et le bouclage non effectué, plus précisément : la collecte est correcte ; l'analyse est insuffisante ; la diffusion est mauvaise, pas adaptée et sporadique ; l'utilisation est nulle,
- les questions portent très peu sur le prix, surtout sur le produit, pas assez sur le service, de manière incomplète sur l'image.

L'analyse de la valeur est une démarche de conception, mais il est intéressant de la considérer dans la mesure où elle constitue un cadre rigoureux et finalisé d'exploitation des méthodes d'évaluation de la performance, où sont distinguées les notions de coût et de valeur.

Analyse de la valeur

L'AFNOR (Association Française de Normalisation) définit l'analyse de la valeur comme « une méthode de compétitivité, organisée et créative, visant la satisfaction du besoin de l'utilisateur par une démarche spécifique de conception, à la fois fonctionnelle, économique et pluridisciplinaire ».

Le point de départ de la méthode est l'analyse fonctionnelle de l'objet. Celle-ci débouche sur la rédaction du cahier des charges fonctionnel qui exprime les fonctions de service que doit remplir le produit pour répondre aux besoins de l'utilisateur et respecter les contraintes liées à l'utilisation du produit. Après la détermination des fonctions, l'objectif est d'estimer le coût des différentes fonctions déterminées pour orienter la recherche ultérieure d'économies. Les différentes solutions envisageables font l'objet d'une évaluation à partir de critères techniques (fiabilité, maintenance, interchangeabilité, délais d'introduction) et de critères économiques (coût d'études, coût des outillages et investissements de production spécifiques, coût de production unitaire), l'objectif final étant la rentabilité du produit.

La méthodologie permet ainsi d'explicitier le coût de solutions de conception envisagées et de les lier aux fonctionnalités et donc, de manière indirecte, au prix de vente

du produit nouveau. Cependant, la méthodologie de l'analyse de la valeur présente la principale faiblesse de ne retenir qu'une vision particulière du temps (estimation du coût et de la valeur d'une fonction à un instant donné) qui n'est pas celle du cycle de vie du produit.

L'intégration d'une méthode d'évaluation de la performance globale dans la démarche de l'analyse de la valeur peut permettre de résoudre ce problème et amener celle-ci à devenir une méthode d'analyse de la valeur globale.

II.4. Les méthodes d'analyse des coûts

Méthodes traditionnelles d'estimation de coût

On distingue trois types de méthodes d'estimation de coût :

- méthodes analogiques,
- méthodes paramétriques,
- méthodes analytiques.

Serge Bellut [Bellut, 92] définit des « couples idéaux » : phase du projet/ méthode d'estimation. Selon la nature de leurs résultats, la quantité et le détail des informations qu'elles nécessitent, chacune de ces méthodes est adaptée à une étape particulière du cycle de vie du produit (cf. figure 2.11).

	Etudes préliminaires	Etudes de conception	Développement	Industrialisation puis production	Destruction Recyclage
Définition du projet	par fonction (Organigramme fonctionnel)	par produit (Organigramme Technique)	par tâches (structure hiérarchisée des travaux)		
Approche des coûts	Méthodes analogiques	Méthodes paramétriques	Méthodes analytiques		

Figure 2.11 : Les couples idéaux phase du projet / méthodes d'estimation de coûts [Bellut, 92]

La méthode ABC

Les coûts compilés par les méthodes comptables traditionnelles satisfont médiocrement les besoins des concepteurs et des managers. Ce constat est à l'origine du développement des méthodes d'analyse économique basées sur le concept d'activité, et notamment de l'Activity Based Costing (ABC) qui trouve ses origines aux États-Unis.

Les méthodes de comptabilité par activité se révèlent des outils efficaces pour connaître et piloter une entreprise [Mévellec, 93]. La gestion par activités permet d'obtenir des informations fiables sur les coûts et les marges. La méthode ABC a déjà fait ses preuves aux États-Unis et en France. Elle repose sur l'observation de l'enchaînement des tâches, des activités et des processus de l'entreprise, qui permet de comprendre la formation du coût et de la valeur de ses produits et/ ou services.

Les concepts d'activité et de processus font également l'objet de nombreuses autres approches de modélisations : réseaux GRAI, CIMOSA, AICOSOP,...

L'Activity Based Costing (ABC)

L'ABC est une démarche d'analyse du fonctionnement de l'entreprise aboutissant à une nouvelle architecture du calcul des « coûts à base d'activité » [Mevellec, 93], [Helberg et al., 94].

La méthode de comptabilité par activité vise deux objectifs principaux :

- répondre à une carence des méthodes comptables traditionnelles [Besson, 92],
- proposer aux acteurs de l'entreprise un outil de contrôle effectif, qui leur permet de piloter l'appareil productif vers la performance économique.

La méthode ABC est une méthode de calcul des coûts plus réaliste et plus pertinente pour le pilotage du système de production que la méthode traditionnelle des centres d'analyse. Elle se distingue principalement par les points suivants :

- elle cherche à identifier les causes de la consommation des ressources par les activités des entreprises et à modéliser ce processus de consommation,
- elle vise la connaissance du coût des activités plus que celle du coût de revient des objets,
- elle permet d'utiliser une variété d'inducteurs d'activités beaucoup plus grande que ne le permet l'approche par les centres de responsabilité/ sections.

Mais la méthode ABC est limitée au calcul du coût de revient, elle ne remet pas en cause le système de gestion de l'entreprise. Or, la connaissance des coûts n'est pas suffisante pour piloter la performance de l'innovation. Le coût de revient n'est qu'un indicateur global et rétroactif de la performance, c'est pourquoi le concept d'activité a également été exploité en vue de mettre en œuvre une véritable gestion par les activités, appelée Activity Based Management (ABM).

L'Activity Based Management (ABM)

L'évaluation des performances en terme de coût et de marge sur les produits ou prestations fournies aux clients passe par la comptabilité par les activités (ABC). En revanche, les évaluations sur les autres dimensions de la performance concernent la gestion par activités (ABM).

L'ABM s'appuie sur une modélisation par processus qui permet notamment la mise en place d'une logique de coordination (ex : construction des budgets nécessaires à la gestion prévisionnelle), une logique d'ingénierie organisationnelle (ex : recherche du meilleur processus opérationnel) et d'un ensemble de tableaux de bord [Lebas, 92].

La gestion par activité s'attache à accroître les performances globales de l'entreprise en terme de qualité de service rendue aux clients internes et externes et favorise l'amélioration continue de l'entreprise. Elle a pour ambition :

- d'une part, le diagnostic : analyse de la genèse de la performance (coût, délai, qualité, flexibilité) à partir des conditions de réalisation des activités de l'entreprise et de leurs relations causes- effets. C'est dans cette partie que s'insère l'ABC,
- d'autre part, le pilotage : oriente l'exécution des activités en fonction des objectifs globaux, c'est-à-dire déployer la stratégie de l'entreprise au travers des activités.

L'analyse du tableau de bord* de chaque activité est alors l'occasion de la construction de la cohérence de l'action locale avec l'action globale, de l'arbitrage entre coût et valeur, l'indicateur apportant un éclairage décisionnel aux principaux acteurs d'un centre de responsabilité [Giard, 91].

II.5. Synthèse

Le tableau de la figure 2.13 présente une synthèse des méthodes d'évaluation présentées dans ce chapitre (l'analyse de la valeur est une démarche de conception mais pas une méthode d'évaluation, pour cette raison nous ne la considérons pas dans cette synthèse). Les trois axes caractérisant la performance globale d'une innovation y sont mis en évidence : le cycle de vie (conception, fabrication, commercialisation, utilisation, recyclage); les critères d'évaluations économiques, de valeur et autres (par exemple : sécurité, fiabilité, productivité); les objets du risque : le produit et les processus.

Conformément à la définition de l'innovation (donnée au chapitre 1 paragraphe VI.3) et des considérations précédentes, il est nécessaire, afin d'évaluer la performance globale d'une innovation donnée, d'évaluer l'ensemble de ses effets sur son cycle de vie en termes de coût, de valeur et de risque en général. Par conséquent, ce tableau vise à répondre à la question suivante : existe-t-il, en conception, une méthode permettant d'évaluer a priori une innovation et les incidences de son introduction dans un produit et/ou processus existants en termes de coût, de valeur et de risque en général sur l'ensemble des phases de son cycle de vie ?

Par exemple, la méthode d'estimation de coût par analogie (EAC1) peut être utilisée dès le début de la conception pour évaluer le coût de fabrication d'un nouveau produit.

Note : dans ce tableau, nous considérons les abréviations suivantes (cf. figure 2.12) :

Types de méthode	Méthodes	Abréviations
Méthodes d'analyse des risques	Méthodes qualitatives (ex : AMDEC) (Analyse Qualitative des Risques)	AQR1
	Méthodes quantitatives (ex : MAC, MACQ,...) (Analyse Quantitative des Risques)	AQR2
	Méthodes expertes (Analyse Expertes des Risques)	AER
Méthodes d'estimation de la valeur	Méthodes expertes (Estimation Experte de la Valeur)	EEV
	Méthodes tests et modèles (ex: tests, questionnaires + analyses statistiques) (Estimation de la Valeur par Tests)	EVT
Méthode d'analyse des coûts	Méthodes d'estimation de coût analogiques (Estimation Analogique des Coûts)	EAC1
	Méthodes d'estimation de coût paramétriques (Estimation Paramétrique des Coûts)	EPC
	Méthodes d'estimation de coût analytiques (Estimation Analytique des Coûts)	EAC2
	Méthodes d'estimation de coût ABC	ABC

Figure 2.12 : Méthodes d'évaluation en conception étudiées

Phases du cycle de vie	Critères d'évaluation	Objets	Méthodes
Conception	Coût	Produit	EAC1, EAC2, EPC
		Processus	EAC1, EAC2, EPC, ABC
	Valeur	Produit	
		Processus	
	Autres	Produit	
		Processus	
Fabrication	Coût	Produit	EAC1, EAC2, EPC, ABC
		Processus	EAC1, EAC2, EPC, ABC
	Valeur	Produit	
		Processus	
	Autres	Produit	AQR1, AQR2, AER
		Processus	AQR1, AQR2, AER
Commercialisation	Coût	Produit	
		Processus	
	Valeur	Produit	
		Processus	
	Autres	Produit	
		Processus	
Utilisation	Coût	Produit	
		Processus	
	Valeur	Produit	EEV, EVT
		Processus	
	Autres	Produit	AQR1, AQR2, AER
		Processus	
Recyclage	Coût	Produit	
		Processus	
	Valeur	Produit	
		Processus	
	Autres	Produit	
		Processus	

Figure 2.13 : Tableau de synthèse des méthodes d'évaluation en conception

Le tableau ci-dessus (figure 2.13) permet de mettre en évidence un certain nombre d'insuffisances par rapport à la problématique d'évaluation de la performance globale d'une innovation en conception. Nous remarquons que :

- les méthodes étudiées sont utilisées lors de plusieurs périodes du cycle de vie mais non sur l'ensemble du cycle de vie,
- il manque de nombreuses évaluations sur l'ensemble du cycle de vie (phase d'utilisation, de recyclage),
- la valeur n'est évaluée que pour la phase utilisation (les clients),
- la valeur des activités (savoir faire, valeur ajoutée,...) n'est estimée à aucun moment,
- l'analyse des autres risques (disponibilité, fonctionnalité,...) n'est réalisée que pour la phase de fabrication et d'utilisation.

En conclusion, les méthodes utilisées en phase de conception ne permettent pas, actuellement, aux responsables de l'entreprise de prendre des décisions en ce qui concerne une innovation et/ ou des modifications d'un produit ou de processus en termes de coût, de valeur et de risques en général tout en tenant compte des aléas, dysfonctionnements ou autres problèmes potentiels sur l'ensemble du cycle de vie.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté dans une première partie un état de l'art des modèles actuels de processus d'innovation et proposé un nouveau modèle de ce processus structuré en six activités principales. Ce modèle a notamment l'avantage de favoriser la compréhension et l'analyse des manques, et des incohérences du processus d'innovation dans le but d'un pilotage plus efficace.

Dans une seconde partie, nous nous sommes intéressés à l'évaluation de performance d'une innovation dès sa conception.

La première phase a consisté à définir un modèle d'évaluation. Nous avons ensuite caractérisé la performance globale d'une innovation. Puis nous avons présenté un état de l'art des méthodes d'évaluation de la performance en considérant le coût, la valeur et les risques en général comme critères d'évaluation de la performance globale.

Nous avons enfin mis en évidence les insuffisances de ces méthodes par rapport aux critères précédents et montré que les méthodes examinées ne permettent pas de réaliser une évaluation globale dès la phase de conception.

Dans les troisième et quatrième chapitres de ce mémoire, nous proposons donc un ensemble de modèles et de méthodes d'évaluation a priori de la performance d'une innovation dès la phase de conception.

Chapitre 3

Évaluation de performance d'une innovation a priori

Introduction

Le chapitre précédent nous a permis de définir les objectifs et les concepts de base de l'évaluation d'une innovation dès la phase de conception. Nous avons également montré les insuffisances des méthodes d'évaluation de la performance globale d'une innovation.

Dans les chapitres trois et quatre, nous présentons notre proposition relative à l'évaluation de la performance d'une innovation dès le début de sa conception. Cette proposition s'articule autour de trois méthodes :

- la méthode A.E.I.I. : Analyse et Évaluation des Effets de l'Introduction d'une Innovation,
- la méthode E.E.M.E. : Estimation des Effets de l'introduction d'une innovation à l'aide de Modèles de type Événement,
- la méthode E.E.M.C.I. : Estimation des Effets de l'introduction d'une innovation à l'aide de Modèles de type Caractéristiques de l'Innovation.

Dans la première partie de ce troisième chapitre, nous présentons tout d'abord une description globale des trois méthodes et leur articulation. Puis, nous présentons en détail la méthode A.E.I.I. et sa mise en œuvre. Les deux autres méthodes sont détaillées au chapitre quatre.

I. Présentation globale de la proposition

I.1. Objectifs

Le chapitre précédent a montré qu'il était nécessaire, pour analyser les conséquences de l'introduction d'une innovation dans un environnement existant, de prendre en considération la valeur et le coût comme critères principaux d'évaluation, et ce sur l'ensemble du cycle de vie.

La synthèse sur les méthodes d'évaluation, présentée au chapitre 2, a montré que les méthodes actuelles ne permettent pas d'évaluer les conséquences d'une innovation sur son cycle de vie en ces termes. Il est donc fondamental de fournir une instrumentation permettant de répondre au problème de rationalité limitée des acteurs de la conception, qui aboutit à des solutions justes « satisfaisantes », afin de se rapprocher de la rationalité dite « substantive », aboutissant à une solution optimale [Joffre et Simon, 89].

L'objectif de notre travail est de contribuer à l'élaboration d'une méthode d'aide à l'évaluation des impacts d'une décision prise en conception.

Il ne s'agit pas de se substituer aux décideurs, mais bien d'instrumenter la conception de manière à offrir des informations sur les impacts globaux de décision concernant une innovation, à différents niveaux ou instants de décisions clés.

La maîtrise de l'innovation implique la maîtrise des risques qu'elle engendre et donc la connaissance de son environnement. Pour cela, il est nécessaire de capitaliser et

d'exploiter les connaissances de chaque acteur lors de la conception des innovations, afin de diminuer les risques liés à leur introduction.

C'est dans cette intention que nous proposons une démarche fondée sur trois méthodes d'analyse de la performance globale d'une innovation. Elles visent à identifier les leviers d'actions potentiels et à évaluer les conséquences d'une innovation.

1.2. Les méthodes proposées

Les méthodes proposées utilisent les descriptions de l'innovation disponibles en conception et permettent d'en estimer les impacts. Le mode d'estimation dépend de la description qui est faite de l'innovation.

Dans cette partie, nous présentons le principe des trois méthodes et leurs interactions.

Principe de la méthode A.E.I.I.

La première méthode proposée est la méthode A.E.I.I. : Analyse et Évaluation des Effets de l'Introduction d'une Innovation. Elle permet d'évaluer les impacts des innovations à partir de leur description.

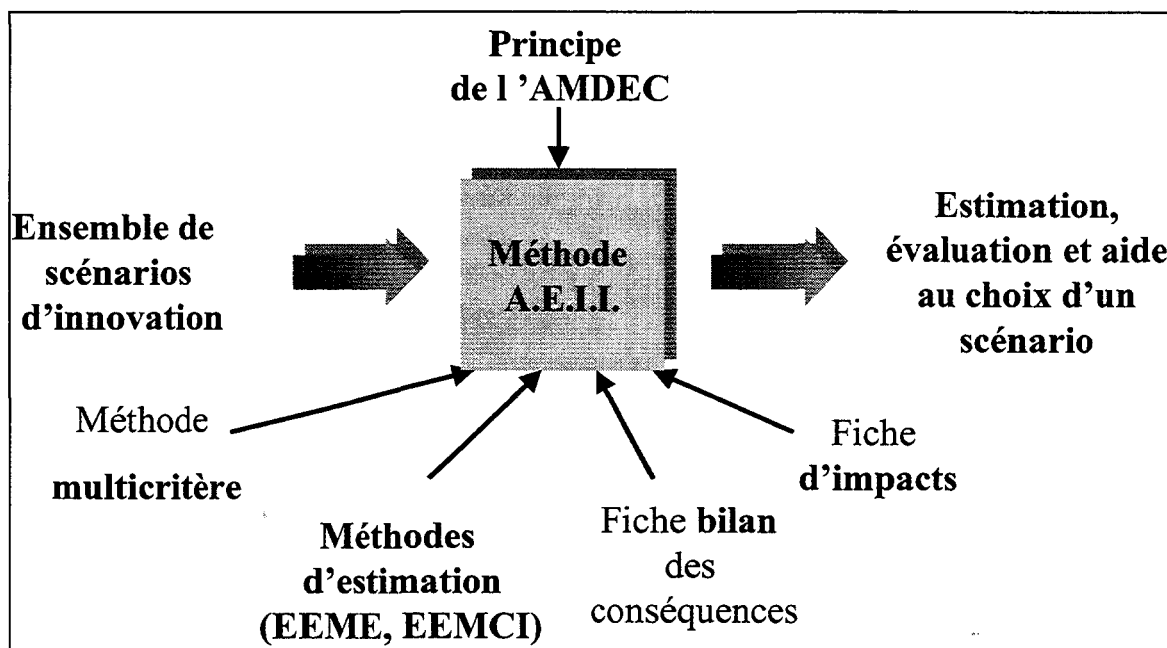


Figure 3.1 : Le principe de la méthode A.E.I.I.

Le but général de la méthode A.E.I.I. est de fournir une vision globale des effets de l'introduction d'une innovation au sein d'un environnement existant (produit, processus transversaux à l'entreprise et aux entreprises extérieures sur l'ensemble du cycle de vie de l'innovation, cf.[Tomala et Sénéchal, 02b]).

Cette méthode s'inspire des principes de la méthode AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets, et de leur Criticité, voir norme AMDEC : X60-510 (1986)).

Elle se divise en trois étapes :

- identification des événements initiaux,
- identification des conséquences,
- estimation et évaluation des innovations.

Dans le cas où il n'existe aucun modèle permettant d'effectuer les estimations des impacts d'une innovation par calcul, il est toujours possible qu'elles soient réalisées par expertise. Dans ce cas, la méthode A.E.I.I. est utilisée seule.

La méthode A.E.I.I. permet, après la phase d'estimation, d'évaluer les innovations. Le regroupement et l'utilisation des informations relatives à l'innovation étudiée (ou scénario d'innovation*) doivent aider les experts à évaluer les effets d'une décision de conception sur l'ensemble de son cycle de vie. Ces effets sont analysés en termes de performances économiques, physiques et de valeur. Des calculs (méthode multicritère : somme pondérée) et des fiches (fiches d'impacts, fiches bilan des conséquences, fiche résumé) spécifiques à la méthode, permettent de présenter aux décideurs des résultats synthétiques (comme l'indicateur 'score' par exemple qui agrège plusieurs types d'information facilitant grandement la prise de décision) pour la prise de décision.

Les méthodes E.E.M.E et E.E.M.C.I. peuvent être utilisées en support à la méthode A.E.I.I. pour l'estimation par calculs des effets si des modèles adaptés aux méthodes sont existants dans l'entreprise.

Principes des méthodes E.E.M.E. et E.E.M.C.I

Conformément aux considérations concernant l'innovation (données au paragraphe I.4 du chapitre 2), il est nécessaire, afin de pouvoir évaluer dans tous les cas possibles la performance globale d'une innovation donnée, de pouvoir estimer l'innovation à partir de la description d'un système nouveau et/ ou de l'ensemble de ses effets sur son cycle de vie. Pour cela nous proposons deux types de description de l'innovation :

- par les 'Événements' : effets imaginés ou réels d'une innovation considérée comme génératrice de modifications techniques, physiques, fonctionnelles, de valeur,...sur l'environnement existant (produit, processus), utilisés pour l'estimation des modifications sur un système existant,
- par les 'Caractéristiques' : utilisation des caractères propres ou signes distinctifs de l'innovation. Nous proposons trois types de caractéristiques : 'Générales', 'Descriptives', et 'Événementielles'. Elles sont définies en détail au chapitre 4. Ce type de description est utilisé principalement pour l'estimation des systèmes totalement nouveaux.

Pour exploiter ces deux types de description, nous proposons deux types de modèle :

- les modèles 'Événements' permettant d'analyser les effets imaginés ou réels d'une innovation et d'en déduire les événements induits sur l'environnement existant (produit, processus),
- les modèles 'Caractéristiques' donnant une estimation des conséquences à partir des caractères propres à l'innovation.

Les analyses réalisées à l'aide de ces modèles permettent d'estimer les effets de l'introduction d'une innovation exprimés par l'intermédiaire d'indicateurs. Nous définissons quatre types d'indicateurs, dont les deux premiers sont relatifs au modèle 'Événements':

- les 'Indicateurs Produit' : indicateurs de modifications sur le produit (composant, fonctions, propriétés, item de valeur), exemple : 'modification du composant *clé de contact d'un véhicule* : supprimé',
- les 'Indicateurs Processus' : modifications sur les activités des processus, sur les acteurs liés à l'innovation,...exemples : 'les activités de soudure sont modifiées', 'les activités liées à l'utilisation du produit sont modifiées'.

Les deux autres types sont relatifs au modèle 'Caractéristiques', ce sont :

- les 'Indicateurs génériques' : ensemble d'indicateurs qui peut être utilisé par n'importe quelle entreprise. Exemples d'indicateur : sociaux, de marché, économique, de valeur, environnementaux, exportation,...
- les 'Indicateurs spécifiques' : ensemble d'indicateurs spécifique à des fonctions d'une entreprise, des métiers, à la phase du cycle de vie, etc. Exemples : flexibilité de production, modularité de la production, temps de conception, temps de fabrication, économie d'énergie, diminution des importations...

Les deux figures suivantes présentent les deux types de méthodes proposées (figure 3.2 et figure 3.3) :

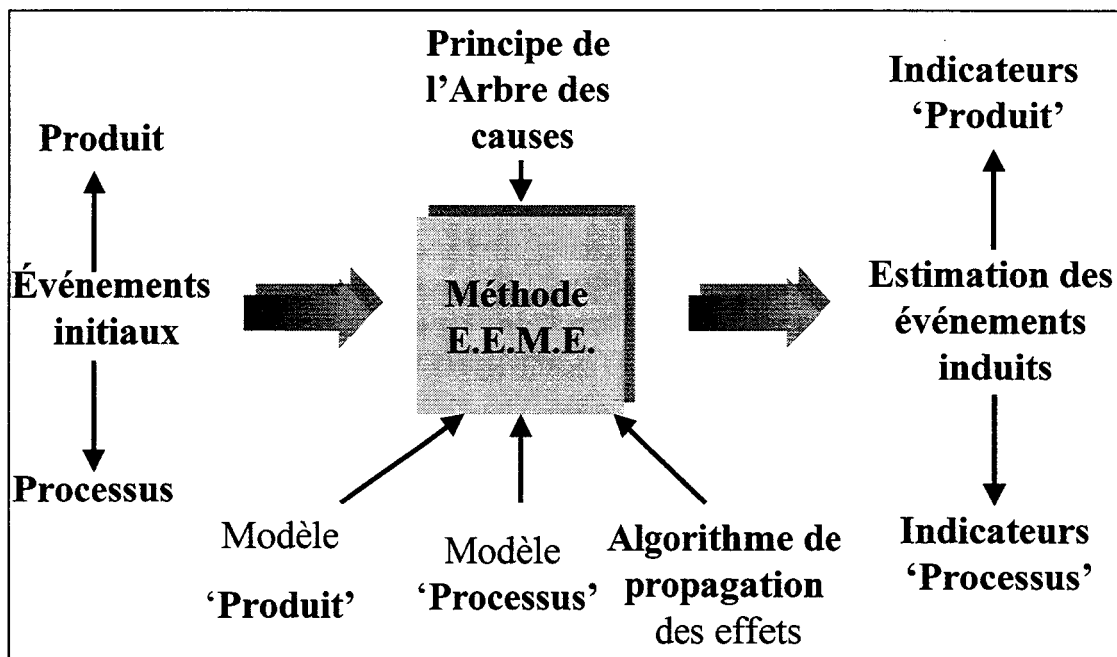


Figure 3.2 : Principe d'utilisation du modèle de type 'Événements'

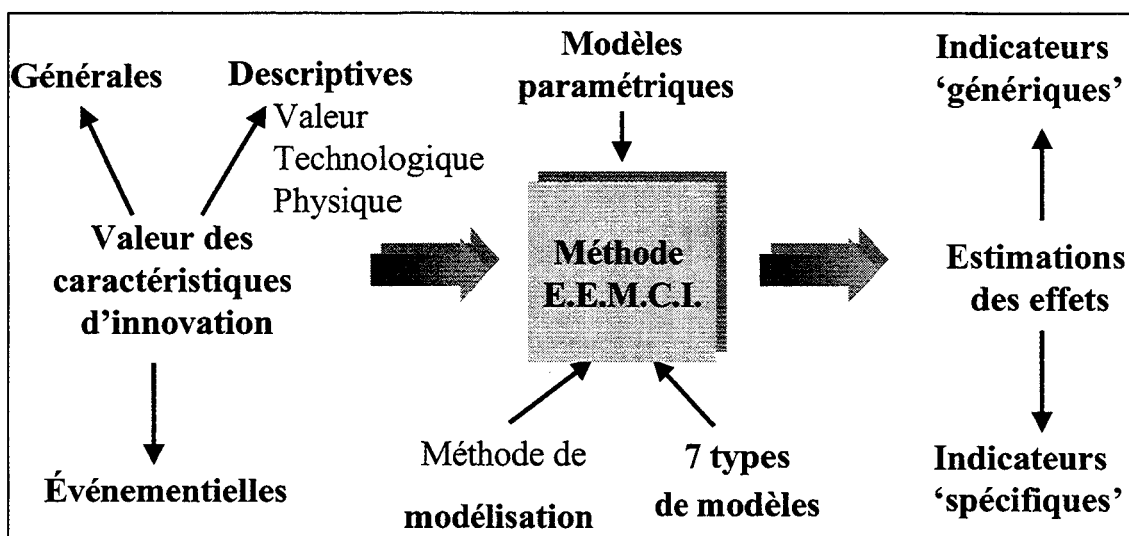


Figure 3.3 : Principe d'utilisation du modèle de type 'Caractéristiques'

La méthode E.E.M.E

La méthode du type 'Événement', qui s'apparente aux méthodes utilisées en sûreté de fonctionnement, comme la méthode de l'arbre des causes ou de défaillance (MAC/MAD) [Zwingelstein, 96], est une méthode quantitative. Elle permet d'estimer, par simulation, la probabilité d'apparition et l'importance d'un événement sur un système existant à la suite de modifications de ce système (décrites sous forme d'événements), pouvant compléter ainsi l'analyse A.E.I.I. (méthode qualitative).

Cette méthode s'appuie sur les modèles de type 'Événements' qui comporte deux sous types :

- un modèle de type 'Produit' (produit manufacturé et service), multi-niveaux, représentant le produit existant sur lequel l'innovation sera intégrée,
- une modèle de type 'Processus' représentant les différents processus mis en œuvre au cours du cycle de vie du produit.

L'estimation des conséquences est réalisée à l'aide d'un algorithme permettant la propagation des informations, définissant les événements, dans les modèles produit et processus.

La méthode E.E.M.C.I.

La méthode du type 'Caractéristiques' est une méthode permettant d'établir des modèles paramétriques (à l'aide de méthodes de modélisation paramétrique comme la méthode Taguchi par exemple) à partir d'analogies faites sur des innovations passées permettant ainsi d'estimer les conséquences des innovations futures. En effet, la connaissance des paramètres et l'utilisation d'un modèle paramétrique permettent d'estimer la valeur des indicateurs de performance de l'innovation (coût de production, coût d'utilisation, savoir-faire...).

Nous avons identifié trois types de caractéristiques pour décrire une innovation :

- caractéristiques générales (exemples : nature, degré d'innovation...),
- caractéristiques descriptives
 - descriptions par les valeurs (exemples : confort, esthétisme, performance,...),
 - descriptions technologiques (exemples : mode d'assemblage, état de surface ...),
 - descriptions physiques (exemples : surface, volume, longueur,...),
- caractéristiques événementielles (exemples : modification importante de la planche de bord d'un véhicule, modification faible du confort,...).

Exemple de description à l'aide de caractéristiques générales : 'une innovation de type 'produit' (nature) avec un degré d'innovation 'moyen' (degré d'innovation) avec un degré de complexité 'fort' (degré de complexité)...'.

L'évaluation des conséquences (définie par des indicateurs) est réalisée à l'aide de différents modèles (au nombre de sept) adaptés à la description de l'innovation. Ces modèles sont basés sur les relations suivantes :

- indicateurs génériques / caractéristiques générales de l'innovation,
- indicateurs génériques / caractéristiques de valeur,
- volume de vente / caractéristiques de valeur,
- prix admissible / caractéristiques de valeur,
- indicateurs génériques / caractéristiques technologiques,
- indicateurs génériques / caractéristiques physiques,
- indicateurs génériques / caractéristiques événementielles.

Les deux méthodes E.E.M.E et E.E.M.C.I. sont complémentaires [Tomala et Sénéchal, 02a]. Elles permettent de considérer l'ensemble des configurations auxquelles peuvent conduire des modifications totales (système complètement nouveau) ou partielles d'un système (modifications d'un système existant).

La figure suivante (figure 3.4) présente l'articulation de ces méthodes dans une logique d'aide à la décision en conception innovante, logique guidée par :

- le type de connaissance de l'existant : modélisation par événements, modélisation à l'aide de caractéristiques, connaissances expertes sans modèle,
- le type de description de l'innovation : description par événements ou par caractéristiques, par exemple : 'nouveau système permettant d'améliorer le confort' est une description très succincte de l'innovation.

La méthode A.E.I.I. permet d'évaluer l'innovation, les méthodes E.E.M.E. et E.E.M.C.I. peuvent être utilisées comme support de la méthode A.E.I.I. et aider à l'estimation des performances globales d'une innovation.

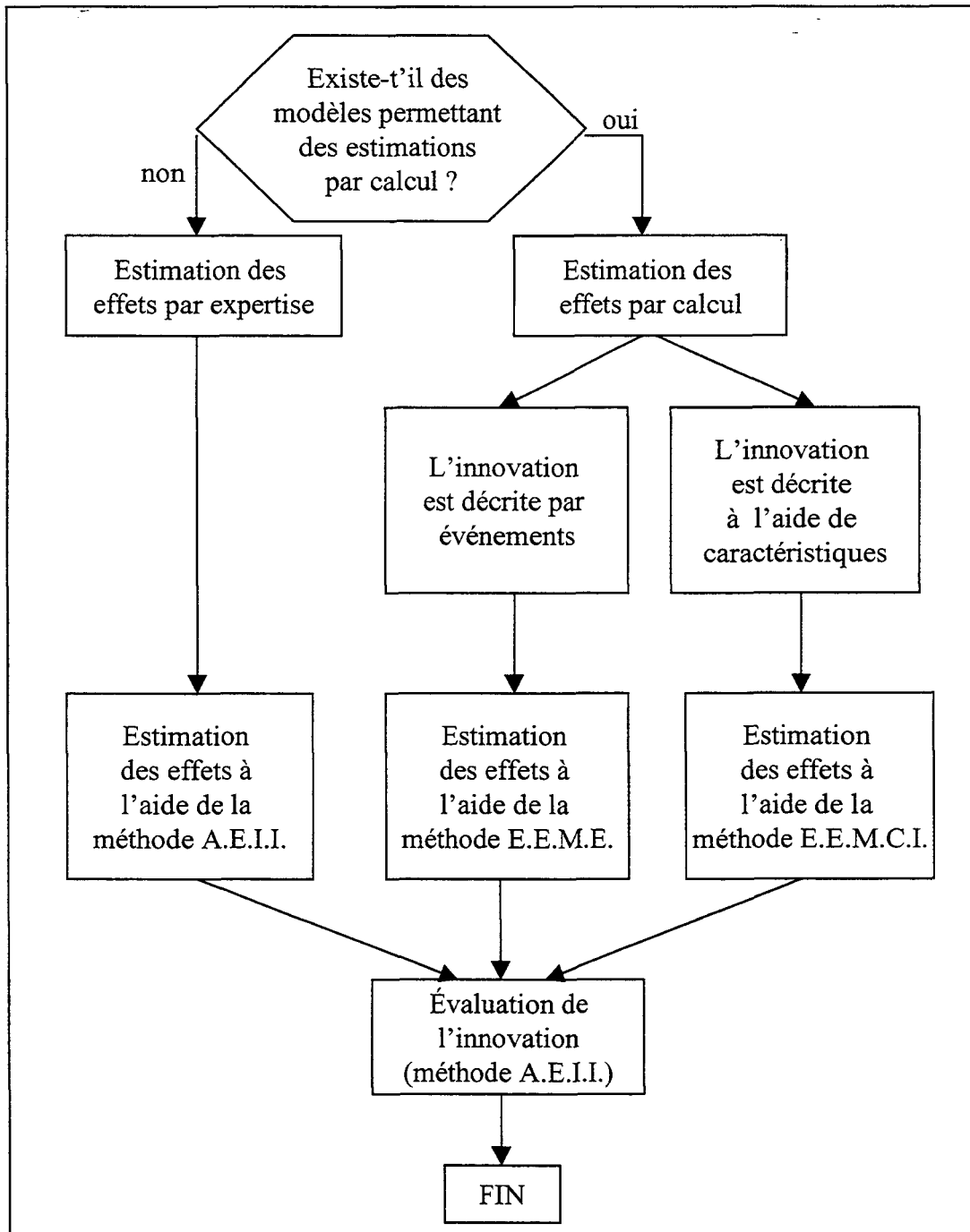


Figure 3.4 : Logique d'utilisation des méthodes

Note : les méthodes peuvent également être utilisées dans le cas d'une description hybride de l'innovation ('Événement' et 'Caractéristiques') : décomposition de la description et analyse des sous-descriptions l'une après l'autre.

L'utilisation simultanée des méthodes E.E.M.E. et E.E.M.C.I. permet de couvrir l'ensemble des configurations possibles d'une innovation (systèmes complètement nouveaux et / ou modifications de systèmes existants). Les estimations réalisées avec ces méthodes peuvent alimenter la méthode A.E.I.I., constituant ainsi des supports destinés à aider à l'estimation des performances globales de l'innovation. Des estimations réalisées

par des experts (dans la méthode A.E.I.I.) peuvent alors être remplacées par les estimations obtenues à l'aide des méthodes E.E.M.E. et E.E.M.C.I.

Dans la suite de ce chapitre, nous décrivons en détail la méthode A.E.I.I. puis sa mise en œuvre.

II. La méthode A.E.I.I.

Nous définissons dans cette partie le principe et les éléments de la méthode A.E.I.I.

II.1. Définition de la méthode

Le principe de la méthode AEII est similaire à celui des méthodes AMDE et AMDEC. Nous rappelons brièvement les éléments essentiels de ces méthodes et leur intérêt.

L'AMDE et L'AMDEC

L'AMDE et L'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) [SAE, 67], [Jordan et al., 72] sont des méthodes inductives qui permettent l'étude systématique des effets des défaillances affectant les composants d'un procédé ou de gros équipements industriels [Marciniak et Pagerie, 99]. Ce sont des méthodes qualitatives fondées sur une nomenclature des dangers et des risques, de leurs origines et de leurs causes. Ce type d'analyse a été utilisé depuis les années 60 en aéronautique et a été étendu à de nombreux domaines de l'industrie.

Ces deux méthodes sont supportées par des tableaux généralement spécifiques aux secteurs industriels concernés. Les tableaux utilisés pour ces analyses contiennent pour l'AMDE :

- le nom de l'élément du système étudié,
- la fonction remplie par l'élément,
- son repère fonctionnel ou sa nomenclature,
- les modes de défaillances,
- les causes de défaillances,
- les effets de défaillances,
- les méthodes de détection des défaillances,
- les actions correctives,
- les remarques éventuelles sur les informations données.

L'AMDEC est une extension naturelle de la méthode AMDE où l'on prend en compte la probabilité pour que la défaillance soit détectée (détection), la probabilité d'occurrence (ou fréquence) de chaque mode de défaillance, la gravité des effets associés pour effectuer une classification suivant une échelle de criticité.

C'est à partir de ces informations que les décisions de conception sont prises dans le but de diminuer voire supprimer les risques relatifs au système étudié.

Ces méthodes constituent des outils d'aide à la décision, d'action, d'anticipation et de correction sur l'ensemble du cycle de vie d'un système [Zwingelstein, 96].

L'AMDE et de l'AMDEC pour notre cadre d'étude

La problématique que traitent l'AMDE et l'AMDEC est proche de la nôtre. En effet, il s'agit, globalement dans les deux cas, de diminuer les risques en analysant, à partir d'événements déclencheurs (causes), les effets de ces événements dans un environnement initial.

Nous proposons donc les adaptations suivantes des principes de l'AMDEC:

- l'objet d'étude n'est pas la défaillance, mais l'apport d'une innovation au système,
- la criticité porte sur les effets de l'introduction d'une innovation dans l'environnement existant, en termes économiques et de valeur (interne et externe à l'entreprise),
- l'étendue de l'étude est l'ensemble du cycle de vie du système étudié.

Dans le paragraphe suivant nous décrivons les éléments constitutifs de la méthode AEII.

II.2. Les éléments de la méthode A.E.I.I.

Le principe de la méthode consiste à caractériser un scénario d'innovation par un ensemble d'éléments permettant son évaluation :

- Scénario d'innovation
- Événements initiaux
- Processus
- Ressources
- Événements induits
- Poids
- Confiance
- Type de conséquences

Ces éléments d'information sont nécessaires aux évaluations de coût et de valeur d'un scénario d'innovation.

Définitions des éléments

Scénario d'innovation : description de l'innovation sous forme fonctionnelle, technologique, technique ou détaillée. Cette description peut correspondre à une idée, une solution possible, une décision sur un produit en vue d'en changer certaines caractéristiques, exemples : 'Carte remplaçant la clé de contact véhicule', 'Ouvrir les portes d'un habitat de manière automatique'.

Événements initiaux : description (réalisée par des experts) des événements potentiellement liés à la mise en application d'une décision ou d'une solution d'innovation envisagée. Exemple : l'innovation permettant d'ouvrir un véhicule sans l'utilisation de la clé a pour événement initial la suppression de la clé.

Processus : description (réalisée par des experts) des conséquences de l'événement initial étudié, sur les processus existants ou description de nouveaux processus nécessaires à la réalisation ou à l'utilisation de l'innovation. La définition des processus impactés est effectuée par rapport au cycle de vie de l'innovation.

Ressources : description (réalisée par des experts) des ressources évaluant et / ou contribuant aux processus impactés par les événements. L'identification des ressources

contribuant (homme, machine, énergie,...) à un processus permet de connaître les coûts associés à ces processus et l'identification des ressources évaluant (hommes) des processus permet de connaître les valeurs associées.

Événements induits : conséquences d'un événement sur le produit. Ces conséquences deviennent alors de nouveaux événements à analyser.

Poids : quantification des conséquences relatives à l'événement initial étudié sur chaque ressource des processus, en terme de coût et de valeur. Elle est définie par une valeur comprise entre 0 et 100 donnée par les experts.

Le tableau (figure 3.5) présente la hiérarchisation des conséquences. L'importance des conséquences est donnée (valeurs numériques) en correspondance avec les différents niveaux d'appréciation. Nous proposons cinq niveaux d'appréciation qui sont représentatifs des différents cas d'innovation étudiés [Tomala et al., 00c].

Niveaux d'appréciation	Poids des conséquences	Explications
Très important	de 81 à 100	Les effets peuvent aller jusqu'à la redéfinition du système étudié
Important	de 61 à 80	Les effets entraînent d'importantes modifications du système
Moyen	de 41 à 60	Le système étudié est modifié en partie
Assez Important	de 21 à 40	Les effets sont légers
peu important	de 0 à 20	Les effets existent mais sont presque négligeables

Figure 3.5 : Hiérarchisation de l'importance des conséquences

Confiance : niveau de confiance accordé à l'estimation des poids. Elle est définie de la même manière que le facteur Poids.

Type de conséquences : les conséquences sont multiples et de natures diverses. Notre étude de l'innovation [Tomala et al., 00c] nous a conduit à proposer la classification suivante (figure 3.6) :

Type de conséquence	Exemples de conséquence
Sociales	emplois supprimés, emplois créés,...
Environnementales	taux de recyclage, taux de pollution,...
Stratégiques	conquête de marché, fidélisation de marché, prescription, exportation...
Valeur interne à l'entreprise	savoir faire, bénéfice, flexibilité de production, modularité, temps de conception, temps de fabrication, économie d'énergie, diminution des importations,...
Economiques	coût de conception, coût de fabrication, coût de commercialisation, coût d'usage, coût de recyclage.
Comportementales des clients	volume de vente, satisfaction exprimée sur l'ensemble du système,...
Autres	possibilité de développer d'autres innovations de même nature ou de nature différente : innovations organisationnelles, commerciales,...

Figure 3.6 : Types de conséquence

La figure suivante (figure 3.7) montre les relations existant entre les éléments de base de la méthode A.E.I.I.

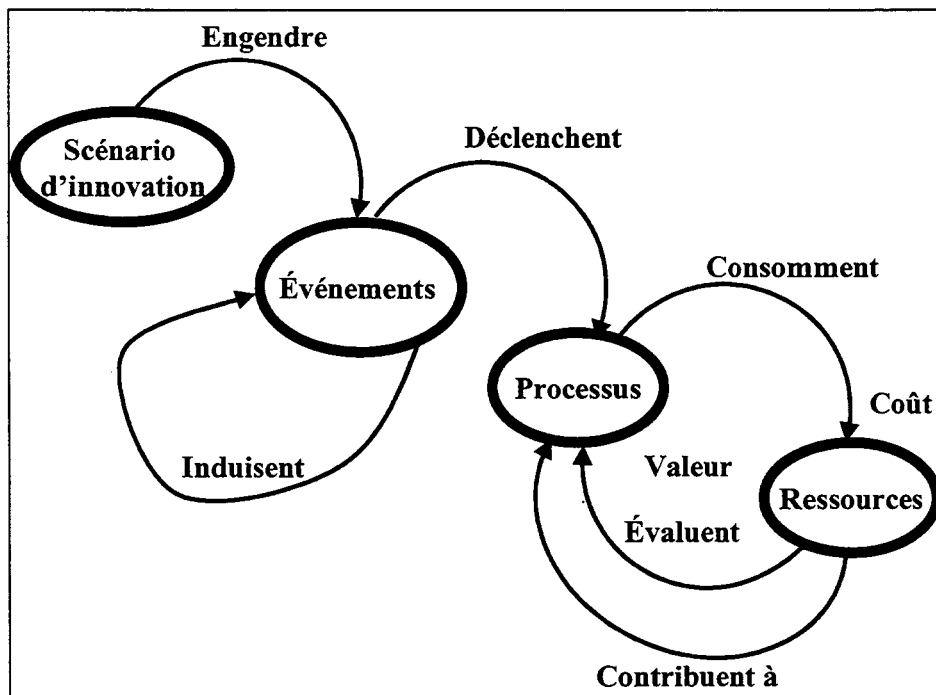


Figure 3.7 : Relations entre les éléments de la méthode A.E.I.I.

Les scénarios d'innovation (ex : carte électronique remplaçant la clé de contact d'un véhicule) engendrent des événements initiaux (ex : suppression de la clé de contact d'un véhicule) qui induisent d'autres événements (ex : suppression de la serrure). Les événements initiaux ou induits génèrent des processus (ex : modification des documents

concernant le démarrage d'un véhicule). Ces processus consomment des ressources. Certaines ressources (ex : experts comptables, responsables métiers,...) évaluent ces processus en termes de coût et de valeur.

Une fiche appelée fiche d'impacts* permet de regrouper les informations concernant l'innovation et les conséquences de son intégration dans un environnement existant (produit, processus). Elle constitue le support de communication entre les spécialistes (équipe souvent pluridisciplinaire dans le cas d'une innovation) qui utilisent la méthode. La figure suivante (figure 3.8) représente la structure générale de la fiche d'impacts avec un exemple de données. L'explication des données est présentée dans la suite de ce chapitre.

Scénarios d'innovation	Événements initiaux	Processus	Ressources	Poids	Type de conséquence	Confiance	Événements induits
Carte électronique	Suppression de la clé	Modification des documents concernant le démarrage du véhicule	Groupe commande électrique et développement portes	25	13	75%	Suppression de la serrure et du Neman

Figure 3.8 : Structure générique d'une fiche d'impacts

Comparaison AEII/ AMDEC

La différence d'objet d'étude entraîne certaines particularités de la méthode AEII, par rapport à l'AMDEC, qu'il est nécessaire de préciser (cf. figure 3.9).

Méthodes	Éléments des méthodes					
AMDEC	Effets en termes de qualité, sécurité, productivité	Gravité des effets	Fréquence ou probabilité d'occurrence des effets	Criticité = f(gravité, fréquence, détectabilité)	Efficacité de détection	Aucun
AEII	Effets en termes de modifications physiques, de coût et de valeur sur le produit et les processus	Importance (poids) des effets	Niveau de Confiance d'estimation	Score = f(Importance, confiance)	Accessibilité aux informations	Types et bilan des effets

Figure 3.9 : Tableau comparatif des éléments des méthodes

Le score*, le type de conséquence et le bilan des conséquences* sont spécifiques à l'A.E.I.I. (ces termes sont définis en détail dans la suite de ce chapitre).

Les quatre premiers éléments de la fiche d'impacts (cf. figure 3.9) permettent d'identifier les impacts de l'introduction d'une innovation dans un système (produit et processus) en termes de coût et de valeur. C'est à partir des informations portant sur le niveau de confiance, le type de confiance, de type de conséquences et à l'aide du bilan des conséquences (score) que des décisions en conception pourront être prises.

L'identification des impacts est effectuée, comme pour l'AMDEC [Zwingelstein, 96], grâce à l'expérience, à la connaissance des spécialistes et à l'utilisation de listes guides

(check-lists des risques, adaptées à l'innovation) générales à tout type d'innovation (cf. annexe 3.1). Ceci a pour avantage de permettre l'utilisation de la méthode dans n'importe quel secteur industriel.

La mise en œuvre de l'AEII sont présentées dans le paragraphe suivant.

III. Mise en œuvre de la méthode A.E.I.I.

III.1. Démarche globale d'établissement des A.E.I.I

La démarche globale d'établissement des AEII (cf. figure 3.10) est analogue à celle de l'AMDEC [Zwingelstein, 96].

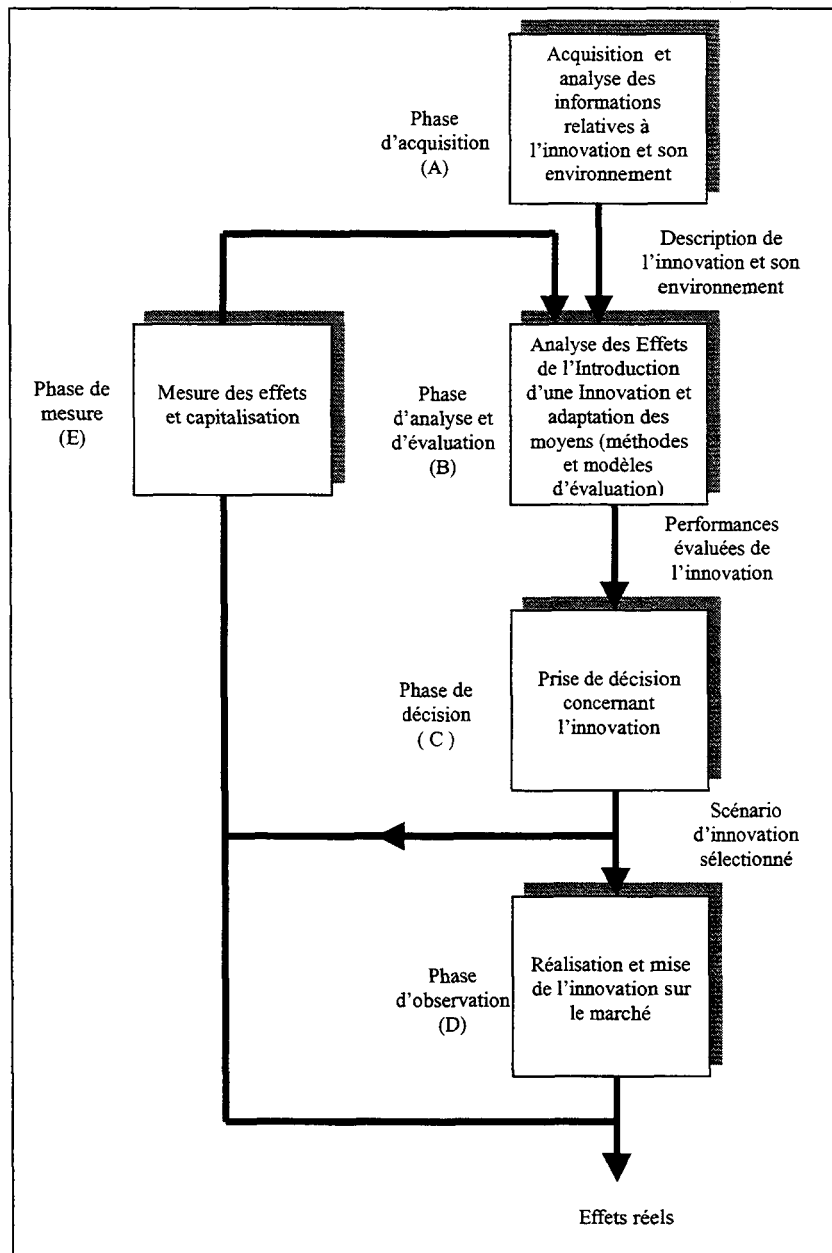


Figure 3.10 : Démarche globale d'établissement des A.E.I.I.

La figure suivante (figure 3.11) montre comment les phases de la démarche d'établissement des A.E.I.I. s'intègrent dans le processus d'innovation (voir chapitre 2). Sur cette figure ne sont représentées que les étapes du processus d'innovation et le circuit d'information (en gras) nécessaires à l'établissement des A.E.I.I.

Les deux étapes du processus d'innovation où est utilisée la méthode (phases de la méthode : B, C) sont des étapes de décision : 'Arbitrer' et 'Valider'. L'étape 'Informer' permet de recueillir, de capitaliser et de distribuer les informations nécessaires à l'amélioration des évaluations dans l'A.E.I.I. (phases A et E). L'étape 'Réalisation et mise sur le marché' est une étape d'observation (pour la méthode A.E.I.I.) des conséquences de la réalisation et de la mise sur le marché d'une innovation (phase D).

Les méthodes telles que le brainstorming, le concassage, les matrices de découverte utilisées dans l'étape 'Rechercher des idées' par exemple, ou des méthodes d'estimation telles que l'arbre des défaillances, les méthodes d'estimation de coût, l'analyse de la valeur, ou encore des méthodes d'évaluation comme l'AMDEC, l'analyse préliminaire des risques,...peuvent être des supports à la méthode A.E.I.I. En effet, les résultats issus de ces différentes méthodes peuvent permettre de confirmer ou d'infirmer les estimations faites par les personnes utilisant la méthode A.E.I.I.

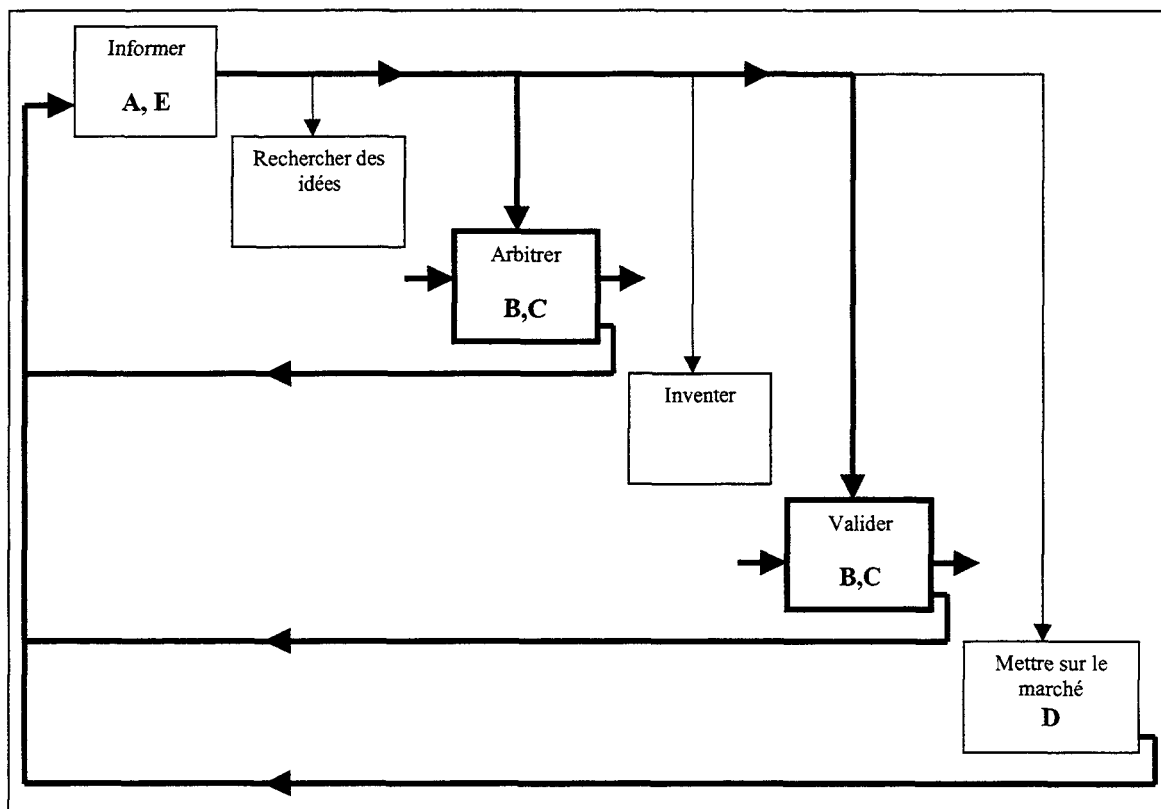


Figure 3.11 : La méthode A.E.I.I. dans le processus d'innovation

Les cinq phases de la démarche globale d'établissement de l'A.E.I.I. sont présentées dans les paragraphes suivants.

III.2. Phase d'acquisition (A)

La recherche systématique des risques relatifs aux décisions concernant une innovation repose sur la détermination des conséquences des événements induits par son intégration dans un environnement existant. Deux parties peuvent être distinguées dans cette phase : l'acquisition d'informations sur l'existant et l'acquisition d'informations sur le futur système.

Acquisition d'informations sur l'existant

L'acquisition des informations sur l'existant consiste d'une part à identifier les éléments de l'environnement existant (référence) dans lequel sera intégré l'innovation et d'autre part à étudier l'ensemble des informations disponibles sur l'existant.

L'identification fait appel à des connaissances sur différents systèmes :

- le produit ou service existants: composants, fonctions, propriétés, valeurs pour le client et les interactions entre ces éléments,
- les processus existants sur l'ensemble du cycle de vie du produit : conception, fabrication, commercialisation, utilisation et recyclage,
- les ressources existantes liées aux processus sur l'ensemble du cycle de vie : informations de coût et de valeur.

L'étude de l'existant est réalisée à l'aide :

- de documents techniques sur le produit : nomenclatures techniques et fonctionnelles, limites fonctionnelles (systèmes et composants), environnement, connaissances techniques expertes, ...
- de documents relatifs aux processus et activités permettant potentiellement la réalisation de l'innovation : gammes, plans de production, ordonnancement, connaissances des standards internes de l'entreprise, procédures qualité, expériences restituées,...
- d'informations concernant l'affectation des ressources aux activités : planification,...
- d'informations économiques : coûts de conception, coûts de fabrication, coûts de commercialisation, ...
- d'informations relatives aux appréciations de valeur de chaque acteur (acteurs de l'entreprise, des entreprises extérieures, du client, des distributeurs...) : résultats de veilles (technologique, commerciale, concurrentielle), benchmarking, enquêtes clients, documents de synthèse d'expériences,...

Acquisition d'informations sur le nouveau système

Cette partie consiste à définir l'innovation : décomposition matérielle, fonctionnelle, relations entre propriétés, entre valeur, identification d'événements initiaux (en fonction des informations disponibles au moment de l'étude).

Le nouveau système proposé peut être spécifié de différentes manières :

- sous la forme d'apports en terme de valeur par exemple (ex : 'le système doit améliorer la sécurité du véhicule'),
- sous la forme d'informations fonctionnelles ou techniques (ex : 'une nouvelle fonction : la fonction navigation dans le véhicule' ; 'un système électrique remplaçant l'arbre à cames'),

partir d'événements initiaux supposés possibles par les experts (ex : 'suppression de la pièce de contact'), etc.
La solution proposée peut aller de la simple amélioration jusqu'à l'innovation majeure.

III.3. Phase d'analyse et d'évaluation des effets d'une innovation (B)

Cette phase permet l'analyse et l'évaluation des effets de l'introduction d'une innovation dans un environnement existant (produit et processus) liés à l'innovation.

Elle se compose de trois étapes (cf. figure 3.12) :

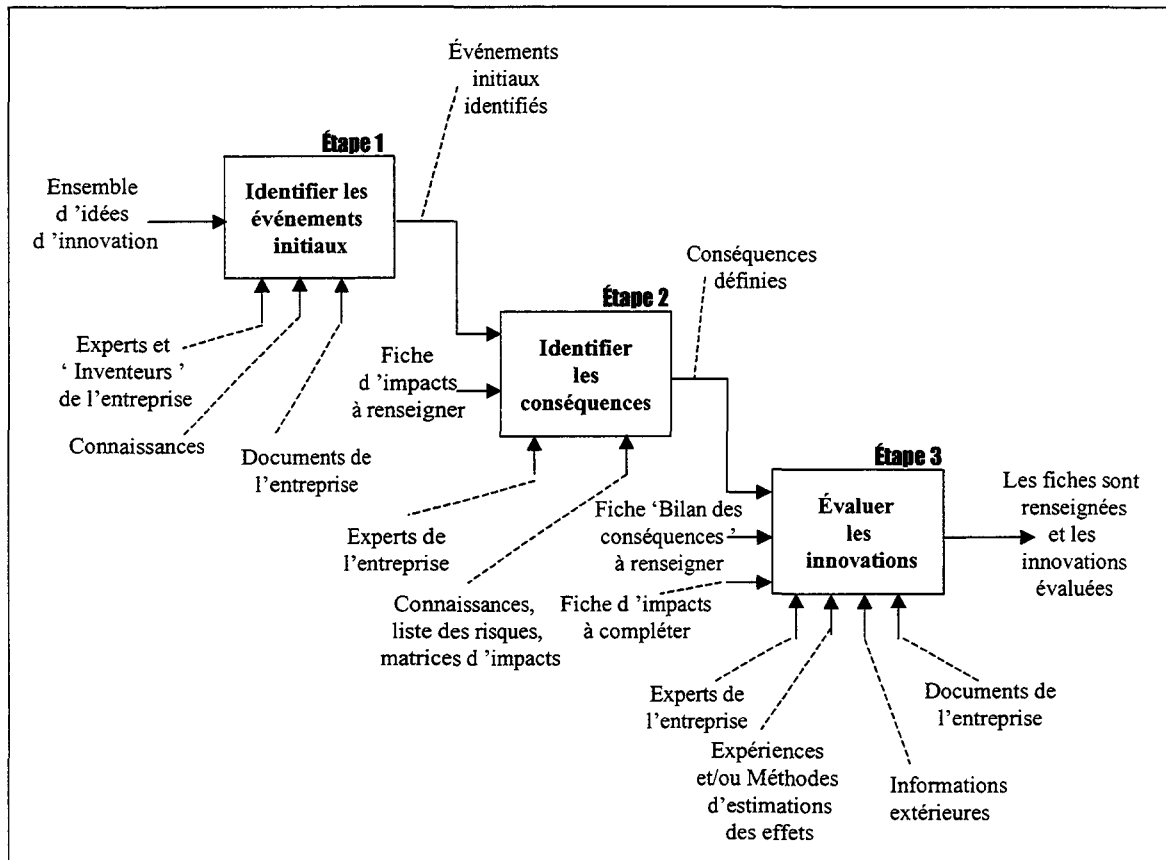


Figure 3.12 : Phase d'analyse et d'évaluation des effets d'une innovation (phase B)

Étape 1 : Identification des événements initiaux

Objectif

Identifier les événements initiaux liés à une innovation. La connaissance de ces événements permet de démarrer l'étude des conséquences d'une innovation et l'utilisation de la méthode A.E.I.I. Exemple : pour l'innovation 'Système électrique remplaçant l'arbre à cames', un des événements initiaux est 'la suppression de l'arbre à cames'.

Intrants

C'est l'ensemble des idées d'innovation. Ces idées d'innovation sont issues des 'inventeurs' de l'entreprise définissant une ou plusieurs innovations ou encore des scénarios d'innovation. Les inventeurs sont les personnes dont la proposition concernant une solution à un problème générique (ou spécifique) ou concernant une idée

d'amélioration a été retenue par la direction ou par les concepteurs (cf. chapitre 2 : 'Modèle de processus d'innovation proposé').

Moyens techniques

L'identification des événements initiaux s'appuie sur des documents de retour d'expériences établis lors d'innovations antérieures et sur la connaissance des experts concernés par l'innovation.

Moyens humains

Cette étape est réalisée par les experts des domaines concernés par l'innovation. Pour une innovation portant sur le moteur d'un véhicule par exemple, les événements initiaux seront définis par les concepteurs motoristes (ingénieurs et techniciens en mécanique, électrique et électronique). Les 'inventeurs' de l'entreprise porteurs du projet d'innovation présentent leur idée d'innovation.

Extrant

Les événements initiaux définis et décrits littéralement dans la fiche d'impacts.

Étape 2 : Identification des conséquences

Objectif

Cette phase est destinée à l'identification des effets d'une innovation sur :

- le produit ou service existant,
- les processus principaux liés au système existant sur le cycle de vie,
- les acteurs intervenant dans les processus sur le cycle de vie,
- les coûts,
- la valeur pour chaque acteur.

Cette phase permet également d'identifier les événements induits.

Intrants

Événements initiaux identifiés et fiche d'impacts à renseigner. Elle est le support de communication entre les spécialistes qui utilisent la méthode.

Moyens techniques

L'identification des effets est effectuée grâce à l'expérience et à la connaissance des spécialistes, sélectionnés pour une innovation donnée, à l'aide de check-lists permettant d'identifier l'existence de certaines conséquences et de les classer.

Pour favoriser l'identification des conséquences, nous proposons d'utiliser un tableau représentant la liste des risques possibles dans le cadre d'un projet innovant, et des matrices d'impacts permettant d'établir les relations entre événements et composants et/ ou fonctions et/ ou acteurs sur l'ensemble du cycle de vie (annexe 3.1).

Moyens humains

La rédaction de cette fiche nécessite, pour des raisons d'exhaustivité et de traçabilité, la création d'un groupe rassemblant des compétences pluridisciplinaires (ensemble des concepteurs de l'entreprise, tous métiers confondus)(cf. figure 3.13). Cette remarque rejoint celle d'Hatchuel et Weil qui préconisent, pour une meilleure organisation de l'innovation, une approche de 'conception collective' [Hatchuel et al., 99].

La probabilité d'occurrence des conséquences est estimée à l'aide du retour d'expérience d'innovations passées ou par jugement d'experts.

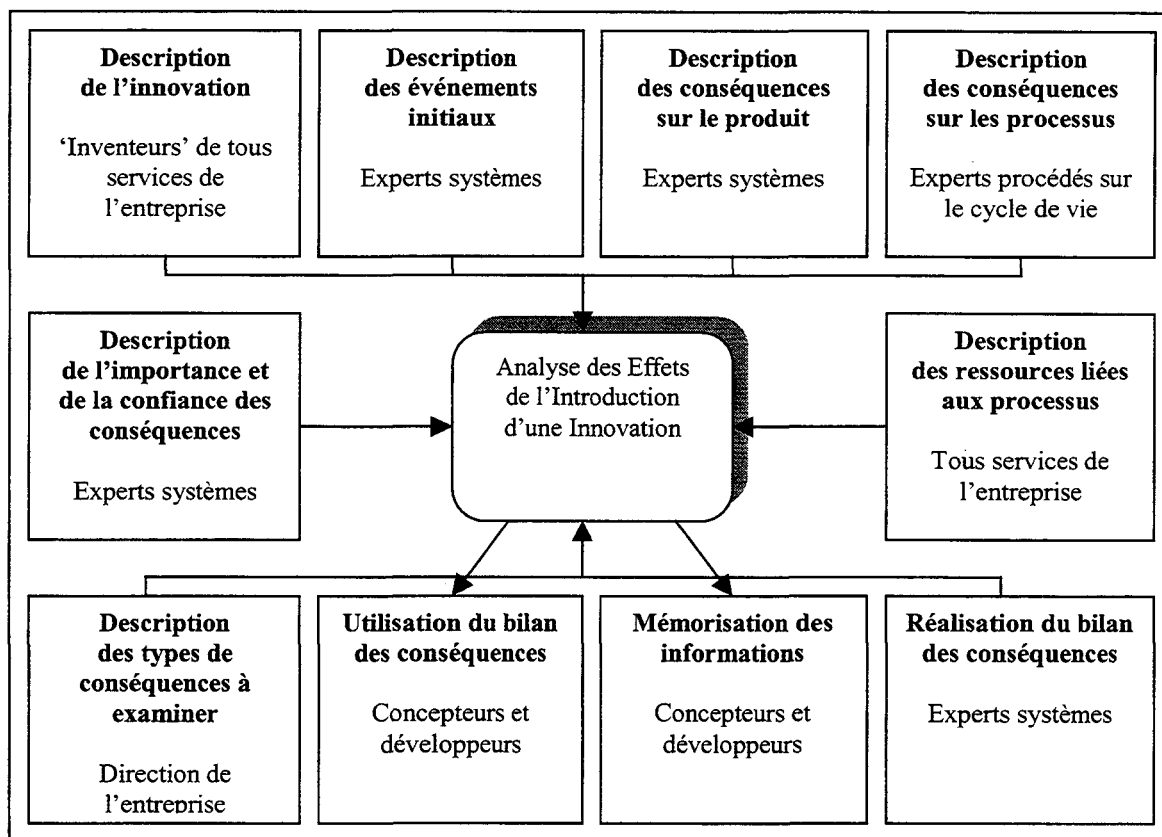


Figure 3.13 : Activités et compétences nécessaires à la mise en œuvre et à l'exploitation de l'A.E.I.I.

'Les experts système' sont les experts dans divers domaines qui possèdent d'importantes connaissances sur le produit et les processus. Ce sont des responsables de services, des techniciens, des ingénieurs...

Extrait

Les conséquences sont définies (conséquences sur le coût de fabrication, de recyclage par exemple).

Étape 3 : Évaluation des innovations

L'étape 3 se divise en quatre sous-étapes, présentées figure 3.14.

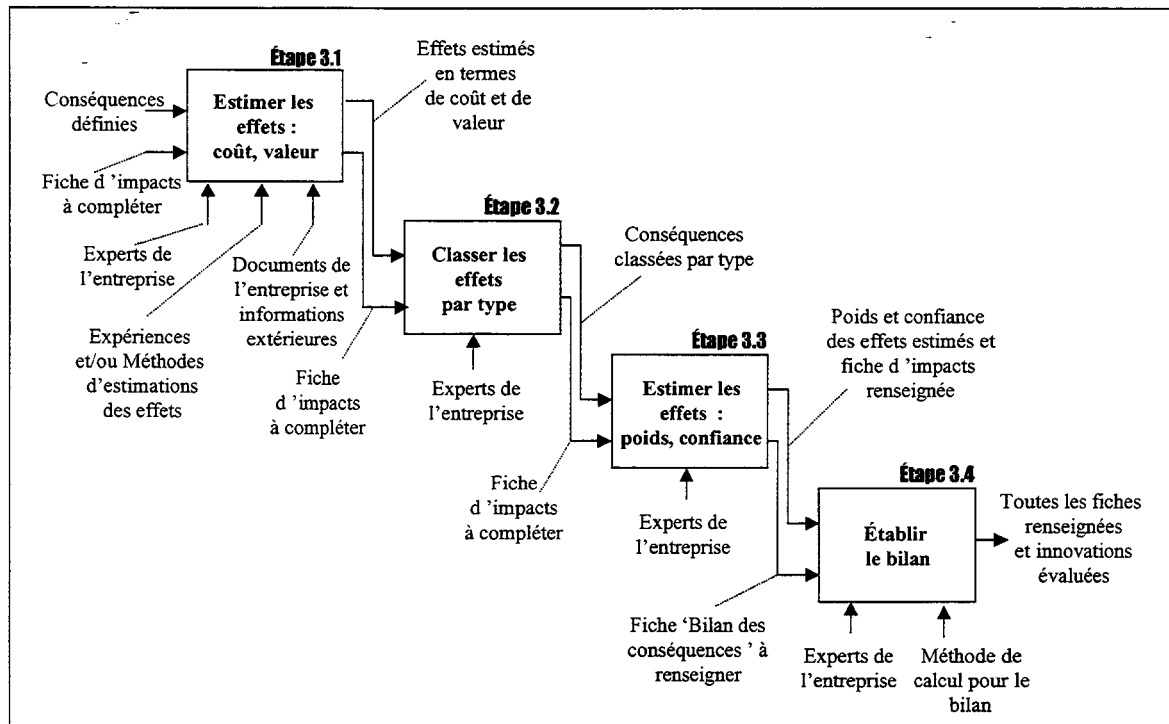


Figure 3.14 : Décomposition de l'activité 'Évaluer les innovations'

L'étape trois est décrite globalement. La comparaison des solutions comprise dans l'étape 'Établir le bilan' est définie en détail au paragraphe 'Comparaison des solutions'.

Objectif

Cette étape est destinée à permettre tout d'abord l'estimation des conséquences puis l'évaluation de chaque effet en termes de coûts et de valeur, de leur assigner un degré d'importance (poids), une valeur de confiance (confiance) et les situer dans une catégorie lors de la classification du type de conséquence.

Intrants

Fiche d'impacts à compléter et fiche bilan des conséquences à renseigner.

La fiche bilan des conséquences synthétise l'ensemble des informations spécifiées dans les fiches d'impacts, facilitant ainsi les décisions.

Les renseignements de la fiche d'impacts permettent d'obtenir une vision globale des différentes conséquences de l'introduction d'une innovation dans un système sur l'ensemble de son cycle de vie. Ceci peut constituer un ensemble très important de données souvent non homogènes qu'il est nécessaire de synthétiser dans le but de faciliter la prise de décision. Nous proposons pour cela une méthode de synthèse. Le principe de cette méthode est fondé sur l'approche multicritère (la définition et la mise en œuvre de cette méthode sont présentées en détail dans la suite de ce chapitre, au paragraphe : 'Comparaison des solutions'). La comparaison des solutions d'innovations doit permettre l'évaluation des différentes solutions en termes de performances globales suivant les différents critères physiques, économiques et de valeur.

Cette méthode permet de synthétiser l'ensemble des informations décrites dans la fiche d'impacts en calculant notamment, la valeur d'un score qui représente le niveau d'intérêt d'une solution (en fonction du poids des conséquences, du type de conséquence, du poids du type et de la confiance de l'estimation).

La fiche 'bilan des conséquences' présente ainsi aux utilisateurs de la méthode les informations essentielles à la prise de décision. On trouve les différents critères sur lesquels repose la décision, l'importance des critères les uns par rapport aux autres, les estimations en termes de poids et de confiance et finalement l'information de score (établi à l'aide de la méthode multicritère : somme pondérée) agrégeant les informations de poids de la conséquence, de la confiance et de l'importance du type de la conséquence.

Une fiche résumé est finalement présentée au décideur présentant pour chaque scénario d'innovation envisagé les informations de score de chaque scénario ainsi que d'autres données statistiques tels que le poids moyen et la confiance moyenne d'un scénario. Elle permet au décideur de prendre une décision en fonction des priorités qu'il accorde à l'enjeu de la décision (poids) et au risque pris (confiance). Un exemple de cette fiche est donné au paragraphe 'Comparaison des solutions'.

Moyens techniques

L'expérience des experts, les documents de l'entreprise et les informations externes à l'entreprise sont utilisés lors de cette étape. Si des modèles adaptés aux méthodes E.E.M.E. et E.E.M.C.I. sont existants dans l'entreprise, les estimations des effets (coût, valeur) peuvent être réalisées par calcul.

Moyens humains

Les estimations et évaluations sont effectuées par les spécialistes des domaines concernés par l'innovation.

Extrant

La fiche d'impacts et la fiche bilan renseignées et les innovations évaluées.

A l'issue de cette phase les informations concernant les effets de l'introduction de l'innovation dans l'environnement existant sont capitalisées, les performances sont évaluées (voir paragraphe suivant) et la fiche bilan des conséquences (synthétisant l'ensemble des informations de la fiche d'impacts) est renseignée.

III.4. Phases de décision (C), d'observation (D), de mesure et de capitalisation (E)

Phase de décision (C)

Toutes les conséquences définies étant estimées, les experts comparent alors les différents cas d'innovation proposés en utilisant la méthode 'bilan des conséquences' et les calculs associés intégrés dans la méthode A.E.I.I. (définis dans le paragraphe : 'Comparaison des solutions').

A partir des phases précédentes et des informations obtenues, les concepteurs sont capables:

- de prendre une décision concernant une solution d'innovation parmi celles proposées au début de la conception (classement, rejet, solution retenue),
- d'émettre éventuellement des remarques et des recommandations sur les actions futures à mener sur les solutions retenues et sur les prochaines analyses d'innovation. Les recommandations peuvent être par exemple : 'modifier la forme du volant', 'augmenter les dimensions de l'habitacle d'un véhicule permettant d'augmenter la valeur de confort', 'réaliser des essais particuliers (prototypes, tests,...)', 'définir des

points de contrôle (indicateurs)', 'établir les contraintes et les limites d'exploitation', etc.

Comme pour la méthode AMDEC, en l'absence de données pertinentes, la détermination des conséquences sur le cycle de vie est très souvent assurée par jugement collectif d'experts [Marciniak et Pagerie, 99].

Phase d'observation (D)

L'innovation est mise sur le marché et se trouve alors dans son environnement réel d'utilisation. C'est une phase d'observation des conséquences de l'innovation et de recueil d'informations nécessaires au retour d'expérience à l'aide d'indicateurs pertinents.

Exemples : coût de fabrication, coût d'utilisation pour le client.

Phase de mesure et de capitalisation (E)

Elle permet de mettre à jour et de capitaliser les nouvelles données issues des observations et du retour d'expérience sur les conséquences mesurées de la conception, de la fabrication et de l'introduction de l'innovation dans un milieu réel.

Les données issues d'expériences d'innovation antérieures sont exploitées et les modèles d'évaluations (voir méthodes E.E.M.E. et E.E.M.C.I.) sont adaptés en conséquence. En effet, nous avons montré, dans le paragraphe : 'présentation globale de la proposition', que les méthodes E.E.M.E. et E.E.M.C.I. peuvent être utilisées en amont de la méthode A.E.I.I., les informations issues d'expériences passées permettent d'enrichir les modèles utilisés par ces méthodes.

Dans le paragraphe suivant nous présentons le moyen de comparaison des solutions que nous avons retenu pour notre étude de l'innovation.

IV. Comparaison des solutions

L'ensemble des impacts de chaque solution proposée en conception étant évalué, il est nécessaire de les comparer afin de prendre la meilleure décision pour l'entreprise.

Le choix d'une solution parmi un ensemble de solutions d'innovation candidates est réalisé dans la phase d'exploitation et de décision. Ces décisions doivent prendre en compte l'ensemble des critères nécessaires à l'évaluation de la performance globale.

Pour fournir une aide à la décision dans le contexte de concurrence, en tenant compte des différents modes d'appréciation et des diverses approches de chacun, nous proposons d'exploiter les méthodes d'aide à la décision multicritère. Ces méthodes permettent de prendre en compte :

- les paramètres qualitatifs,
- les informations issues de la méthode A.E.I.I.,
- l'intégration de l'opérateur humain dans le processus de décision.

L'utilisation des méthodes multicritères est décrite ici brièvement, pour la résolution de problèmes généraux, puis pour la fonction de comparaison qui nous intéresse plus particulièrement.

IV.1. L'approche multicritère pour la résolution d'un problème

Les critiques faites envers les méthodes d'optimisation résultent principalement de l'impossibilité à prendre en compte un modèle adéquat de la réalité pour une prise de décision pertinente. Les hypothèses sont généralement très restrictives et conduisent à élaborer des modèles insuffisamment représentatifs de la réalité.

A l'opposé, l'approche multicritère a pour principe de s'appuyer sur des hypothèses plus proches de la réalité, et d'utiliser des méthodes de traitement de données moins complexes. L'objectif n'est plus de trouver une solution optimale mais plutôt de proposer un compromis efficace. Ce compromis est réalisé en fonction de l'objectif de résolution qui peut être principalement [Roy et al., 93] :

- élaborer un choix,
- élaborer un tri par catégorie,
- élaborer un classement.

Une méthode multicritère se fonde sur une « matrice de décision » qui comporte le maximum d'informations nécessaires au traitement (informations concernant les résultats de l'estimation, le choix des critères, la pondération des critères,...). Elle est élaborée à partir d'un ensemble de choix potentiels. Chacun de ces choix est évalué en regard de critères qui représentent un jugement d'une réalité correspondant à un axe de signification précis (délai, coût,).

On constate qu'une première restriction a lieu, puisque la réalité est représentée par un ensemble de critères de divers horizons.

Dans le cas des méthodes d'optimisation, on cherche à agréger les données le plus tôt possible dans le déroulement du processus de décision. L'approche multicritère au contraire retarde le plus possible, lors de la phase de résolution, l'opération d'agrégation, car cette dernière détruit l'information de base donnée par la matrice de décision. On cherche de cette manière à élaborer en premier lieu les évaluations pour chacun des critères puis à agréger ces données.

Deux phases sont alors définies : la phase d'identification et d'agrégation

La phase d'identification

L'objectif de cette phase est d'obtenir et de structurer la matrice de décision (elle comprend les critères et les valeurs de performances associées). La difficulté est la prise en compte de la diversité des données et des évaluations. On discerne deux grandes catégories de données :

- les données quantitatives,
- les données qualitatives.

A chaque donnée correspond un type de critère. La qualité de la prise de décision est fortement conditionnée par le choix des critères pris en considération.

La phase d'agrégation

Il est naturel et courant de fonder l'aide à la décision sur un modèle de préférence issu d'un critère défini sur un ensemble. Lorsqu'une analyse préalable a montré l'intérêt que pouvait présenter la prise en compte d'une famille de n critères, ceux-ci peuvent être synthétisés en un seul par ce qu'on appelle une procédure d'agrégation multicritère [Roy et al., 93].

Un compromis doit être établi entre le niveau d'adéquation de la méthode avec la réalité et les contraintes imposées par l'environnement décisionnel.

L'approche multicritère présente une potentialité élevée en terme de paramétrages concernant les différents poids, les seuils, etc.

L'effet pervers d'une telle approche est bien sûr le danger de déplacer le problème de la décision en un problème de définition des paramètres. Inversement, il est possible de calculer le paramétrage suffisant pour obtenir un choix particulier. Ce qui n'est pas sans conséquence pour la crédibilité de l'approche multicritère.

Le problème de la subjectivité (paramètres qualitatifs) est généralement peu abordé. Il existe des méthodes qui supportent la notion de subjectivité, de manière statique, floue, etc. Le problème sous-jacent est celui de la complexité qui en découle et qui nuit fortement à l'interactivité lorsque l'on considère la contrainte d'une prise de décision temps réel ce qui n'est pas notre cas.

IV.2. L'intérêt de l'approche multicritère dans la méthode A.E.I.I.

L'utilisation de l'approche multicritère pour la comparaison des solutions permet, suivant un ensemble de critères donnés (quantitatifs ou/ et qualitatifs) définis par les décideurs, de réaliser un choix parmi les solutions estimées. Elle permet de tenir compte des critères économiques et de valeur (interne ou externe à l'entreprise) liés à la réalisation d'un objet d'évaluation sur son cycle de vie. La phase de comparaison porte sur l'ensemble du cycle de vie de la solution innovante (sur les divers éléments impactés tels que les processus de réalisation du produit, les processus administratifs).

Il existe de nombreuses méthodes multicritères, on peut citer notamment :

- les méthodes de pondération (somme pondérée, produit pondéré),
- les méthodes multicritères ordinales (méthode de Borda, de Condorcet, de Bowman et Colantoni, les méthodes lexicographiques),
- les méthodes associées aux fonctions d'utilités additives,
- les méthodes de surclassement (ELECTRE, PROMETHEE),...

Le lecteur trouvera des présentations de ces méthodes dans [Pomerol et al., 93], [Roy et al., 93].

Le choix d'une méthode multicritère adaptée au contexte de l'aide à la décision concernant des innovations ou scénarios d'innovation est difficile. L'objet de notre travail n'est pas ici de définir une telle méthode et laissons par conséquent le choix au décideur. Nous envisageons néanmoins en perspective d'utiliser la méthode de surclassement ELECTRE qui répond le plus, a priori, à notre problème de comparaison de solutions d'innovation.

Dans le but d'illustrer la méthode AEII, nous utilisons toutefois la méthode de la somme pondérée qui est une méthode proche des méthodes d'optimisation mais qui présente cependant les avantages d'être intuitive et simple à appliquer.

Nous utilisons cette méthode pour résoudre la problématique de comparaison des solutions d'innovation. Elle repose sur certaines hypothèses théoriques qu'il convient de connaître pour éviter de l'utiliser de façon inconsidérée. En effet, Il faut prendre conscience des exigences attachées à l'emploi de la somme pondérée : cardinalité* des données (utilités et poids) et normalisation préalable.

Les inconvénients résident principalement dans la difficulté à déterminer les poids des critères. Cette importance des valeurs des poids résulte naturellement du rôle qu'ils jouent dans la décision multicritère pour indiquer l'importance que le décideur attribue à chacun des critères. Il est évident que les valeurs prises par les poids vont influencer de façon déterminante le résultat de l'agrégation. Il en est d'ailleurs ainsi dans la plupart des

méthodes d'agrégation à l'exception de quelques méthodes comme les méthodes lexicographiques où seul l'ordre des poids joue un rôle.

Il est donc indispensable d'évaluer les poids de telle sorte qu'ils reflètent, le plus fidèlement possible, les préférences du décideur.

Plusieurs méthodes permettent d'évaluer les poids affectés aux critères, on trouve la méthode de classement simple, la méthode des comparaisons successives, etc. [Pomerol et al., 93].

La méthode de classement simple est la plus intuitive et la plus aisée à mettre en œuvre, ce sont les raisons pour lesquelles nous proposons de l'utiliser pour l'évaluation des poids.

IV.3. La comparaison des solutions

Précédemment, nous avons précisé que la comparaison des solutions est réalisée à l'aide de la méthode de la somme pondérée.

Le résultat de la somme pondérée est appelé ici score. Les scores des différents scénarios d'innovation sont comparés. C'est à partir des scores alloués à chaque solution que le choix d'un scénario est effectué par les décideurs en fonction de leur stratégie.

La comparaison des solutions est réalisée de la manière suivante :

- pour les différents scénarios d'innovation : calcul des scores de chaque scénario,
- comparaison des scores décrits sur la fiche 'bilan des conséquences',
- choix d'un scénario.

On distingue, au niveau du choix d'un scénario, deux niveaux de décision:

Niveau 1 : la décision est prise uniquement à partir de l'information sur le score calculé de chaque scénario : comparaison des scores de l'ensemble des scénarios d'innovation et choix de la solution la plus intéressante pour l'entreprise.

Niveau 2 : en plus des informations de score de chaque scénario, d'autres données statistiques peuvent être présentées au décideur, tels que le poids moyen (importance moyenne des conséquences IMC) et la confiance moyenne d'un scénario (CM). Cette possibilité est intéressante lors des cas discutables (scores proches, manque d'informations) qui rendent les décisions difficiles. A ce niveau le décideur prend une décision en fonction des priorités qu'il accorde à l'enjeu de la décision (poids) et au risque pris (confiance). L'outil permet ici de décider sur le rapport enjeux/ risque d'une décision (enjeux : impact de la solution sur le coût et la valeur ; risque : incertitude sur l'obtention à terme de cet impact).

La figure 3.15 montre un exemple de fiche 'résumé'. La deuxième fiche représente le bilan des conséquences d'un scénario (importance et confiance par conséquence).

Ensemble des scénarios concernant le problème 14			
	Score du scénario	Importance moyenne des conséquences ou poids (ICM)	Confiance moyenne d'une estimation (CM)
Scénario 1	28	37	70%
Scénario 2	39	12	50%
Scénario 3	12	29	40%
Scénario 4	20	80	50%
...
Scénario 18	11	17	70%
Scénario 4			
	Importance de la conséquence ou poids (IC)	Importance du Type de conséquence (IT)	Confiance d'une estimation (C)
Conséquence 1	45	28	75%
Conséquence 2	65	18	100%
Conséquence 3	87	56	40%
Conséquence 4	88	35	50%
...
Conséquence 30	36	37	20%
Moyennes	17	60	50%
Score	20		

Figure 3.15 : Fiche 'bilan des conséquences'

Calcul des « scores »

Les scores de chaque scénario sont calculés en fonction du poids de la conséquence, de l'importance prédéfinie du type de conséquences et de la confiance. Pour cela, chaque type de conséquence est pondéré par une valeur qui est comprise entre -100 et 100 (valeurs des bornes arbitraires). Cette pondération est réalisée en fonction de la stratégie et des priorités de l'entreprise. Une valeur positive représente un avantage pour l'entreprise tandis qu'une valeur négative représente un inconvénient.

Le calcul du score n'est pas nécessaire à la prise de décision mais présente toutefois aux décideurs, comme pour la criticité dans l'AMDEC, une information synthétique résumant l'ensemble des données de l'étude permettant de faciliter la prise de décision.

La figure suivante présente un exemple de pondération par type de conséquence (cf. figure 3.16).

Type de conséquence	Conséquences	N° type	Importance
Sociales	Emplois créés	1	25
	Emplois supprimés	2	-25
Stratégiques	Conquête de marché	3	50
	Fidélisation de marché	4	50
	Montée en gamme	5	20
	Achats additionnels	6	30
	Prescription	7	20
	Exportation	8	10
Valeur interne à l'entreprise	Savoir-faire	9	20
	Bénéfice	10	80
	Flexibilité de production	11	30
	Modularité	12	30
	Temps de conception	13	10
	Temps de fabrication	14	15
Comportementales des clients	Importation	15	10
	Satisfaction client	16	75
Economiques	Volume de vente	17	75
	Coût de conception	18	-60
	Coût de fabrication	19	-60
	Coût de commercialisation	20	-60
	Coût d'utilisation	21	-60
Environnementales	Coût de recyclage	22	-60
	Pollution sonore	23	-20
	Pollution chimique	24	-20
Inductions	Recyclage	25	-20
	Innovations commerciales	26	30
	Innovations organisationnelles	27	10

Figure 3.16 : Exemple de types de conséquences et leur pondération (Importance)

Le calcul du score d'un scénario est donné par la formule suivante :

$$S_k = \sum_{j=1}^n IC_{jk} \times IT_{jk} \times C_{jk}$$

Où :

S_k : Score du scénario k,

k : numéro du scénario étudié,

j : indice indiquant le numéro de la conséquence étudiée,

n : nombre total de conséquences du scénario k,

IC_{jk} : Poids de la conséquence j du scénario k,

IT_{jk} : Importance du type de conséquence j du scénario k,

C_{jk} : Confiance d'une estimation d'une conséquence j du scénario k.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté globalement les trois méthodes d'évaluation de la performance d'une innovation dès le début de sa conception.

Dans une seconde partie, nous avons précisé la méthode A.E.I.I. et sa mise en œuvre. Cette méthode permet l'analyse et l'évaluation des effets de l'introduction d'une innovation et prend en compte les coûts et la valeur pour chacun d'eux sur l'ensemble du cycle de vie. Ceci permet d'apporter aux décideurs une vision globale sur les conséquences de l'introduction d'une innovation dans un environnement existant, en mettant en évidence les relations entre certains événements (modification d'un élément du produit par exemple) et leurs effets, mais aussi de capitaliser l'expérience et les diverses connaissances liées à l'innovation.

Cette capitalisation permet de réutiliser les connaissances dans d'autres projets d'innovation dans le but de limiter les risques d'erreurs lors de la conception, de diminuer les temps de développement d'une innovation.

Dans le chapitre suivant, nous présentons en détail les méthodes E.E.M.E. et E.E.M.C.I. et leur mise en œuvre.

Chapitre 4

Méthodes d'estimation E.E.M.E. et E.E.M.C.I.

Introduction

Dans le chapitre précédent nous avons présenté les trois méthodes d'estimation et d'évaluation de la performance d'une innovation que nous proposons et décrit la méthode A.E.I.I.

Dans les quatre premières parties de ce chapitre, nous définissons les méthodes E.E.M.E. et E.E.M.C.I. Ces méthodes s'appuient sur l'utilisation de modèles, dont nous présentons le processus de construction.

L'exploitation de ces méthodes nécessite des outils support dont nous proposons, dans la cinquième partie, une architecture fonctionnelle s'appuyant sur un modèle de système interactif d'aide à l'évaluation.

I. La méthode E.E.M.E. (Estimation des Effets de l'introduction d'une innovation à l'aide de Modèles de type Événement)

Problématique abordée

Cette méthode est plus particulièrement adaptée à l'estimation des performances d'une innovation lorsque celle-ci est considérée comme modification d'un système existant.

Les modifications d'un objet (produit, service, processus) en conception peuvent entraîner, par propagation, de très nombreux changements (en termes de délai, d'enchaînement des activités de conception et de fabrication, de coût, de performance du produit) touchant le produit et ses représentations (pièces, fonctions, plans techniques), d'autres projets, les processus sur l'ensemble du cycle de vie (processus de conception, de fabrication, modes d'exploitation du nouveau produit, recyclage, organisation des processus), les acteurs (concepteurs, fabricants, fournisseurs et partenaires, clients), etc.

Ces multiples impacts sont dûs au fait que les parties d'un objet sont en interaction et par conséquent, les modifications se répercutent de l'une sur l'autre en cascade [Nichols, 90].

Le degré d'impact sur un système (au sens général du terme), après modification d'un de ses éléments, dépend de sa complexité. Meinadier distingue deux types de complexité des systèmes [Meinadier, 98] :

- statique : liée à la complexité de l'architecture du système,
- dynamique : liée à la dynamique des interactions entre fonctions ou entre sous-systèmes ; elle se traduit par la combinatoire des parcours dans l'espace des états du système.

Ainsi, plus l'architecture d'un système est complexe et/ ou plus il existe d'interactions entre les éléments du système, plus le degré de complexité du système est élevé. Une automobile et un avion par exemple, sont considérés comme des systèmes très complexes.

Ceci implique que la réussite de la gestion des modifications dépend fortement des connaissances disponibles sur les relations entre les objets étudiés et les impacts d'une modification.

En s'appuyant sur ces connaissances, les concepteurs améliorent la maîtrise du processus de conception en identifiant les impacts des modifications au plus tôt, en

comparant les solutions et en vérifiant qu'elles répondent bien aux spécifications demandées. Globalement, l'intérêt de l'estimation des modifications est d'aider les concepteurs à :

- identifier l'ensemble des entités impactées par les modifications,
- organiser et à planifier les changements dus à un nouveau projet.

Or, plus le système est complexe et plus il est difficile d'estimer les impacts d'une modification. Ceci est dû au fait que les concepteurs n'ont pas une vue d'ensemble complète et détaillée du produit, mais une vue spécifique à leur métier d'origine (voir le concept de rationalité limitée [Joffre et Simon, 89]). Un électronicien n'a pas la même vision sur le produit qu'un mécanicien et ne peut pas imaginer les effets sur la partie mécanique d'une modification électronique. De plus, l'étendue des impacts est beaucoup plus importante lorsqu'il s'agit de modifications sur un environnement complet (produit, service, processus sur le cycle de vie) que sur un produit seul. En outre, les acteurs liés aux différents objets impactés, sont de natures multiples: informaticiens, mécaniciens, comptables, commerciaux, clients, des utilisateurs, recycleurs...

A la complexité du produit, il faut donc ajouter la complexité des processus liés au produit et celle des organisations. Cette plus grande complexité augmente d'autant les difficultés d'identification de l'ensemble des impacts.

Selon Wright, les modifications techniques (MT) sont perçues habituellement comme des problèmes alors qu'elles devraient être vues comme des opportunités permettant d'améliorer la qualité des produits et diminuer les coûts de conception et de re-conception [Wright, 97]. En effet, une gestion améliorée des modifications peut permettre de faire d'importantes économies, car 70 à 85 % des modifications ont une incidence sur le coût [Rivière et al., 02a]. Il a été également observé dans les industries automobiles et aéronautiques que les modifications peuvent avoir des impacts sur les avantages compétitifs (économiques et de valeur) des entreprises [Rivière et al., 02b].

Mais, actuellement, le processus de traitement des modifications est un processus mal maîtrisé. Les principaux problèmes identifiés sont [Rivière et al., 02a] :

Concernant le pilotage du processus de modification:

- le pilotage est toujours réalisé dans l'urgence,
- les circuits de diffusion et d'approbation sont longs,
- l'insuffisance du nombre d'indicateurs de performance du processus.

Concernant la circulation de l'information :

- c'est un processus reposant sur les connaissances des acteurs,
- l'historique des modifications est faiblement utilisé.

Il existe quelques méthodes et outils informatiques supports de pilotage du processus de traitement des modifications de produit. Un état de l'art sur les MT assistés par ordinateur a été réalisé par Huang et Mak [Huang et al., 98]. Ils affirment qu'il existe très peu de cas étudiés à l'heure actuelle. On peut citer toutefois le système de gestion des configurations GC qui est une discipline qui a émergé pour la gestion des MT spécifiquement dans les logiciels de développement de produit. Elle intègre des informations sur la maintenance, sur les révisions, l'historique des divers changements effectués sur le produit et sur les documents divers. Le système de gestion des données du produit GDP fournit d'autres fonctions pour le processus et la modélisation, il est souvent assimilé à une gestion électronique des processus : GEP ou « workflow », processus représentant les interactions des acteurs travaillant avec les données du produit selon un processus prédéfini de l'entreprise pour réaliser les objectifs en coopération.

D'autres méthodes permettent de prédire les changements dus à des modifications dans les cas de re-conception d'un produit. Deux méthodes sont proposées par [Schach et al., 00] et [Rajlich, 00]. Elles montrent les éléments impactés mais ne traitent qu'une modification à la fois, de plus les informations sur les liens entre composants sont pauvres et ne sont pas par conséquent appropriées à la conception mécanique.

Dans le domaine de la conception mécanique assistée par ordinateur, le C-FAR system [Cohen et al., 00] enregistre l'historique et prédit les modifications. Le produit est décomposé en éléments simples décrits par plusieurs attributs. Ce système est approprié uniquement pour des produits relativement simples.

Concernant les modeleurs de solides comme Catia ou Dymola, ils fournissent une analyse de la conception encore rudimentaire [Clarkson et al., 01]. Catia vérifie principalement la cohérence géométrique, Dymola peut vérifier les connexions fonctionnelles. En outre, des analyses mathématiques permettent d'identifier des problèmes relatifs aux propriétés structurelles des éléments à l'aide des calculs par éléments finis.

En conclusion, il existe quelques approches en ce qui concerne la gestion des MT (GC, GDP) et quelques méthodes permettant d'estimer les changements apparus suite à des modifications du produit. Dans le cadre de notre problématique ces méthodes ne sont pas adaptées. En effet, les premières approches (GC, GDP) ne permettent uniquement que de gérer le processus de modification. Quant aux approches qui permettent de prédire les conséquences des modifications, elles ne permettent d'identifier que les conséquences immédiates des modifications et non la propagation des conséquences pour l'ensemble du produit. Elles ne sont pas appropriées à des systèmes complexes du type automobile ou avion. Enfin, ces deux types d'approches ne prennent en compte que le produit manufacturé et des interactions techniques entre les éléments du produit (d'un point de vue mécanique uniquement pour certaines) et non pas son environnement complet (service, processus liés au produit sur le cycle de vie, acteurs, coût, valeur).

Il existe toutefois une méthode récente issue des travaux d'Anne Collaine du LRPS de Strasbourg [Collaine et al., 02] qui permet l'évaluation des impacts des évolutions techniques des produits sur le produit lui-même et sur les systèmes de production en terme de délai (applicable a priori pour tous les critères quantifiables). Dans le cadre de notre problématique qui est l'estimation des effets dus aux modifications (techniques, fonctionnelles, ...) d'une innovation (tous types confondus) sur un environnement existant (produit, service, processus sur le cycle de vie) en termes techniques, économiques et de valeur, cette méthode n'est pas adaptée car elle ne prend en compte que les évolutions techniques des produits et limite l'étude des impacts à quelques facteurs de la conception et de la production dans l'entreprise.

Les constats concernant l'estimation des conséquences de modifications nous amènent à proposer une nouvelle méthode (méthode E.E.M.E.) dans le but de répondre à notre problématique.

La méthode E.E.M.E.

C'est une méthode quantitative qui permet d'estimer la probabilité d'apparition d'une modification et son importance au sein de systèmes existants (produit et processus sur le cycle de vie du produit), à la suite d'une modification d'un des éléments d'un système.

Cette estimation est réalisée par simulation informatique basée sur un algorithme de propagation des effets dans deux modèles de type 'Événements'. Ce sont :

- un modèle de type 'Produit' multi- niveaux représentant le produit existant (produit manufacturé et service) sur lequel l'innovation sera appliquée,
- un modèle de type 'Processus' représentant les différents processus mis en œuvre au cours du cycle de vie du produit.

Nous avons analysé les modèles produit actuels. La première partie de ce paragraphe présente cette étude qui a montré que ces modèles ne répondent pas à notre problématique.

I.1. Les modèles produit et leurs limites

Depuis plus de trente ans, la modélisation tient un rôle croissant dans la conception de produit [Krause et al., 93]. Cette modélisation n'était, au départ, qu'une représentation géométrique sur plans. Ces modèles purement géométriques ont montré leurs limites, même si les approches paramétriques et variationnelles leur ont apporté un gain de flexibilité [Eastman et al., 94]. La modélisation de produit a connu un essor considérable avec l'avènement de l'outil informatique facilitant les représentations spatiales et les simulations (CFAO).

L'évolution imposée par la globalisation de l'activité économique actuelle, les contraintes liées à l'environnement et l'intégration des activités du cycle de vie du produit, ont conduit à la proposition de nouveaux modèles de produit. Ces modèles ont été créés dans le but d'offrir des supports adaptés pour la représentation et le traitement des multiples informations nécessaires en conception. Nous présentons ci-dessous les approches de modélisation les plus utilisés actuellement :

- La modélisation par domaines [Hubka et Eder, 88] et [Andreansen, 91] : les modèles y sont fondés sur quatre domaines : processus, fonction, organe et partie :
 - domaine 'processus' : décrit les transformations physiques,
 - domaine 'fonction' : décrit les résultats attendus,
 - domaine 'organe' : représente les entités répondant aux résultats attendus,
 - domaine 'partie' : précise les éléments réalisables du système.

Ces modèles permettent une conception allant de la description abstraite à une description détaillée et précise d'un système mécanique.

- La modélisation à base de caractéristiques (« features »). De manière générale, on désigne par caractéristique « toute unité d'information du modèle produit précisant un agrégat de propriétés qui décrivent le produit selon un certain point de vue » [FEMEX, 97]. L'Université de Cranfield (Pratt) et l'Université de Tokyo (Kimura) ont utilisé les features pour spécifier des contraintes morpho-dimensionnelles, tandis que l'Université de Twente (Van Houten) a privilégié l'idée d'une extraction automatique de features d'usinage. Le modèle de produit utilisant le concept de feature développé par le LAMIH de Valenciennes [Jacquet, 98] est structuré en cinq niveaux pour représenter le besoin, les exigences fonctionnelles du besoin, les aspects technologiques, les aspects techniques et les aspects détaillés. Ces niveaux sont transversaux aux métiers. Les deux premiers niveaux permettent de décrire les points de vue du client et d'explicitier le cahier des charges indépendamment des métiers. Les trois autres niveaux font référence à des points de vues de plus en plus spécialisés et constituent une structure d'accueil pour différentes familles de features métiers. Une extension de ce modèle à la sûreté de fonctionnement a été également réalisée [Grudzien, 99].

- Le graphé produit : Dupinet [Dupinet, 91] propose un modèle produit capable d'intégrer la notion de fonction, de choix technologiques, etc...permettant ainsi de trouver, dans une base de composants, ceux qui sont susceptibles de constituer des solutions aux besoins fonctionnels. Ce modèle est associé à un graphe 'état - transition' portant l'historique des décisions prises pour la conception du produit.
- La modélisation multi- vues pour la conception intégrée : Tichkiewitch [Tichkiewitch, 96], met l'homme et son environnement au centre de la réflexion en proposant des modèles produit qui favorisent une démarche d'ingénierie concourante et améliorent ainsi la qualité des produits et des services. Ces modèles définissent les composants d'un produit (pièces, ensemble de pièces) et leur structure ainsi que les liens et les relations entre eux et avec l'extérieur. Une grammaire est associée permettant de construire un modèle produit. Les objectifs sont de pouvoir stocker des données relatives aux différents métiers, de pouvoir les restituer en temps voulu et de propager les contraintes entre ces acteurs. Cet aspect contribue notamment à la réalisation d'une véritable base de connaissances, mémoire du savoir-faire de l'entreprise [Tollenaere, 92].
- Modèle pour l'ensemble du cycle de vie du produit : plusieurs auteurs comme Tichkiewitch et Tollenaere prennent en compte dans leur modèle les différentes étapes du cycle de vie du produit : du produit virtuel, de sa fabrication, son assemblage, ses phases d'utilisation et de recyclage, dans le but de permettre des raisonnements analogiques dans les démarches de reconception [Tichkiewitch, 96], [Tollenaere, 92].

L'analyse précédente montre que les modèles doivent intégrer différentes informations portant sur les fonctions, les différentes vues métier, le cycle de vie, la sûreté de fonctionnement..., afin de capitaliser la connaissance et le savoir-faire de l'entreprise pour la mémorisation et la réutilisation lors de la conception. Mais ces modèles ne prennent en compte que les aspects techniques du produit. Or, les décisions de conception ne sont pas prises uniquement à partir de critères physiques ou techniques (géométriques, topologiques) mais à partir de critères tels que le coût et la valeur et doivent porter sur l'ensemble du cycle de vie. De plus, ces modèles ne sont pas applicables, en tout cas directement, à la conception de services.

Les modèles produit présentés sont donc insuffisants dans le cas de notre problématique, car ils ne prennent pas en compte les informations de coût et de valeur ni la notion de service. C'est pourquoi nous proposons un modèle produit permettant de propager les conséquences de l'introduction d'une innovation en termes de coût et de valeur, dans le modèle.

I.2. Modèle produit proposé

Le modèle produit que nous proposons se positionne par rapport aux méthodes d'analyse fonctionnelle, supports de l'analyse de la valeur, de la manière suivante : le diagramme FAST (Functional Analysis System Technique), tout comme la méthode APTE (méthode d'Analyse Fonctionnelle et d'Analyse de la Valeur), ne prend en compte que l'aspect fonctionnel d'un produit et selon l'axe de décomposition uniquement. Le modèle produit proposé couvre quant à lui plusieurs points de vue (composants physiques, fonctions, propriétés et items de valeur) et permet une analyse suivant trois axes (de décomposition, de contribution et d'interaction).

Ces axes et points de vue sont complémentaires et selon nous indispensables car ils permettent la propagation des informations de modifications sur l'ensemble du réseau d'impacts d'une décision portant sur la performance globale d'une innovation.

La méthode FAST, par conséquent, peut tout à fait être un outil support de la méthode pour la décomposition du produit en fonction.

Nous définissons notre modèle en décrivant tout d'abord les éléments le constituant, puis sa structure et enfin les relations entre ces éléments (cf. figure 4.1).

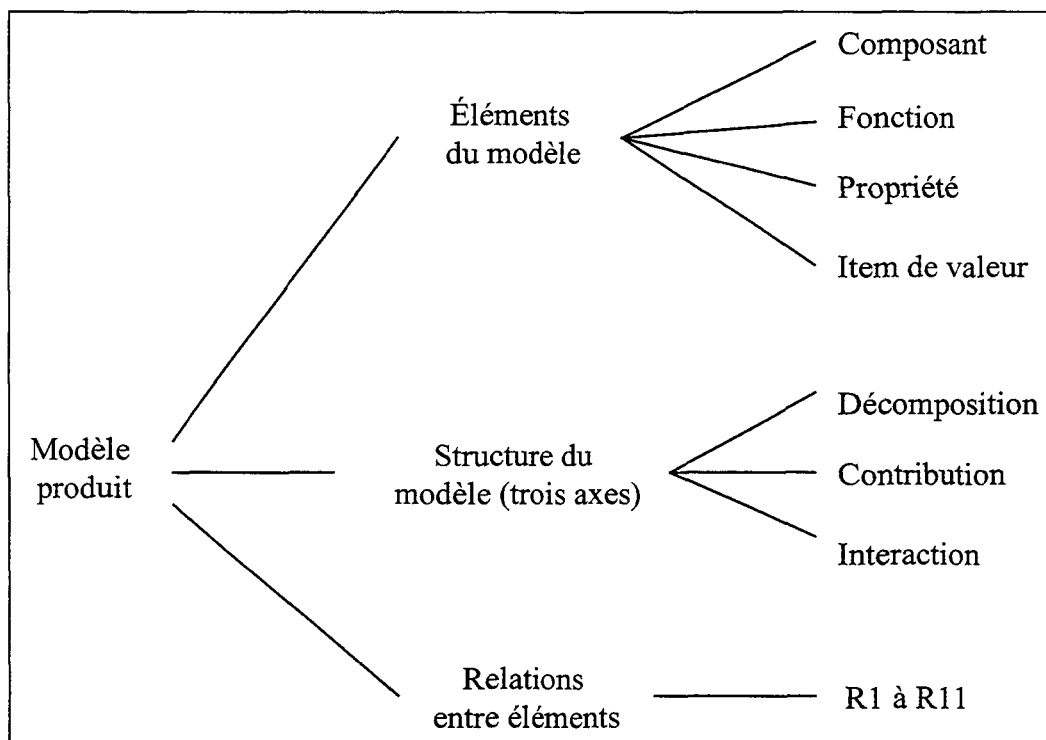


Figure 4.1 : Éléments de base de notre modélisation de produits

Les éléments du modèle

L'ensemble produit et innovation doit être évalué afin de vérifier s'il apporte réellement de la valeur à l'utilisateur. Cette valeur est perçue de manière subjective par l'utilisateur mais repose sur les propriétés (ou caractéristiques) physiques objectives, du système. Ces propriétés caractérisent les fonctions ou directement les composants physiques du système qui permettent de réaliser les fonctions. Ceci nous permet d'affirmer que les composants contribuent à la réalisation de fonctions, les composants et/ou fonctions contribuent aux propriétés du produit et les propriétés contribuent à leur tour à la valeur du produit.

Nous proposons par conséquent, quatre classes d'entités pour modéliser la propagation des effets d'une modification (d'un composant physique d'une fonction, d'une propriété, ou d'un item de valeur) et identifier les impacts sur les autres entités reliées. Le modèle que nous proposons comprend donc les quatre types d'éléments suivants :

- *Les composants* : le produit physique est constitué de composants (définis dans la nomenclature ou dans l'organigramme technique du produit), exemple : le produit 'véhicule' est composé d'un moteur et d'une caisse. Dans le cas d'un service, il

n'existe pas de composants physiques, l'axe de décomposition n'est donc exploité que pour les fonctions, les propriétés et les items de valeur d'un service.

- *Les fonctions* : les composants du produit réalisent les fonctions voulues par l'utilisateur (exprimées dans le cahier des charges), exemple de fonction : 'propulser un véhicule à la vitesse de 100 Km / h'.
- *Les propriétés techniques*: des propriétés spécifiques caractérisent le produit et ses composants. Exemple : 'la puissance d'un véhicule', 'les dimensions d'une pièce', 'la vitesse d'une transaction'.
- *Les items de valeur* : le produit est évalué en considérant des éléments représentatifs de valeur perceptibles par les utilisateurs que nous désignons par items de valeur. Ces items de valeur permettent aux utilisateurs de porter un jugement sur le produit, d'une part par rapport à leurs attentes ou besoins personnels et, d'autre part, par rapport aux produits de marque concurrente, s'ils existent. Les items de valeur sont des éléments auxquels l'utilisateur du produit associe une valeur subjective.

Les principaux items de valeur d'un produit sont [Le Goff, 97], [Tomala et al., 01c] :

- l'esthétisme : appréciation de la beauté des formes,... ; (dans le cas d'un service l'esthétisme n'est bien sûr pas considéré),
- le confort à l'utilisation : sensation de bien être, aisance de déplacement,...,
- les performances : vitesse de déplacement,...,
- la sécurité : utilisation sûre,
- la fiabilité : utilisation sans problème, sans panne...,
- l'environnement : pollution limitée, bruit réduit,...,
- les options : différents choix possibles sur le produit.

La structure du modèle et les relations

Pour permettre la propagation des modifications, nous proposons de réaliser une synthèse des informations issues du modèle produit dans un espace caractérisé par trois axes : axes de décomposition, d'interaction et de contribution :

- 'décomposition' : la modification d'une entité entraîne une modification variable du système composé, et vice versa,
- 'contribution' : la modification d'une entité A contribuant à la réalisation ou à l'existence d'une autre entité B peut avoir des conséquences sur cette entité B. Exemple : la modification du composant 'vis' peut avoir un impact sur la fonction d'assemblage,
- 'interaction' : la modification d'une entité A en interaction avec une autre entité B peut avoir des conséquences sur cette entité B. Exemple : la modification du composant 'vis' peut avoir un impact sur composant 'bâti' (sur lequel la vis est fixée) : mineure s'il s'agit par exemple du changement de couleur de la vis, majeure s'il s'agit de son diamètre.

Définition détaillée des axes d'analyse du produit :

- *L'axe de décomposition* : on définit suivant cet axe des structures hiérarchiques des éléments du modèle :
 - un composant peut être décomposé en groupe de composants ou en composants élémentaires, ex : le véhicule se décompose en un moteur, un châssis, une carrosserie....,

- une fonction peut être décomposée en sous-fonctions, ex : la fonction 'déplacer des biens et des personnes de manière autonome' se décompose en 'constituer un habitacle pour l'entité déplacée', 'propulser l'ensemble', ...,
- une propriété peut être décomposée en sous propriétés, ex : la propriété 'vitesse de déplacement' se décompose en 'masse transportée', 'puissance nécessaire' ...,
- un item de valeur est également décomposable en sous items, ex : l'item de valeur 'sentiment de sécurité' se décompose en 'impression de vitesse', 'perception de l'efficacité du freinage', ...

Les relations génériques modélisées sur cet axe de décomposition sont respectivement pour chacun de ces 4 types d'entités les relations :

$R_n(a, b)$: 'a est composé de b' avec $a \in A$ (A : ensemble des entités de même nature : composant, fonction, propriété, ou item de valeur), $b \in A$ et n : nature de l'entité (variant de 1 à 4).

- R1 : pour les composants physiques,
- R2 : pour les fonctions,
- R3 : pour les propriétés,
- R4 : pour les items de valeur.

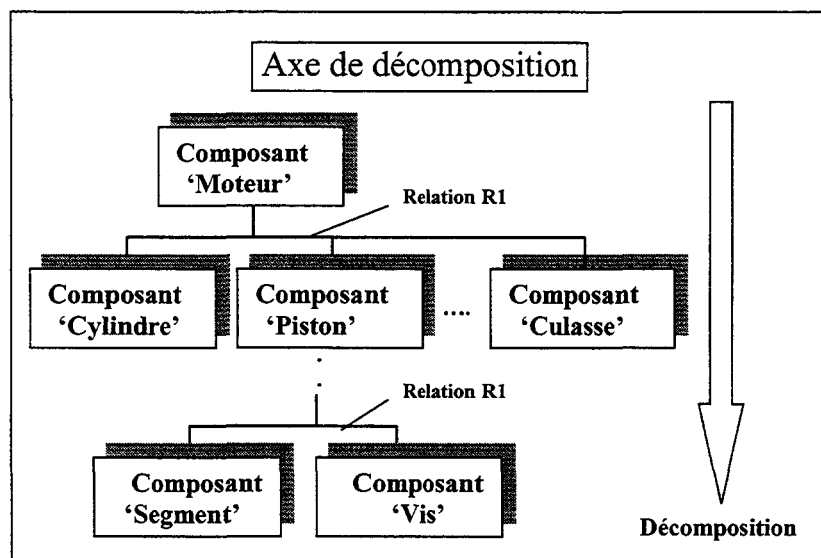


Figure 4.2 : Modèle produit (axe de décomposition appliqué aux entités de type « composants »)

- *L'axe de contribution* : cet axe montre le processus de formation de la valeur, il permet d'identifier les relations qui existent entre l'élément le plus concret, le plus tangible, sur lequel on peut le plus facilement agir, c'est-à-dire le composant physique, et l'élément le plus conceptuel c'est-à-dire l'item de valeur. Ces relations passent selon nous par deux autres éléments : la fonction et la propriété. Cet axe permet par conséquent d'exprimer :
 - la contribution des composants physiques aux fonctions (par exemple la contribution du moteur à la fonction 'propulsion'),
 - la contribution des fonctions aux propriétés (par exemple la contribution de la fonction 'propulsion' à la propriété 'autonomie' du véhicule),
 - la contribution d'une propriété aux items de valeur (par exemple, la contribution de l'autonomie du véhicule à l'item de valeur 'performance' du véhicule) (cf. figure 4.3).

Les propriétés caractérisent le composant de niveau $n+1$ et les items de valeur permettent de l'évaluer. Les relations sont orientées* et cardinalisées :

- la relation R5 correspond à une relation de contribution entre composant et fonction : $R5(x, y) : x$ contribue à y avec $x \in X$ (X : ensemble des composants) et $y \in Y$ (Y : ensemble des fonctions),
- la relation R6 correspond a une contribution entre fonction et propriété : $R6(y, z) : y$ contribue à z avec $z \in Z$ (Z : ensemble des propriétés),
- la relation R7 correspond a une contribution entre propriété et items de valeurs, $R7(z, t) : z$ contribue à t avec $t \in T$ (T : ensemble des items de valeurs).

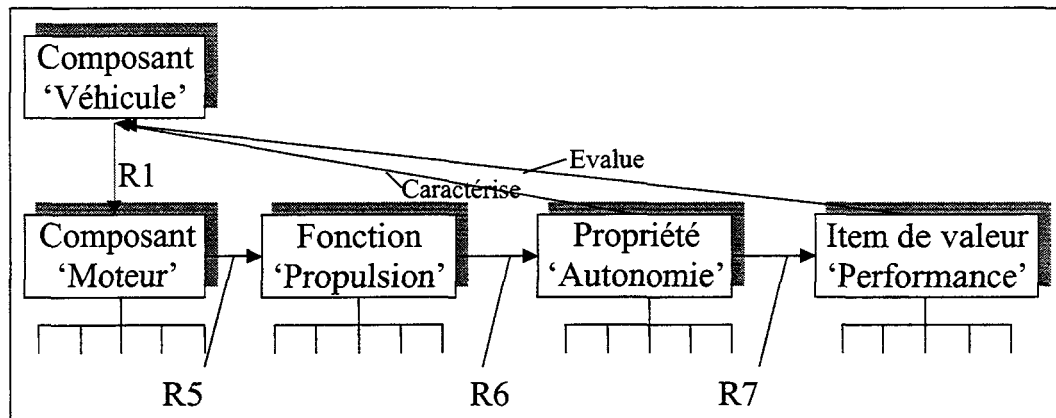


Figure 4.3 : Modèle produit (axe de contribution)

- *L'axe d'interaction* : on identifie suivant cet axe les interactions entre des éléments de même nature et de même niveau de décomposition. Il existe plusieurs types d'interactions : mécanique, chimique, électrique, etc. La modification d'un élément en interaction avec un autre élément va entraîner sa modification partielle ou totale, et éventuellement l'élément modifié entraînera à son tour une modification du premier élément. Ceci est valable pour tous les types d'éléments : les composants, les fonctions, les propriétés et les items de valeur (cf. figure 4.4). Il est possible de trouver des interactions mécaniques entre le châssis et la carrosserie, des interactions de causalité entre la fonction propulsion et la fonction conduite, des interactions physiques entre la propriété vitesse et celle d'accélération tout comme des interactions sensorielles entre esthétique et confort (item de valeur).

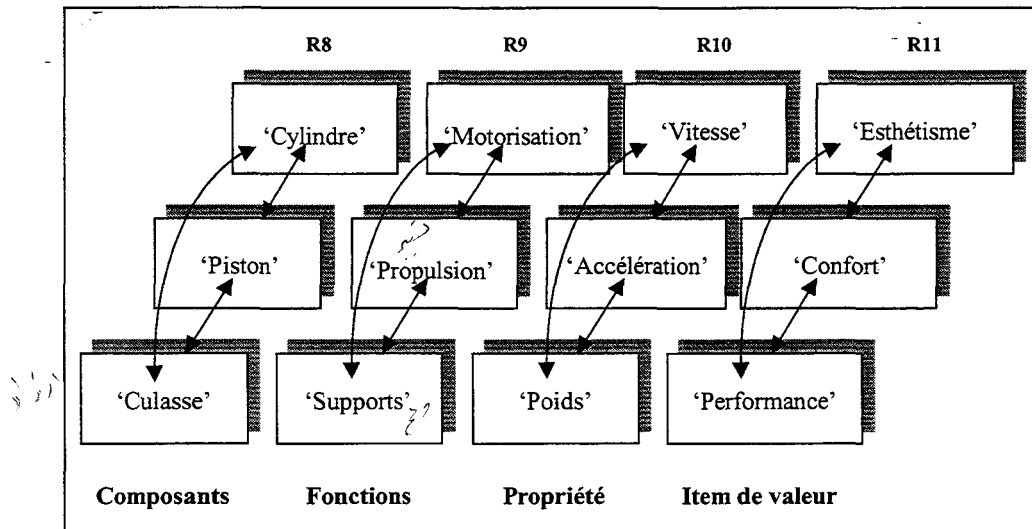


Figure 4.4 : Modèle produit (axe d'interaction)

Les relations de type R8, R9, R10, R11 représentent des relations d'interactions entre, respectivement, les composants, les fonctions, les propriétés et les items de valeur :
 $R_p(a, b)$: 'a est en interaction avec b', avec $a \in A$ (A : ensemble des entités de même nature : composant, fonction, propriété, ou item de valeur), $b \in A$ et p : nature de l'entité (variant de 8 à 11).

- R8 : pour les composants physiques,
- R9 : pour les fonctions,
- R10 : pour les propriétés,
- R11 : pour les items de valeur.

La figure suivante présente le modèle produit complet (cf. figure 4.5).

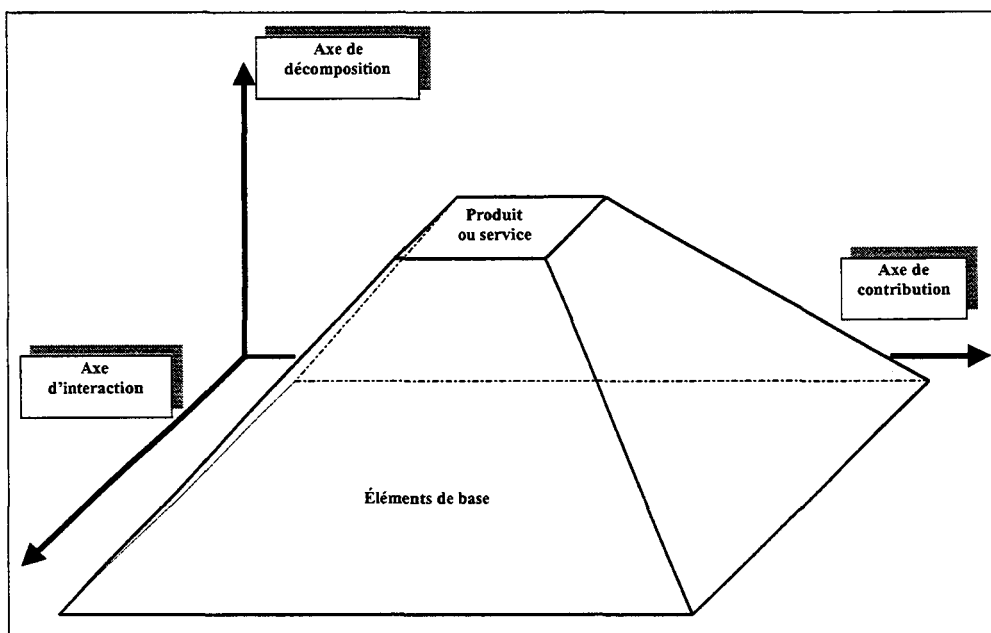


Figure 4.5 : Modèle produit

Dans le but de définir les conséquences relatives aux décisions prises en conception il est nécessaire d'associer au modèle produit un modèle des processus liés au produit. En effet, la modification du produit aura, la plupart du temps, des conséquences directes sur les processus qui lui sont associés (de conception, de fabrication, d'utilisation, etc.). De plus, ces mêmes modifications peuvent entraîner, à leur tour, des modifications sur le produit. Enfin, en utilisant les processus nous rejoignons le principe des méthodes d'estimation des coûts basées sur les activités (ABC), où ce sont les processus générant ou générés par le produit qui sont utilisés pour estimer les coûts (au lieu des plus classiques centres d'analyse).

I.3. Modèle processus sur le cycle de vie

Le modèle processus sur le cycle de vie est un modèle définissant les processus existants dans les principales phases du cycle de vie d'un produit : la conception, la fabrication, la commercialisation, l'utilisation et le recyclage. Les relations entre le modèle produit et le modèle processus sont de deux types différents.

- Le premier type de relation, que nous désignons par 'PLP' (Processus Liés au Produit : relation R12P), définit les liens entre les composants physiques du produit manufacturé et les processus sur l'ensemble du cycle de vie du produit.
- Le deuxième type de relation, que nous désignons 'PLS' (Processus Liés au Service : relation R12S), définit les liens entre les fonctions auxquelles contribuent le service et les processus sur l'ensemble du cycle de vie du service.

Nous distinguons deux différents modes d'exécution d'un processus, c'est-à-dire deux manières dont une ou des actions (activité, processus) peuvent se réaliser.

Les modes d'exécution

Le principe du GEMMA (Guide d'Étude des Modes de Marche et d'Arrêt [Peulot et Moreno, 01]) est intégré dans la méthode pour la définition des situations dans lesquelles se trouve le produit. En effet, en extrapolant la méthode du GEMMA (dédiée habituellement aux systèmes automatisés de production) au produit sur l'ensemble de son cycle de vie, nous spécifions, dans un premier temps, deux modes d'exécution : le mode normal et le mode dégradé.

Le mode normal est celui dans lequel les activités se déroulent conformément à des règles établies ou à un cahier des charges (ex : processus de conduite d'un véhicule).

Le mode dégradé est le mode correspondant à une exécution non nominale du processus (ex : processus de conduite d'un véhicule avec une roue crevée).

L'analyse de ces modes est particulièrement intéressante lors de la phase d'utilisation du produit car elle permet d'identifier les avantages et inconvénients dans les différents cas d'utilisation du produit et ainsi d'améliorer la vision de l'utilisateur sur la valeur.

Nous envisageons de réaliser une étude plus fine dans ce domaine afin d'intégrer l'ensemble des notions du GEMMA dans la méthode proposée.

Les processus sur le cycle de vie

Les éléments utilisés pour décrire les processus liés au produit sont : les sous-processus, les activités, les fonctions, les propriétés et les valeurs.

La structure du modèle de processus est fondée sur la même structure que celle du modèle produit. Une définition détaillée de ces éléments est donnée en annexe 4.1.

La figure 4.6 montre l'ensemble des relations existant dans les modèles de produit et de processus.

Modèle	Type de relation	Nom	Type d'entité
Produit	Relation de décomposition	R1	Composant
		R2	Fonction
		R3	Propriété
		R4	Item de Valeur
	Relation de contribution	R5	Composant/ Fonction
		R6	Fonction/ Propriété
		R7	Propriété/ Item Valeur
	Relation d'interaction	R8	Composants
		R9	Fonctions
		R10	Propriétés
		R11	Items de Valeur
Produit & Processus	Relation Produit/ Processus	R12P	ComposantProduit/ Processus
Produit & Processus	Relation Produit/ Processus	R12S	FonctionService/ Processus
Processus	Relation de décomposition	R13	Activité ou Processus
		R14	Fonction
		R15	Propriété
		R16	Item de Valeur
	Relation de contribution	R17	Processus/ Fonction
		R18	Fonction/ Propriété
		R19	Propriété/ Item Valeur
	Relation d'interaction	R20	Activité ou Processus
		R21	Fonction
		R22	Propriété
R23		Item de Valeur	

Figure 4.6 : Liste des relations des modèles

La figure 4.7a illustre les relations des modèles produit et processus à l'aide d'un exemple de produit manufacturé (moteur d'automobile) et la figure 4.7b illustre ces mêmes relations à l'aide d'un exemple de service : l'acheminement du courrier.

Les modèles de produit et processus sont utilisables quel que soit le type d'innovation : innovation produit, de service, organisationnelle, commerciale, de procédé ou autres.

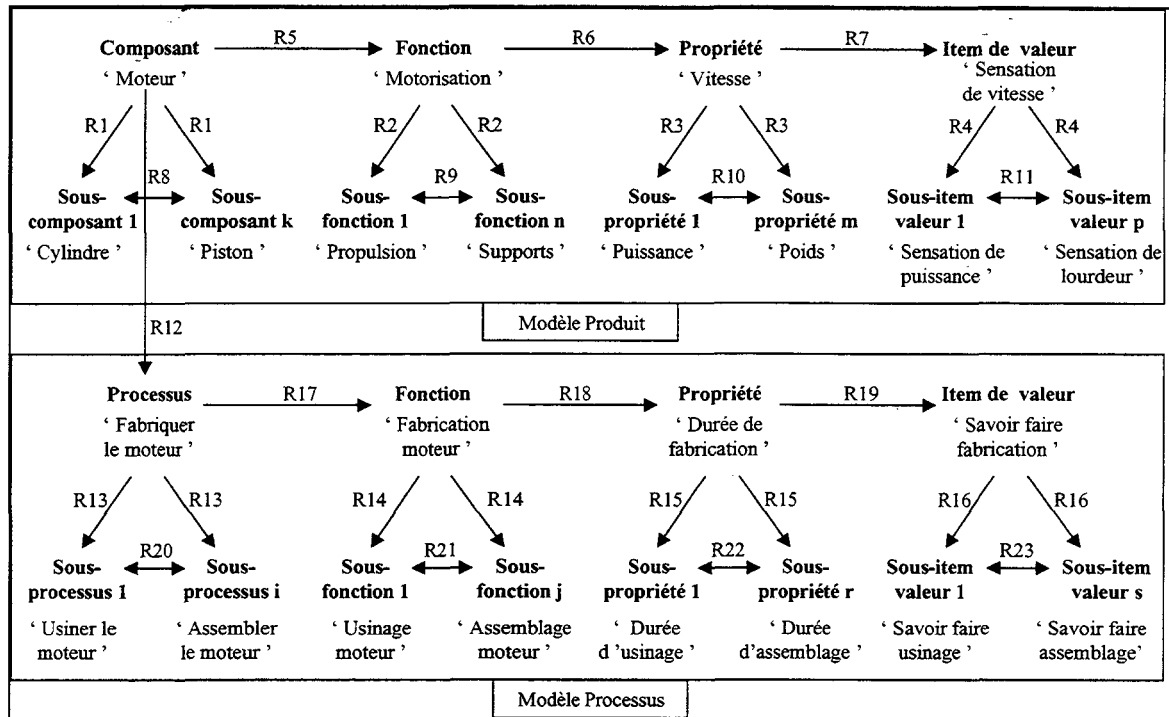


Figure 4.7a : Les relations des modèles dans le cas d'un produit manufacturé

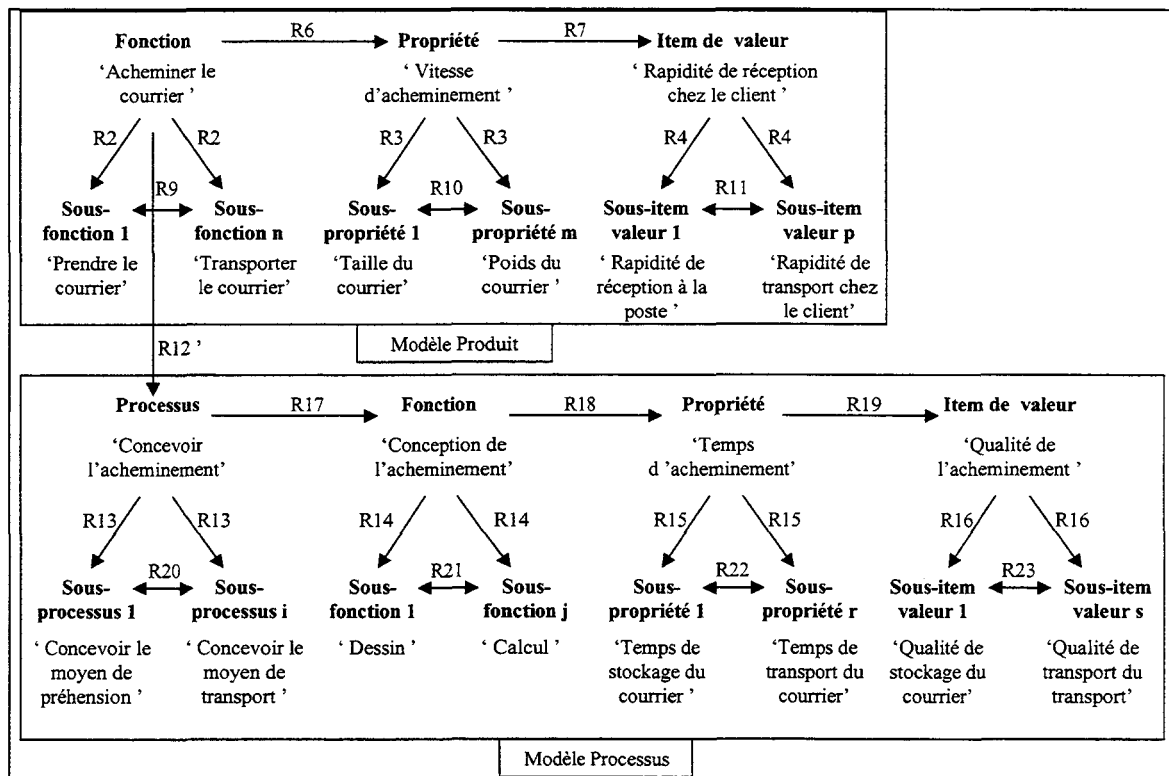


Figure 4.7b : Les relations des modèles dans le cas d'un service

Dans le paragraphe suivant, nous décrivons la mise en œuvre de la méthode E.E.M.E.

II. Mise en œuvre de la méthode E.E.M.E.

L'ensemble des relations entre les différentes entités d'un produit constitue une référence. Cette base de connaissances associée à des règles prédéfinies de calcul et de propagation des informations (causes et effets, présentées en annexe 4.2) permettent l'estimation des effets sur le produit et sur les processus liés au produit à partir des informations de modifications dues à l'introduction de l'innovation. On trouve par exemple la règle générique suivante : 'SI suppression d'une entité X' ET X est en interaction avec une entité Y ALORS modification de l'entité Y partiellement ou totalement. Ces règles génériques associées à la base de connaissances permettent d'estimer l'existence d'événements à partir d'événements initiaux liés à l'introduction d'une innovation, ses probabilités d'occurrence et leur importance.

La mise en œuvre de cette méthode inclut donc :

- la construction des modèles produit et processus,
- la définition des règles de calcul et de propagation.

Dans la suite de ce chapitre nous présentons les procédures d'obtention des modèles ainsi que les règles de calcul et de propagation.

II.1. Construction des modèles de produit et de processus

Le but de cette phase est de regrouper les informations présentes dans l'entreprise : informations de natures diverses (techniques, économiques, commerciales,...) formelles et informelles de manière à les relier afin d'obtenir un modèle de l'existant le plus complet et le plus cohérent possible permettant finalement une analyse des conséquences d'une innovation la plus significative possible.

Étant donnée la diversité des relations, la construction des modèles est réalisée de différentes manières :

- Les relations de décomposition R1 et R2 : elles sont obtenues par l'étude de l'analyse structurelle et fonctionnelle du produit (nomenclatures et organigrammes fonctionnels du produit). Exemple : un moteur d'automobile est composé de 4 pistons, d'un vilebrequin, d'une culasse, etc.
- Les relations d'interaction R8, R9 et R10 : elles sont obtenues par l'étude de documentations techniques, de tests physiques, de connaissances d'experts. Exemples : le piston d'un moteur interagit mécaniquement avec la culasse, la vitesse interagit avec le poids : vitesse / poids, puissance...).
- Les relations de contribution R5 et R6 : elles sont obtenues par l'utilisation de grilles d'analyse réalisées par les experts métiers de l'entreprise. Des grilles d'analyse de ce type existent dans les entreprises, tout au moins en ce qui concerne les grilles composants/ fonctions [Renault, 99]. Les exemples de grilles d'analyse présentés sur les figures 4.8a et 4.8b portent sur les organes et les fonctions principales d'un véhicule.

Exemple : la première ligne de la figure 4.8a indique que le composant 'moteur' contribue à 60% à la fonction 'propulser', à 10% à la fonction 'protéger' et à 0% à la fonction 'supporter'. La première ligne de la figure 4.8b indique que la fonction 'propulser' contribue à 85% à la propriété 'vitesse du véhicule', à 75% à la propriété 'accélération du véhicule', etc.

Organes	Fonctions			Propriétés				
	Propulser	Protéger	Supporter	Fonctions	Vitesse	Accélération	Niveau de sécurité	Niveau de confort
Moteur	60%	10%	0%	Propulser	85%	75%	10%	35%
Transmission	20%	0%	0%	Protéger	0%	0%	85%	45%
Roues	5%	10%	75%	Supporter	15%	25%	5%	20%
Caisse	0%	80%	25%	Total	100%	100%	100%	100%
Boîte de vitesse	13%	0%	0%					
Echappement	2%	0%	0%					
Direction	0%	0%	0%					
Eclairage	0%	0%	0%					
Total	100%	100%	100%					

Figure a

Figure b

Figure 4.8 : Exemple de grille de contribution entre composants/ fonctions (a) et entre fonctions/ propriétés (b)

Dans le but de quantifier les relations R3, R4, R7 et R11, nous réalisons des études de corrélation entre les données issues de mesures physiques, de tests, de questionnaires où les clients et les experts définissent leurs taux de satisfaction. Nous utilisons pour cela les méthodes de régression [Giraud, 94], [Bourbonnais, 00], [Rys, 98], les plans d'expérience et la méthode Taguchi [Alexis, 95].

- La relation de décomposition R3 : elle est obtenue par l'étude de la corrélation entre données objectives (concernant les propriétés). Exemple figure 4.9a : Accélération / (Puissance moteur, Type de transmission, ..., Poids).

Propriétés du système	Mesure x	Valeur globale du véhicule	Mesure n
Puissance moteur	175 (Ch)	Confort	5,6
Type de transmission	T4	Esthétisme	5,9
Type de carburant	Essence	Performance	7
Poids du véhicule	1800 (Kg)	Fiabilité	7
		Sécurité	7,6
Paramètres étudiés	Mesure x	Environnement	5,6
Accélération	10 (m/s ²)	Options	6,3
Vitesse de propulsion	175 (km/h)		

Figure a

Figure b

Figure 4.9 : Exemple de relations R3 et R4

- La relation de décomposition R4 : elle est obtenue par l'étude de la corrélation entre données subjectives (concernant les items de valeur). Exemple (cf. figure 4.9b) sensation globale sur le véhicule / sensation confort, beauté, sensation de sécurité, etc.

- La relation R7 : elle est obtenue par l'étude de la corrélation entre données objectives et subjectives. Ceci permet d'obtenir les relations entre propriétés et item de valeur. L'exemple, figure 4.10, montre le relevé des mesures réalisées lors d'essais sur plusieurs véhicules avec plusieurs personnes. Après étude de corrélation entre l'appréciation du freinage et certains facteurs pouvant l'influencer, la relation suivante peut-être ainsi obtenue : Freinage perçu (par les testeurs) = 16% vitesse de lacet + 29% accélération transversale + 37% distance d'arrêt ... [Schöggel, 99]

		Essais				
		Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 4	Essai 5
Mesures Objectives	Vitesse de lacet	10m/s	11m/s	14m/s	8m/s	9m/s
	Accélération transversale	5m/s ²	3,5m/s ²	5m/s ²	5,5m/s ²	4,8m/s ²
	Distance d'arrêt	25 m	28 m	30 m	26 m	29 m
	Tenue à l'échauffement	15/20	16/20	13/20	14/20	13/20
Mesures Subjectives	Valeur globale d'appréciation client (/10)	7	8	5	6,5	7

Figure 4.10 : Exemple de relevé de mesures objectives et subjectives sur le freinage

- La relation R11 : elle est établie par l'étude de la corrélation entre des données subjectives concernant un élément particulier du produit. Exemple : la valeur globale du siège d'un véhicule est définie par le confort du siège et son esthétique. Le confort du siège est donc indirectement lié à l'esthétique du siège ; une modification du confort peut donc entraîner une modification de son esthétique et inversement.
- Les relations liant les entités du modèle processus (R12 à R23) : elles sont élaborées en utilisant les documents des constructeurs, des connaissances des experts (fonctionnement de l'entreprise et connaissances extérieures), de la connaissance des situations de transport du produit, de sa commercialisation, de son utilisation de son recyclage, etc. Comme pour le modèle produit, une étude plus détaillée peut-être réalisée en quantifiant certaines relations comme par exemple l'importance de la contribution de la qualité du fraisage du carter moteur à la qualité du moteur. Ici, seuls les experts des différents métiers de l'entreprise peuvent en donner une approximation.

II.2. Définition des règles de calcul et de propagation

Les calculs de propagation des informations dans les modèles de produit et de processus utilisent les méthodes de l'intelligence artificielle. Il faut donc établir une base de connaissances (base de règles et de faits) et développer un moteur d'inférence.

La base de règles

La base de règles est composée :

- des relations définies par l'expert permettant de construire les modèles (relations R1 à R23)
- de règles génériques de propagation des informations au sein des modèles. Ces règles génériques expriment les différents modes de propagation de l'information dans les modèles, suivant le type de relation et le type de modification réalisée. Elles sont définies à partir de l'ensemble des configurations possibles des modifications sur les trois axes. Les règles génériques sont décrites en annexe 4.2.

La base de faits

La base de faits contient des faits initiaux, des observations ou des événements relatifs au produit et au processus (l'absence de certains moyens de production, par exemple, est un fait initial qui va être déterminant dans la propagation).

La propagation des effets dans les modèles est déclenchée à partir des faits et à l'aide d'un moteur d'inférence. Cette propagation utilise les relations R_n et les règles génériques de la base de règles.

L'inférence

Le moteur d'inférence est chargé d'exploiter la base de règles et de faits. Dans le cas que nous traitons, le mode d'inférence est différent suivant les fonctions à réaliser. Les raisonnements déductifs (« chaînage avant ») et régressifs (« chaînage arrière ») sont nécessaires à l'exécution des différentes fonctions proposées dans l'outil support de la méthode E.E.M.E. (algorithme et exemples d'inférence sont présentés en annexe 4.3). Ces deux types de raisonnement permettent non seulement de se placer dans une logique d'évaluation mais également dans une logique de conception comme c'est le cas de la proposition faite en perspective (recherche des leviers d'action et des voies d'innovation permettant de réaliser un but en conception : 'Perspective' et annexes P.2 et P.3.).

Les fonctions que nous traitons sont décrites au paragraphe suivant.

Les fonctions du système support de la méthode E.E.M.E.

Les fonctions du système que nous proposons doivent permettre à l'utilisateur de la méthode E.E.M.E. :

- de saisir les informations permettant de construire les modèles produit et processus,
- de saisir des informations nécessaires aux études d'une innovation,
- de rechercher des informations sur les modèles construits,
- de calculer les probabilités et l'importance de chaque effet,
- de visualiser des résultats en termes de coûts, de valeur,...

Les fonctions du système sont les suivantes (voir figure 4.11):

Fonction	Définition
Acquisition	acquisition des informations relatives au modèle produit et au modèle processus
	acquisition des informations relatives à l'étude (événements initiaux)
Recherche	recherche d'une entité spécifique
	recherche de l'ensemble des relations liant une entité à une autre
	recherche de toutes les entités impactées par les événements initiaux
Calcul	calcul des probabilités d'apparition des événements induits
	calcul de l'importance des effets (ou taux de modification) sur les entités touchées
	calcul du risque engendré par les modifications
Information	information sur les erreurs syntaxiques
	information sur les incohérences de saisie par rapport aux données existantes
	information sur les non-fonctionnalités survenant après la propagation des effets
	information sur la valeur
	information sur le coût
	information sur le rapport coût/ valeur sur le cycle de vie du produit
	information sur les relations produit/ processus

Figure 4.11 : Les fonctions du système support de la méthode E.E.M.E

Ces fonctions sont détaillées ci-dessous.

- *Acquisition des informations relatives aux modèles (construction des modèles)*

Les abréviations des entités utilisées du modèle produit et du modèle processus sont les suivantes (cf. figure 4.12):

Entités	Abréviations
Composant physique	C
Fonction Produit	FP
Propriété Produit	PP
item de Valeur Produit	VP
Processus	P
Fonction Processus	FPR
Propriété PProcessus	PPR
item de Valeur Processus	VPR

Figure 4.12 : Noms des entités et leurs abréviations

La saisie des informations concernant la construction des modèles doit respecter la syntaxe suivante. La première saisie consiste à établir la liste des entités existantes en définissant leur nom et leur type.

La syntaxe associée est :

$S_h(N, T)$ où :

- S_h est la saisie de numéro h,
- N : nom de l'entité,
- T : type de l'entité.

Remarque 1 : Un code est ensuite attribué automatiquement au nom de l'entité. Une table de correspondance est utilisée pour effectuer le lien entre le nom de l'entité et son code.

La saisie de la fonction relationnelle doit être effectuée en respectant le format suivant :

$RX_n(W, X, Y, Z)$, où :

- RX_n est la fonction relationnelle de numéro n,
- W est l'entité 1 qui peut être : C, FP, PP, VP, P, FPR, PPR, ou VPR,
- X est l'entité 2 qui peut être : C, FP, PP, VP, P, FPR, PPR, ou VPR,
- Y est le type de relation (R1 à R23),
- Z est le poids de la relation (valeur entre 0 et 10 par exemple).

Exemple : $R_{254}(PP30, VP10, R7, 30)$: la relation R_{254} indique que la Propriété Produit PP30 contribue (relation de type R7) à la réalisation de l'item de Valeur VP10 à 30%.

- *Acquisition des informations relatives à l'étude (événements initiaux)*

Les événements initiaux peuvent être de différents types tels que : modification partielle, suppression, remplacement ou encore ajout d'une entité. Nous retenons deux termes pour expliciter ces différents événements, ce sont la modification avec taux et la suppression. En effet, on trouve :

- la modification partielle : modification avec un taux entre 1 et 99%,
- la suppression totale,
- l'ajout d'un nouveau système : modification des entités reliées au nouveau système,
- le remplacement : suppression et ajout d'un nouveau système (l'impact de l'ajout d'un nouveau système est alors calculé à l'aide de la méthode E.E.M.C.I.).

La syntaxe de la saisie de l'étude courante est la suivante :

$M_m(E, Q)$, où :

- M_m est la modification de numéro m,
- E : entité (C, FP, PP, VP, P, FPR, PPR, VPR),
- Q : poids de la modification (valeur entre 0 et 10 par exemple).

- *Recherche d'informations générales*

La fonction 'Rechercher des informations générales', permet par exemple de rechercher l'ensemble des relations liant un élément à un autre. Des contraintes peuvent être associées à la recherche. L'intérêt de cette fonction est de pouvoir situer les entités les unes par rapport aux autres et ainsi d'identifier l'environnement relationnel d'une entité et de ses impacts possibles.

- *Recherche de toutes les entités influencées par les événements initiaux*

La fonction 'recherche toutes les entités impactées par les événements initiaux' utilise le moteur d'inférence en « chaînage avant ». Cette fonction déduit tout ce qui peut être déduit à partir des faits (événements initiaux : modifications, suppression) et des relations des modèles.

- *Calcul des probabilités d'apparition des événements induits*

Le calcul de la probabilité de modification d'une entité X_a est basé sur la généralisation des principes de la Méthode du Diagramme des Succès ou de Fiabilité (MDS/MDF) (complément de la méthode AMDEC) [Zwingelstein, 96]. Cette méthode permet de calculer deux probabilités :

- la probabilité de ne pas avoir de signal à la sortie d'un système, ou la probabilité de défaillance de ce système (notée F variant entre $[0 ; 1]$),
- la probabilité d'avoir un signal à la sortie d'un système, ou fiabilité de ce système (notée R ; variant entre $[0 ; 1]$; $R = 1 - F$).

Deux configurations de système sont considérées :

- le cas où les composants du système ont une structure parallèle (cf. figure 4.13a),
- le cas où les composants du système ont une structure série (cf. figure 4.13b).

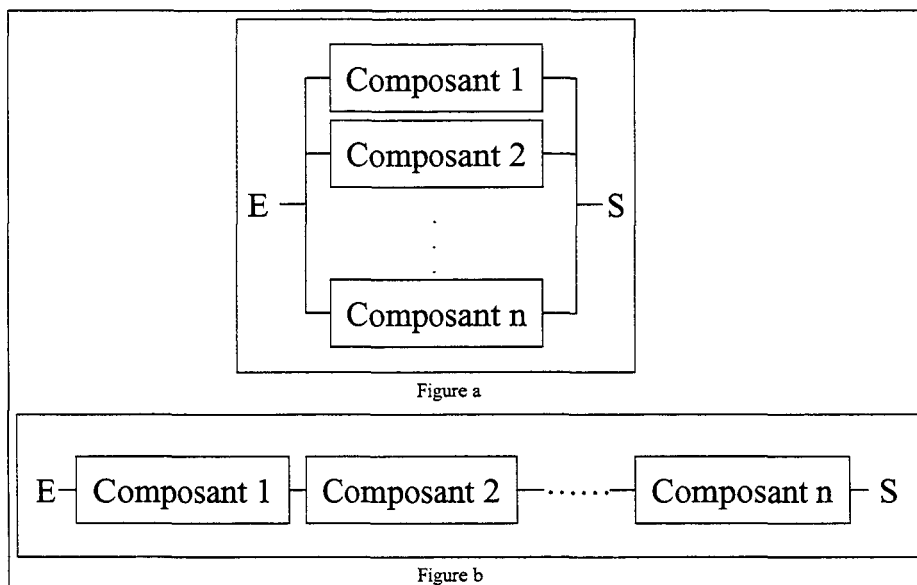


Figure 4.13 : Configurations de système considérées dans MDS/MDF

Dans le cas d'une structure parallèle, il n'y a pas de signal à la sortie d'un système, si tous les composants de 1 à n sont défaillants. La probabilité F est alors calculée à l'aide de la relation suivante :

$$F_S = \prod_{j=1}^n F_j \quad (1)$$

Avec j : indice variant de 1 à n et n : nombre de composant du système.

$$\text{Étant donné } R = 1 - F; \quad R_S = 1 - \prod_{j=1}^n (1 - R_j) \quad (2)$$

Dans le cas d'une structure série, il y a un signal à la sortie d'un système, si tous les composants de 1 à n sont non-défaillants. La probabilité R est alors calculée à l'aide de la relation suivante :

$$R_S = \prod_{j=1}^n R_j \quad (3)$$

$$\text{Étant donné } R = 1 - F; \quad F_S = 1 - \prod_{j=1}^n (1 - F_j) \quad (4)$$

Dans le cas d'une structure hybride (série et parallèle), la probabilité R est calculée en utilisant les relations (2) et (3) et la probabilité F est calculée en utilisant les relations (1) et (4).

Dans notre étude, nous cherchons à calculer la probabilité d'avoir une modification d'une entité sur les trois axes considérés : de décomposition, de contribution et d'interaction.

Axe de décomposition :

Pour cet axe, nous considérons que :

- il suffit qu'un composant subisse une modification pour que le système soit modifié,
- il est nécessaire qu'aucun des composants ne subisse de modifications, pour que le système ne soit pas modifié.

Nous nous plaçons donc dans le cas d'une structure série, avec :

- la probabilité de modification d'une entité A composée des entités A1 à An : PM (A),
- la probabilité de non-modification d'une entité A composée des entités A1 à An : PNM (A),
- $PM(A) = 1 - PNM(A)$,

Pour l'axe de décomposition, l'utilisation de la méthode MDS/MDF donne :

La probabilité de modification PM(A) est :

$$PM(A) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - PM(A_i)) \quad (5)$$

La probabilité de non-modification PNM(A) est :

$$PNM(A) = \prod_{i=1}^n PNM(A_i) \quad (6)$$

Avec (pour les relations 5 et 6) :

i : indice spécifiant l'entité concernée,

n : nombre total d'entités concernées.

Axe de contribution et d'interaction :

Pour ces deux axes, il est nécessaire de définir les différents types de modifications liant deux ou plusieurs entités. En effet, la modification de la forme d'une vis aura probablement des effets sur les fonctions auxquelles elle contribue et sur les autres composants en interaction, mais il est peu probable qu'il y ait des effets si la modification concerne la couleur de cette vis.

Nous proposons de déterminer les différents types de modification d'une entité par rapport à une autre et d'attribuer pour chaque type un taux général de propagation de la modification d'une entité vers l'autre.

On peut considérer par exemple qu'il existe le type 'modification de forme' et qu'après étude de ce type de modification (par retour d'expérience par exemple), il lui soit attribué un taux de propagation de 35%.

La probabilité de modification d'une entité A ($PM(A)$) par rapport à une entité B ($PM(B)$) en considérant le taux de propagation de modification de B sur A ($TPM(B/A)$) est alors la suivante :

$$PM(A) = PM(B) \times TPM(B/A) \quad (7)$$

Cette étude est en cours de développement, plusieurs cas sont analysés dans le but de valider cette relation 7.

- *Calcul des taux de modifications sur les entités touchées*

Nous considérons que le taux de modification d'une entité A (noté $TM(A)$) est en fonction du taux de modification des entités en relation avec A et de l'importance des relations (Importance de C par rapport à A ; notée $I(C/A)$). Ce qui donne la relation suivante utilisable pour les trois axes considérés dans le modèle Produit/ Processus :

$$TM(A) = \sum_{i=1}^n TM(A_i) \times I(A_i / A) \quad (8)$$

Avec (pour la relation 8) :

i : indice spécifiant l'entité concernée en relation avec A,

n : nombre total d'entités en relation avec A.

Exemple pour l'axe de décomposition : Soit l'entité A composé de A_1 et A_2 . L'importance de A_1 / A est de 30% (taux de décomposition par exemple) et de A_2 / A de 70%. Le taux de modification de A_1 est de 25% et de A_2 de 10%. Le taux de modification de A est alors de : $25\% \times 30\% + 10\% \times 70\% = 14,5\%$.

- *Calcul du risque engendré*

Les informations de probabilité et de taux des modifications peuvent être utilisées seules ou simultanément pour établir la sévérité des conséquences d'une modification. Un niveau de risque est calculé à partir des informations de probabilité et de taux des modifications, ce qui donne la formule suivante :

$$RM(A) = TM(A) \times PM(A) \quad (9)$$

- *Information sur les erreurs syntaxiques et les incohérences de saisie*

Afin d'éviter les erreurs de saisie et de montrer les incohérences du système, il est nécessaire de stipuler des règles syntaxiques et de contrôle de cohérences comme suit :

- la valeur du paramètre Z est comprise entre 1 et 100 ($Z \in [1, 100]$: échelle fixée arbitrairement),
- la valeur du paramètre W doit être différente de celle du paramètre X ($W \neq X$), il ne peut y avoir de relation réflexive,
- il ne peut y avoir de redondances ni de non transitivités. Exemple : on ne pourra pas trouver les relations suivantes $R_{56}(C7, C9, R1, 100)$ et $R_{88}(C9, C7, R1, 100)$ où R_{56} indique que C7 est composé de C9 et R_{88} indique que C9 est composé de C7 (non transitive).

Nous complétons les règles génériques de syntaxe précisées ci-dessous, par des règles spécifiques à chaque paramètre (W, X, Y, Z) décrites en annexe 4.4.

- *Information sur les non-fonctionnalités survenant après la propagation des effets*

Les modifications partielles d'une entité entraînent des modifications partielles sur les autres entités reliées. Les modifications de type suppression d'une entité entraînent des modifications partielles mais éventuellement la suppression d'autres entités.

Une modification de type suppression est particulière car l'entité ainsi supprimée sans remplacement par une autre entité amène des problèmes de fonctionnalité évidente du système. Cette fonction présente l'avantage de révéler l'ensemble des non-fonctionnalités à l'utilisateur, ce qui lui permet de vérifier la cohérence des modifications demandées et d'avoir une vision globale sur les remplacements éventuels à réaliser par la suite.

- *Informations (calcul) sur la valeur*

Il s'agit de calculer la valeur générée sur des items de valeur par les modifications sur une ou plusieurs entités du modèle produit ou processus. La propagation des modifications de l'entité impactée s'effectue dans les modèles (produit et processus) jusqu'au rang des items de valeur. La valeur générée est calculée à l'aide des relations quantifiées et en fonction des valeurs actuelles des items de valeurs.

Exemple : le composant 'pare-brise d'un véhicule' contribue à 75% à la fonction 'vision de la route' contribuant à 90% à la propriété 'surface vitrée du véhicule' qui contribue enfin à 30% à l'item de valeur 'sécurité' et soit la valeur actuelle de l'item 'sécurité' égale à 5 sur 10.

Soient les modifications suivantes : modification positive (c'est-à-dire supposée, par les experts, valoriser le système) d'un taux d'environ 10% du composant 'pare-brise'.

La valeur engendrée est égale à $10 * 75\% * 90\% * 30\% = 2$. La nouvelle valeur théorique de l'item sécurité est alors de $5 + 2 = 7$.

A cette information sur la valeur est ajoutée la probabilité de modification de l'item de valeur (PM) et le risque (ou chance).

Le calcul prend en compte les règles de propagation, les différents chemins possibles dans le modèle produit/ processus et les différents types de relations. Ces deux dernières sont intégrées dans le calcul du taux de modification (TM).

Nous détaillons dans la suite les formules utilisées dans les calculs intermédiaires de la valeur générée.

La propagation est réalisée dans les trois axes (décomposition, interaction et contribution), mais seule la contribution (par convention) est utilisée dans le calcul de la valeur générée. Nous rappelons que les trois types de contribution sont :

- C1 : Contribution composant /fonction
- C2 : Contribution fonction / propriété
- C3 : Contribution propriété /item de valeur

Les abréviations suivantes sont utilisées :

- VA: Valeur actuelle de l'item de valeur étudié
- TM_d : Taux de Modification d'une entité pour la modification d
- VG : Valeur Générée (théorique)
- VN : Nouvelle Valeur de l'item de valeur étudié

Nous appelons 'Parcours', le chemin qui relie l'entité modifiée à l'item de valeur étudié. La relation 10 présente la valeur générée pour un parcours p traité. Dans la plupart des cas, il y a plusieurs chemins existants, ce qui nous amène à calculer la somme des impacts au niveau de l'item étudié (relation 11). On note :

- p : parcours emprunté dans le réseau
- V_p : Valeur par parcours

Autres variables utilisées dans les formules :

- i : item de valeur étudié
- n: nombre total des parcours possibles avec l'impact de la modification
- z : numéro précisant le type de contribution (1 à 3)
- x : type de contribution (1 à 3)

$$V_p = TM_d \times \left(\prod_{z=x}^3 C_z \right) \quad (10)$$

$$VG_i = \sum_{p=1}^n V_p = TM_d \times \left(\sum_{p=1}^n \left(\prod_{z=x}^3 C_z \right)_p \right) \quad (11)$$

$$VN_i = VA_i + VG_i \quad (12)$$

La liaison entre les items de valeur et le volume de vente (cf. relation items de valeur volume de vente du paragraphe IV.2 modèle 3) peut donner une estimation du volume de vente potentiellement généré par la modification et ensuite une estimation du gain.

- *Informations sur le coût*

La modification même partielle d'une entité engendre évidemment une modification du coût associé. L'utilisation de la méthode EEME avec les coûts associés aux éléments des modèles (produit et processus) permet alors d'estimer le coût d'une modification.

Nous prenons l'exemple du système type carte de crédit devant remplacer la clé d'ouverture porte et de démarrage d'un véhicule. Ce remplacement entraîne la suppression de la clé et des processus associés (la conception de la clé, sa fabrication...), la modification partielle d'autres éléments du produit et des processus sur le cycle de vie. Les coûts de ces processus étant supposés connus, le coût de la nouvelle solution d'innovation envisagée peut alors être calculé.

Exemple :

- Effets sur le système existant concernant la suppression de la clé :
 - suppression du processus de conception clé, coût de la conception clé : CCC
 - suppression du processus de fabrication clé, coût de la fabrication clé: CFC
 - modification du processus de fabrication de la porte à 5%, coût de modification porte : $CMP = 5\% \times CFP$ (CFP : coût de fabrication de la porte).
- Nouveau système d'ouverture et de démarrage véhicule :
 - ajout d'un nouveau système type carte de crédit : coût estimé (CNS : coût nouveau système) par expertise ou en utilisant la méthode E.E.M.C.I..
 - ajout d'un nouveau processus d'implantation de la carte dans le véhicule : coût estimé (CNP : coût nouveau processus) par expertise ou en utilisant la méthode E.E.M.C.I..

Le coût dû au nouveau système type carte de crédit devant remplacer la clé d'ouverture porte et de démarrage d'un véhicule CS1 (S1 : Solution 1) est égal à :

$$CS1 = CCC + CFC + CMP + CNS + CNP$$

De manière générale, les coûts d'une solution (CS) sont de deux types :

- les coûts des modifications sur le système existant (CSE),
- les coûts des systèmes nouveaux (CSN).

Le calcul du coût peut-être présenté par la formule suivante :

$$CS_i = \sum_{j=1}^n CSE_j + \sum_{k=1}^m CSN_k \quad (13)$$

Avec :

- i : numéro de la solution étudiée
- j : numéro de l'élément impacté du système existant,
- k : numéro du nouveau système,
- m : nombre total des nouveaux systèmes,
- n : nombre total des éléments impactés du système existant.

- *Informations sur le rapport coût/ valeur sur le cycle de vie du produit*

Une innovation est souvent définie au début de sa conception par l'apport potentiel qu'elle va générer sur le produit (variation de valeur), par exemple : 'ce système pourrait améliorer la vitesse du véhicule d'environ 10%'. Dans le cadre de l'analyse de la valeur le coût est estimé la plupart du temps de manière subjective et donc avec une fiabilité toute relative. Ceci nous amène à proposer le modèle coût / valeur client. Après une étude statistique de corrélation entre la variation de coût et celle de valeur, un modèle de coût/ valeur client peut être réalisé (en utilisant les informations des modèles produit et processus sur le cycle de vie). Ce modèle peut alors être utilisé pour simuler et estimer la variation de coût liée à la variation de valeur. L'estimation du coût d'une innovation à

partir de l'estimation de la valeur engendrée constitue une source d'informations intéressantes pour les concepteurs dès le début de la conception. Ceci permet notamment d'éliminer certains scénarios envisagés et analysés lors de l'étape 'Arbitrer' du processus d'innovation (voir chapitre 2).

- *Informations sur les relations produit/processus*

Tous les processus, leurs propriétés et leurs items de valeur peuvent être rapportés aux éléments du produit. On a par exemple les informations : dépenses, environnement, savoir-faire, temps passé d'un processus, ... pour chaque composant physique, pour chaque fonction, pour chaque propriété et pour chaque item de valeur du produit lié au processus étudié. Cette mise en correspondance est réalisée à l'aide de la propagation de ces diverses informations dans les modèles produit et processus, ce qui a pour effet par exemple, de comparer le coût et la valeur : définition des incohérences et des déséquilibres entre ces deux informations. Ceci permet de répondre aux questions suivantes : 'le rapport entre le coût concernant le confort d'un véhicule et le coût global est-il similaire au rapport entre la valeur du confort véhicule et la valeur globale véhicule?', 'Est-ce que la dépense n'excède pas l'apport engendré?'. Il est également envisageable, en utilisant le même principe, de rapporter la valeur client pour chaque processus ou activité du système, ce qui constitue une autre information sur les processus (et activités) et leur importance aux yeux des différents acteurs de l'innovation.

Un exemple de résultat de propagation d'informations est présenté à la figure 4.14. La syntaxe est :

Entité (c, n) où :

- entité : nom de l'entité,
- c : code de l'entité dans la base de connaissance,
- n : niveau de décomposition de l'entité.

Exemple : Moteur (C1, 1)

	Entités impactées	Probabilité de modification	Taux de modification	Risque	Non-fonctionnalité	Coût* (€)	Valeur
Axe de décomposition	Moteur(C1,1)	50%	20%	10%	Oui	350,00	
	Caisse(C10,3)	25%	15%	4%	Non	632,00	

Axe de contribution	Motorisation(FP1,2)	65%	22,75%	15%	Non	25,00	
	Puissance(PP4, 2)	48,75%	17,06%	8%	Non	24,00	
	Performance(VP5, 2)	24,30%	8,50%	2%	Oui	220,00	1,065

Axe d'interaction	Culasse(C7, 2)	25%	50%	13%	Non	120,00	
	Piston(C8, 2)	0%	0%	0%	Non	10,00	

Figure 4.14 : Exemple de résultats

* : le coût est calculé après propagations sur les processus liés aux éléments du produit, quant à la valeur elle est calculée uniquement pour un item de valeur précisé.

Les modèles produit et processus permettent également d'identifier des voies d'innovations porteuses de valeur, ils peuvent ainsi être utilisés comme des 'guides d'innovation'. Cette potentialité de la méthode est présentée dans la partie 'Perspectives' de ce mémoire.

Nous présentons dans le paragraphe suivant la méthode E.E.M.C.I. et les éléments des modèles de type 'Caractéristiques' donnant une estimation des conséquences à partir des caractères propres à l'innovation.

III. La méthode E.E.M.C.I. (Estimation des Effets de l'introduction d'une innovation à l'aide de Modèles de type Caractéristiques de l'Innovation)

Cette méthode s'appuie sur des modèles de type 'Caractéristiques', c'est une méthode paramétrique. Ces modèles mettent en évidence les principaux facteurs d'influence sur la valeur et le coût et permettent d'estimer les conséquences sur le cycle de vie d'une innovation. Ils établissent le lien entre une innovation (décrite à l'aide de ses caractéristiques) et ses conséquences.

Dans une première partie, nous définissons tout d'abord la notion de caractéristiques d'innovation. Puis, nous précisons ensuite les caractéristiques retenues et la raison de ces choix.

Dans une seconde partie nous établissons et justifions la liste des indicateurs retenus pour l'élaboration des modèles.

III.1. Caractéristiques d'une innovation

Nous avons identifié [Tomala, 00b] deux particularités d'une innovation qui nous semblent particulièrement importantes lors de sa conception :

- l'innovation est transversale à l'entreprise, sa réalisation fait intervenir de nombreux experts de domaines différents qui ont par conséquent des points de vue différents de l'innovation,
- l'innovation passe progressivement de l'état d'idée peu détaillée (niveau de connaissance le plus abstrait) à l'état d'objet, exploitable précis et très détaillé (niveau de connaissance le plus élevé), il s'agit donc d'un système dynamique.

L'innovation est décrite en conception selon de multiples points de vue et à différents niveaux. Il est nécessaire de prendre en compte ces particularités (nature des informations et niveaux de connaissance de l'innovation) lors de l'estimation des conséquences de son intégration.

Ceci nous amène à proposer la description d'une innovation à l'aide de caractéristiques ou 'features' dont nous donnons ici une définition : « toute unité d'information du modèle produit précisant un agrégat de propriétés qui décrivent le produit selon un certain point de vue »[FEMEX, 97].

Nous appliquons ici cette définition en remplaçant le mot produit par innovation.

Les types de caractéristiques que nous considérons pour décrire une innovation en conception sont :

- les caractéristiques 'générales' : ce sont des descripteurs génériques tels que la nature de l'innovation, son degré d'utilité... Ce type de caractéristique est utilisé au tout début de la conception lorsque les idées sont encore très imprécises sur l'innovation,

- les caractéristiques 'descriptives' : elles permettent de décrire l'innovation en fonction des différents niveaux de connaissances, nous distinguons les niveaux suivants :
 - descriptions par les valeurs (confort, esthétisme, performance,...),
 - descriptions technologiques (mécanique, électrique,...),
 - descriptions physiques (exemples : surface, volume, longueur,...),
 Le niveau 'valeur' permet de décrire les valeurs client et d'explicitier le cahier des charges indépendamment des métiers. Les deux autres niveaux font référence à des points de vue de plus en plus spécialisés et constituent une structure d'accueil pour différentes familles de caractéristiques métiers,
- les caractéristiques 'événements' : elles permettent de considérer l'innovation par les rapports aux modifications qu'elle engendre, décrites sous forme d'événements (valables pour tous métiers), exemples : modification importante, modification faible.

Dans la suite de ce paragraphe, nous décrivons ces caractéristiques.

Caractéristiques 'Générales'

L'étude de plusieurs cas d'innovation et la typologie de l'innovation présentée au chapitre 1 (dont nous rappelons brièvement les résultats), nous permettent de proposer les caractéristiques suivantes :

- nature,
- degré de nouveauté ou d'originalité,
- mode d'émergence de la nouveauté,
- mode de conduite de l'innovation,
- degré de complexité de l'innovation,
- degré d'utilité,
- degré de communication autour de l'innovation.

La nature de l'innovation :

Barreyre [Barreyre, 81] distingue quatre types d'innovations :

- les innovations à dominante technique (produit et process) : nouvelle forme, matière, couleur, fonction, composant, technologie, méthode de fabrication, nouveaux outils, conditionnement, procédés, machines,...
- les innovations à dominante commerciale : nouvelle présentation d'un produit, combinaison esthétique- fonction, application d'un produit déjà connu, nouveaux modes de distribution d'un produit donné, moyens de promotion de vente, nouveau système commercial
- les innovations à dominante organisationnelle : elles ont trait aux modes d'organisation de l'entreprise, notamment, à ses procédures, à ses modalités de développement : organisation par projet, nouvelle méthode à l'organisation (ex : mise en place d'un Juste à Temps),...
- les innovations à dominante socio-institutionnelle : elles intéressent une collectivité sociale étendue et leur décision de mise en œuvre est réalisée par les pouvoirs publics : nouvelles normes, nouvelles réglementations.

Le degré de nouveauté ou d'originalité :

Plusieurs auteurs qualifient une innovation par son degré de nouveauté [Barreyre, 81] [Broustail et al, 93] : innovation radicale ou en rupture (microprocesseur, nylon) et innovation variation (simple amélioration). Ce degré de nouveauté est défini à l'aide d'appréciations telles que 'variation faible, variation très importante', etc. Il est important

de préciser qu'étant donné le caractère relatif de l'innovation, ces degrés sont relatifs à chaque domaine d'activité.

Le mode d'émergence de la nouveauté :

Ce sont les innovations en réponse à un manque ou à une menace, les innovations opportunistes et les innovations qui découlent d'un comportement proactif ou réactif.

Le mode de conduite de l'innovation :

On distinguera, par cette caractéristique, les innovations programmées faisant l'objet d'une approche systématique et d'une gestion prévisionnelle formelle: définition de plans, de programmes, suivi budgétaire, coûtéance ; des innovations non programmées laissant place au hasard, à l'improvisation, et à l'intuition [Knight, 67].

Le degré de complexité de l'innovation:

Une innovation peut être un système simple ou très complexe. Ce paramètre de complexité peut avoir des impacts non négligeables sur les coûts et la valeur. Il est possible d'exprimer le niveau de complexité de la même manière que le degré de nouveauté, exemple : 'système simple', 'système très complexe'.

Le degré d'utilité de l'innovation :

Plus une innovation est utile ou apporte quelque chose aux utilisateurs, plus elle aura du succès. Le degré d'utilité est donc une caractéristique importante de l'innovation qu'il est nécessaire de prendre en compte dans sa description. Le degré d'utilité et le degré d'originalité sont définis a priori par les concepteurs.

Le degré de communication autour de l'innovation :

C'est un critère à prendre en compte a posteriori et à intégrer dans le modèle des relations entre caractéristiques d'innovation et indicateurs. La communication est un facteur d'influence non négligeable sur la perception de nouveau système et donc sur le volume de vente.

Caractéristiques 'Valeur'

Lors de la décision d'achat d'un produit, le client a recours à certains indicateurs par rapport à ses critères d'achat [Le Goff, 97]. Il perçoit ces indicateurs de deux manières différentes : objectivement et subjectivement. Les critères d'achat peuvent être décomposés en deux catégories :

- les critères d'achat liés aux valeurs intrinsèques du produit : ce sont les critères d'achat client liés directement au produit lui-même. Les critères d'achat les plus utilisés par les clients sont au nombre de sept [Le Goff, 97], [Tomala et al., 01c] : le confort, l'esthétisme, la performance technique, la fiabilité, la sécurité, l'environnement et les options disponibles,
- les critères d'achat liés aux valeurs extrinsèques au produit [Tomala et al., 01c]: ce sont toutes les informations relatives au contexte économique dans lequel évolue le produit, elles sont au nombre de trois : le prix, le coût d'usage et l'image de la marque.

Les informations sur le produit sont analysées par rapport aux critères d'achat et aux besoins du client. Il résulte de cette analyse la décision d'achat ou non du produit.

Caractéristiques 'Technologiques'

Les différentes technologies (mécanique, électrique,...) utilisées pour l'élaboration d'un produit possèdent leurs propres fonctions de base et leurs propres caractéristiques. Une description détaillée des fonctions de base et des attributs par technologie est donnée dans [Cocquebert, 90]. Par exemple pour la mécanique, les fonctions de bases suivantes sont identifiées : lier, guider en translation, guider en rotation, guider hélicoïdalement, guider en translation et en rotation ; les attributs liés à chaque fonction sont : effort, précision, taille et vitesse.

Caractéristiques 'Physiques'

Les systèmes et composants physiques (barre, tube, câble, roue, table,...) sont caractérisés par plusieurs attributs : matière, dimensions, volume, couleur, état de surface, forme,...

Caractéristiques 'Événements'

Nous proposons d'établir les corrélations entre les événements initiaux liés à l'introduction d'une innovation et les effets de ces événements (coût, valeur, etc.).

D'une manière générale on peut définir deux événements qui peuvent être liés à l'introduction d'une innovation :

- Suppression d'une entité (entité au sens entité des modèles produit et processus) du système (un composant physique, une fonction, une propriété produit, processus...),
- Modification d'une entité du système (un composant physique, une fonction, une propriété produit, processus...).

III.2. Indicateurs de performance en conception innovante

Ces indicateurs ont été identifiés d'après deux sources : enquêtes effectuées auprès d'entreprises françaises complétées par une revue de la littérature académique [Tomala et al., 00c] :

- Indicateurs sociaux : emplois supprimés, emplois créés,...
- Indicateurs environnementaux : taux de recyclage, taux de pollution,...
- Indicateurs de marché : conquête de marché, fidélisation de marché, montée en gamme, achats additionnels, prescription, exportation,...
- Indicateurs de valeurs interne de l'entreprise : savoir faire, bénéfice, flexibilité de production, modularité, temps de conception, temps de fabrication, économie d'énergie, diminution des importations, effet induit de l'innovation (réaction en chaîne),...
- Indicateurs de valeurs client : volume de vente, satisfaction exprimée sur l'ensemble du système, connaissance du produit (communication),...
- Indicateurs de coût : coût de conception, de fabrication, commercialisation, d'usage, de recyclage.
- Indicateurs d'impacts sur les autres innovations de même nature ou de nature différente.

Les caractéristiques générales d'un indicateur dans le cadre de mesures en production ont été résumées en cinq principes [Bitton, 90] :

- la mesure de performance doit être mise en place au niveau même des activités qui lui donnent naissance,
- les indicateurs doivent être établis en « cohérence » avec les objectifs,
- les mesures de performance doivent être facilement quantifiables et contrôlables,
- la performance doit être contrôlable par les gens à qui la mesure est destinée,
- les mesures doivent être adaptées en fréquence et pouvoir être validées.

Dans le cadre de l'estimation en conception certains de ces principes ne sont pas (ou pas directement) applicables. On peut dire notamment que l'estimation de performance en conception ne peut être mise en place au niveau même des activités qui lui donnent naissance contrairement à la mesure en production. En effet, l'estimation du temps de fabrication d'une pièce par exemple est faite en conception alors que cette activité n'est pas celle qui donne naissance à cette performance. Les caractéristiques générales d'un indicateur dans le cadre de l'estimation en conception restent donc à définir. Des travaux sur ce sujet sont en cours [Tomala et Girard, 03].

En résumé, cette méthode est destinée à donner une estimation des performances d'innovations de n'importe quel type, et cela dès le début de la conception, en capitalisant les observations relatives à un certain nombre d'innovations et au comportement des acteurs correspondants.

Dans le paragraphe suivant, nous décrivons la mise en œuvre de la méthode E.E.M.C.I.

IV. Mise en œuvre de la méthode E.E.M.C.I.

IV.1. Le processus de modélisation

Les étapes suivantes constituent le processus générique de modélisation (cf. figure 4.15).

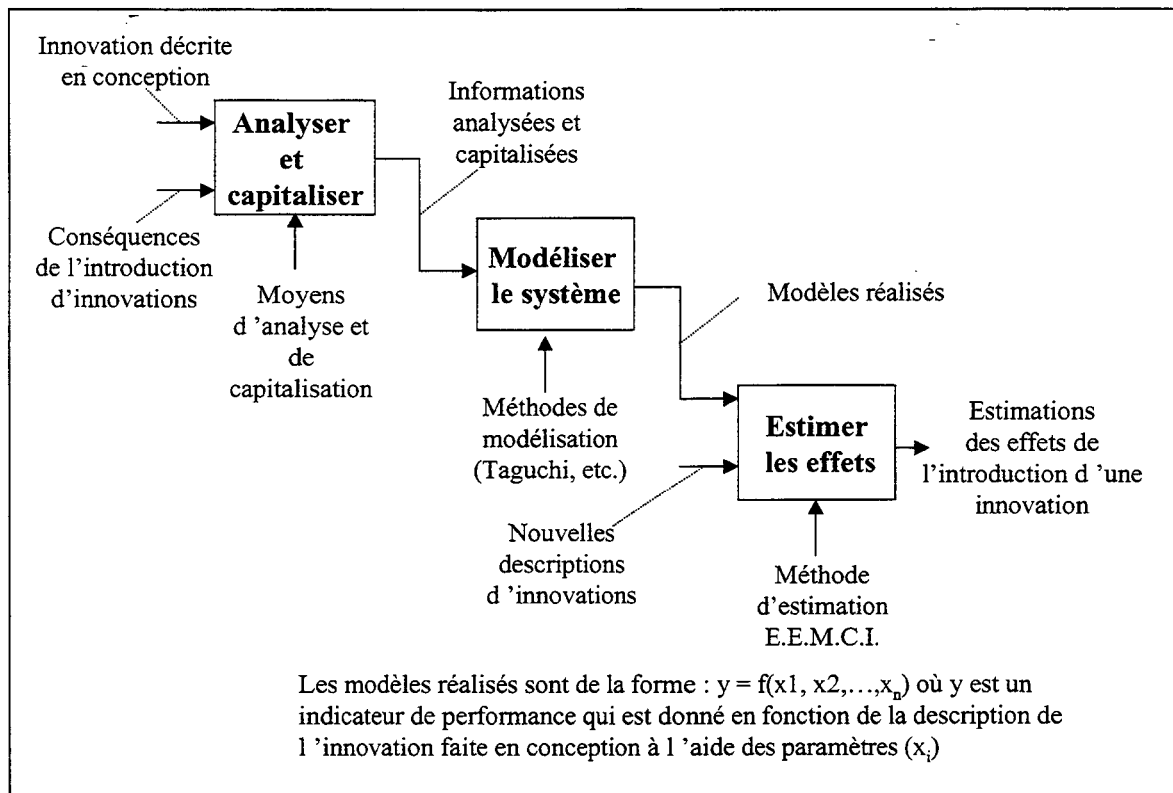


Figure 4.15 : Processus générique de modélisation

- La première étape « Analyser et capitaliser » permet l'analyse et la capitalisation des informations issues des descriptions faites a priori sur l'innovation par les concepteurs (valeurs des caractéristiques) et des conséquences relevées a posteriori (valeurs des indicateurs).
- La deuxième étape « Modéliser le système » inclut l'analyse statistique de corrélation (méthodes de régression, plan d'expérience, méthode Taguchi,...) entre les données d'entrées (caractéristiques de l'innovation) et de sorties (indicateurs de conséquences). En conception les informations sur l'innovation varient, elles passent de l'état 'imprécise' à 'très précise'. Elles sont de plus souvent subjectives. Il est nécessaire de prendre en compte ces particularités (incertitudes, imprécision) dans la modélisation en utilisant par exemple la logique floue (cf. la partie 'Perspectives' de ce mémoire).
- La troisième étape « Estimer les effets » est celle de la validation des modèles. Après validation, il est possible d'estimer les conséquences (y_j) d'une nouvelle innovation à partir de la valeur de ces caractéristiques (données quantitatives ou qualitatives (x_i)).

Certains modèles proposés présentent néanmoins quelques particularités qui sont précisées dans la suite de ce chapitre.

Le but de la modélisation est d'obtenir des informations sur les effets de l'introduction d'une innovation (modèle de comportement) en fonction de ses différentes caractéristiques. Nous proposons plusieurs modèles permettant d'établir les relations entre les caractéristiques d'une innovation et certains indicateurs (coût, valeur). Ces modèles sont basés sur les relations suivantes :

- indicateurs génériques / caractéristiques générales de l'innovation,
- indicateurs génériques / caractéristiques de valeur,

- volume de vente / caractéristiques de valeur,
 - prix admissible / caractéristiques de valeur,
 - indicateurs génériques / caractéristiques technologiques,
 - indicateurs génériques / caractéristiques physiques,
 - indicateurs génériques / caractéristiques événementielles.
- L'élaboration de ces modèles est décrite dans le paragraphe suivant.

IV.2. Élaboration des modèles de la méthode E.E.M.C.I.

Nous proposons d'utiliser des fiches pré-établies pour la collecte et l'étude des informations nécessaires à l'élaboration des modèles. Exemple : la Fiche Modèle 3 (FM3) permet la collecte et l'étude des informations relatives au modèle 3 : Volume de vente / Caractéristiques de valeur.

La démarche de la collecte des informations s'inspire fortement de celle des plans d'expériences, mais elle est appliquée de manière très spécifique à notre problématique.

Modèle 1 : indicateurs génériques / caractéristiques générales

Un nombre important d'idées d'innovation ne sont pas retenues pour être développées puis vendues en tant qu'innovation. Les risques sont très importants à ce niveau car il existe peu d'informations relatives aux impacts que pourrait avoir une innovation, les décideurs sont alors contraints dans la plupart des cas de ne pas donner suite à ces idées. Le modèle 1 permet d'avoir une estimation des impacts des idées d'innovation décrites à l'aide d'informations générales.

La figure suivante (figure 4.16) montre la fiche utilisée pour la saisie de données (fiche de modèle 1 : FM1) concernant certaines caractéristiques générales d'innovations ainsi que certains indicateurs sur plusieurs cas d'innovation (mesures effectuées par des spécialistes).

		Mesure 15	Mesure 16	Mesure 17	Mesure 18	Mesure 19
Caractéristiques	Nature	Produit	Produit	Process	Produit	Produit
	Degré de nouveauté	assez fort	très fort	très fort	très fort	très fort
	Degré de complexité	faible	faible	faible	faible	faible
	Degré d'utilité	absolu	absolu	absolu	absolu	absolu
	Degré d'originalité	fort	fort	fort	fort	fort
	Degré de communication	fort	fort	fort	fort	fort
Indicateurs	Emplois créés	12	nulle	nulle	faible	nulle
	Emplois supprimés	4	5	nulle	.	.
	Satisfaction client	moyen
	Conquête de marché	fort	fort	fort	fort	fort
	Fidélisation marché	moyen	moyen	moyen	moyen	moyen
	Montée en gamme	moyen	moyen	moyen	moyen	moyen
	Achats additionnels	moyen	moyen	moyen	moyen	moyen
	Prescription	moyen	moyen	moyen	moyen	moyen
	Savoir-Faire	important	important	important	important	important
	Bénéfice	très moyen	très moyen	très moyen	très moyen	très moyen
	Flexibilité de production	nulle	nulle	nulle	nulle	nulle
	Modularité	négatif	négatif	négatif	négatif	négatif
	Coût de conception	important	important	important	important	important
	Coût de fabrication	important	important	important	important	important
	Coût de commercialisation	important	important	important	important	important
Coût d'utilisation	moyen	moyen	moyen	moyen	moyen	
Coût de recyclage	moyen	moyen	moyen	nulle	moyen	

Figure 4.16 : Fiche de saisie de données du modèle 1 : FM1

Modèle 2 : indicateurs génériques / caractéristiques de valeur

Une innovation, intégrée dans un produit existant, a une influence sur les éléments de valeurs de ce produit, chaque innovation crée ses propres variations de valeurs. Elle pourra, par exemple, contribuer à augmenter la sécurité du produit mais diminuer son confort et son esthétique. Par conséquent, il est intéressant de réaliser un modèle à partir des caractéristiques de valeur d'un système afin de pouvoir identifier les apports positifs ou négatifs de l'innovation.

Les différentes phases permettant la capitalisation (collecte et classement) de connaissance et de la réutilisation de ces connaissances sont :

- enquêtes et estimations des valeurs du système considéré,
- estimations expertes des variations de valeurs possibles du produit que pourrait apporter une innovation (réalisées a priori et a posteriori),
- notification des impacts liés à l'introduction de l'innovation,
- étude statistique et validation des relations entre valeurs et indicateurs.

La figure suivante (figure 4.17) montre la fiche utilisée pour la saisie de données (fiche de modèle 2 : FM2) concernant certaines caractéristiques de valeur d'innovations ainsi que certains indicateurs.

		Mesure 26	Mesure 27	Mesure 28	Mesure 29	Mesure 30
Caractéristiques	Confort	5,6	8,5	5,6	8,9	8,5
	Esthétisme	5,9	4,3	5	8	5
	Performance	7	7	4,9	5,6	7
	Fiabilité	7	6,6	8,2	5,2	6,3
	Sécurité	7,6	8	7,6	8,2	8
	Environnement	5,6	5,6	5,6	4,6	5,6
	Options	6,3	6,1	4,5	6,3	5,8
Indicateurs	Emplois créés	12	nulle	nulle	faible	nulle
	Emplois supprimés	4	5	nulle	.	.
	Satisfaction client	moyen
	Conquête de marché	fort	fort	fort	fort	fort
	Fidélisation marché	moyen	moyen	moyen	moyen	moyen
	Montée en gamme	moyen	moyen	moyen	moyen	moyen
	Achats additionnels	moyen	moyen	moyen	moyen	moyen
	Prescription	moyen	moyen	moyen	moyen	moyen
	Savoir-Faire	important	important	important	important	important
	Bénéfice	très moyen	très moyen	très moyen	très moyen	très moyen
	Flexibilité de production	nulle	nulle	nulle	nulle	nulle
	Modularité	négatif	négatif	négatif	négatif	négatif
	Coût de conception	important	important	important	important	important
	Coût de fabrication	important	important	important	important	important
	Coût de commercialisation	important	important	important	important	important
Coût d'utilisation	moyen	moyen	moyen	moyen	moyen	
Coût de recyclage	moyen	moyen	moyen	nulle	moyen	

Figure 4.17 : Fiche de saisie de données du modèle 2 : FM2

Modèle 3 : volume de vente / caractéristiques de valeur

De manière différente, il est possible de définir des relations plus précises comme le volume de vente qui est fonction des valeurs du produit, du prix, du coût d'utilisation et de l'image du constructeur. Ce modèle permet alors d'évaluer le volume de vente d'un produit (cf. fiche de saisie FM3 figure 4.18) en fonction des valeurs (estimées par les experts) des critères d'achat client.

Volume de vente	Confort	Perfor.	Sécurité	Fiabilité	Esthétisme	Environnement	Options	Service	Image	Prix	Coût d'usage
70000	7	6	6,5	5	4,5	3	7	5	4	75000	70000
100000	8,1	7,2	6,5	5,3	4,2	5	6	5	4,5	78000	79000
...
120000	4,8	8	6,2	5	4,7	6,5	7,8	8	6	85500	75000
78500	5	5	6	8,4	5	2	4	1,6	3	97800	59000

Figure 4.18 : Fiche de saisie de données du modèle 3 : FM3

Modèle 4 : prix admissible de vente / caractéristiques de valeur

Le prix de vente admissible d'une innovation qui sera intégrée à un produit existant peut être estimé, l'innovation étant définie à l'aide des variations de valeur du produit (fiche FM4 figure 4.19).

Acquisition et analyse:

- recueil des informations subjectives de la valeur du produit sans innovation,
- tests par plusieurs personnes du produit avec innovation intégrée, ou questionnaires,
- recueil des informations subjectives de la valeur du produit avec innovation (variation de la valeur),
- attribution par les clients d'un prix admissible d'achat pour l'innovation,
- calcul des variations de valeur qu'a suscité l'introduction de l'innovation,
- étude de plusieurs cas innovants et établissement à l'aide d'outils statistiques de corrélation entre prix admissible de vente et variations de valeur après introduction d'une innovation.

	Valeur actuelle sans innovation	Valeur avec innovation	Variations
Esthétisme	7	7,2	+ 0,2
Confort	7,3	7,6	+ 0,3
Sécurité	6,2	6,6	+ 0,4
Performance	6	6,1	+ 0,1
Environnement	5,3	4,7	- 0,6
Equipement	8	7,7	- 0,3
Fiabilité	5,5	6,3	+ 0,8
Prix admissible			600-800

Figure 4.19 : Fiche de saisie de données du modèle 4 : FM4

Utilisation :

La relation suivante étant connue : prix de vente innovation / variations de valeur des items de valeurs, des experts peuvent obtenir une estimation du prix de vente admissible de l'innovation étudiée, après avoir estimé eux-mêmes les différentes variations de valeur probables sur le produit et cela sans le recours à des questionnaires client.

L'estimation du volume de vente est également envisageable à partir de ces informations.

Ce modèle répond au problème d'identification du 'prix cible' (au sens Target Costing) et des paramètres influant sur celui-ci. En effet, il est actuellement admis que le prix est imposé par le marché, ce modèle vise à maîtriser plus que de subir les prix du marché en identifiant les leviers d'actions. Cette proposition est détaillée dans la partie 'Perspectives' de ce mémoire.

Ce sont les valeurs des critères d'achat des clients et leurs variations qui sont importantes lors de l'achat d'un produit ou d'un service. Il est donc nécessaire de savoir si ces valeurs et ces variations dues à l'innovation vont entraîner la vente et à quel taux. Les trois modèles présentés utilisant les caractéristiques de valeur peuvent aider les concepteurs à comprendre pourquoi une innovation n'a pas eu de succès, à savoir si une innovation va être vendue, à savoir si une innovation va entraîner l'achat du produit, etc.

Modèle 5 : indicateurs génériques / caractéristiques technologiques

Une estimation des impacts de l'introduction d'une innovation qui est définie au niveau technologique peut être réalisée de la façon suivante :

- décomposition de l'innovation par technologie exemples : mécanique, électrique, chimique, informatique,...
- identification des fonctions (possibles de l'innovation) par technologie, exemples : rotation, translation,
- identification des attributs concernés par l'innovation, exemples pour la technologie mécanique : vitesse, précision, taille, effort,
- identification des indicateurs nécessaires pour l'étude, exemple : coût de conception,
- étude de plusieurs cas innovant et établissement à l'aide d'outils statistiques de corrélation entre indicateurs génériques retenus et caractéristiques technologiques.

L'exemple qui suit (figure 4.20) montre (fiche de saisie FM5) les effets de la technologie d'un système en fonction du type, des fonctions de bases utilisées et du niveau de leurs caractéristiques sur les différents coûts du cycle de vie. Ceci peut également être réalisé par rapport à d'autres indicateurs tels que le temps de réalisation, le taux de pollution, etc. Il faut noter toutefois que les corrélations sont relatives au domaine concerné par l'étude. En effet, l'obtention d'une liaison permettant une vitesse moyenne, un effort faible, sur une taille moyenne, le tout avec une précision très forte, ne coûte certainement pas le même ordre de prix s'il s'agit d'une montre ou s'il s'agit d'un moteur de fusée.

Technologie	Attributs				Impact coût	
	Vitesse	Précision	Effort	Taille	Coût de conception	Coût d'utilisation
Mécanique						
Lier	Moyenne	Très forte	Faible	Moyenne	200	150
Guider en translation	Moyenne	Faible	Faible	Moyenne	68	97
Guider en rotation	Moyenne	Très forte	Moyenne	Moyenne	132	250
Guider hélicoïdamlement	Faible	Faible	Faible	Faible	15	26
Guider en rotation et translation	Très forte	Moyenne	Très forte	Faible	45	37

Figure 4.20 : Fiche de saisie de données du modèle 5 : FM5

Modèle 6 : indicateurs génériques / caractéristiques physiques

Une estimation des impacts de l'introduction d'une innovation définie au niveau technique (ou physique) est réalisée de la façon suivante :

- décomposition de l'innovation par technologie, exemples : mécanique, électrique, chimique, informatique,...
- décomposition de l'innovation par composant ou sous-système, exemples : tube, plaque,...
- identification des attributs physiques intéressants pour l'étude, exemples : longueur, diamètre,...
- estimation des degrés d'importance des attributs pour chaque élément, exemples : faible, très fort,...
- identification des indicateurs intéressants, exemples : coût de production, facilité d'usinage,...

- étude de plusieurs cas innovant et établissement à l'aide d'outils statistiques de corrélation entre indicateurs génériques retenus et caractéristiques physiques de l'innovation.

Ce modèle permet d'établir les relations entre entités physiques et indicateurs de performance de l'entreprise (savoir-faire, connaissances, coût, taux de pollution...).

Modèle 7 : indicateurs génériques / caractéristiques événementielles

Les modèles du type 7 sont établis à la suite d'une étude statistique entre les entités définies dans les modèles produit et processus et certains indicateurs de valeur et de coût. Ce sont des modèles paramétriques alors que les modèles produit/ processus sont des modèles analytiques. Ils sont complémentaires aux modèles produit/ processus.

Ils permettent de créer des liens directs entre des modifications spécifiées sur le système, ou plus précisément sur les entités qui composent le système, avec certains indicateurs génériques.

Le processus de création des modèles de modifications/ indicateurs est le suivant :

- recherche des connaissances concernant les modifications,
- estimation a posteriori des modifications sur un système,
- notification des impacts liés aux modifications sur les indicateurs génériques,
- étude statistique et validation des relations entre valeurs et indicateurs.

Il est envisageable d'établir, à l'aide des informations sur les modifications, de nouvelles relations entre les caractéristiques des modifications et les indicateurs génériques, comme le montrent les exemples suivants :

- Coût de conception / intensité de modification, définition de l'entité,
- Temps de conception / intensité de modification, définition de l'entité,
- Confort / intensité de modification, définition de l'entité.

Exemple : La modification importante de la forme de la planche de bord d'un véhicule coûte environ 280 Euros, plus ou moins 10 Euros.

L'apport de ce type de modèle porte sur la formalisation et la capitalisation de l'expérience concernant des informations de modifications, de coût et de valeur, qui sont souvent imprécises et subjectives. L'objectif est d'améliorer les estimations concernant les impacts dues à des modifications qui sont réalisées actuellement, pour la plupart, de manière intuitive.

Remarque 2 : Généralisation des relations. A partir des relations établies : modifications sur l'entité X_i d'intensité I , il est envisageable d'établir des relations plus générales en extrapolant ces informations. Il est envisageable de trouver alors des relations telles que : Modification d'intensité I / Indicateurs et Modification entité X_i / Indicateurs.

Exemple : la généralisation des informations concernant les modifications sur l'entité 'planche de bord d'un véhicule', et sur un ensemble d'autres entités modifiées pour différentes intensités donne de nouvelles relations qui sont par exemple :

- la modification de l'entité 'planche de bord d'un véhicule' coûte en général entre 229 et 244 euros (tous types de modification confondus),
- les modifications d'intensité 'moyenne' sur un véhicule coûtent en général en phase de conception entre 150 et 200 Euros.

La démarche suivie dans les chapitres 3 et 4 a conduit à spécifier le système d'aide à l'estimation et à l'évaluation, par rapport à chacun des éléments de notre problématique, spécifications que nous effectuons fonctionnellement à présent.

V. Architecture fonctionnelle du système d'aide à l'évaluation

Les spécifications décrites précédemment nous conduisent à proposer la structure fonctionnelle d'un système interactif d'aide à la décision (S.I.A.D.) pour l'innovation que nous appelons Système d'Aide à la Décision pour l'Innovation (S.A.D.I.). Dans la suite, nous présentons tout d'abord l'intérêt de l'approche SIAD pour l'estimation des performances d'une innovation et proposons ensuite une architecture fonctionnelle.

V.1. Intérêt de l'approche SIAD

Un SIAD est un outil général, utilisable à chaque fois qu'une analyse de problèmes ou un contrôle d'objectifs est nécessaire et où l'utilisateur interagit avec le système pour élaborer sa décision et les actions correspondantes.

Un SIAD est caractérisé [Sénéchal, 96] par :

- son intégration : l'utilisateur peut prendre en compte l'ensemble des connaissances nécessaires à sa tâche,
- sa représentativité : il permet de reproduire correctement le système étudié et possède les fonctionnalités dont à besoin l'utilisateur,
- son interactivité : il assure la qualité du dialogue entre le système et les utilisateurs,
- sa souplesse : il propose un ensemble d'actions possibles sur les modèles lors de la recherche de solutions, ainsi que des possibilités à suivre l'évolution du système considéré.

Ces caractéristiques répondent parfaitement aux spécifications des systèmes que nous avons définies dans les chapitres 3 et 4.

Système d'Aide à la Décision pour l'Innovation (SADI)

Dans le cadre de notre travail les décisions portent sur les innovations (ou scénarios d'innovation). Nous proposons par conséquent, un Système d'Aide à la Décision pour l'Innovation (S.A.D.I.) utilisant les différentes informations nécessaires à ce type de décision. Il est essentiel pour cela de définir précisément ses spécifications fonctionnelles et sa gestion de données.

Spécifications fonctionnelles

Dans le but d'utiliser les méthodes proposées, le SADI doit permettre la mise en œuvre :

- des fonctions d'estimation,
- des fonctions de comparaison,
- des fonctions d'archivage des données,
- des fonctions de traitement des indicateurs de performances nécessaire à l'analyse des performances globales des innovations,
- de la capitalisation (collecte et classement) des informations nécessaires à la réalisation de l'objet d'évaluation (par exemple les informations économiques relatives aux processus de réalisation du produit,...),
- du calcul des écarts par rapport aux objectifs fixés par l'entreprise,

- du support des modèles d'estimation,
- du support des informations de comparaison (critères définis par les décideurs),...

La gestion des données et connaissances utilisées par les modèles

Le SADI doit permettre d'assurer les différentes fonctions de gestion des informations et des connaissances exploitées pour :

la conception :

- conception des modèles d'estimation (saisie des informations pour la modélisation),
- conception du système de comparaison par l'utilisation d'une bibliothèque de familles de critères prédéfinis en fonction des éléments évalués (activités, processus, fonctions,...),
- conception et archivage des données concernant les actions (configurations estimées,...). Le décideur peut ainsi interroger et mettre à jour les données et avoir des informations sur les différentes solutions estimées,

les modifications :

- modification des différents modèles d'estimation et du système de comparaison (variables et constantes du modèle d'estimation, les critères et leurs caractéristiques dans le système de comparaison),
- suppression de certaines variables et constantes du modèle d'estimation, des critères et leurs caractéristiques dans le système de comparaison,

la capitalisation :

- apprentissage en autorisant un retour sur la décision et la capitalisation des connaissances antérieures aux décisions,
- restitution des circonstances et les raisons des choix effectués (pondération des critères, valeurs des seuils, etc.).

L'ensemble des spécifications précédentes, nous conduit à définir le modèle de l'environnement d'aide à l'évaluation.

V.2. Modèle de l'environnement d'aide à l'évaluation

Ce modèle est basé sur le modèle d'un SIAD présenté dans [Tahon et Trentesaux, 01] et adapté au contexte de l'évaluation de la performance d'une innovation (figure 4.21).

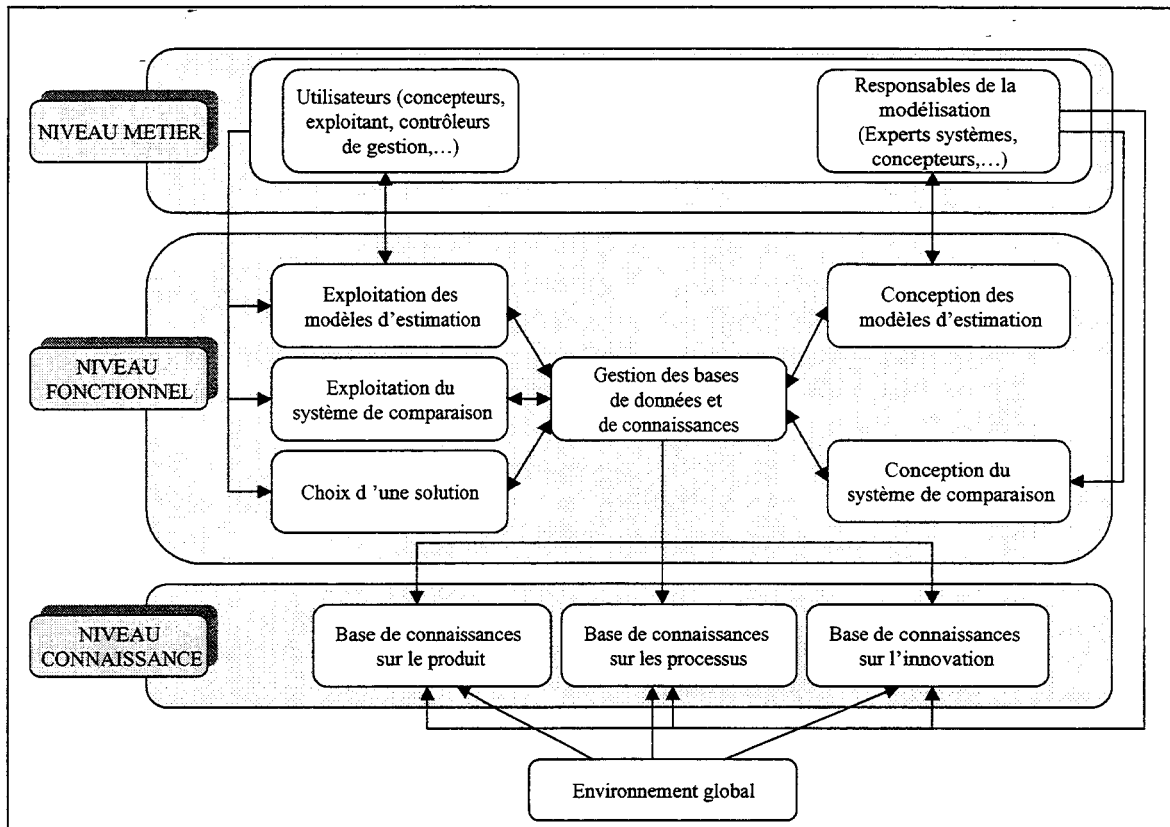


Figure 4.21 : Modèle fonctionnel du SADI

La structure de l'environnement du modèle comporte trois niveaux :

- le niveau métier : il détermine les modes de dialogue entre les utilisateurs et le système. Les différentes interfaces interactives constituant ce niveau doivent être adaptées aux besoins des différents utilisateurs du système.
- le niveau fonctionnel : il met en œuvre les moyens d'élaboration, de traitement et de contrôle des modèles. Il comporte les fonctions spécifiques pour l'estimation et la comparaison.
- le niveau de connaissance : il comporte les structures de données ainsi que les différents modèles instanciés. Il permet également l'accès à l'ensemble des informations utilisées par les intervenants.

La base de connaissances contient les informations nécessaires à la réalisation des différents modèles d'estimation et de comparaison. Elle permet la création et la sauvegarde des modèles d'estimation, de comparaison et des données de coût et de valeur concernant les différentes solutions estimées et comparées.

Les modèles que nous avons proposés nécessitent une quantité importante de données de natures, de formats et d'origines diverses. L'optimisation du système d'information de l'entreprise en terme de fiabilité et de coût de l'information implique l'unicité des données et l'automatisation de leurs transferts entre les entités qui les exploitent. L'architecture suivante représente l'organisation des données que nous proposons :

- données sur les critères et leurs pondérations,
- données physiques, économiques et de valeur interne et externe pour la conception des modèles,
- données sur les solutions estimées.

Les données pour la conception des modèles : ce sont les données économiques (coût de l'activité, coût d'un élément,...) et de valeur (confort, esthétique, performance, savoir-faire...) permettant d'instancier les différents modèles. Ces données sont de types quantitatif et qualitatif.

Ce modèle conduit à une architecture assurant une gestion dynamique des modèles. Le schéma suivant montre l'architecture proposée.

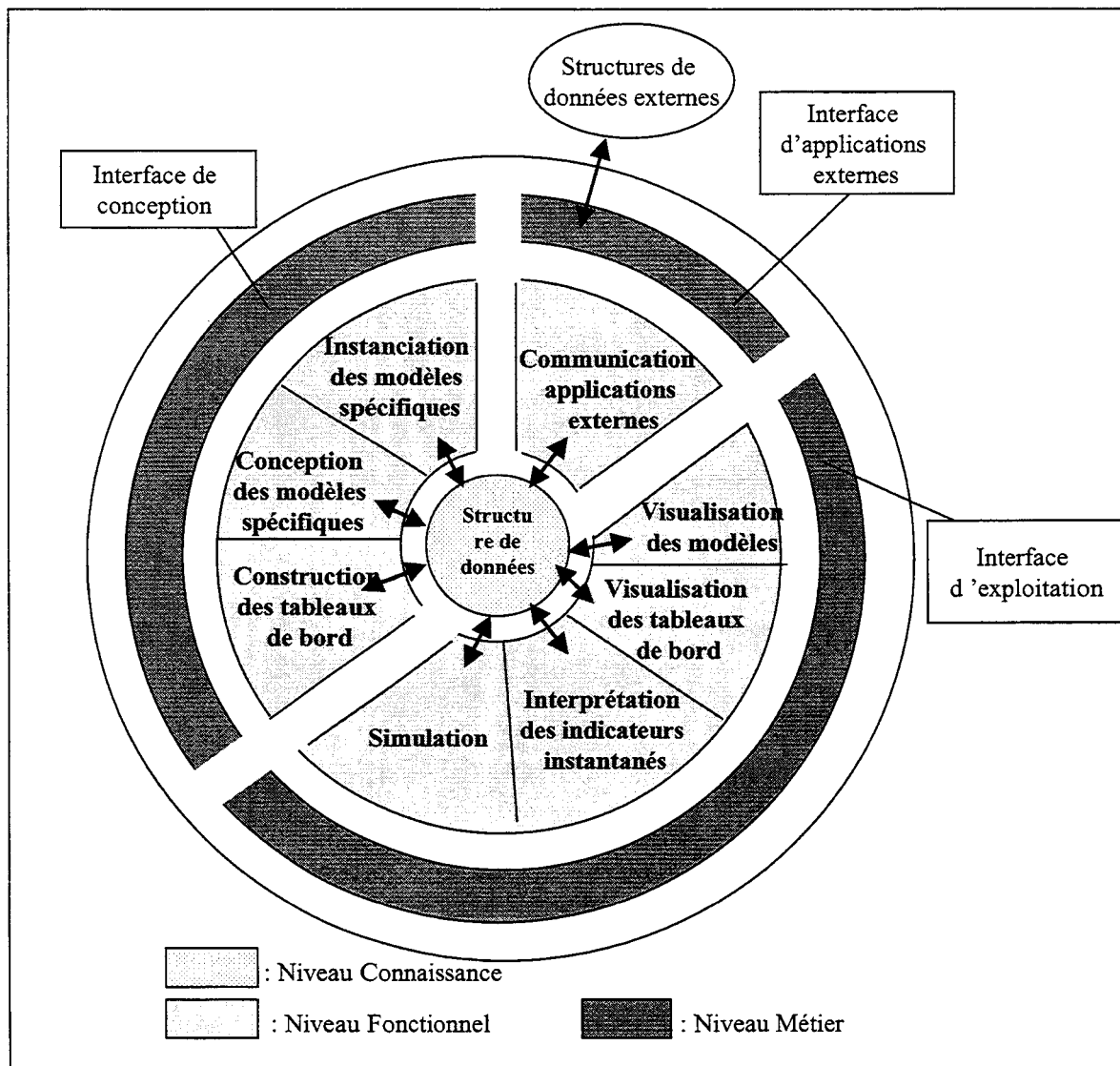


Figure 4.22 : Architecture fonctionnelle

- Le niveau connaissance : la structure des données doit assurer la cohérence des données du système et celle des données utilisées par les fonctions externes du processus de conception.
- Le niveau fonctionnel : ce niveau est utilisé par l'ensemble des méthodes de traitement (système expert, méthodes multicritères, etc.).
- Le niveau métier : il est constitué par les interfaces de conception et d'exploitation fournissant aux concepteurs et utilisateurs une représentation adaptée à chacun.

Conclusion

Ce quatrième chapitre nous a permis de définir et de présenter les moyens humains, techniques pour la mise en œuvre des méthodes E.E.M.E. et E.E.M.C.I.

Nous avons également proposé un système d'aide à la décision pour l'innovation (S.A.D.I.) et présenté ses spécifications.

Le chapitre suivant décrit l'expérimentation, à partir des exemples tirés d'expériences industrielles, des propositions faites dans ce mémoire.

Chapitre 5

Validation des méthodes proposées

'La pratique sans théorie est aveugle, la théorie sans pratique est absurde' (E.Kant)

Introduction

Dans le chapitre précédent, nous avons présenté la mise en œuvre des méthodes et défini les spécifications du système d'aide à l'évaluation de performance dès la phase de conception d'une innovation.

Dans ce chapitre, nous précisons tout d'abord les objectifs scientifiques et industriels de la validation. Nous décrivons ensuite la maquette que nous avons développée pour l'expérimentation.

Deux études ont été menées :

- la première présente l'utilisation de la méthode A.E.I.I. et de la méthode E.E.M.E. L'expérimentation a été réalisée au sein du site du Technocentre de Renault. Nous précisons tout d'abord les attentes des différents services de l'entreprise en terme d'évaluation de performance et la démarche expérimentale mise en œuvre. Cette étude a été réalisée dans le cadre du projet METACOG (projet du programme de recherche PROSPER du CNRS),
- la seconde étude a porté sur l'exploitation de la méthode E.E.M.C.I. Elle a été menée à partir d'interviews d'utilisateurs de véhicules automobiles et d'informations tirées d'une revue spécialisée automobile.

Enfin, nous analysons les résultats obtenus et présentons les différents apports des méthodes proposées ainsi que les points restant à valider.

I. Objectifs de validation

Les expérimentations réalisées visaient :

- à valider les concepts et modèles proposés,
- à valider le système d'aide et son support informatique,
- à estimer dans quelle mesure la méthodologie proposée peut répondre aux besoins d'une entreprise.

I.1. Validation des concepts et modèles proposés

La validation a porté sur les différents points suivants :

- la pertinence des concepts et modèles mis en œuvre pour l'estimation et l'évaluation de performance (physiques, économiques et de valeur) d'une innovation,
- leur apport pour l'aide à la décision en conception,
- leur apport pour l'intégration des différents acteurs de l'entreprise dès la phase de conception d'une innovation.

I.2. Validation du système d'aide à l'évaluation et son support informatique

Le deuxième objectif des expérimentations était de vérifier la faisabilité du système d'aide à l'évaluation et de son support informatique :

- faisabilité de l'intégration en entreprise (par rapport aux données et à la gestion de ces données existant dans l'entreprise au moment de l'étude : modèle de produit et de processus),
- faisabilité technique (programmation, gestion des informations).

I.3. Validation du système en terme de réponse aux besoins de l'entreprise

Il s'agissait d'estimer la réponse donnée aux différents besoins exprimés par l'entreprise, c'est-à-dire de mettre à sa disposition un outil permettant :

- d'évaluer les caractéristiques physiques, économiques et de valeur, interne et externe à l'entreprise, d'une innovation (évaluation globale) dès la phase de conception,
- d'améliorer, pour les responsables de l'étude d'une innovation issus des différents services de l'entreprise, la communication, l'apprentissage et l'enrichissement de la connaissance,
- d'améliorer la compétitivité de l'entreprise.

Une partie de la mise en œuvre et de la validation a été menée en utilisant une maquette logicielle que nous présentons dans le paragraphe suivant.

II. La maquette

II.1. L'architecture fonctionnelle de la maquette

L'architecture fonctionnelle de la maquette illustrée par la figure 5.1, a été élaborée en tenant compte des spécifications précédentes (voir chapitre 4). La maquette permet notamment :

- l'aide à l'estimation,
- l'aide à la comparaison,
- la visualisation des résultats à l'aide d'indicateurs de performance.

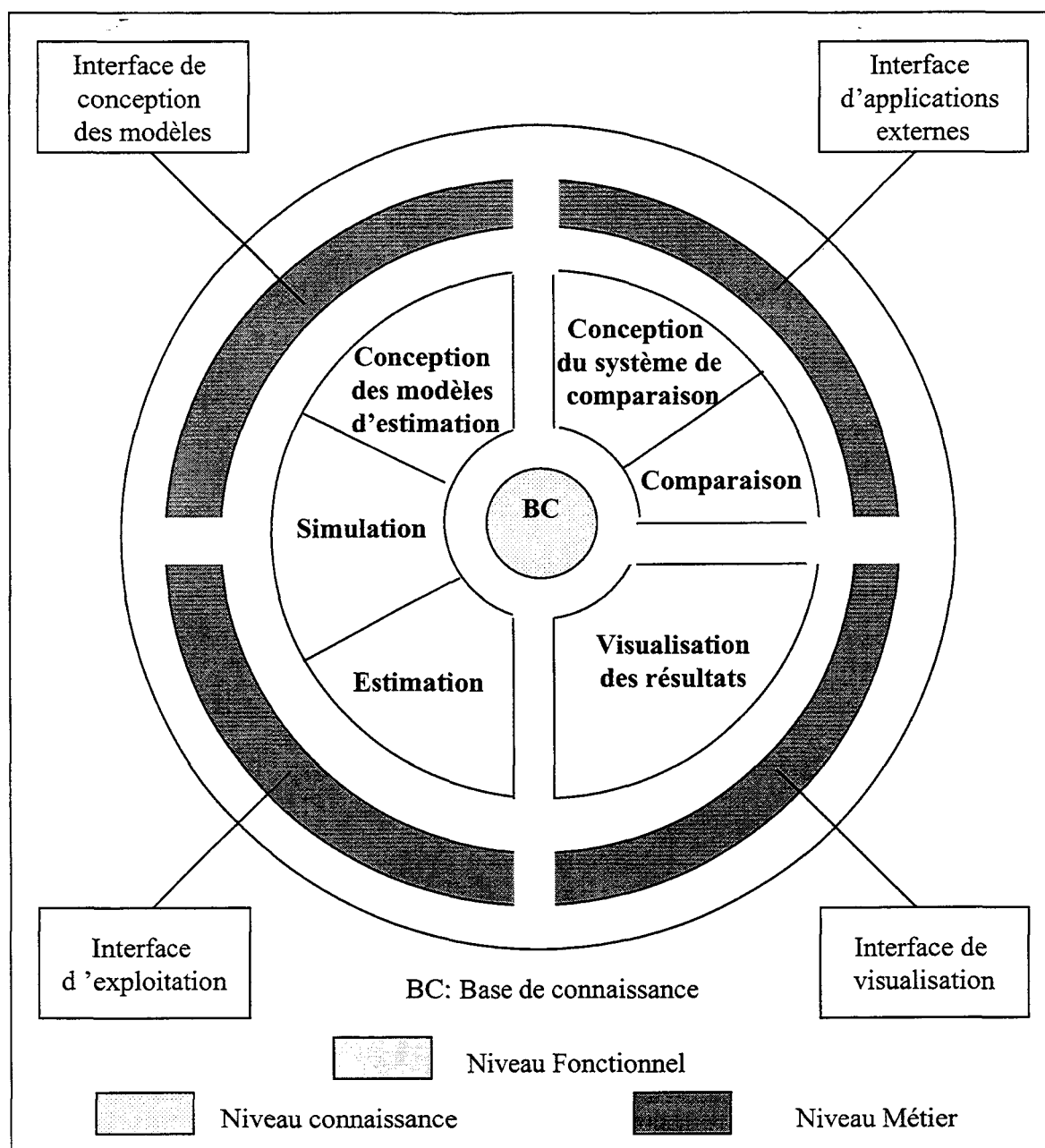


Figure 5.1 : Architecture fonctionnelle de la maquette

Le niveau connaissance

Il est constitué par une base de connaissances composée des informations définissant le modèle produit, le modèle processus et les modèles d'innovations. La mise en œuvre de la base de données permet la communication avec les diverses applications de l'entreprise.

Le niveau fonctionnel

Il comporte trois applications :

- l'aide à l'estimation qui permet :
 - la conception des modèles,
 - la simulation des effets de l'innovation,
 - l'estimation des performances (coût, valeur) d'une solution d'innovation.
- l'aide à la comparaison pour :

- la conception du système de comparaison des différentes solutions d'innovation,
- la comparaison des solutions d'innovation.
- la visualisation sous forme numérique ou graphique :
 - des tableaux de bord d'estimation (indicateurs physiques, économiques et de valeur),
 - des résultats des comparaisons.

Le niveau métier

Les différentes interfaces développées sont :

- pour le système d'estimation :
 - les interfaces de conception des modèles (interfaces de saisie des données),
 - les interfaces de conception et d'instanciation du système de comparaison.
- pour le système de comparaison :
 - les interfaces d'exploitation qui fournissent des données concernant les solutions à évaluer.
- pour le système de visualisation :
 - les interfaces de visualisation des résultats des différents indicateurs d'estimation nécessaires aux utilisateurs du système.

II.2. Les fonctions mises en œuvre

Les fonctions mises en œuvre au sein de cette maquette sont :

- la conception des modèles d'estimation ;
- la conception du système de comparaison ;
- l'exploitation du système de comparaison ;
- la visualisation des indicateurs de performance.

Conception des modèles d'estimation

La méthode A.E.I.I.

Concernant la méthode A.E.I.I., il n'existe pas de système de simulation associé pour l'estimation. L'estimation est réalisée par les experts. Par contre, un outil informatique est proposé pour recueillir les informations relatives aux projets d'innovation en cours et aux projets antérieurs (chapitre 3). Il permet ainsi la capitalisation des projets d'innovation en ce qui concerne les analyses des conséquences.

Pour la partie estimation, les fonctions sont :

- saisie des données relatives au problème en cours (événements initiaux, processus influencés, poids, type de conséquences,...),
- visualisation des informations enregistrées correspondant au projet en cours d'analyse,
- visualisation de l'ensemble des informations enregistrées liées aux projets précédents,
- visualisation de la liste des événements induits, devant faire l'objet d'une analyse ultérieure,
- aide à l'analyse des impacts d'une innovation en cours d'étude. Les différents types d'aide disponibles sont : la matrice d'impacts, la liste des risques, la liste des types de conséquences.

La figure suivante présente l'interface d'exploitation permettant la saisie des données liées à l'innovation en cours (cf. figure 5.2).

Saisie A.E.I.I.

Scénario numéro :

Evénements initiaux	Processus	Ressources	Poids	Type	Confiance	Evénements induits
Suppression clé	Modification plan clé	Groupe développem	25	13	75%	Suppression nem
	Modification fabricat	Groupe Fabrication f	30	14	75%	
	Utilisation différente	Client	80	3	80%	
	Utilisation différente	Garagiste	55	16	80%	

Figure 5.2 : Interface de saisie des éléments de la méthode A.E.I.I.

L'outil d'aide développé est réalisé à l'aide du logiciel Visual Basic pour Excel (Vba) sous environnement Windows. L'utilisation de règles simples de fonctionnement et la convivialité du logiciel confèrent à l'outil une facilité de saisie des données et une diminution des risques d'erreurs.

Les méthodes E.E.M.E. et E.E.M.C.I.

L'outil que nous avons développé regroupe l'ensemble des fonctions nécessaires à la mise en œuvre de ces méthodes. Les fonctions d'estimation :

- conception des modèles de produit, de processus et d'innovation,
- saisie des informations relatives à l'étude (événements initiaux),
- visualisation d'erreurs syntaxiques et d'incohérences de saisie par rapport aux données existantes,
- aide à la recherche d'informations : recherche d'un élément, de l'ensemble des relations liant un élément à un autre, etc.,
- visualisation de l'ensemble des entités impactées par les événements initiaux,
- visualisation des probabilités d'apparition des événements induits,
- visualisation de l'importance des effets (ou taux de modification) sur les entités influencées,
- visualisation des non-fonctionnalités survenant après la propagation des effets,
- visualisation des informations sur le coût et la valeur.

La figure suivante présente l'interface de saisie des informations relatives au modèle produit, (conception du modèle produit) (cf. figure 5.3 : les nombres indiquent une quantité ou un pourcentage).

Fiche de saisie du Modèle 7

Renseignements généraux

Nom de l'auteur : Dupond

Service : Motorisation

Date : 28/06/00

Fonction : Mécanicien

Numéro de saisie :

Élément du modèle Produit : Moteur

Axe de décomposition

L'élément est composé de : Piston - 4

L'élément fait partie de : Aucun

Axe de contribution

L'élément contribue à réaliser : Motorisation - 80%

L'élément est réalisé par : Aucun

Axe d'interaction

L'élément est en interaction avec : Caisse - 75%

Nouvelle saisie Validation Fermer

Figure 5.3 : Interface de saisie du modèle produit

Conception du système de comparaison

Les informations issues de la méthode A.E.I.I., regroupées sur la fiche d'impacts et, éventuellement de la méthode E.E.M.E., doivent être pondérées et comparées. La conception du système de comparaison comporte deux grandes étapes :

- le choix de l'objet à évaluer,
- l'introduction des critères et des pondérations associées à chaque critère.

La figure suivante illustre un exemple de paramétrage du système de comparaison. Des critères sont spécifiés avec leur numéro et leur pondération.

Critères	Numéro	Pondération
Emplois créés	1	25
Emplois supprimés	2	-25
Montée en gamme	6	20
Conquête de marché	4	50

Figure 5.4 : Exemple de paramétrage d'un système de comparaison

Exploitation du système de comparaison

Cette fonction permet à l'utilisateur de réaliser les opérations suivantes :

- la visualisation de la fiche bilan des conséquences,
- la modification des caractéristiques des critères,
- l'archivage des informations,
- la visualisation et la description des poids des critères,
- la visualisation des résultats de la comparaison sous forme graphique ou numérique.

Visualisation des indicateurs de performance

Le système de visualisation des indicateurs de performance permet après la phase d'estimation et de comparaison :

- de connaître les résultats d'estimation,
- de visualiser les résultats de comparaisons antérieurs en termes de performance et d'écarts.

La figure suivante (cf. figure 5.5) illustre un exemple de tableau de bord d'estimation concernant les évolutions du coût sur le cycle de vie d'une solution. Les indicateurs sont choisis par les concepteurs des tableaux de bord.

L'histogramme représente les coûts relatifs aux scénarios d'innovations étudiés pour chaque période du cycle de vie. Les périodes sont : 1 : phase de conception, 2 : phase de fabrication, 3 : phase de commercialisation, 4 : phase d'utilisation et 5 : phase de recyclage.

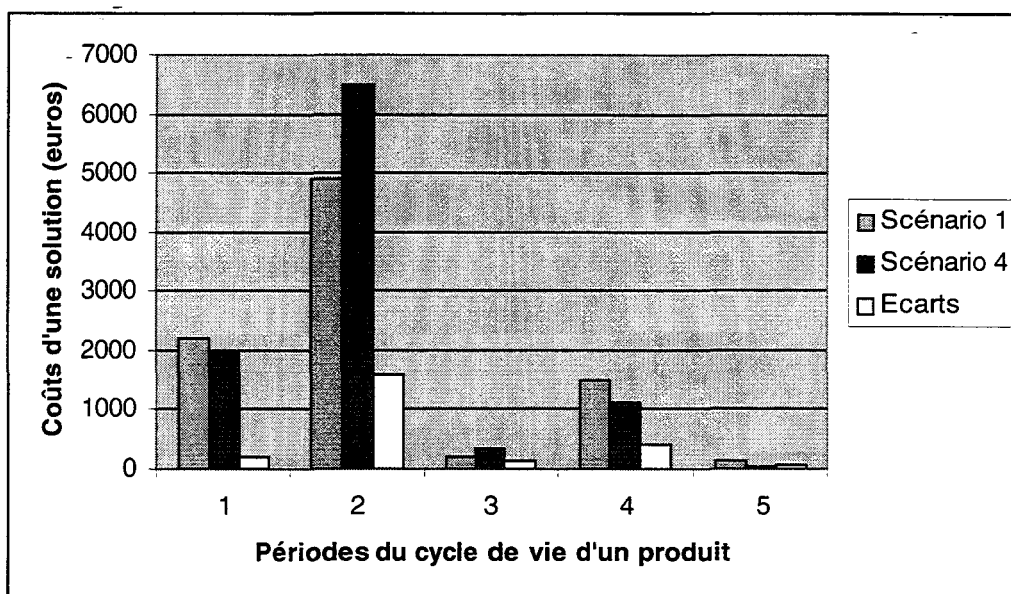


Figure 5.5 : Exemple de visualisation d'un tableau de bord d'estimation

Après avoir décrit la maquette, nous abordons dans le paragraphe suivant la présentation d'un exemple de l'utilisation conjointe des méthodes A.E.I.I. et E.E.M.E.

III. Mise en œuvre des méthodes A.E.I.I. et E.E.M.E.

III.1. Contexte de l'expérimentation

L'expérimentation a été réalisée au sein de la société Renault partenaire du projet METACOG [Tomala et al., 00a]. Cette société s'efforce d'être innovante sur tous les fronts (innovation stylistique, conceptuelle et technique) et notamment en matière de motorisations. Mais Renault veut se distinguer aussi par la qualité de sa relation avec la clientèle et celle de ses services.

Les services sont aussi des atouts de compétitivité, à l'avenir ils joueront un rôle de plus en plus crucial [Segarra et Sechi, 01].

III.2. Configuration de l'entreprise

Pour situer la société Renault dans une typologie des entreprises industrielles, nous reprenons les trois critères définis par l' A.F.G.I. (Association Française de Gestion Industrielle) [AFGI, 89]:

- *le mode de réponse au marché* : la société Renault met à la disposition de ses clients des produits principalement réalisés en série. Le client n'attend pas de l'entreprise un système spécifique mais espère découvrir dans les nouveaux produits proposés par la firme des éléments proches de ses besoins explicites ou implicites,
- *la nature de la ' valeur ajoutée '* : la valeur ajoutée représente ici ce que le client est prêt à acheter, au delà de la valeur des produits physiques. Les principales composantes de cette valeur retenues chez Renault sont les services associés aux véhicules mettant en évidence la maîtrise de plusieurs métiers,
- *la répétitivité de la production* : les produits sont réalisés en grande série et de technologies comparables.

III.3. Le projet METACOG

Ce projet, s'inscrivant dans le programme de recherche PROSPER du CNRS, a été mené dans le cadre d'un triple partenariat : la Direction de la Recherche de Renault, le LAMIH (Laboratoire d'Automatique, de Mécanique et d'Informatique Industrielles et Humaines) de l'Université de Valenciennes et le LRSGUN (Laboratoire de Recherche en Sciences de Gestion) de l'Université de Nantes.

L'objectif du projet METACOG était double :

- aboutir à une méthodologie de calcul du coût global (ou coût de cycle de vie) cohérente avec la valeur,
- construire un outil d'aide à la conception pour ce coût objectif global.

Plus précisément, la conception est associée à une évaluation multicritère des différentes solutions candidates (critères économiques, de fabrication, d'assemblage, fonctionnelles...) qui ne peut être obtenue qu'après avoir défini un cadre de référence commun aux diverses compétences mises en œuvre.

Trois contraintes bornent cette recherche : la méthodologie doit permettre d'intégrer les produits innovants, elle doit permettre de prendre en compte la valeur du produit et enfin la réflexion se situe dans le cadre de l'entreprise étendue.

La mise en œuvre de la méthodologie tend à répondre à certaines attentes de l'entreprise que nous décrivons ci-dessous.

III.4. Les attentes de l'entreprise

Les questions soulevées par le projet METACOG rejoignent les préoccupations de la direction des projets d'innovation de Renault. C'est pourquoi le projet METACOG s'est appliqué au projet véhicule Renault (Laguna II) sur lequel était intégrée l'innovation 'véhicule sans clé'.

Les préoccupations de Renault ont été formulées de la façon suivante : « lors de l'introduction d'innovations au niveau des produits et des processus, l'entreprise est confrontée à des questions difficiles :

- Sur quelle gamme de produit introduire cette innovation ?
- Sur quel modèle ou partie de processus ?
- Quels sont les risques techniques et économiques encourus ?
- Quelle est la borne limite de décision (flexibilité) ?
- Quels sont les coûts et bénéfices prévisibles pendant le cycle de vie du produit ? ».

Ces questions sont souvent récurrentes en fonction des événements du marché ou de la réglementation (un concurrent peut proposer cette innovation sur un nouveau modèle, ce qui peut relancer les questions à tout moment du cycle de développement).

Les résultats de ces travaux, menés conjointement par des spécialistes de la conception, de la production et du contrôle de gestion, doivent être exploitables tant par les ingénieurs que par le comptable, le responsable des ventes et l'utilisateur final du produit.

Les attentes, des différents services de l'entreprise concernant la mise en œuvre de la méthodologie d'évaluation, sont décrites dans le tableau de la figure 5.6.

Désignation des services	Les attentes identifiées dans l'entreprise
La direction	<ul style="list-style-type: none"> - Augmenter la compétitivité de l'entreprise par les innovations et améliorer la performance de l'entreprise dans le cadre de l'entreprise étendue - Connaître la rentabilité de l'entreprise d'un point de vue global
Le service commercial	<ul style="list-style-type: none"> - Estimer la valeur de l'innovation pour les clients potentiellement concernés, dès le début de la phase de conception
Le service comptable	<ul style="list-style-type: none"> - Estimer le coût de l'innovation sur l'ensemble du cycle de vie de l'innovation (coût global)
Le bureau d'études avant projet	<ul style="list-style-type: none"> - Associer à l'innovation des informations concernant les caractéristiques de performances physiques, économiques, de valeur (interne, externe)
Le bureau des méthodes	<ul style="list-style-type: none"> - Évaluer la solution la mieux adaptée en fonction des divers critères de performance, de la configuration de l'atelier ou des usines et de l'environnement externe de l'entreprise. Cela, à partir d'informations coût global/valeur globale - Associer à chaque phase de la réalisation de l'innovation des données physiques, économiques et de valeur - Améliorer le processus de réalisation du produit par la mise en œuvre de nouveaux moyens de réalisation - Permettre le choix des sous-traitants en fonction des contraintes logistiques
La production	<ul style="list-style-type: none"> - Améliorer la gestion de l'atelier ou des usines par l'optimisation des flux associés aux processus
La gestion de production	<ul style="list-style-type: none"> - Pouvoir évaluer la solution la mieux adaptée pour le lancement en fabrication d'une innovation dans l'entreprise tout en tenant compte des impacts physiques, économiques et de valeur sur les systèmes existants (produit, processus) et en cours de réalisation
Le service après-vente	<ul style="list-style-type: none"> - Estimer les coûts et la valeur des processus liés à l'utilisation d'un produit (en fonctionnement et en dysfonctionnement) et à son recyclage.

Figure 5.6 : Tableau de synthèse des attentes de l'entreprise

III.5. Démarche expérimentale

La démarche expérimentale qui a été mise en œuvre s'appuie sur le programme technique (plan et méthodologie) du projet METACOG (cf. figure 5.7).

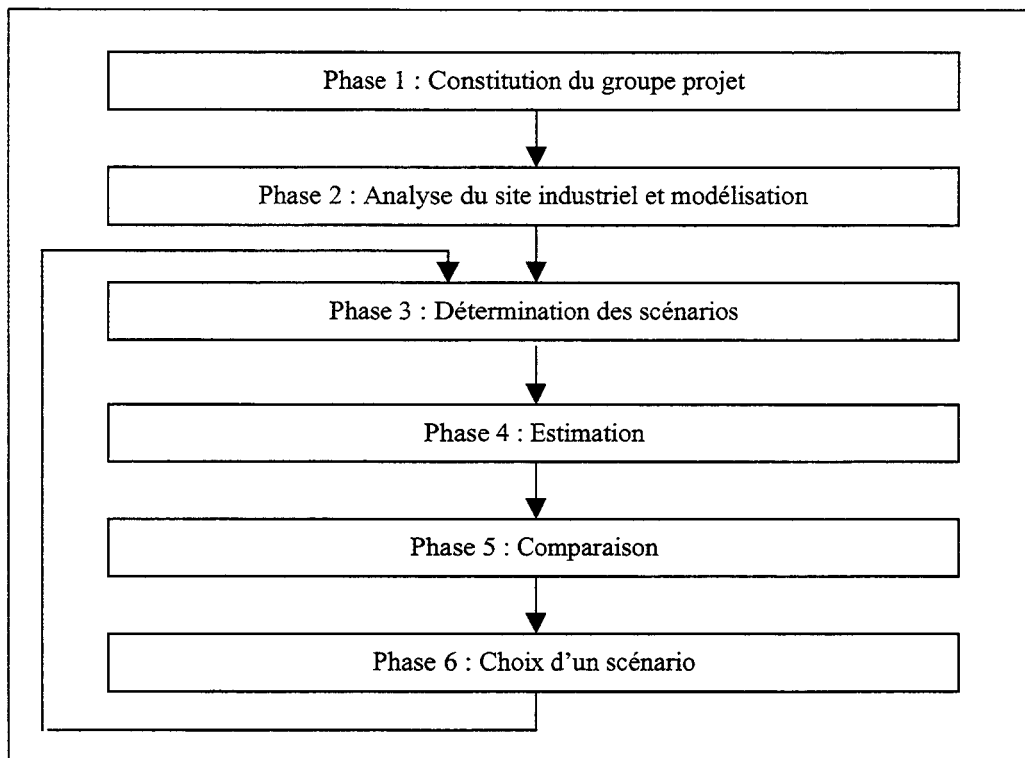


Figure 5.7 : Description de la démarche expérimentale

Les différentes phases sont les suivantes :

- Phase 1 : Constitution du groupe de projet (responsables des études, des méthodes,...),
- Phase 2 : Analyse du site industriel réel et la modélisation de ses processus et de ses ressources avec le groupe de projet,
- Phase 3 : Détermination des différents scénarios (modèle de référence) pour la réalisation de l'innovation et détermination des objectifs de l'entreprise et du groupe de projet,
- Phase 4 : Estimation des performances de chaque scénario modélisé,
- Phase 5 : Comparaison des différents scénarios par rapport aux critères sélectionnés et pondérés par le groupe de projet,
- Phase 6 : Choix d'un scénario répondant aux objectifs de l'entreprise et du groupe de projet.

III.6. Mise en œuvre

L'expérimentation a été réalisée sur le système 'véhicule sans clé' ('VsC') qui était une innovation Renault appliquée sur le véhicule remplaçant la Laguna. Cette innovation consiste en une carte électronique permettant de débloquer automatiquement la fermeture de la porte quand le conducteur s'approche. Les différents scénarios d'innovation sont précisés dans la suite du paragraphe.

Phase 0 - Organisation

Le contexte du projet permet de déployer une structure d'organisation simple et efficace. Celle-ci est constituée :

- d'un comité de pilotage assurant le management du projet. Ce comité est formé d'un représentant de haut niveau de chacune des organisations participantes,
- d'un groupe de travail permanent pluridisciplinaire réunissant l'ensemble des chercheurs et ingénieurs affectés au projet.

Phase 1 - Constitution d'un groupe projet

Le tableau suivant (cf. figure 5.8) indique les services de Renault ayant participé à l'élaboration des différentes fonctions de modélisation, d'implémentation et d'évaluation.

Fonctions du système d'évaluation	Services de l'entreprise
Modélisation des innovations	Groupe Projet Innovation, Direction Avant-projet, Pilote de l'innovation 'Voiture sans clef' et Groupe Projet
Modélisation du produit	Direction produit : recyclage, pollution environnementale,... Direction Avant Projet et Groupe Projet
Modélisation des processus	Bureau des études, Méthodes, Direction du Marketing, Direction après -vente : utilisation et recyclage et Groupe Projet
Modélisation des caractéristiques économiques	Direction des prix de revient, Direction générale des achats, Direction après -vente : coût d'utilisation, Direction du Marketing et Groupe Projet
Modélisation de la valeur	Direction de l'analyse de la valeur du produit, Groupe 'qualité et sûreté de fonctionnement', Groupe Prestations client (prestations fonctionnelles) et Groupe Projet
Implémentation des caractéristiques économiques	Groupe du pilotage et du suivi économique des projets
Définition et valuation des caractéristiques physiques du produit et des processus	Bureau des études, Méthodes et Groupe Projet
Données pour simulation	Groupe Projet Innovation
Estimation	Groupe Projet Innovation
Evaluation	Groupe Projet et les différents services de l'entreprise
Visualisation des indicateurs d'estimation	L'ensemble des services de l'entreprise
Modification du modèle d'estimation	Groupe Projet et les différents services de l'entreprise

Figure 5.8 : Présentation des services impliqués

Phase 2 - La modélisation

Cette phase doit conduire à modéliser le produit (Laguna), les processus liés au produit et l'innovation.

Les différents modèles ont été construits de la manière suivante :

- Modèle produit

Nous avons exploité les informations fournies par les concepteurs du produit pour la définition :

- des constituants techniques du produit (ex : portière, volant),
- des fonctions du produit (ex : fermeture porte, démarrage moteur),
- des caractéristiques techniques du produit (ex : forme de la clé, dimensions des roues),
- des éléments de valeur du produit (ex : confort, esthétique).

- **Modèle des processus**

Les informations de l'entreprise permettant de construire le modèle des processus liés au produit sont :

- le système d'information de l'entreprise, décrivant les processus liés au produit,
- les résultats des interviews menés sur le terrain.

- **Modèle des innovations**

Les informations disponibles concernant les innovations dans l'entreprise n'ont pas permis de construire les modèles des innovations suivant tous les niveaux prévus par la méthode. Il a été toutefois possible de vérifier, à l'aide d'interviews et de questionnaires menés sur le terrain, la correspondance entre les caractéristiques proposées dans nos modèles et celles issues des enquêtes de terrain. Nous avons ainsi pu confirmer, notamment pour les caractéristiques générales, l'intérêt d'utiliser les caractéristiques suivantes : la nature de l'innovation, le degré d'innovation, pour les éléments de valeurs : le confort, la sécurité, la performance, la fiabilité.

Phase 3 - Les différents scénarios d'innovation

Les différents scénarios concernant l'innovation 'véhicule sans clé' qui ont été étudiés par les concepteurs sont les suivants (une description détaillée est donnée en annexe 5.1):

- *Scénario 1 : Scénario de référence* : pas d'innovation sur le véhicule.
- *Scénario 2* : innovation permettant la mémorisation d'informations concernant plusieurs systèmes techniques du véhicule (position des sièges, du rétroviseur,...).
- *Scénario 3* : Scénario avec innovation 'véhicule sans clé' : une carte remplace la clé, utilisation manuelle.
- *Scénario 4* : Scénario 'accès mains libres' ('véhicule sans clé') : une carte remplace la clé, utilisation semi-automatique (une partie en manuel et une autre en automatique).
- *Scénario 5* : Scénario 'badge mains libres' ou interactif : ('véhicule sans clé') : une carte remplace la clé, utilisation automatique.

Le tableau (cf. figure 5.9) suivant présente une synthèse des scénarios par rapport à l'ensemble des fonctions du véhicule concernées par les différents scénarios.

Fonctions	Scénarios				
	S1	S2	S3	S4	S5
Déverrouillage portes	Manuel avec clé	Manuel avec clé	Manuel par carte et bouton	Semi-automatique : utilisateur et poignée	Semi-automatique : utilisateur et poignée
Blocage et lecture de la carte			Manuel par carte et lecteur	Manuel par carte et lecteur	Automatique
Authentification utilisateur		Manuelle par code	Manuelle par code et carte	Reconnaissance automatique	Reconnaissance automatique
Déblocage de la colonne de direction	Manuel (mécanique)	Manuel (mécanique)	Manuel par code et carte (électrique)	Manuel par carte et lecteur (électrique)	Automatique
Démarrage du moteur	Manuel clé et neman	Manuel clé et neman	Manuel par commutateur	Manuel par bouton poussoir	Semi-automatique : utilisateur et bouton poussoir
Mémorisation et mise à jour des informations		Automatique	Automatique	Automatique	Automatique
Arrêt du moteur	Manuel clé et neman	Manuel clé et neman	Manuel par commutateur	Manuel par bouton poussoir	Manuel par bouton poussoir
Déblocage de la carte			Manuel par commutateur	Manuel par bouton poussoir	
Blocage de la direction	Manuel (mécanique)	Manuel (mécanique)	Manuel par carte	Manuel par carte	Automatique
Verrouillage du véhicule	Manuel avec clé	Manuel avec clé	Manuel par carte et bouton	Automatique	Automatique

Figure 5.9 : Synthèse des scénarios

Phase 4 - Estimation

L'étude des différents scénarios de l'innovation 'véhicule sans clé' de Renault [PROSPER, 99], à l'aide de la méthode AEII, a débuté alors que l'intégration de l'innovation était terminée. L'étude a donc été réalisée à partir d'informations techniques et non d'informations fonctionnelles sur l'innovation. La figure suivante (cf. figure 5.10) représente une partie des résultats et des estimations obtenus lors de cette étude avec la méthode A.E.I.I..

Utilisation de la méthode A.E.I.I.

Scénarios d'innovation	Événements initiaux	Processus	Ressources	Poids	Type	Confiance	Événements induits
carte = carte de crédits	suppression de la clé	modification plan concernant la clé	Groupe développement commande électrique, Groupe développement portes	25	13	75%	Suppression de la serrure et du Neman
		modification de la fabrication de la porte	Fabrication portes	30	14	75%	
		utilisation différente du produit et suppression des problèmes liés à la clé (perte)	Client	80	3	80%	
		utilisation différente pour le garagiste	Garagiste	55	16	80%	
	remplacement de la clé par la carte	création des plans de la carte	Fournisseur carte+ Groupe développement commande électrique	15	13	75%	
		fabrication de la carte	Fournisseur de la carte + Groupe développement du produit, le groupe développement du design	20	14	75%	
		utilisation du nouveau produit (proche de la carte de crédit)	Client	80	3	80%	
		recycler la carte	Recycleur	15	17	80%	

Figure 5.10 : Extrait de la fiche d'impacts du 'VsC'

Cette fiche permet d'avoir une vision globale des effets (et de leur quantification) de l'introduction de l'innovation 'VsC' sur la Laguna.

A partir de ce tableau, nous constatons notamment les informations importantes suivantes :

- la carte supprime la clé permettant d'ouvrir les portes et de démarrer le moteur,
- il sera nécessaire par la suite d'étudier en tant qu'événement la suppression du système d'antivol (neman) ainsi que celle de la serrure,
- la suppression de la clé entraîne des modifications de processus pour Renault, pour les fournisseurs, pour le client, pour le garagiste et pour le recycleur,
- une des conséquences de la suppression de la clé est d'importance 25 (sur une échelle de 0 à 100) pour le type 13 (coût de conception) estimée par expertise avec une confiance à 75%,...

Utilisation de la méthode E.E.M.E.

L'acquisition des informations nécessaires à une modélisation complète du produit et des processus n'ayant pu être réalisée, la simulation n'a pu être utilisée pour la globalité de cette application. Néanmoins, à partir des données dont nous disposons, nous avons

pu simuler et ainsi montrer une partie des impacts (sur le produit et les processus) de plusieurs événements, comme par exemple les impacts de la suppression de la clé de contact présenté ci-dessous par la figure 5.11.

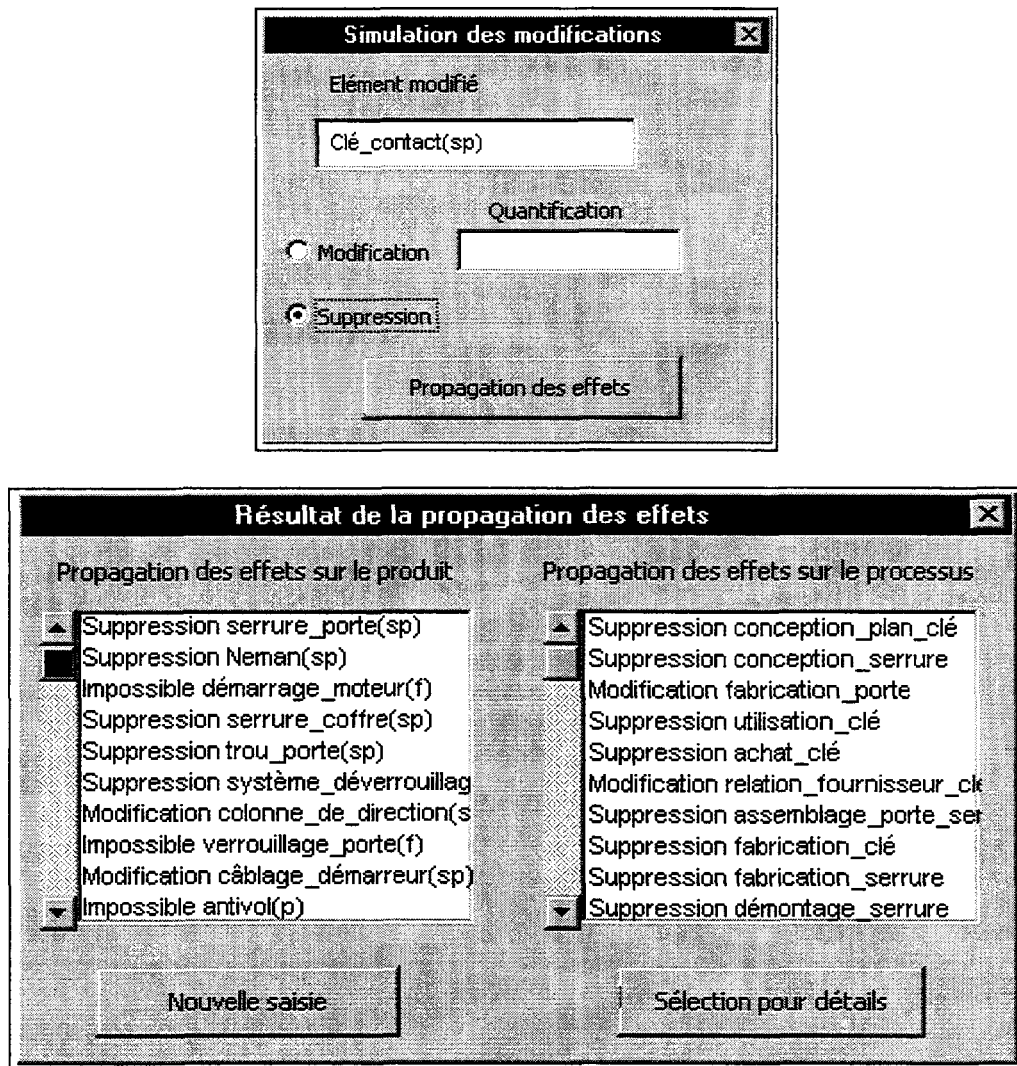


Figure 5.11 : Interfaces de saisie et de résultats de la propagation des effets

Phases 5 et 6 - Comparaison des scénarios et choix d'une solution

La phase suivante est la comparaison des scénarios. Elle est effectuée à l'aide des informations fournies par les experts et des informations établies par l'outil d'aide à l'estimation. Elles sont présentées sur la figure 5.12, qui montre la fiche bilan des conséquences utilisée ici pour la comparaison des différents scénarios étudiés.

Le premier tableau indique les types de conséquence (ou critères) pris en considération pour la comparaison. Cette fiche rappelle l'ensemble des informations importantes et nécessaires pour la décision (l'importance et la confiance de chaque critère ainsi que le score du scénario étudié (cf. chapitre 3 : paragraphe 'Comparaison des solutions')).

Le deuxième tableau (appelé 'fiche résumé') indique la valeur du score de chaque scénario ainsi que des informations statistiques telles que l'importance moyenne des conséquences et la confiance moyenne des estimations. Ceci permet alors la comparaison entre les différents scénarios.

Types de conséquence	Coût de conception	Coût de fabrication	Satisfaction client	Savoir faire	Création d'emploi
Importance des types de conséquence	-60	-60	75	60	25
Importance de la conséquence	20	25	35	10	15
Confiance de l'estimation	60%	75%	70%	60%	55%
Score par type de conséquence	-720	-1125	1837,5	360	206,25
Score du scénario	558,75				

Ensemble des scénarios concernant le problème 'VSC'			
	Score du scénario	Importance moyenne des conséquences ou poids (ICM)	Confiance moyenne d'une estimation (CM)
Scénario 1	489,95	7	95%
Scénario 2	558,75	12	70%
Scénario 3	656	29	65%
Scénario 4	750,25	35	50%
Scénario 5	505,3	37	40%

Figure 5.12 : Fiche bilan des conséquences

Le choix d'un scénario peut alors être effectué à l'aide des tableaux figure 5.12. Les informations présentes dans ces tableaux permettent de prendre une décision de niveau 1 (décision basée sur l'information du score uniquement) ou de niveau 2 (décision basée sur plusieurs informations telles que la confiance, le poids).

Le choix d'un scénario est réalisé en fonction du caractère et / ou de la stratégie du décideur, si il est audacieux il privilégiera l'enjeu par contre si il est prudent il privilégiera la sécurité c'est-à-dire le non risque. La fiche 'résumé' montre ces deux aspects : le scénario 4 était le plus intéressant (score : 750,25) mais plus risqué (importance moyenne : 35 et confiance des estimations : 50%), par contre le scénario 1 présente un risque très faible (confiance moyenne des estimations : 95%) mais également un enjeu très faible (score : 489,95 et ICM : 7).

Le scénario qui a été finalement retenu est le scénario 3 pour les raisons suivantes :

- son score est le deuxième après le scénario 4,
- les conséquences présentent un enjeu intéressant,
- les estimations concernant ce scénario sont globalement satisfaisantes (65%).

Ce scénario 3 présente un juste compromis entre l'enjeu et le risque. L'entreprise prend un risque moyen avec ce scénario.

Dans le paragraphe suivant nous présentons la deuxième étude réalisée sur l'utilisation de la méthode E.E.M.C.I..

IV. Mise en œuvre de la méthode E.E.M.C.I.

IV.1. Présentation de l'étude

Objectif

L'objectif était de réaliser une aide à la conception innovante en utilisant des modèles paramétriques précisant les relations entre les caractéristiques d'un véhicule (fonctionnelles et techniques) et le coût ainsi que la valeur.

A partir des différents scénarios d'innovation définis en conception (descriptions faites à l'aide des caractéristiques fonctionnelles et techniques d'un véhicule) et à partir des modèles paramétriques réalisés il est possible d'effectuer des simulations permettant l'estimation des conséquences en termes de coût et de valeur pour chaque scénario. Ceci rendant finalement possible l'identification du meilleur scénario d'innovation selon les critères de coût et de valeur. Dans une première phase les estimations sont effectuées à partir de modèles de coût d'une part et de valeur d'autre part indépendamment. Ensuite dans une seconde phase nous proposons une méthode permettant d'identifier le scénario d'innovation idéal en fonction du meilleur rapport valeur / coût.

Les modèles paramétriques montrent l'influence des caractéristiques fonctionnelles et techniques d'une voiture [Tomala et al., 01a] sur :

- la satisfaction client : un classement des caractéristiques fonctionnelles et techniques par préférence a été réalisé à l'aide d'un questionnaire effectué auprès d'une trentaine de personnes. Nous traduisons cette satisfaction par le Rang de Préférence : RDP,
- le Prix de Revient au Kilomètre (PRK) : réalisé à partir d'un dossier technique (DT) regroupant un ensemble de données sur 400 véhicules [Le moniteur automobile, 99]. Chaque fiche véhicule fournit : le classement du véhicule au sein de sa catégorie, le prix, les avantages et les inconvénients, les caractéristiques techniques et fonctionnelles, ainsi que le prix de revient au kilomètre. Le calcul du prix de revient utilisé permet de situer les coûts de fonctionnement d'un véhicule par rapport aux autres.

Les modèles paramétriques obtenus, après une étude statistique (que nous présentons au paragraphe suivant), permettent d'obtenir des estimations sur le coût et la valeur en conception plus tôt qu'avec les modèles analytiques classiques. En effet, l'estimation peut être réalisée dès la connaissance des valeurs des paramètres, qui peuvent être obtenus en début de conception. De plus, le nombre de données nécessaires étant plus faible qu'avec les modèles analytiques, l'analyse s'effectue plus rapidement. La performance d'une innovation peut alors être évaluée a priori.

L'étude statistique

L'étude statistique a été effectuée à l'aide de la méthode des plans d'expériences de Taguchi permettant notamment de modéliser un système et surtout d'utiliser comme indicateurs de performance les ratios signal / bruit [Alexis, 95], [Droesbeke et al., 97], [Vigier, 88] (un exemple d'utilisation des plans d'expériences est présenté en annexe 5.2).

Nous utilisons la méthode Taguchi en exploitant des informations issues du dossier technique DT pour les ratios signal / bruit et pour établir les modèles mathématiques montrant :

- les influences des caractéristiques fonctionnelles sur le prix de revient au kilomètre (PRK),
- les influences des caractéristiques fonctionnelles sur le rang de préférence (RDP),
- les influences des caractéristiques techniques sur des caractéristiques fonctionnelles,
- les influences des caractéristiques fonctionnelles sur le coût de maintenance d'un véhicule,
- les influences de chaque caractéristique fonctionnelle prise individuellement sur le PRK,
- les influences de chaque caractéristique fonctionnelle prise individuellement sur le RDP.

Note : les trois premiers modèles sont suffisamment représentatifs pour illustrer nos résultats et sont par conséquent les seuls à être présentés dans ce mémoire.

Les données de l'étude

Les informations concernant les véhicules que nous avons pu retenir pour l'étude sont :

A- Quatre caractéristiques fonctionnelles :

- la vitesse maximale (exprimée en km.h^{-1}),
- le nombre d'options N du véhicule ($0 \leq N \leq 5$),
- l'autonomie (exprimée en km) : nombre de kilomètres que la voiture peut parcourir avec un réservoir rempli,
- le nombre de volumes que possède le véhicule : 3 volumes (4 portes et un coffre), 2 volumes (3 ou 5 portes avec un hayon), 1 volume (monospace).

B- Trois caractéristiques techniques :

- le type de motorisation (Diesel ou essence),
- la puissance (exprimée en chevaux),
- le poids (exprimée en kg).

Pour chacune des caractéristiques nous avons défini trois niveaux de valeurs possibles (que nous avons jugé adaptés à notre étude). Le tableau ci-dessous (figure 5.13) représente les valeurs retenues pour les éléments de valeurs (caractéristiques fonctionnelles).

	A : Vitesse max	B : Nombre d'options	C: Autonomie	D : Nombre de volumes
Niveau 1	- de 175 km/h	- de 3	- de 550 km	3 volumes
Niveau 2	De 175 à 190 km/h	De 3 à 5	De 550 à 650 km	2 volumes
Niveau 3	+ de 190 km/h	+ de 5	+ de 650 km	1 volume

Figure 5.13 : Éléments de valeurs

Le tableau suivant (figure 5.14) représente les valeurs retenues pour les caractéristiques techniques.

	Puissance (ch)	Poids (kg)	Energie
Niveau 1	moins de 110	moins de 1150	Diesel
Niveau 2	de 110 à 130	de 1150 à 1250	Essence
Niveau 3	plus de 130	plus de 1250	

Figure 5.14 : Caractéristiques techniques

La formule du prix de revient au kilomètre donnée par la revue automobile est la suivante :

$$PRK = \frac{E \times C}{100} + \frac{(PPE + MOPE) \times NbrePE + (PGE + MOGE) \times NbreGE}{K} + \frac{A - Z}{K} + \frac{U \times (G + X + Y)}{K} + \frac{I \times U}{K} + \frac{PPn \times NbrePn}{K} + \frac{L}{1000}$$

Avec :

Abréviations	Définitions	Unités
E	prix d'un litre de carburant ; super sans plomb 95 : 0,95 Euro ; gazole : 0,64 Euro.	Euro
C	consommation de carburant en litres, en fonction des valeurs officiellement homologuées : la valeur du cycle mixte de la nouvelle norme ou la moyenne des valeurs de l'ancienne norme avec un coefficient 2 pour le cycle urbain.	Litres
PPE	coût des fournitures d'un petit entretien	Euro
MOPE	coût de la main d'œuvre d'un petit entretien	Euro
NbrePE	nombre de petits entretiens effectués	Sans unité
PGE	coût des fournitures d'un grand entretien	Euro
MOGE	coût de la main d'œuvre d'un grand entretien	Euro
NbreGE	nombre de grands entretiens effectués	Sans unité
K	kilométrage effectué	Kilomètres
A	prix d'un véhicule au premier janvier 1998 et frais d'immatriculation	Euro
Z	prix de vente du véhicule évalué	Euro
U	durée d'utilisation du véhicule en année	Année
G	prix annuel du garage	Euro
X	prime annuelle du montant de l'assurance	Euro
Y	prix de la vignette	Euro
I	intérêts (cumulatifs) produits par la somme représentant le prix d'achat du véhicule, placée à 3% par an.	Euro
PPn	coût d'un train de pneumatiques achetés (4)	Euro
NbrePn	nombre de trains de pneumatiques achetés	Sans unité
L	prix d'un lavage : 7,5 Euros.	Euro

Figure 5.15 : Définitions des abréviations utilisées dans la formule du PRK

IV.2. Résultats de l'étude

Le prix de revient au kilomètre (PRK)

Afin d'établir un modèle représentant le PRK en fonction des caractéristiques fonctionnelles présentées plus haut et de définir les interactions entre ces caractéristiques pour chaque niveau, il est nécessaire de réaliser plusieurs essais. En utilisant la méthode des plans d'expériences classique, toutes les combinaisons possibles des niveaux des 4 caractéristiques sont étudiées. Or, un plan complet avec 4 caractéristiques à 3 niveaux requiert 81 essais. Les plans d'expériences complets sont théoriquement parfaits, mais les calculs deviennent prohibitifs lorsque l'on dépasse 3, 4 caractéristiques ou 4, 5 niveaux.

La méthode Taguchi permet de limiter le nombre d'essais en utilisant des plans d'expériences standards. Le plan permettant de travailler avec 4 caractéristiques à 3 niveaux est le plan L9 qui ne comprend que 9 essais sélectionnés parmi les 81 du plan précédent. En outre, la méthode Taguchi utilise comme indicateurs de performance, les ratios signal / bruit qui prennent simultanément en compte :

- la valeur désirable (le signal) à atteindre,
- la variabilité indésirable de cette valeur (le bruit).

L'utilisation de cet indicateur de performance, définit un taux de confiance dans les résultats et permet de trouver la combinaison des niveaux des caractéristiques contrôlées (sur lesquels on peut agir) moins sensibles aux caractéristiques bruits (impossibles ou coûteux à contrôler).

Le ratio signal / bruit est une mesure synthétique de la performance du modèle. Il prend simultanément en compte la moyenne (MOY) et la dispersion (ET). Le ratio signal / bruit dans le cas d'un critère à minimiser est obtenu avec la formule suivante :

$$S/N = -10 \log(ET^2 + MOY^2)$$

Après avoir calculé les moyennes, écart types et ratios signal / bruit pour chaque série d'essai, nous recherchons les effets moyens de chaque niveau de caractéristique qui s'apprécient par rapport à la moyenne générale de l'ensemble des essais. Ceci est effectué pour le PRK et pour le ratio signal / bruit. L'ensemble des résultats se trouve dans le tableau suivant (figure 5.16).

Effets sur S/N (dB)			Caractéristiques	Effets sur la valeur mesurée		
Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3		Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
1,42	0,78	-2,2	A	-0,08	-0,06	0,14
0,41	0,52	-0,93	B	-0,04	-0,03	0,07
0,85	-0,35	-0,49	C	-0,05	0,03	0,02
0,28	1,37	-1,65	D	-0,01	-0,09	0,10

Figure 5.16 : Résultats des effets

Ces résultats s'interprètent de la manière suivante, pour la caractéristique A (vitesse maximale) par exemple :

- la valeur - 0,08 (effets sur la valeur mesurée / niveau 1) signifie que pour une voiture possédant une vitesse maximale inférieure à 175 km/ h, le PRK aura tendance à diminuer de 0,08 euro, par rapport à la moyenne de tous les véhicules pris en compte,
- plus la valeur algébrique du ratio S/N (dB) est élevée, plus la perte engendrée est faible, donc meilleure est la performance du modèle (effets sur le ratio S/N auquel on peut accorder une grande confiance). Pour la caractéristique A, la performance est la plus élevée au niveau 1 avec une valeur de 1,42.

Finalement, à l'aide du tableau précédent, nous pouvons déduire la configuration théorique permettant d'obtenir les meilleures performances (figure 5.17):

Caractéristiques	Niveaux	Effets sur S/N	Effets sur PRK
A	1	1,42	-0,08
B	2	0,52	-0,03
C	1	0,85	-0,05
D	2	1,37	-0,09

Figure 5.17 : Meilleure configuration du modèle

Nous pouvons constater pour la caractéristique B que le niveau 1 fait baisser le PRK de 0,04 euro alors que le niveau 2 permet une réduction de 0,03 euro. La raison de ce choix est que la valeur du ratio signal / bruit est plus importante pour le niveau 2.

Le véhicule qui possède le PRK le plus faible est celui dont la vitesse maximum est inférieure à 175 km/h, un nombre d'options compris entre 3 et 5, une autonomie inférieure à 550 km et un nombre de volumes égal à 2.

D'une manière générale, le modèle représentant l'effet de chaque niveau par rapport à la moyenne générale (0,56) de l'ensemble des résultats se présente comme suit (cf. figure 5.18) (PRK en euros) :

$$PRK = 0,56 + \begin{bmatrix} -0,08 \\ -0,06 \\ +0,14 \end{bmatrix} [A] + \begin{bmatrix} -0,04 \\ -0,03 \\ +0,07 \end{bmatrix} [B] + \begin{bmatrix} -0,05 \\ +0,03 \\ +0,02 \end{bmatrix} [C] + \begin{bmatrix} -0,01 \\ -0,09 \\ +0,10 \end{bmatrix} [D]$$

Figure 5.18 : Modèles de Prix de Revient au Kilomètre /Caractéristiques fonctionnelles

$$\text{Avec } [A] = \begin{bmatrix} -175 \\ 175 \text{ à } 190 \\ +190 \end{bmatrix}, [B] = \begin{bmatrix} -3 \\ 3 \text{ à } 5 \\ +5 \end{bmatrix}, [C] = \begin{bmatrix} -550 \\ 550 \text{ à } 650 \\ +650 \end{bmatrix}, [D] = \begin{bmatrix} 3 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix}$$

On remarque sur le modèle (figure 5.18) que :

- la vitesse (A) a l'influence la plus importante sur le PRK (environ de 14 à 40 % par rapport à la moyenne générale : 0,56),
- un grand nombre d'options (B3) et une grande autonomie (C2, C3) font augmenter le PRK (environ 15%),
- en ce qui concerne le nombre de volumes, le niveau 2 étant le niveau des «petites» voitures, fait diminuer le PRK, ce qui n'est le cas des monospaces qui sont en général très chers à l'achat.

Grâce à ce modèle, il est possible d'établir une estimation du PRK d'un véhicule en connaissant la valeur de sa vitesse maximale, de son nombre d'options, de son autonomie et de son nombre de volumes.

On a par exemple pour le scénario d'innovation suivant : Vitesse maximale : 170 km/h (niveau 1), Nombre d'options : 4 (niveau 2), Autonomie : 600 km (niveau 2), Nombre de volumes : 2 (niveau 2) :

La valeur du PRK pour ce scénario est : $0,56 - 0,08 - 0,03 + 0,03 - 0,09 = 0,39$ euro.

Rang de préférence (RDP)

Nous avons réalisé un test auprès de trente personnes possédant un véhicule (toutes catégories confondues) afin de pouvoir associer une valeur aux différentes combinaisons des modalités des 4 caractéristiques fonctionnelles. Pour cela, nous avons demandé de classer par ordre de préférence les 4 paramètres, puis leurs 3 niveaux. Le tableau suivant montre un exemple de résultat obtenu (cf. figure 5.19).

Rang de préférence des facteurs			
C	B	D	A
3	3	3	1
2	2	1	2
1	1	2	3

Rang de préférence des niveaux pour chaque paramètre

Figure 5.19 : Exemple de résultats du test

A partir de ce tableau, nous construisons un plan d'expériences par rang. A l'aide de ce plan, un modèle (cf. figure 5.20) a été calculé fournissant un rang de préférence en fonction des quatre paramètres : A, B, C, D).

$$\text{RdP} = 40,96 + \begin{bmatrix} + 8,15 \\ - 5,15 \\ - 3,00 \end{bmatrix} [A] + \begin{bmatrix} + 18,05 \\ - 3,56 \\ - 14,59 \end{bmatrix} [B] + \begin{bmatrix} + 19,89 \\ - 6,81 \\ - 13,07 \end{bmatrix} [C] + \begin{bmatrix} - 12,41 \\ - 0,52 \\ + 12,93 \end{bmatrix} [D]$$

Figure 5.20 : Modèles de Rang de préférence /Caractéristiques fonctionnelles

On peut remarquer sur le modèle que les consommateurs ont une préférence pour les voitures à un volume et celles possédant une vitesse inférieure à 175 km/h. Un grand nombre d'options ainsi qu'une grande autonomie font diminuer le RDP de manière importante, environ 30 à 35% par rapport à la moyenne (40,96). Cette particularité peut s'expliquer par le fait que les personnes interrogées établissent implicitement des relations entre les options, l'autonomie, la catégorie du véhicule et le coût. Pour vérifier cette hypothèse il serait nécessaire d'établir un plan d'expérience complet incluant les interactions entre les paramètres.

Caractéristiques techniques

Dans cette partie, nous présentons l'influence des caractéristiques techniques sur le PRK et le RDP, en exprimant les caractéristiques fonctionnelles à l'aide de ces caractéristiques techniques. Cette étude a été réalisée à l'aide de la méthode statistique de Taguchi en partant des données d'entrée (puissance, poids, énergie) et des données de sortie (vitesse maximale et autonomie). L'intérêt du modèle est que les concepteurs puissent estimer l'effet d'une action et décider rapidement sans devoir établir un modèle physique complet (surtout dans le cas où les interactions sont non linéaires et fortes, voir synthèse entre approche analytique et approche systémique [Rosnay, 75]).

Toutefois, le nombre de caractéristiques fournies par la revue étant limité, il n'a été possible d'exprimer que la vitesse et l'autonomie à partir de la puissance, le poids et l'énergie (diesel ou essence) du véhicule. Ceci a donné les modèles suivants (figure 5.21, 5.22) :

$$\text{Vitesse} = 193,98 + \begin{bmatrix} - 22,17 \\ - 1,59 \\ + 23,76 \end{bmatrix} [\text{Puissance}] + \begin{bmatrix} - 4,51 \\ + 0,68 \\ - 3,83 \end{bmatrix} [\text{Poids}]$$

Figure 5.21 : Modèle de Vitesse /Caractéristiques techniques

$$\text{autonomie} = 632,51 + \begin{bmatrix} - 6,23 \\ + 27,42 \\ - 21,19 \end{bmatrix} [\text{Puissance}] + \begin{bmatrix} - 61,56 \\ + 26,12 \\ + 35,44 \end{bmatrix} [\text{Poids}] + \begin{bmatrix} + 108,21 \\ - 108,21 \end{bmatrix} [\text{Energie}]$$

Figure 5.22 : Modèle d'Autonomie /Caractéristiques techniques

En ce qui concerne la vitesse, nous pouvons constater avec le modèle que la puissance a la plus grande influence. En effet, selon le niveau de puissance choisi, la vitesse passe de 171,81 km/h à 217,74 km/h, c'est à dire que la vitesse peut varier jusqu'à 23% par rapport à la moyenne (193,98).

Concernant l'autonomie, nous pouvons remarquer avec le modèle que le type d'énergie a la plus grande influence (jusqu'à 35 %). En effet, selon le type d'énergie l'autonomie varie de 524,3 km à 740,72 km.

Un véhicule de faible puissance, d'un poids faible et équipé d'un moteur essence aura d'après le modèle une faible autonomie. En effet, ce véhicule fait partie vraisemblablement de la catégorie des « petits véhicules », de petites tailles (longueur inférieure à quatre mètres) et par conséquent de faibles poids et possèdent un réservoir de faible capacité ne permettant pas de parcourir de longues distances. Par ailleurs, un moteur essence consomme plus qu'un moteur diesel.

IV.3. Exploitation des résultats de la deuxième étude

Pour fournir aux concepteurs les moyens de déterminer les caractéristiques fonctionnelles et caractéristiques techniques d'un véhicule qui répondent le mieux aux attentes des clients tout en réduisant le prix au kilomètre (PRK), il est nécessaire d'évaluer le rapport entre la valeur et le coût, soit, dans le cas présent, le rapport entre le RDP et le PRK.

Le choix des caractéristiques fonctionnelles doit être effectué en fonction des niveaux qui présentent un rapport (valeur / coût) le plus élevé. L'idéal correspond aux niveaux dont les coefficients du modèle du PRK sont négatifs et ceux du modèle RDP positifs, c'est à dire qui entraînent simultanément une diminution du prix de revient au kilomètre et une augmentation du rang de préférence. L'influence des coefficients doit être mesurée par rapport à la moyenne de chaque modèle, c'est à dire pour le PRK à 0,56 et pour le RDP à 40,96.

Conformément aux propos précédents et dans le but de choisir le meilleur niveau pour chaque caractéristique nous proposons le calcul suivant :

$$R_{xy} = \left(\frac{MRDP + V_{xy}RDP}{MPRK + V_{xy}PRK} \right) - RM$$

Avec :

- Moyenne RDP : MRDP,
- Moyenne PRK : MPRK,
- Rapport des Moyennes : $RM = MRDP / MPRK$,
- Valeur de la caractéristique x de niveau y pour le RDP : $V_{xy}RDP$,
- Valeur de la caractéristique x de niveau y pour le PRK : $V_{xy}PRK$,
- Résultat du rapport RDP/ PRK de la Caractéristique x de niveau y : R_{xy} .

Pour la caractéristique A au niveau 1 par exemple, on obtient $R_{11} = 29,67$ (correspond au résultat de la colonne 1 : caractéristique A et de la ligne 1 : niveau 1 , du tableau suivant (figure 5.23)).

Le Rapport des Moyennes n'est utilisé que pour situer le résultat par rapport à 0 (référence : rapport RDP/ PRK sans les valeurs des caractéristiques).

Le tableau suivant (figure 5.23) montre les résultats obtenus après calcul permettant de sélectionner les niveaux optimaux des caractéristiques (valeur en gras et surlignées) d'un point de vue d'un rapport coût et valeur. Le calcul ne prend pas en compte les interactions entre les caractéristiques. Le choix d'un niveau de caractéristique est réalisé en comparant le résultat des trois niveaux pour une même caractéristique et en sélectionnant la valeur la plus haute.

	Moyenne	Valeurs des coefficients			
RDP	40,96	8,15	18,05	19,89	-12,81
		-5,15	-3,56	-6,81	-0,52
		-3	-14,59	-13,07	12,93
PRK	0,56	-0,08	-0,04	-0,05	-0,01
		-0,06	-0,03	0,03	-0,09
		0,14	0,07	0,02	0,10
Résultats des calculs du rapport RDP/ PRK					
RDP / PRK	73,14	29,67	39,60	45,53	-22,18
		-1,38	-2,71	-15,01	12,61
		-19,17	-30,99	-25,04	9,00

Figure 5.23 : Résultat des rapports RDP/ PRK pour chaque caractéristique et pour chaque niveau

A partir de ce tableau, il est facile de déterminer les rapports (valeur / coût) élevés, qui permettront aux concepteurs, lors de la conception de véhicules automobiles, de qualifier ces caractéristiques de « réalisables » et pourront être retenus par les décideurs.

De la même manière, il est facile de déterminer les rapports (valeur / coût) faibles. Ce qui a pour avantage de présenter aux concepteurs les voies de conception qui ne sont pas intéressantes à développer.

En intégrant les modèles des caractéristiques techniques (puissance, poids et énergie) dans les modèles du PRK et du RDP, il est envisageable de déterminer les niveaux optimaux des caractéristiques techniques permettant de concevoir des automobiles possédant des rapports valeur / coût élevés.

L'étude effectuée permet de conclure que les véhicules qui répondent le mieux aux attentes des clients tout en réduisant le prix de revient au kilomètre sont les véhicules présentant :

- une vitesse maximum inférieure à 175 km/ h,
- un nombre d'options inférieur à 3,
- une autonomie inférieure à 550 km,
- un nombre de volume égal à 2.

Un scénario d'innovation s'inscrivant dans ce contexte aura probablement le plus de chance d'avoir du succès sur le marché.

Par contre un véhicule possédant par exemple une vitesse maximum de plus de 190 km/ h et un volume, présente un mauvais rapport valeur/ coût pour l'utilisateur et donc pas intéressant pour le constructeur.

Cette étude est un premier pas vers la recherche des meilleurs leviers d'action pour optimiser le couple coût- satisfaction client et donc l'optimisation de la valeur client. La prochaine étape de notre démarche consistera à recueillir des informations plus nombreuses et plus précises sur la satisfaction client et sur les coûts afin d'augmenter la qualité des modèles et leur intérêt pour les concepteurs.

V. Analyse des résultats de l'ensemble des deux études

V.1. Apport pour l'évaluation

L'utilisation des modèles a permis :

- de réaliser un diagnostic des expériences antérieures de Renault à partir de l'étude de quelques cas innovants (airbags, vitrage athermique,...) représentatifs de son activité, dans lesquels la prise en compte simultanée de contraintes techniques et économiques a conduit soit à un succès soit à un échec. Ce premier travail a permis de définir l'ensemble des facteurs techniques, économiques et humains déterminants,
- d'associer la conception d'une innovation à une évaluation multicritère des différentes solutions candidates (contraintes économiques, de fabrication, d'assemblage, fonctionnelles...),
- de qualifier et de quantifier les performances d'une innovation au travers de la définition de plusieurs indicateurs. Ces indicateurs peuvent être suivis pendant tout le cycle de vie des produits / processus afin d'être en mesure de pouvoir quantifier les coûts et valeurs résultant d'une évolution de ceux-ci apparaissant à un moment quelconque de leur cycle de vie,
- d'identifier les informations qui doivent être acquises le plus rapidement possible,

- d'obtenir une visibilité complète des impacts d'une décision pendant la totalité du cycle de vie produit / process. Ceci s'obtient en fournissant la vision la plus proche possible de la réalité des impacts de l'évolution considérée sur les produits / process pendant tout leur cycle de vie (ex : impact sur le coût de développement produit / process, impact sur le coût de production, valeur ajoutée pour le client, nouveaux services pouvant être valorisés en après vente, risques après vente, coût de recyclage, etc.),
- d'identifier les liens existant entre les caractéristiques fonctionnelles, techniques ou technologiques d'une innovation, le produit existant et les différents processus générateurs de coûts et/ ou de valeur, qui contribueront à son cycle de vie (conception, fabrication, distribution, usage, recyclage...).

V.2. Apport pour la conception d'innovation

La méthode A.E.I.I. appliquée en phase de conception permet de regrouper les différents acteurs impliqués (entreprise, fournisseurs, partenaires) dans le processus de conception et de réalisation d'une innovation. Elle permet de canaliser leurs connaissances pour l'élaboration de l'innovation et des différents modèles utilisés par les méthodes E.E.M.E. et E.E.M.C.I. (modèle de produit, modèle de processus et modèle d'innovation). Elle permet de comprendre les impacts des différents choix d'innovation sur le produit et les processus sur l'ensemble de son cycle de vie.

Nous avons constaté également, lors de la mise en œuvre de la méthode A.E.I.I. qu'elle peut apporter les avantages suivants :

- permettre l'évaluation d'une solution d'innovation en fonction des objectifs de l'entreprise,
- évaluer les impacts de la réalisation d'un nouveau produit sur le produit et les processus existant,
- estimer l'importance en terme de coût de certaines activités ou processus et d'éléments du produit,
- estimer l'importance en terme de valeur (aux yeux du client et des acteurs de l'entreprise) des activités ou processus,
- évaluer une stratégie de lancement d'un nouveau produit et estimer l'impact en termes de coût et de valeur sur les produits en cours,
- avoir une vision plus large des effets de l'intégration d'un nouveau système dans l'environnement existant.

V.3. Apport potentiel pour l'entreprise

Les méthodes proposées (A.E.I.I., E.E.M.E, E.E.M.C.I.) permettent l'amélioration de l'apprentissage des différents acteurs impliqués dans le processus de conception d'une innovation.

Comme nous avons pu le constater lors du déroulement de l'expérimentation, des réunions et des interviews, les différents acteurs ont échangé des informations sur les savoir-faire propres à chaque service. En effet, nous avons remarqué par exemple lors d'une réunion concernant les impacts client de l'innovation 'véhicule sans clé'(dans le cadre de l'évaluation et de l'utilisation de la méthode A.E.I.I.), des échanges entre les services Produit, Marketing, les techniciens en électronique de Renault et les fournisseurs fabriquant de la carte. Ces échanges concernaient la recherche du meilleur compromis entre les valeurs estimées du client à utiliser l'innovation et les possibilités et problèmes liés au système électronique embarqué dans le véhicule. La connaissance du travail de

chacun a permis de définir les limites tant au point de vue technique que Marketing. En effet, il est fréquent que le service Marketing demande des fonctions impossibles à réaliser techniquement et les techniciens ont l'habitude de proposer des systèmes qui n'ont pas forcément d'intérêt pour le client. C'est une méthode qui peut favoriser la démarche d'ingénierie concourante.

Les méthodes proposées et l'acquisition des connaissances sur le produit, sur les processus ainsi que sur les différentes innovations sur l'ensemble du cycle de vie permet un enrichissement des modèles (par exemple dans le cas de l'ajout d'une nouvelle pièce sur le produit existant ou d'une activité de fabrication). Cela peut-être mis en œuvre au sein d'une entreprise par des responsables de la modélisation du produit et des processus des services qualité et de l'ensemble des services techniques de l'entreprise. Toute modification peut alors être modélisée. La simulation permet alors de rendre compte des impacts de cette modification.

L'étude des conséquences de l'introduction de l'innovation 'Véhicule sans clé' dans le véhicule nous a montré que les concepteurs n'ont qu'une vision partielle des impacts de cette innovation sur le cycle de vie du produit mais aussi sur les activités des services de l'entreprise. Nous rejoignons ainsi les propos d'un acteur de la société Renault qui souligne que « l'innovation concerne diverses fonctions en interaction, d'où la nécessité d'une coordination transversale entre les services, laquelle révolutionne les modes traditionnels d'organisation ». De telles organisations doivent s'appuyer sur des méthodes telle que celle présentée ici. Ces propos contribuent, par conséquent, à la justification de l'utilisation des méthodes proposées en conception de produit innovant.

V.4. Points restant à valider

Plusieurs points sont encore à valider car nous n'avons pu analyser que partiellement la mise en œuvre et les retours d'informations des méthodes. Par ailleurs, il est nécessaire au niveau des méthodes :

- de mettre en œuvre notre approche dans des sites de natures et de dimensions différentes (autres secteurs industriels) ainsi que pour d'autres objets d'innovation (innovation organisationnelle par exemple) afin de vérifier la généricité de la méthode,
- d'acquérir plus d'informations caractérisant les différents types d'innovation dans le but d'établir les modèles d'innovations,
- d'appliquer les méthodes sur l'ensemble du processus de conception d'une innovation car l'application de notre méthode a débuté alors que la mise en œuvre de l'innovation 'véhicule sans clé' était déjà commencée,
- de mesurer l'impact de la méthodologie par rapport au cycle de vie du produit.

V.5. Perspectives de développement

Dans le but d'améliorer les performances des méthodes, il est nécessaire :

- d'améliorer l'outil informatique pour la gestion des données,
- de développer différentes interfaces spécifiques supplémentaires pour les différents utilisateurs de l'entreprise,
- de développer une architecture distribuée intégrant les acteurs externes à l'entreprise (fournisseurs, sous-traitant,...).
- d'intégrer les données économiques et de valeur associées aux modèles des produits et des processus pendant tout leur cycle de vie au niveau des modèles de CAO et des informations techniques produits / processus,

- d'intégrer l'outil informatique support du système d'évaluation avec d'autres applications de l'entreprise (systèmes à base de connaissances) venant compléter les systèmes de modélisation, analyse et simulation des produits / processus existants,
- d'obtenir des retours d'informations de plusieurs utilisateurs impliqués dans le processus de décision permettant d'affiner l'outil à travers un certain nombre d'itérations prenant en compte leurs points de vue. Ce principe permettra d'identifier clairement le profil des utilisateurs concernés et ainsi de mieux cibler l'outil informatique développé,
- d'obtenir des retours d'informations concernant l'impact de cette nouvelle méthodologie et du nouvel outil informatique sur les processus de décision, sur les hommes et sur l'organisation.

Conclusion

Nous avons décrit dans ce dernier chapitre les moyens et les démarches utilisés pour valider une partie des propositions de méthodologie d'évaluation des performances d'une innovation dès la phase de conception.

Quelques fonctions du système d'évaluation de performance ont été mises en œuvres et nous avons présenté leur utilisation en phase de conception.

Les possibilités de mise en œuvre dans un contexte industriel ont également été mises en évidence, ainsi que la pertinence de l'approche en terme d'aide à la décision en phase de conception.

Il reste cependant un certain nombre d'aspects concernant les méthodes à améliorer et à mettre en œuvre. Ces travaux ont pour objectif de valider l'approche dans sa globalité et de mesurer son impact sur l'amélioration de la performance en entreprise.

Conclusion générale

Le contexte économique actuel amène les entreprises industrielles à revoir leur organisation, à appliquer des méthodes de conception, de production et de management et à développer de nouveaux outils de pilotage et d'évaluation de la performance.

Dans le premier chapitre de ce mémoire, nous avons détaillé les différentes évolutions industrielles qui conduisent aujourd'hui les entreprises à innover et à déterminer de nouveaux modes d'évaluation de la performance, et qui ont contribué à rendre cette dernière multi-critères, multi-périodes et multi-acteurs.

Alors qu'il s'avère aujourd'hui nécessaire, pour les entreprises, d'innover pour satisfaire le client en terme de prix, de qualité, de délai, le risque inhérent à la mise sur le marché d'une innovation est très important. Il existe en effet une forte incertitude sur les attentes du marché, quant à la réactivité des concurrents, aux modifications à réaliser sur le produit et au déroulement des nombreux processus qui constituent le cycle de vie de l'innovation.

Les analyses industrielles et de la littérature montrent qu'il peut exister une grande diversité dans l'évolution des projets innovants et une grande diversité dans leur pilotage [Griffin, 97]. On peut donc supposer qu'il n'y a pas de méthode unique ni d'organisation idéale pour rendre continu le lancement de projets innovants [Smith, 96].

Mais ce constat est loin d'être satisfaisant pour l'industriel qui doit répondre à des impératifs de compétitivité, et gérer le paradoxe de l'innovation que l'on pourrait décrire ainsi : piloter le processus d'innovation consiste à définir puis à suivre le chemin qui sépare une situation initiale connue d'une situation souhaitée qui n'est connue que partiellement, alors que cette situation doit obligatoirement donner lieu à un gain en compétitivité.

L'ensemble des risques liés à l'innovation doit être maîtrisé ou au moins connu. Il est donc nécessaire de décrire pertinemment le processus de développement de l'innovation et son environnement, et de fournir des moyens adaptés à l'évaluation de performance d'une innovation a priori. Ceci doit permettre de décrire, de comprendre puis de gérer l'innovation de façon optimale avec un minimum de risque. Renaud propose dans ce sens de mettre en œuvre une véritable « ingénierie de l'innovation » [Renaud et al., 99], qui passe par le développement de modèles, méthodes et outils tenant compte des spécificités relatives à l'objet de l'innovation [Tigier et Millet, 98], mais également au projet qui aboutira à l'obtention de cet objet, et à la gestion globale du potentiel innovateur présent dans l'entreprise.

Dans la première partie du deuxième chapitre, nous avons présenté un état de l'art des modèles de processus d'innovation actuels ainsi que leurs limites par rapport à notre problématique. Nous avons proposé ensuite un nouveau modèle de processus d'innovation intégrant notre vision globale de l'innovation défini au chapitre 1.

Dans la deuxième partie de ce même chapitre, nous avons présenté les différents objectifs visés et les principes fondamentaux devant être observés pour atteindre ces objectifs. Ensuite, nous avons caractérisé la performance globale d'une innovation dans le but de pouvoir l'évaluer.

De nombreuses méthodes d'évaluation sont aujourd'hui mises en œuvre, mais elles ne sont pas réellement adaptées aux besoins précédemment exprimés. En effet, si elles

permettent d'évaluer les risques, les coûts ou la valeur, elles restent sectorielles et ne permettent pas une évaluation globale de la performance de l'innovation.

Dans les troisième et quatrième chapitres, nous avons donc proposé trois méthodes relatives à l'évaluation de la performance globale d'une innovation dès le début de sa conception. Dans la première partie du troisième chapitre, nous avons décrit l'ensemble de la proposition de manière générale puis la méthode A.E.I.I. a été présentée en détail.

Après avoir précisé l'intérêt de l'approche multicritère pour la méthode A.E.I.I., nous avons proposé différentes familles de critères, présenté les différents éléments sur lesquels portent l'évaluation et la méthode multicritère utilisée.

Dans le quatrième chapitre, nous avons présenté les moyens d'élaboration des modèles utilisés par les méthodes E.E.M.E. et E.E.M.C.I. ainsi que les moyens de mise en œuvre de chaque méthode. Parmi ces moyens, la modélisation des phénomènes de propagation au sein d'un produit étant abordée, nous avons également présenté un état de l'art des méthodes des MT (Modifications Techniques; EC : Engineering Change) et un état de l'art des modèles produit et leurs limites par rapport à notre problématique.

Les spécifications du système que nous avons établies, nous ont amené à proposer un système d'aide à la décision pour l'innovation (S.A.D.I.).

Le dernier chapitre nous a permis de présenter les deux expérimentations effectuées pour valider les principaux éléments de notre proposition. Pour la première étude, nous avons présenté le site industriel, et plus particulièrement les attentes des différents services de l'entreprise en terme d'évaluation de performance. Nous avons ensuite décrit les objectifs scientifiques et industriels de la validation, l'architecture fonctionnelle de l'outil informatique développé et le protocole expérimental mis en œuvre.

Nous avons ensuite présenté la deuxième étude réalisée à partir d'enquêtes effectuées auprès de conducteurs de véhicules et d'informations issues d'une revue spécialisée automobile et montré les modèles statistiques obtenus.

Nous avons enfin montré les apports de ces propositions dans le contexte industriel.

Les contributions essentielles de ce travail peuvent être résumées autour des axes suivants :

- une analyse détaillée de la problématique du développement et l'introduction d'une innovation sur le marché, de l'évaluation de performance globale d'une innovation et la mise en évidence de ses caractéristiques : multi-critères, multi-périodes et multi-acteurs,
- la proposition d'un modèle de processus d'innovation,
- la proposition de modèles et de méthodes d'évaluation de la performance globale d'une innovation intégrés au sein d'un S.A.D. spécifique à l'innovation (S.A.D.I.),
- la proposition d'un outil permettant d'exploiter les méthodes d'évaluation.

La mise en évidence des relations entre certains événements (modification d'un élément du produit par exemple) et leurs effets, mais aussi la capitalisation de l'expérience et des diverses connaissances liées à l'innovation, permettent aux décideurs d'avoir une vision globale sur les conséquences d'une innovation. Cette capitalisation permet de réutiliser les connaissances dans d'autres projets d'innovation dans le but de limiter les risques d'erreurs lors de la conception, et de diminuer les temps de développement d'une innovation.

A l'aide de ces informations accessibles au plus tôt en conception lors du projet d'innovation, les décideurs ont la possibilité d'effectuer un classement des solutions ou de scénarios possibles envisagés en fonction de leur rapport coût/ valeur respective, dans le but d'en déterminer le meilleur et cela le plus tôt possible. Les méthodes peuvent être utilisées à n'importe quel moment de la conception à partir d'informations imprécises ou très précises. Enfin, ces méthodes permettent de regrouper l'ensemble des services de l'entreprise concerné par l'innovation, dans le but d'obtenir une coopération plus efficace entre les acteurs de l'innovation.

D'après le chef de projet innovation Renault, l'innovation produit concerne souvent diverses fonctions en interaction, d'où la nécessité d'une coordination transversale entre les services de l'entreprise, ce qui révolutionne les modes traditionnels d'organisation. Il est nécessaire aujourd'hui de converger globalement, l'innovation doit être totale, collective et solidaire [Le Mensuel Consulting, 00].

Les méthodes proposées visent à instrumenter cette démarche car elles permettent notamment de rassembler les données de l'ensemble des experts de chaque fonction du produit et des processus. Chacun apporte ses connaissances aux modèles produit et processus qui s'en trouve ainsi enrichit, la capitalisation facilitée et la vision d'ensemble améliorée. Cet ensemble de méthodes permet ainsi de palier aux problèmes de la multiplicité des définitions de l'innovation et de ses effets, de transversalité au sein des entreprises, de regroupement et de cohérence des informations de l'ensemble des acteurs liés directement ou indirectement à l'innovation (fournisseurs, partenaires, distributeurs,...), le but étant de converger globalement pour innover rapidement et rentablement.

Ce travail nous permet de mettre en évidence, dans la section suivante, des perspectives sur lesquelles nous travaillons actuellement.

Perspectives

Les perspectives de notre travail sont nombreuses :

- Au cours des études expérimentales présentées au chapitre 5, nous avons illustré puis validé partiellement, les méthodes proposées. La mise en œuvre complète des méthodes dans de nombreux sites industriels différents, permettant une véritable évaluation totale de notre approche, constitue une perspective essentielle à la poursuite et à la pérennisation de nos travaux. Il faudra pour cela développer un véritable outil industriel.
- Nous envisageons de définir une méthode multicritère adaptée au contexte de l'aide à la décision concernant des innovations ou scénarios d'innovation. La méthode répondant le mieux, a priori, au contexte de comparaison de solutions d'innovation est celle de surclassement ELECTRE. C'est une méthode qui n'agrège pas les données et fournit une véritable aide au décideur en proposant non pas une solution toute faite mais un classement laissant ainsi réellement la décision aux décideurs.
- Le modèle du processus d'innovation doit être complété afin de rendre possible des simulations informatiques aussi performantes que celles utilisées en gestion de production. En effet, les modèles de processus d'innovations actuels ne peuvent pas prétendre déboucher sur des simulations informatiques [Perrin, 96b], à cause de leur élaboration peu précise. Des tests de plusieurs solutions pourraient alors être effectués dans le but de choisir la meilleure et d'améliorer la gestion de ce processus en simulant de nouvelles structures organisationnelles et en évaluant différentes règles de pilotage.
- Un travail en partenariat avec John Clarkson et son équipe de l'université de Cambridge du département 'Conception' est envisageable dans le but de compléter, d'un point de vue coût et valeur, la méthode CPM (Change Prediction Method) qu'il propose [Clarkson et al., 01].
- Nous envisageons également d'appliquer dans les méthodes proposées, les concepts de la théorie des sous-ensembles flous de manière à tenir compte de l'incertitude en conception.
- Les modèles produit et processus ainsi que les modèles basés sur les caractéristiques d'une innovation utilisés dans les méthodes E.E.M.E et E.E.M.C.I. peuvent également être utilisés pour identifier des voies d'innovations porteuses de valeur, et être utilisés comme 'guides d'innovation'.
- Le modèle 4 de la méthode E.E.M.C.I. permet de répondre au problème d'identification du 'prix cible' (tel que ce terme est défini dans le cadre de l'approche *Target Costing*) et des paramètres influant sur celui-ci. En effet, on a l'habitude de dire que le prix est imposé par le marché, ce modèle vise à maîtriser plus que de subir les prix du marché en identifiant les leviers d'actions sur ces prix. Ce modèle doit être développé afin d'optimiser le profit d'une entreprise (voir annexe P.1)

Nous présentons ci-dessous le détail de quelques travaux les plus avancés.

I. Prise en compte des informations imprécises dans les méthodes

Les connaissances manipulées en conception sont très souvent exprimés par des humains, donc fondamentalement imprécises, vagues ou incertaines. L'incertitude, l'imprécision, l'incomplétude et la complexité sont typiques de la conception [Wang, 97].

Pour fournir une aide à la décision dans ce contexte, en tenant compte des différents modes d'appréciation et des diverses approches de chacun, nous proposons d'appliquer les concepts de la théorie des sous-ensembles flous. Cette théorie permet de prendre en compte les nuances inhérentes au raisonnement humain. Elle est particulièrement utile lors de l'inférence de règles de production à prédicats imprécis qui sont utilisés lors de la recherche de solution innovante fondée sur l'expertise de l'opérateur humain.

C'est particulièrement le cas du système expert proposé utilisant les informations sur les produits et les processus permettant l'analyse des impacts d'une innovation sur un système existant. En effet, les connaissances employées dans les règles et les faits caractérisant une situation sont imprécis ou vagues. Une représentation des connaissances à base de variables linguistiques et un moteur d'inférence utilisant la logique floue permettront de les traiter. Le lecteur trouvera des présentations de la logique floue dans [Bouchon-Meunier, 95].

II. Guides d'innovation

II.1. Guide d'innovation 1

Les modèles produit et processus présentent une structure arborescente qui peut être utilisée en bottom up, c'est-à-dire pour l'axe de décomposition : du système élémentaire aux composants principaux, pour l'axe de contribution : de l'élément 'composant' à l'élément 'item de valeur' et pour l'axe d'interaction : de l'élément étudié vers les autres. Les conséquences d'une action sont déterminées dans ce sens. Le sens descendant (ou top down) permet, quant à lui, d'identifier les causes possibles d'un événement (similaire aux arbres de causes et d'effets). Si on se place dans le cadre de recherche d'innovation, le sens descendant rend possible l'identification des moyens ou leviers permettant d'obtenir un résultat attendu. En effet, Dans la partie essentielle de la thèse (chapitre 1 à 5) nous nous sommes basés principalement sur une démarche d'évaluation (évaluation des scénarios d'innovation). Dans une approche plus radicale nous étudions l'inversibilité analytique des relations obtenues dans les méthodes E.E.M.E et E.E.M.C.I.. Cette logique n'est plus une logique d'évaluation mais de conception car cette inversibilité traduit en fait la problématique de la conception qui peut être définie de la manière suivante : quelles caractéristiques d'un produit pour des indicateurs de satisfaction visés ? Si l'on désire, par exemple, améliorer le confort d'un véhicule, une recherche à partir des modèles permet de trouver l'ensemble des éléments liés au confort du véhicule. La modification d'un de ses éléments peut alors être simulée afin de vérifier l'adéquation entre le résultat estimé et l'objectif fixé. On peut prendre l'exemple suivant pour la méthode E.E.M.E : sur quel système doit-on agir pour améliorer le confort d'un véhicule de 10 % (item de valeur) ? ; exemple de résultats : on peut agir sur la propriété 'taux de bruit' qui contribue au confort du véhicule, sur la fonction sonorité qui contribue à cette propriété et sur le caoutchouc et/ ou la mousse permettant de réaliser cette fonction.

II.2. Guide d'innovation 2 : Arbre des situations

Dans le but d'améliorer les connaissances sur les processus sur l'ensemble de cycle de vie du produit existant, nous développons actuellement une méthode permettant d'étudier les diverses situations dans lesquelles se trouve un produit (normales ou dégradées : voir page 103 le GEMMA). Cette méthode permettant de hiérarchiser ces situations est appelée : arbre des situations (un exemple est présenté en annexe P.2). Elle permet de :

- rechercher les différentes situations liées à un produit,
- identifier les processus et les activités liés à ces situations, ainsi que les ressources associées aux activités,
- définir les items de valeur et les coûts des processus,
- calculer la probabilité d'apparition de ces situations,
- définir l'importance de chacun des items de valeur,
- préciser la valeur des items de valeur.

La méthode de l'arbre des situations d'un produit peut également être utilisée comme guide d'innovation. En effet, en recensant ainsi les problèmes émergeant lors de l'utilisation du produit ou du service et en définissant les valeurs et les non-valeurs associées à ces problèmes et leurs importances, cette méthode peut apporter des indices sur les voies d'amélioration du produit par l'intermédiaire d'innovations. On peut ainsi définir la valeur d'un système innovant qui permettra de supprimer un problème particulier lié à un produit. Une innovation supprimant le problème de la crevaison d'une roue, par exemple, aura des conséquences certaines sur la valeur du produit et permettra d'éliminer l'ensemble des non-valeurs (perte de temps, danger,...) sous-tendant au problème.

II.3. Guide d'innovation 3 : Analyse multicritère

Les modèles utilisés dans la méthode E.E.M.C.I. définissent les relations entre les caractéristiques d'une innovation (définie de manière générale, en utilisant les informations de valeur, de technologie, physiques ou événementielles) et certains indicateurs de performance de l'entreprise tels que les coûts sur le cycle de vie, les critères sociaux (emplois), la satisfaction client et valeur interne et externe de l'entreprise, etc.

A partir de ces modèles, il est possible de déterminer les valeurs particulières des caractéristiques d'une innovation conférant des résultats optimaux en fonction de l'importance de chacun des indicateurs (poids) et de leurs relations définies par les décideurs. Nous nous plaçons ici dans une logique d'optimisation.

Pour notre étude nous avons choisi d'utiliser la méthode multicritère de la somme pondérée [Pomerol et al., 93] avec les modèles 1 à 7 de la méthode E.E.M.C.I. (cf. chapitre 4). Nous considérons trois cas d'optimisation :

- cas 1 : optimisation 'partielle' (la meilleure des solutions proposées),
- cas 2 : optimisation 'globale' (la meilleure de toutes les solutions possibles, relatives aux critères spécifiés),
- cas 3 : optimisation 'globale satisfaisante' (les meilleures de toutes les solutions possibles, relatives aux critères spécifiés).

Une présentation détaillée de cette proposition est donnée en annexe P.3.

Nous espérons pouvoir apporter par ces approches une contribution utile à la réflexion sur les outils d'évaluation de performance, et souhaitons pouvoir contribuer au développement des perspectives de ce travail.

Bibliographie

- [AFGI, 89] : A.F.G.I. (Association Française de Gestion Industrielle) Gallois P.M., Bourrier J., De Louvencourt A., Locherer C., *Typologie des entreprises industrielles*, version 2, Travaux de la commission AFGI 'Indicateur de Performance'», 1989.
- [AFITEP, 96] : AFITEP, *Dictionnaire de Management de projet*, 3^{ème} édition, AFITEP , AFNOR 1996.
- [AFNOR, 94] : Association Française pour la Normalisation (AFNOR), *Management de projet. Qualité et efficacité des organisation*, recueil de normes françaises, 1994.
- [AFNOR, 00] : Association Française pour la Normalisation (AFNOR), *Norme internationale ISO 9000*, 2000.
- [Alexis, 95] : Alexis J., *Pratique industrielle de la méthode Taguchi : les plans d'expériences*, Paris : Association française de normalisation, 1995.
- [Alter, 93] : Alter N., *La lassitude de l'acteur de l'innovation*, Sociologie du travail n°4, 1993.
- [Andreansen, 91] : Andreansen M.M., *The theory of domains*, Workshop on understanding functions and function to form evolution, Cambridge University, UK, 1991.
- [Ansoff et al., 67] : Ansoff J. et Stewart J., *Strategies for a technology based business*, Harvard Business Review, 1967.
- [Barreyre, 81] : Barreyre P.Y., *Typologie des innovations*, Revue française de gestion, janvier -février 1981.
- [Bellon, 97] : Bellon B., *Innover ou disparaître*, Ed. Economica. 1994.
- [Bellut, 92] : Bellut S., *La compétitivité par la maîtrise des coûts*, AFNOR Gestion, 1992.
- [Berliner et Brimson, 88] : Berliner C. & Brimson J.A., *Cost management for today's advanced manufacturing*, The CAM.I. conceptual Design, Harvard Business School Press, Boston, 1988.
- [Bernad, 92] : Bernad J., *Approche systémique de l'entreprise et de son informatisation* , Editions Masson, Paris, France, 1992.
- [Berrah, 97] : Berrah L.A., *Une approche d'évaluation de la performance industrielle. Modèle d'indicateur et techniques floues pour un pilotage réactif*, Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, France, 1997.
- [Bescos, 94] : Bescos P.-L., C. Mendoza, *Le management de la performance*, Editions comptables Malesherbes, Paris, 1994
- [Bescos, 96] : Bescos P.L., Mendoza C., *Le management de la performance*, éditions Comptables Malesherbes, 1996.
- [Besson, 92] : Besson P., *Où va la comptabilité d'activité ?*, Communication et article lors de la table ronde sur le thème de l'avenir de la comptabilité, Université de Paris Dauphine, Octobre 1992.
- [Beuscart et al., 94] : Beuscart R., Yousfi F., Dufresne E., Derycke A., *Travail coopératif et groupware*, Springer-Verlag France, Paris 1994.
- [Bitton, 90] : Bitton M., *Ecograi : Méthode de conception et d'implantation de systèmes de mesure de performance pour organisations industrielles*, Thèse de Doctorat en Automatique, Université de Bordeaux I, 1990.
- [Bobroff et al., 93] : Bobroff J., Caro C., Divry C., Midler C., *Les formes d'organisation des projets*, in ECOSIP 1993, Pilotages de projet et Entreprises, Diversités et convergences, Economica Paris.

- [Boly et Romon, 99] : Boly V., Romon F., *Etude de la cohérence des décisions prises au niveau d'un projet innovant, d'un portefeuille de projets, et du management des ressources technologiques*, 3ème congrès international de génie industriel, Montréal, Québec, Mai 1999.
- [Bouchon-Meunier, 95] : Bouchon-Meunier B., *La logique floue et ses applications*, Paris; Reading ; New York : Addison-Wesley France, 1995.
- [Boudarel et al., 67] : Boudarel R., Delmas J., Guichet P., *Commande optimale des processus*, Concepts fondamentaux de l'automatique, Paris, Dunod, 1967
- [Bourbonnais, 00] : Bourbonnais, R., *Économétrie : manuel et exercices corrigés*, Paris, Dunod, 2000.
- [Bourdichon, 94] : Bourdichon P., *L'ingénierie simultanée*, Hermès, Paris, 1994
- [Bourguignon, 95] : Bourguignon A., *Peut-on définir la performance ?*, Revue Française de comptabilité, août 1995.
- [Broustail et Fréry, 93] : Broustail J. et Fréry F., *Le management stratégique de l'innovation*, Ed. Dalloz, coll. Précis de gestion ,1993.
- [Browne et al., 95] : Browne J., Sackett P.J., Wortmann J.C., *Industry requirements and associated research issues in the extended enterprise*, dans *Integrated Manufacturing systems engineering*, Ladet P., Vernadat F.B. (coordonnateurs), éditions Chapman & Hall, Londres, 1995.
- [Capul et Garnier, 99] : Capul J.Y. et Garnier O., *Dictionnaire de l'économie*, Hatier, Paris, 1999.
- [Chandler, 88] : Chandler A.D., *La main visible des managers, une analyse historique*, éditions Economica, 1988.
- [Chatain et al., 87] : Chatain J.N., Duchaussoy A., *Système expert méthodes et outils*, Paris, Eyrolles, 1987.
- [Clark et Wheelwright, 95] : Clark K. et Wheelwright S., *Leading product development*, Free Press, New York 1995.
- [Clarkson et al., 01] : Clarkson J., Simons C. and Eckert C., *Predicting change propagation in complex design*, proceedings of DETC'01, ASME 2001 Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference Pittsburg, Pennsylvania, September, 2001.
- [Cochet et Henry, 95] : Cochet F., Henry G.M., *Les Révolutions industrielles : processus historiques, développements économiques*, Paris : A. Colin, 1995.
- [Cocquebert, 90] : Cocquebert E., *Modélisation des métiers de l'entreprise*, projet MRT n°89.P.0470, LGIL, Université de Valenciennes, Valenciennes, 1990.
- [Cocquebert., 98] : Cocquebert E., *AIT IMPLANT Deliverable 4.1: Generic change management tool*, 1998.
- [Cohen et al., 00] : Cohen T., Navthe S. and Fulton R.E., *C-FAR, change favorable representation*, Computer aided Design, p 321-38, 2000.
- [Collaine et al., 02] : Collaine A., Lutz P., and Lesage J.J., *A method for assessing the impact of product development on the company*, IJPR, 2002, vol. 40, n°14, 3311-3336.
- [Cooper, 79] : Cooper R.G., *The dimensions of industrial new products success or failure*, Journal of Marketing, vol. 14, p93-103, 1979.
- [Cooper, 90] : Copper, R.G., *Stage-Gate System : a New Tool For Managing New Products*, Business Horizon, May-June 1990, pp. 44-54.
- [Cooper, 98] : Cooper, R.G., *Product Leadership : Creating and launching superior new products*, Perseus Books, 1998.
- [Crawford, 96] : Crawford, C.M., *New Products Management*, 5th Edition, Irwin, Chicago, 1996.

- [Dalle et al., 91] : Dalle S., Gourgard M., Kellert P., Vilette M.J., *Spécification et modélisation à priori d'un système flexible d'usinage*, 23^{ème} CIRP, Séminaire international sur les systèmes de production, Nancy, 6 et 7 Juin 1991.
- [Darses, 94] : Darses F., *Gestion des contraintes dans la résolution des problèmes de conception*, Thèse de docteur 3^{ème} cycle, Université de Paris VIII-Saint Denis, Janvier 1994.
- [Deneux et al.] : Deneux D., Sénéchal O., Tomala F. & Lawson M., *Towards a methodology for estimating the global impacts of innovative design scenarii*. Proc. of 4th IFIP WG5.2 Workshop on Knowledge Intensive CAD (KIC-4). Parma, Italy. May 2000.
- [Desfray, 92] : Desfray P., *Ingénierie des objets*, éditions Masson, Paris 1992.
- [Droesbeke et al, 97] : Droesbeke J.J., Fine J., Saporta G., *Plans d'expériences : Applications à l'entreprise*, Paris Ed. Technip, 1997
- [Duchamp, 99] : Duchamp R., *Méthodes de conception de produits nouveaux*, Hermès science publications, Paris 1999.
- [Dupinet, 91] : Dupinet E., *Contribution à l'étude d'un système informatique d'aide à la conception de produits mécaniques par la prise en compte des relations fonctionnelles*, Thèse de l'Ecole Centrale de Paris.
- [Dupouy et al., 99] : Dupouy P., Girard P., Eynard B., Merle C., *Proposition pour un système d'évaluation de la performance technico-économique en ingénierie des produits*, 3^{ème} congrès international de génie industriel, Montréal, Québec, Mai 1999.
- [Eastman et al., 94] : Eastman C., Fereshetian N., *Information models for use in product design : a comparison*, CAD journal, Vol 26, n°7, July 1994, pages 551-572.
- [ECOSIP, 99] : Sénéchal O., Raviart D., Tahon C., *Simulation de la production pour la conception simultanée du produit et du processus de réalisation*, Chapitre 5 de l'ouvrage collectif ECOSIP « Pilotage et évaluation des processus de conception », coordonné par J. Perrin, Collection Économiques, éditions L'Harmattan Paris, mars 1999, pp 107-136.
- [Eymery, 97] : Eymery P., *La logistique de l'entreprise*, Hermès, Paris, 1997.
- [FEMEX, 97] : FEature Modelling EXpert Working Group I, *Feature Definition and Classification*, FhG-IGD-University of Darmstadt, (FRG). Version 29/03/97.
- [Fernez-Walch, 91] : Fernez-Walch S., *L'innovation de produit au quotidien en entreprise industrielle*, Thèse de docteur en économie industrielle à l'École des Mines de Paris, 1991.
- [Foray et Lundvall, 95] : Foray D., Lundvall B., *The knowledge-based economy : from the economics of knowledge to the learning economy*, OCDE Conference : Employment and growth in the knowledge-based economy, Copenhague, 1994, pp 11-32.
- [Forest et al., 97] : Forest J., Micaëlli J.P., Perrin J., *Innovation et conception : pourquoi une approche en terme de processus ?*, Deuxième congrès International Franco-Québécois de Génie Industriel, Albi 1997.
- [Freeman, 74] : vu dans [Bellon, 97].
- [Furon, 00] : Furon S., *Contribution à la mise en œuvre du soutien logistique : Éléments méthodologiques pour une conception fondée sur un modèle de produit global*, Thèse de Doctorat, Université de Valenciennes, France 2000.
- [Gaillard, 99] : Gaillard J.M., *Processus d'innovation, gestion de projet et marketing : quelles complémentarités dans la recherche et développement ?*, 3^e congrès international de génie industriel, Montréal, Québec, Mai 1999.

- [Gallois, 88] : Gallois P.M., *Les indicateurs de performance, Pilotage et évaluation de la performance industrielle*, Publication avec mise à jour périodiques des travaux du groupe 'indicateurs de performance' de l'AFGI, association française de Gestion industrielle, 1988.
- [Gallois, 89] : Gallois P.M., *De la tenue des stocks au pilotage synchronisé de l'ensemble des flux ou l'évolution des principes de managements industriel*, Revue Française de Gestion Industrielle, n° 3, 1989.
- [Gallois, 90] : Gallois P.M., *Évaluation et pilotage de la performance industrielle*, dans [ECOSIP, 90].
- [Gallouj, 96] : Camal et Faïz Gallouj, *L'innovation dans les services*, Economica, 1996.
- [Gandois, 92] : Gandois J., *France : le choix de la performance globale*, Rapport de la Commission du onzième Plan sur la compétitivité française, La Documentation Française, Paris, France, 1992.
- [Genelot, 92] : Genelot D., *Manager dans la complexité, Réflexions à l'usage des dirigeants*, INSEP Editions, Paris, France, 1992.
- [Giard, 91] : Giard V., *Gestion de projet*, Economica, 1991.
- [Gidel et al., 00] : Gidel T., Gautier R., Christofol H., *La maîtrise des risques dans les projets innovants par la conduite effective du processus décisionnel*, 12è Colloque National de Sûreté de Fonctionnement, Montpellier, 28-30 Mars 2000, pp 481-489.
- [Girard, 99] : Girard P., *Étude de la conduite de la conception des produits manufacturés - Contribution à l'ingénierie des systèmes de conception*, Thèse de Doctorat, Université Bordeaux I, soutenue le 3 février 1999.
- [Giraud, 94] : Giraud R., Chaix N., *Econométrie*, Paris, PUF, 1994
- [Gordon et al., 88] : Gordon F., Isenhour R., *Simultaneous engineering*, Electronic engineering time, Janvier 1987.
- [Gormand, 95] : Gormand C., *Le coût global, pratique et études de cas*, AFNOR, Paris, 1995
- [Griffin, 97] : Griffin A., *PDMA Research New Product Development practices, Updating Trend and Benchmarking best Practices*, Journal of Product Innovation Management, Vol 14, 6 Novembre 1997, pp 429-459.
- [Grudzien, 99] : Grudzien L., *Contribution à l'intégration de la sûreté de fonctionnement au sein d'une démarche de conception multimétiers*, Thèse de Doctorat, Université de Valenciennes, France, 1999.
- [Hage, 87] : Hage J. *Reflection of new technology and organizational change*, dans J.M.Pennings et A.Buitendam (ed.), *New technology as organizational innovation*, Ballinger, Cambridge, 1987.
- [Hammer et Champy, 93] : Hammer M., Champy J., *Le reengineering*, traduit de *Reengineering the Corporation : a manifesto for Business Revolution*, Dunod 1993.
- [Hatchuel et al., 99] : Hatchuel A. et Weil B., *Design-oriented Organizations*, 6è international product development, Cambridge, 1999.
- [Helberg et al., 94] : Helberg C., Gattety J.E., Bicheno J.R., *Simulation activity costing*, industrial Management & Data Systems, 1994.
- [Huang et al., 98] : Huang G.Q. and Mak K.L., *Computer aids for engineering change control*, Journal of Materials Processing Technology, 1998.
- [Hubka et Eder, 88] : Hubka V., Eder W.E., *Theory of technical system*, Berlin, Springer-verlag, 1988.
- [Jacot, 90] : Jacot J.H., *A propos de l'évaluation des systèmes intégrés de production*, dans [ECOSIP, 90].

- [Jacot, 91] : Jacot J.H., *A propos de l'évaluation économique des systèmes intégrés de production*, dans ECOSIP 1991, pp.61-70.
- [Jacot et Micaelli, 96] : Jacot J.H., Micaelli J.P., *La performance économiques en entreprise*, éditions Hermès, 1996
- [Jacot, 97] : Jacot J.H., *De la trilogie : Productivité, compétitivité, rentabilité à l'évaluation sociale de la performance industrielle*, Entreprise et performance globale, Édition Economica, 1997.
- [Jacquet, 98] : Jacquet L., *Contribution à l'élaboration d'une démarche de spécification fonctionnelle*, Thèse de Doctorat, Université de Valenciennes, France 1998.
- [Jagou, 93] : Jagou J., *Concurrent Engineering, la maîtrise des coûts, des délais et de la qualité*, Hermès, 1993.
- [Joffre et Simon, 89] : Joffre et Simon, *Encyclopédie des Sciences de Gestion*, Joffre et Simon (eds), Economica, 1989.
- [Johnson et Jones, 57] : Johnson S.C et Jones C., *How to organize for new products*, Harvard Business Review, mai 1957.
- [Jordan et al., 72] : Jordan W.E. and Marshall G.C., *Failure Modes, Effects and Criticality Analysis*, Annual Reliability and Maintainability Symposium, San Francisco, California, January 1972.
- [Kaplan, 94] : Kaplan R. S (éditeur), *Measures for Manufacturing Excellence*, Harvard Business School Press, Boston, 1990.
- [Kline et Rosenberg, 86] : Kline S., Rosenberg N., *An overview of innovation*, Landau R., Rosenberg N. (eds), *The positive Sum Strategy*, National Academy Press, Washington 1986.
- [Knight, 67] : Knight K.E., *A descriptive model of intra-firm innovation process*, Journal of Business, vol. 40, octobre 1967, p478-496.
- [Krause et al., 93] : Krause F.L., Kimura F., Kjellberg T., Lu S.C.Y., *Product modelling*, CIRP Annals Manufacturing Technology, vol 42/2, 1993.
- [Kusiak, 93] : Kusiak A., *Concurrent engineering : automation, tools, and techniques*. New York, J. Wiley, 1993.
- [Lachnitt, 94] : Lachnitt J., *L'analyse de la valeur*, Presse universitaire de France, Paris, 1994.
- [Larousse, 01] : Petit Larousse Illustré, Paris, France, 2001.
- [Lebas, 92] : Lebas M., *L'ABM ou le management basé sur les activités*, Revue Française de Comptabilité n°237, 1992.
- [Le Bas, 95] : Le Bas C., *Économie de l'innovation*, Economica, 1995.
- [Le Goff, 97] : Le Goff H., *Typologie prédictive de consommateurs sur la base de leurs chaînages moyens fins : une approche par réseau de neurones et algorithme génétique*, Thèse de doctorat de l'université de Rennes 1, France, 1997.
- [Le Mensuel Consulting, 00] : Le Mensuel Consulting, *Renault réinvente le consultant*, septembre 2000.
- [Le moniteur automobile, 99] : moniteur automobile, *Guide d'achat*, 1999.
- [Le Moigne, 90] : Le Moigne J.L., *La modélisation des systèmes complexes*, Afcet Systèmes, Dunod, Bordas, Paris, France, 1990.
- [Le Moigne, 94] : Le Moigne J.L.(cite boudarel, 67) dans *La théorie du système général : théorie de la modélisation*, Paris : PUF, 1994.
- [Leonard-barton, 97] : Leonard-Barton D., *Wellsprings of knowledge : building and sustaining the source of innovation*, Boston 1997, p 334.
- [Lepetit, 97] : Lepetit M., *Performance globale : vers une prise en compte des effets marchands*, Entreprise et Performance globale, Éditions Economica, 1997.

- [Leplat et Hoc, 83] : Leplat J., Hoc J.-M., *Tâche et activité dans l'analyse psychologique des situations*, Cahiers de Psychologie Cognitive, 1983.
- [Liberatone et Stylianou, 95] : Liberatone M. et Stylianou A.C., *Expert support systems for new product development decision making : A modeling framework and applications*, Management Science, vol 41, 126-1316, 1995.
- [Lorino, 96] : Lorino P., *Le pilotage de l'entreprise, de la mesure à l'interprétation*, in ECOSIP 1996, Cohérence, pertinence et évaluation, Economica Paris.
- [Lorino, 97] : Lorino P., *Méthodes et pratiques de la performance, le guide du pilotage*, Les éditions d'organisation, Paris 1997.
- [Marciniak et Pagerie, 99] : Marciniak et Pagerie, *Management de projet : méthodes et outils*, Paris 1999.
- [Marty, 91] : Marty C., *Le mieux produire*, éditions Tech & Doc, 1991.
- [Meinadier, 98] : Meinadier J.P., *Ingénierie et intégration des systèmes*, Études et logiciels informatiques, Hermès, Paris, 1998.
- [Merle, 90] : Merle C., *L'évaluation des projets productiques : contribution conceptuelle et méthodologique*, Thèse de doctorat en Sciences de Gestion, Université de Montpellier I, 1990.
- [Mévellec, 93] : Mévellec P., *Playdoyer pour une vision française de la méthode ABC*, Revue Française de Comptabilité n° 251, Décembre 1993.
- [Midler, 93] : Midler C. : *L'auto qui n'existait pas*, InterEditions, Paris, 1993.
- [Midler, 96] : Midler C., *Développement de la logique Projet, crises et mutations des fonctions techniques*, dans [ECOSIP, 96].
- [Mostow, 85] : Mostow J., *Toward better models of the design process*, the AI magazine, Spring, 1985.
- [Neveu, 00] : Neveu D., *La création de valeur : une méthode infallible ?*, Problèmes Économiques, N°2.658, 29 mars 2000.
- [NF X 50-120] : Norme Afnor NF X 50-120, *Qualité - Vocabulaire*. Septembre 1989.
- [NFX 50-150] : Norme Afnor NF X 50-150 : *Analyse de la valeur - vocabulaire*. 19 termes fondamentaux utilisés en analyse de la valeur. Mai 1985.
- [Nichols, 90] : Nichols K., *Getting Engineering Changes under Control*, Journal of Engineering Design, Vol.1, n°1, 1990.
- [Nonaka, 94] : Nonaka I., *A dynamic theory of organisational knowledge creation*, Organisation science, Vol 5, n°1, february 1994, pp 14-37.
- [Nonaka et Takeuchi, 95] : Nonaka I., Takeuchi H., *The knowledge creating company : how japanese companies create dynamics of innovation*, New York, Oxford University Press, p 284, 1995.
- [Normann et al., 93] : Normann R., Ramirez R., *From Value Chain to Value Constellation: Designing Interactive Strategy*, Harvard Business Review, Number: 93408, Juillet 1993.
- [NPC, 82] : Nouveau plan comptable. Révision du plan comptable de 1957 réalisée par arrêté ministériel le 27 Avril 1982.
- [OCDE, 94] : OCDE: *La mesure des activités scientifiques et technologiques*, Manuel de Frascati, Méthode type proposée pour les enquêtes sur la recherche et le développement expérimental, Paris 1994.
- [O'Connor, 91] : O'Connor P.D.T., *Practical Reliability Engineering*, John Wiley and Sons, Chichester, Royaume-Uni, 1991.
- [Pellegriin, 99] : Pellegriin C., *Des représentations à l'évaluation dans le pilotage de l'innovation -produit*, in ECOSIP 1999, Pilotage et évaluation des processus de conception, l'Harmattan Paris.

- [Périgord et al., 93] : Périgord M., Fournier J.P., *Dictionnaire de la qualité, français – anglais*, éditions Afnor, 1993.
- [Perrin, 96a] : Perrin J., *Cohérence, pertinence et évaluation économique des activités de conception*, ECOSIP, Cohérence, Pertinence et Évaluation, Economica, Paris, 1996.
- [Perrin, 96b] : Perrin J., *Modélisation du processus de production d'innovation*, Chapitre 12 dans 'La performance économique en entreprise' (Coordonnateurs Jacot et Micaelli), Hermès, Paris 1996.
- [Perrin, 99] : Perrin J., *Diversité des représentations du processus de conception, diversité des modes de pilotage de ces processus*, premier chapitre de l'ouvrage collectif ECOSIP : Pilotage et évaluation des processus de conception, Sous la direction de Jacques PERRIN, éditions l'Harmattan Paris, 1999.
- [Petitdemange, 91] : Petitdemange C., *La maîtrise de la valeur*, AFNOR gestion, 1991.
- [Peulot et Moreno, 97] : Peulot E. et Moreno S., *Le gemma : modes de marches et d'arrêts*, Paris : Ed. Castella, 1997.
- [Pomerol et al., 93] : Pomerol J.C., Barba-Romero S., *Choix multicritère dans l'entreprise*, Hermès, Paris 1993.
- [Porter, 86] : Porter M. : *L'avantage concurrentiel*, inter Editions, Paris 1986.
- [PROSPER, 99] "Prosper" : PROGRAMME SYSTEMES DE PRODUCTION, Stratégie, Conception, Gestion, *Rapport d'activité du projet METACOG*, 1999.
- [Quarante, 84] : Quarante D., *Éléments de design industriel*, Maloine, Collection Université de Compiègne, Paris, 1984.
- [Rajlich, 00] : Rajlich V., *Modeling software evolution by evolving interoperation graphs*, Annals of Software Engineering, p 235-248, 2000.
- [Renault, 97a] : Renault, *Dossier Enjeux, Génération bien être*, Revue R&D, Juillet 1997.
- [Renault, 97b] : Renault, *Dossier Aujourd'hui, Mettre le confort sensoriel en équation*, Revue R&D, Juillet 1997.
- [Renault, 99] : Renault, *Dossier Reportage, La voix du client*, Revue R&D n°11, Janvier 1999.
- [Renaud et al., 99] : Renaud J., Boly V., Guidat C., *Étude de la pérennisation du processus d'innovation en entreprise*, 3ème congrès international de génie industriel, Montréal, Québec, Mai 1999.
- [Rivière et al., 02a] : Rivière A. et Tollenaere M., *Pilotage et aide à la décision pour la maîtrise des modifications en développement de produits*, présentation au GRP de Grenoble, mars 2002.
- [Rivière et al., 02b] : Rivière A., Dacunha C. et Tollenaere M., *Performances in engineering management*, IDMME Clermont-Ferrand, mai 2002.
- [Ross, 77] : Ross, D.T., *Structured Analysis (SA): A language for communicating ideas*, IEEE Trans. On Software Engineering, SE-3, 6-15.
- [Roy et al., 93] : Roy B., Bouyssou D., *Aide multi-critère à la décision : méthodes et cas*, éditions Economica, collection Gestion, Paris, 1993.
- [Rosnay, 75] : Rosnay J. de, *Le microscope, vers une vision globale*. Edition Le Seuil, Paris 1975.
- [Rozenburg et Eeckels, 95] : Rozenburg et Eeckels, *Product Design : Fundamentals and Methods*, John Wiley & Sons, New York, 1995.
- [Rys, 98] : Rys, A. et Vaneecloo N., *Econométrie : théorie et application*, Paris, Nathan, 1998.
- [SAE, 67] : S.A.E., *Design Analysis Procedure for Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA)*, Recommended Practice ARP 926. SAE Aerospace, September, 1967.

- [Savall et al., 89] : Savall H., Zardet V., *Maîtriser les coûts et les performances cachées*, - éditions Eyrolles, 1989.
- [Schach et al., 00] : Schach S.R., and Tomer A., *A maintenance oriented approach to software construction*, Journal of Software Maintenance-Research and Practice, 2000.
- [Schöggel, 99] : Schöggel, P., *Real time simulation of driver feeling in the vehicle development process : shorter development time and improved vehicle quality*, *Ingénieurs de l'automobile*, Avril 1999 (n°728) pp52 -59.
- [Schumpeter, 35] : Schumpeter J., 1912, *Théorie de l'évolution économique*, Traduction française Dalloz, Paris, 1935.
- [Sechi et al., 01] : Sechi N., Lawson M., Soenen R., 4ème congrès international de génie industriel, Aix-en Provence, juin 2001.
- [Segarra et Sechi, 01] : Segarra G. et Sechi N., *From Product to Service Engineering*, FEATS Valenciennes, juin 2001.
- [Sénéchal, 96] : Sénéchal O., *Proposition d'une méthodologie pour l'aide à l'estimation des performances physico-économiques des systèmes de production dans une approche concourante*. Thèse de Doctorat, LAMIH - LGIL, Université de Valenciennes, 27 Février 1996.
- [Sénéchal, 99] : Sénéchal O., Raviart D., Tahon C., *Simulation de la production pour la conception simultanée du produit et du processus de réalisation*, Chapitre 5 de l'ouvrage collectif ECOSIP « Pilotage et évaluation des processus de conception », coordonné par J. Perrin, Collection Économiques, éditions L'Harmattan Paris, mars 1999, pp 107-136.
- [SESSI, 98] : SESSI, *L'innovation technologique dans l'Industrie – Les chiffres clés*. ISSN 0244-7118. Collection "Référence" N° 202. Edition du SESSI, 1998.
- [SESSIa, 98] : SESSI, publication périodique, *Le 4 pages*, N° 89: *L'innovation technologique progresse dans les entreprises*, Avril 1998. Internet: industrie.gouv.fr
- [SESSIb, 98] : SESSI, publication périodique, *Le 4 pages*, N° 91: *Les français et l'innovation technologique*, Mai 1998. Internet: industrie.gouv.fr
- [SESSIc, 98] : SESSI, publication périodique, *Le 4 pages*, N° 95: *L'innovation technologique dans les établissements de crédit et les sociétés d'assurance*, septembre 1998. Internet: industrie.gouv.fr
- [SESSIa, 99] : SESSI, publication périodique, *Le 4 pages*, N° 105 : *L'innovation technologique dans les services aux entreprises*, Mars 1999. Internet: industrie.gouv.fr
- [Simon, 95] : Simon H.A., *Problem Forming, Problem Finding and Problem Solving in Design*, in A. Collen, 1995.
- [Smith, 96] : Smith, *Your Product Development Process Demands Ongoing Improvement*, Research Technology Management, mars-avril 1996, pp 37-44.
- [Stephanopoulos, 89] : Stephanopoulos G., *Artificial intelligence and symbolic computing in process engineering and design*, Proceeding of the 3rd International Conference on Foundation of Computer-Aided design, Snowmass Village, pp. 21-47, Colorado, Etats Unis, 1989.
- [Tahon et Trentesaux, 01] : Tahon C. et Trentesaux D., *Aide à la décision en gestion de production*, Chapitre 6 du livre Organisation et gestion de la production, sous la direction de Erschler J. et Grabot B., Hermès, 2001.
- [Tichkiewitch, 96] : Tichkiewitch S., *Specifications on integrated design methodology using a multi-view product model*, Engineering system Design and Analysis Conference, ASME'96 Vol8, pp 101-108, Montpellier, France 1996.

- [Tigier et Millet, 98] : Tigier H. et Millet D., *Conception pour l'environnement : inventer de nouveaux outils et de nouveaux systèmes d'action*, Chapitre 10 dans 'Conception de produits mécaniques. Méthodes, modèles et outils' sous la direction de Michel Tollenaere, Hermès, Paris 1998.
- [Tollenaere, 92] : Tollenaere M., *Quel modèle produit pour concevoir ?*, Symposium Design in 2000 and beyond, Tools and technologies, Strasbourg (Novembre 1992), pages 331 - 340, édition du Centre National d'Études Spatiales.
- [Tomala, 99] : Tomala F., *État de l'Art des modèles de processus*, rapport interne de thèse de l'université de Valenciennes (LAMIH/ SP), septembre 1999.
- [Tomala et al., 00a] : Tomala F., Matéo E., Rouanet D., *Synthèse du projet METACOG*, rapport de synthèse du projet METACOG (Programme PROSPER/ CNRS), juin 2000.
- [Tomala, 00b] : Tomala F., *Modèles et méthodes pour l'innovation*, rapport interne de thèse de l'université de Valenciennes (LAMIH/ SP), juillet 2000.
- [Tomala et al., 00c] : Tomala F., Sénéchal O., Deneux D., *État de l'Art sur l'innovation académique et industriel*, rapport d'avancement du projet METACOG (Programme PROSPER/ CNRS), décembre 2000.
- [Tomala et al., 00d] : Tomala F., Sénéchal O., Tahon C., *Study of the innovation performance evaluation*, Conference ASI 2000 : Advanced Summer Institute, Life-Cycle Approaches to Production Systems Management, Control, Supervision 18th - 20th, 2000 Bordeaux, France.
- [Tomala et al., 01a] : Tomala F., Sénéchal O., Tahon C., *Proposition d'application de méthodes d'analyse de données pour le management de la qualité en conception de produit*, Qualita2001 du 18 au 20 mars, 2001 Annecy, France.
- [Tomala et al., 01b] : Tomala F., Sénéchal O., Tahon C., *Modèle de processus d'innovation*, MOSIM2001 du 25 au 27 avril 2001, Troyes, France.
- [Tomala et al., 01c] : Tomala F., Sénéchal O., *Évaluation de performance a priori d'une innovation*, JDA2001 25 au 27 septembre 2001, Toulouse, France.
- [Tomala et Sénéchal, 02a] : Tomala F., Sénéchal O., *Modèles de produits et de processus pour l'analyse de l'impact de l'introduction d'une innovation dans un produit existant*, revue JESA (Journal Européen des Systèmes Automatisés), Hermès, Paris, Volume 36 n°2/ 2002.
- [Tomala et Sénéchal, 02b] : Tomala F., Sénéchal O., *Méthode d'Analyse des Effets de l'Introduction d'une Innovation*, revue RFGI (Revue Française de Gestion Industrielle), volume 21, juin 2002.
- [Tomala et Girard, 03] : Tomala F., Girard P., *Évaluation en phase de conception du système de production*, contribution à l'ouvrage collectif 'Évaluation des performances des systèmes de production' chapitre 2 partie 3 'Contexte', coordonnée par C. Tahon, P. Burlat, E. Marcon, L. Berrah, O. Sénéchal, J.L. Paris et M.H. Gentil, Hermès, Paris 2003 à paraître.
- [Utterback & Abernathy, 75] : Utterback & Abernathy, *A dynamic model of process and product innovation*, Omega : The international Journal of Management Science, vol.3, n°6.
- [Vadcard, 95] : Vadcard P., *Méthodologie de conception de produit, l'évolution des représentations du produit*, Actes du séminaire Confère- Technologies et outils de représentation du concepteur, ENSAM Paris, Avril 95.
- [Vernadat, 96] : Vernadat F.B., *Enterprise modeling and integration, principles and applications*, éditions Chapman & Hall, 1996.
- [Vigier, 88] : Vigier M.G., *Pratique des plans d'expériences*, les éditions d'organisation, 1988.

- [Voisin et al., 00] : Voisin C., Plunket A., Bellon B.: *La coopération Industrielle*, ADIS - Faculté Jean Monnet, Economica Paris 2000.
- [Voss et al., 91] : Voss C.A., Russel V., Twigg D., *Implementation issues in simultaneous engineering*, IJTM, Special issues on manufacturing strategy, p293 à 302, 1991.
- [Wang, 97] : Wang X.H., *DFKN : Un modèle hybride de connaissances pour la conception*, Thèse de doctorat de l'université Valenciennes, 1997.
- [Wright, 97] : Wright I.C., *A review of research into engineering change management : implications for product design*, Elsevier Science Ltd, 1997.
- [Xuereb, 91] : Xuereb J.M., *Une redéfinition du processus d'innovation*, Revue française de gestion, juin- juillet- août, 1991.
- [Zwingelstein, 96] : Zwingelstein G., *La maintenance basée sur la fiabilité*, Hermès, 1996.

Sigles et Abréviations

ABC	Activity Based Costing
ABM	Activity Based Management
AEII	Analyse des Effets de l'Introduction d'une Innovation
AFITEP	Association francophone de management de projet
AFNOR	Association Française de NORmalisation
AICOSCOP	Aide à la COncption de Système de COnduite de Production
AMDEC	Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leurs Criticité
APD	Analyse Préliminaire des Dangers
APR	Analyse Préliminaire des Risques
APTE	méthode d'Analyse Fonctionnelle et d'Analyse de la Valeur
AV	Analyse de la Valeur
BPR	Business Process Re-engineering
CAO / CFAO	Conception Assistée par Ordinateur / Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur
CIM	Computer Integrated Manufacturing
CIMOSA	Open Systems Architecture for CIM
DAO	Dessin Assistée par Ordinateur
EDI	Electronic Data Interchange
EEME	Estimation des Effets à l'aide de Modèles de type Événement
EEMCI	Estimation des Effets à l'aide de Modèles de type Caractéristiques de l'Innovation
FAST	Functional Analysis System Technique
GC	Gestion des configurations; CM en anglais pour Configuration Management
GDP	Gestion des Données du Produit; en anglais PDM : Product Data Management
GED/GEP	Gestion Electronique de Documents Gestion Electronique des Processus
GEMMA	Guide d'Étude des Modes de Marche et d'Arrêt
GENCMP	Generic Enterprise Change Management Methodology
GRAI	Groupe de Recherche en Automatisation Intégrée
HAZOP	HAZard and OPerability study
AIT IMPLANT	Implanting CSCW and CAD Innovations into the User Enterprise
MAC/MAD	Méthode de l'Arbre des Causes ou de Défaillance
MACQ	Méthode de l'Arbre des Conséquences
MDCC	Méthode du Diagramme de Cause- Conséquences
METACOG	METHodologie d'Aide à la Conception pour un Coût Objectif Global
MPM	Méthode du Potentiel Metra
MT	Modification Technique; EC en anglais pour Engineering Change
NTIC	Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication
OCDE	Organisation de Coopération et de Développement Economique
PRK	Prix de Revient au Kilomètre
PROSPER	Programme de Recherche CNRS Système de production
QFD	Quality Function Deployment
RDP	Rang de Préférence
SAD / SIAD	Système d'Aide à la Décision / Système Interactif d'Aide à la Décision
SADT	Structured Analysis and Design Technique
SESSI	Secrétariat d'État à l'industrie Service Statistiques Industrielles
SADI	Système d'Aide à la Décision pour l'Innovation
VSC	Véhicule Sans Clé

Glossaire

Activité : (1) Ensemble de tâches homogènes caractéristiques d'un processus de réalisation de la chaîne de valeur et consommateur de ressources (ex: entretien des outillages pour un atelier). Au sein d'une unité organisationnelle analysée (filiale, usine, service, canal de distribution, etc.), il est possible de ne retenir que les activités principales (2 à 5). Plusieurs unités peuvent avoir le même type d'activité (ex: maintenance) ou participer à un même processus (ex: facturation, lancement d'un produit, etc.). Il existe plusieurs types d'activités. Par exemple, il est possible de distinguer entre les activités la hiérarchie suivante: les activités liées aux volumes produits, celles relatives aux séries, celles concernant les unités de support et celles nécessaires à l'ensemble de l'entreprise. D'autres hiérarchies peuvent être établies en fonction des orientations stratégiques et des objectifs prioritaires d'une entreprise (ex: flexibilité, satisfaction des clients, qualité etc.) [Bescos, 94].

Activité : (2) Terme qui couvre beaucoup de sens plus ou moins proches. Utilisé en projet comme faculté d'exercer une action, et surtout par déviation, comme action d'une certaine ampleur, appartenant à un domaine technique déterminé, dont l'exécution peut être confiée à une personne physique ou morale compétente, action considérée comme unique dans le temps et l'espace et, en conséquence non répétitive. En planification, le terme tâche est souvent considéré comme synonyme d'activité [AFITEP, 96].

Activité / Tâche : La tâche est un but donné dans des conditions déterminées. Elle indique ce qui est à faire, l'activité ce qui se fait. La notion de tâche véhicule avec elle l'idée de prescription, sinon d'obligation. La notion d'activité renvoie, elle, à ce qui est mis en jeu par le sujet pour exécuter ces prescriptions, pour remplir ces obligations [Leplat et Hoc, 83].

Analyse de la valeur : Méthode de compétitivité, organisée et créative, visant la satisfaction du besoin de l'utilisateur par une démarche spécifique de conception à la fois fonctionnelle, économique et pluridisciplinaire [NF X 50-150].

Besoin : Nécessité ou désir éprouvé par un utilisateur [NF X 50-150]. Un besoin peut être exprimé ou implicite, avoué ou inavoué, latent ou potentiel. Dans tous les cas, il constitue le besoin à satisfaire, et pour lequel un utilisateur est prêt à faire un effort [AFITEP, 96].

Cardinalités : Les cardinalités fournissent les nombres minimaux et maximaux de représentants de l'entité liée pouvant être reliés à un représentant de l'entité courante [Desfray, 92].

Client : Dans un contrat, le client est celle des deux parties qui reçoit un objet ou une prestation qu'elle doit payer aux conditions convenues [AFITEP, 96].

Compétitivité : Capacité d'une entreprise, d'un secteur ou d'une économie à faire face à la concurrence tant sur les marchés extérieurs que sur son marché interne [Capul et Garnier, 99].

Concurrence : Compétition ou confrontation entre plusieurs vendeurs (ou plusieurs acheteurs) d'un même produit ; par extension, désigne les autres entreprises qui sont sur le même marché que soi-même [Capul et Garnier, 99].

Coût : Charge ou dépense supportée par un intervenant économique par suite de la production ou de l'utilisation d'un produit ou de l'ensemble des deux. Il ne faut pas confondre le coût et le prix. Ce dernier est égal au coût majoré de la marge de l'entreprise [NF X 50-150].

Coût d'acquisition : Il est obtenu en ajoutant au prix d'achat les frais accessoires ou charges directes liées à l'acquisition et à la mise en état d'utilisation du bien ainsi que les charges indirectes dans la mesure où elles peuvent être rattachées à cette acquisition [NPC, 82].

Coût Global : Coût relatif à l'ensemble de la vie d'un produit pour un usage donné [NF X 50-150].

Criticité : Mesure d'un risque exprimée par le produit de sa probabilité d'occurrence par la gravité ou sévérité de ses conséquences [Meinadier, 98].

Cycle de vie : Organisation phasée des activités qui jalonnent la vie du système depuis l'émergence de son besoin jusqu'à son obsolescence ou son retrait de service [Meinadier, 98].

Découverte : Action de trouver ce qui était inconnu, ignoré ou caché (découverte de la pénicilline) [Larousse, 01].

Effectivité : Est l'articulation entre objectifs, moyens et résultats : 'Est-ce que l'on fait effectivement ce que l'on veut faire ?' [Jacot et Micaelli, 96].

Efficacité : Est l'articulation entre résultats et objectifs : 'Est-ce que le système est capable d'atteindre les objectifs fixés ?' [Jacot et Micaelli, 96].

Efficience : Est l'articulation entre moyens et résultats : 'Est ce que les résultats sont suffisant compte tenu des moyens mis en œuvre ?' [Jacot et Micaelli, 96].

Environnement existant : Ensemble des entités lié de près ou de loin à l'innovation sur tout son cycle de vie : produit, processus, acteurs, ressources.

Estimation : Calculer approximativement, sans avoir à sa disposition les éléments nécessaires pour un calcul rigoureux (exemple : estimer une distance au jugé) [Larousse, 01]

Évaluation : Assigner une valeur bonne ou mauvaise, meilleure ou pire, à une entité ou à un événement. Ce n'est donc pas simplement mesurer la valeur intrinsèque des objets, c'est établir un ordre de préférence [Jacot, 91].

Fiches d'impacts: Ce sont des fiches papier qui permettent de regrouper les informations concernant l'innovation et les conséquences de son intégration dans un environnement existant (produit, processus), elles constituent le support de communication entre les spécialistes (équipe souvent pluridisciplinaire dans le cas d'une innovation) qui utilisent la méthode.

Fiches bilan des conséquences : Elles synthétisent l'ensemble des informations spécifiées dans les fiches d'impacts, facilitant ainsi les décisions.

Fonction : Actions d'un produit ou de l'un de ses constituants exprimées exclusivement en termes de finalité. Une fonction est formulée par un verbe à l'infinitif suivi d'un complément ou de plusieurs compléments. La formulation de la fonction doit être indépendante des solutions susceptibles de la réaliser [NF X 50-150].

Fonction de service: Action attendue d'un produit pour répondre à un élément du besoin d'un utilisateur donné. Elles comprennent les fonctions d'usage et les fonctions d'estime. Les fonctions d'usage traduisent la partie rationnelle du besoin, les fonctions d'estime la partie subjective [Petitdemange, 91].

Fonction technique: Action interne au produit choisie par le concepteur- réalisateur, dans le cadre d'une solution, pour assurer des fonctions de service. Une fonction technique répond à un besoin technique du concepteur- réalisateur et peut être ignorée de l'utilisateur final du produit [Petitdemange, 91].

Indicateur : Un indicateur est un outil de gestion complexe qui comprend un ensemble d'informations [Lorino, 97]:

- sa propre définition,
- sa raison d'être : l'objectif stratégique auquel il se rattache, la cible chiffrée et datée qui lui est impartie, éventuellement des références comparatives, par exemple le résultat d'un benchmarking,
- la désignation d'un acteur chargé de le produire (celui qui accède le plus facilement aux informations requises),
- la désignation d'un acteur responsable du niveau de l'indicateur (celui qui maîtrise le mieux le levier d'action correspondant),
- la périodicité de production et de suivi de l'indicateur,
- sa définition en extension : la formule et les conventions de calcul,
- les sources d'information nécessaires à sa production (applications informatiques, bases de données, saisies manuelles),
- les modes de segmentation, pour décomposer une forme agrégée de l'indicateur en formes plus détaillées (exemple : la segmentation géographique, décomposition par territoires, segmentation par types de marchés, par lignes de produits, par centres de responsabilité...),
- les modes de suivi (budgété, réel, écart budgété [réel, historique sur N mois, comparaison même période année antérieure, cumul depuis le début de l'année,...),
- le mode de présentation (chiffres, tableaux, graphiques, courbes...),
- une liste de diffusion.

Indicateur de performances : Donnée quantifiée, qui mesure l'efficacité de tout ou partie d'un processus ou d'un système par rapport à une norme, un plan ou un objectif déterminé et accepté, dans le cadre d'une stratégie d'entreprise [AFGI, 89].

Indicateur de résultat : Un indicateur de résultat pour une action donnée, mesure le résultat final de l'action (degré de performance client atteint, degré de réalisation d'un objectif). Par exemple, le taux de défauts sur le produit fini est un indicateur de résultat pour la fabrication ; c'est évidemment une mesure à posteriori, un constat. Par définition, l'indicateur de résultat arrive trop tard pour l'action, puisqu'il permet de constater que

l'on a atteint ou non les objectifs : c'est un outil pour formaliser et contrôler les objectifs [Lorino, 97].

Innovation : (1)

- Une innovation est un processus dont l'aboutissement est une réalisation originale qui comporte des attributs de valeur.
- Elle est la mise en application originale et porteuse de progrès d'une découverte, d'une invention ou simplement d'un concept.
- Elle n'est pas une action simple mais un processus global, ensemble de sous-processus en inter-relation.
- Une innovation est l'adoption d'un changement qui est nouveau pour l'organisation considérée et pour son environnement immédiat [Barreyre, 81].

Innovation : (2) L'innovation est l'introduction avec succès d'un nouveau produit, d'un nouveau procédé ou d'une nouvelle organisation'. C'est un acte voulu, concerté, précis, qui commence par une idée et finit par sa mise en œuvre [Bellon, 97].

Innovation : (3) C'est la transformation d'une idée en un produit nouveau ou amélioré introduit sur le marché, ou en un procédé opérationnel nouveau ou amélioré utilisé dans l'industrie ou dans le commerce, ou en une nouvelle démarche à l'égard d'un service social [OCDE, 94].

Invention : Action d'inventer, de créer quelque chose de nouveau [Larousse, 01].

Maîtrise : Deux sens : à la fois connaissance d'une discipline (couvrant tout ou partie du projet) et mise en œuvre des moyens d'agir sur les paramètres à maîtriser, pour atteindre les objectifs souhaités (dans la mesure du possible) [AFITEP, 96].

Mesure : Détermination d'une grandeur par comparaison avec une grandeur constante de même espèce prise comme référence [Larousse, 01].

Méthode : Ensemble de démarches s'appuyant sur des modèles, les transformant et les intégrant, permettant de réaliser tout ou partie du passage de l'expression d'un besoin à la définition d'une solution [Meinadier, 98]. Ensemble d'outils organisés entre eux suivant une certaine démarche [NF X 50-150].

Modèle : Système plus ou moins homomorphe au système à étudier ou construire, qui en donne une vue partielle plus ou moins abstraite et permet d'en étudier certaines caractéristiques [Meinadier, 98].

Modèle conceptuel : (ou modèle de connaissance [Dalle et al., 91]) est une formalisation dans un langage naturel ou graphique de la structure et du fonctionnement du système étudié. Si le système existe, le modèle de connaissance contient l'ensemble des connaissances acquises lors de phases d'observation. Si le système n'existe pas, le modèle de connaissance contient les spécifications de topologie et de fonctionnement des concepteurs. Il assure la communicabilité nécessaire à chaque étape de modélisation et permet une interaction contrôlée sur le modèle.

Modèle informatique : (ou modèle d'action [Dalle et al., 91]) est une traduction du modèle conceptuel dans un formalisme mathématique ou dans un langage informatique. Il est directement exploitable sur ordinateur et fournit les performances du système modélisé sans recourir à la mesure directe.

Multi-périodes : Plusieurs périodes ou phases du cycle de vie d'un produit ou service.

Objectifs stratégiques : Ils concernent l'évolution de l'entreprise, ses orientations, son positionnement dans son environnement [Gallois, 89].

Objectifs tactiques: Ils concernent la préparation des activités industrielles en déployant la performance par processus [Gallois, 89].

Objectifs opérationnels: Ils sont liés à l'activation des ressources et des processus opérants [Gallois, 89].

Orienté (relation): L'orientation des relations fournit un sens de navigation dans un graphe entité- relation. Elle détermine également des utilisations entre entités [Desfray, 92].

Performance : (1) Synonyme d'action (anglais « to perform », ancien français « parformer » [Larousse, 01].

(2) Résultat obtenu par un athlète dans une épreuve, chiffre qui mesure ce résultat [Larousse, 01].

(3) Réussite remarquable, exploit [Larousse, 01].

(4) Résultat obtenu dans l'exécution d'une tâche [Larousse, 01].

(5) Ensemble des indications chiffrées caractérisant les possibilités optimales d'un matériel [Larousse, 01].

(6) Est performance dans l'entreprise, tout ce qui, et seulement ce qui, contribue à améliorer le couple valeur-coût (a contrario, n'est pas forcément performance ce qui contribue à diminuer le coût ou à augmenter la valeur isolément) [Lorino, 97].

(7) Est performance dans l'entreprise, tout ce qui, et seulement ce qui, contribue à atteindre les objectifs stratégiques [Lorino, 97].

Performance industrielle: C'est faire mieux que le "concurrent" (référence choisie pour la comparaison) sur le moyen et long terme, dans l'idéal sur un ensemble des paramètres définissant la performance, au minimum sur ceux des paramètres jugés être les plus significatifs de la satisfaction des clients [Le Bas, 95].

La pertinence : Est l'articulation entre objectifs et moyens, elle répond à la question : 'Est ce qu'a priori les objectifs correspondent aux moyens ?' [Jacot et Micaelli, 96].

Pilotage : (1) Ce terme est souvent assez mal compris, parce que vague. Il serait bon de le réserver aux activités décisionnelles indirectes et discontinues, par exemple lorsqu'un comité de pilotage (ou un supérieur hiérarchique) donne au chef de projet des instructions générales à traduire en décisions effectives [AFITEP, 96].

(2) Piloter, c'est définir et mettre en œuvre des méthodes qui permettent d'apprendre, ensemble :

- à agir ensemble de manière performante,
- à agir ensemble de manière de plus en plus performante [Lorino, 97].

(3) Piloter, c'est accomplir de manière continue deux fonctions complémentaires : déployer la stratégie en règles d'action opérationnelles (déploiement) et capitaliser les résultats et les enseignements de l'action pour enrichir la réflexion sur les objectifs (retour d'expérience) [Lorino, 97].

Prestation : On appelle prestation les besoins des clients qu'un produit ou un service offert par l'entreprise permet de satisfaire. Les prestations du produit, également appelées fonctions du produit, sont analysées dans le cadre de l'analyse fonctionnelle [Lorino, 97].

Prix : Équivalent monétaire d'un produit lors d'une transaction commerciale. Le prix, qui est le même pour l'acheteur et pour le vendeur, devient un élément de coût pour l'acheteur [NF X 50-150].

Processus : (1) Ensemble d'activités liées en vue d'atteindre un objectif commun (ex: ensemble des activités nécessaires à la facturation d'un client, à la fabrication d'un téléviseur, à la conception d'un nouveau produit, etc.). Les performances de ces activités liées sont souvent indépendantes. L'analyse par processus permet de mieux maîtriser une gestion transversale de l'entreprise (ex: la gestion des projets, la gestion des commandes, etc.) [Bescos, 94].

Processus : (2) Tout changement dans le temps de matière, d'énergie ou d'information est un processus [Boudarel et al., 67] dans [Le Moigne, 94].

Processus : (3) Enchaînement de tâches concourant à l'obtention d'un résultat défini, RG Aéro 000 40 [AFNOR, 94].

Processus : (4) Ensemble d'activités corrélées ou interactives qui transforme des éléments d'entrée en éléments de sortie, norme internationale ISO 9000 : 2000 [AFNOR, 00].

Processus d'innovation : (1) Ensemble des activités mises en œuvre pour transformer une idée de produit nouveau en une réalisation effective [Xuereb, 91].

Processus d'innovation : (2) Le processus d'innovation débute par une idée, développé par des activités techniques et marketing qui s'effectuent au sein de départements dans lesquels sont prises des décisions et entre lesquels circulent des informations [Cooper, 79].

Produit : (1) Ce qui est (ou sera) fourni à un utilisateur pour répondre à son besoin. Le produit peut être ici un matériel, un service ou toute combinaison des deux, un processus industriel ou administratif (procédé, logiciel, procédure...) [NF X 50-150].

Produit : (2) Les produits (matériels ou immatériels, biens ou services) apportent des réponses à des besoins de clients, qu'il s'agisse des besoins des clients directs (fonctionnalités des produits) ou de besoins plus généraux de la société (recyclabilité, non-pollution par exemple) [Lorino, 97].

Projet : Ensemble d'actions à réaliser pour satisfaire un objectif défini, dans le cadre d'une mission précise, et pour la réalisation desquelles on a identifié non seulement un début, mais aussi une fin. On distingue souvent le projet *ouvrage*, dont la finalité est d'obtenir un résultat considéré pour lui même (ouvrage d'art, bâtiment, usine, navire, déménagement...) et le projet *produit* dont la finalité est la mise au point d'un produit, qui fera par la suite l'objet d'une production répétitive, destinée à un marché (par exemple automobile, électroménager, produit chimique ou pharmaceutique). Le premier est aussi appelé « projet d'ingénierie » ou « projet client » car il est destiné à un client unique, et le second « projet de développement » ou « projet marché » [AFITEP, 96].

Qualité : Ensemble des propriétés d'un produit ou service qui lui confère l'aptitude à satisfaire des besoins exprimés et implicites [NF X 50-120].

Relation : Une relation est un lien stable entre deux entités différentes, qui permet à tout moment, connaissant un représentant d'une des deux entités, de connaître les représentants de l'autre entité qui lui sont associés [Desfray, 92].

Ressource : Une ressource est un objet (ex : une machine, un ordinateur, un lingot de métal) ou un service (ex : le travail d'un ouvrier, une étude sous-traitée), porteur de valeur, consommé ou consommable par l'entreprise dans le cadre de l'un de ses processus. La consommation de la ressource est mesurable physiquement (heures, kilos) ou monétairement. La mesure monétaire d'une consommation de ressource est un coût [Lorino, 97].

Risque : Possibilité qu'un projet ne s'exécute pas conformément aux prévisions de date d'achèvement, de coût et de spécifications, ces écarts par rapport aux prévisions étant considérés comme difficilement acceptables, voire inacceptables [AFITEP, 96].

Satisfaction : Action de satisfaire une réclamation, un besoin, un désir. Contentement, plaisir qui résulte de l'accomplissement de ce qu'on désire [Larousse, 01].

Scénario d'innovation : Déroulement programmé ou prévu de l'utilisation d'une innovation.

Score : Il représente le niveau d'intérêt d'une solution. Les scores de chaque scénario sont calculés en fonction du poids de la conséquence, de l'importance prédéfinie du type de conséquences et de la confiance. Pour cela, chaque type de conséquence est pondéré par une valeur qui est comprise entre -100 et 100 (valeurs arbitraires). Cette pondération est réalisée en fonction de la stratégie et des priorités de l'entreprise. Une valeur positive représente un avantage pour l'entreprise tandis qu'une valeur négative représente un inconvénient.

Système : Totalité organisée, faite d'éléments solidaires ne pouvant être définis que les uns par rapport aux autres en fonction de leur place dans cette totalité. Ensemble d'éléments en interaction dynamique organisé en fonction d'un but [Rosnay, 75].

Système complexe : (1) Système que l'on tient pour irréductible à un modèle fini, aussi compliqué, stochastique, sophistiqué que soit ce modèle, quelle que soit sa taille, le nombre de ses composants, l'intensité de leurs interactions... [Le Moigne, 90].

Système complexe : (2) Par construction, système manifestant quelque forme d'autonomie : si ses comportements devaient être complètement dépendants d'interventions extérieures ou exogènes (sur lesquelles il n'exerce aucun contrôle), ils ne seraient pas complexes, mais au contraire complètement prévisibles [Genelot, 92].

Système complexe : (3) Tout système complexe est constitué d'une grande variété d'éléments possédant des fonctions spécialisées. Ces éléments sont organisés en niveaux hiérarchiques internes. Les différents niveaux, les différents éléments sont reliés par une grande variété de liaisons, ce qui se traduit par une grande densité d'interconnexions [Bernad, 92].

Tableau de bōrd : Les indicateurs de pilotage sont regroupés en tableaux de bord, qui en assurent une présentation lisible et interprétable, avec une périodicité régulière adaptée aux besoins du pilotage. Chaque tableau de bord correspond à une unité de pilotage donnée (centre de responsabilité, processus, projet, fonction, produit, marché) sur laquelle ont été définis un schéma de responsabilité et une animation de gestion, en vue d'atteindre des objectifs de performance [Lorino, 97].

Valeur : Jugement porté sur le produit par l'utilisateur sur la base de ses attentes et de ses motivations, exprimé par une grandeur qui croît lorsque, toutes choses égales par ailleurs, la satisfaction du besoin de l'utilisateur augmente et/ ou que la dépense afférente au produit diminue [NF X 50-150].

Table des illustrations

Figure 1.1 : L'entreprise étendue [Bellon, 97].....	25
Figure 1.2 : Les différents niveaux de performance	29
Figure 1.3 : Impacts possibles des innovations.....	33
Figure 1.4 : Impacts du Minitel.....	34
Figure 1.5 : Les objectifs importants de l'innovation technologique dans l'industrie [SESSIa, 98].....	36
Figure 1.6 : Ingénierie série et simultanée	38
Figure 1.7 : Le périmètre temporel d'un véhicule automobile [Prosper, 99].....	41
Figure 1.8 : Décomposition du coût global selon Gormand [Gormand, 95]	42
Figure 1.9 : Les coûts dans le cycle de vie.....	43
Figure 1.10 : La constellation d'acteurs d'une innovation (Mévellec).	46
Figure 1.11 : L'environnement de l'innovation.....	47
Figure 1.12 : Le processus de génération de valeur par l'innovation	49
Figure 2.1 : Le modèle de liaison en chaînes selon Kline et Rosenberg (1986).....	56
Figure 2.2 : Processus d'innovation selon N.F.Roozenburg et J.Eekels.....	57
Figure 2.3 : Processus d'innovation.....	59
Figure 2.4 : Activité A1 : 'Informer'	63
Figure 2.5 : Boucle de pilotage et d'évaluation	66
Figure 2.6 : Évaluation de performances a priori.....	67
Figure 2.7 : Évaluation de performances a posteriori	68
Figure 2.8 : Caractérisation de la performance globale d'une innovation.....	69
Figure 2.9 : Impacts des décisions prises en phases de conception et production sur le cycle de vie [Deneux et al., 00].....	70
Figure 2.10 : Méthodes et outils en conception	71
Figure 2.11 : Les couples idéaux phase du projet / méthodes d'estimation de coûts [Bellut, 92]	75
Figure 2.12 : Méthodes d'évaluation en conception étudiées.....	78
Figure 2.13 : Tableau de synthèse des méthodes d'évaluation en conception.....	79
Figure 3.1 : Le principe de la méthode A.E.I.I.	82
Figure 3.2 : Principe d'utilisation du modèle de type 'Événements'	84
Figure 3.3 : Principe d'utilisation du modèle de type 'Caractéristiques'.....	84
Figure 3.4 : Logique d'utilisation des méthodes.....	87
Figure 3.5 : Hiérarchisation de l'importance des conséquences.....	90
Figure 3.6 : Types de conséquence	91
Figure 3.7 : Relations entre les éléments de la méthode A.E.I.I.....	91
Figure 3.8 : Structure générique d'une fiche d'impacts.....	92
Figure 3.9 : Tableau comparatif des éléments des méthodes.....	92
Figure 3.10 : Démarche globale d'établissement des A.E.I.I.	93
Figure 3.11 : La méthode A.E.I.I. dans le processus d'innovation.....	94
Figure 3.12 : Phase d'analyse et d'évaluation des effets d'une innovation (phase B)...	96
Figure 3.13 : Activités et compétences nécessaires à la mise en œuvre et à l'exploitation de l'A.E.I.I.....	98
Figure 3.14 : Décomposition de l'activité 'Évaluer les innovations'	99
Figure 3.15 : Fiche 'bilan des conséquences'	105
Figure 3.16 : Exemple de types de conséquences et leur pondération (Importance)...	106
Figure 4.1 : Éléments de base de notre modélisation de produits.....	113

Figure 4.2: Modèle produit (axe de décomposition appliqué aux entités de type « composants »).....	115
Figure 4.3 : Modèle produit (axe de contribution)	116
Figure 4.4 : Modèle produit (axe d'interaction)	117
Figure 4.5 : Modèle produit.....	117
Figure 4.6 : Liste des relations des modèles	119
Figure 4.7a : Les relations des modèles dans le cas d'un produit manufacturé	120
Figure 4.7b : Les relations des modèles dans le cas d'un service	120
Figure 4.8 : Exemple de grille de contribution entre composants/ fonctions (a) et entre fonctions/ propriétés (b).....	122
Figure 4.9 : Exemple de relations R3 et R4.....	122
Figure 4.10 : Exemple de relevé de mesures objectives et subjectives sur le freinage	123
Figure 4.11 : Les fonctions du système support de la méthode E.E.M.E.....	125
Figure 4.12 : Noms des entités et leurs abréviations	125
Figure 4.13 : Configurations de système considérées dans MDS/MDF.....	127
Figure 4.14 : Exemple de résultats	133
Figure 4.15 : Processus générique de modélisation.....	139
Figure 4.16 : Fiche de saisie de données du modèle 1 : FM1.....	141
Figure 4.17 : Fiche de saisie de données du modèle 2 : FM2.....	142
Figure 4.18 : Fiche de saisie de données du modèle 3 : FM3.....	142
Figure 4.19 : Fiche de saisie de données du modèle 4 : FM4.....	143
Figure 4.20 : Fiche de saisie de données du modèle 5 : FM5.....	144
Figure 4.21 : Modèle fonctionnel du SADI.....	148
Figure 4.22 : Architecture fonctionnelle.....	149
Figure 5.1 : Architecture fonctionnelle de la maquette	153
Figure 5.2 : Interface de saisie des éléments de la méthode A.E.I.I.....	155
Figure 5.3 : Interface de saisie du modèle produit	156
Figure 5.4 : Exemple de paramétrage d'un système de comparaison	157
Figure 5.5 : Exemple de visualisation d'un tableau de bord d'estimation	158
Figure 5.6 : Tableau de synthèse des attentes de l'entreprise.....	160
Figure 5.7 : Description de la démarche expérimentale	161
Figure 5.8 : Présentation des services impliqués.....	162
Figure 5.9 : Synthèse des scénarios	164
Figure 5.10 : Extrait de la fiche d'impacts du 'VsC'.....	165
Figure 5.11 : Interfaces de saisie et de résultats de la propagation des effets	166
Figure 5.12 : Fiche bilan des conséquences	167
Figure 5.13 : Éléments de valeurs	169
Figure 5.14 : Caractéristiques techniques.....	170
Figure 5.15 : Définitions des abréviations utilisées dans la formule du PRK.....	170
Figure 5.16 : Résultats des effets.....	171
Figure 5.17 : Meilleure configuration du modèle.....	172
Figure 5.18 : Modèles de Prix de Revient au Kilomètre /Caractéristiques fonctionnelles	172
Figure 5.19 : Exemple de résultats du test.....	173
Figure 5.20 : Modèles de Rang de préférence /Caractéristiques fonctionnelles	173
Figure 5.21 : Modèle de Vitesse /Caractéristiques techniques.....	174
Figure 5.22 : Modèle d'Autonomie /Caractéristiques techniques	174
Figure 5.23 : Résultat des rapports RDP/ PRK pour chaque caractéristique et pour chaque niveau	175
Figure A1 : Activité A2 'Recherche des idées'	208

Figure A2 : Activité A3 'Arbitrer'	209
Figure A3 : Activité A4 'Inventer'	209
Figure A4 : Activité A5 'Valider'	210
Figure A5 : Activité A6 'Mettre sur le marché' Partie gauche	211
Figure A6 : Activité A6 'Mettre sur le marché' Partie droite	212
Figure A7 : Liste des risques	213
Figure A8 : Matrice d'impacts	213
Figure A9 : Exemples sur les trois axes	215
Figure A10 : Algorithme de chaînage avant	220
Figure A11 : Bornes acceptables par type de relation	222
Figure A12 : Facteurs et niveaux retenus pour l'étude	227
Figure A13 : Le plan d'expériences Taguchi de l'étude	227
Figure A14 : Résultats de l'étude	228
Figure A15 : Conception à coût objectif	229
Figure A16 : Conception à coût objectif avec modèle 4	230
Figure A17 : Paramètres de valeur liés à la crevaision	231
Figure A18 : Exemple d'optimisation 'partielle'	232
Figure A19 : Exemple d'optimisation 'globale'	232
Figure A20 : Exemple d'optimisation 'globale satisfaisante'	233

Annexes

Annexe 2.1 : Activités A2, A3, A4, A5 et A6 du modèle de processus d'innovation

Les activités A2 à A6 du modèle de processus d'innovation proposé au chapitre 2 sont détaillées dans cette annexe. Les chiffres 5 et 29 sont des repères définis dans la figure ci-dessous et au chapitre 2.

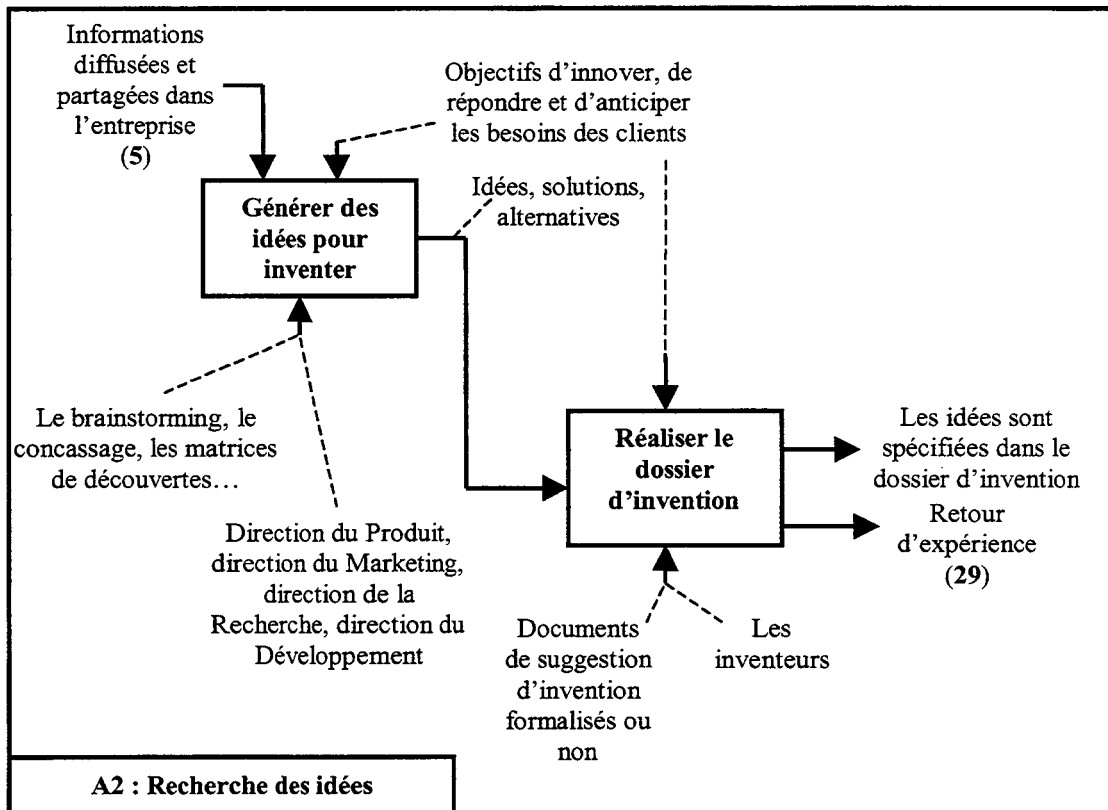


Figure A1 : Activité A2 'Recherche des idées'

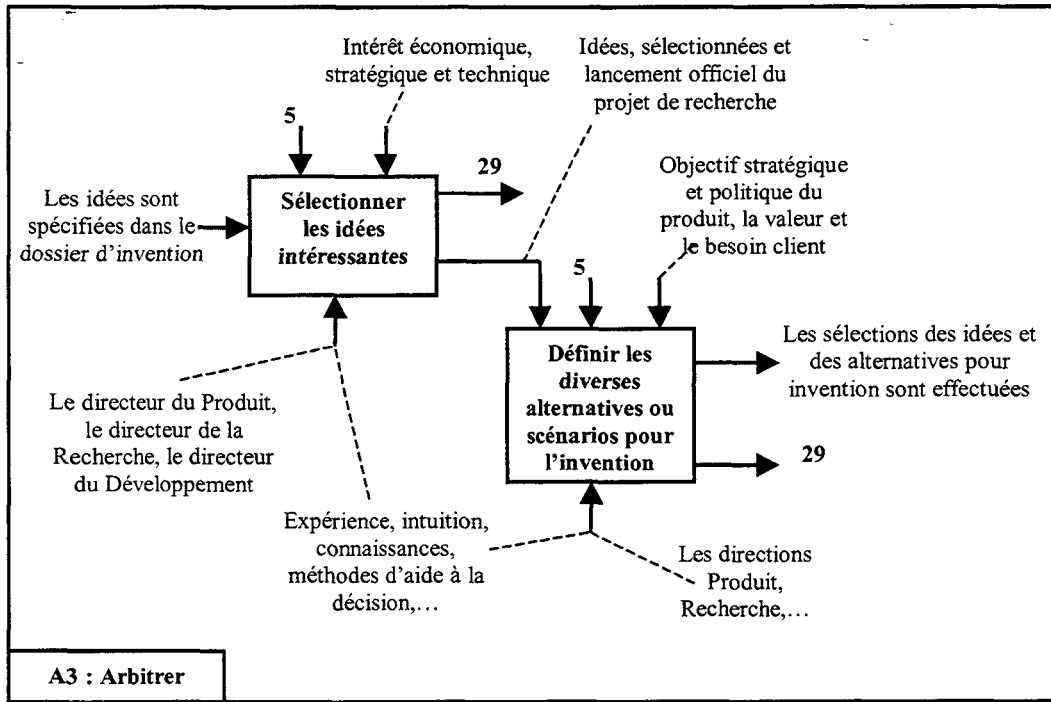


Figure A2 : Activité A3 'Arbitrer'

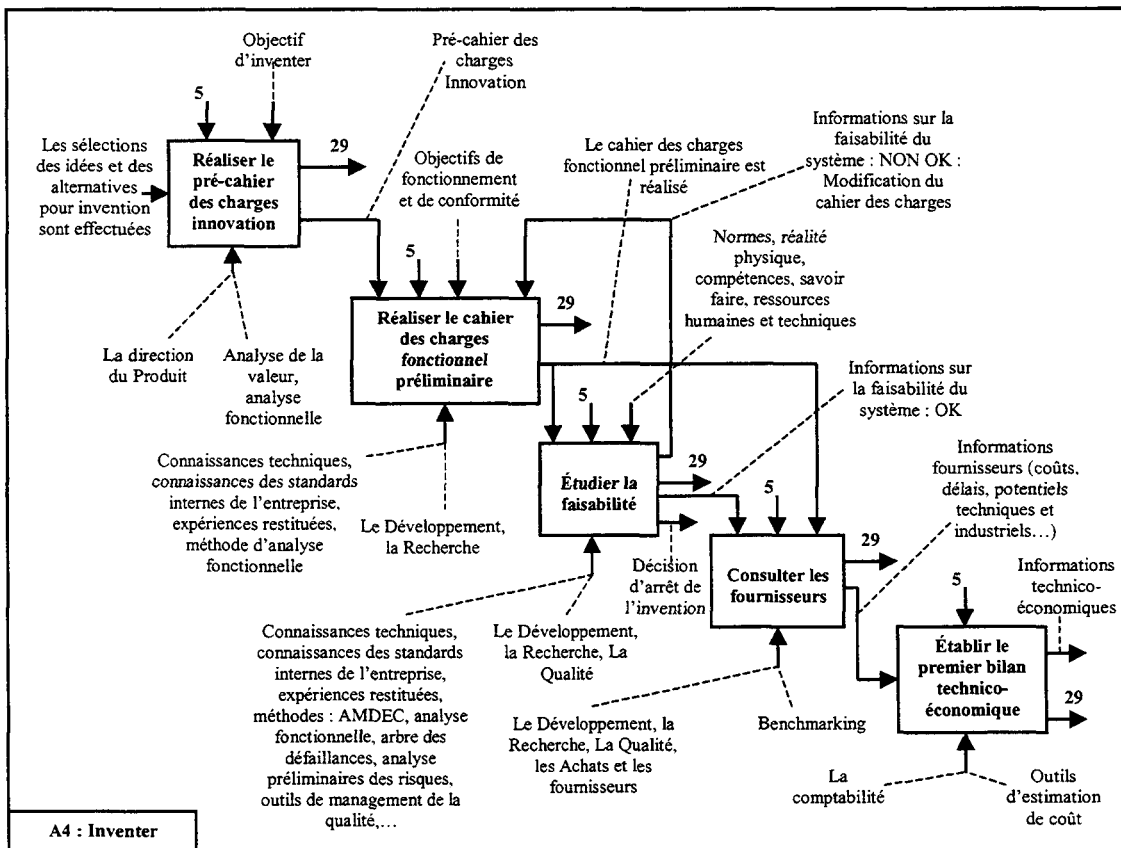


Figure A3 : Activité A4 'Inventer'

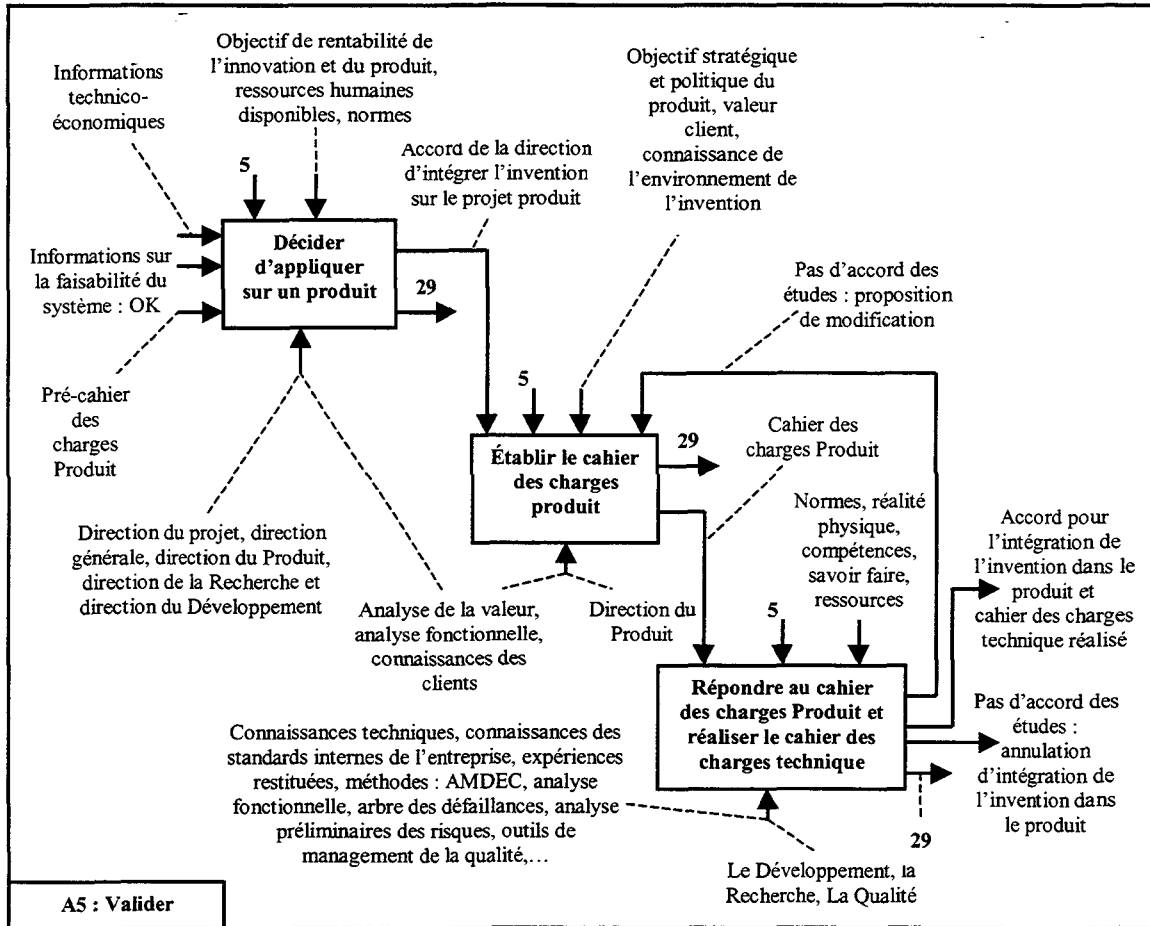


Figure A4 : Activité A5 'Valider'

L'activité A6 'Mettre sur le marché' est présentée en deux parties : Partie gauche et droite.

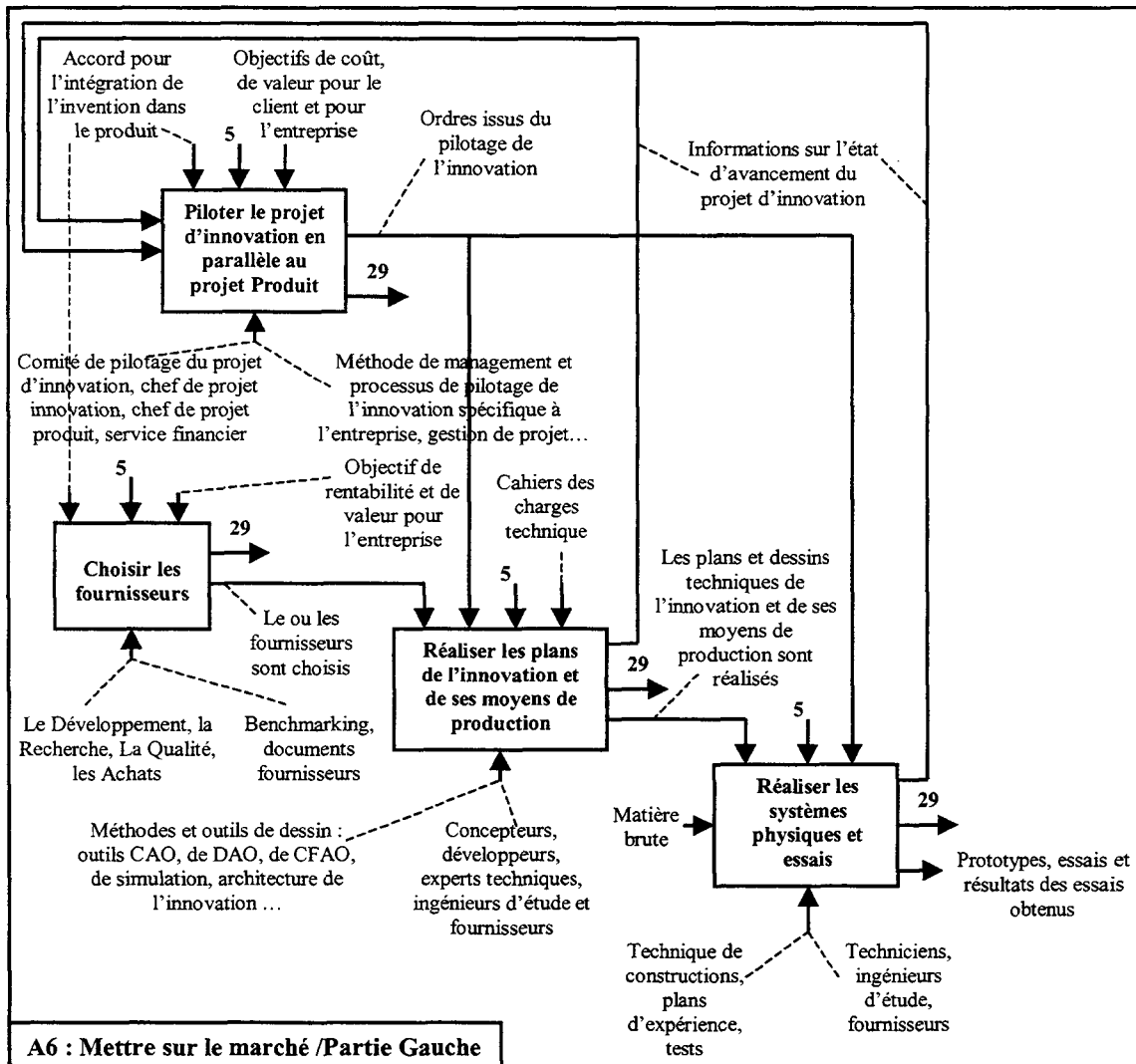


Figure A5 : Activité A6 'Mettre sur le marché' Partie gauche

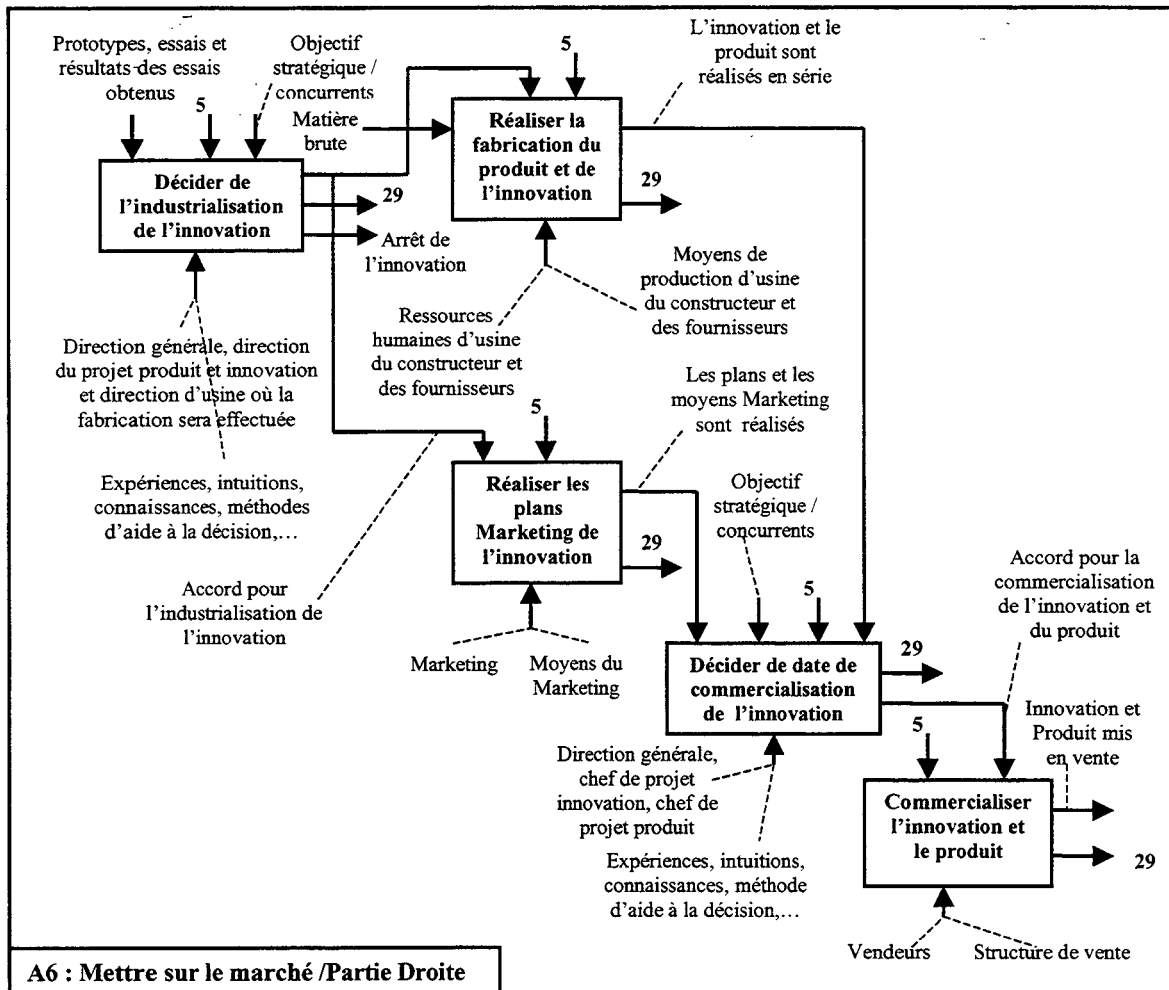


Figure A6 : Activité A6 'Mettre sur le marché' Partie droite

Annexe 3.1 : Guide pour l'étude des impacts d'une innovation

Les risques génériques liés à l'innovation
liés au développement (conception, procédé de fabrication, procédé de conditionnement,...)
industriels (liés à des critères financiers, de logistique, de formation)
organisationnels (perturbation de l'organisation existante durant et après le projet)
de mauvaise perception du besoin de l'utilisateur final, de concepts obsolètes ou trop en avance
du marché (mode de distribution, nouveauté de marché)
de concurrence (effet de temps, obsolescence de la technologie)
de mauvaise image de l'entreprise
de positionnement du nouveau produit par rapport au portefeuille de produits existants
les risques de non-cohérence par rapport au portefeuille de produits
du manque de personnel qualifié
de non-partenariat des employés au projet d'innovation

Figure A7 : Liste des risques

Systèmes/ Événements	Colonne de direction	Neman	Porte	...	Roues	Siège	Vitre
Suppression clé		X					
...							
Suppression serrure			X				
...							
Fonctions/ Événements	Démarrage	Déverrouillage porte	Direction	Eclairage	Motorisation	...	Transmission
Suppression clé	X	X	X				
...							
Suppression serrure		X					
...							
Acteurs/ Événements	Clients	Concepteurs groupe électrique	Concepteurs groupe mécanique	Distributeurs	Fabricants tolerie	Fournisseur systèmes mécaniques	Recycleurs
Suppression clé	X		X	X		X	X
...							
Suppression serrure	X		X		X	X	X
...							

Figure A8 : Matrice d'impacts

Annexe 4.1 : Le modèle processus

Nous détaillons dans cette annexe les éléments constitutifs du modèle processus proposé au chapitre 4.

Les entités du modèle de processus :

- *Les processus* : ce sont les processus liés au produit sur l'ensemble de son cycle de vie, ils sont composés de processus par phase, de sous-processus, d'activités élémentaires. On peut citer pour exemple le processus de fabrication d'un véhicule qui est composé du processus de fabrication du moteur et celui de la caisse.
- *Les fonctions* : ce sont les fonctions que réalisent les processus liés au produit qui sont d'une certaine utilité pour un utilisateur. Exemple : 'Fraisier la culasse du moteur'.
- *Les propriétés* : ils caractérisent les processus. Exemple : le temps de réalisation, les dépenses, les informations traitées et utilisées, le type de matériel, le type d'acteurs, le niveau de coopération et d'interaction avec d'autres processus, le nombre de tâches effectuées, le taux d'échange des informations, la vitesse de réactivité, compétences humaines et matérielles,...
- *Les items de valeur* : les processus sont évalués sur des éléments de valeur perceptible par les acteurs liés aux différentes phases du produit (concepteurs, fabricants, commerçants, distributeurs, transporteurs, client, recycleurs,...). Ces éléments sont nommés ici items de valeur. On trouve pour les processus les items de valeur suivants : l'environnement, le coût, le savoir-faire, la qualité d'échange et de traitements des informations, les délais, ...

Définition détaillée des axes du processus du cycle de vie :

- *L'axe de décomposition* : cet axe permet de construire une structure hiérarchique descendante d'éléments de même nature (processus, fonction, propriété, item de valeur). Un processus peut être décomposé en sous processus élémentaires (relation R13). De même pour les autres entités (relations R14, R15, R16). Exemple : le processus de fabrication du moteur d'un véhicule se décompose en processus de fabrication de ses composants, des processus d'assemblage, d'acheminement des moyens nécessaires (énergie, consommables, ...), ... L'item durée pour le processus de conception du moteur décomposable en durée conception du piston et de celui de la bielle.
- *L'axe de contribution* : l'axe de contribution permet d'identifier la contribution des processus (ou activités) aux fonctions (R17), des fonctions aux propriétés (R18) et des propriétés aux items de valeur (R19). Exemple : la fonction 'fraisage du carter moteur' contribue à la propriété 'connaissance du fraisage' qui contribue lui-même à la valeur 'qualité du fraisage', cet item de valeur fait partie (axe de décomposition) de l'item 'qualité moteur' qui fait lui-même partie de l'item 'qualité produit'.
- *L'axe d'interaction* : cet axe permet d'identifier les interactions entre des éléments de même nature et de même niveau de décomposition. Pour le modèle processus comme pour le modèle produit, il existe également plusieurs types d'interaction comme l'interaction chimique, énergétique, organisationnelle, etc. La modification d'un élément en interaction avec un autre élément va entraîner sa modification et vice-versa. Ceci est valable pour tous les types d'éléments : les processus et activités (R20), les fonctions (R21), les propriétés (R22) et les items de valeur (R23).

Annexe 4.2 : Considérations concernant les règles génériques

Les abréviations utilisées dans cette partie sont : Supp : Suppression ; Mod : Modification partielle ; NF : Non-Fonctionnalité ; X : entité de nature quelconque.

Les considérations sont définies à partir des différentes configurations possibles de propagation sur les trois axes de relations. Les exemples qui nous ont permis de définir l'ensemble des configurations possibles sont présentés sur la figure suivante (figure A9).

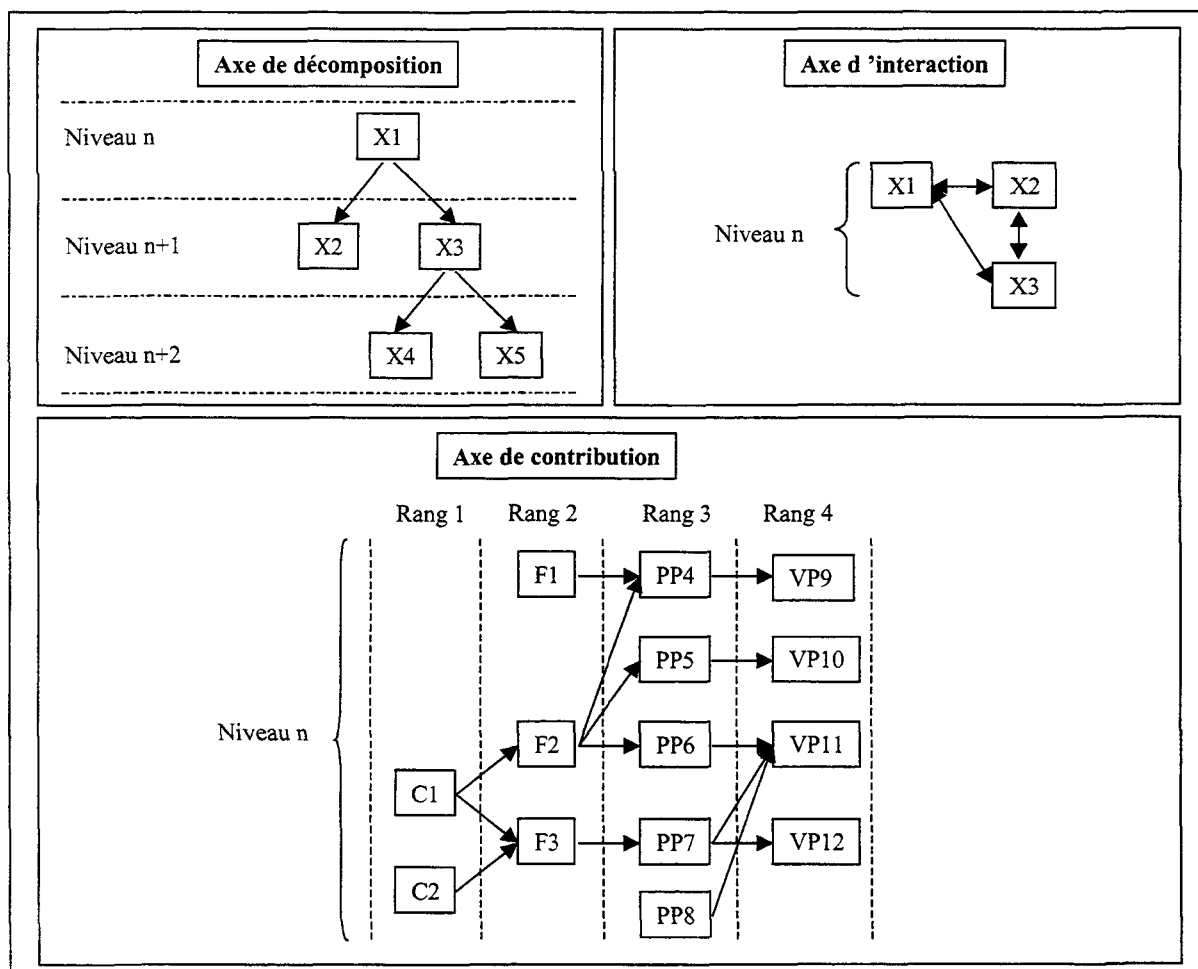


Figure A9 : Exemples sur les trois axes

L'ensemble des considérations établies à partir des configurations possibles sur les trois axes sont définies dans la suite.

Considération concernant l'axe de décomposition

Nous distinguons cinq cas de modification pour cet axe en considérant les notions de modification partielle et de suppression. Voici ces cas :

Cas 1 : Si Supp(X1) alors Supp(X2) et Supp(X3)

Cas 2 : Si Supp(X2) alors Mod(X1) et NF(X1)

Cas 3 : Si Supp(X3) alors Mod(X1) et NF(X1) et Supp(X4) et Supp(X5)

Cas 4 : Si Mod(X1) alors Mod(X2) et Mod(X3)

Cas 5 : Si Mod(X2) alors Mod(X1)

Remarque A1 : La quantification des modifications est calculée à l'aide de la formule du taux de modification donnée au chapitre 4.

Considération concernant l'axe de contribution

L'exemple est basé sur le modèle produit mais reste valable pour le modèle processus. Les caractéristiques intrinsèques des composants physiques sont modifiables mais pas supprimables.

- Cas 1 : Si Supp(C1) alors Supp(F2) et Mod(F3)
Si Supp(F2) alors Supp(PP6) et Supp(PP5) et Mod(PP4) et NF(PP4)
Si Mod(F3) alors Mod(PP7)
Si Supp(PP6) alors Mod(VP11) et NF(VP11)
Si Supp(PP5) alors Supp(VP10)
Si Mod(PP4) alors Mod(VP9)
Si Mod(PP7) alors Mod(VP11) et Mod(VP12)
- Cas 2 : Si Supp(F3) alors Supp(C2) et NF(C1) et Supp(PP7)
- Cas 3 : Si Mod(F3) alors Mod(C1) et Mod(C2)

Considération concernant l'axe d'interaction

- Cas 1 : Si Supp(X1) alors Mod(X2) et Mod(X3) et NF(X2) et NF(X3)
- Cas 2 : Si Mod(X1) alors Mod(X2) et Mod(X3)

Il faut préciser ici que les modifications ne sont pas systématiques, et que leur poids peut être nul (taux de modification entre 0 et 99).

Remarque A2 : Les résultats sont donnés suivant les limites suivantes :

- pour l'axe de décomposition, la recherche est limitée aux niveaux $(n - 1)$ et $(n + 1)$;
- pour l'axe de contribution, la recherche est limitée au niveau n ;
- pour l'axe d'interaction, la recherche est limitée au niveau n .

Ces limites sont respectées dans les recherches d'impacts afin d'éviter de submerger de données l'utilisateur de la méthode et des modèles. Néanmoins, il existe des alternatives et une étude approfondie et complète peut être réalisée pour chaque cas trouvé.

A partir de ces constatations, nous proposons de synthétiser ces informations sous forme de règles génériques.

Règles génériques

Axe de décomposition

Règle 1 :

SI *Suppression* d'une entité X_i de niveau de décomposition n ET SI l'entité X_j de niveau $n + 1$ est reliée par décomposition uniquement à l'entité X_i

ALORS

Suppression de X_j de niveau $n + 1$

FIN SI

Règle 2 :

SI *Suppression* d'une entité X_i de niveau de décomposition n ET SI l'entité X_j de niveau $n - 1$ est reliée par décomposition uniquement à l'entité X_i

ALORS

Suppression de X_j de niveau $n - 1$

FIN SI

Règle 3 :

SI *Suppression* d'une entité X_i de niveau de décomposition n ET SI l'entité X_j de niveau $n + 1$ n'est pas reliée par décomposition uniquement à l'entité X_i

ALORS

Modification de X_j de niveau $n + 1$

FIN SI

Règle 4 :

SI *Suppression* d'une entité X_i de niveau de décomposition n ET SI l'entité X_j de niveau $n - 1$ n'est pas reliée par décomposition uniquement à l'entité X_i

ALORS

Modification de X_j de niveau $n - 1$

Non-Fonctionnalité de X_j de niveau $n - 1$

FIN SI

Règle 5 :

SI *Modification* d'une entité X_i de niveau de décomposition n ET SI l'entité X_j de niveau $n + 1$ est reliée par décomposition à l'entité X_i

ALORS

Modification de X_j de niveau $n + 1$

FIN SI

Règle 6 :

SI *Modification* d'une entité X_i de niveau de décomposition n ET SI l'entité X_j de niveau $n - 1$ est reliée par décomposition uniquement à l'entité X_i

ALORS

Modification de X_j de niveau $n - 1$

FIN SI

Axe de contribution

Règle 7 :

POUR x allant de r à 4

SI *Suppression* d'une entité X_i de niveau de décomposition n et de rang x ET SI l'entité X_j de niveau n et de rang $x + 1$ est reliée uniquement par contribution à l'entité X_i

ALORS

Suppression de X_j de niveau n de rang $x + 1$

FIN SI

FIN POUR

Règle 8 :

POUR x allant de r à 4

SI *Suppression* d'une entité X_i de niveau de décomposition n et de rang r ET SI l'entité X_j de niveau n et de rang $x + 1$ n'est pas reliée uniquement par contribution à l'entité X_i

ALORS

Modification de X_j de niveau n de rang $x + 1$

Non-Fonctionnalité de X_j de niveau n de rang $x + 1$

FIN SI

FIN POUR

Règle 9 :

POUR x allant de r à 4

SI *Modification* d'une entité X_i de niveau de décomposition n de rang x reliée par contribution à une entité X_j de rang $x + 1$

ALORS

Modification de l'entité X_j de niveau n et de rang $x + 1$

FIN POUR

Règle 10 :

POUR x allant de r à 1

SI *Modification* d'une entité X_i de niveau de décomposition n de rang x reliée par contribution à une entité X_j de rang $x - 1$

ALORS

Modification de l'entité X_j de niveau n et de rang $x - 1$

FIN SI

FIN POUR

Axe d'interaction

Règle 11 :

SI *Suppression* d'une entité X_i de niveau de décomposition n reliée par interaction à une entité X_j

ALORS

Modification de X_j de niveau n et

Non-Fonctionnalité de X_j de niveau $n - 1$

FIN SI

Règle 12 :

SI *Modification* d'une entité X_i de niveau de décomposition n reliée par interaction à une entité X_j

ALORS

Modification de X_j de niveau n

FIN SI

Annexe 4.3 : Algorithme et exemples de chaînage

Un moteur d'inférences est un mécanisme qui permet d'inférer (tirer comme conséquence d'un fait) des connaissances nouvelles à partir de la base de connaissances du système. On distingue essentiellement trois modes principaux de fonctionnement des moteurs d'inférences :

- le chaînage avant,
- le chaînage arrière.

Le chaînage avant

Le mécanisme du chaînage avant est simple : pour déduire un fait particulier, on déclenche les règles dont les prémisses sont connues (conditions de la règle sont vraies) jusqu'à ce que le fait à déduire soit également connu ou qu'aucune règle ne soit plus déclenchable (ensemble des règles déclenchables appelé aussi ensemble des conflits). La base de faits est mise à jour avec le fait déduit appelé conclusion. Le schéma suivant présente l'algorithme du chaînage avant.

Exemple : soit la base de faits $BF = \{B, C\}$ et la base de règles composée des règles :

- R1 : Si B et D et E alors F
- R2 : Si G et D alors A
- R3 : Si C et F alors A
- R4 : Si B alors X
- R5 : Si D alors E
- R6 : Si X et A alors H
- R7 : Si C alors D
- R8 : Si X et C alors A
- R9 : Si X et B alors D

L'algorithme précédent appliqué à ces paramètres donne les résultats suivants :

$BF = \{B, C\}$

R4 : Si B alors X

Suppression de la règle R4 dans la base de règles et X nouveau fait

$BF = \{B, C, X\}$

R7 : Si C alors D

Suppression de la règle R7 dans la base de règles et D nouveau fait

$BF = \{B, C, X, D\}$

R5 : Si D alors E

Suppression de la règle R5 dans la base de règles et E nouveau fait

$BF = \{B, C, X, D, E\}$

R1 : Si B et D et E alors F

Suppression de la règle R1 dans la base de règles et F nouveau fait

$BF = \{B, C, X, D, E, F\}$

R3 : Si C et F alors A

Suppression de la règle R3 dans la base de règles et A nouveau fait

$BF = \{B, C, X, D, E, F, H\}$

R6 : Si X et A alors H

Suppression de la règle R6 dans la base de règles et H nouveau fait

...

Le chaînage avant permet de déduire de la base de connaissances, les faits suivants X, D, E, F, H qui augmentent cette base de connaissance.

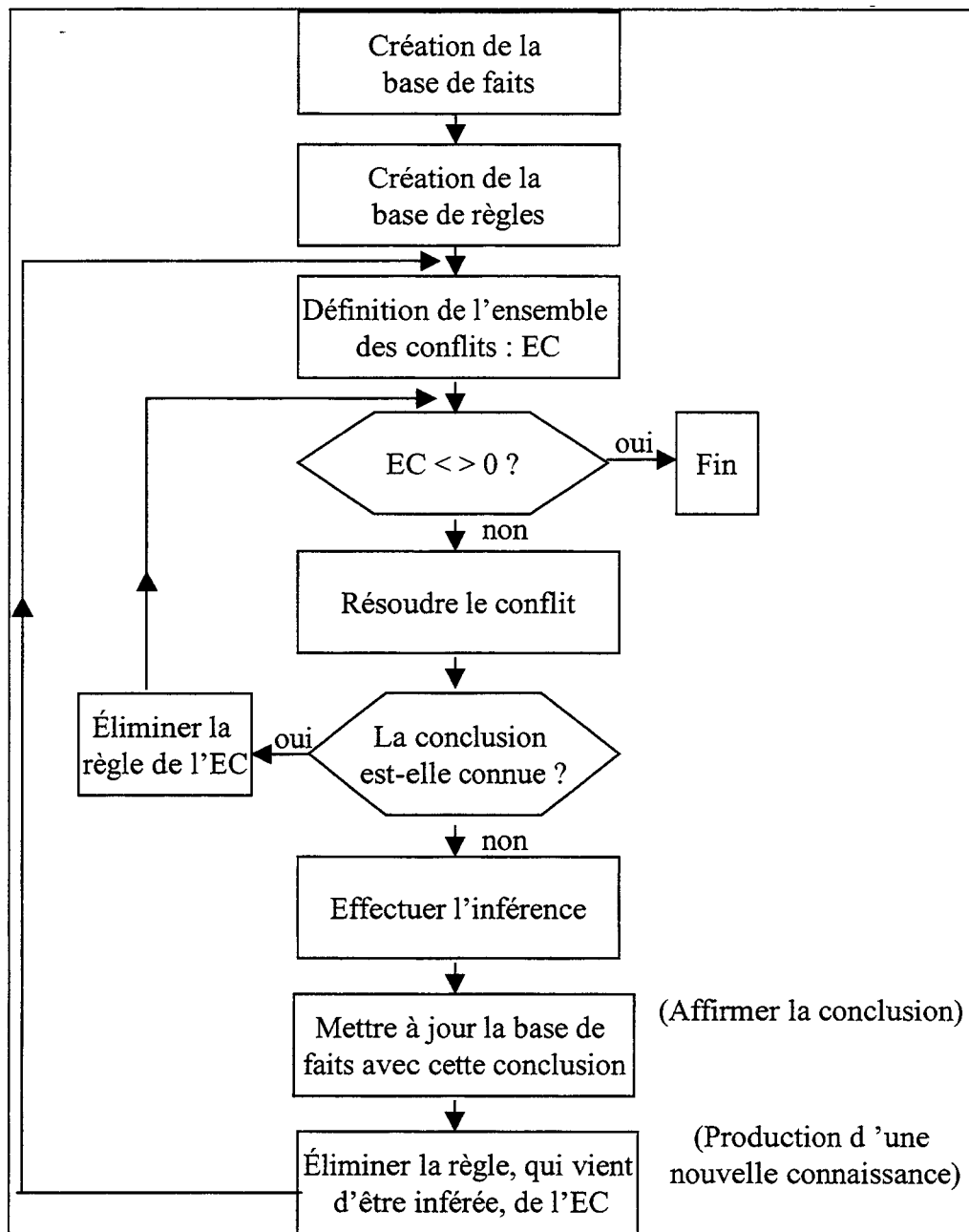


Figure A10 : Algorithme de chaînage avant

Chaînage arrière

Le mécanisme de chaînage arrière consiste à partir du fait que l'on souhaite établir, à rechercher toutes les règles qui concluent sur ce fait, à établir la liste des faits qu'il suffit de prouver pour qu'elles puissent se déclencher puis à appliquer récursivement le même mécanisme aux faits contenus dans ces listes. L'algorithme de chaînage arrière est nettement plus compliqué que le précédent et par conséquent, nous ne présentons ici qu'un exemple. Le lecteur trouvera l'algorithme de chaînage arrière dans [Chatain et al., 87].

Exemple :

La recherche de la démonstration au travers des règles peut être effectuée suivant plusieurs stratégies :

- stratégie de choix des buts,
- stratégie en profondeur d'abord,
- stratégie en largeur d'abord,
- stratégie du choix d'une règle dans l'ensemble des conflits.

La stratégie employée dans l'exemple qui suit est celle de la largeur d'abord, c'est-à-dire celle qui consiste à scruter d'abord toutes les règles permettant de démontrer un fait, au lieu de scruter en profondeur c'est-à-dire d'étudier d'abord chaque règle dans le détail.

Nous reprenons l'exemple précédent avec comme but la démonstration de H.

Pour démontrer H, il faut, d'après la règle R6, démontrer X et A.

X et A deviennent des sous-buts qui sont placés dans la pile de but.

Pour démontrer X, il faut, d'après la règle R4, démontrer B.

B devient un sous-but qui est placé dans la pile de but.

B est démontré car il fait partie de la base de faits et par conséquent X est démontré.

Pour démontrer A, il faut, d'après la règle R2, démontrer G et D.

Pour démontrer A, il faut, d'après la règle R3, démontrer C et F.

Pour démontrer A, il faut, d'après la règle R8, démontrer X et C.

X et C deviennent des sous-buts qui sont placés dans la pile de but.

X et C sont démontrés car ils font partie de la base de faits et par conséquent A est démontré.

Comme X et A sont démontrés alors H est démontré.

Annexe 4.4 : Règles spécifiques à chaque paramètre (W,X,Y,Z)

La figure suivante (figure A11) présente l'ensemble des bornes acceptables par type de relation avec les indices suivants :

- i : nombre total de Composant physique C,
- j : nombre total de Fonction Produit FP,
- k : nombre total de Propriété Produit PP,
- n : nombre total d'item de Valeur Produit VP,
- s : nombre total de Processus P,
- t : nombre total de Fonction Processus FPR,
- u : nombre total de Propriété Processus PPR,
- v : nombre total d'item de Valeur Processus VPR.

W	X	Y	Z
$[C_0, C_i]$	$[C_0, C_i]$	R1	[1,100]
$[FP_0, FP_j]$	$[FP_0, FP_j]$	R2	[1,100]
$[PP_0, PP_k]$	$[PP_0, PP_k]$	R3	[1,100]
$[VP_0, VP_n]$	$[VP_0, VP_n]$	R4	[1,100]
$[C_0, C_i]$	$[FP_0, FP_j]$	R5	[1,100]
$[FP_0, FP_j]$	$[PP_0, PP_k]$	R6	[1,100]
$[PP_0, PP_k]$	$[VP_0, VP_n]$	R7	[1,100]
$[C_0, C_i]$	$[C_0, C_i]$	R8	[1,100]
$[FP_0, FP_j]$	$[FP_0, FP_j]$	R9	[1,100]
$[PP_0, PP_k]$	$[PP_0, PP_k]$	R10	[1,100]
$[VP_0, VP_n]$	$[VP_0, VP_n]$	R11	[1,100]
$[C_0, C_i]$	$[P_0, P_s]$	R12P	[1,100]
$[FP_0, FP_j]$	$[P_0, P_s]$	R12S	[1,100]
$[P_0, P_s]$	$[P_0, P_s]$	R13	[1,100]
$[FPR_0, FPR_t]$	$[FPR_0, FPR_t]$	R14	[1,100]
$[PPR_0, PPR_u]$	$[PPR_0, PPR_u]$	R15	[1,100]
$[VPR_0, VPR_v]$	$[VPR_0, VPR_v]$	R16	[1,100]
$[P_0, P_s]$	$[FPR_0, FPR_t]$	R17	[1,100]
$[FPR_0, FPR_t]$	$[PPR_0, PPR_u]$	R18	[1,100]
$[PPR_0, PPR_u]$	$[VPR_0, VPR_v]$	R19	[1,100]
$[P_0, P_s]$	$[P_0, P_s]$	R20	[1,100]
$[FPR_0, FPR_t]$	$[FPR_0, FPR_t]$	R21	[1,100]
$[PPR_0, PPR_u]$	$[PPR_0, PPR_u]$	R22	[1,100]
$[VPR_0, VPR_v]$	$[VPR_0, VPR_v]$	R23	[1,100]

Figure A 11 : Bornes acceptables par type de relation

Annexe 5.1 : Les scénarios d'innovation

Les différents scénarios concernant l'innovation 'véhicule sans clé' qui ont été étudiés par les concepteurs sont les suivants :

- *Scénario 1 / Scénario de référence* : pas d'innovation sur le système verrouillage/démarrage du véhicule (Laguna).
- *Scénario 2* : Innovation permettant: la mémorisation des informations concernant la position des rétroviseurs, de la température, des stations de radio préférées, de la position des sièges...ainsi que des informations techniques concernant le véhicule : kilomètres, révisions, carnet de santé véhicule, historique véhicule (entretien, diagnostic...). La description technique des fonctions présentées dans ce scénario 2 est réalisée dans la présentation du scénario 3.

- *Scénario 3 : Scénario avec innovation 'véhicule sans clé'*

Le système est composé :

- d'une carte,
- d'un bouton déverrouillage portes (bouton 'push') et insert de secours,
- d'un lecteur de carte en façade dans la planche de bord (PdB),
- d'un système d'authentification de type transpondeur crypté,
- d'un commutateur de démarrage (bouton poussoir sur PdB),
- d'un dispositif de blocage électrique de la direction (colonne avec antivol électrique),
- d'un émetteur radio- fréquence,
- d'un récepteur radio- fréquence,
- d'un calculateur multifonction « habitacle » appelé ' UCH',
- d'une mémoire personnalisée qui contient les informations liées au véhicule,
- d'une serrure porte,
- de poignées de porte.

Le cahier des charges :

- La carte doit ressembler à une carte de crédits.
- Elle doit être d'épaisseur faible.
- Elle doit comporter une télécommande Radio-fréquence.
- L'emplacement de la zone à appuyer doit être facilement repérable sur la carte.
- La carte introduite dans une fente dans la planche de bord doit être directement accessible par le client.
- Le lecteur de carte doit être orienté et mis en évidence pour être vu par le conducteur.
- La fente doit être éclairée la nuit et doit comporter un volet .
- La carte doit s'escamoter totalement dans la fente.
- L'introduction doit permettre une libération du mécanisme qui bloque le levier de vitesse ou la colonne de direction conformément à la législation.
- L'introduction doit permettre d'actionner un bouton pour démarrer le moteur.
- Le fonctionnement anti-démarrage moteur sera assuré simplement par l'introduction de la carte (lecteur de puce, transpondeur).
- La coupure du moteur via l'interrupteur ou le bouton rotatif commandera alors l'éjection de la carte.
- Le retrait de la carte doit être possible avec une seule main.
- Les constructeurs demandent que cette carte puisse servir de support d'acquisition de paramètres aussi bien pour le client (mémorisation de la position des rétroviseurs, de

la température, des stations de radio préférées, de la position des sièges...) que pour le véhicule (kilomètres, révisions...).

Le mode de fonctionnement normal : le client appuie sur le bouton situé sur la carte pour décondamner le véhicule à distance, il entre dans le véhicule, il introduit sa carte dans un réceptacle appelé lecteur de carte, l'authentification de la carte provoque le déblocage électrique de la colonne de direction. Pour démarrer, le client tourne un commutateur de démarrage, le démarrage n'est autorisé que si : le dispositif de déblocage est débloqué et le calculateur d'injection moteur a reconnu le code. Lorsque l'autorisation est OK, la carte est immobilisée dans sa position. Au cours de l'utilisation normale du véhicule, la zone mémoire de la carte est mise à jour si nécessaire. Le moteur s'arrête lorsque le client tourne le commutateur et que celui-ci quitte la position B (retour vers 0), la carte est débloquée lorsque la position A (position 0) est obtenue, le dispositif de blocage de direction s'actionne dès que le client retire sa carte de plus de 2mm, pour verrouiller le véhicule, le client appuie sur le bouton de la carte.

Le mode de fonctionnement en cas de panne de piles de la carte : nécessité d'utiliser la clé mécanique de secours et le verrou de secours de la porte conducteur, les autres opérations sont identiques au cas précédent.

Le mode de fonctionnement de secours en cas de panne batterie véhicule : nécessité d'utiliser la clé mécanique de secours et le verrou de secours de la porte conducteur, la direction ne peut pas se débloquent tant qu'il n'y a pas de tension de bord. Donc, la direction reste bloquée si on essaie de démarrer en poussant le véhicule.

- *Scénario 4 : Scénario 'accès mains libres' ('véhicule sans clé')*

La carte est plus épaisse pour le récepteur boutons pour forçage à l'utilisation. L'utilisateur est reconnu à l'approche du véhicule (détecteur de proximité) mais les portes restent condamnées. Le déverrouillage est effectué quand l'utilisateur active une des poignées de porte. Le temps de réponse doit être imperceptible. Le démarrage du véhicule ainsi que l'arrêt du moteur est réalisé par appui sur le bouton poussoir marche/ arrêt. Le verrouillage véhicule est réalisé par la condamnation des ouvrants 'mains libres' si l'utilisateur est placé à plus de 5 mètres du véhicule (verrouillage : action des clignotants ou bip sonore).

- *Scénario 5 : Scénario 'badge mains libres' Ou interactif : ('véhicule sans clé')*

Rendre totalement transparente l'utilisation de la carte. La carte pourrait alors avoir une épaisseur légèrement plus importante mais de même format. A l'approche du véhicule le client est reconnu et la voiture se décondamnera si action sur un des ouvrants quelconques. Le temps de réponse doit être imperceptible par le client. Une fois dans le véhicule le client est reconnu. Par simple action sur un interrupteur ou bouton approprié pourra alors déclencher le moteur ou écouter la radio. Le badge est à détecter même s'il se trouve à l'arrière d'un pantalon.

Annexe 5.2 : Méthode des plans d'expériences

Les essais de mise au point d'un produit ou d'un processus font partie intégrante du métier des ingénieurs et des techniciens d'études et de fabrication. Ceux-ci sont fréquemment amenés à rechercher les valeurs des paramètres qui définissent les produits (cotes dimensionnelles, composition des matières utilisées, etc.) ou les paramètres de réglage des moyens de production (pression d'injection de matière plastique, tension de courant d'une électrolyse, etc.) afin d'obtenir les performances désirées.

La démarche qui vient naturellement à l'esprit est d'essayer un seul paramètre à la fois. Chaque nouvel essai découle des observations faites lors du ou des précédents essais. Mais, on ne sait pas à l'avance combien d'essais seront nécessaires. Or, il est possible d'aboutir plus vite et à un moindre coût à des meilleurs résultats, en bâtissant des plans d'expériences.

Un plan d'expériences est une suite d'essais entièrement organisés à l'avance de manière à déterminer, en un minimum d'essais et avec un maximum de précisions, l'influence des différents paramètres possibles, pour optimiser les performances du système étudié. Ces plans ont été développés au début du siècle par un anglais Ronald A Fisher, et un français Jacques Hadamard. Mais leurs caractéristiques ont relativement peu pénétré le domaine industriel du fait de leur caractère trop théorique et de la complexité de leur mise en œuvre.

La méthode classique des plans d'expériences ne considère que les valeurs moyennes des caractéristiques à optimiser. On la complète parfois par une analyse de la variance des différents facteurs testés.

Une des contributions de G. Taguchi (docteur japonais diplômé des sciences de l'université de Kyushu) parmi les plus remarquables est d'avoir vulgarisé les techniques des plans d'expériences, en traitant conjointement la moyenne et la variabilité des valeurs des caractéristiques mesurées et en proposant une panoplie de plans standard auxquels sont associés des dispositifs pratiques, permettant de les adapter vite et sans se tromper aux besoins réels. Une grande partie de l'aspect statistique est ainsi simplifié ou éliminé.

Les plans d'expériences Taguchi utilisent des indicateurs de performance, les ratios signal / bruit qui prennent simultanément en compte :

- La valeur désirable (le signal) à atteindre
- La variabilité indésirable de cette valeur (le bruit), à combattre

L'utilisation de cet indicateur de performance, exprimé en dB, permet de «donner un taux de confiance aux résultats» et de trouver du premier coup la combinaison des niveaux des facteurs contrôlés (sur lesquels on peut agir) qui s'avère la plus insensible aux facteurs bruits (impossibles ou coûteux à contrôler).

Description de la méthode

- Dans un premier temps, il faut définir les objectifs, et la manière dont on va mesurer les résultats.
- La deuxième étape consiste à établir une liste des paramètres (que l'on appellera facteurs par la suite) qui interviennent ou supposé intervenir sur le système étudié. Ce travail est souvent réalisé en groupe (Brainstorming).
- La troisième étape est souvent un peu délicate car il faut prévoir les interactions qui peuvent exister entre les facteurs de la liste précédente (Une interaction est deux facteurs qui se potentialisent. L'effet des 2 facteurs sur le système est supérieur à la somme des 2 facteurs pris individuellement).

- La quatrième étape est la construction de la matrice d'expérience. On commence par sélectionner les facteurs qui peuvent être maîtrisés, et dont l'influence est supposée significative.
- La cinquième étape est la réalisation des essais qui sont définis dans des tableaux.
- La sixième étape est le calcul des effets des facteurs et des interactions. Chaque essai correspond à une équation où les inconnues sont les facteurs et y le résultat de l'essai, dont voici un exemple de modèle : $y_1 = Y - a - b - c - d + ab + ac + bc$ et $y_2 = Y + a - b - c + d - ab - ac + bc$, Y : moyenne des essais, a : effet du facteur A, b : effet du facteur B...
- La septième consiste en l'interprétation des résultats. Celle-ci demande toute l'expérience et la compétence de l'expert qui pourra déterminer si un effet est bien significatif, si une interaction n'a pas été négligée à tort, si les résultats ne sont pas affectés d'une dérive, si aucun facteur n'a été oublié. Cette partie de l'étude fait appel aux outils statistiques, dont voici une rapide présentation : moindre carré, variance globale et résiduelle, variance entre échantillon, analyse de la variance, test de Snedecor, rapport signal / bruit, etc.
- La huitième étape découle de la précédente. L'expert, à partir de ses conclusions sur le premier plan d'expériences, décide de réaliser soit quelques expériences supplémentaires, soit un deuxième plan d'expérience complémentaire, afin de lever les ambiguïtés entre facteurs et interactions. Il peut aussi décider d'un nouveau plan d'expériences où certains facteurs seront abandonnés et d'autres rajoutés à l'étude. Il peut aussi resserrer ou élargir l'écart entre les niveaux ou encore les décaler.

Nous allons illustrer l'intérêt des plans d'expériences et en particulier de la méthode Taguchi à l'aide de l'exemple décrit dans le paragraphe suivant.

Exemple

Une entreprise fabricant des tuiles modifie son processus de cuisson. Auparavant, cette opération s'effectue dans des fours chauffés au bois, alimentés manuellement pendant toute la durée de la cuisson, et ceci sans problème de qualité.

L'usine décide d'acheter en Allemagne un four tunnel chauffé au fuel. Les tuiles sont empilées sur des wagonnets qui circulent à travers le four où elles étaient soumises à la cuisson. Dès la mise en service du four, les ingénieurs constatent un phénomène étrange :

- les tuiles placées sur la périphérie de l'empilement ne cuisent pas uniformément et sortent du four à des largeurs très variées dont la moyenne atteint la limite supérieure de tolérance,
- en revanche, les largeurs des tuiles placées au centre de l'empilement sont beaucoup plus régulières et leur moyenne conforme à la norme spécifiée.

Il est impossible d'ignorer le problème des rebuts et le manque de productivité car ils coûtent très cher. D'autre part, les modifications de conception nécessaires à l'élimination de l'hétérogénéité des températures à l'intérieur du four représentent un coût prohibitif, d'autant plus que la trésorerie de l'entreprise a été asséchée par l'achat du four.

La maîtrise des températures du four n'étant économiquement pas envisageable, le four est considéré comme étant un facteur bruit, et il devient nécessaire d'identifier les facteurs contrôlables, susceptibles d'avoir un effet sur la dimension des tuiles.

Sept facteurs sont retenus, chacun devant être testé à deux niveaux de valeurs différentes : la valeur actuelle et une autre valeur estimée techniquement acceptable.

Facteurs à tester	Niveau 1	Niveau 2
A : quantité de pierre à chaux	5%	1% (actuel)
B : granulométrie des additifs	Grossière (actuelle)	Fine
C : quantité d'agglomérant	43%	53% (actuel)
D : type d'agglomérant	Nouveau	Actuel
E : lot de chargement	1300	1200 (actuel)
F : quantité de rebroyé	0% (actuel)	4%
G : quantité de feldspath	5% (actuel)	0%

Figure A12 : Facteurs et niveaux retenus pour l'étude

En utilisant la méthode des plans d'expériences classique, toutes les combinaisons possibles des niveaux des 8 facteurs sont étudiées. Or, un plan complet avec 7 facteurs à 2 niveaux requiert $2^7 = 128$ essais. On peut observer que le nombre d'essais suit une progression géométrique en fonction du nombre croissant de facteurs. En effet, avec un facteur de plus (soit 8 au total), $2^8 = 256$ essais sont nécessaires. Avec les 7 facteurs initiaux, mais variant à 3 niveaux au lieu de 2, un plan nécessite $3^7 = 2187$ essais. Finalement, les plans d'expériences complets sont théoriquement parfaits, mais les calculs deviennent prohibitifs lorsque l'on dépasse 3, 4 facteurs ou 4, 5 niveaux.

Le plan d'expériences Taguchi équivalent ne comprend que 8 essais, soigneusement sélectionnés parmi les 128 du plan précédent. L'usine conduit alors 8 essais selon le plan d'expériences Taguchi ci-dessous.

N° essai	Facteurs essayés							Résultat de l'essai
	A	B	C	D	E	F	G	
1	1	1	1	1	1	1	1	16%
2	1	1	1	2	2	2	2	17%
3	1	2	2	1	1	2	2	12%
4	1	2	2	2	2	1	1	6%
5	2	1	2	1	2	1	2	6%
6	2	1	2	2	1	2	1	68%
7	2	2	1	1	2	2	1	42%
8	2	2	1	2	1	1	2	26%

Figure A13 : Le plan d'expériences Taguchi de l'étude

Cette matrice comprend :

- une colonne pour chacun des 7 facteurs ; dans cette colonne les deux niveaux à tester sont identifiés par des chiffres 1 ou 2,
- une ligne pour chacun des 8 essais ; elle indique la combinaison des niveaux des facteurs à tester,

- la colonne de droite permet d'enregistrer les résultats relatifs aux 8 essais, exprimés par le pourcentage de tuiles situées en dehors des tolérances admises.

Par exemple, sur la première ligne, l'essai n°1 est effectué avec tous les facteurs réglés au niveau 1 ; le résultat obtenu est 16%. A la troisième ligne, le résultat 12% de l'essai n°3 est obtenu avec les facteurs A, D et E au niveau 1 et les facteurs B, C, F et G au niveau 2.

On peut observer que :

- chacun des facteurs est effectué avec une combinaison différente des niveaux des facteurs,
- chaque niveau est combiné à chaque niveau des autres facteurs, et ce, un nombre égal de fois.

Par exemple :

- quand A est au niveau 1, c'est à dire dans les 4 premiers essais, on trouve 2 fois B au niveau 1 et 2 fois B au niveau 2,
- quand A est au niveau 2, c'est à dire dans les 4 derniers essais, on trouve également 2 fois au niveau 1 et 2 fois au niveau 2.

Grâce à cette caractéristique fondamentale des plans d'expériences, les effets des autres facteurs B, C, D..., G interviennent avec le même poids pour chacun des niveaux A1 et A2. Les pourcentages moyens de rebuts lorsque le facteur A est au niveau 1, puis au niveau 2, sont alors donnés par :

$$A1 = \frac{16 + 17 + 12 + 6}{4} = 12,75$$

$$A2 = \frac{6 + 68 + 42 + 26}{4} = 35,50$$

Les techniciens de l'usine calculèrent ainsi les pourcentages moyens de rebuts pour les 2 niveaux des 6 autres facteurs, et les récapitulèrent dans le tableau suivant :

Facteurs		A	B	C	D	E	F	G
% rebuts	Niv 1	12,75	26,75	2525%	19	30,5	13,5	33
	Niv 2	35,5	21,5	2300%	29,25	17,75	34,75	15,25
Différence		-22,75	5,25	2,25	-1025%	12,75	-21,25	17,75

Figure A14 : Résultats de l'étude

Ils comparèrent ainsi le facteur A (la quantité de pierre à chaux) avait l'effet le plus important, et que le niveau 1 était le plus favorable pour réduire le pourcentage de rebuts. Venaient ensuite les facteurs F au niveau 1, G au niveau 2, etc.

La configuration optimale des niveaux des différents facteurs fut alors choisie : **A1 B2 C2 D1 E2 F1 G2**

Annexe P.1 : Optimisation du profit à l'aide du modèle 4 de la méthode E.E.M.C.I.

Nous proposons le schéma suivant (figure A15) représentant le calcul du profit à partir d'une conception à coût objectif.

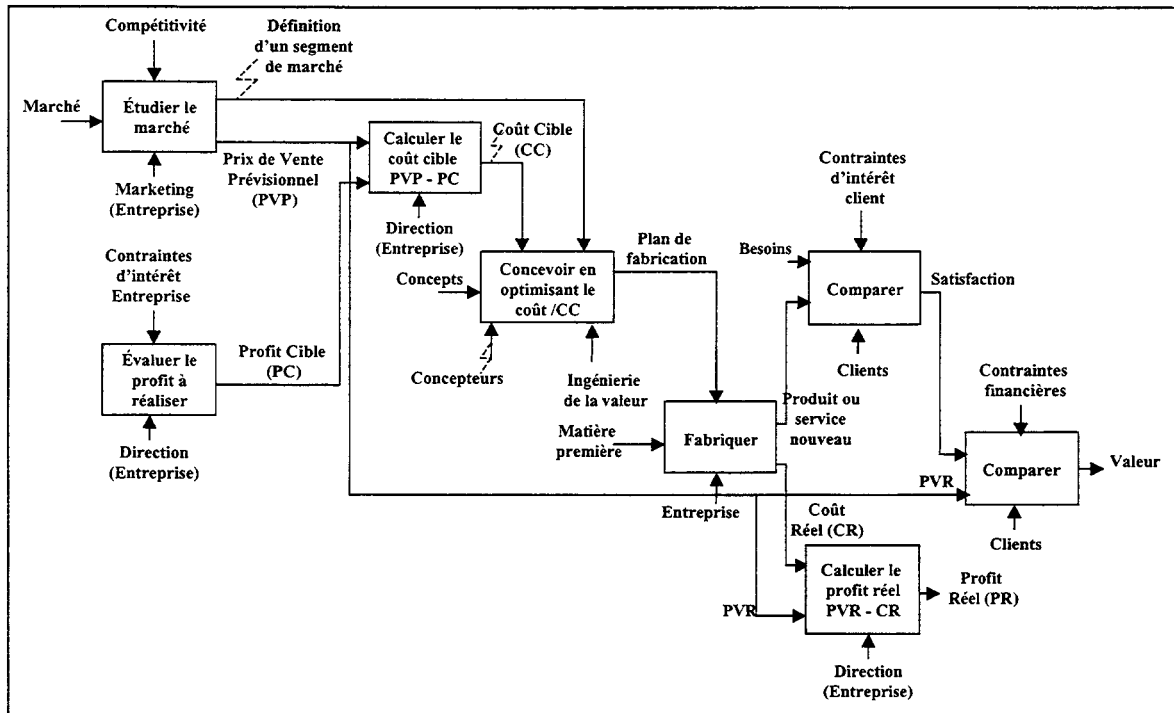


Figure A 15 : Conception à coût objectif

Les abréviations sont les suivantes :

- PVP : Prix de Vente Prévisionnel des futurs produits du marché (études de marché),
- PC : Profit Cible obtenu à partir de la planification stratégique de l'entreprise,
- CC : Coût Cible est obtenu par simple soustraction entre le prix vente prévisionnel et le profit cible au niveau du produit fini ($CC = PVP - PC$).
- PVR : Prix de Vente Réel des produits sur le marché,
- CR : Coût Réel obtenu après fabrication et mise sur le marché du nouveau produit,
- PR : Profit Réel est obtenu par soustraction entre le prix de vente et le coût réel ($PR = PVR - CR$).

A partir de l'équation précédente, si une entreprise veut obtenir un profit supérieur au profit réel il faut :

- soit un coût réel (CR) inférieur au coût cible (CC) avec un prix de vente réel (PVR) égal au prix de vente prévisionnel (PVP) : $CR < CC$ et $PVR = PVP$,
- soit un coût réel (CR) égal au coût cible (CC) avec un prix de vente réel (PVR) supérieur au prix de vente prévisionnel (PVP) : $CR = CC$ et $PVR > PVP$,
- soit un coût réel (CR) inférieur au coût cible (CC) avec un prix de vente réel (PVR) supérieur au prix de vente prévisionnel (PVP) : $CR < CC$ et $PVR > PVP$.

Le premier cas peut-être réalisé par différentes méthodes d'optimisation de conception (Ingénierie de la valeur)[Lorino, 97]. Les deux autres cas traitant de la variation possible du prix de vente ne sont pas envisageables pour le moment car le prix est directement imposé par le marché.

Notre modèle 4 (prix de vente / variation de valeur) vise à maîtriser plus que de subir le prix du marché en identifiant les leviers d'actions. La méthode E.E.M.C.I. utilisant le modèle 4 permet d'estimer le prix de vente prévisionnel en fonction des caractéristiques du produit et permet aux concepteurs et ingénieurs (qui n'ont, par le biais du Marketing, qu'une vague idée du secteur du marché sur lequel ils ne peuvent agir) d'agir sur le prix de vente en connaissant les facteurs influant de celui-ci.

Un autre avantage de ce modèle est de permettre de définir les besoins implicites et d'anticiper ces besoins. Nous proposons le schéma suivant (figure A16) représentant le calcul du profit à partir d'une conception à coût objectif utilisant notre modèle 4.

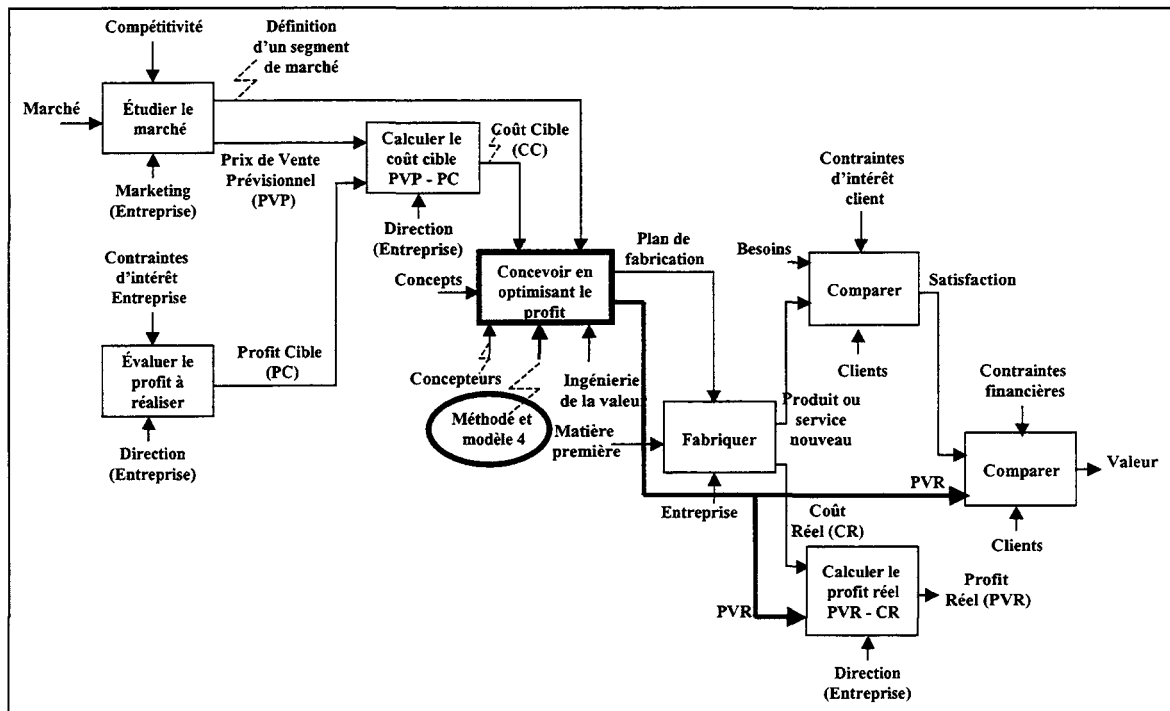


Figure A16 : Conception à coût objectif avec modèle 4

Annexe P.2 : Guide d'innovation 2 : Arbre des situations

Dans le but d'améliorer les connaissances sur les processus sur l'ensemble de cycle de vie du produit existant, nous développons actuellement une méthode permettant d'étudier les diverses situations dans lesquelles se trouve un produit (normales ou dégradées). Cette méthode permet de hiérarchiser ces situations. Elle est appelée : arbre des situations. Cette méthode permet de :

- rechercher les différentes situations liées à un produit,
- identifier les processus et les activités liés à ces situations, ainsi que les ressources associées aux activités,
- définir les items de valeur et les coûts des processus,
- calculer la probabilité d'apparition de ces situations,
- définir l'importance de chacun des items de valeur,
- préciser la valeur des items de valeur.

Exemple : la crevaison d'un véhicule (mode de fonctionnement dégradé) :

- Les processus sont : le changement du pneu, amener le pneu chez le garagiste, réparer le pneu.
- Le processus de changement du pneu est constitué des activités suivantes : prendre la clé, desserrer la roue, mettre le cric, monter la voiture, ...
- Les items de valeurs sont : perte de temps, les conditions de l'intervention (salissure, effort nécessaire...)
- Les coûts sont : coût de réparation du pneu.

La figure suivante (figure A17) représente une liste de paramètres de valeur liés à la crevaison avec un coefficient d'importance en fonction du type de personne interrogé.

Valeurs	Homme / Femme	Homme / Femme agés	Homme / Femme utilisant le véhicule souvent
Danger	9	9,4	9
Risque	7	7,5	6
Perte de temps	5	3	9
Volume occupé par la roue de secours	3	3	7,5
Poids de la roue de secours	3	3	5
Niveau de salissure des mains et parfois des vêtements	3	3,5	6
Effets des conditions météo sur le confort d'intervention (pluie : trempé, chaleur : transpiration, effort, fatigue,...)	3	4	6
Coût	3	5,5	6
Autres	4	4	5

Figure A17 : Paramètres de valeur liés à la crevaison

A cela, il est possible d'ajouter la probabilité d'apparition de l'événement. La combinaison de la probabilité de l'événement et du degré d'importance du problème donnera une estimation de la valeur du problème.

Annexe P.3 : Guide d'innovation 3 : Analyse multicritère

Les modèles utilisés dans la méthode E.E.M.C.I. définissent les relations entre les caractéristiques d'une innovation (définie de manière générale, en utilisant les informations de valeur, de technologie, physiques ou événementielles) et certains indicateurs de performance de l'entreprise tels que les coûts sur le cycle de vie, les critères sociaux (emplois), la satisfaction client et valeur interne et externe de l'entreprise, etc.

A partir de ces modèles, il est possible de déterminer les valeurs particulières des caractéristiques d'une innovation conférant des résultats optimaux en fonction de l'importance de chacun des indicateurs (poids) et de leurs relations définies par les décideurs.

Ceci est possible en utilisant l'analyse multicritère et les méthodes associées (pondération, surclassement : ELECTRE, PROMETHEE [Pomerol et al., 93]). Pour notre étude nous avons choisi d'utiliser la méthode multicritère de la somme pondérée avec les modèles 1 à 7 (cf. chapitres 3 et 4). Nous considérons trois cas d'optimisation :

- cas 1 : optimisation 'partielle' (la meilleure des solutions proposées),
- cas 2 : optimisation 'globale' (la meilleure de toutes les solutions possibles, relatives aux critères spécifiés),
- cas 3 : optimisation 'globale satisfaisante' (les meilleures de toutes les solutions possibles, relatives aux critères spécifiés).

L'optimisation 'partielle' consiste à déterminer la meilleure solution entre plusieurs scénarios envisagés en conception. L'exemple présenté par le schéma ci-dessous (figure A18) montre que le scénario 3 totalise un score de 45 ce qui permet de le désigner comme étant la meilleure solution relativement aux poids et aux critères spécifiés.

	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4	Scénario 5
Valeurs	32	35	45	18	26

Figure A18 : Exemple d'optimisation 'partielle'

Le but de l'optimisation 'globale' est de trouver la meilleure de toutes les solutions possibles, le scénario idéal (relatif aux critères spécifiés). L'idéal trouvé, il sera alors envisageable de déterminer, par calcul, les paramètres de l'innovation permettant d'obtenir celui-ci. La figure A19 ci-dessous présente un exemple montrant les valeurs (Produit, Assez fort,...) des paramètres (Nature, Degré...) pour lesquelles la solution est optimale.

Nature	Degré de nouveauté	Innovation programmée	Innovation initiale /imitative	Degré de complexité	Degré d'utilité	Degré d'originalité	Degré de communication
Produit	assez fort	non	imitative	faible	absolu	fort	fort

Figure A19 : Exemple d'optimisation 'globale'

L'idéal n'étant pas toujours facile à atteindre voir impossible, la recherche de solutions voisines permet d'être plus réaliste, c'est l'optimisation 'globale satisfaisante'. L'exemple

présenté ici (figure A20) montre le classement des scénarios possibles suivant les valeurs spécifiées.

		Classement par résultats obtenus				
Intervalles de valeurs	0 à 10	10 à 20	20 à 30	30 à 40	40 à 50	
Appréciations par intervalle	Très mauvais	Médiocre	Moyen	Bon	Très bon	
Scénarios	S1	S28	S17	S69	S14	
	S35	S45	S32	S57	S20	
	S120	S56	S65	S85	S130	

Figure A20 : Exemple d'optimisation 'globale satisfaisante'

Le but final de ces optimisations multicritères est de procurer aux décideurs des informations pertinentes afin de prendre les orientations stratégiques d'innovation les plus intéressantes possibles.

L'exemple suivant illustre en partie les propos précédents.

Exemple : soit une innovation définie par les critères suivant :

- degré de nouveauté : C1 (0-10),
- degré de complexité : C2 (0-10),
- degré d'utilité : C3 (0-10).

Les indicateurs de performance utilisés ici sont : le gain : I1, le coût : I2.

Les modèles obtenus par études statistiques de plusieurs cas :

- $I1 = 3 \cdot C1 - 2 \cdot C2 + 5 \cdot C3$;
- $I2 = 7 \cdot C1 + 10 \cdot C2 - 4 \cdot C3$.

L'optimisation multicritère (somme pondérée) de I : $I = I1 - I2$ à maximiser. Le calcul donne $I = -4C1 - 12C2 + 9C3$. La maximisation de I sera réalisée si $C1 = C2 = 0$ et $C3 = 10$, ce qui donne $I = 90$, qui est, pour ce cas l'innovation idéale.

Ce sont des valeurs qu'il est sans doute impossible d'obtenir réellement, mais il est envisageable de rechercher les valeurs des critères de l'innovation pour lesquelles les résultats restent très bons : $I > 80$, $I > 70$,... Il est également possible et intéressant de définir des probabilités de changement. En effet, il est peu probable par exemple d'avoir un taux d'utilité supérieur à 8/10 [Tomala et al., 01c].

Index

- ABC** : 75, 118
Acteurs : 43, 44, 45, 46, 48
AEII : 82, 88, 155, 159, 177
AMDEC : 61, 72, 82, 88, 92, 127
Analyse de la valeur (AV) : 75, 197
- Caractéristique** : 31, 34, 43, 50, 81, 86, 111, 134, 140, 152, 168
Compétitivité : 22, 26, 74, 152, 197
Conception : 37, 67, 70, 138, 154, 197
Concurrence : 22, 24, 27, 35, 73, 198
Coût : 40, 76, 198
Coût d'acquisition : 41, 45, 198
Coût Global : 41, 159, 198
Criticité : 72, 82, 88, 105, 198
Cycle de vie : 40, 117, 118, 198
- Découverte** : 31, 48, 59, 94, 198
- EEMCI** : 84, 134, 139, 168, 198, 229
EEME : 84, 108, 110, 121, 124, 158
Estimation : 65, 75, 108, 134, 154, 164, 198
Évaluation : 28, 64, 65, 70, 96, 108, 146, 152, 176, 198
- FAST** : 112
Features : 111, 135
- GEMMA**: 121, 184
Guide d'innovation : 184, 185, 231, 232
- Indicateur** : 64, 138, 140 à 146, 157, 199
Inférence : 124, 184, 219
- Innovation** : 29 à 49, 68, 96, 108, 124, 146, 177, 200
Invention : 30, 31, 200
- Logique floue** : 139, 184
- Mesure** : 65, 100, 101, 200
METACOG : 49, 159
Modèle produit : 111 à 117, 129, 153, 214
Modèle processus : 117, 129, 153, 214
Multicritère : 101, 103, 185, 232
- Performance** : 27, 28, 64, 66, 67, 138, 157, 201
Performance industrielle : 27, 65, 201
Prix : 142, 170, 183, 229
PRK : 168 à 174
Processus d'innovation : 52, 58, 202, 208
PROSPER : 41, 46, 49, 151, 159, 164, 192
- RDP** : 168 à 175
Risque : 39, 72, 203
- SAD / SIAD** : 146
SADI : 146, 148
SADT : 58, 63
Scénario d'innovation : 163, 203, 213
Score : 92, 99, 105, 106, 166, 203
SESSI : 26, 32, 35, 193
Somme pondérée : 103, 104, 185, 232, 233
- Valeur** : 40, 44, 72, 137, 141, 204
VSC : 161, 165

Titre : Proposition de modèles et méthodes pour l'aide à l'évaluation des performances d'une innovation dès sa conception.

Mots Clés : Innovation, valeur, coût, cycle de vie, modèle produit, modèle processus, approche multicritère, Système d'Aide à la Décision.

Résumé: Dans le contexte économique actuel les entreprises sont tenues d'innover constamment, rapidement et avec succès. L'innovation est devenue une véritable condition de survie. Il apparaît aujourd'hui que la compétitivité repose sur les critères de coût, de délai et de qualité mais aussi sur la capacité des entreprises à générer un flux constant d'innovation. Ce nouveau contexte appelle d'une part l'évolution des modes d'évaluation de la performance et d'autre part une nouvelle définition du concept de performance qui est aujourd'hui multi-critères, multi-périodes et multi-acteurs. Les entreprises doivent évaluer et piloter leurs performances dès la phase de conception de produit et des processus.

Notre contribution dans ce cadre est la proposition de méthodes et modèles d'évaluation de la performance globale d'une innovation, dès la phase de conception. Elle repose principalement sur trois éléments : un modèle du processus d'innovation, un ensemble de modèles et méthodes d'estimation et d'évaluation de l'innovation et un environnement d'aide à la décision permettant la mise en œuvre des méthodes.

Dans le but de valider les méthodes proposées, nous avons réalisé deux expérimentations, l'une effectuée au sein de la société Renault et l'autre réalisée à partir d'enquêtes effectuées auprès de conducteurs de véhicules et d'informations issues d'une revue spécialisée automobile. Une évaluation plus complète de l'apport effectif des méthodes est en cours de réalisation.

Les perspectives de ces travaux se situent notamment dans la mise en œuvre complète des méthodes sur plusieurs sites industriels et dans leur utilisation en tant que guide d'innovation et d'aide à la résolution de problème.

Title: Proposal of models and methods for the assistance with the performance evaluation of an innovation as of its design.

Key Words: Innovation, value, cost, life cycle, model product, model process, mulcriteria approach, Computerised decision-making system.

Abstract : In the current economic context, companies must innovate constantly, quickly and successfully. The innovation became a true condition of survival. It appears today that competitiveness rests on the criteria of cost, time and quality but also on the capacity of the companies to generate a constant flow of innovation. This new context calls, on the one hand, the evolution of the modes of performance evaluation and, on the other hand, a new definition of the concept of performance which is today multi-criteria, multi-periods and multi-actors. The companies must evaluate and control their performances as of the phase of design of product and processes.

Our contribution within this framework is the proposal of methods and models of total performance evaluation of an innovation, as of the phase of design. Our proposal rests mainly on three elements: a model of the process of innovation, a whole of models and methods of estimate and evaluation of the innovation and an environment of decision-making aid allowing implementation methods.

With an aim of validating the methods suggested, we carried out two experiments, one effected within the Renault company drivers of vehicles and info complete evaluation of the prospects for this work are i different factories site and to problem



ons carried out near
sed review. A more
r development. The
he methods on man
e to the resolution c