



HAL
open science

Lois d'évolution de TRIZ pour la conception des futures générations des produits : proposition d'un modèle

Dalia Ragab - Zouaoua

► To cite this version:

Dalia Ragab - Zouaoua. Lois d'évolution de TRIZ pour la conception des futures générations des produits : proposition d'un modèle. Génie logiciel [cs.SE]. Arts et Métiers ParisTech, 2012. Français. NNT : 2012ENAM0007 . pastel-00691854

HAL Id: pastel-00691854

<https://pastel.hal.science/pastel-00691854>

Submitted on 27 Apr 2012

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

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

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

Doctorat ParisTech

T H È S E

pour obtenir le grade de docteur délivré par

l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers

Spécialité "Génie Industriel (AM) "

présentée et soutenue publiquement par

Dalia ZOUAOUA-RAGAB

le 23 mars 2012

Lois d'évolution de TRIZ pour la conception des futures générations des produits : Proposition d'un modèle

Directeur de thèse : **Simon RICHIR**
Co-encadrement de la thèse : **Pascal CRUBLEAU**

Jury

M. Jean-Pierre MATHIEU, Professeur des Universités, Audencia
M. Patrick TRUCHOT, Professeur des Universités, ENSGSI
M. Denis CHOULIER, Maître de Conférences, UTBM
M. Pascal CRUBLEAU, Maître de Conférences, Université d'Angers
M. François DRUEL, Chercheur associé, Arts et Métiers ParisTech
M. Philippe LATTARD, Gérant, Ixias Software
M. Simon RICHIR, Professeur des Universités, Arts et Métiers ParisTech

Rapporteur
Rapporteur
Examineur
Examineur
Examineur
Invité
Examineur

**T
H
È
S
E**

Lois d'évolution de TRIZ pour la conception des futures générations des produits : Proposition d'un modèle

Table des matières

Liste des figures	8
Liste des tableaux	10
Remerciements	11
Introduction générale : l'innovation un processus vital pour les entreprises	12
1. Contexte de la recherche	13
2. But de la recherche	14
3. Présentation du document	15
Partie 1 : État de l'art et problématique	17
Chapitre 1: État de l'art des méthodes d'innovation pour les entreprises.....	18
1.1. Introduction	19
1.2. Définitions de l'innovation.....	19
1.2.1. Définitions puisées dans des dictionnaires.....	19
1.2.2. Définitions puisées dans la littérature scientifique	20
1.3. Typologie d'innovation	22
1.3.1. Innovation radicale ou de rupture.....	23
1.3.2. Innovation incrémentale ou continue	23
1.3.3. Innovation modulaire	24
1.3.4. Innovation architecturale	24
1.4. Typologie des méthodes de génération d'idées nouvelles.....	25
1.4.1. Les méthodes de découverte à partir des clients.....	26
1.4.1.1 La méthode des clients pilotes	26
1.4.1.2. La méthode du brainstorming	26
1.4.2. Les méthodes de découverte à partir du produit lui-même	26
1.4.2.1. L'analyse de la valeur.....	27
1.4.2.2. La méthode QFD	27
1.4.3. Les méthodes de découverte à partir des employés de l'entreprise	28
1.4.3.1. La méthode de Teian (boite à idées)	28
1.4.3.2. L'innovation participative	28
1.4.4. Les méthodes de créativité.....	28
1.4.4.1. La méthode des schèmes fondamentaux.....	29
1.4.4.2. La théorie TRIZ	29

1.5. Analyse comparative de ces méthodes de créativité	30
1.5.1 Niveaux d'inventivité	30
1.5.2 Résultat de l'analyse comparative des méthodes de créativité	30
1.6. Conclusion	31
Chapitre 2: TRIZ, La théorie de résolution des problèmes inventifs	33
2.1. Introduction	34
2.2. Historique de TRIZ	34
2.2.1. Historique de TRIZ en Union Soviétique	35
2.2.2. Historique de TRIZ en France	36
2.3. Concepts et outils de la théorie de résolution des problèmes inventifs	37
2.3.1. Evolution du développement des concepts et outils de TRIZ	37
2.3.2. Présentation des concepts et outils de TRIZ	39
2.3.2.1. Les principaux concepts de TRIZ	39
2.3.2.2. Présentation des outils de TRIZ	42
2.4. Champs d'Application de TRIZ	51
2.4.1. Applicabilité de TRIZ dans la résolution des problèmes	51
2.4.2. Applicabilité de TRIZ dans l'étude d'évolution des systèmes	54
2.5. Conclusion	59
Chapitre 3 : Informatisation de TRIZ	61
3.1. Introduction	62
3.2. État de l'art des logiciels basés sur la théorie TRIZ	62
3.2.1. Logiciels d'apprentissage de TRIZ	62
3.2.2. Logiciels d'aide à l'innovation basés sur TRIZ	63
3.3. Analyse Comparative des logiciels basés sur TRIZ	67
3.3.1. Implémentation des outils de TRIZ	68
3.3.2. Caractérisation de la situation problématique	70
3.3.3. Modélisation du problème	73
3.3.4. Résolution du problème	75
3.3.5. Mise à disposition des bases de données	79
3.3.6. Utilisation dans d'autres domaines non-technologiques	82
3.3.7. Possibilité de travail collaboratif	82
3.3.8. Evolution du système ou de la solution	82
3.3.8.1. Utilisation des lois d'évolution	83
3.3.8.2. Utilisation d'autres techniques d'évolution	83

3.4. Résultat et interprétation de l'analyse comparative	84
3.5. Conclusion.....	86
Chapitre 4 : Problématique et hypothèses de recherche : comment permettre l'utilisation des lois d'évolution via un logiciel	88
4.1. Introduction	89
4.2. Problématique.....	89
4.3. Hypothèses de recherche	90
4.4. Conclusion.....	91
Partie 2 : Extraction d'informations et interprétation des données.....	92
Chapitre 5 : Techniques d'extraction d'informations	93
5.1. Introduction	94
5.2. Définition de l'extraction d'information	94
5.3. Architecture d'un système d'extraction d'informations.....	95
5.4. Étapes de l'extraction d'information	95
5.4.1. Repérage des entités nommées	96
5.4.2. La mise en relation des entités	97
5.4.3. Remplissage des formulaires	97
5.5. Limites de l'extraction d'information	98
5.6. Conclusion.....	98
Chapitre 6 : Recueil et traitement de données.....	99
6.1. Introduction	100
6.2. Catégorie d'étude des approches de recueil et de traitement des données	100
6.2.1. Étude exploratoire	100
6.2.2. Étude confirmatoire.....	100
6.3. Recueil de données.....	100
6.3.1. Type de données recueillies.....	100
6.3.2. Méthodes de recueil de données	101
6.3.2.1 Analyse des données secondaires	101
6.3.2.2. Analyse de documents.....	101
6.3.2.3 Observation directe	101
6.3.2.4. Etudes de cas	101
6.3.2.5. Questionnaire	101
6.3.2.6. Entretiens.....	102
6.4. Méthode de traitement des données quantitatives.....	102

6.4.1. Analyse factorielle	102
6.4.2. Classification automatique	102
6.5. Méthode de traitement des données qualitatives	103
6.5.1. Classifications.....	103
6.5.2. Les corrélations.....	104
6.6. Validité et fiabilité.....	105
6.6.1. Validité	105
6.6.1.1. Validité interne	105
6.6.1.2. Validité externe	106
6.6.1.3. Validité de construit (validité de concept)	106
6.6.2. Fiabilité.....	107
6.7. Tester des hypothèses	108
6.8. Conclusion.....	108
Partie 3 : Modélisation des lois d'évolution et réalisation des expérimentations.....	110
Chapitre 7 : Modèle d'application des lois d'évolution	111
7.1.Introduction	112
7.2. Démarche de modélisation des lois d'évolution.....	112
7.2.1. Application de l'extraction d'informations sur les définitions des lois d'évolution	113
7.2.2. Analyse des exemples d'application des lois d'évolution	125
7.3. Présentation de la solution proposée.....	125
7.4. Conclusion.....	132
Chapitre 8:Protocole expérimental.....	133
8.1. Introduction	134
8.2. Méthode expérimentale	134
8.2.1. Participants	134
8.2.2. Protocole expérimental	134
8.2.3 Procédure de recueil de données.....	135
8.2.4 Déroulement des expériences	136
8.2.5. Données recueillies.....	136
8.2.6. Méthode d'analyse des données.....	137
8.3. Limites de l'étude.....	139
8.4. Conclusion.....	139

Chapitre 9 : Expérimentation 1 « identification des éléments fonctionnels d'un système technique »	140
9.1. Introduction	141
9.2. But de l'expérimentation	141
9.3. Participants	141
9.4. Présentation de l'expérimentation	141
9.5. Résultats.....	141
9.5.1. Résultats obtenus pour le système des patins à roulettes	142
9.5.2. Résultats obtenus pour le système du sèche-cheveux.....	144
9.6. Conclusion.....	147
Chapitre 10 : Expérimentation 2 « détection des voies d'évolution ».....	149
10.1. Introduction	150
10.2. But de l'expérimentation	150
10.3. Participants	150
10.4. Présentation de l'expérimentation	150
10.5. Résultats.....	151
10.5.1. Résultats d'application de la loi 2	151
10.5.2. Résultats d'application de la loi 3	153
10.6. Conclusion.....	156
Chapitre 11 : Expérimentation 3 « évolution des fonctions des éléments du système dans le bon ordre ».....	157
11.1. Introduction	158
11.2. But de l'expérimentation	158
11.3. Participants	158
11.4. Présentation de l'expérimentation	158
11.5. Résultats.....	158
11.6. Conclusion.....	160
Partie 4 : Discussion, synthèse et perspectives.....	162
Chapitre 12 : Discussion	163
12.1. Introduction	164
12.2. Discussion.....	164
12.2.1. Discussion des hypothèses émises	164
12.2.2. Discussion des expérimentations réalisées	164

12.2.3. Discussion du modèle élaboré	165
12.2.4. Discussion des résultats obtenus.....	165
12.3. Conclusion.....	166
Chapitre 13 : Synthèse des travaux de recherche.....	167
13.1. Introduction	168
13.2. But de la recherche : application des lois d'évolution dans l'aide à l'innovation...	168
13.3. Travaux réalisés: modélisation des lois d'évolution	168
13.4. Apports des travaux de recherche	172
13.5. Limites de notre démarche	173
13.6. Perspectives de recherche	174
13.7. Conclusion.....	175
Conclusion générale	176
Annexe : Questionnaires utilisés pour la réalisation des expérimentations.....	182
1. Questionnaire de l'expérimentation numéro 1 sans utilisation du modèle.....	182
2. Questionnaire de l'expérimentation numéro 1 avec utilisation du modèle.....	183
3. Questionnaire de l'expérimentation numéro 2 sans utilisation du modèle.....	184
4. Questionnaire de l'expérimentation numéro 2 avec utilisation du modèle.....	185
5. Questionnaire de l'expérimentation numéro 3	185
Glossaire	186
REFERENCES.....	189

Liste des figures

Figure 1.1 : Typologie des innovations [Gotteland and Haon 2005]	23
Figure 1.2 : Innovation modulaire.....	24
Figure 1.3 : Innovation architecturale	25
Figure 1.4 : Les principales méthodes de génération d'idées nouvelles [Gotteland and Haon 2005]	25
Figure 2.1 : Utilisation de la matrice des contradictions	43
Figure 2.2 : Les quatre composants d'un système technique	47
Figure 2.3 : Démarche d'application des lois d'évolution	58
Figure 2.4 : Représentation graphique des champs d'applications de TRIZ.....	59
Figure 3.1 : Domaine d'application des logiciels basés sur TRIZ	69
Figure 3.2 : Description du problème avec CREAX [Creax 2004].....	70
Figure 3.3 : Description du projet avec Tech Optimizer [Toru Nakagawa 1998].....	71
Figure 3.4 : Description du problème par MAL'IN [Equipe MAL'IN 2003]	72
Figure 3.5 : Description du projet [Systematic Innovation 2009]	72
Figure 3.6 : Modélisation graphique du système avec CREAX [Creax 2004]	73
Figure 3.7 : Description fonctionnelle du problème par TechOptimizer [Toru Nakagawa 1998]	74
Figure 3.8 : Description du système avec Technical System Analysis [iwint INC 2010]	75
Figure 3.9 : Résolution des contradictions techniques [Creax 2004].....	76
Figure 3.10 : Résolution des contradictions physiques [Creax 2004].....	76
Figure 3.11 : Résolution de problème en utilisant les substances champs [Creax 2004].....	76
Figure 3.12 : Requête avec le module research de GoldFire [Toru Nakagawa 1998]	77
Figure 3.13 : Outil de connaissance [Creax 2004]	80
Figure 3.14 : Accès à la base de données des principes [Institute of Innovative Design 2010]	81
Figure 3.15 : Résultat d'analyse pour la mise à disposition de base de données	81
Figure 3.16 : Évolution du produit [Equipe MAL'IN 2003]	83
Figure 3.17 : Etapes de Directed Evolution [Ideation International 2011]	84
Figure 3.18 : Comparaison des logiciels selon la résolution des problèmes et l'évolution des systèmes	86
Figure 5.1 : Architecture d'un système d'extraction d'information [Al Haj Hasan 2008] ...	955
Figure 5.2 : Exemple du résultat du système d'extraction d'informations Message Understanding Conference - 4 [Al Haj Hasan 2008]	977
Figure 7.1 : Délimitation du système technique.....	118
Figure 7.2 : Modélisation des cinq premières lois d'évolution	118
Figure 9.1: Résultat de l'application de la loi 1 sur le système des patins à roulettes	144
Figure 9.2: Résultat de l'application de la loi 1 sur le système du sèche-cheveux	146
Figure 9.3 : Résultat de l'application de la loi 1	147
Figure 10.1 : Graphe comparatif des résultats d'application de la loi 2.....	153
Figure 10.2 : Graphe comparatif des résultats d'application de la loi 3.....	1555
Figure 10.3 : Résultats obtenus lors de l'application du modèle pour les lois 2 & 3.....	155
Figure 11.1 : Graphes du résultat de l'application des lois 4 & 5	160

Figure 13.1: Actions de la première évolution.....	169
Figure 13.2 : Actions de la deuxième évolution.....	170
Figure 13.3 : Actions de la troisième évolution	171
Figure 13.4 : Actions de la quatrième évolution	171

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : Niveaux d'inventivité des méthodes de créativité [Mazur 1996; Cavallucci and Lutz 1997].....	31
Tableau 2.1 : Principes de séparations	44
Tableau 2.2 : Certains domaines d'application de TRIZ.....	54
Tableau 3.1 : Critères de comparaison des logiciels basés sur TRIZ.....	67
Tableau 3.2 : Implémentation des outils TRIZ par les logiciels	68
Tableau 3.3 : Résultat de l'analyse pour la caractérisation de la situation problématique.....	73
Tableau 3.4 : Résultat de l'analyse pour le critère résolution de problème	79
Tableau 3.5 : Résultat concernant le critère d'évolution du système ou de la solution.....	83
Tableau 3.6 : Synthèse de l'analyse comparative des logiciels.....	85
Tableau 6.1 : Critères de validité de concepts [Bachelet 2007]	107
Tableau 6.2 : Méthode de mesure de la fiabilité [Bachelet 2007].....	107
Tableau 7.1: Extraction d'informations de la version 1 de la définition de loi 1	113
Tableau 7.2 : Extraction d'informations de la version 2 de la définition de loi 1	114
Tableau 7.3 : Extraction d'informations de la version 3 de la définition de loi 1	114
Tableau 7.4 : Extraction d'informations de la version 4 de la définition de loi 1	115
Tableau 7.5 : Extraction d'informations de la version 5 de la définition de loi 1	116
Tableau 7.6 : Extraction d'informations de la version 6 de la définition de loi 1	116
Tableau 7.7 : Extraction d'informations de la version 7 de la définition de loi 1	117
Tableau 7.8 : Banque de données des caractéristiques des éléments d'un S. Technique	118
Tableau 7.9 : Banque de données des conditions de satisfaction de la loi 2.....	120
Tableau 7.10 : Banque de données des conditions de satisfaction de la loi 3	122
Tableau 7.11 : Banque de données des conditions de satisfaction de la loi 4	123
Tableau 7.12 : Banque de données des conditions de satisfaction de la loi 5	124
Tableau 7.13 : Synthèse des caractéristiques des lois d'évolutions	125
Tableau 8.1 : Evaluation des fonctions du système	137
Tableau 8.2 : Exemple de schéma de codage.....	139
Tableau 9.1 : Résultats d'identification des unités du S.T. des patins à roulettes sans utilisation du modèle	142
Tableau 9.2 : Résultats d'identification des unités du système des patins à roulettes avec utilisation du modèle.....	143
Tableau 9.3 : Calculs statistiques pour le système des patins à roulettes.....	143
Tableau 9.4 : Résultats d'identification des unités du système du sèche-cheveux sans utilisation du modèle.....	145
Tableau 9.5 : Résultats d'identification des unités du système du sèche-cheveux avec utilisation du modèle.....	145
Tableau 9.6 : Calculs statistiques pour le système du sèche-cheveux.....	146
Tableau 10.1 : Résultats de l'application de la loi 2 sans utilisation du modèle.....	151
Tableau 10.2 : Résultats de l'application de la loi 2 avec utilisation du modèle	151
Tableau 10.3 : Résultats de l'application de la loi 3 sans utilisation du modèle.....	151
Tableau 10.4 : Résultats de l'application de la loi 3 avec utilisation du modèle	151
Tableau 11.1 : Résultats de l'application des lois 4 et 5	151

REMERCIEMENTS

La réalisation de ce modeste travail de recherche n'aurait jamais vu le jour sans la collaboration et le soutien des professeurs, collègues, amis et familles qui m'ont épaulée. Merci à :

Simon Richir, responsable de l'équipe de recherche Presence & Innovation du LAMPA pour son accueil au sein de son équipe de recherche et pour avoir accepté d'être mon directeur de recherche.

Pascal Crubleau, pour m'avoir formée sur TRIZ, pour m'avoir communiquée sa passion et ses connaissances sur cette théorie, et pour m'avoir guidée à réaliser ce travail de recherche.

François Druel, pour l'intérêt et l'attention qu'il a portés à mes travaux de recherche et pour ses précieux conseils qui m'ont beaucoup aidée dans la rédaction de ce manuscrit.

Philippe Lattard, gérant de la société Ixias Software pour m'avoir fait confiance en m'accueillant dans son entreprise et en me proposant ce sujet de thèse.

Jean-Pierre Mathieu et *Patrick Truchot*, pour l'intérêt qu'ils ont témoigné à ce travail en me faisant l'honneur d'accepter de juger ma thèse.

Denis Choulier, pour avoir accepté d'être membre du jury, et partagé avec moi ses visions et expériences.

Tous les membres de l'équipe des Arts et Métiers ParisTech de Laval et d'Angers, mes collègues de la société Ixias Software et mes amis, pour m'avoir apporté leur soutien.

Mes parents que j'aime énormément, mon adorable frère et ma belle-famille, pour leur soutien, leurs conseils et leurs encouragements et particulièrement à mon père pour ses nombreuses relectures et corrections de mon manuscrit.

Mon mari, l'amour de ma vie, pour avoir été toujours à mes côtés, pour tout l'amour qu'il me donne, pour ses précieux conseils, pour son aide scientifique et ses corrections de mon manuscrit.

Introduction générale : l'innovation, un processus vital pour les entreprises

1. Contexte de la recherche

Les générations se suivent et ne se ressemblent pas, le temps change et avec lui ses exigences. Les entreprises, les produits et les services, d'il y a à peine deux à trois siècles, se sont mués. Certains ont complètement disparu, d'autres n'existent plus que dans les musées, trônant en compagnie des premiers outils, en pierre taillée ou en os, des temps lointains de la préhistoire. Rappelant, ainsi, à notre mémoire que l'homme, au tout début de son existence, était démuné de tout. La nécessité de survivre dans un monde, où seul le plus armé l'emportait, l'avait poussé à s'accompagner d'outils pour se préserver. En premier lieu, les objets bruts de la nature, une pierre ramassée, une branche arrachée, etc. Puis il s'est mis à façonner, toujours par nécessité, ses propres outils. Les premiers étaient très rudimentaires, les autres de plus en plus performants. Pour répondre à l'exigence des besoins, plus importants au fil du temps et au gré des événements. En effet, les produits, les techniques, les objets et les sociétés n'ont jamais cessé d'évoluer.

Longtemps après, la mécanisation fit son apparition, on produisait vite et en quantité. Cela n'était pas suffisant, les activités de l'homme se multipliaient, et réclamaient de plus en plus de produits manufacturés. Cependant, l'économie de pénurie¹ prédominait. La production n'était pas encore organisée et les produits, en dépit de leur imperfection, s'arrachaient, aussitôt annoncés sur le marché. Vint ensuite la généralisation des principes de l'organisation du travail selon F. W. Taylor, du travail à la chaîne et de la standardisation selon H. Ford. C'était l'ère du système industriel dont la devise était de « produire en masse l'uniformité à bas prix » qui a fait les plus belles années de la période 1946 – 1975 [Fourastié 1979]. Les entreprises se préoccupaient davantage de produire plus, tant que les produits se vendaient bien. La compétition existait, mais elle était peu sévère et presque sans trop de heurts, les entreprises concurrentes s'en sortaient toutes à bon compte. A ce sujet le professeur Tetsuo Tomiyama de l'université de Tokyo disait « *Jusqu'au début des années 90, la compétition entre les entreprises était simple et basée sur produire plus, à moindre coût et de qualité supérieure ...* » [Tomiyama 1993]. Hélas, cela n'allait pas durer longtemps. C'était sans compter sur d'autres critères que feront naître les désirs et les exigences de l'évolution de la société moderne. Dans ses aspirations au bien être, à l'amélioration de ses conditions de vie, à plus de confort que seul peut donner le critère innovant accompagnant désormais le produit.

Depuis les années 90, les entreprises occidentales avaient ressenti avec force et brutalité les effets préjudiciables de la concurrence attisée par l'ouverture des frontières. Cette dernière laissait s'engouffrer des produits de diverses natures, de moindre qualité et à des prix très bas défiant toute concurrence, notamment ceux en provenance des pays où la main d'œuvre est sous-payée. C'est là une véritable bataille de survie à laquelle se trouvèrent, brusquement, confrontées nos différentes entreprises. Pour y faire face ces dernières se lancèrent dans des stratégies de développement au cœur desquelles l'innovation tendait à prendre une large place [Ngassa, Thouvenin et al. 2000].

La question de l'innovation ne date pas d'aujourd'hui. Les contributions de T. Burns & G. M. Stalker en 1961 et de E. Rogers en 1962 témoignent de l'intérêt porté

¹ L'économie de pénurie désigne la situation dans laquelle les consommateurs, comme les entreprises, sont rationnés dans leurs achats.

très tôt à la conception innovante, notamment, celle des produits [Burns and Stalker 1961] [Rogers 1962]. Cependant, peu d'attrait a été manifesté par les chercheurs pour la conception dans l'innovation. En dépit de son importance comme arme stratégique dans la bataille de la compétitivité « *la conception n'est étudiée que depuis peu par les chercheurs* » déplore amèrement G. de Terssac [Terssac and Friedberg 1996], alors qu' « *innover est un impératif essentiel* », selon [Saporta 1997].

L'enjeu économique et technologique a pris une autre tournure. Les préoccupations sont devenues nationales et même continentales. Le poids, en matière économique de l'ensemble des PME-PMI de l'Europe, constitue une part non négligeable dans sa puissance économique et sa stabilité sociale [Commission Européenne 1996]. En France, 40 % du chiffre d'affaires national est produit par des PMI-PME [Duchamp 1999]. [Thouvenin 2002] souligne qu'on leur reconnaît des potentialités en matière de souplesse, de réactivité, et une bonne connaissance des attentes du marché, et par conséquent des prédispositions à innover. Malheureusement il leur reconnaît aussi des difficultés à innover par rapport aux grandes entreprises qui bénéficiaient de grands avantages concurrentiels. « *Pas de structure, ni de ressources suffisantes, elles n'ont pas pu se forger d'expérience dans ce domaine* » disait [Thouvenin 2002]. Elles ne semblent pas prêtes sur le plan des moyens méthodologiques. L'unique voie qu'elles empruntent de façon ponctuelle et onéreuse, c'est celle du recours aux compétences extérieures. L'autre source d'inquiétude venait du paradoxe relevé par [Ledibois 2001] : « *malgré l'affirmation de leur volonté d'innover, il n'existe, dans les entreprises, ni responsable de l'innovation, ni département d'innovation, ni processus d'innovation structuré* ». Ainsi les préoccupations, les avis, et les incitations à la pratique de l'innovation de la commission européenne, sont devenues des rappels récurrents. « *L'innovation est indispensable. Elle permet que soient mieux satisfaits les besoins individuels et collectifs (santé, loisirs, conditions de travail, transports, etc.). Elle est aussi au cœur de l'esprit d'entreprise : toute entreprise se crée à partir d'une démarche en partie innovante* » [Comité Européen de normalisation 2004].

2. But de la recherche

Le besoin d'innover devient crucial. Produire sans discontinuer, en y mettant la qualité et la nouveauté à haute valeur ajoutée sur les produits, devient un impératif d'importance capitale pour l'entreprise [Le Masson 2001]. Les temps ont changé et la bataille aussi; on n'est plus au temps « de la bataille pour mieux produire » mais dans celui « de la bataille pour mieux concevoir » selon Navarre. Batailler pour concevoir, suppose être doté de moyens de conception, faute de quoi, c'est l'échec attendu [Navarre 2000]. Après avoir lu et relevé l'insuffisance des ressources des entreprises face à l'innovation nous allons ci-dessous, découvrir ce qu'il en est de la situation des outils et méthodes d'innovation existantes sur le marché européen. Ce qui nous permettra d'apprécier, à leur juste valeur, les possibilités d'aide qu'ils peuvent apporter.

On dénombre plus de 200 méthodes et techniques produites par les différentes approches sur la créativité [Terninko, Zusman et al. 1998]. Elles ont été conçues dans un contexte où la problématique « de produire plus et plus vite » a évolué vers celle de « produire de la qualité et de réduire les coûts », et face à la complexité et à la non-formalisation du processus de découvertes d'idées nouvelles, plusieurs méthodes ont

été très tôt proposées [Gotteland and Haon 2005]. Toutes à caractère psychologique, s'appuyant d'avantage sur la réflexion individuelle, que sur les connaissances et les moyens pertinents d'aide à l'innovation [Comité Européen de normalisation 2004]. Selon [Cortes Robles 2006] « *les outils traditionnels pour encourager la créativité comme le brainstorming et la synectique, sont basés sur une approche psychologique de la créativité par une exploration aléatoire de l'espace des solutions* ». Ainsi comme on peut le constater, ce n'est pas le manque d'outils d'aide qui est l'obstacle à l'innovation. C'est le peu d'efficacité que ces outils procurent, la complexité de leur mise en œuvre et les coûts de leur usage qui empêchent les PME- PMI à se doter de moyens d'innovation.

Devant une telle situation, il est de première nécessité que soit élaborée une démarche méthodologique de créativité accessible à tous et notamment aux PME-PMI². Dans cet univers de complexité et de compétitivité la durée du cycle de vie des produits et des processus tend se réduire. La stratégie d'innovation doit désormais s'inscrire dans les démarches de prévision des futures générations de produits. Le but de notre recherche est d'adapter une démarche d'aide à l'innovation, pouvant apporter une contribution effective et facile d'usage en la bâtissant sur une méthode existante rationnelle et fondée sur la connaissance. Notre choix s'est fixé sur la théorie TRIZ parce qu'elle répond à ces critères et est bien dotée en outils et concepts de résolution des problèmes inventifs

A ses débuts, la théorie TRIZ était présentée par la littérature scientifique sous la forme d'un abord difficile et pratiquement fermée aux non-spécialistes [Perret and Louafa 2008]. Mais depuis, elle a connu beaucoup d'avancées car elle permet d'accroître la créativité des ingénieurs lors de la résolution des problèmes et de générer des idées nouvelles porteuses de solutions. Notre objectif est d'explorer la théorie TRIZ pour proposer un modèle d'application des lois d'évolution de la théorie TRIZ dans l'innovation de produits. Notre modèle sera fondé sur les concepts essentiels de la théorie précisément la résolution des contradictions et les lois d'évolution.

3. Présentation du document

La première partie de ce mémoire de thèse est dédiée à l'état de l'art et à la problématique, elle est structurée en quatre chapitres. Le premier a pour objet la confection de l'état de l'art des méthodes d'innovation pour les entreprises. Il commence à présenter les différentes définitions puisées dans la littérature scientifique (dictionnaires, revues spécialisées, articles etc. ...) et les différentes typologies d'innovation et des méthodes de créativité. Le deuxième est entièrement consacré à la théorie TRIZ, relatant son historique, et décrivant ses différents concepts et outils. Puis il expose ses champs d'application d'une part, dans la résolution de problèmes techniques et non-techniques, et d'autre part dans l'étude des tendances d'évolution des systèmes. Quant au troisième chapitre, il commence par

² Comme souligné ci-dessus l'ensemble des PME-PMI représente des parts non négligeables en termes économiques pour les états d'Europe. Elles sont les plus grandes pourvoyeuses d'emplois et les plus touchées par les difficultés d'innovation. Par ailleurs le système technique constitue le cœur de leurs activités. Toutes les autres institutions restent autant concernées par l'innovation que les PME-PMI.

présenter l'état de l'art des logiciels basés sur la théorie TRIZ, permettant ainsi d'apprécier leur consistance. Ensuite il les compare entre eux sur la base de certains critères tels l'implémentation des outils de TRIZ, la résolution des problèmes, l'étude des tendances d'évolution des systèmes, etc. Enfin le quatrième chapitre expose la problématique de notre thèse, ainsi que les hypothèses de départ sur lesquelles nous fondons notre démarche.

La deuxième partie est consacrée à l'extraction de l'information et au traitement des données. Elle comprend deux chapitres : le cinquième et le sixième. Le cinquième définit la technique d'extraction d'information, présente son architecture, explique les étapes de sa réalisation et présente ses limites. Le sixième expose les méthodes de recueil des données quantitatives et qualificatives, et celles de leur traitement. Il explicite les notions de validité et de fiabilité et enfin il présente une démarche pour le test des hypothèses.

La troisième partie porte sur la modélisation des lois d'évolution et la réalisation des expérimentations. Elle est composée de cinq chapitres, numérotés de sept à onze. Le septième présente le modèle d'application des lois d'évolution que nous proposons. Dans ce chapitre, la démarche d'élaboration du modèle est développée ainsi que l'explication détaillée du modèle. Le huitième chapitre explique le protocole expérimental que nous envisageons de suivre. Enfin les chapitres neuf, dix et onze présentent les résultats des expérimentations.

La quatrième et dernière partie traite des apports et des perspectives de la recherche. Elle comprend le douzième chapitre consacré à la discussion sur nos travaux et leurs résultats. Et le treizième chapitre où on y rappelle notre objectif, ce que nous avons réalisé, les contributions apportées au domaine de la recherche scientifique et à celui de l'industrie. Enfin nous exposons les limites de nos recherches et des perspectives envisageables pour le prolongement de nos travaux.

Partie 1 : État de l'art et problématique

Cette première partie est consacrée à l'état de l'art et à la problématique. Elle se compose de quatre chapitres. Le premier présente un état de l'art des méthodes d'innovation pour les entreprises. Le deuxième introduit la théorie TRIZ en expliquant ses différents concepts et outils. Le troisième chapitre passe en revue les logiciels basés sur la théorie TRIZ et le quatrième expose la problématique de notre thèse, ainsi que les hypothèses de départ à partir desquelles nous fondons la conception de notre modèle.

Chapitre 1: État de l'art des méthodes d'innovation pour les entreprises

1.1. Introduction

Aujourd'hui, plus que par le passé, les entreprises ont besoin de l'innovation, elle est source de succès, de pérennité, d'expansion et de création de valeurs. Le contexte économique défavorable qui règne actuellement sur les marchés nationaux et mondiaux impose aux entreprises européennes, la nécessité de se doter des moyens adéquats d'innovation pour rester compétitives, voire pour survivre. Son appropriation n'est cependant pas chose aisée. En dépit de l'abondance des méthodes de créativité, ces dernières ne répondent pas efficacement aux attentes des entreprises. Le plus dur n'est pas de posséder une méthode d'innovation, mais de posséder la bonne.

Dans ce chapitre consacré à l'innovation, nous allons, dans un premier temps, nous attacher à définir l'innovation. Faire la synthèse des différentes définitions afin de proposer celle que nous ressentions comme la plus appropriée à notre cadre de recherche. Dans un second temps nous présenterons les typologies d'innovations. Nous commencerons par présenter une ancienne classification de l'innovation, ensuite une autre plus récente. Enfin nous allons présenter un état de l'art sur les méthodes de génération d'idées nouvelles classées selon leur source de génération d'idées. Puis nous comparerons ces méthodes sur la base du degré de nouveauté des solutions qu'elles peuvent apporter.

1.2. Définitions de l'innovation

Si nous avons écrit « définitions » au pluriel, c'est bien à dessein, car il y en a plusieurs. À première vue elles se rejoignent sur l'idée générale qu'elles expriment de l'innovation. Cependant, certaines rajoutent quelques précisions pour mieux les rattacher au contexte et à l'époque où elles étaient formulées. Le terme innovation recouvre lui-même plusieurs significations. Nous allons voir ci-dessous, en premier, les définitions puisées des dictionnaires, ensuite, celles dans la littérature scientifique dans différents domaines.

1.2.1. Définitions puisées dans des dictionnaires

➤ Le mot innovation a une étymologie latine : *innovatus*, qui signifie rénover ou changer [Online Etymology Dictionary 2011]. Selon cette définition l'innovation permet, soit de rénover en modifiant l'existant, soit de changer, c'est-à-dire créer quelque chose de complètement nouveau. Ce sont deux faits importants de création qui arrivent au sein des entreprises, lorsque ces dernières veulent s'adapter aux fluctuations d'un marché, répondre à l'influence d'une nouvelle technologie (rénover) ou créer des nouveaux produits, objets, processus, techniques ou services à la découverte d'un nouveau marché [Latour 2003].

➤ Dans le [Dictionnaire ROBERT 2007] l'innovation est énoncée comme la réalisation technique nouvelle qui s'impose sur le marché. Elle désigne une découverte, une création, une nouveauté, une invention.

En comparant les deux définitions du dictionnaire, on leur trouve un point commun celui d'assimiler l'innovation à la création de quelque chose de nouveau. Cependant leur divergence relève du fait que la première puise ses termes d'un contexte ou circonstance bien lointains. À l'origine l'innovation était caractérisée par la création d'une nouveauté, puis par l'effet des années elle est devenue insuffisante. La deuxième définition enrichit la première et la complète en mettant l'accent sur le succès commercial accompagnant cette nouveauté. Ainsi l'élément nouveau auquel est accordée la primauté pour redéfinir l'innovation est rattaché à sa qualité commerciale. La satisfaction de l'attente de la clientèle détermine le caractère primordial qui redéfinit l'innovation.

1.2.2. Définitions puisées dans la littérature scientifique

Le nombre de ces définitions est tellement élevé que nous ne pouvons donner que quelques-unes³. Nous les présenterons ci-dessous :

➤ Selon [Le Nagard-Assayag and Manceau 2001] l'innovation désigne : Une idée, une pratique ou un objet perçu comme nouveau par l'unité d'adoption pertinente. Cette définition considère une idée comme innovation si son unité d'adoption la juge nouvelle, mais elle ne s'intéresse pas à la réalisation de cette idée, ou à sa mise en œuvre. Cette définition précise aussi que tout objet ou pratique perçus comme nouveaux sont alors considérés comme des innovations.

➤ Pour [Belski 1999] l'innovation correspond à l'implémentation réussie des idées créatrices dans une organisation, par le biais de l'utilisation des ressources avec le but de satisfaire un besoin. Cette définition attribue l'innovation à la satisfaction des besoins par la mise en œuvre des idées nouvelles en utilisant les ressources disponibles. Par cela on peut comprendre que l'innovation est une ingénieuse façon d'identifier les ressources susceptibles d'être utilisées de façon utile et économique.

➤ Selon [Giget 1998] innover relève d'une mise en œuvre concrète d'une idée nouvelle. Elle est l'achèvement de la nouveauté, en franchissant le pas pour aller de l'idée à sa réalisation. Ici, l'innovation est caractérisée par la concrétisation de la nouvelle idée, il ne suffit pas d'avoir une idée nouvelle, mais il faut la mettre en œuvre.

➤ Pour [Amidon 1997] l'innovation comprend la création, l'évolution, l'échange et l'application de nouvelles idées pour créer des biens et des services commercialisables, en vue du succès d'une entreprise et du progrès de l'ensemble de la société.

Ces définitions s'accordent entre elles sur le fait d'attribuer le caractère de nouveauté à l'innovation. La première se suffit à cette caractéristique que toute idée nouvelle est une innovation. Cependant pour Belski, Giget ou encore Amidon, la

³ Nous avons principalement rapporté des définitions de l'innovation dans des domaines scientifiques tels que l'informatique, la mécanique, les sciences de gestions, le domaine du génie industriel, etc.

nouveauté n'est pas suffisante pour déterminer l'innovation, et une nouvelle idée ne correspond pas à une innovation. À travers leurs définitions, ils enrichissent la première en mettant l'accent sur l'importance de l'aboutissement, de la concrétisation et de la réalisation de la nouvelle idée. Le but commercial cité désigne également un élément motivant dans le cadre de l'innovation.

Dans le contexte des travaux de notre thèse, nous considérons l'innovation comme la création d'un nouveau produit, dont la commercialisation connaîtra un succès. Et pour éviter toute confusion entre les termes innovation, invention et création, nous proposons les comparaisons suivantes :

- L'invention caractérise l'activité humaine d'imagination, de création et de confection d'objets nouveaux. Elle permet de créer ce qui n'existait pas [Durand 1999]. Elle est l'expression de la quête continuelle et obstinée de l'être humain à chercher à se procurer par nécessité ou par besoin, par l'effort de la pensée la nouveauté géniale, quelque soit sa nature, qui lui permettra un surplus de bien être.

- La nouveauté qui lui permet de toujours améliorer ses outils de travail, de loisirs, sa protection et tout dispositif qui peut lui faciliter l'accomplissement d'une tâche utile dans sa vie quotidienne. D'après [Giget 1998] l'invention est liée à une avancée de la connaissance et sa concrétisation en termes scientifiques et techniques. Cependant l'invention ne garantit pas l'innovation. Pour distinguer les deux termes, invention et innovation, Bernard Stiegler dit : « *Il n'y a pas d'innovation sans invention, mais il existe beaucoup d'inventions qui ne produisent aucune innovation. L'innovation consiste à socialiser des inventions technologiques, elles-mêmes issues de découvertes scientifiques. Innover, c'est produire du nouveau (méthodes, objets, services) pour l'installer sur un marché. France Télécom a largement contribué à établir la norme GSM (en téléphonie mobile), mais c'est Nokia qui l'a socialisée, donc qui a été innovante.* » [Stiegler 2011]. À ce sujet, Dal Pont dit : « ... *Les innovations se distinguent des inventions, par justement le passage de l'idée à un produit rentable* » [Dal Pont 1999]. En d'autres termes une invention n'est considérée comme innovation que lorsqu'elle connaît un large succès sur le marché. Cette nette distinction rejoint l'idée de Duchamp, qui affirme que « *l'acte d'achat valide doublement l'innovation : il prouve, d'une part, qu'elle correspond à un besoin réel bien identifié et d'autre part, que la démarche utilisée a bien répondu à l'attente* » [Duchamp 1999].

- La découverte est l'action de trouver ce qui était inconnu ou ignoré [Larousse 2008]. À la différence de l'innovation, qui relève de l'engagement, de l'action et de la détermination de l'homme, la découverte peut être le fait du simple hasard d'une rencontre avec quelque chose d'inconnu au savoir de l'homme, comme elle peut être l'aboutissement de travaux de recherches scientifiques, s'appuyant sur des expériences, et débouchant sur des règles ou des lois que définissent des processus logiques.

- La créativité déclenche au sein d'un groupe d'individus la génération d'idées nouvelles et utiles [Aznar 2005]. La créativité et l'innovation sont souvent confondues. La créativité est associée à la production d'idées alors que l'innovation est liée à l'implantation de ces idées au sein de l'entreprise. De ce fait, la créativité devance l'innovation et en constitue le socle. La créativité est une étape qui précède

l'innovation et le résultat de cette étape, lorsqu'il connaît un succès commercial, correspond à une innovation.

A travers ces définitions de l'innovation, nous constatons deux aspects qui découlent du sens de l'innovation :

➤ L'innovation est souvent vue comme un processus novateur au sein des industries. Selon l'avantage que ce processus offre, on peut en distinguer deux types :

- l'innovation technologique est l'innovation qui permet à une entreprise d'avoir un avantage concurrentiel permanent. Elle transforme une idée en un produit vendable et un processus opérationnel dans l'industrie [Christensen and Tan 2000].

- l'innovation produit est une innovation qui offre à l'entreprise un avantage concurrentiel temporaire [Truchot, Duchamp et al. 1997].

➤ Un autre aspect porte sur la notion d'innovation vue comme un résultat [Simon 1991]. L'innovation dépend du résultat qu'elle apporte et de son succès commercial.

Nous retenons de toutes ces définitions, que l'innovation est un processus réfléchi, élaboré dans un cadre organisé (entreprise ou laboratoire de R & D). Elle permet la mise en œuvre jusqu'à la concrétisation d'une nouvelle idée. Elle a pour but de déboucher sur une nouveauté, répondre à l'attente du consommateur et connaître un succès commercial offrant à l'entreprise un avantage concurrentiel.

1.3. Typologie d'innovation

La littérature en économie et en science de gestion [Robertson 1971; Dewar and Dutton 1986] [Gatignon, Tushman et al. 2002] distingue deux types principaux : innovation radicale et innovation incrémentale. Dans la lutte contre l'obsolescence des produits, l'innovation incrémentale, apportant des améliorations modestes, vite dépassées par l'évolution rapide des techniques, est devenue insuffisante. C'est la raison pour laquelle les entreprises s'en désintéressent de plus en plus, pour adopter la voie de l'innovation radicale. Avec le temps et face à une économie qui se transforme de plus en plus vite, une nouvelle classification de l'innovation est apparue enrichissant la précédente, il s'agit de l'innovation modulaire et de l'innovation architecturale. [Gotteland and Haon 2005] considèrent un produit comme un ensemble de sous-systèmes techniques et de mécanismes de liaisons, alors ils différencient les innovations selon le degré de modification de ces sous-systèmes techniques et le degré de modification de l'architecture. Comme le montre la figure 1.1 ci-dessous.

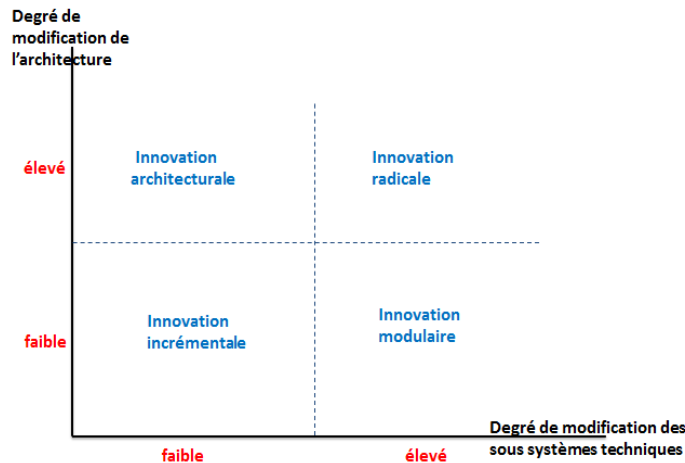


Figure 1.1 : Typologie des innovations [Gotteland and Haon 2005]

Les deux premiers types d'innovation « *les innovations radicales* » et « *les innovations incrémentales* » se différencient selon deux dimensions : le degré selon lequel elles intègrent des technologies nouvelles, et le degré selon lequel elles répondent aux attentes des consommateurs en matière de performance par rapport aux produits existants [Lilly and Walters 1997] [Chandy and Tellis 1998] [Song and Montoya-Weiss 1998].

Les deux derniers types de l'innovation concernent soit la modification des sous-systèmes techniques soit la modification des liaisons. Ce qui correspond aux deux autres types de l'innovation, « *innovation modulaire* » et « *innovation architecturale* ».

1.3.1. Innovation radicale ou de rupture

L'innovation est dite radicale ou de rupture lorsqu'elle modifie profondément les conditions d'utilisation des produits par les clients ou qu'elle est accompagnée d'un imposant bouleversement technologique. Elle représente des ruptures, des mutations très importantes qui tendent à remplacer complètement l'existant. Elle est ainsi fondée sur des méthodes d'ingénierie et des principes scientifiques nouveaux qui induisent le développement de nouveaux sous-systèmes techniques et d'une nouvelle architecture [Dewar and Dutton 1986].

Une rupture de marché propose des bénéfices importants aux utilisateurs. Une rupture technologique incorpore des solutions technologiques neuves, mais ne propose pas de fonctionnalités très originales [Dewar and Dutton 1986]. Le téléphone portable et le moteur diesel sont de bons exemples d'innovation de rupture.

1.3.2. Innovation incrémentale ou continue

Une innovation incrémentale propose des changements mineurs par rapport aux produits existants et exploite le potentiel des technologies établies. Elle ne change

généralement pas fondamentalement la dynamique d'une industrie, ni ne requiert un changement de comportement des utilisateurs finaux [Lilly and Walters 1997] [Chandy and Tellis 1998] [Song and Montoya-Weiss 1998]. Elle consiste en une amélioration permanente du produit ou du processus existant entraînant l'obsolescence des anciens et leur substitution. Autrement dit les modifications de moindres envergures, apportées continuellement au produit à la suite d'opportunités techniques, finissent par se substituer complètement à lui. L'ancien produit n'étant plus demandé, il disparaît du marché.

Une innovation incrémentale améliore le produit existant en transformant ses composants sans que les sous-systèmes techniques ni l'architecture ne soient radicalement modifiés. Elle consiste en un phénomène d'évolution quasi continu, parfois inaperçu sans prendre le recul nécessaire et sans faire une analyse détaillée. Comme exemple d'innovation incrémentale on peut citer le téléphone sans fil ou le moteur diesel à injection.

1.3.3. Innovation modulaire

Une innovation modulaire correspond à la modification des sous-systèmes d'un système technique, sans création de nouveaux liens entre ces derniers. L'exemple le plus illustratif de ce type d'innovation est le remplacement des téléphones analogiques par des téléphones digitaux (voir figure 1.2) [Gotteland and Haon 2005].

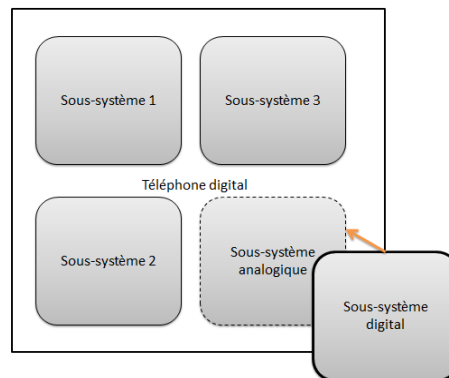


Figure 1.2 : Innovation modulaire

1.3.4. Innovation architecturale

Une innovation architecturale, à l'inverse de la précédente, apporte une modification aux liens qui unissent les sous-systèmes d'un système technique (voir figure 1.3) [Henderson and Clark 1990]. Le cas de la montre à cristaux liquides est un bon exemple de l'innovation architecturale, car elle combine de façon inédite les sous-systèmes "cristaux liquides" et "horloge à quartz" comme schématisé par la figure suivante.

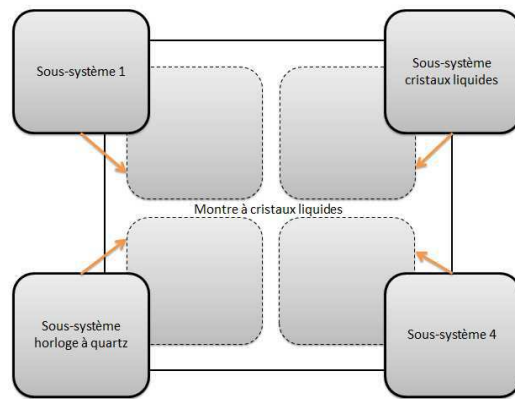


Figure 1.3 : Innovation architecturale

Nous retenons de ces descriptions que l'innovation peut être classifiée en fonction de différents critères : selon qu'on s'intéresse à son impact technologique (rupture, incrémental), ou encore à la modification des composants du système (modulaire ou architectural).

1.4. Typologie des méthodes de génération d'idées nouvelles

Les outils et les méthodes employés en entreprise pour aider à la découverte d'idées nouvelles, à la conception des produits nouveaux et à la réalisation de l'innovation sont multiples et variés. Nous présentons ici certains d'entre eux. Il y a quatre sources principales de découverte d'idées nouvelles : les clients, la créativité, le produit lui-même et les salariés, comme schématisé dans la figure 1.4 suivante.

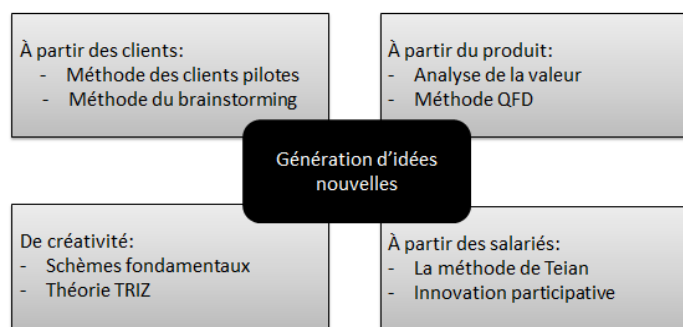


Figure 1.4 : Les principales méthodes de génération d'idées nouvelles [Gotteland and Haon 2005]

1.4.1. Les méthodes de découverte à partir des clients

Des études montrent que les clients sont souvent les premiers à utiliser des versions prototypes qui se transforment plus tard en produits finis [Morrison, Roberts et al. 2000]. Plusieurs techniques ont été élaborées dans ce sens, l'objectif est d'arriver à saisir les désirs du consommateur. On utilise alors le dialogue direct avec le client ou son observation.

1.4.1.1 La méthode des clients pilotes

La méthode des clients pilotes comprend 4 étapes [Hippel, Thomke et al. 2003] :

- Former une équipe et fixer des objectifs : former une équipe constituée de 6 membres maximum appartenant aux départements de marketing et de recherche & développement, ayant pour mission la détermination du marché cible et les type et niveau d'innovation désirés.
- Identifier les tendances : l'équipe chargée du projet doit identifier les principales tendances techniques et les attentes émergentes des consommateurs du marché ciblé.
- Identifier les clients pilotes : l'équipe projet recherche les clients pilotes. Il est conseillé de chercher les clients pilotes des marchés cibles confrontés à des attentes similaires.
- Générer des idées nouvelles : un groupe de travail sera formé à partir des clients pilotes de l'étape précédente et des membres du projet. Les idées développées par les clients pilotes seront exposées aux participants pour une amélioration ou un remplacement par des idées nouvelles.

L'avantage de cette méthode est qu'elle peut s'adapter à tout type de marché, son principal inconvénient réside dans le fait que l'équipe projet doit consacrer entre 12 et 20 heures de travail par semaine au projet, qui se déroule en moyenne sur six mois, ces volumes horaires, s'ils sont à la portée des moyens des grands groupes, ils sont par contre difficilement réalisables pour les PME, voire même irréalisables par manque de ressources.

1.4.1.2. La méthode du brainstorming

La méthode du brainstorming est une technique de résolution créative de problème permettant de produire des idées nouvelles. Le brainstorming a été conçu en 1953 par Alex Osborne, vice-président d'une agence de publicité américaine. Cette méthode s'est largement répandue depuis, et a été déclinée sous différentes formes [Griffin and Page 1993]. Généralement elle est exercée en groupe de personnes les plus diversifiées possibles afin de favoriser l'émergence d'idées nouvelles et variées. Une fois le thème de la session annoncé, chaque personne présente ses idées [Nunaly 1967].

L'intérêt du brainstorming réside dans la simplicité de sa réalisation, faire des séances de brainstorming ne nécessite ni de gros efforts ni beaucoup de frais. Ses principaux inconvénients sont le temps considérable consacré aux séances de brainstorming et le risque des séances fastidieuses d'où l'on sort parfois sans la moindre nouvelle idée.

1.4.2. Les méthodes de découverte à partir du produit lui-même

C'est là, la deuxième source de découverte d'idées nouvelles dans le cadre du développement d'un produit. Ces méthodes peuvent emprunter deux chemins : le

premier consiste à décomposer le produit en ses différents composants pour les améliorer ensuite. Le second consiste à attendre que des innovations soient mises au point pour tenter de les intégrer dans un nouveau produit.

1.4.2.1. L'analyse de la valeur

D'après [Afnor 1990] "L'analyse de la valeur est 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. La valeur d'un produit est une grandeur qui croît lorsque la satisfaction du besoin augmente ou que le coût du produit diminue. La valeur peut donc être considérée comme le rapport de l'aptitude aux fonctions sur le coût des solutions. C'est une méthode opérationnelle pour susciter et organiser l'innovation. Son objectif est de satisfaire les besoins des clients et des utilisateurs, et de minimiser les dépenses de l'entreprise. Elle est basée sur les principes fondamentaux suivants :

- La référence systématique au besoin par le recours à l'approche fonctionnelle
- La recherche de satisfaction des besoins aux moindres coûts : la valeur

Son plan de travail, est divisé en 7 phases : l'orientation de l'action, la recherche de l'information, l'analyse fonctionnelle, la recherche des idées et des voies de solutions, l'étude et l'évaluation des solutions, le bilan (prévisionnel) et la proposition (de choix), et enfin le suivi de la réalisation.

Le point fort de l'analyse de la valeur réside essentiellement dans la mise en œuvre de l'analyse fonctionnelle qui permet d'identifier très efficacement les fonctions répondant aux attentes des utilisateurs. Ses faiblesses viennent du fait qu'elle ne peut être utilisée pour les systèmes complexes, et qu'elle ne met pas en œuvre des outils appropriés comme support d'aide à la création.

1.4.2.2. La méthode QFD

La méthode QFD (Déploiement de la Fonction et de la Qualité) est une méthode qui « *transforme les demandes des utilisateurs en qualité de conception, pour développer les fonctions formant la qualité, déployer les moyens pour atteindre la qualité de conception en sous-systèmes et composants et finalement pour spécifier les éléments du processus de fabrication.* » [Akao 1994]. Ainsi est décrite cette méthode par le Dr Yoji Akao, ayant développé QFD au Japon en 1966, lorsque l'auteur a combiné son travail dans l'assurance qualité et les points de contrôle en se servant du développement des fonctions utilisées dans l'ingénierie de la valeur.

QFD est conçue pour aider les planificateurs à mettre l'accent sur les caractéristiques d'un produit nouveau ou existant ou d'un service d'un point de vue des segments de marché, des sociétés, ou des besoins de développement technologique. La méthode fait appel à des techniques graphiques et à l'utilisation des matrices.

On trouve une grande utilité de la technique dans la gestion de la qualité totale et la chaîne de valeur. Toutefois, si l'étude est de moindre qualité, alors toute l'analyse peut avoir des conséquences négatives.

1.4.3. Les méthodes de découverte à partir des employés de l'entreprise

Lors du développement d'un produit, les employés constituent une formidable source de découverte de nouvelles idées. En 1989, Renault a pu recueillir jusqu'à six nouvelles idées par salarié et par an. De même chez Toyota Motors Manufacturing à Georgetown aux Etats-Unis où on a observé un taux de participation de 68,7% des salariés et l'équivalent de 21 idées par salarié et par année [Gotteland and Haon 2005].

1.4.3.1. La méthode de Teian (boite à idées)

La méthode des boîtes à idées (Teian en japonais), permet à tout salarié de l'entreprise, quelque soit son niveau hiérarchique et de qualification, de présenter ses idées nouvelles qui seront par la suite évaluées afin de décider de leur mise en œuvre [Japan Human Relation Association and Kaizen teian 1992]. Les salariés ayant produit des idées nouvelles reconnues comme fructueuses, sont récompensés en conséquence.

La méthode des boîtes à idées est très bénéfique pour l'entreprise, qui n'engage aucun frais d'investissement pour la découverte des idées. Cependant cette méthode reste très peu étudiée dans la littérature académique.

1.4.3.2. L'innovation participative

L'innovation participative consiste à mettre en place au sein de l'entreprise un système de gestion des idées qui stimule et recense les idées nouvelles des salariés de cette entreprise. [Getz and Robinson 2003] présentent les différentes démarches pour une bonne application du système de gestion des idées :

- Prendre connaissance des sources d'informations traitant du sujet en assistant aux colloques, recherchant les ouvrages consacrés au management des idées, etc. dans le but d'élaborer une politique de gestion des idées la mieux adaptée à l'entreprise.
- Mettre en place un processus simple et rapide de traitement des idées, où chaque salarié fait part de son idée auprès de son supérieur pour l'étudier et décider de sa mise en œuvre.
- Assurer l'implication totale de proximité en évaluant les gestionnaires en fonction du nombre d'idées émises et mises en œuvre par leur équipe, et du taux de participation des salariés de leur unité.
- Être directement impliqué pour pousser chaque membre de direction à démontrer que les idées de tous les salariés sont utiles.

1.4.4. Les méthodes de créativité

D'autres méthodes de recherche d'idées nouvelles existent et se fondent autrement que sur des études exploratoires des attentes du consommateur ou des associations d'idées des groupes de créativité. Elles sont plus récentes, rationnelles et fondées sur les connaissances et le raisonnement rigoureux. Ces méthodes de créativité sont des sources déterminantes de découverte d'idées nouvelles, elles conduisent réellement vers des réflexions innovantes [Gotteland and Haon 2005]. Il en existe plusieurs, qu'il est difficile de fixer son choix, la recherche académique conseille l'utilisation de certaines méthodes en particulier celles qu'elle juge plus

efficaces par rapport à d'autres [Goldenberg, Mazurisky et al. 1999; Goldenberg, Lehmann et al. 2001; Dahl and Moreau 2002]. Il s'agit des méthodes suivantes :

1.4.4.1. La méthode des schèmes fondamentaux

Cette méthode propose d'utiliser cinq schèmes fondamentaux dérivés d'une analyse historique de produits nouveaux pour trouver des solutions innovantes. Ces cinq schèmes constituent un ensemble de structures générales définissant ce qu'est une idée nouvelle. Ils reposent sur la classification des caractéristiques des produits en deux catégories : les composants du produit, l'objet (exemple : les pieds d'une chaise) et les attributs du produit, les variables (exemple la taille ou la couleur de l'objet). Un second aspect peut distinguer également les caractéristiques du produit en caractéristiques internes et caractéristiques externes au produit. En établissant des liens entre deux caractéristiques, composants ou attributs, on arrive à créer d'autres configurations pouvant conduire à la découverte d'idées nouvelles. Cinq directions peuvent être suivies ; ce sont les cinq schèmes fondamentaux permettant de réaliser diverses actions à appliquer sur un produit, comme :

1- L'introduction d'un nouveau lien entre deux attributs qui, auparavant, n'en avaient aucun; *c'est le schème de contrôle des attributs.*

2- L'introduction d'un nouveau lien entre un composant interne et un autre composant, qu'il soit interne ou externe; *c'est le schème de contrôle des composants.*

3- La suppression d'un composant essentiel au fonctionnement tout en maintenant sa fonction ; *c'est le schème de remplacement.*

4- La suppression, comme précédemment, d'un composant interne essentiel mais cette fois en supprimant en même temps que lui sa fonction. Il s'agit là *du schème de déplacement.*

5- La dissociation d'un composant en plusieurs autres composants qui deviennent alors autonomes et accomplissent individuellement leur propre fonction. Et c'est là le 5^{ème} schème, dénommé : *schème de division.*

Ces cinq schèmes fondamentaux permettent de rationaliser et de rendre plus performant le processus d'invention [Haon and Gotteland 2008].

L'avantage de cette méthode vient de la stabilité des schèmes fondamentaux. Son argument de taille est qu'elle s'applique à une multitude de variétés de champs. Son inconvénient concerne sa difficulté d'application.

1.4.4.2. La théorie TRIZ

TRIZ est l'acronyme russe de théorie de résolution des problèmes inventifs. Elle a été créée et développée par Genrich Altshuller dans l'ex URSS en 1946. Elle est définie comme un outil de génération d'idées dans la résolution des problèmes inventifs. Elle exploite systématiquement le domaine des solutions possibles à un problème donné, y compris les solutions similaires appliquées dans d'autres domaines. La méthode propose des outils de modélisation des problèmes et des bases de concepts de solutions.[Choulier 2000].

TRIZ propose 40 principes d'innovation menant à la résolution de problèmes. Son outil nommé matrice de contradiction permet de définir, en fonction du problème posé, le principe d'innovation à appliquer.

L'intérêt majeur de TRIZ est qu'elle permet réellement de débloquer l'inertie psychologique qui conduit à générer des idées de solution. Cependant son principal inconvénient est de ne pas proposer des outils nécessaires dans les phases de prétraitement, pour modéliser le problème spécifique, et post-traitement pour trouver une solution spécifique. La limite de TRIZ est essentiellement la difficulté d'identification du paramètre caractérisant la situation problématique [Royzen 1996].

1.5. Analyse comparative de ces méthodes de créativité

1.5.1 Niveaux d'inventivité

[Altshuller 1984a] a défini cinq niveaux d'innovation, selon le niveau de nouveauté de la solution trouvée lors de la résolution d'un problème. ces cinq niveaux repris par [Mazur 1996] sont classés par ordre croissant de la solution apparente à la découverte, comme suit:

- **Solution apparente** : pour proposer ce type de solution les connaissances d'un individu dans un domaine donné sont largement suffisantes.
- **Amélioration mineure** : elle apporte des changements mineurs par rapport à l'existant, habituellement avec un certain compromis.
- **Amélioration majeure** : c'est une amélioration du système technique, sans pour autant créer une rupture.
- **Nouveau concept** : la solution apporte une nouvelle conception d'un système, elle fait appels à de vastes connaissances de l'entreprise.
- **Découverte** : ce type de solution arrive lorsqu'un nouveau phénomène est découvert et appliqué lors de la résolution d'un problème. Les connaissances nécessaires pour arriver à ce niveau de solution appartiennent à un domaine plus vaste que celui de l'entreprise.

Le degré d'inventivité ou niveau d'importance de la solution est d'autant plus élevé lorsque l'étendue des connaissances mobilisées par la méthode de créativité est plus vaste.

1.5.2 Résultat de l'analyse comparative des méthodes de créativité

L'analyse réalisée dans [Zouaoua, Crubleau et al. 2009] et dans [Mazur 1996; Cavallucci and Lutz 1997] ont montré que seules les méthodes reposant de façon systématique sur un grand nombre de connaissances multidisciplinaires dépassant de loin celles de l'entreprise, peuvent potentiellement permettre la création d'un concept innovant voire une découverte. Le tableau 1.1, ci-dessous, présente le niveau d'inventivité apporté par les méthodes de créativité.

[Mazur 1996] et [Cavallucci and Lutz 1997] ont démontré que la théorie TRIZ est novatrice dans son approche de résolution de problèmes car elle permet de générer des idées de solution du plus haut niveau d'inventivité, en raison de ses fondements constitués de l'ensemble du savoir cumulé par des millions de brevets. Alors que d'autres méthodes proposent des solutions avec des niveaux d'inventivités plus faibles, car ne faisant appel qu'aux compétences limitées à l'entreprise.

Méthode de créativité	Degré d'inventivité				
	Solution apparente	Amélioration mineure	Amélioration majeure	Nouveau concept	Découverte
Analyse de la valeur		X	X		
Boite à idée (de Teian)		X	X		
Brainstorming	X	X	X		
Client pilote	X	X			
Innovation participative					
Méthode QFD		X	X		
TRIZ				X	X
Schémas fondamentaux			X	X	

Tableau 1.1 : Niveaux d'inventivité des méthodes de créativité [Mazur 1996; Cavallucci and Lutz 1997]

Par conséquent pour pouvoir réaliser des projets d'innovation de classe majeure, voire de concepts nouveaux et de découvertes, les entreprises doivent sortir du cadre de leurs propres compétences et s'appuyer sur des connaissances d'autres secteurs voire d'autres domaines. Mieux encore, s'approprier les méthodes qui ont synthétisé ces vastes connaissances dans leurs bases de données, à l'exemple de la théorie TRIZ.

1.6. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons, dans un premier temps, passé en revue les différentes définitions sur l'innovation. Il en ressort un maître mot : nouveauté, omniprésent dans tous les textes, résumant à lui seul la majorité de ces définitions. Le succès commercial, cité également de façon presque systématique, demeure un élément déterminant parmi les critères de la description du terme innovation.

Dans un second temps nous avons présenté la typologie de l'innovation. Nous constatons que l'innovation peut être classifiée en fonction de différents critères. Le plus ancien concerne son impact technologique, introduisant un changement radical par rapport à l'existant. D'où la première classification en innovation de rupture ou incrémentale. Le second critère enrichit le premier en s'intéressant à la modification des composants du système et à donné la classification d'innovation modulaire ou architecturale.

Pour finir nous avons présenté un état de l'art sur les méthodes d'innovation. Leur nombre, déjà vu précédemment, dépasse le chiffre de 200. Les techniques qu'elles mettent en œuvre sont éloignées les unes des autres, qu'il serait maladroit de toutes les présenter dans le cadre de cette thèse. Elles vont du simple recueil d'informations autour et à partir du consommateur, des associations d'idées

pratiquées en groupe jusqu'à celles qui mobilisent de façon rationnelle des connaissances techniques structurées. Nous avons aussi présenté une comparaison des différentes méthodes en nous fondant sur le degré d'inventivité des solutions qu'elles ont apportées. Cette comparaison a montré que les méthodes ne mobilisant pas de vastes connaissances ne produisent que des solutions de niveau faible, apportant tout juste des améliorations mineures. On relève aussi que la théorie TRIZ permet de générer des idées de solution ayant de très hauts niveaux d'inventivité, en raison de ses fondements reposant sur l'ensemble du savoir cumulé par des millions de brevets. La théorie TRIZ est conçue méthodiquement, elle est nourrie de principes universels, de concepts génériques et des règles de résolution des problèmes inventifs communes à tous les domaines. TRIZ représente à l'heure actuelle une méthode très puissante de créativité. Pour autant, elle n'a pas vocation à fournir des solutions toutes faites, elle est conçue pour mettre des moyens suffisants pour provoquer l'émergence des voies pouvant y mener. Nous allons les présenter dans le détail au chapitre suivant.

Chapitre 2 : TRIZ, la théorie de résolution des problèmes inventifs

2.1. Introduction

La comparaison des méthodes de génération d'idées nouvelles présentée dans le chapitre précédent, a montré que la théorie TRIZ permet de générer des idées de solutions ayant le plus haut niveau d'inventivité. De nombreux chercheurs lui prêtent de l'intérêt. De plus en plus d'entreprises l'adoptent dans leur stratégie de développement.

Nous allons, à travers ce chapitre, présenter la théorie TRIZ. Elle possède une gamme très riche d'outils et des concepts extraits d'une analyse des centaines de milliers de brevets. Son arrivée en occident a apporté un autre regard sur la pratique de l'innovation, et sur la façon d'aborder le problème de la créativité. Des notions nouvelles comme le problème inventif, problème spécifique, problème générique, déjà résolu, principes de contradiction, lois d'évolution etc., connaissances structurées, concepts de résolution de contradictions et de génération d'idées. Enfin tout ce qui relève de la méthodologie et a manqué aux méthodes classiques.

Denis Cavallucci a écrit à ce sujet « *Certaines méthodes trônent pour être les plus à même d'aider l'entreprise dans sa quête d'innovations. Mais la clé de l'innovation réside dans l'idée, dans l'éclair de génie porteur d'une solution idéale au problème posé et une analyse même rapide de ces méthodes montre irrémédiablement une absence de pertinence dans les phases de génération de concepts* » [Cavallucci 1999a] Ajoutant : « *Parmi les outils sur le marché, TRIZ demeure le seul à aller jusqu'à proposer des idées, des pistes technologiques de recherche* » [Cavallucci and Lutz 1997]. L'avantage de TRIZ est de proposer des connaissances structurées à travers ses outils à caractère générique, ses principes inventifs et ses solutions standards permettant d'apporter un plus par rapport aux outils classiques. Auxquels elle apporte une complémentarité ingénieuse dans la résolution des problèmes [Leon-rovira and Aguayo 1998].

Dans ce chapitre, nous allons présenter dans un premier temps la genèse de cette théorie. Dans un second temps, nous donnerons l'évolution du développement de ses outils et concepts, puis nous expliquerons ces derniers. Enfin nous nous intéresserons aux domaines d'application de TRIZ, où nous verrons qu'en plus d'être utilisée pour la résolution des problèmes technologiques elle l'est également pour les problèmes non-technologiques. Enfin, nous examinerons quelques travaux scientifiques existants sur l'application des lois d'évolution.

2.2. Historique de TRIZ

TRIZ, dans sa version actuelle, est le résultat d'une cinquantaine d'années d'efforts consentis par de nombreuses personnes, à commencer par son fondateur, le russe Guenrich Altshuller et son équipe, qui ont traité et analysé des centaines de milliers de brevets, pour dégager les bases pertinentes qui ont permis d'élaborer la théorie TRIZ [Bertoluci and Le Coq 2001] [Domb 2001].

TRIZ, acronyme de théorie de résolution des problèmes inventifs, est définie comme un outil de génération d'idées dans la résolution des problèmes inventifs,

permettant d'explorer systématiquement le domaine des solutions possibles à un problème donné. La théorie propose des outils de modélisation des problèmes et des bases de concepts de solutions pour y répondre [Choulier 2000].

Nous allons rapporter brièvement le chemin parcouru par cette théorie dans le monde occidental où son introduction tardive a commencé par les Etats Unis en 1989, soit une quarantaine d'années après sa création en Union Soviétique. Nous signalons que l'historique étant une suite d'évènements figés dans le temps, nous nous sommes contentés de les rapporter fidèlement, comme présentés dans la littérature spécialisée. Nous nous intéresserons également à son parcours en France où elle fit son entrée il y a à peine une quinzaine d'années [Cavallucci 1999a] et nous tenterons de rapporter également, les principales étapes ayant contribué à sa diffusion.

2.2.1. Historique de TRIZ en Union Soviétique

En 1946, Guenrich Altshuller fut recruté par la marine soviétique dans le département des brevets [Altshuller 1984a; TRIZ France 2009]. Ayant pour mission de valider les demandes d'invention, Altshuller a étudié attentivement des dizaines de milliers de certificats d'auteurs (un type de dépôt d'invention utilisé dans l'ex-Union Soviétique) et de brevets internationaux [ENSAM 2005] [Ideation International 2006]. Ce qui lui a permis de faire des observations capitales, qui a conduit, à la découverte d'idées directrices et d'avancer l'hypothèse que des principes de pensée inventifs similaires existaient entre plusieurs domaines différents, et que ces principes sont à la base de l'innovation [Terninko, Zusman et al. 1998; Timothy 2003].

Le jeune chercheur s'entoura alors d'une équipe d'ingénieurs et finit par confirmer, après un important travail d'analyse de plus de 400 000 brevets [Seredinski 2004] qu'il existe réellement des principes similaires d'invention. Il présenta le fruit de sa recherche sous l'intitulé de : théorie de résolution des problèmes inventifs TRIZ, acronyme russe de « *Teorii Resheniya Izobretatelskix Zadach* » comprenant particulièrement la matrice des contradictions techniques qui regroupe la liste des 40 principes d'innovation.

En 1956 la première publication officielle de G. Altshuller sur TRIZ intitulée « *About Technical Creativity* » parut dans la revue Questions of Psychology en 1956 [Altshuller and Shapiro 1956; Souchkov 2008], présentait une nouvelle vision du processus d'invention, celle qui se concentre sur le résultat de l'activité et des connaissances de l'humanité et non sur celui attendu d'un cerveau à l'échelle de l'individu. Cette publication a introduit des concepts tels que la contradiction technique, l'idéalité, la pensée systémique inventive, la loi de l'intégralité des systèmes techniques et les principes inventifs. En 1968 le premier colloque sur la théorie TRIZ a été donné par Altshuller, il a joué un rôle très important dans l'histoire de TRIZ [Seredinski 2004].

Altshuller s'est particulièrement intéressé aux « *problèmes inventifs* », qu'il définit comme des problèmes sans solution connue ou des problèmes dont la solution, généralement connue ou acceptée, génère d'autres problèmes inventifs. Altshuller a

noté que les problèmes inventifs peuvent être codifiés, classés, et résolus méthodiquement, tout comme les autres problèmes d'ingénierie [Kaplan 1996; Timothy 2003].

Lors de l'analyse des nombreuses et différentes inventions, Altshuller s'est rendu compte que dans la majorité des cas, le processus d'innovations consistait à résoudre et à éliminer un problème de contradiction⁴, et il avait observé surtout, que ces conflits similaires (problèmes de contradiction) avaient été déjà rencontrés et résolus dans d'autres contextes des secteurs distincts de l'industrie [Linde, Herr et al. 2006]. Altshuller veut alors faire de l'innovation, un processus qui ne dépendra pas de la créativité personnelle, mais plutôt un processus qui se base sur l'idée que la plupart des problèmes de conception ont été déjà résolus de manière efficace dans d'autres circonstances, et qu'il suffit alors d'adapter, cette solution existante à son problème ou bien de s'en inspirer selon sa spécificité.

2.2.2. Historique de TRIZ en France

TRIZ fit son apparition en Occident en passant en premier aux Etats – Unis, dans le sillage des libertés économiques et politiques que la perestroïka avait apportées dans les années 90. C'est dans ce pays que le premier logiciel fondé sur TRIZ a été élaboré. En France les noms de la théorie TRIZ et de son inventeur Alshuller ont été prononcés en 1991 par un membre de l'UNESCO, le Professeur Christo Boutzev [Cavallucci 2007], qui participait à une présentation donnée par M. Valery Tsurikov, alors président d'une société dénommée « invention Machine », il a présenté ce jour-là un outil informatique construit sur les bases de la théorie de TRIZ. La société «Invention Machine » fut transférée de Minsk à Boston, et on ne reparlera plus de TRIZ en France.

Il fallait attendre alors l'année 1993, où Avraam Seredinski, également russe d'origine, en France depuis 1991, professeur dans un lycée technique à Poitiers fit sa première publication en 1993 dans « *centre de Presse* ». Il a été parmi les initiateurs de la création de l'Association Nationale TRIZ-France. Actuellement elle réunit des entreprises, des Grandes Écoles et des personnes intéressées par la diffusion de TRIZ en France. Seredinski a traduit du russe en français pour publier en France les deux premiers livres sur TRIZ de Guenrich Altshuller « *Et soudain apparût l'inventeur* » [Seredinski 2002] ainsi que le deuxième « *40 principes d'innovation. TRIZ* » [Seredinski 2004]; toujours du même auteur. Il continue à propager et à développer TRIZ sous différentes formes. En décembre 1997 la revue « *Industries et Techniques* » l'a cité comme l'une des deux premières personnes ayant enseigné TRIZ en France.

L'autre personne qui s'est illustrée dans l'introduction de TRIZ en France, et citée comme la première personne française à l'avoir fait, est Denis Cavallucci, qui a réalisé le premier mémoire de DEA sur TRIZ en 1996 à l'ENSAIS (Ecole Supérieure des Arts et Industries de Strasbourg) [Cavallucci 2007], il a également, depuis l'université de Technologie de Belfort Montbéliard, donné une conférence sur TRIZ en 1998, et il a publié la première thèse sur TRIZ en 1999 [Cavallucci 1999a]. En tant que chercheur, il a contribué à plusieurs publications sur TRIZ [Cavallucci and Lutz

⁴ On dit qu'on est face à une contradiction lorsque l'amélioration d'une fonction (ou caractéristique) d'un système entraîne la dégradation d'une autre fonction (caractéristique).

1997b] [Cavallucci and Lutz 1998], Il fut Co-fondateur et ex-président de TRIZ France, Co-fondateur et ex-président d'ETRIA (European TRIZ Association).

En 1997, les premiers enseignements de TRIZ débutèrent en école d'ingénieurs dans la section Mécanographie de l'INSA de Strasbourg (ENSAIS). En 1998, l'équipementier automobile MGI Coutier, obtenait son premier brevet suite à l'expérimentation industrielle de TRIZ [Cavallucci 2007]. L'année 1998 verra la création de la fondation TRIZ-France. En 2000, les pouvoirs publics soutiennent la première action collective en région Alsace pour supporter les usages de TRIZ dans les PME Alsaciennes [Cavallucci and Lutz 1998]. Aujourd'hui de grandes entreprises, comme PSA Peugeot, MGI Coutier, Citroën, Renault, EDF et d'autres encore l'utilisent de façon systématique à la grande satisfaction des associations francophones des utilisateurs de TRIZ. Le nombre d'entreprises utilisatrices de TRIZ estimé pour 2004 aurait atteint les 300 selon [Reboul 2004].

2.3. Concepts et outils de la théorie de résolution des problèmes inventifs

2.3.1. Evolution du développement des concepts et outils de TRIZ

Cette partie reprend les différentes étapes ayant marqué le long cheminement qui a mené à la construction de cette théorie depuis 1946, date de ses premiers pas, mais en même temps qui annonçaient, déjà, un futur prometteur.

Entre 1946 et 1950 G. Altshuller entama les premiers travaux mettant en évidence la notion de problème inventif⁵. Il s'est consacré totalement au développement de TRIZ et a mené ses premières sessions de formation sur cette nouvelle théorie. À cette époque, il a mis au point une méthode qui résout des contradictions techniques et donne leurs solutions inventives [Souchkov 2008].

En 1956 il concrétisa ces travaux de recherche en élaborant son premier algorithme de résolution de problèmes inventifs, s'exécutant en 10 étapes et 5 principes inventifs, ces derniers deviendront plus tard des sous-principes des 40 principes inventifs [Souchkov 2008].

En 1959, Altshuller étendit cet algorithme à 15 étapes et à 18 principes inventifs. Il introduisit également la notion de « *Résultat Idéal Final*⁶ » dans l'une de ces étapes.

En 1963, La version améliorée de cet algorithme fût intitulée ARIZ⁷. L'algorithme comprenait alors 18 étapes et 7 principes inventifs (avec 39 sous-principes) [Altshuller 1963]. En même temps il publia le premier système des lois

⁵ Un Problème Inventif est un problème qui contient au moins une contradiction technique et qui ne peut pas être résolu, avec des connaissances ordinaires ou des moyens techniques communs.

⁶ Représente le résultat idéal à atteindre. C'est un objectif que tout concepteur doit garder dans son esprit, à défaut de l'obtenir physiquement, puisque irréel, il permettra l'ouverture des voies menant à la résolution du problème.

⁷ Algorithme de résolution des problèmes inventifs.

d'évolution⁸ des systèmes techniques. L'année d'après, Altshuller présenta la première version de la Matrice de résolution des contradictions techniques dotée de 16 paramètres techniques et 31 principes inventifs.

En 1968, il définissait la notion de « *machine idéale*⁹ ». Et présentait la nouvelle version d'ARIZ qui comprenait 25 étapes, 35 principes inventifs et 32 paramètres pour la matrice de résolution des contradictions techniques.

En 1969, G. Altshuller créait l'institut AZOIT (Azerbajdzhan Public Institut Inventive Créativité) qui devient le premier centre de recherche et de formation de TRIZ de toutes l'URSS, et OLMI, (un laboratoire public de l'invention Méthodologique), la première initiative publique open source destinée à promouvoir la participation et la collaboration au développement de TRIZ à l'échelle nationale [Souchkov 2008].

En 1971, ARIZ comprenait 35 étapes, et une matrice de résolution des contradictions techniques avec 39x39 paramètres et 40 principes inventifs, (il s'agit de la même matrice qui est utilisée à ce jour). ARIZ-71 a été une étape majeure dans le développement de TRIZ. Il introduisit la première version de la méthode des hommes miniatures¹⁰, et notamment les effets physiques pour la résolution des problèmes inventifs.

En 1975, Altshuller publia une nouvelle approche de résolution des problèmes inventifs, il s'agit de la : Modélisation Substance-Champ¹¹ avec les 5 premiers standards inventifs, ensuite étendus à 76 [Altshuller 1985b]. La nouvelle version d'ARIZ, ARIZ-75B introduisait plusieurs nouveaux concepts majeurs de TRIZ : la contradiction physique et la modélisation des substance-champs. Altshuller s'est rendu compte que pour trouver la plupart des solutions techniques idéales, l'utilisation de la matrice des contradictions n'était plus suffisante. C'est la raison pour laquelle la matrice a été retirée d'ARIZ, et toutes les opérations concernant la résolution des problèmes inventifs ont été dirigées vers la formulation et l'élimination d'une contradiction physique [Souchkov 2008].

En 1977, ARIZ-77 comprenait 31 étapes, et introduisait les concepts d'une contradiction physique au micro-niveau, et les notions de temps opératoire¹² et de zone opératoire¹³. 18 standards inventifs ont été présentés. En 1979 : Altshuller publie « *Creativity as an Exact Science* », qui est toujours considéré comme son livre majeur [Altshuller 1984a]. En même temps Altshuller définissait TRTS abréviation en russe de la théorie de l'évolution des systèmes techniques, comme un sujet distinct de

⁸ Tendances selon lesquelles les systèmes évoluent.

⁹ Un système idéal qui n'a pas de coût, surface, poids, qui ne consomme pas d'énergie, ne nécessite pas de maintenance, qui maximise sa capacité de travail et ses fonctionnalités.

¹⁰ Méthode destinée à surmonter l'inertie psychologique des concepteurs par leur imagination dans un univers mental qui représente grossissement de la zone réelle de la contradiction.

¹¹ La modélisation fonctionnelle des substances et des champs dans un système technique

¹² Correspond aux ressources temporelles disponibles (le temps du conflit et le temps précédent le conflit)

¹³ Espace dans lequel apparaît le conflit indiqué dans le modèle du problème.

l'étude, et identifiait un certain nombre de lignes de vie des systèmes techniques qui, plus tard, aura comme nom "lois d'évolution des systèmes techniques".

En 1982, ARIZ-82 comprenait 34 étapes, et introduisait les concepts de *X-élément* et de *mini-problème*, un *tableau des conflits typiques*, les *principes pour la résolution des contradictions physiques*, la *méthode des hommes miniatures*. Altshuller positionne ARIZ comme un outil de résolution des problèmes inventifs « *non-standard* ». Un système de 54 standards inventifs a été présenté.

1985, une étape importante dans l'évolution de TRIZ : apparition de ARIZ-85C [Altshuller 1985a]. Et demeure à ce jour la version officielle d'ARIZ. Il comprend 32 étapes, de nouvelles règles et des recommandations. Un accent particulier est mis sur l'utilisation des ressources temps, espace et substance-champ pour obtenir des solutions idéales. Le système des standards inventifs est structuré, durant cette année-là, en cinq classes incluant 76 standards inventifs.

2.3.2. Présentation des concepts et outils de TRIZ

2.3. 2.1. Les principaux concepts de TRIZ

Dans les différentes publications des auteurs qui ont contribué à faire connaître TRIZ en France, les principaux concepts de base et les notions essentielles qui y sont cités comme éléments fondamentaux de la théorie TRIZ sont : L'existence des tendances (ou lois selon les fondateurs de TRIZ) d'évolution des systèmes techniques, l'idéalité, les contradictions techniques et physiques, la définition globale d'un système technique, l'inertie psychologique, le Résultat Idéal Final (R.I.F.), les ressources, les substances-champs (vépoles) [Fey 2001]. Dans ce qui suit nous présenterons certains concepts et notions de TRIZ.

❖ L'idéalité

Altshuller définit l'idéalité d'un système technique comme le rapport de la somme des fonctions utiles sur la somme des fonctions nuisibles et des coûts nécessaires à sa réalisation. L'idéalité est déterminée par la formule suivante :

$$I = \frac{\sum F_u}{\sum F_n + \sum F_c} ;$$

I : L'idéalité, ou degré d'idéalité.

$\sum F_u$: La somme des bénéfices procurés par les fonctions utiles du système.

$\sum F_n$: La somme des fonctions nuisibles du système.

$\sum F_c$: La somme des coûts de réalisation et d'usage du système.

L'augmentation de l'idéalité se traduit par une solution qui accroît l'effet utile du système tout en diminuant les effets indésirables. Poussé à l'extrême, le système idéal est un système qui n'a pas de coût, surface, poids, qui ne consomme pas d'énergie, ne nécessite pas de maintenance, qui maximise sa capacité de travail et ses fonctionnalités. En résumé, c'est un système qui n'existe pas mais qui fournit la fonction pour laquelle il a été conçu [Cortes Robles 2006].

TRIZ recherche la solution idéale pour tout fonctionnement d'un système technique, de manière à ce que toutes ses fonctions nuisibles soient éliminées, et ne nécessitant plus de dépenses pour fonctionner, alors que sa fonction principale est conservée : on dit alors qu'on a obtenu un système Idéal qui n'a alors plus d'existence en tant que système, mais sa fonction utile demeure assurée. Ce résultat est dénommé par Altshuller : *Résultat Final Idéal* (RFI) ou *Résultat Ultime Idéal* [Seredinski 2002] que tout concepteur doit garder à l'esprit comme l'unique objectif à d'atteindre lors de ces recherches, même s'il sait que cela est impossible. Sa ténacité peut s'avérer concluante.

La détermination que le résultat idéal peut être au bout du processus, conduit à persévérer dans l'exploration et finit par déboucher, en récompense, à de nombreuses pistes nouvelles pouvant déboucher sur des solutions, n'ayant jamais eu de pareilles auparavant. Il doit être décidé et inscrit comme le résultat idéal de notre objectif, à défaut de l'obtenir physiquement, puisque irréel, il permettra l'ouverture des voies menant à la résolution du problème. N'est-ce pas Altshuller qui disait : « *Alors que la contradiction montre les obstacles à surmonter, le RFI aide à déterminer la direction de la recherche* » [Altshuller 1999].

A ce titre le RFI fut proposé par Altshuller et Shapiro en 1950. Altshuller disait à propos du RFI : « *Le RFI est une fantaisie de l'esprit, un rêve. Il est inaccessible, mais il ouvre la voie vers la résolution du problème* » [Seredinski 2002; Cortes Robles 2006]. Il constitue un outil psychologique de premier ordre, qui permet au concepteur de croire, de persévérer dans la recherche d'une solution idéale, en évitant celles faites de compromis. Ainsi le résultat idéal est celui où toutes les fonctions utiles sont assurées, et les fonctions nuisibles sont éliminées [Cavallucci and Lutz 1998]. « *L'une des notions essentielle de TRIZ est celle du Résultat Final Idéal* » Selon [Choulier 2004b].

❖ Les Contradictions

Altshuller qui a étudié avec son équipe, les centaines de milliers de brevets disait : « *à l'origine de tout problème d'inventivité, on trouve une contradiction* » [Choulier 2004b]. Situer et définir un problème, c'est découvrir les paramètres à l'origine de cette contradiction, autrement dit, les paramètres en cause de ce conflit. C'est connaître le problème que de connaître les éléments qui fondent sa contradiction ; c'est à cette seule et essentielle condition, que l'on peut dire qu'il y a problème près à être résolu. C'est Altshuller qui disait [Seredinski 2002] : « *Tout problème, pour être résolu avec TRIZ, doit être formulé de telle sorte qu'il énonce une contradiction* ».

La notion de contradiction, était déjà exploitée par les philosophes grecs de l'antiquité dans la pensée dialectique [Savransky 2000] ou plus récemment par Piaget

[Piaget 1947)], entre autres. Toutefois, Altshuller fut le premier à faire de ce concept, une puissante voie de résolution [Cortes Robles 2006]. C'est l'étape majeure dans la démarche de toute recherche de la résolution d'un problème. Les travaux d'Altshuller lui ont permis de dégager deux types de contradictions [Seredinski 2004], la contradiction technique et la contradiction physique. Aujourd'hui on y trouve dans la littérature de TRIZ d'autres types de contradictions qui sont, selon Denis Cavallucci [Cavallucci 2007], la contradiction professionnelle, la contradiction sociale et la contradiction organisationnelle.

- **Contradictions techniques**

Une contradiction technique est une situation problématique où l'amélioration souhaitée d'une fonction (caractéristique, paramètre) ou l'élimination d'un effet néfaste amène à la détérioration inacceptable d'une autre fonction. En d'autres termes [Seredinski 2004], « *il y a contradiction technique lorsqu'en l'état actuel d'un produit, il n'est pas possible d'améliorer l'une des performances du produit, sans en dégrader une autre, de façon inacceptable* ». L'outil de résolution [Seredinski 2004; Luseau 2010] des contradictions techniques est la matrice de résolution des contradictions techniques [Russo and Birolini 2010].

- **Contradiction physique**

Elle constitue la deuxième catégorie de contradictions qu'Altshuller et son équipe ont mise en évidence. Elle se manifeste, quand deux paramètres appartenant de façon concomitante à un produit ou à un même élément d'un système, s'opposent l'un à l'autre, et sont dans l'impossibilité d'être utilisés conjointement, alors qu'il y a nécessité de les faire cohabiter. La contradiction physique oppose directement deux paramètres (ou requêtes) formulées par un même produit ou même système. Selon Altshuller, « *c'est un type de contradiction où une caractéristique d'un élément d'un système doit présenter deux modalités contradictoires à la fois : fort et faible, dur et mou, lisse et rugueux, chaud et froid...* ». Pour illustrer cette dernière contradiction : chaud et froid, d'une manière très élémentaire [Luseau 2010], nous allons citer l'exemple suivant : quelqu'un qui transporte de l'eau bouillante dans un verre, risque de se brûler la main; formulé sous forme d'une contradiction physique, cela donne la paroi du verre doit être à la fois chaude (à cause du contenu) et froide (pour ne pas brûler l'utilisateur). TRIZ propose l'utilisation des principes de séparations pour la résolution des contradictions physiques. D'où la présence de l'anse du verre.

❖ **Les ressources**

Le mot « ressources » possède un sens un peu différent du sens commun. On appelle ressources tous les éléments appartenant au système ou existant dans son environnement immédiat comme l'espace qui l'entoure, les substances qui y vivent et les énergies avec lesquelles il fonctionne ou celles qui existent dans son environnement et dont il peut s'en servir. Les ressources comprennent également toutes les fonctions utiles et nuisibles, les temps de fonctionnement, ceux des arrêts, toutes les informations sur le système, le rythme et toutes les caractéristiques du mouvement dynamique du système et de ses parties. Une ressource est généralement inactive, et capable de produire une action utile sans coût ou à moindre coût.

L'identification et l'emploi de ces ressources peuvent apporter de nouvelles idées de leur utilisation, résoudre les contradictions mais aussi guider l'évolution d'un produit, d'un procédé ou d'une technologie [Domb and Rantanen 2002]. Pour illustrer le recours à l'énergie de l'espace environnant : nous citerons l'exemple d'Altshuller rapporté par L. Shulyak : *transporter de la viande congelée dans un avion volant à 20 000 pieds ne nécessite pas de système de réfrigération dans l'aéronef du fait de la température négative qui règne à cette altitude. Le volume économisé permet de transporter plus de viande dans les soutes, et le poids des réfrigérateurs éliminés permet d'économiser du carburant* [Seredinski 2004].

❖ L'inertie psychologique

Les habitudes et les compétences dans un domaine donné, les idées reçues, les formules bien arrêtées, les représentations que l'on se fait des choses connues, et des exclusivités des connaissances propres à nos domaines, l'enfermement dans ses propres raisonnements, etc. constituent autant de barrières qui éloignent inconsciemment le chercheur dans ses moments de créativité. C'est l'inertie psychologique qui s'installe et empêche l'esprit et le regard de s'orienter dans d'autres directions [Cavallucci 1999b]. Altshuller ayant étudié cette question, recommande des principes pour vaincre cette inertie, en voici quelques-uns cités par Jean-Claude Boldrini dans sa thèse [Boldrini 2005] :

- Arrêter de croire que la solution ne peut provenir que de son domaine de compétence,
 - Privilégier les approches pluridisciplinaires,
 - Décrire les problèmes dans un vocabulaire neutre qui ne favorise pas les représentations déjà connues, pouvant induire des types de solutions déjà utilisées.
- En plus, l'utilisation des outils TRIZ est en elle-même un moyen de lutte contre l'inertie psychologique.

Des outils ont été spécialement développés dans ce but. Nous les examinerons ci-dessous.

2.3.2.2. Présentation des outils de TRIZ

TRIZ est une théorie de résolution des problèmes inventifs. Elle propose des outils conçus dans le but de la résolution des problèmes technologiques. Elle a une démarche structurée, méthodologique dont les étapes consistent à décrire la situation initiale, identifier le problème à résoudre, formuler une solution idéale, formuler une contradiction, et enfin résoudre cette contradiction [Dubois 2004]. Cette démarche mobilise des notions telles : l'invention est la résolution d'une contradiction, les lois d'évolution des systèmes techniques régissent l'évolution du monde technique dans tous les secteurs de la technologie. Elle propose des outils de modélisation des problèmes et des principes de solutions pour y répondre. On peut classer ces outils selon l'objectif assigné à chacun d'eux, lors des étapes de résolution des problèmes [Bertoluci 2001] :

- Outils de résolution des contradictions (la matrice et les principes d'innovation dans les contradictions techniques, et les principes de séparation pour les contradictions physiques),

- Outils de modélisation (modélisations champs substance, appelées aussi vépoles),
- Outils de prédiction de l'évolution des systèmes techniques (les lois d'évolution)
- Outils de lutte contre l'inertie psychologique (opérateur Dimension-Temps-coût, Méthode des hommes miniatures, les neufs écrans).

Les outils proposés par cette théorie sont :

❖ Matrice des contradictions

La matrice des contradictions représente l'outil de TRIZ le plus connu et le plus fréquemment employé pour sa simplicité d'usage. Selon Altshuller : « A l'origine de tout problème d'inventivité, on trouve une contradiction technique » [Altshuller 1999], et « qu'une invention est la résolution d'une contradiction » autrement dit, inventer, c'est résoudre le conflit entre deux paramètres caractérisant la contradiction [Seredinski 2004]. Les travaux d'Altshuller et de son équipe ont permis d'une part d'identifier les 39 paramètres possibles rencontrés de façon récurrente dans la plupart des brevets caractérisant le problème, et d'autre part, de capter les 40 principes, servant à la résolution de ces contradictions. Altshuller a ainsi construit une matrice des contradictions, qui se présente sous la forme d'une table où les lignes correspondent aux paramètres à améliorer et les colonnes aux paramètres qui se dégradent, au croisement ligne, colonne, la table donne un à quatre principes généraux correspondants aux solutions ou directions de recherche des solutions. Les contradictions techniques, modélisées au moyen des 39 paramètres, représentent les facteurs, les plus souvent, sources de conflits [Bertoluci 2001]. Nous montrons l'exemple de résolution représentant la matrice des contradictions dans la figure 2.1 ci-dessous :

Paramètre à ne pas dégrader		1	2	3	4	5	6	...	38	39
		Masse d'un objet mobile	Masse d'un objet immobile	Longueur d'un objet mobile	Longueur d'un objet immobile	Surface d'un objet mobile	Surface d'un objet immobile	...	Degré d'automatisation,	Productivité
1	Masse d'un objet mobile		..	15,8 29,34	..	29,17 38,34	29,2 40,28	..	26,35 18,29	35,18
2	Masse d'un objet immobile				10,1 29,35		35,30 13,2		2 26,35	1,28 15,35
3	Longueur d'un objet mobile	8,15 29,34				15,17 4				
4	Longueur d'un objet immobile		35,28 40,29							

Les principes inventifs 26, 35, 18, 19 sont les plus souvent mobilisés dans les brevets, pour améliorer le paramètre 1 masse d'un objet mobile sans dégrader le paramètre 38 degré d'automatisation

Figure 2.1 : Utilisation de la matrice des contradictions

❖ Principes de séparation

Les principes de séparations sont des principes inventifs destinés à la résolution des contradictions physiques [Vicente and Jose 2010]. Une contradiction

physique définit une situation problématique dans laquelle une caractéristique d'un élément présente deux propriétés contradictoires à la fois [Choulier 2000]. TRIZ propose 11 principes de séparation de ces propriétés opposées l'une à l'autre, pouvant se trouver dans l'espace, dans le temps ou entre un système et ses composants. Nous présentons ces principes dans le tableau ci-dessous [Altshuller 1984b] [Altshuller 1984b; Choulier 2000].

Séparation des propriétés contradictoires	
1	Séparation dans l'espace
2	Séparation dans le temps
Transition de système 1	
3	Combinaison de plusieurs systèmes en un « super système »
4	Combinaison d'un système et de son opposé : « antisystème »
5	Séparation entre un système et ses sous-systèmes (le système a la propriété A alors que les sous-systèmes ont la propriété non A)
Transition de systèmes 2	
6	Transition vers le « micro niveau » (changement d'échelle par l'utilisation de substances à un état physique plus « dissocié » : poudre, liquide, gaz...)
Transition de phase	
7	Changement de phase d'une partie du système, ou de son environnement (changement de phase dans l'espace en fait)
8	Changement de phase « dynamique » dépendant des conditions de travail (changement de phase dans le temps)
9	Utilisation des phénomènes associés aux changements de phase
10	Remplacement d'une substance monophasée par une substance bi ou polyphasée
Transition Physicochimique	
11	Création/élimination de substances par combinaison ou décomposition physico-chimique.

Tableau 2.1 : Principes de séparations

❖ Modèles Substances-Champs (S-Fields) – Solutions standards

S-Field est la traduction du mot russe Vépole qui est un néologisme composé de « Ve », première syllabe du mot matière et de « Pole » signifiant champ, traduits et associés ils forment ainsi le mot composé S-Field : avec « S » première lettre du mot Substance et « Field » signifiant « champ ». L'appellation « *modèles champ substance* » utilisée ici reprend la traduction anglo-saxonne « *Substance Field models* » ou « *Su-Field* » [Bertoluci 2001]. Elle est donc l'association entre des « *substances* » (composants du système technique) et des « *champs* » (pesanteur, électromagnétique, magnétique, etc.), La modélisation S-Field est une approche fonctionnelle des problèmes inventifs [Wu 2011]. Elle est conçue pour des cas complexes. Elle fait ressortir de manière évidente les causes conflictuelles au centre du problème, et propose des pistes de solution plus appropriées en fonction de la nature des nuisances et des ressources existantes dans la zone entourant le problème.

L'outil S-Fields se compose d'un modèle substance-champs qui permet une modélisation relationnelle du problème en substance (objet matériel) et champs (toutes formes d'énergies). Chaque substance peut engendrer un effet pouvant

modifier les caractéristiques d'autres substances, comme tout champ environnant pouvant servir d'énergie motrice. Ces interactions peuvent être :

- Utiles, et donc à préserver
- Nuisibles, et donc à détruire
- Insuffisante, et donc à renforcer

Selon le cas de figure auquel on se trouve confronté, l'objectif à atteindre, est alors reformulé de façon qu'il soit plus clair et plus intelligible : exemple, préserver une action utile, ou bien, détruire l'action nuisible. Pour y parvenir Altshuller a proposé 76 solutions standards consistant à introduire, modifier ou supprimer des champs ou des substances. Plusieurs formulations algorithmiques existent pour gérer et guider la recherche de la solution selon le modèle obtenu [Bertoluci 2001].

❖ **Les 8 lois d'évolution des systèmes techniques**

Les lois d'évolution des systèmes techniques décrivent les tendances d'évolution des systèmes techniques. Elles sont utilisées pour conduire de façon rigoureuse le développement d'un système tout au long de son évolution technique [Zouaoua, Crubleau et al. 2009]. Les travaux de recherche entrepris par Altshuller et son équipe sur les produits industriels à différentes époques de leur existence, leurs ont permis d'observer que les systèmes techniques se développent selon une évolution qui répond à des règles bien établies. Le résultat est formulé par Altshuller, sous l'expression suivante : « *l'évolution des systèmes techniques obéit strictement à des lois objectives et n'est nullement un processus aléatoire* ». Cette déclaration aurait pu être émise par bon nombre de chercheurs ayant étudié l'historique de l'évolution de l'objet technique. Parmi eux, nous citons Gilbert Simondon, dans les années 1957-1964 [Simondon 2001] qui a produit de nombreuses contributions à la recherche des liens historiques associés aux objets fabriqués en technologie [Van Lier 2006]. En parlant du développement des objets techniques et du vivant, tant animal qu'humain, il disait « *les objets techniques sont marqués par les caractères et les empreintes de leurs époques et, avec cette différence, que la technique se développe par intentions, avec des fins et des moyens, et que le vivant est une machine spontanée, auto-génératrice, naturelle* ». Son mérite réside dans le fait de vouloir contribuer à faire connaître l'histoire de l'évolution de la technique, il était animé d'un autre esprit de recherches scientifiques et d'autres pratiques que les fondateurs de la théorie TRIZ. Ces derniers avaient comme préoccupation principale l'innovation.

Ces réflexions nous laissent dire, que l'évolution des systèmes techniques a donc, toujours suivi un cheminement obéissant à des règles strictes dont l'homme pouvait presque pressentir les objectifs. C'est son intervention qui va concrétiser ce changement. Puisque le but de ce dernier est de rendre plus performants les systèmes techniques qui procuraient, alors à l'homme, plus d'avantages, de bien être, de rapidité, de productivité et d'efficacité. Cependant, si l'homme avait pleine conscience qu'il était à l'origine de cette amélioration, due à son propre effort de réflexion, ou à une idée rencontrée par le simple fait du hasard, il ne pouvait s'imaginer qu'elle était inscrite en bonne place comme la traduction d'une tendance vers laquelle devait absolument évoluer ce système technique.

Les lois d'évolution permettent de prédire, conduire, suggérer et initier des pistes de création, en parfaite cohérence avec la dynamique qui a toujours présidé au progrès technique. Ces lois peuvent guider l'ingénieur dans ses recherches de manière plus vite, en sélectionnant ainsi les directions jugées les plus fructueuses. Montrer la « voie à suivre » disait [Cavallucci 1999b].

La traduction des lois d'évolution du cyrillique à l'anglais est source de confusion sur l'utilisation des termes « *laws* », et « *patterns* », qui entraînent des significations différentes, rendant certaines de ces lois (heureusement peu nombreuses) difficiles à comprendre [Choulier 2004a]. Cette constatation explique l'insuffisance de l'utilisation de ces lois dans le domaine pratique de l'innovation.

L'utilisation de TRIZ entraîne une réflexion préalable sur l'évolution des systèmes techniques. « *La compétence en inventivité dépend de l'aptitude à reconnaître une tendance d'évolution technique* », « *avant de choisir une tâche, il faut déterminer la direction d'évolution* » comme l'a pensé Altshuller et rapporté par [Choulier 2004a]. Ce qui met en exergue l'importance de la place et du rôle des lois de l'évolution d'un produit dans un processus d'innovation. Elles permettent aussi de positionner les produits et systèmes techniques dans leur état actuel et de les faire évoluer dans une séquence logique basée sur l'évolution « *normale* » des techniques vers des suggestions d'axes d'amélioration [Altshuller 1984a; Lattuf 2006].

« *Deux types d'outils peuvent être utilisés comme objectif de positionner le système technique par rapport à son histoire et à son évolution : les lois d'évolution et la technique des 9 écrans* » [Choulier 2000]. Tout système technique est susceptible de faire l'objet d'améliorations inédites conformément aux tendances d'évolution présentées par TRIZ. C'est aussi l'idée avancée par G. Simondon en 1967 [Sonntag 2007].

Nous pouvons dire que les lois d'évolution seront parmi les outils de développement stratégique de la technologie des générations futures. Altshuller a formulé huit lois d'évolution des systèmes techniques, classées en trois grandes familles [Ameglio 2005] que nous présentons ci-après :

- **Les lois statiques** composées des lois 1, 2 et 3, ces lois gèrent l'organisation du système et définissent sa viabilité. Pour qu'un système technique soit opérationnel, ses différentes parties doivent absolument respecter ces 3 lois.
- **Les lois cinématiques** composées des lois 4, 5 et 6, elles dirigent l'évolution du système sans prendre en compte les éléments techniques et physiques internes.
- **Les lois dynamiques** composées des lois 7 et 8 qui complètent les précédentes en tenant compte de ses éléments internes.

Loi 1 : Intégralité des parties d'un système technique (*Law of system completeness*).

Un système technique est composé de 4 parties [Ameglio 2005] :

- une entité motrice ;
- une entité de transmission ;
- une entité de travail ;
- une entité de contrôle.

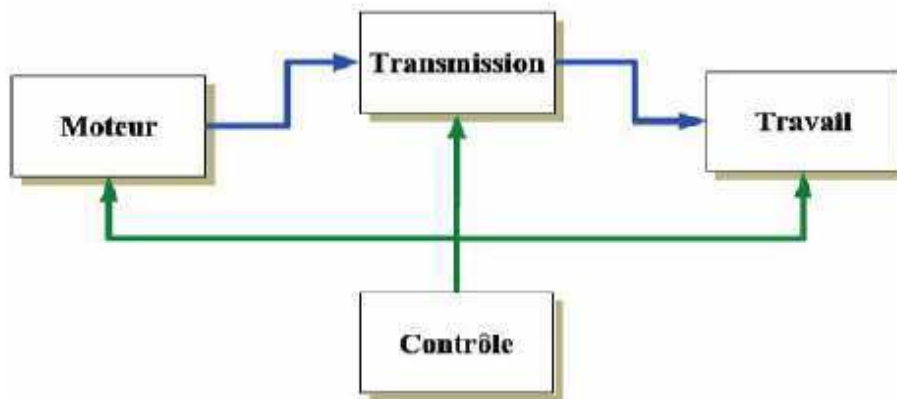


Figure 2.2 : Les quatre composants d'un système technique

Pour réaliser une fonction, une énergie doit être utilisée, transformée et transmise, chacune des 4 entités précédentes doit être présente et utile à la réalisation de cette fonction dans le système technique [Scaravtti 2004]. S'il y a au moins une entité du système jugée de performance médiocre, le système technique ne fonctionnera pas, même si les autres entités sont jugées performantes [Cavallucci 1999b]. Cette loi annonce aussi une condition indispensable sur la nécessité qu'une entité du système soit contrôlable [Ameaglio 2005].

Le contrôle de l'opérateur à proximité de la réalisation de l'action est un gage de bon fonctionnement [Scaravtti 2004]. Le critère pour cette loi est le nombre d'entités concernées par le contrôle ainsi que la proximité de l'entité contrôlée et de l'action [Choulier 2004a].

Loi 2 : Conductivité énergétique (*Taking out*)

Un système technique doit permettre un libre passage de l'énergie à travers toutes ses entités. Tout système technique peut être un convertisseur d'énergie, quand la nécessité d'utiliser d'autre forme d'énergie se présente. Par conséquent, il est nécessaire de transmettre l'énergie du moteur, via la transmission, à l'entité de travail [Cavallucci 1999b]. La transmission d'énergie doit être la plus efficace possible, afin de lui conférer le maximum de puissance. Le nombre de conversions de l'énergie utile dans le système tend à diminuer avec son évolution [Grevy 2004]. Ce qui va dans le sens de la simplification du système, de la réduction de son encombrement en éléments inutiles.

Pour qu'une entité du système technique soit contrôlable, il est nécessaire d'assurer la conductivité énergétique entre cette entité et celle du contrôle [Cavallucci 1999b]. Cette loi indique la nécessité de la détection des pertes d'énergies, si il y a des pertes d'énergie dans le système alors il faut détecter les causes de ces pertes et de les supprimer [Scaravetti 2004].

Loi 3 : Coordination du rythme des parties (*Local quality*)

Un système technique ne fonctionne que si toutes ces parties agissent dans une parfaite synchronisation où les fréquences et les périodicités de leurs actions s'enchaînent harmonieusement. L'ensemble des parties peut être actionné soit en phase, soit en opposition de phase, mais toujours selon le programme prévu par le fonctionnement du système technique.

Les actions des différentes entités du système technique doivent être entièrement coordonnées, voir complémentaires (travail d'une partie pendant le repos d'une autre). Les rythmes (fréquence, périodicité, ..) doivent être en harmonie [Ameglio 2005].

Loi 4 : Augmentation du niveau d'idéalité (*Increasing the degree of system ideality*)

Le système technique se développe pour atteindre un niveau de perfectionnement plus élevé. Un système technique idéal est un système dont le poids, le volume, la surface et le coût tendent à atteindre zéro et dont la capacité de travail et les fonctionnalités restent toujours identiques [Cavallucci 1999b].

Un système technique ne peut survivre que si son idéalité telle que perçue par l'utilisateur augmente. Dans le cas contraire, le système peut être techniquement viable mais ne survivra pas car il sera abandonné au profit d'un autre jugé plus performant par les utilisateurs [Grevy 2004].

Denis Choulier identifie deux types de perfectionnement : la première qu'il nomme « évolution vers la complexification » et la deuxième « évolution vers la simplification » [Choulier 2004a]. En effet le chemin vers l'idéalité est composé d'une première période durant laquelle le système se complexifie (augmentation du nombre des fonctions utiles), puis d'une deuxième durant laquelle il se simplifie (diminution des fonctions inutiles ou néfastes) [Ameglio 2005].

Loi 5 : Développement inégal des parties d'un système technique (*Non uniform development system element*)

Toutes les parties d'un système n'évoluent pas en même temps, ni dans la même proportion. C'est la plus médiocre qui sera développée en priorité [Cavallucci 1999b]. Cette loi corrobore fortement la première loi. Chaque partie du système suit son propre cycle d'évolution. Le développement de toutes les parties se poursuit cependant pour tendre vers le niveau le plus élevé de perfectionnement, où les fonctions utiles sont augmentées à l'extrême, et les fonctions nuisibles et les coûts sont réduits à l'extrême.

Loi 6 : Loi de la transition vers le super système (*System becoms a subsystem of a geneal system*)

Lorsqu'un système technique s'est extrêmement développé, il peut arriver qu'il atteigne son degré le plus élevé de développement, alors il ne peut plus le dépasser et par conséquent aucune possibilité d'évolution ne lui est plus offerte, il devient alors

une partie simple d'un super système. Son développement pourra alors se poursuivre à travers celui des parties de ce super système [Ameglio 2005].

Loi 7 : Transition d'une macro niveau vers un micro niveau (*Transition from macrosystems to microsystems*)

Cette loi générale décline les étapes successives de l'évolution. Les premières étapes se situent au niveau macro du système, pour ensuite évoluer vers le micro système. L'exemple des interactions physiques ou chimiques au niveau microscopique permettent des évolutions très intéressantes dans l'augmentation de la fonction utile. Donc l'obtention de la fonction innovatrice recherchée dans un système passe par des actions au niveau microscopique [Ameglio 2005].

Lorsque le système technique évolue le développement de ses entités de travail passe d'abord par la macro niveau et ensuite par le micro niveau, tout en gardant ses fonctions, le système va alors changer radicalement. Son entité de travail va fonctionner au micro niveau, à la place des objets ça sera des particules infiniment petites comme les molécules, atomes, ions, électrons, etc. qui vont effectuer le travail [Cavallucci 1999b].

Loi 8 : Augmentation de la contrôlabilité et du dynamisme (diminution de l'implication avec augmentation de l'automatisation) (*Increasing dynamism and controllability, Decreasing involvement with increasing automation*)

Le développement du système technique tend vers un niveau de contrôlabilité accru, pour atteindre un niveau d'auto contrôle. On distingue les étapes d'évolution suivantes [Cavallucci 1999b] :

- a) des systèmes non contrôlables qui cherchent à devenir contrôlables,
- b) des systèmes contrôlables, avec un développement qui suit une transition de champs mécaniques en champs électromagnétiques,
- c) des systèmes contrôlables, avec des développements qui cherchent à établir des liens entre les éléments,
- d) des systèmes contrôlables, avec un développement qui tend vers la compatibilité des éléments.

Globalement, l'évolution du système tend ainsi vers une diminution de l'intervention humaine, avec dans l'ordre [Grevy 2004] :

- système requérant l'intervention humaine à tous les niveaux
- diminution de la fonction humaine au niveau de l'exécution
- diminution de la fonction humaine au niveau du contrôle
- diminution de la fonction humaine au niveau de la prise de décision

❖ **ARIZ**

ARIZ est l'appellation donnée par Altshuller à cet algorithme de résolution des problèmes inventifs. Il comporte tout un ensemble d'étapes riches et organisées, destinées à la mise en œuvre de la théorie TRIZ avec ordre et méthodologie. ARIZ

reformule le problème en une contradiction physique, puis la résout en associant d'autres outils de la théorie TRIZ.

Altshuller positionne ARIZ comme un outil de résolution des problèmes inventifs « *non-standard* », c'est-à-dire ceux représentant les seuls 5% sur l'ensemble des brevets analysés, dont la solution est réellement de l'innovation, parce que se rapportant à un concept vraiment nouveau, un concept inédit. Le classement effectué par Altshuller, selon le degré d'inventivité positionne ces 5% d'inventions dans deux catégories : la première « *nouveau concept* » soit 4% et la deuxième, la plus élevée : « *découverte* » soit un 1% [Altshuller 1984a]. Il les avait dénommées : « *les problèmes inventifs non standards* », du fait que leur résolution n'est pas possible avec l'utilisation d'un outil, en solitaire, comme la matrice de contradiction ou des 76 standards. Pour ces problèmes, très complexes, le recours à ARIZ est le passage obligé, parce que conçu à l'origine pour pallier l'inaptitude des outils créés précédemment.

Il est l'outil le mieux adapté parce qu'il assure une exploration plus systématique, réalise des analyses très fouillées à différentes étapes, définit au mieux le Résultat Ultime Idéal dans ses premières étapes, reformule la contradiction technique pour la traduire en contradiction physique privilégiée par ARIZ, mobilise les ressources (champs et substances) pouvant servir à sa résolution.

ARIZ fait appel à l'utilisation successive de nombreux outils de TRIZ, selon des règles établies de façon explicite et bien orchestrée [Zlotin and Zusman 1999a; Zlotin and Zusman 1999b; Zlotin and Zusman 1999c]. « *ARIZ constitue d'ailleurs la seule méthode formalisée d'emploi des outils de TRIZ* » ainsi disait Altshuller [Terninko and Zusman 1996] [Altshuller 1999]. Plusieurs versions d'ARIZ ont été réalisées à différentes périodes, dans le souci d'apporter les améliorations à la précédente, et toutes s'accordaient sur la mise en œuvre de l'approche par les contradictions physiques.

❖ **Méthode des hommes miniatures**

Cette méthode [Gordon 1984] [Cavallucci 1999b] est destinée à surmonter l'inertie psychologique du concepteur. Elle fut employée par un ingénieur américain, William Gordon, trente ans auparavant. Le principe de la technique est d'amener les concepteurs, par leur imagination à faire un saut dans un univers mental qui représente le grossissement de la zone réelle de la contradiction.

Dans TRIZ, le modèle est basé sur l'utilisation des d'hommes miniatures postés dans cet univers, au cœur du problème. A ces hommes miniatures il est conféré, par la pensée, une aptitude à identifier, analyser et comprendre le conflit de l'intérieur. Leurs réactions aux effets des solutions proposées, sont captées par les concepteurs, des analyses sont effectuées et une surveillance de l'évolution du conflit est observée. L'action appropriée, nécessaire à la résolution de ce conflit peut être, alors, dégagée.

C'est une méthode bien adaptée aux contradictions physiques, où les interfaces inter-substances agrandies par le biais de notre imagination, permettent une meilleure lisibilité du conflit, et de dégager des axes de réponses bien appropriées.

❖ Opérateurs DTC

Altshuller, s'est inspiré des méthodes synectiques¹⁴, et a mis au point un autre outil, s'inscrivant dans la catégorie des instruments de lutte contre l'inertie psychologique. Cet outil est destiné à stimuler le processus créatif intellectuel : les opérateurs DTC (Dimension Temps Coût) ont pour principe d'aider le concepteur à visionner, par la pensée, des situations extrêmes, comme des agrandissements démesurés, ou des rapetissements infinis de la taille du système, de son temps d'action ou de son coût de réalisation ou d'usage du système. Ces mondes visionnés par l'imaginaire des concepteurs comme à travers un microscope suscitent alors un dépassement de l'inertie psychologique du concepteur. Les concepteurs deviennent, alors, plus imaginatifs et voient, sous un nouvel éclairage avec des proportions plus appropriées, le système et des contradictions. La créativité se débloque et devient plus manifeste avec plus de force et de clarté. Alors entre en action l'intervention de l'outil DTC [Cavallucci 1999b].

L'objectif de cet outil est de reformuler la description du problème à travers six questions portant sur le devenir du problème si :

- 1 : le système était minuscule ?
- 2 : le système était immense ?
- 3 : le système opérait en un rien de temps ?
- 4 : le système opérait en un temps infini ?
- 5 : le système avait une valeur nulle ?
- 6 : le système avait un coût très élevé ?

Puis, de résoudre le problème dans les conditions trouvées [Cavallucci 1999b].

2.4. Champs d'Application de TRIZ

2.4.1. Applicabilité de TRIZ dans la résolution des problèmes

➤ Résolution de problèmes technologiques

Après l'introduction de TRIZ dans le monde occidental, cette théorie s'est, petit à petit, forgée une place dans le monde de la résolution des problèmes d'innovation. Aujourd'hui elle est de plus en plus présente dans le domaine de l'industrie pour la résolution des problèmes inventifs. On recense près de 500 entreprises aux États-Unis et en Europe et 1 500 dans le monde à utiliser TRIZ [Cavallucci and Lutz 1997b; Cavallucci 1999b].

Pour la résolution des problèmes, La théorie TRIZ offre tout un panel d'outils. Mais les plus les plus utilisés sont la matrice des contradictions, les principes de séparation et les solutions standards [Savransky 2000] [Meylan 2007] [Hipple 2002] [Hipple 1999] [Miller and Domb 2001] [Seredinski 2004].

Des études réalisées sur TRIZ ont montré son efficacité, exemple celle du MIT (Massachusetts Institute of Technology). Elle conclue qu'avec TRIZ on note un fort pourcentage , soit 70 % plus inventif que sans TRIZ [MIT Report 1997]. Celle de

¹⁴ La synectique est une technique de stimulation des facultés créatrices

l'ASI (American Supplier Institute) pronostique TRIZ comme l'outil qui va bouleverser l'univers industriel du XXI^e siècle [Killanders 1996].

L'efficacité apportée par TRIZ dans la résolution des problèmes techniques [Beaufils 2000] [Changqing, Kezheng et al. 2005] a poussé les experts à l'utiliser en complément à d'autres méthodes [Wits and Vaneker 2010] [Litvin, Feygenson et al. 2010] [Junghwan, Jinkyung et al. 2009] [Chin Pin, Haron et al. 2011].

➤ **Résolution de problèmes non-technologiques**

Ces dernières années on a remarqué une tendance de l'application de la théorie TRIZ dans la résolution des problèmes non-technologiques, domaine éloigné de son champ d'application habituel. John Hipple disait: « *Les contradictions, cependant, se produisent dans toutes les facettes d'une opération commerciale, pas simplement dans ses fonctions d'ingénierie et de fabrication. Il n'y a aucune raison de penser que ces mêmes principes de séparation ne peuvent pas tout aussi bien être appliqués au soft ou problèmes de types organisationnels* ». [Hipple 1999; Bertoluci 2001]

De nombreux travaux traitent de l'utilisation de TRIZ dans divers domaines non-technologiques, tels le marketing, le management et la publicité, etc. Nous présentons, dessous, certains d'entre eux :

1) Dans le secteur des services d'annuaires et de renseignements d'annuaires, l'article « *Niche Markets: Targeting High-Value Market Segments using TRIZ* » [Cool 2006] présente une méthode de résolution des problèmes des flux des biens et services entre divers univers culturels, à travers le monde. Elle est appliquée ensuite à l'activité des services d'annuaires, en mettant à contribution les principes de TRIZ. Il part du concept de TRIZ qui est de prendre du recul par rapport au problème posé, et d'adapter sa recherche une démarche globale. Il déduit que la méthode TRIZ convient totalement à cette problématique. Il développe des modèles de Tryptiques marketing et commerciaux pour les adapter aux divers marchés et secteurs géographiques. L'application de la méthode TRIZ est illustrée également par l'utilisation des principes de résolution des contradictions suivants :

- Classer et sélectionner les éléments du système qui correspond au principe 1 : la segmentation
- Insertion et dynamique du système qui correspond au principe 15 : Dynamiser
- et Auto-alimentation / Fonctionnement et Développement du Système qui correspond au principe 25 : Self-service

Les principes de TRIZ, cités dans l'article et mis à contribution pour aider au développement optimum des outils et modèles marketings des services d'annuaires, ont montré les possibilités que cette méthode peut apporter au domaine du marketing.

2) Le taiwanais Yung-Chin Hsiao dans son article « *Creative Solution from TRIZ for the Business Contradiction in Red Ocean Strategy* » résout le problème de la contradiction intitulée « *contradiction de l'océan rouge* », dont le principe est de proposer des produits sur un marché déjà exploité par les concurrents. La stratégie de l'océan rouge pour se différencier de la concurrence entrevoit deux solutions

possibles, réduire les coûts ou augmenter la performance. la contradiction étant telle qu'elle ne peut atteindre simultanément ces deux objectifs [Yung-Chin 2005].

Pour résoudre cette problématique, L'auteur utilise une extrapolation de la méthode TRIZ au domaine du marketing et du management. Il met en jeu une combinaison des principes de la matrice de contradiction de TRIZ, qu'il transcrit au domaine du marketing dans une version management. A cette sont adaptées les stratégies issues de plusieurs centaines de livres de Business et de Management. La nouvelle matrice ainsi obtenue intitulée « *Creatriz for Business and Management* » utilisent 40 principes similaires sur le même modèle de fonctionnement que TRIZ version classique.

3) L'article « *Disruptive Advertising: TRIZ And The Advertisement* » de [Mann 2005], montre des applications des 40 principes de TRIZ dans le marketing. L'étude menée par l'auteur a consisté à visionner les spots publicitaires des trois chaînes de télévision du Royaume – uni. Il a analysé le concept utilisé pour la réalisation de chacune des annonces publicitaires et dégagé les principes de rupture avec les modèles conventionnels liés au produit, desquels il décrypte les principes de contradiction TRIZ associés. L'auteur dresse ensuite un tableau représentant les 100 meilleures annonces ainsi classifiées selon l'ordre de préférences des téléspectateurs. Les publicités qui ont capté la préférence et l'engouement des téléspectateurs sont en majorité celles qui ont été conçues à l'aide des principes de TRIZ. Ces principes se distinguent par leur caractère humoristique et déplacé.

Cette enquête a révélé que 85 publicités sur les 100 étudiées employaient un ou plusieurs principes TRIZ, et qu'un réel parallélisme existe entre les principes de TRIZ et les concepts des publicités.

4) Igor Vikentiev s'est inspiré des 40 principes inventifs de TRIZ, et a développé 40 principes destinés aux applications dans les domaines de la publicité et du journalisme [Bertoluci 2001].

5) Retseptor propose les 40 principes inventifs de vente et publicités dans le marketing, il effectue une translation des principes de TRIZ vers le marketing visant l'optimisation de la satisfaction client [Retseptor 2005].

6) L'article « *40 Inventive (Business) Principles with Examples* » d'Ellen Domb, propose des translations des 40 principes inventifs d'Altshuller vers les systèmes organisationnels et de gestion. L'article présente également des exemples pour mieux illustrer l'application de chaque principe [Mann and Domb 1999].

7) Ellen Domb, à travers son article « *Using the 76 Standards Solutions: A case study for improving the world food supply* » [Miller and Domb 2001], a montré la possibilité d'application d'autres outils de TRIZ dans résolution des problèmes organisationnels. Et cela, en dehors des 40 principes inventifs déjà utilisés.

L'article fait le rapprochement entre certaines solutions standards et des concepts d'outils employés classiquement en organisation de la production et du management. Elle n'explique pas la manière avec laquelle elle s'y prend, pour

sélectionner les solutions standards. Certainement qu'Ellen Domb voulait surtout montrer la cohérence des Standards avec les problèmes organisationnels, et s'était contentée d'extraire de leur liste les éléments les plus appropriés.

TRIZ a également été appliquée dans d'autres domaines, et à défaut de tous les présenter ici dans le détail, nous nous contenterons de les lister dans le tableau suivant:

Domaine	Référence
L'éducation	[Nakawage 1999] et [Zlotin and Zusman 1999d]
L'art	[Voronin 2000] et [Zlotin and Zusman 2001]
L'économie	[Domb 1999], [Skrupskis and Ungvari 2000] et [Souchkov 2010]
La gestion des risques	[Regazzoni and Russo 2010]
La politique	[Fear 1998]
Le design	[Verhaegen, Vandevenne et al. 2010] et [Te-Sheng and Hsing-Hsin 2011]
Le développement durable	[Bersano, Russo et al. 2010], [Zhang and Shang 2010] et [Yang and Chen 2011]
Le textile	[Gao 2011]
la gestion des connaissances	[Cortes Robles, Negny et al. 2005]

Tableau 2.2 : Certains domaines d'application de TRIZ

En analysant les articles cités dans cette section, on trouve que la plupart d'entre eux, proposent des traductions des outils classiques de TRIZ et de leur adaptations aux problèmes non-techniques. On remarque qu'un grand nombre d'entre eux proposent une traduction des 40 principes inventifs de la matrice des contradictions.

2.4.2. Applicabilité de TRIZ dans l'étude d'évolution des systèmes

Dans le paragraphe 2.3.2, consacré à la présentation des outils et concepts de TRIZ, nous avons observé que les lois d'évolution étaient considérées, par plusieurs chercheurs et notamment le fondateur de TRIZ, comme un outil puissant dans la prédiction des évolutions des systèmes techniques.

Avant de passer à l'analyse de l'application de TRIZ dans l'étude d'évolution des systèmes à l'aide des lois d'évolution, nous avons pensé qu'il est instructif d'aborder en premier, même de façon très succincte, l'article de Denis Choullier, intitulé « *Synthèse sur les lois d'évolution* » [Choullier 2004a], où il confronte les lois d'évolution de la théorie TRIZ aux réflexions de deux auteurs français Simodon sur

un objet technique [Simondon Aubier 1989] et Deforge sur la génétique [Deforge 1981] pour répondre à la question : quelle est l'utilisation de ces « lois » ? Il ressort, de cette confrontation, l'existence d'idées communes sur des tendances d'évolution générales des produits. Les lois d'évolution sont donc constituées de lignes d'évolution qui définissent des tendances d'évolution des produits, avec certaines divergences de points de vue :

- Pour Altshuller le développement technologique est une logique dialectique [Duran-Novoa, Leon-Rovira et al. 2011],
- Pour Deforge, les lois d'évolution sont liées à la psychologie profonde, car la cause première de l'évolution générale est psychologique, et non technique

Dans son article, Choullier développe ses réflexions autour d'un point fondamental à savoir les tendances d'évolution, où il précise que TRIZ possède actuellement des utilisations dans des domaines autres que la résolution des contradictions techniques, faisant appel à des notions de tendances d'évolution, notamment pour la prédiction. Il précise que les lois d'évolution s'utilisent dans une démarche projective à des fins d'étude évolutive. Enfin, Choullier conclut en disant que l'évolution des produits et des systèmes est l'une des voies de recherche proposée par TRIZ, même si malheureusement on ne trouve pas assez de publication sur ce sujet.

Nous partageons le point de vue de Denis Choullier sur le fait qu'il y a peu de travaux de recherche sur l'utilisation des lois d'évolution pour l'identification des futures générations des technologies, pour avoir été, nous-mêmes, confrontés à cet épineux problème dans le cadre de la présente thèse. Nous le rejoignons également pour dire que ces lois n'ont pas été suffisamment accompagnées, dans la théorie TRIZ, par un soubassement théorique pouvant soutenir leur utilisation dans un objectif de créativité. Nous devons également reconnaître qu'aucune étude n'est venue, à la suite de l'introduction de cette théorie en occident, examiner en profondeur cette question. Ce qui aurait permis, peut être, d'apporter ce fil conducteur manquant pour ouvrir la voie à leur application dans une vision d'innovation. Pourtant, nous pensons que les arguments favorables à une telle action existent et laissent présager de son succès. En effet la matière première, base d'application de ces lois, constituée par les systèmes, existe en abondance. Il reste à approfondir les textes des définitions des lois d'évolution pour en extraire d'avantage d'indications sur les tendances d'évolution. Ces définitions constituent, à notre avis, les seules synthèses sûres à explorer, parce qu'issues de travaux d'analyse de milliers de brevets et de l'observation de l'évolution des objets de l'histoire. Ces définitions sont cependant, très précises dans leurs expressions, suffisamment consistantes, mais n'offrent pas beaucoup de ressources.

Nous allons présenter certains rapports de thèse et communications traitant de ce sujet, qui nous semblent présenter un grand intérêt :

- 1) L'article de Victor Fey présente une nouvelle vision de la loi 7 « *transition vers le micro-niveau* » il décrit un processus original de fragmentation des systèmes

technologiques spécifiques. Lors des étapes de fragmentation du système vers le micro-niveau, apparaissent des contradictions liées à des modifications indésirables de l'ensemble du système, l'auteur résout ces contradictions en utilisant une nouvelle modélisation des substances- champs, faisant appel à deux champs, un champ opératoire et un champ de contrôle [Fey 1999].

L'article présente un important apport scientifique démontrant la possibilité d'utiliser des substance-champs dans l'application de la loi 7. Cependant, la faiblesse majeure de cette méthode réside dans le fait que cette dernière est difficilement applicable, si le système à étudier est incomplet, c'est-à-dire s'il n'est pas constitué des 4 éléments fonctionnels du système technique.

2) Les articles « *Integrating Altshuller's development laws for technical systems into the design process* » [Cavallucci and Weil 2001] et « *Converging in problem formulation : a different path in design* » [Cavallucci, Lutz et al. 2002] ont comme objectif commun de montrer la façon dont les lois d'évolution peuvent être appliquées. Dans un premier temps, la méthode consiste à mesurer le positionnement du système étudié par rapport aux lois d'évolution, dans le but de détecter une carence par rapport à une loi. Dans un second temps, faire évoluer le système selon les lois qui auraient obtenu les plus faibles évaluations.

Le point positif de cette méthode, est qu'elle montre l'intérêt d'application des lois d'évolution dans la conception de produits. Son inconvénient réside dans la difficulté de mesurer le positionnement de l'état d'un système par rapport à chacune des lois d'évolution. Par conséquent la justesse de l'application de la méthode ainsi que ses résultats vont dépendre du bon positionnement du système par rapport aux lois d'évolution.

3) Dans ses travaux de recherche réalisés dans le cadre de sa thèse, Pascal Crubleau [Crubleau 2002], propose l'utilisation des lois d'évolution et des lignes d'évolution pour l'identification des futures générations de produits. La méthode proposée consiste dans un premier temps à réaliser une analyse du niveau de développement d'une technologie par rapport à l'expression de différentes lois d'évolution à l'aide d'un graphe polaire d'évolution pour déterminer de façon pertinente les lois d'évolution sur lesquelles concentrer les efforts de développement. Cette première étape est similaire à celle proposée par [Cavallucci and Weil 2001].

Crubleau enrichit cette méthode en associant à chaque loi des lignes d'évolution, parmi lesquelles l'utilisateur effectue son choix en fonction du type d'évolution souhaité. Il associe également à sa démarche l'utilisation de la simulation numérique pour valider des voies de développement probables, ou à défaut, les écarter.

L'avantage de cette démarche, est qu'elle montre l'intérêt d'application des lois d'évolution dans la conception produit. Cependant, c'est une démarche qui comme la précédente fait appel au choix du seul point de vue de l'utilisateur pour analyser et mesurer la technologie étudiée dans le but de déterminer les lois d'évolution pertinentes dans un premier temps, et les lignes d'évolution dans un second temps. Ce qui peut engendrer des incertitudes sur les résultats, à moins de se faire assister par un expert.

4) L'article de Miller et Domb « *Applying the Law of the Completeness of a Technological System to Formulate a Problem* » [Domb and Miller 2007] présente une utilisation de la première loi d'évolution combinée à l'outil des 9 écrans. L'article propose d'utiliser l'heuristique de découpage d'un système technique en cinq éléments pour compléter chaque fenêtre (écran) des 9 écrans. Puis par la suite d'identifier et de formuler le problème à résoudre.

L'avantage de cet article est qu'il présente une approche originale concernant l'application de la loi 1 combinée à l'outil des 9 écrans. Il permet de voir l'utilité du découpage d'un système technique selon la loi 1 et de mieux comprendre cette loi, et d'aider à son application. Cependant on constate une lacune au niveau de l'accompagnement des utilisateurs novices dans le processus du découpage du système technique et de la bonne identification de ses 5 éléments. Les auteurs mettaient souvent en doute la justesse du découpage du système lorsqu'ils se heurtaient à un échec, alors qu'il aurait fallu peut-être expliquer et apporter plus de conseils dans la meilleure façon de faire pour décomposer le système en ses 5 éléments. Un autre sentiment de frustration du lecteur, vient du fait qu'il n'y a aucune évocation des autres lois, tant le désir de connaître la possibilité d'utilisation des autres lois suscite beaucoup d'intérêts.

5) L'article « *Linking Contradictions and Laws of Engineering System Evolution within the TRIZ Framework* » [Cavallucci, Rousselot et al. 2009] propose une solution au problème qu'il traite sur la limitation des relations entre deux outils de la théorie TRIZ, les lois d'évolution et les contradictions. L'article enrichit les travaux de [Cavallucci and Weil 2001] dont le but est d'attirer l'attention sur le fait que l'on se fixe sur une loi spécifique (ou un ensemble de lois) plutôt qu'une autre. Pour cela, il part de l'hypothèse de l'existence d'un lien entre les contradictions et les lois d'évolution, pour utiliser ce lien dans la hiérarchisation des contradictions à résoudre. Il propose alors, d'utiliser une formule pour calculer le poids d'une contradiction en fonction des lois d'évolution, puis suivant l'ordre obtenu, résoudre la contradiction prioritaire.

L'intérêt de cet article est qu'il met en évidence l'existence de lien entre les lois d'évolution et les contradictions. Cependant l'inconvénient réside dans la difficulté de généraliser la méthode développée, puisque de nombreux éléments ont été évalués de manière qualitative par les utilisateurs, et donc il y a une dépendance directe sur la précision de leurs perceptions. Beaucoup d'incertitudes risquent de peser sur les résultats en raison de la subjectivité liée aux évaluations des utilisateurs.

Pour résumer, On trouve trois types d'approches d'utilisation des lois d'évolution comme le montre la figure suivante :

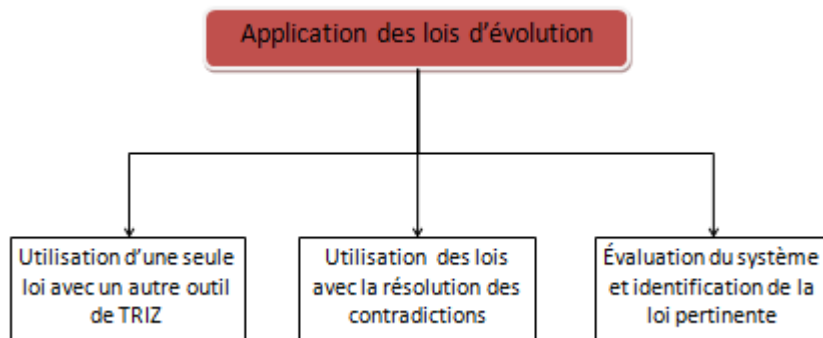


Figure 2.3 : Démarche d'application des lois d'évolution

- La première utilise une seule loi avec un autre outil de TRIZ, c'est le cas des articles de [Fey 1999] et [Domb and Miller 2007]. Dans son article Fey propose l'utilisation des modèles substance - champs pour appliquer la loi 7. Et Domb dans son article propose d'appliquer la loi 1 avec l'outil des 9 écrans. L'intérêt de cette approche est qu'elle propose comment appliquer une loi d'évolution. Cependant, une difficulté d'application de cette approche se fait sentir lorsque le système à étudier est incomplet ou que les éléments fonctionnels qui le composent sont difficilement identifiables.
- La deuxième approche propose de combiner les lois avec les outils de résolution des contradictions, c'est ce qui a été montré par [Cavallucci, Rousselot et al. 2009]. Son avantage est qu'elle démontre que les lois d'évolution et les contradictions sont liées. Cependant des incertitudes d'applications peuvent être observées parce que plusieurs éléments doivent être évalués par les utilisateurs non initiés à TRIZ, et du manque général d'information devant accompagner cette phase.
- La troisième et dernière approche présente un intérêt certain du fait de l'utilisation des lois d'évolution, mais elle présente une difficulté d'application liée à l'évaluation et au positionnement du système par rapport à chacune des lois d'évolution. [Crubleau 2002], [Cavallucci and Weil 2001]. Cette opération pose des difficultés de réalisation à l'utilisateur non initié, et des répercussions sur la justesse de l'application de cette démarche, ne sont pas totalement écartées.

Synthèse sur les champs d'application de TRIZ

Cette partie dédiée aux champs d'application de TRIZ nous a permis de constater :

- une forte application de la théorie dans la résolution de problèmes technologiques,
- une faible application dans la résolution de problèmes non-technologique mais qui connaît une évolution en hausse avec le temps,
- une faible application dans l'étude d'évolution des systèmes.

Afin d'apprécier l'importance des champs applications de TRIZ, nous allons donner une représentation graphique, en utilisant une échelle d'estimation à quatre

niveaux (très faible, faible, moyen et fort). Les graphes ci-dessous sont donnés pour deux cas, à gauche le cas d'applications de TRIZ dans la résolution des problèmes technologiques et non technologiques, et à droite celui de l'application de TRIZ dans l'évolution des systèmes techniques. Ces graphes sont construits sur les données que nous avons recueillies dans le chapitre sur l'état de l'art. Les écarts d'application dans les différents domaines sont très illustratifs. (voir figure 2.4.)

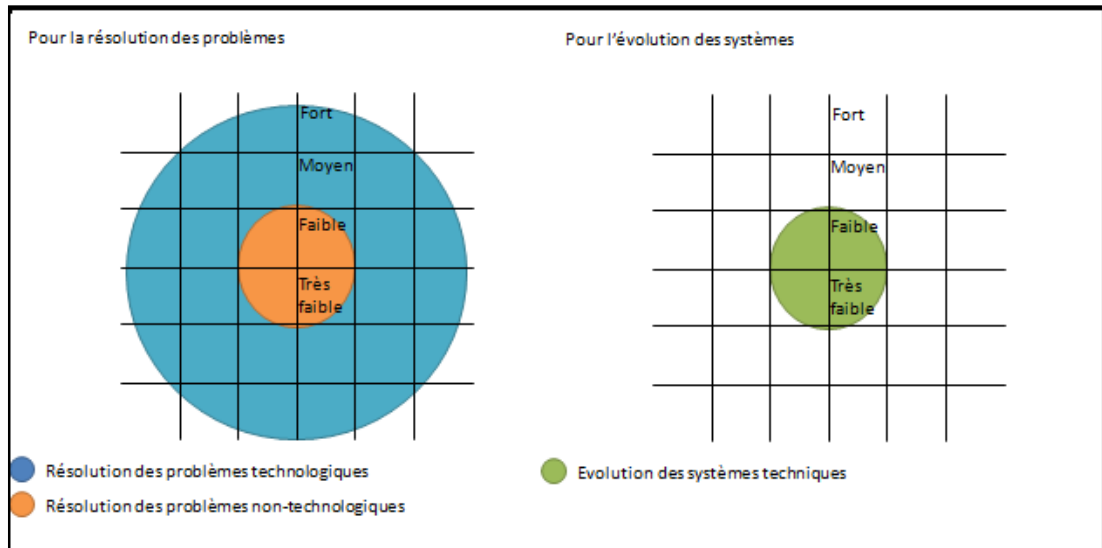


Figure 2.4 : Représentation graphique des champs d'applications de TRIZ

2.5. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons sommairement rapporté l'historique de TRIZ. Nous avons ensuite décrit l'évolution du développement de ses concepts et outils, puis donné leur définition. On a pu voir le caractère générique de ses outils, comme la matrice des contradictions et ses 40 principes, les principes de séparation, les solutions standards, etc. Nous avons vu aussi la richesse de ses concepts comme la contradiction, l'idéalité et l'évolution des systèmes techniques. Tous ces outils ont en commun la propriété de briser l'inertie psychologique et de générer des idées nouvelles.

Nous nous sommes, ensuite, intéressés aux différents champs d'applications de la théorie TRIZ. Nous avons observé que l'application de TRIZ à investi d'autres domaines non technologiques très divers. La littérature spécialisée indique une hausse du nombre de publications traitant de ces nouvelles applications. De nombreuses applications non technologiques privilégient des procédures similaires à TRIZ avec des adaptations techniques de quelques principes aux nouveaux domaines. Ainsi on y trouve des traductions de la matrice de contradictions de TRIZ en des versions correspondant au domaine concerné.

Enfin nous nous sommes intéressés particulièrement à l'étude de l'évolution des systèmes techniques, concept prometteur en innovation, notamment dans la découverte des tendances d'évolution de ces systèmes. Nos investigations ont été infructueuses. Nous déplorons le très peu d'études réalisées et celles, moins

nombreuses encore, non publiées. Nous avons analysé les quelques travaux scientifiques traitant ce sujet. Ce qui nous a conduits à faire le constat que dans la majorité des cas, ces démarches scientifiques proposent l'application d'une seule loi parmi les huit. Ce qui constitue une première insuffisance. La deuxième, commune à toutes les propositions, est qu'elles n'apportent pas suffisamment d'aide dans la phase d'évaluation du système. Cette dernière est pourtant nécessaire à l'application des méthodes proposées. Ce qui affaiblit quelque peu la robustesse de la démarche proposée.

Le présent chapitre nous a permis de connaître les concepts et outils de la théorie TRIZ, le chapitre suivant va nous permettre d'être informés sur l'aspect informatisation de ses outils à travers l'étude des différents logiciels conçus sur cette théorie

Chapitre 3 : Informatisation de TRIZ

3.1. Introduction

Dans le chapitre précédent nous avons vu que la théorie TRIZ dispose d'un panel d'outils de résolution de problèmes inventifs. Hormis la matrice des contradictions qui est très utilisée, les autres outils le sont beaucoup moins, car moins maniables et difficiles à maîtriser à cause du grand nombre de données. C'est l'une des raisons pour laquelle des solutions informatiques ont été sollicitées pour y pallier. Depuis l'apparition du premier logiciel aux Etats-Unis en 1989, beaucoup d'autres ont suivi ces dernières années dans tout l'Occident. Ces logiciels intègrent les outils et les concepts dans une parfaite combinaison informatisée, ouvrant de larges possibilités de fonctionnalités.

Dans ce chapitre nous allons commencer par présenter un état de l'art des logiciels basés sur TRIZ, puis nous passerons en revue leurs principales fonctionnalités. Par la suite nous réaliserons une comparaison entre ces logiciels sur la base de certains critères comme l'implémentation des outils TRIZ, la modélisation du problème, la mise à disposition d'une plateforme de travail collaboratif, etc. Enfin nous présenterons les résultats de cette analyse comparative.

3.2. État de l'art des logiciels basés sur la théorie TRIZ

Ces dernières années, le développement de nouveaux produits technologiques s'est beaucoup accéléré. Cette situation a résulté, en grande partie, de l'innovation qui s'est considérablement développée depuis l'apparition de logiciels d'aide à la création et à l'innovation. Parmi les diverses méthodes qui ont servi de base à la conception de ces outils, la théorie TRIZ, malgré son arrivée tardive en occident, semble être bien placée, pour son aptitude à générer des idées porteuses de solutions de valeurs. Ces potentialités lui ont permis d'être associée avec des méthodes classiques pour le développement de nombreux logiciels bien appréciés pour leur apport dans l'aide à l'innovation et leur simplicité d'usage. Divers logiciels ont intégré la matrice de contradiction sous diverses formes avec ses 40 principes, les solutions standards, les principes de séparation...etc. Aujourd'hui le marché est bien fourni de ces logiciels TRIZ, nous présentons, ci-dessous, une liste de quelques-uns d'entre eux, mis en évidence par les sites¹⁵ comme étant les plus connus. dédiés à TRIZ [The Altshuller Institute 2011] [TRIZ researcher in India and Umakant 2011] :

3.2.1. Logiciels d'apprentissage de TRIZ

➤ **Guide de l'innovation**

Guide de l'innovation, de la société française Ingerea, est un logiciel destiné à l'enseignement de second. Il propose une découverte conviviale des principes

¹⁵ Il s'agit de sites web à vocation non lucrative et dont le seul but est de faire connaître TRIZ et de diffuser la science, la connaissance et les progrès techniques venus de divers horizons.

inventifs et des lois d'évolution en s'appuyant sur des études de produits simples dans différentes thématiques.

Guide de l'innovation comporte des animations et des exercices sur l'utilisation des principes et des lois d'évolution [Guide de l'innovation 2010].

➤ **TRIZ Explorer**

TRIZ Explorer, de la société INSYTEC dont le siège se trouve aux Pays-Bas, permet aux utilisateurs d'accéder à la base de connaissances TRIZ et d'utiliser cet outil comme un moyen d'information et de gestion des informations récoltées au cours du traitement des différents projets [Ellen, Insytec et al. 2000].

La base de connaissances (*Knowledge base*) de TRIZ Explorer est structurée selon cinq catégories :

- Principes inventifs : pour la résolution des contradictions physiques et techniques
- Standards inventifs : modèles génériques des solutions inventives qui intègrent des modèles d'évolution techniques
- Pointeur vers des effets physiques (description détaillée de 160 entrées).
- Ressources internet de TRIZ
- Utilisation et gestion des connaissances locales et externes et des ressources d'information

3.2.2. Logiciels d'aide à l'innovation basés sur TRIZ

➤ **CREAX Innovation Suite ou creaTRIZ**

CREAX, de l'entreprise belge CREAX, est une suite logicielle basée sur TRIZ permettant un processus d'innovation à usage technique, pour les entreprises, il dispose d'un certain nombre d'outils qui permettent la résolution des problèmes inventifs [Creax 2004].

Cette suite Innovation CREAX est constituée de 2 entités indépendantes : L'une comprenant deux logiciels : CreaTRIZ industrie destiné à l'industrie, et CreaTRIZBusines destiné au busines et au management. L'autre regroupant des modules complémentaires telle la version de 2003 de la matrice des contradictions [Creax 2006].

CREAX Innovation Suite offre un large choix d'outils que l'on peut utiliser dans les différentes phases du processus de résolution des problèmes tels que l'outil de description du problème, l'outil de la redéfinition du problème, les ressources, les contraintes, le modèle de système, l'idéalité, l'outil de sélection, les lois d'évolution, les principes, les contradictions, la base de connaissances et les substances champs [Creax 2004].

➤ **GoldFire Innovator**

Goldfire Innovator (GI) est produit par la société américaine Invention Machine (IM). Cette même société a commercialisé dans un premier temps TechOptimizer, Aujourd'hui cet outil est incorporé dans le logiciel *Goldfire Innovator*.

En 1989, TechOptimizer contenait : une fonction d'analyse, les 40 principes innovants, la matrice des contradictions, les 76 standards inventifs, la base de données des effets physique, chimique et géométrique [Invention Machine 2003]. Le nouveau logiciel GoldFire se compose des modules suivants : TechOptimizer Module, Principe Module et Prediction Module [Toru Nakagawa 1998] [TRIZ home page of Mitsubishi Research Institute 1998].

Goldfire Innovator permet la résolution des problèmes inventifs à travers les étapes suivantes [Laroche, Coppens et al. 2004] :

- Une recherche à travers un moteur d'analyse sémantique sur des bases de données internes à l'entreprise et externes (internet, brevets,...),
- Une analyse cause-effet et aide à la modélisation du problème,
- Une automatisation d'un transfert du problème analysé vers le module de résolution de problèmes pour la génération de la solution innovante en utilisant les outils de la théorie TRIZ.

➤ **Guided Innovation Toolkit™ Software**

Guided Innovation, de la société américaine Pretium Innovation, est destiné pour les entreprises industrielles désirant innover. Le logiciel est basé sur la théorie TRIZ il propose un outil pour la modélisation et l'analyse fonctionnelle, et il se sert des principes de séparation pour résoudre les problèmes [Pretium Innovation LLC 2011].

Il offre de nombreuses fonctionnalités, notamment [Pretium Innovation LLC 2011] :

- ✓ La description du problème, les objectifs, les contraintes, les idées et les concepts.
- ✓ La modélisation graphique des fonctions,
- ✓ L'évaluation des solutions.

➤ **Ideal Matrix**

Ideal Matrix, de la société américaine Natural Innovations, comme son nom l'indique, est un outil basé sur la matrice des contradictions, il propose de résoudre des problèmes en se servant de la matrice et de ses principes d'innovation. Il a pour but d'aider à maîtriser l'utilisation de la matrice des contradictions, de permettre la

sélection des principes d'innovation qui sont les plus appropriés pour résoudre un problème. Le logiciel propose des exemples expliquant les 40 principes inventifs, ainsi que des exercices d'entraînement [Ideal Matrix 2009].

➤ **Innokraft Software**

Innokraft Software est distribué par la société allemande Innokraft. Il utilise les principaux outils de TRIZ pour la résolution des problèmes inventifs. Il propose une approche pour résoudre les problèmes liés à l'organisation et l'optimisation des processus d'innovation, permettant aux entreprises l'élaboration de concepts de produits innovants [Institute of Innovative Design 2010]. Innokraft permet aux entreprises de travailler en groupe via le web pour résoudre les problèmes d'innovation.

➤ **I-TRIZ Software ou Innovation WorkBench (IWB)**

I-TRIZ Software, de l'américain Ideation International, est basé sur TRIZ classique et sur des versions améliorées de TRIZ basées sur l'expérience des praticiens de TRIZ de ces deux dernières décennies. Plus de 7,000,000 de dollars d'investissement ont été consacrés à la recherche continue et à l'adaptation américaine de la méthodologie TRIZ par les scientifiques d'idéation [Ideation International 2011].

Ideation dispose de plusieurs produits et services basés sur la théorie TRIZ, destinés à différents niveaux d'utilisation selon le degré de connaissance des utilisateurs : les novices, les amateurs ou les professionnels certifiés de TRIZ [Ideation International 2011]:

- **Intellectual Property Services** : un outil professionnel pour la préparation, l'évaluation et l'amélioration des divulgations de brevets et de demandes de brevet.
- **I-TRIZ Training** : acquérir les connaissances et les expériences nécessaires pour résoudre les problèmes inventifs
- **I-TRIZ Software** : utiliser des outils I-TRIZ
- **I-TRIZ Consulting** : collaborer entre les spécialistes I-TRIZ et les experts, en la matière, pour résoudre des problèmes difficiles
- **TRIZ and I-TRIZ Publications** : présenter la collection des livres pratiques, instructifs et informatifs sur TRIZ et I-TRIZ.

➤ **MAL'IN**

MAL'IN, du groupe de travail « Systèmes Energétiques et Conception » et du laboratoire de recherche « TREFLE-ENSAM » localisé principalement à Bordeaux. C'est un logiciel destiné à la résolution des problèmes inventifs, il est basé sur une méthode alliant l'analyse fonctionnelle aux outils de recherche d'idées et de concepts

extraits en grande partie de la théorie TRIZ. Il offre les fonctions suivantes [Equipe MAL'IN 2003] :

- Exprimer le problème à l'aide du questionnaire proposé par le logiciel,
- Définir la possibilité d'évolution d'un produit en s'appuyant sur les lois d'évolution
- Réaliser une analyse fonctionnelle à l'aide de la méthode des 9 écrans
- Construire un graphe (substance/champ) pour résoudre un problème
- Résoudre les contradictions physiques
- Résoudre les contradictions techniques en renseignant les paramètres à améliorer et en conflit
- Stocker les idées recueillies

➤ **Matrix +et Evpot+**

Matrix +, de la société américaine Systematic Innovation, est un outil logiciel de résolution des conflits utilisés pour résoudre des situations qui empêchent généralement la découverte des solutions innovantes.

Evpot+ est un outil logiciel utilisé pour tracer des courbes d'évolution potentielles. Il contient une base de données sur de nombreux exemples d'évolution [Systematic Innovation 2009].

➤ **Pro-Innovator**

Pro-Innovator, de l'entreprise sino-américaine IWINT, est basé sur la connaissance des outils de l'innovation qui orientent la réflexion stratégique en intégrant la théorie TRIZ, les méthodes sémantiques (l'ontologie), les méthodologies de conception moderne et les techniques de langage naturel. Le but est d'aider les ingénieurs à briser l'inertie psychologique pendant les phases de conception du développement de produit. Pro-Innovator aide les professionnels et les entreprises à identifier correctement des problèmes techniques, développer des concepts d'ingénierie inventive, générer des projets de demande de dépôt de brevet, et accumuler des connaissances de façon systématique. Il permet entre autre de [Iwint INC 2010] :

- Fournir des solutions à partir de la base de connaissances extraites des brevets mondiaux (en grande partie de la théorie TRIZ).
- Stimuler la pensée par des méthodes inventives.
- Détecter les problèmes existants dans le système par l'analyse des systèmes techniques.
- Identifier les causes des problèmes.
- Suivre l'évolution des techniques.

➤ **TRIZ Digital Assistant**

TRIZ Digital Assistant, de l'entreprise TRIZ Digital, fabriqué par un Français, est un mini logiciel permettant d'utiliser la théorie TRIZ. De petit format, ce logiciel, a été élaboré pour être mis en place sur les Smartphones et PDA de grande puissance.

Ce logiciel permet d'avoir le travail de G. Altshuller, notamment la matrice des contradictions, sur soi à tout moment, lors de tout travail de recherche [Czerepinski, Cz innovation et al. 2002].

3.3. Analyse Comparative des logiciels basés sur TRIZ

Dans cette partie nous effectuons une analyse comparative des logiciels basés sur la théorie TRIZ. Seuls les logiciels « guide de l'innovation » et « TRIZ Explorer », outils à caractère pédagogique destinés aux écoles de formation à l'innovation, ne seront pas comparés au reste des logiciels présentés. Le but de notre étude n'étant pas de comparer les logiciels sur leurs compétences d'apprentissage de la théorie TRIZ, où ces derniers excellent dans ce domaine notamment le logiciel « guide de l'innovation » qui arrive à intéresser des élèves de seconde à la résolution des problèmes et à les former de façon ingénieuse dans ce domaine.

Pour la comparaison des logiciels d'innovation basés sur TRIZ nous avons utilisé des critères relatifs à l'utilisation de TRIZ et à la résolution des problèmes. Les critères de comparaison liés à TRIZ concernent l'implémentation des outils TRIZ et l'élargissement des champs d'utilisation de la théorie vers d'autres domaines non-technologiques. Pour les critères liés à la résolution des problèmes, nous nous sommes intéressés aux étapes de définitions du problème tels que : caractérisation de la situation problématique, modélisation du problème. Puis aux étapes de résolution du problème et les outils mis à disposition pour la mise en œuvre de la solution à travers des critères tels que : résolution du problème, mise à disposition des bases de données, possibilité de travail collaboratif, évolution du système ou de la solution. La liste des critères de comparaison utilisés est représentée dans le tableau suivant :

Numéro	Critère
01	Implémentation des outils TRIZ
02	Caractérisation de la situation problématique
03	Modélisation du problème
04	Résolution du problème
05	Mise à disposition des bases de données
06	Elargissement des champs d'utilisation de la théorie vers d'autres domaines non-technologiques

07	Possibilité de travail collaboratif
08	Evolution du système ou de la solution

Tableau 3.1 : Critères de comparaison des logiciels basés sur TRIZ

3.3.1. Implémentation des outils de TRIZ

Nous allons analyser les logiciels sur la base des outils de TRIZ qu'ils ont implémentés. Nous avons choisi les outils qui sont les plus utilisés, et les plus connus des praticiens de TRIZ, le résultat est représenté dans le tableau suivant.

Outil TRIZ / Logiciels	Matrice des contradictions		Substances – Champs		Lois D'évolution		ARIZ		A U T R E	Commentaires
	Oui	Non	oui	non	oui	non	oui	Non		
Creax	X		x		x			x		Propose des illustrations d'évolution de certains systèmes techniques ainsi que la possibilité de visualiser le graphe de l'évolution d'un produit selon certaines directions des lignes d'évolution
GoldeFire Innovator	X			x	x			x		Propose des illustrations de l'évolution de certains systèmes techniques
Guided Innovation		X		x		x		x	X	Propose la résolution des problèmes en utilisant quatre principes de séparation
Ideal Matrix	X			x		x		x		
Innokraft		X		x		x	x			Le module « Comprehensive search for solution » permet de décrire un problème puis de le résoudre en se basant sur l'algorithme ARIZ 85
IWB	X			x	x			x		Il propose des études de cas d'évolution de certains systèmes basées sur les 8 lois d'évolution de TRIZ et sur 4 autres lois proposées par l'équipe de recherche d'IWB
Mal'in	X		x		x			x		Propose des définitions des lois d'évolution. Il dispose d'un outil pour tracer le graphe en toile d'araignée de l'évolution du produit cependant un inconvénient de taille se pose à l'utilisateur à qui il est demandé d'estimer, auparavant, les différents niveaux d'évolution de chaque loi, sur les bases desquelles, l'outil trace ensuite le graphe. Nous

										relevons, que l'utilisateur n'est pas assisté dans cette opération.
Matrix +	X			x		x		x		
Pro-Innovator	X			x		x		x		
TRIZ Digital	X			x		x		x		

Tableau 3.2 : Implémentation des outils TRIZ par les logiciels

Synthèse :

La plupart des logiciels proposent des fonctionnalités pour aider à la résolution des problèmes, 80 % proposent la résolution des problèmes inventifs en implémentant au moins un outil de résolution de problème de TRIZ (voir la figure ci-dessous). Les logiciels ont majoritairement implémenté la matrice des contradictions (8 sur les 10 logiciels). Ils n'étaient que deux à implémenter les solutions standards (vépoles), et seulement quatre ont implémenté les lois d'évolution. Seul 20 % des logiciels proposent des études d'évolution et des prédictions des futures générations des produits (voir la figure ci-dessous). De tous ces logiciels, seul Innokraft [Institute of Innovative Design 2010] a implémenté ARIZ pour proposer une démarche d'inventivité.

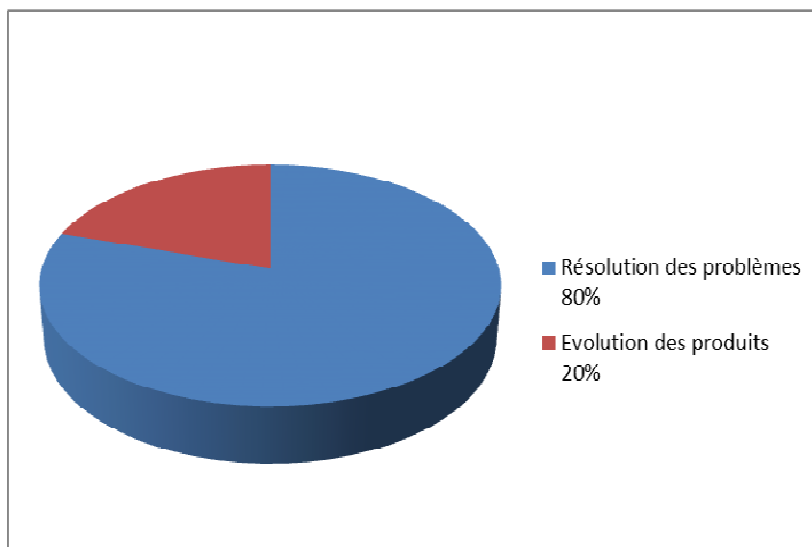


Figure 3. 1 : Domaine d'application des logiciels basés sur TRIZ

Pour ceux qui proposent l'utilisation de la matrice, on trouve des fonctionnalités très simples pour la plupart, et de façon générale, ils demandent tous à l'utilisateur de choisir les deux paramètres contradictoires, puis les principes inventifs s'affichent sur l'écran. Concernant les substances champs, on retrouve des applications graphiques faciles d'emploi, et qui ont respecté la modélisation telle que présentée dans la théorie TRIZ. Pour les quatre logiciels (4 sur 10 logiciels) qui ont

implémenté les lois d'évolution, tous proposent la définition de ces dernières, avec des exemples illustratifs d'évolution de quelques produits. Mais seuls deux de ces logiciels (équivalent à un pourcentage de 20%) proposent l'étude d'évolution des produits avec malheureusement peu d'instructions quant à leur utilisation, à l'exemple de Mal'in [Equipe MAL'IN 2003] qui laisse le soin à l'utilisateur de tracer le graphe en toile d'araignée. Ce qui est en soi une bonne chose pour étudier l'évolution du système, cependant Mal'in n'offre pas les instructions nécessaires pour réaliser cette phase. Cette dernière comprend l'évaluation et le positionnement du système par rapport aux lois d'évolution. Ce qui est difficile à faire pour un utilisateur peu expérimenté en TRIZ. D'une façon générale les deux logiciels, sur les dix étudiés, se sont suffits à la présentation des lois sans vraiment guider les utilisateurs dans l'exploitation de ce puissant outil qui doit permettre de prédire l'évolution des systèmes techniques.

3.3.2. Caractérisation de la situation problématique

La caractérisation de la situation problématique est une phase indispensable et capitale par laquelle débute toute démarche de résolution de problème. Le problème spécifique auquel on est confronté doit, au préalable, être exprimé dans des termes d'un problème standard ou général afin qu'il soit utilisable par les outils de résolution des problèmes de TRIZ. Cette phase, importante et indispensable pour la suite de la recherche, n'est pas à proprement parlé une étape de TRIZ, diverses formes sont proposées. Allant de la description du produit, de ses fonctionnalités, etc. jusqu'au renseignement d'un questionnaire. La plupart des logiciels proposent un questionnaire pour faire décrire le problème par les utilisateurs, c'est le cas de :

- Creax avec son module de description de problèmes (figure 3.2) qui permet de décrire un problème de façon générale, puis de le redéfinir en utilisant l'outil de redéfinition [Creax 2004].

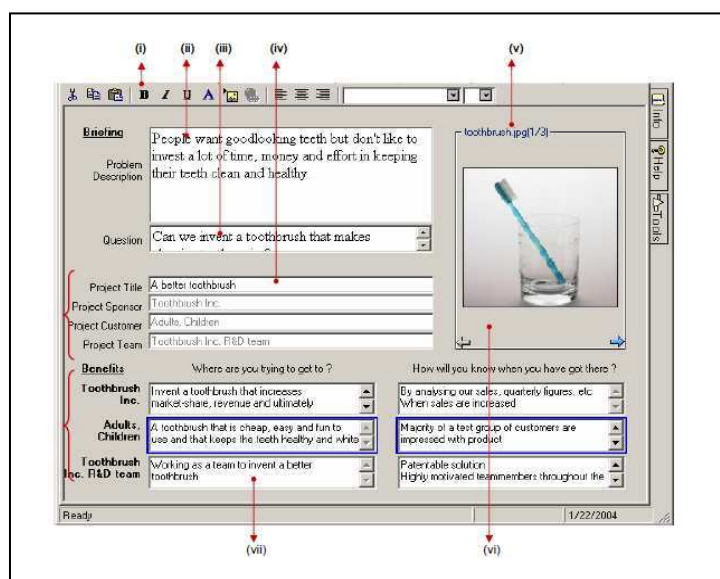


Figure 3.2 :
Description du problème
avec CREAX [Creax 2004]

GoldFire Innovator muni de son module TechOptimizer propose un questionnaire sur la description du projet que l'utilisateur doit renseigner. Il comprend les informations sur le nom du projet, sa situation initiale, ses objectifs, ses limites, nom des membres du groupe travaillant sur le projet, comme le montre la figure 3.3 suivante [Toru Nakagawa 1998].

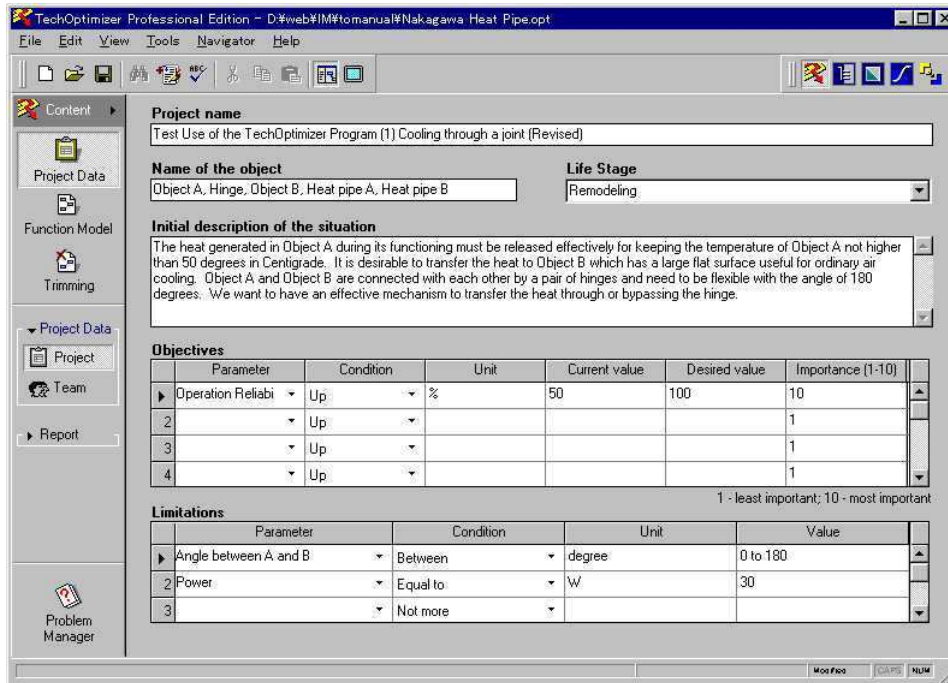


Figure 3.3 : Description du projet avec Tech Optimizer [Toru Nakagawa 1998]

- ✓ Innovation WorkBench (IWB) avec son module Innovation Situation Questionnaire (ISQ) propose un questionnaire pour [Ideation International 2011] :
 - Documenter la situation problématique (notamment: la structure et le fonctionnement du système, l'environnement, mécanisme du problème, historique du problème).
 - Appliquer et examiner les approches multiples pour aborder le problème.
 - Formuler une vision idéale de la solution.
 - Identifier les contradictions liées à la situation problématique.
 - Identifier les ressources liées à l'activité inventive dans le système
 - Définir les contraintes et les limites de changement de système.
 - Définir les critères de succès.

- ✓ MAL'IN, propose de décrire le problème en répondant à un questionnaire sur la fonction de l'entité à étudier, le problème à résoudre, etc. comme le montre la figure 3.4 suivante :

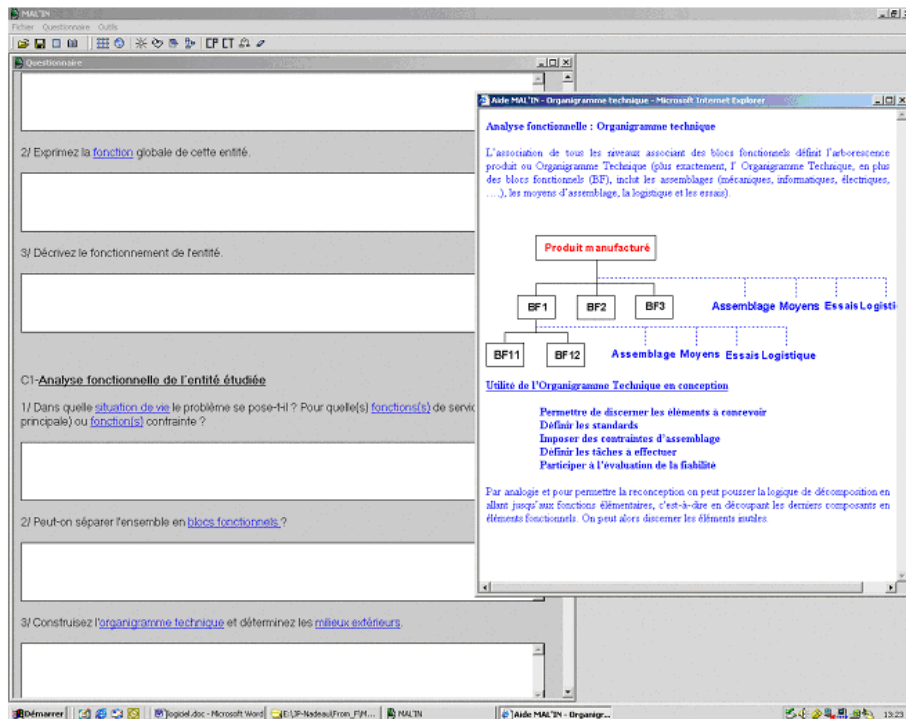


Figure 3.4 : Description du problème par MAL'IN [Equipe MAL'IN 2003]

✓ Matrix + propose de décrire le projet en répondant à des questions sur le nom du projet, le groupe de travail, les clients, l'objectif, comme le montre la figure 3.5 suivante [Systematic Innovation 2009] :

Project Title	<input type="text"/>	Date	<input type="text"/>								
Project Sponsor	<input type="text"/>	Project Team	<input type="text"/>								
Project Customers	<input type="text"/>	Non-Customers (target)	<input type="text"/>								
Benefits	Where are we trying to get to (what are the desired outcomes)?	How will we know when we've got there (measures of success)?									
Sponsor	<input type="text"/>	<input type="text"/>									
Customers	<table border="1"><tr><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td></tr></table>					<table border="1"><tr><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td></tr></table>					
Team	<input type="text"/>	<input type="text"/>									

Figure 3.5 : Description du projet [Systematic Innovation 2009]

✓ Seul Innokraft se démarque de l'ensemble en utilisant d'autres méthodes pour décrire le problème. Avec sa fonction "Comprehensive search for solution" il permet de décrire un problème en se basant sur l'algorithme ARIZ 85, qui consiste à décrire la situation initiale d'un système.

Synthèse :

A travers cette étape nous avons relevé que les logiciels apportent une aide consistante dans la recherche des axes de résolution. Ils permettent aux utilisateurs de réaliser une analyse de leurs projets, en précisant pour la plupart les fonctions des produits à étudier, dans le but d'appréhender au mieux le problème, avec le maximum d'informations. 50 % des logiciels procèdent de la même façon pour la description du problème en utilisant les questionnaires d'analyse du système, seul Innokraft procède autrement en commençant par la description de la situation initiale du système basée sur ARIZ 85. Les résultats de l'étude comparative des logiciels concernant la caractérisation de la situation problématique sont représentés dans le tableau suivant.

Caractérisation de la situation problématique	Pourcentage
Logiciels proposant la caractérisation du problème	60 %
Logiciels proposant l'utilisation d'un questionnaire pour la caractérisation du problème	50 %

Tableau 3.3 : Résultat de l'analyse pour la caractérisation de la situation problématique

3.3.3. Modélisation du problème

C'est une originalité de TRIZ, la modélisation est basée sur ses caractéristiques génériques, il s'agit de transformer le problème spécifique en un modèle de problème standard ou général connu.

La plupart des logiciels proposent une modélisation graphique, se basant sur la description des relations fonctionnelles entre les différentes composantes du système. Telles que :

- ✓ Creax propose la modélisation graphique avec l'outil System model (le modèle de système) comme le montre la figure 3.6 suivante [Creax 2004]

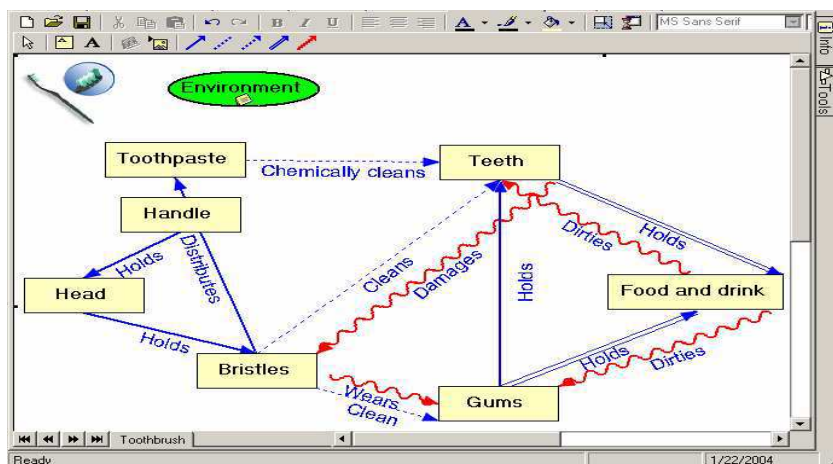


Figure 3.6 : Modélisation graphique du système avec CREAX [Creax 2004]

✓ GoldFire Innovator propose de réaliser une modélisation graphique avec TechOptimizer, en demandant à l'utilisateur de compléter le graphe par des informations sur les paramètres des composants graphiques. Sur la base des informations introduites par l'utilisateur, le logiciel va afficher la liste complète des problèmes à résoudre correspondants aux contradictions détectées [Toru Nakagawa 1998].

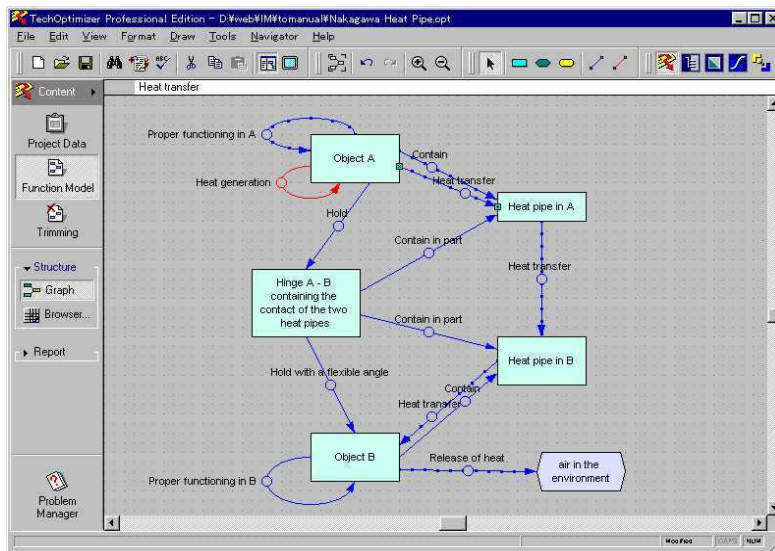


Figure 3.7 : Description fonctionnelle du problème par TechOptimizer [Toru Nakagawa 1998]

✓ Guided Innovation est doté de la fonction Formulation des opportunités qui consiste à modéliser graphiquement les fonctions ainsi que les interactions utiles et nuisibles entre ces fonctions. Une fois la modélisation terminée l'outil va proposer et mettre en évidence les situations à faire évoluer (les opportunités d'évolution) [Pretium Innovation LLC 2011].

✓ IWB propose d'utiliser le problem formulator pour créer des modèles de cause à effet du système technique. Une fois le modèle créé, problem formulator va générer un ensemble quasi-exhaustif des possibilités de changement de système correspondant aux contradictions qu'il a détectées [Ideation International 2011].

✓ ProInnovator utilise Technical System Analysis (sysAnalyzer) pour modéliser graphiquement les composants du système et les interactions entre ces composants. Les interactions non-optimales et indésirables dans la modélisation du système seront identifiées automatiquement par le logiciel et indiquées à l'utilisateur comme points

faibles du système technique (problèmes du système), pour être simplifiées ou améliorées comme le montre la figure 3.8 suivante [iwint INC 2010].

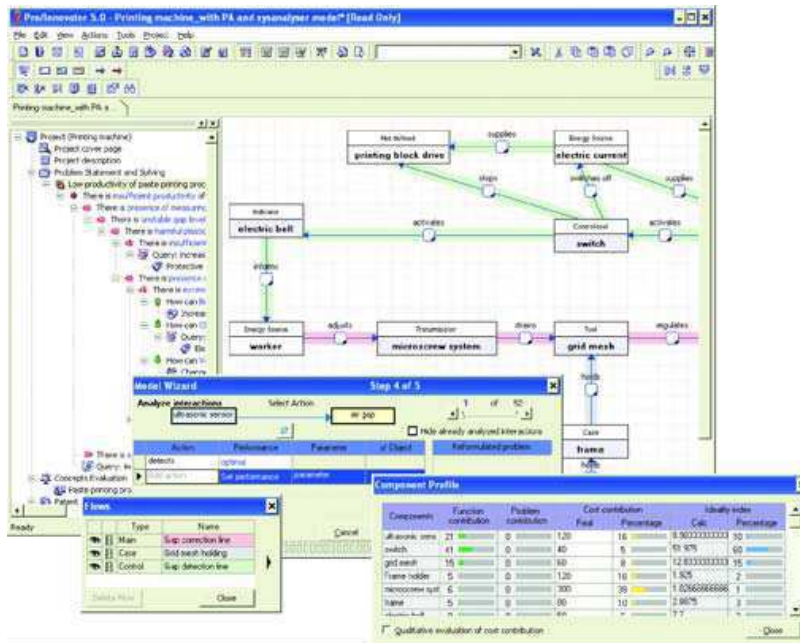


Figure 3.8 : Description du système avec Technical System Analysis [iwint INC 2010]

Synthèse :

La moitié des logiciels étudiés, soit 50 %, procède de la même façon pour la modélisation du problème en utilisant une modélisation graphique : dans un premier temps ils demandent aux utilisateurs d'identifier tous les composants du système et surtout de préciser toutes les interactions entre ces éléments, en proposant des outils de modélisation graphique. Puis dans un second temps, les logiciels proposent aux utilisateurs de résoudre leur problème en commençant par supprimer les interactions nuisibles, puis d'optimiser les autres.

3.3.4. Résolution du problème

Les logiciels sont assez variés dans la résolution des problèmes, beaucoup proposent de résoudre des contradictions techniques en utilisant la matrice des contradictions. Certains proposent la résolution des contradictions physiques, d'autres les 76 solutions standards. Nous montrons ci-dessous le type de résolution de problème proposé par chaque logiciel :

➤ Creax permet la résolution [Creax 2004] :

- Des contradictions techniques à l'aide de la matrice en fournissant une interface où l'utilisateur devra identifier les paramètres à améliorer et ceux à éliminer.

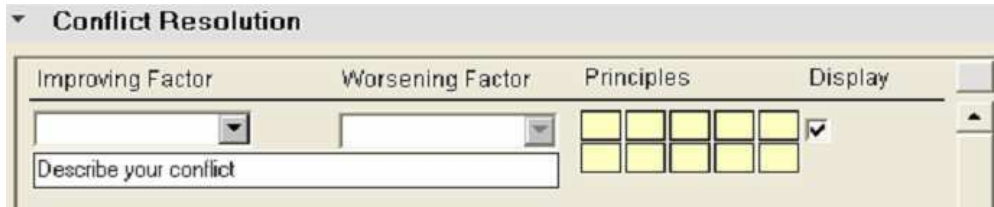


Figure 3.9 : Résolution des contradictions techniques [Creax 2004]

- Des contradictions physiques utilisant les principes de séparation comme le montre la figure 3.10 suivante : les principes de séparation utilisés sont au nombre de trois, il s'agit de la séparation dans le temps, la séparation dans l'espace et la séparation sous condition (changement de phase).



Figure 3.10 : Résolution des contradictions physiques [Creax 2004]

- Des problèmes au micro niveau en utilisant les standards et une modélisation des substances champs, comme le montre la figure 3.11 suivante

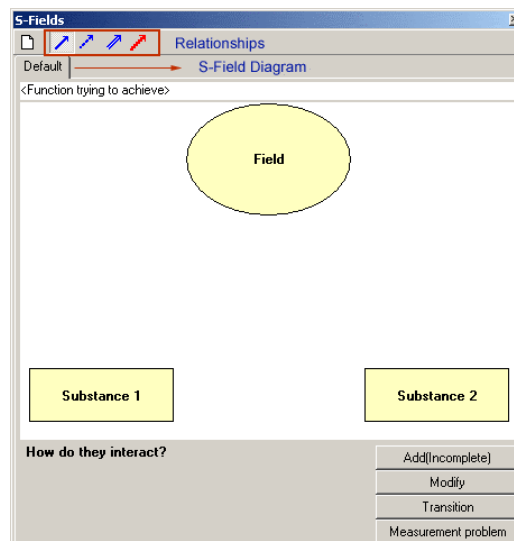


Figure 3.11 : Résolution de problème en utilisant les substances champs [Creax 2004]

➤ Goldfire Innovator permet la résolution des problèmes inventifs à travers [Toru Nakagawa 1998] :

- La recherche sémantique : avant d'entamer le développement de la solution, il est recommandé de savoir si celle-ci existe ailleurs. GoldFire est doté du module "reasercher" qui permet d'effectuer une recherche sémantique sur Internet. La figure 3.12 ci-dessous illustre un exemple de requête avec la question : "Comment détecter la pluie ?"

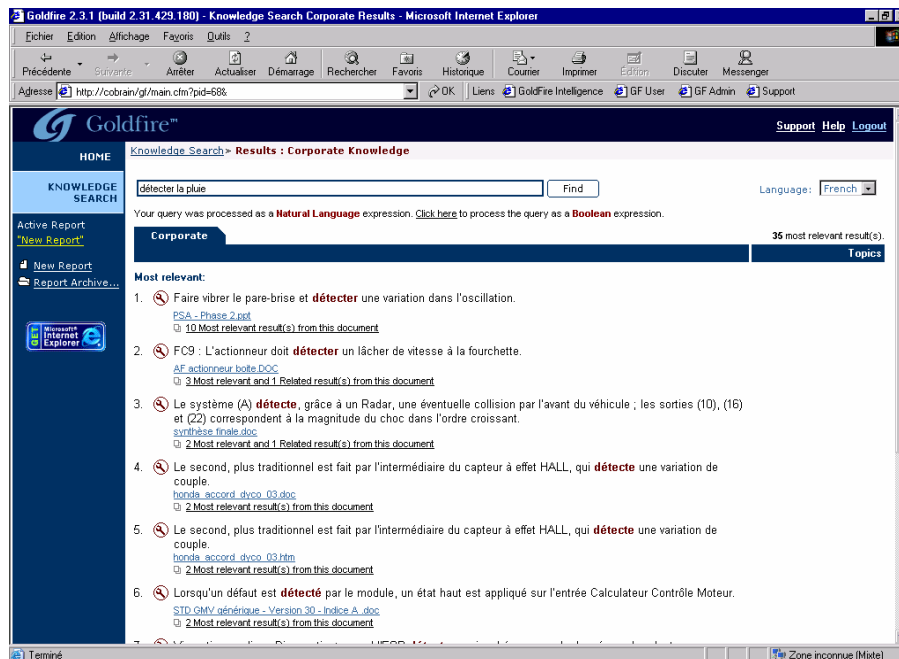


Figure 3.12 : Requête avec le module research de GoldFire [Toru Nakagawa 1998]

- La recherche de solutions via les *Knowledges Bases* (les brevets, les bases de données, la recherche sémantique sur l'intranet ou l'Internet)
 - La recherche de solutions via le module "Effects". Elle s'effectue manuellement par une question posée en langage naturel
 - La recherche de solutions en utilisant la matrice des contradictions, le logiciel invite l'utilisateur à reformuler son problème en précisant le paramètre à améliorer et celui en conflit.
- Guided Innovation propose d'utiliser "Guided Brainstorming" pour la résolution des problèmes détectés à l'étape de la modélisation du système en utilisant les 4 principes de séparations [Pretium Innovation LLC 2011].
- Ideal Matrix propose de résoudre une contradiction technique à l'aide de la matrice des contradictions, en utilisant la technique habituelle, demandant à l'utilisateur de choisir les paramètres à améliorer et en conflit, puis il pourra utiliser les principes affichés pour résoudre cette contradiction [Ideal Matrix 2009].

- Innokraft permet la résolution des problèmes en utilisant [Institute of Innovative Design 2010] :
 - La matrice des contradictions pour les contradictions techniques
 - Utiliser le module *Comprehensive search for solution* qui permet de décrire un problème puis de le résoudre à l'aide de l'algorithme ARIZ 85, la résolution du problème consiste à formuler une contradiction physique puis de la résoudre à l'aide des principes de séparation

- IWB propose de résoudre les problèmes en utilisant la matrice des contradictions [Ideation International 2011].

- Malin propose de résoudre un problème en utilisant [Equipe MAL'IN 2003] :
 - La matrice des contradictions pour résoudre les contradictions techniques, en demandant à l'utilisateur d'identifier les paramètres à améliorer et en conflit.
 - Les principes de séparations pour résoudre les contradictions physiques.
 - L'utilisation des solutions standards, pour résoudre les problèmes modélisés avec les substances-champs.

- ProInnovator propose d'utiliser les modules ci-dessous pour résoudre les problèmes [iwint INC 2010] :
 - Il permet de chercher une solution existante grâce à la base de données constituée d'une ontologie et des technologies d'extraction des données
 - Il permet la recherche de brevets en ligne à l'aide du module *Patent Search* ; il est doté d'un moteur de recherche sémantique et d'un accès à des sources d'innovation de l'USPTO, OEB, JPO et de l'office des brevets de Chine
 - Il permet d'utiliser les Techniques de TRIZ, basés sur la résolution des contradictions, utilisant une version classique de matrice des contradictions et une version avancée du tableau des paramètres d'une technologie sémantique.

- TRIZ Digital Assistant permet la résolution d'une contradiction technique, en demandant à l'utilisateur de choisir les paramètres positif et négatif de la matrice des contradictions [TRIZ Digital Assistant 2011].

Synthèse :

Nous venons d'observer un nombre suffisamment important et représentatif des logiciels que l'on rencontre sur le marché. Ils sont différemment et richement dotés d'outils, de dispositifs, et de base de données nécessaires à leur application dans la résolution des problèmes. Leurs applications se distinguent par trois démarches différentes. Sur la base du nombre de logiciels présentés par nos soins ci-dessus, nous

avons déterminé les pourcentages des logiciels utilisant ces démarches que nous présentons dans le tableau 3.4 ci-dessous.

Méthode de résolution de problème	Pourcentage des logiciels
Outils de résolution de TRIZ	80 %
ARIZ	10 %
Moteur de recherche sémantique + Outils de TRIZ	20 %

Tableau 3.4 : Résultat de l'analyse pour le critère résolution de problème

- En utilisant les outils de résolution des problèmes de TRIZ les plus connus, à savoir la matrice des contradictions, les principes de séparation et les solutions standards. C'est le cas de 8 logiciels sur 10, nous pensons que ces logiciels sont destinés à des utilisateurs bien formés sur la théorie TRIZ et ses outils.
- En utilisant l'algorithme ARIZ, comme le propose le logiciel Innokraft, avec une démarche bien structurée mais qui peut parfois sembler longue, ici aussi la maîtrise de certaines approches de TRIZ, notamment le repérage précis des zones opératoires, temps opératoires, etc. est de grande nécessité.
- En utilisant les moteurs de recherche sémantique et de recherche de brevets ainsi que l'utilisation des outils de résolution des problèmes de TRIZ, comme le proposent les logiciels GoldFire Innovator et ProInnovator. C'est une démarche assez complète car l'utilisateur a le choix de l'outil de recherche qu'il veut utiliser, en plus si l'utilisateur n'est pas assez formé sur la théorie TRIZ il peut toujours utiliser les moteurs de recherche de brevets et s'inspirer des solutions existantes, c'est un bon moyen pour vaincre l'inertie psychologique.

3.3.5. Mise à disposition des bases de données

Certains logiciels mettent à disposition des utilisateurs des bases de données qu'ils peuvent consulter à tout moment. Ces bases de données contiennent soit des illustrations d'application des principes inventifs et des lois d'évolution, soit des brevets déposés par différents acteurs de l'industrie détaillant la solution qu'ils ont utilisée. Voici ce que proposent certains logiciels :

- Creax met à disposition des utilisateurs un accès à sa base de données sur les principes inventifs et les lois d'évolution. Il dispose également d'un outil efficace de repérage des ressources de connaissances et de brevets en ligne. Voir figure 3.13 suivante [Creax 2004].

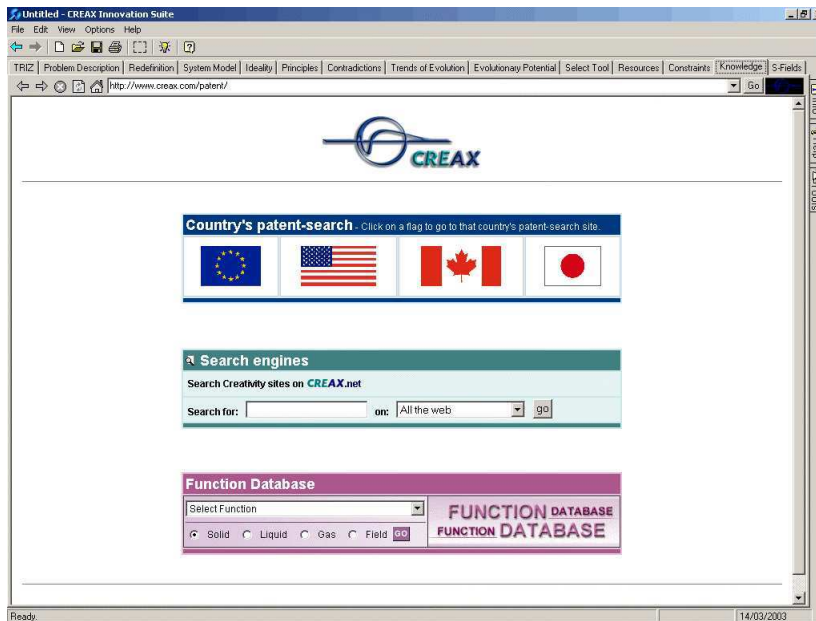


Figure 3.13 : Outil de connaissance [Creax 2004]

- GoldFire Innovator propose un accès à ses bases de données à travers les modules [Toru Nakagawa 1998] :
 - Principle Module : Ce module contient des illustrations des 40 principes inventifs de la théorie TRIZ et des exemples de leur application, 210 cas au total, sont implémentés
 - Prediction Module : Il contient certaines illustrations des tendances d'évolution des systèmes techniques, avec des explications.
 - Effects Module : ce module permet aux utilisateurs de consulter la base de données des effets, ces derniers, regroupés en trois catégories (physiques, chimiques et géométriques). La base compte 8000 effets scientifiques analysés et renseignés par Invention Machine. Pour chaque effet, les informations suivantes sont renseignées : schéma de principe, type de problème concerné, solution proposée, avantages et inconvénients.
 - Researcher Module permet aux utilisateurs de réaliser une recherche des brevets sur internet.
- Ideal Matrix propose une description de chaque principe avec des exemples de cas d'utilisation [Ideal Matrix 2009]
- Innokraft permet un accès à la base de données des principes inventifs TRIZ, où l'on peut consulter la définition de chaque principe avec des exemples illustrant son application comme le montre la figure 3.14 suivante [Institute of Innovative Design 2010].

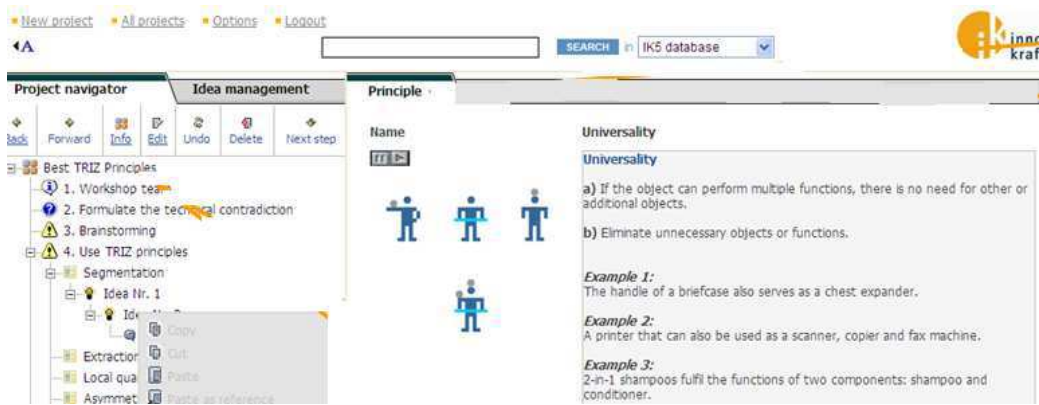


Figure 3.14 : Accès à la base de données des principes [Institute of Innovative Design 2010]

➤ Pro-Innovator permet de chercher une solution existante grâce à la base de données contenant plus de 12.000 solutions inventives qui sont extraites à partir des brevets. Chaque solution est jumelée à une illustration animée afin d'aider les utilisateurs à comprendre rapidement le principe de son fonctionnement. Il dispose aussi d'un module "Patent Search" qui permet la recherche de brevets en ligne à l'aide d'un moteur de recherche sémantique et d'un Accès à des sources d'innovation de l'USPTO, OEB, JPO et de l'office des brevets de Chine [iwint INC 2010].

Synthèse :

L'analyse réalisée ici indique que 50 % des logiciels (voir la figure ci-dessous) utilisent les bases de données comme moyen pour vaincre l'inertie psychologique. Ces bases de données contiennent soit des applications des principes inventifs et des lois d'évolution, soit des brevets déposés par différents acteurs de l'industrie détaillant la solution qu'ils ont utilisée. Le fait de pouvoir s'inspirer des solutions existantes représente un bon moyen pour vaincre l'inertie psychologique.

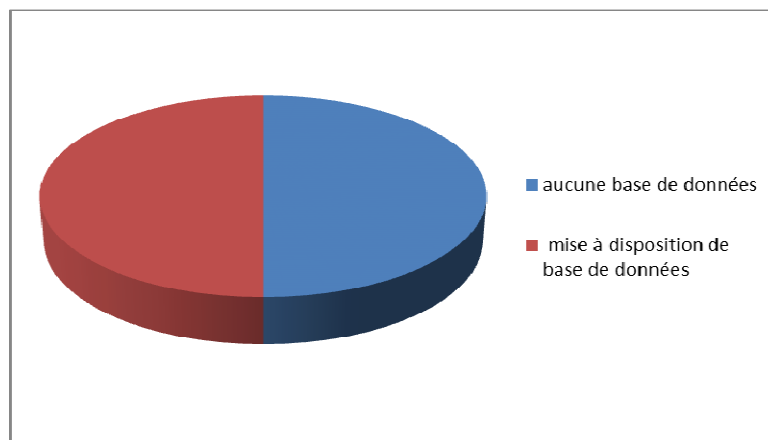


Figure 3.15 : Résultat d'analyse pour la mise à disposition de base de données

3.3.6. Utilisation dans d'autres domaines non-technologiques

Au cours de cette dernière décennie, nous avons constaté une utilisation de la théorie TRIZ pour la résolution des problèmes non-technologiques, cette tendance commence à se faire sentir également dans le milieu des logiciels, comme avec Creax qui propose un élargissement des champs d'utilisation de son outil en proposant une version traduite de la matrice des contradictions vers le business et le management [Creax 2004].

3.3.7. Possibilité de travail collaboratif

Certains logiciels mettent en œuvre des techniques participatives associant, dans une large proportion des membres internes à l'entreprise dans la résolution des problèmes, d'autres font appel à la participation du monde extérieur à travers le réseau Internet. Ils représentent 20 % des logiciels étudiés et on peut citer :

- Goldfire Innovator qui est doté d'une infrastructure réseau qui facilite le travail collaboratif. Le système est constitué d'un serveur au niveau de l'entreprise sur lequel est stocké le logiciel GoldFire ainsi que les droits d'administration. Ce serveur possède un accès direct et total aux bases de données de l'entreprise [Laroche, Coppens et al. 2004].
- Innokraft qui est un logiciel permettant un travail collaboratif innovant des membres de l'entreprise, et favorise un travail d'équipe virtuel via un intranet basé sur le Web où chacun peut accéder et gérer (créer, modifier et publier) les méthodes utilisées dans les processus d'innovation [Institute of Innovative Design 2010].

3.3.8. Évolution du système ou de la solution

Les lois d'évolution est un outil permettant la description de l'évolution des systèmes techniques, et d'orienter le produit ou le procédé vers une situation future, privilégiée par la direction indiquée par ces mêmes loi. Cependant, elles présentent des difficultés à être automatisées ou implémentées dans des logiciels. C'est une des raisons qui explique le fait que peu de logiciels, seulement 4 sur les 10 choisis, les intègrent dans leurs fonctionnalités et la moitié d'entre eux, soit 2 sur 4, ne reprennent que les définitions des lois et des illustrations d'évolution de certains systèmes techniques. Autrement dit très peu de logiciels mettent en application des lois d'évolution. Le tableau suivant indique les pourcentages de logiciels proposant des applications de TRIZ et celles ayant des fonctions liées à l'évolution du système. Nous signalons, cependant, que le nombre de 10 logiciels, pris par pur hasard, comme un flash sur une situation donnée, ne signifie pas l'ensemble de tous les logiciels basés sur TRIZ. Les Taux sont donnés à titre indicatif, pour illustrer une situation donnée.

Evolution du système ou de la solution	Nombre de logiciels
Utilisation des lois d'évolution	4 sur 10 logiciels
Définition et illustration des lois d'évolution	2 sur 10 logiciels
utilisation des lois d'évolution avec une autre méthode d'évolution de la solution	1 sur 10 logiciels

Tableau 3.5 : Résultat concernant le critère d'évolution du système ou de la solution

3.3.8.1. Utilisation les lois d'évolution

Les logiciels utilisant les lois d'évolutions sont les suivants :

- Creax propose un module « lois d'évolution » qui définit et présente les lois d'évolution à l'aide d'illustrations de plusieurs systèmes et produits, et le module « lois d'évolution » qui permet de visualiser graphiquement l'évolution des produits [Creax 2004].
- GoldFire Innovator propose le module « Prediction » pour présenter certaines tendances d'évolution des systèmes techniques [Toru Nakagawa 1998].
- MAL'IN propose de représenter l'évolution d'un produit sur un graphe. Il affiche à cet effet les 8 axes représentant les 8 lois d'évolution en étoile (voir figure 4.14). Mais pour ce qui est de la manière d'estimer les niveaux d'évolution de chaque loi, aucune explication n'est donnée pour aider l'utilisateur à réaliser cette tâche. Cela peut être une source d'erreurs pour les utilisateurs non assez expérimentés sur TRIZ [Equipe MAL'IN 2003].

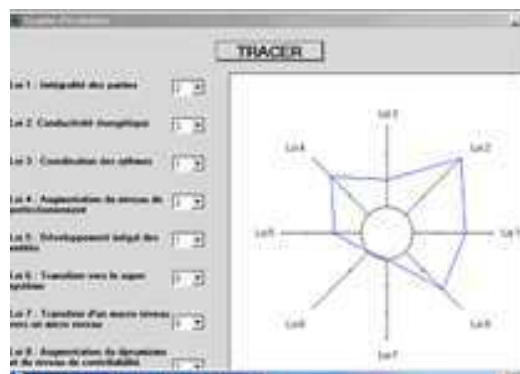


Figure 3.16 : Évolution du produit [Equipe MAL'IN 2003]

3.3.8.2. Utilisation d'autres techniques d'évolution

Innovation WorkBench, avec son module Directed Evolution propose un moyen d'orientation et d'évolution des réalisations technologiques futures, à travers

les étapes suivantes, qui ont été détaillées dans la partie annexe et qui sont représentées dans la figure 4.15 [Ideation International 2011].

- Etape 1 : La collecte et l'analyse du système précédent
- Etape 2 : Diagnostiques
- Etape 3 : Synthèse des idées
- Etape 4 : Soutien du processus décisionnel
- Etape 5 : Soutien du processus d'évolution du système



Figure 3.17 : Étapes de Directed Evolution [Ideation International 2011]

Directed Evolution propose une modélisation de l'évolution d'un système basée sur 12 modèles d'évolution : les 8 lois d'évolution que propose TRIZ ainsi que les 4 découvertes par Zlotin et Zusman et leur équipe.

Synthèse :

L'analyse des logiciels implémentant des fonctions permettant l'utilisation des lois d'évolution indique que seulement 2 logiciels sur les 10 intègrent cette fonctionnalité. Ce qui est très peu lorsque l'on compare ce résultat avec celui des logiciels consacrés à la résolution des problèmes, en effet 8 logiciels sur 10 permettent la résolution des problèmes et 2 seulement pour l'étude des évolutions des solutions.

3.4. Résultat et interprétation de l'analyse comparative

Critère de comparaison	Résultat
Implémentation des outils TRIZ	- 80 % des logiciels ont implémenté les outils de résolution de problème de TRIZ - 20 % des logiciels ont implémenté des fonctionnalités d'étude d'évolution des produits en utilisant les lois d'évolution de TRIZ
Caractérisation de la situation problématique	- 60 % des Logiciels utilisent la caractérisation du problème

	- 50 % des Logiciels utilisent la méthode du questionnaire pour la caractérisation du problème
Modélisation du problème	50 % des logiciels utilisent une modélisation graphique pour modéliser le problème
Résolution du problème	80 % des logiciels font appel aux outils de résolution de problème de TRIZ dans leur processus de résolution de problème et 20 % des logiciels complètent ce processus en utilisant les techniques de recherche sémantique
Mise à disposition des bases de données	50 % des logiciels utilisent les bases de données comme moyen supplémentaire pour vaincre l'inertie psychologique
Utilisation de la théorie vers d'autres domaines non-technologiques	10 % des logiciels proposent d'étendre l'utilisation de la théorie vers des domaines non technologiques
Possibilité de travail collaboratif	20 % des logiciels offre la possibilité d'un travail collaboratif via internet
Evolution du système ou de la solution	20 % des logiciels permettent la réalisation d'étude d'évolution des produits ou de la solution

Tableau 3.6 : Synthèse de l'analyse comparative des logiciels

La plupart des logiciels proposent comme fonction principale la résolution des problèmes qu'ils réalisent en trois étapes successives mais différentes. La première concerne la description du problème dans le but de son identification, plusieurs formes peuvent s'y prêter, le tableau ci-dessus montre que 50 % des logiciels privilégient l'utilisation du questionnaire. La seconde étape concerne la modélisation du problème, et pour ce faire, 50 % des logiciels (voir tableau ci-dessus) utilisent un modèle graphique qui représente les interactions fonctionnelles entre les éléments du système, d'autres emploient le modèle des substances champs. La dernière étape concerne la résolution du problème ainsi modélisé à l'aide de l'application des outils TRIZ, pour aboutir à des solutions génériques. Dans le tableau ci-dessus, nous avons observé que les 80 % des logiciels s'appuient sur les outils de résolution de problème de TRIZ.

Néanmoins, si on compare les logiciels sur la base du critère de résolution des problèmes en utilisant les outils TRIZ, on peut dire que les préférences et également les performances sont à peu près égales. Se servant, presque tous (80 % des logiciels), de la matrice des contradictions pour la résolution innovante des problèmes (voir le tableau du résultat d'analyse de ce critère). Et parmi eux, soit les 20 % restants, rajoutent à la fonction, de résolution de problème, des fonctionnalités permettant la recherche de brevets sur internet ou la possibilité d'un travail collaboratif via internet. C'est le cas de Goldfire Innovator et Innokraft Software qui en font une force de leur logiciel.

En revanche, si on compare les logiciels destinés pour l'étude de l'évolution des systèmes techniques, on ne trouve que 20 % d'entre eux qui mettent en pratique

les lois d'évolution. Leur finalité est essentiellement d'évaluer la tendance du produit ou du système. Certains, comme GoldFire et Creax, proposent des illustrations d'évolution de certains produits selon les lois d'évolution, avec un plus qu'offre Creax permettant la visualisation graphique de l'évolution des produits. D'autres, comme MAL'IN, intègrent cette fonctionnalité mais celle-ci reste encore difficile à utiliser, du fait que l'utilisateur se trouve seul confronté à la tâche de l'évaluation du système selon chaque loi. IWB propose cette fonctionnalité d'étude de l'évolution d'un système en utilisant une autre méthode qui nous semble assez longue à mettre en place, et qui peut prendre beaucoup de temps.

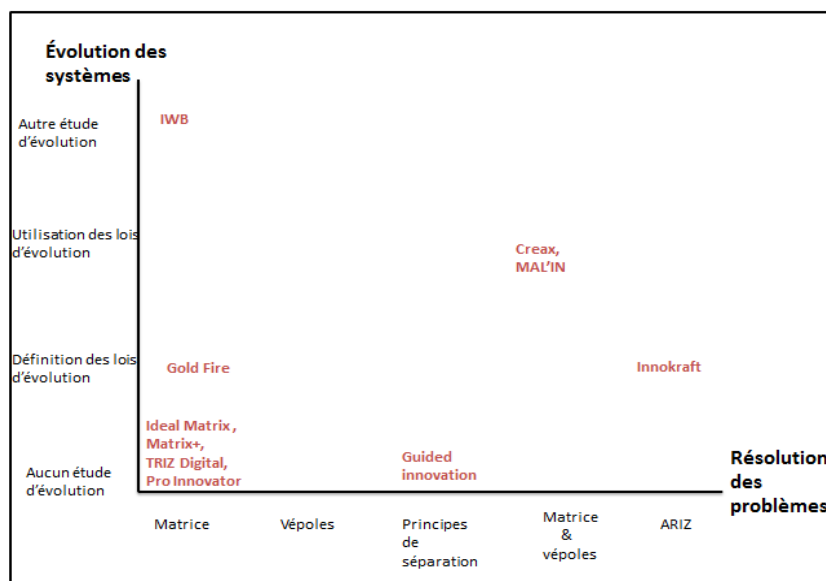


Figure 3.18 : Comparaison des logiciels selon la résolution des problèmes et l'évolution des systèmes

Cette figure témoigne de la grande variété des logiciels implémentant des outils de TRIZ pour la résolution des problèmes inventifs. Elle montre, néanmoins, que la majorité d'entre eux, soit 60 % des logiciels, ne proposent pas d'étudier l'évolution d'un système, et ce malgré le fait que « les lois d'évolution », soient un outil TRIZ très puissant [Salamatov 1999] dans l'orientation des recherches de solution. Ce manque peut s'expliquer par la complexité de l'utilisation des lois d'évolution. Pour saisir le mécanisme de la dynamique des systèmes et deviner la tendance ou même la direction de recherche de cette dernière. A cela s'ajoute un manque avéré de documentation sur la théorie les concernant. Les définitions des lois restent, pour le moment, les seules sources d'où peut se manifester les indicateurs pouvant nous mener sur les voies d'identification des tendances d'évolution des systèmes techniques.

3.5. Conclusion

Ce chapitre consacré à la théorie TRIZ a permis de prendre la mesure du nombre et de la variété des logiciels basés sur cette théorie, et de celle de leurs

principales fonctionnalités. La comparaison que nous avons établie sur différents critères nous a donné à observer que la plupart des logiciels (80 %) implémentent différents outils de TRIZ pour mettre en œuvre leur fonctionnalité principale à savoir la résolution des problèmes. On relève également un faible niveau d'implémentation de fonctionnalité utilisant les lois d'évolution pour l'étude d'évolution des systèmes et des produits. En effet, très peu de logiciels ont intégré les lois d'évolution, et souvent il s'agit d'illustrations d'évolutions de certains produits.

Ayant fait ce constat de la faiblesse du nombre d'outils mettant en œuvre des applications des lois d'évolution, et de l'étroitesse de la place qui lui est accordée, nous allons dans le prochain chapitre présenter la problématique qui traitera de ce manque d'utilisation des lois d'évolution. Puis, nous émettrons les hypothèses sur lesquelles nous fonderons notre solution.

Chapitre 4 : Problématique et hypothèses de recherche : comment permettre l'utilisation des lois d'évolution via un logiciel

4.1. Introduction

À travers l'état de l'art présenté précédemment, nous avons observé les différentes méthodes d'innovation utilisées en entreprise. Nous les avons comparées sur la base du degré de nouveauté des solutions qu'elles sont en mesure d'apporter. Nous avons ainsi constaté que la théorie TRIZ permet de générer des idées de solutions atteignant les plus hauts niveaux d'inventivité. Ce qui nous a conduit à fonder notre modèle sur cette théorie.

La poursuite de nos recherches bibliographiques nous a amenés à constater que TRIZ a inspiré le développement de nombreux logiciels. La plupart d'entre eux n'ont pas intégré de façon satisfaisante l'utilisation des lois d'évolution. Outil qui selon nous représente un potentiel important pour l'innovation. Nous allons tenter de proposer une démarche permettant l'application de cet outil. Nous allons à travers ce chapitre énoncer la problématique se rapportant à ce constat, puis émettre les hypothèses nous permettant d'y remédier.

4.2. Problématique

TRIZ repose sur des outils destinés à la résolution de problèmes inventifs et à l'étude d'évolution des systèmes. Lors de l'étude de cette théorie, nous nous sommes aperçu que très peu de travaux de recherche ont été consacrés à l'utilisation des lois d'évolution. Ces dernières orientent l'évolution des systèmes. Elles permettent l'identification des pistes de solution à suivre dans la conception innovante. Nous pensons que les potentialités de ces lois n'ont pas été suffisamment explorées dans l'identification des tendances d'évolution des systèmes techniques.

Le manque de développement de l'utilisation des lois d'évolution constitue en soi une potentialité de TRIZ en moins dans les stratégies d'innovation des entreprises. Ces dernières cherchent aujourd'hui à avoir en main des outils qui les aident à identifier les tendances d'évolution de leurs produits. La demande est somme toute légitime, l'idée d'y répondre est cependant mal soutenue par les pratiques et les méthodes de conception routinières et inventives actuelles.

Les nouvelles stratégies d'innovation doivent s'inscrire désormais dans des démarches de prévision des tendances vers lesquelles leurs produits vont être portés en vertu des dispositions des lois des systèmes techniques. Altshuller disait « *l'inventivité est liée à l'évolution de la technique, et cette dernière évolue selon les lois précises* » [Altshuller and Shapiro 1956]. La démarche méthodique, permettant de faire évoluer un système selon ces lois se doit d'être mise au point. L'enjeu est ici doublement stratégique, d'abord, innover de façon prédictible mais aussi innover au moment opportun.

L'objectif de nos travaux de recherche est de concevoir un modèle d'utilisation des lois d'évolution qui peut être implémenté dans un logiciel. Ce dernier

sera destiné aux équipes de recherche et développement, et aura pour principale fonctionnalité l'identification des pistes de solutions à suivre pour l'évolution des produits.

Ainsi peut-on dégager la problématique suivante : Comment modéliser l'utilisation des lois d'évolution dans une perspective d'innovation systématique ?

4.3. Hypothèses de recherche

Pour répondre à cette problématique nous posons les hypothèses suivantes, qui caractérisent les fonctions du modèle d'application des lois. Ces hypothèses représentent les conditions de satisfaction exprimées par les lois d'évolution de TRIZ.

Première hypothèse : Il est possible de proposer un protocole de découpage fonctionnel d'un système permettant d'identifier ses quatre parties, telles que le préconise la loi n°1.

Cette hypothèse a pour but d'intégrer au modèle une fonction permettant à l'utilisateur d'identifier les éléments fondamentaux du système technique, pour satisfaire aux conditions de la loi d'évolution numéro 1. Cette loi dispose que tout système technique est composé des quatre éléments suivants : une entité motrice, une entité de transmission, une entité de travail et une entité de contrôle. Il est nécessaire de déterminer précisément chaque élément du système et l'interaction existante entre eux pour permettre l'application des autres lois. Ce qui explique que l'application de la loi 1 constitue un préalable à l'application des autres lois.

Deuxième hypothèse : Il est possible de proposer une démarche algorithmique permettant d'identifier les verrous majeurs de l'évolution des systèmes.

Le but de cette hypothèse est de permettre à l'utilisateur de repérer les lacunes et points faibles du système qui ne satisfont pas aux conditions énoncées par les lois statiques, puis de les proposer à l'amélioration afin de permettre l'évolution du système.

Troisième hypothèse : il est possible de quantifier le niveau d'idéalité de chaque élément du système pour lui attribuer un ordre d'évolution en fonction de son niveau d'idéalité.

Dans un premier temps, cette hypothèse permet à l'utilisateur de calculer le niveau d'idéalité de chaque élément du système. La formule d'idéalité proposée par Altshuller va permettre de réaliser cette quantification. Dans un second temps, elle permet également d'attribuer un ordre de priorité selon lequel les éléments du système doivent évoluer en fonction des niveaux d'idéalité. Ce qui se traduit, en pratique par un ordre d'intervention sur les éléments du système dans le but de les améliorer pour satisfaire aux conditions des lois d'évolution 4 et 5.

4.4. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons énoncé la problématique de notre travail de recherche qui porte sur la conception d'un modèle d'utilisation des lois d'évolution dans une perspective d'innovation systématique. Nous avons également présenté des hypothèses nous permettant de construire un tel modèle. Ces hypothèses sont fondées sur le fait d'améliorer le niveau d'idéalité en suivant la chronologie et formulations des différentes lois.

La construction de notre modèle nécessitera des apports d'informations que nous recueillerons par les techniques d'extraction d'information. Dans le chapitre suivant nous allons présenter ces techniques.

Partie 2 : Extraction d'informations et interprétation des données

Cette deuxième partie présentera les méthodes et outils de bases permettant d'accomplir les investigations d'informations et des données ainsi que leur traitement. Elle a pour objectif de rappeler certains pré-requis sur les techniques d'extraction d'information et les méthodes de traitement des données expérimentales. Elle se compose de deux chapitres :

Le chapitre cinq définit la technique d'extraction d'information, présente son architecture, explique les étapes de sa réalisation et présente ses limites.

Le chapitre six expose les méthodes de recueils des données, et celles de traitement des données quantitatives et qualificatives. Il explicite les notions de validité et de fiabilité et enfin il présente une démarche pour le test des hypothèses

Chapitre 5 : Techniques d'extraction d'informations

5.1. Introduction

Pour lutter contre la concurrence les entreprises doivent se tenir informées de toutes les nouveautés quel que soit leur nature (nouveau produit, nouvelle technique, etc.). La maîtrise du contrôle de l'information permet d'augmenter ses capacités à valoriser les connaissances externes, à consolider celles internes. Elle aide à mieux innover et à garder sa place face à la concurrence. L'information est au cœur d'une démarche d'intelligence stratégique. La pérennité d'une organisation est alors conditionnée par sa capacité à collecter, interpréter et utiliser l'information à des fins décisionnelles. La gestion stratégique de l'information est devenue l'un des moteurs essentiels de leurs performances [Martre 1994]. Dans ce contexte, le contrôle de l'information stratégique et sa transformation en savoir et savoir-faire constituent un impératif majeur pour l'entreprise [Julien, Vaghely et al. 2003].

L'extraction d'information nous semble être une technique nécessaire pour recueillir les informations pertinentes contenues dans la littérature scientifique traitant des lois d'évolution. C'est la raison pour laquelle dans ce chapitre nous allons rappeler les notions de cette technique d'extraction d'information. Dans un premier temps nous allons donner sa définition et présenter l'architecture des systèmes reposants sur cette technique. Dans un second temps, nous expliquerons de façon générale les étapes d'extraction d'information. Enfin nous présenterons certaines limites liées à cette technique.

5.2. Définition de l'extraction d'information

A l'origine du traitement automatique du langage (TAL), le terme d'extraction d'information n'était pas encore utilisé, car seuls des modèles génériques de compréhension de texte existaient [Tannier 2008]. [Poibeau 2003] rejoint cette définition en considérant l'extraction d'information comme une forme simplifiée de la compréhension de textes en langage naturelle.

D'après [Ibekwe-SanJuan 2007] et [Califf and Mooney 1999] l'extraction d'information consiste à rechercher automatiquement des informations dans des textes en langue naturelle et à représenter ces informations structurées conformément à une banque de données.

La première définition repose sur les fonctions du traitement du langage, qui consiste en une première tentative de compréhension automatique du langage. Cependant cette dernière a très vite rencontré des difficultés concernant la collecte et la manipulation des connaissances sémantiques et les nombreuses ambiguïtés à lever. La deuxième définition montre l'évolution de l'extraction d'information vers un méthode qui a pour objectif la recherche automatique d'informations pertinentes en s'appuyant sur des règles de traitement de texte en langage naturel.

Dans le contexte de notre travail de recherche nous considérons que l'extraction d'information est une méthode qui permet d'obtenir des informations dans un texte écrit en langage naturel.

Les systèmes d'extraction d'information s'appliquent dans la recherche documentaire, le filtrage et l'extraction d'ontologie. Ils sont souvent utilisés lors de la

veille concurrentielle ou scientifique et technique pour identifier les nouveautés [Ibekwe-SanJuan 2007].

L'extraction d'information est souvent confondue avec la recherche d'information. Pour éviter toute confusion [Al Haj Hasan 2008] dit : « la recherche d'information vise à répondre pertinemment à une requête en retrouvant de l'information dans une collection de documents (textes, fichiers multimédias, bases de données ...). La recherche d'information est différente de l'extraction d'information. Ces deux méthodes sont complémentaires ».

5.3. Architecture d'un système d'extraction d'informations

L'architecture d'un système d'exploitation, comme le montre la figure 5.1 est constituée de :

- Texte à étudier : c'est le texte contenu dans le document que l'on souhaite traiter et étudier.
- Ressources de connaissance : ce sont généralement des dictionnaires, thésaurus¹⁶ ou ontologies. Ces ressources sont indispensables pour les systèmes d'extractions car ils contiennent des informations sur les entités à extraire comme la structure des termes, leur signification, etc.
- Système d'extraction : il est composé des outils qui permettent l'identification des entités nommées (des informations pertinentes) dans un domaine et de les structurer par la suite.
- Banque de données : elle contient les informations qui ont été extraites par le système.

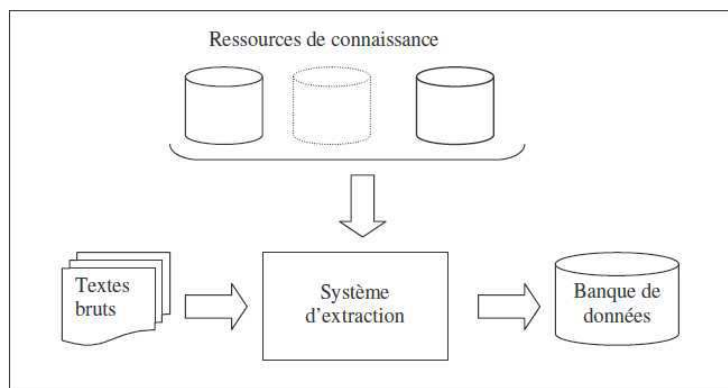


Figure 5.1 : Architecture d'un système d'extraction d'information [Al Haj Hasan 2008]

5.4. Étapes de l'extraction d'information

¹⁶ Index alphabétique de mots reliés entre eux par des relations sémantiques

L'extraction d'information est constituée de trois étapes principales : le repérage des entités nommées, la mise en relation des entités et le remplissage des formulaires.

5.4.1. Repérage des entités nommées

Parmi les étapes d'extraction d'information, le repérage des entités nommées est considéré comme la plus simple, c'est pour cela qu'on commence par cette étape [Al Haj Hasan 2008].

Le repérage des entités nommées consiste à repérer et à annoter des entités, par exemple le nom d'une personne, un lieu, une entreprise ou une unité numérique. La réalisation de cette tâche ne demande pas un traitement linguistique complexe, puisque le repérage et l'annotation de ces entités sont les plus faciles à faire dans l'ensemble des tâches d'extraction [Bikel, Schwartz et al. 1999] [Grishman 1997].

Pour le repérage automatique des entités nommées, une segmentation des textes en groupes nominaux et verbaux est souvent utilisée [Grishman 1997]. Les entités à extraire peuvent être ensuite repérées par des patrons¹⁷ à assortir localement aux groupes nominaux [Grishman 1997] [Bikel, Schwartz et al. 1999]. Les entités nommées sont repérées facilement à l'aide des indicateurs (amorces). Par exemple, les noms des personnes, peuvent être repérés : Mr Smith. Les noms d'organisations, comme Oracle dans la phrase « *Oracle Corp. in December had fore castthird-quarter new software sales...* », sont souvent reconnus par des amorces terminales comme *Inc, Corp., Corporation, Associates, Bank, etc.* Dans le cas où les amorces ne sont pas trouvées dans les corpus alors, le repérage se base sur des dictionnaires spécifiques ou des ressources sémantiques (ontologies, réseaux sémantiques). La figure 5.2 suivante montre un exemple d'extraction d'information où les entités nommées repérées ici sont par exemple : le 19 avril 1989 correspond à une date ou un évènement s'est produit au san salvadore capitale du Salvador. Ce fut l'assassinat

¹⁷ Modèle sur lequel repose une segmentation des textes en groupes nominaux et verbaux

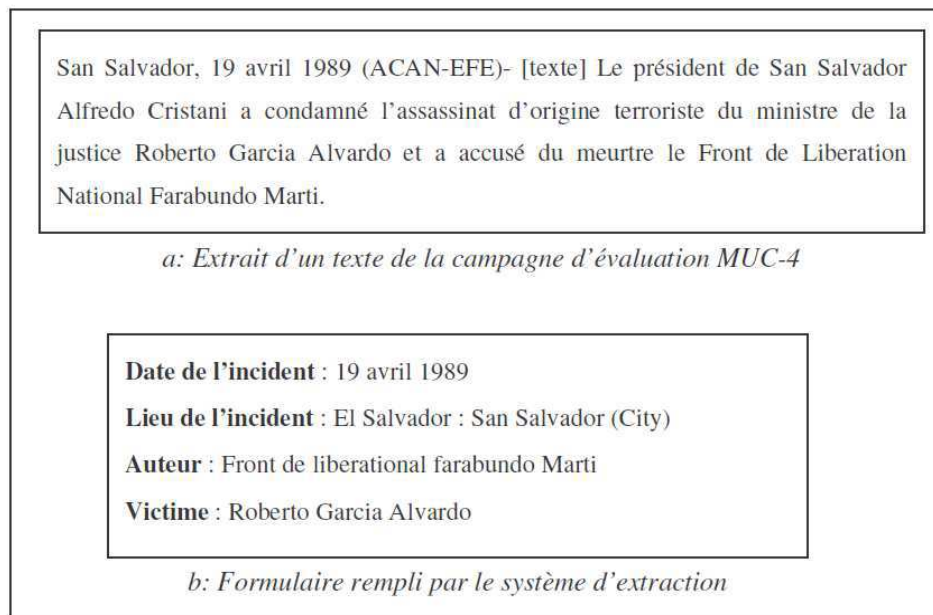


Figure 5.2 : Exemple du résultat du système d'extraction d'informations Message Understanding Conference - 4 [Al Haj Hasan 2008]

Il existe plusieurs approches pour la réalisation de cette étape, elles sont pour la plupart fondées sur des règles définies manuellement par des experts du domaine [Sekine and Eriguchi 2000], ou par apprentissage par des règles d'induction logiques [Asaki and Matsuo 2000], par un arbre de décision [Béchet, Nasr et al. 2000] par un modèle numérique [Bikel, Schwartz et al. 1999]. Ces règles d'extraction permettent de repérer dans les textes en langue naturelle des éléments sémantiquement définis dans un domaine d'application [Soderland 1999; Yangarber, Grishman et al. 2000].

5.4.2. La mise en relation des entités

La mise en relation des entités consiste à extraire les relations associant un attribut d'une entité à une valeur. L'extraction des entités nommées constitue une étape prioritaire et nécessaire pour la tâche de la mise en relation. En effet une fois que les entités nommées sont extraites alors l'extraction des relations attribut-valeur suivra par l'identification des passages candidats contenant des informations descriptives de ces entités [Grishman 1997].

Comme pour l'étape précédente, Cette tâche nécessite également des règles pour l'extraction des relations. Pour cela, des patrons linguistiques sont utilisés pour mettre en relation syntaxique des classes de termes définis dans des ressources de connaissances tels que des dictionnaires, des ontologies et des thésaurus. La figure 5.2 précédente montre bien que les entités extraites ont été mises en relation avec leur attribut, par exemple le 19 avril 1989 a bien été attribué comme valeur d'une date.

5.4.3. Remplissage des formulaires

Le remplissage des formulaires est la dernière étape de l'extraction d'informations. Une fois que les tâches précédentes ont été accomplies avec succès alors il ne reste plus qu'à remplir le formulaire avec les informations précédemment

extraites et à implémenter la banque de données avec leurs instances. Lors de cette étape le système remplit le formulaire prédéfini par des informations descriptives.

5.5. Limites de l'extraction d'information

L'extraction d'information possède des limites et des difficultés. En effet cette technique ne peut pas garantir la validité de l'information extraite ni l'élimination entière des ambiguïtés [Poibeau 2003].

L'extraction entraîne parfois :

- La perte de la nuance linguistique de la relation ou de l'événement [Ibekwe-SanJuan 2007].
- L'omission des informations essentielles [Ibekwe-SanJuan 2007]. Exemple : dans le texte de la figure 5.2, l'information principale du texte est la condamnation par le président Alfred Cristiani du San Salvador de l'assassinat du ministre. Par contre, cette information n'apparaît pas du tout dans le formulaire extrait.

Par la résolution de ces limites l'extraction d'information pourrait évoluer vers une entière automatisation.

5.6. Conclusion

L'extraction d'information permet de trouver automatiquement des informations pertinentes contenues dans de gros volumes de données. Cette technique devient l'une des plus importantes fonctionnalités des systèmes d'informations, parce que la quantité d'informations proposée à chaque lecteur est devenue importante.

A travers ce chapitre, nous avons commencé par donner les définitions recueillies sur l'extraction d'information. Nous avons vu que les premières tentatives avaient pour objectif la compréhension du texte puis ces dernières ont évoluées vers la recherche d'information pertinentes. Par la suite nous avons présenté l'architecture générale d'un système d'extraction d'information en expliquant le rôle de chacune de ces parties. Puis nous avons détaillé les étapes permettant la réalisation de l'extraction d'information. Enfin nous avons présenté certaines limites de cette technique.

Jusqu'à présent nous avons vu les techniques d'extraction des informations pouvant nous servir au développement de notre modèle d'utilisation des lois d'évolution. Nous allons dans le chapitre suivant rappeler les méthodes permettant de le tester du point de vue de sa validité et sa fiabilité.

Chapitre 6 : Recueil et traitement de données

6.1. Introduction

L'objectif de notre travail de recherche est la réalisation d'un modèle d'aide à l'innovation fondé sur l'utilisation des lois d'évolutions de la théorie TRIZ. L'étape qui suit la conception de tout modèle consiste en sa validation. Nous allons donc à travers ce chapitre voir quelles sont les méthodes qui le permettent.

Ce chapitre sera structuré comme suit : nous allons commencer par présenter certaines méthodes de recueil de données. Puis nous exposerons les méthodes pour les traiter. Par la suite nous expliquerons les notions de validité et fiabilité. Et enfin nous verrons comment procéder au test des hypothèses.

6.2. Catégorie d'étude des approches de recueil et de traitement des données :

Selon [Bachelet 2007] il existe deux types d'études de recueil et de traitement de données : les études exploratoires et les études confirmatoires.

6.2.1. *Étude exploratoire*

L'étude exploratoire se caractérise par une démarche ouverte ayant pour objectif de décrire et d'explicitier un phénomène, de l'explorer ou de construire une typologie. Pour cela elle utilise des méthodes statistiques descriptives telles l'Analyse Factorielle des Correspondances ou l'Analyse en Composantes Principales. Elle procède à une analyse sémantique et relationnelle du contenu des entretiens ou des documents.

6.2.2. *Étude confirmatoire*

L'étude confirmatoire est une étude réalisée dans le but de valider une théorie ou un modèle. Elle se caractérise par une étude fermée en utilisant des plans d'expériences ou des tests statistiques par exemple de corrélation et d'analyse de la variance.

6.3. Recueil de données

6.3.1. *Type de données recueillies*

On recueille deux types de données :

1. **Données quantitatives** : les données quantitatives sont des données mesurables auxquelles on peut associer des chiffres et des unités de mesures [Martin 2007].
2. **Données qualitatives** : Les données qualitatives consistent en une description des situations, d'événements, de citations et discours de personnes et d'extraits ou de passages de documents [Alami 2009].

6.3.2. Méthodes de recueil de données

[Bachelet 2007] a présenté certaines méthodes de recueil de données que nous retrouvons également chez [Druel 2007], ces méthodes sont les suivantes :

6.3.2.1. Analyse des données secondaires

Elle se fonde sur une analyse de données déjà diffusées dans des articles de journaux ou des documents du web, mais aussi sur des données audiovisuelles. La faiblesse de cette méthode réside principalement dans la validité des données récupérées, car il est très difficile de vérifier la fiabilité de leurs sources.

6.3.2.2. Analyse de documents

L'analyse de documents consiste en l'analyse des idées exprimées dans un texte, article ou plaquette d'information, etc. Elle permet de recueillir les deux types de données, quantitatives et qualitatives.

6.3.2.3 Observation directe

L'observation directe consiste à collecter des données de terrain à l'aide de l'observation visuelle (observer un comportement au moment où il se produit) ou de l'observation participante (vivre une situation) ou bien même de changer une situation avec ses acteurs (c'est la recherche-action). L'observation directe entraîne l'implication personnelle dans la collecte des données, ce qui risque d'entraîner une perte d'objectivité ; un autre inconvénient réside dans le fait qu'elle est considérée comme la méthode de recueil de données la plus chronophage.

6.3.2.4. Etudes de cas

L'étude de cas permet de décrire les expériences d'un sujet par rapport aux processus et résultats d'un programme et d'accomplir une synthèse en comparant les cas. La réalisation d'une étude de cas requiert malheureusement beaucoup de temps.

6.3.2.5. Questionnaire

Le questionnaire permet de recueillir et de traiter des résultats quantifiés. La personne qui souhaite réaliser un questionnaire doit bien connaître le sujet d'étude, et posséder les moyens nécessaires pour sa réalisation notamment la possibilité d'accès à une population-cible, avoir une quantité suffisante de réponses et la capacité à traiter les données. Lorsqu'on ne peut pas interroger la totalité d'une population, il est souhaitable de déterminer un échantillon représentatif qui permettra de faire le sondage.

Pour construire un questionnaire [Bachelet 2007] suggère de suivre ces étapes :

- Fixer le type de questionnaire à employer, sa diffusion, sa stratégie de collecte des réponses.
- Rédiger une première version que l'on testera sur un échantillon de personnes ou auprès d'experts. Ce test servira à la rédaction d'une version finale avec un scénario de collecte pour parer aux risques prévisibles.

6.3.2.6. Entretiens

Les entretiens possèdent deux types d'interlocuteurs : des spécialistes d'un domaine qui permettent de faire gagner beaucoup de temps lorsqu'on débute une étude et des témoins permettant de recueillir des avis et témoignages. L'entretien se réalise par un contact personnel et direct. Tout comme pour le questionnaire [Bachelet 2007] suggère de réaliser l'entretien en prenant en considération les conseils suivants :

- l'entretien doit être préparé à l'avance (écrire la liste des questions, les points à traiter et les objectifs à atteindre. . .)
- prendre des notes ou réaliser des enregistrements
- prêter attention au contexte (présentation des objectifs, temps imparti, etc.).

6.4. Méthode de traitement de données quantitatives

Le traitement des données quantitatives consiste à réaliser un traitement statistique sur les données. Il existe plusieurs types d'analyses statistiques, nous allons en citer quelques-uns, ci-dessous.

6.4.1. Analyse factorielle

L'analyse factorielle est une méthode créée par Charles Spearman, utilisée pour décrire la variabilité entre les variables observées, au moyen d'autres variables latentes (non observées). Elle est composée de plusieurs types d'analyses factorielles : l'analyse des correspondances, l'analyse en composantes principales, l'analyse des correspondances multiples et l'analyse discriminante [Druel 2007].

Le but d'une analyse factorielle est de trouver des symétries entre les données. Elle est utilisée dans plusieurs domaines notamment en psychologie, en sciences humaines et sociales, et plus généralement dans toute discipline faisant face à de grandes quantités de données.

6.4.2. Classification automatique

La classification automatique consiste à attribuer chaque objet (ou individu) à une classe ou à une catégorie. Son but est de constituer un groupe d'objets homogènes et différenciés, de façon à ce que les objets soient les plus similaires possibles au sein d'un groupe (critère de compacité) et les groupes soient aussi dissemblables que possible (critère de séparabilité) [Gettler–Summa and Pardoux 2008]. A ce sujet [Druel 2007] pense que : « Le rôle des classifications est primordial dans la compréhension de la réalité étudiée. Pour passer d'une réalité *multiforme* et *mal ordonnée* à un ensemble logique, classé et intellectuellement maîtrisable, il faut

faire appel à de la logique et à des relations d'équivalences permettant la constitution d'ensembles de données homogènes ».

Tout comme les méthodes d'analyses factorielles, les méthodes de classifications sont également utilisées dans plusieurs domaines principalement en biologie et en physique mais également en économie industrielle et en sociologie. Elles sont largement utilisées pour la reconnaissance des formes en imagerie.

Lorsqu'on dispose d'une représentation des éléments d'un ensemble E sous la forme d'un nuage de points situés dans un espace métrique, on peut calculer pour chaque sous-nuage, un centre de gravité et une inertie. Il est alors assez naturel de rechercher les couples de points dont l'agrégation diminue le moins la dispersion du nuage, c'est à dire son inertie. On démontre alors que la distance à utiliser est :

$$\sigma(x, y)^2 = \frac{m_x m_y}{m_x + m_y} \|x - y\|^2$$

Où m_x et m_y représentent les masses respectives de x et de y .

6.5. Méthode de Traitement des données qualitatives

Le traitement des données qualitatives cherche à établir des corrélations entre les données. [Droesbeke, Lejeune et al. 2005] signalent que la corrélation est née de la réflexion de Francis GALTON et de Karl PEARSON qui expriment l'expression du coefficient de corrélation par la formule suivante :

$$\frac{S(x, y)}{N_{xy}}$$

Où $S(x, y)$ est la somme des produits des N dérivations aux moyennes en x et y . Le coefficient de contingence sert à décrire la relation entre deux variables qualitatives nominales (X et Y).

Les auteurs obtiennent en outre l'erreur probable de r et proposent deux formules permettant de calculer ce coefficient. De même il introduit le test du χ^2 qui permet de procéder à des tests d'ajustements et qui est la base de la définition du coefficient de contingence dont la formule de calcul est donnée par l'expression suivante :

$$C = \sqrt{\frac{\chi^2}{n + \chi^2}} = \sqrt{\frac{e^2}{1 + e^2}}$$

Voici ci-dessous quelques méthodes permettant le traitement des données qualitatives :

6.5.1. Classifications

De même que pour les données quantitatives, la classification s'applique également sur les données qualitatives. Pour classifier les données qualitatives, il est nécessaire de procéder à un codage de leurs modalités. Par exemple pour une

population d'individus, la donnée : « pratique une activité sportive », on codera la modalité par 0 et 1 correspondant respectivement à oui, il pratique une activité sportive, et à non, il ne pratique pas d'activité sportive.

La classification nécessite au préalable de procéder à des mesures de similarité. [Volle 1997] donne un exemple de mesure de la similarité permettant de définir des agrégations et donc d'établir une classification. Nous présentons l'exemple repris par [Druel 2007] comme suit :

Soient x et y deux individus d'un ensemble E . Les observations réalisées sur eux permettent de les représenter par deux points $\alpha(x)$ et $\alpha(y)$ de $[(0,1)]^T$:

$$\alpha(x) = (x_1, \dots, x_T)$$

$$\alpha(y) = (y_1, \dots, y_T)$$

La suite x_1, \dots, x_T représente la suite de 0 et de 1 qui figure, dans un tableau, pour décrire l'individu x .

On associe au couple (x, y) les quatre nombres s, t, u, v définis comme suit :

$$s = \sum_i x_i y_i$$

$$t = \sum_i (1 - x_i)(1 - y_i)$$

$$u = \sum_i (1 - y_i)(x_i)$$

$$v = \sum_i (x_i)(1 - y_i)$$

s représente le nombre de caractères pour lequel x et y ont simultanément la modalité 1, t représente le nombre de caractères pour lequel ils ont simultanément la modalité 0, etc.

Il est facile de vérifier que

$$s + t + u + v = T$$

On peut donc se contenter d'associer au couple x, y trois nombres au lieu de quatre.

Par exemple, le triplet (s, v, u) . On aura :

$$(s, v, u) = I(x, y)$$

On appelle *mesure de similarité* une fonction S de x, y :

$$(x, y) \rightarrow S(x, y) = \varphi(I(x, y)) = \varphi(s, u, v)$$

Telle que φ soit :

- strictement croissante par rapport à s
- symétrique en u et v
- strictement décroissante par rapport à u

Il existe d'autres exemples de mesure de similarité. Les mesures de similarité sont toutes équivalentes entre elles lorsque le nombre de codes égaux à 1 est le même pour tous les individus. Les mesures de similarité sont peut différentes lorsque le nombre de codes égaux à 1 varie peu d'un individu à l'autre.

6.5.2. Les corrélations

La corrélation permet de quantifier l'intensité de la liaison entre des variables. Le coefficient de corrélation est compris entre -1 et 1. Le coefficient de PEARSON est difficilement applicable sur des variables qualitatives puisqu'il mesure des relations linéaires entre les variables. [Droesbeke, Lejeune et al. 2005] proposent alors de chercher des coefficients d'association (mesures de dispersion et mesures de prédiction) à l'aide des formules suivantes ;

Pour une variable (X, Y) , la distribution conjointe se caractérise par :

$$\pi_{ij} = P(X = i, Y = j) \quad \forall 1 \leq i \leq I \quad \forall 1 \leq j \leq J$$

La distribution marginale de X est donnée par

$$\pi_{i.} = P(X = i) = \sum_{j=1}^J \pi_{ij}$$

Pour $1 \leq i \leq I$ et la distribution marginale de Y par :

$$\pi_{.j} = P(Y = j) = \sum_{i=1}^I \pi_{ij} = \sum_{i=1}^I \pi_{ij}$$

pour $1 \leq j \leq J$. Supposons que Y soit la variable à expliquer et X la variable explicative, il est possible d'étudier la loi de Y, étant donné le niveau de X. Cette loi conditionnelle est donnée pour chaque i par :

$$\pi_{j/i} = P(Y = j | X = i) = \frac{\pi_{ij}}{\pi_{i.}} \quad \forall 1 \leq j \leq J.$$

Pour les données qualitatives [Druel 2007] propose également de chercher des modèles à réponses dichotomiques (succès ou échec, présence ou absence). Selon lui : « Cela permet de proposer des modèles pour des questions amenant à des prises de décision (par exemple : un projet présente-t-il des risques d'échec à moyen terme.) ».

6.6. Validité et fiabilité

Deux critères sont capitaux lors de la réalisation d'une mesure de grandeur : la validité et la fiabilité. En effet le dispositif de recherche doit être valide et la mesure doit être fiable [Bachelet 2007].

6.6.1. Validité

La validité répond à la préoccupation de vérité. Il existe trois exigences de validité : la validité interne, la validité externe et la validité de construit appelée aussi validité de concept [Bachelet 2007].

6.6.1.1. Validité interne

La validité interne résout le problème des explications rivales en les éliminant. Les variations de la variable à expliquer sont causées uniquement par les mêmes

variables explicatives. Il existe trois critères pour inférer la causalité d'après [Stuart-mill 2002] :

- la covariation : la cause et les effets sont corrélés.
- la précedence temporelle : la cause précède l'effet.
- l'élimination d'explications alternatives: n'admet pas de troisième variable.

6.6.1.2. Validité externe

La validité externe s'intéresse au problème de la généralisation des résultats : est-il possible de généraliser les résultats obtenus à d'autres situations ou à d'autres populations. la validité externe présente un risque qui réside dans le fait qu'un modèle construit à partir de données correspond tellement à ces données qu'il ne représente plus le phénomène qu'il devait étudier, mais plutôt les données utilisées. Le fait qu'un modèle possède une faible validité externe signifie que le modèle sera difficilement généralisable.

Ces deux types de validité s'opposent car la validité interne demande un meilleur contrôle des situations observées et la validité externe demande des méthodes, des situations et des terrains de collecte variés et ouverts. Et plus on multiplie les situations et plus le contrôle exercé sur les biais sera faible.

6.6.1.3. Validité de construit (validité de concept)

La validité de construit vérifie qu'on mesure bien ce qu'on veut mesurer. Il s'agit d'un type de validité qui est plutôt difficile à garantir, particulièrement dans les recherches en sciences humaines qui traitent des concepts abstraits qui ne sont pas toujours directement observables.

Il existe certains critères permettant la validité de concept, le tableau suivant présente quelques-uns d'entre eux :

Critère de validation	Description
La validité de contenu	L'opérationnalisation représente le concept sous tous ses aspects
La validité d'observation	Degré auquel le concept étudié peut se réduire à des observations
La validité de critère	Degré auquel on peut affirmer que le construit opérationnalisé est corrélé au concept qu'il est censé représenter.

La validité de trait	Degré auquel on peut affirmer que le construit opérationnalisé permet de mesurer le concept qu'il est censé représenter.
La validité convergente	Deux mesures du concept par deux méthodes différentes sont efficaces.
La validité discriminante	Degré auquel le concept diffère d'autres concepts proches
La validité systémique	Degré auquel le concept permet l'intégration de concepts antérieurs ou de produire de nouveaux concepts

Tableau 6.1 : Critères de validité de concepts [Bachelet 2007]

6.6.2. Fiabilité

La fiabilité se préoccupe de la régularité de la mesure et de la confiance que l'on peut accorder à celle-ci. Il est possible de mesurer la fiabilité essentiellement lors des reproductibilités. En effet les opérations de la recherche peuvent être répétées à un autre moment par un autre chercheur avec le même résultat. Si l'objet de la recherche n'a pas changé, alors une mesure parfaite (fiable) donnera le même résultat à chaque fois qu'elle est faite. Trop de variabilité (écart type) entre les mesures permettra de conclure que l'outil de mesure n'est pas fiable [Druel 2007]. [Bachelet 2007] propose de mesurer la fiabilité à l'aide des méthodes suivantes, elles sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Méthode de mesure de fiabilité	Définition
Re-retest	Refaire exactement la même mesure à des moments différents.
Utilisations de formes alternatives	Re-retest avec un test différent (alternatif) mais mesurant la même chose.
Mesure de la cohérence interne	Tester la cohérence des étalons de mesure et leur adaptation aux données traitées.

Tableau 6.2 : Méthode de mesure de la fiabilité [Bachelet 2007]

Les tests de validité et de fiabilité s'appliquent aussi bien pour les données quantitatives que pour les données qualitatives. Pour les données quantitatives ces

deux tests sont vérifiés à l'aide des tests statistiques. Pour les données qualitatives, il faudra prendre certaines précautions par exemple pour vérifier que les résultats sont conservés en changeant d'observateur. Des problèmes peuvent être rencontrés lors du traitement de ce type de données par exemple l'ambiguïté de certains critères observés ou encore des situations trop difficiles à étudier, il faudra alors veiller à éliminer les ambiguïtés.

6.7. Tester des hypothèses

[Bachelet 2007] propose de tester des hypothèses en utilisant la démarche qui consiste à rejeter ou affirmer une hypothèse en fonction des données. Les étapes de cette démarche sont les suivantes :

1. Énoncer l'hypothèse à vérifier.
2. Calcul d'une variable de décision, il peut s'agir par exemple du calcul de la distance entre deux échantillons. Plus cette distance sera grande, moins l'hypothèse de départ sera probable. Ou bien, en supposant que l'hypothèse de départ soit vraie, on peut tester l'hypothèse en procédant au calcul de la probabilité d'obtenir une valeur de la variable de décision qui soit au moins aussi grande que la valeur de la statistique que l'on a obtenue avec un échantillon. Cette probabilité est appelée la p-value.
3. Conclusion du test, en fonction d'un risque seuil. Souvent, un risque de 5% est considéré comme acceptable, c'est-à-dire que dans 5% des cas quand l'hypothèse est vraie, l'expérimentateur se trompera et la rejettera.
4. Si la plus-value est plus grande que 5% on accepte l'hypothèse. Si la plus-value est plus petite que 5% on la rejette.

6.8. Conclusion

Nous constatons que de nombreuses méthodes de différentes techniques sont proposées pour appréhender les problématiques de validation de toutes natures, très souvent en liaison avec les sources de données et l'objectif visé. Levain disait « *La validation d'un modèle n'est pas ce qui est vrai mais ce qui est généré de façon bonne et pouvant tester le niveau des hypothèses, elle révèle des problèmes importants* ».

S'agissant de la validation d'un modèle, comme celui nous concernant, nous utiliserons l'analyse des résultats, par l'approche statistique, en calculant l'écart type de la moyenne des nombres de réponses justes données par les participants lors des expérimentations du modèle. D'autre part la régularité des mesures, peut également se vérifier, par la récurrence de la manifestation du grand nombre de bonnes réponses décomptées lors des expérimentations effectuées sur les différents systèmes techniques.

Nous pensons qu'une bonne procédure pour tester nos hypothèses, serait de réaliser une première fois une expérimentation, sans dévoiler les instructions du modèle ; puis de la répéter, mais cette fois, en les dévoilant au préalable. La comparaison des nombres de bonnes réponses obtenues lors des deux opérations constituera, sans conteste, un bon critère de validation. On peut également comparer

les nombres de bonnes réponses et de réponses fausses de chaque expérimentation, l'écart entre les deux constitue un très bon indicateur de validation. Nous effectuerons également la vérification de la corrélation entre deux séries de données quantitatives pour certaines expérimentations. Tous les résultats seront présentés dans la partie concernée qui suit les expérimentations.

Dans ce chapitre nous avons commencé par présenter certaines méthodes de recueil de données. Puis nous avons exposé celles permettant de les traiter. Nous avons vu qu'il existe des méthodes pour traiter ces données en fonction de leurs types : données qualitatives ou données quantitatives. Puis nous avons expliqué les notions de validité et fiabilité. Et enfin nous avons énuméré les étapes essentielles pour tester des hypothèses.

Après avoir passé en revue toutes ces méthodes instrumentales de recueil et de traitement des données, nous allons procéder à la conception du modèle d'utilisation des lois d'évolution dans le chapitre suivant.

Partie 3 : Modélisation des lois d'évolution et réalisation des expérimentations

Cette troisième partie présente la modélisation des lois d'évolution et la réalisation des expérimentations. Elle se compose des chapitres sept à onze. Le septième présente le modèle d'application des lois d'évolution que nous proposons, la démarche d'élaboration du modèle ainsi que l'explication détaillée de ce dernier. Le huitième chapitre explique le protocole expérimental que nous envisageons de suivre et détaille le matériel utilisé et la composition des participants. Enfin les chapitres neuf, dix et onze présentent les différents résultats obtenus lors des expérimentations.

Chapitre 7 : Modèle d'application des lois d'évolution

7.1. Introduction

Les chapitres précédents et la bibliographie consultée nous ont appris, qu'en matière d'application des lois d'évolution dans un but d'innovation des systèmes techniques, qu'il n'existe pas, à l'heure actuelle, de démarches suffisamment complètes utilisant ces lois et s'inscrivant dans une stratégie prédictive. Le but de notre recherche est de nous consacrer à la conception d'une telle démarche où tout au moins poser ses premiers jalons qui ouvriraient cette perspective.

Nous voulons fonder, notre démarche sur la base d'un processus de conception prédictive, en exploitant l'existence des systèmes techniques, les expressions des définitions des lois évolutions, potentiellement prometteuses mais peu exploitées et les outils de la théorie de la résolution des problèmes inventifs TRIZ. Une démarche qui s'inscrirait dans une stratégie d'innovation où la prévision des futures générations des systèmes techniques serait au cœur de ses actions.

Dans ce chapitre, consacré à la présentation de notre solution, nous allons commencer par exposer la démarche de modélisation des lois d'évolution élaborée pour la conception de la solution. Nous présenterons les données obtenues suite à l'application de l'extraction de l'information sur les définitions des lois d'évolution et des exemples d'application de ces dernières. Enfin nous détaillerons notre solution de modélisation d'utilisation des lois d'évolution.

7.2. Démarche de modélisation des lois d'évolution

La démarche que nous allons suivre consiste à déterminer les caractéristiques des pistes d'évolution de chaque loi. Pour cela nous allons faire appel à la technique de l'extraction d'information que nous allons adapter à nos besoins en ajustant la banque de données de façon à ce qu'elle contienne les caractéristiques d'un système technique et les pistes d'évolution de chaque loi. Pour réaliser cette opération d'extraction d'informations, nous allons analyser les définitions des lois d'évolution ainsi que les exemples d'application de ces dernières. Etant donné le peu de documents et par conséquent de textes à traiter, nous avons opté pour une extraction manuelle des informations. Nous allons donc repérer et recueillir les éléments de la connaissance, éparpillés à travers les différentes expressions définissant les lois et ceux, significatifs, caractéristiques et perspicaces liées aux explications, commentaires et opinions que recèlent leurs exemples d'application. Ces éléments rassemblés peuvent constituer des axes de suggestion des pistes d'évolution.

Nous allons donc détecter dans les textes¹⁸ définissant les lois d'évolution tout ce qui a trait au système technique : ses éléments fonctionnels, sa fonction principale, son énergie, l'élément sur lequel il agit et toutes les caractéristiques ou les conditions de fonctionnement de ces entités. Cette étape constitue celle du repérage

¹⁸ Textes traitant des définitions des lois d'évolution écrits en langue française ou traduits vers cette dernière.

des entités nommées dans un système d'extraction d'information. Concernant l'étape de la mise en relation des entités, nous allons extraire toutes les informations mettant en relation ces entités, par exemple pour les éléments fonctionnels nous allons extraire celles qui les lient avec la source d'énergie, son utilisation, sa transmission, etc. Et enfin conserver ces informations et les mettre en valeur pour les utiliser dans notre solution.

7.2.1. Application de l'extraction d'informations sur les définitions des lois d'évolution

Dans la littérature scientifique, on trouve plusieurs versions des définitions des lois d'évolution, globalement elles sont toutes très proches, cependant certaines apportent plus de précisions que d'autres. Nous allons analyser sémantiquement ces définitions afin de déterminer les caractéristiques des pistes d'évolution de chacune des lois :

❖ Analyse de la loi 1

Voici certaines définitions de la loi d'évolution numéro 1 auxquelles nous allons appliquer la technique de l'extraction d'information pour les analyser et retrouver les informations stratégiques que propose cette loi :

- 1) Un système technique est composé de 4 parties : un moteur, un organe de transmission, un organe de travail et un organe de contrôle.

Chacune de ses parties doit atteindre une performance suffisante (ou minimale) pour que le système soit opérationnel.

Cette loi signifie en particulier que si l'une des parties du système est défaillante, le système n'est pas viable. Un autre élément important découlant de cette loi est la nécessité qu'une partie du système soit contrôlable [Ameglio 2005].

Entités nommées	Relations	Commentaire
4 parties, performance suffisante et contrôlable	« Un système doit être composé de ces quatre parties », « toutes les parties doivent atteindre une performance suffisante » et « qu'une partie du système soit contrôlable »	Cette définition représente les caractéristiques de base de la première loi, mais ces caractéristiques apportent une précision capitale dont il faut tenir compte, tant pour la viabilité du système, que pour sa contrôlabilité. Toute minimisation d'un seul de ses critères peut constituer une négligence fatale.

Tableau 7.1: Extraction d'informations de la version 1 de la définition de loi 1

- 2) Tout système technique est composé de quatre parties : le moteur, la transmission, l'élément de travail et l'élément de contrôle. Chaque partie doit atteindre une performance minimale pour que le système puisse fonctionner. Si une partie manque, le système technique n'existe pas. Si elle est défaillante, le système technique n'est pas viable [Boldrini 2011].

Entités nommées	Relations	Commentaire
4 parties, performance suffisante, partie, manque et n'existe pas	« Un système doit être composé de ces quatre parties », « toutes les parties doivent atteindre une performance suffisante » et « si une partie est absente alors le système ne peut pas exister »	Cette définition précise très clairement une nouvelle condition supplémentaire qui nécessite la présence des quatre éléments d'un système technique sans quoi le système n'existerait pas.

Tableau 7.2 : Extraction d'informations de la version 2 de la définition de loi 1

- 3) Pour pouvoir fonctionner, un système technologique doit comporter au moins quatre sous-ensembles : une source d'énergie : le moteur ; une transmission ; un organe de travail : un actionneur ; une partie commande ou un organe de contrôle. Au moins une des entités doit être contrôlable et chacune des quatre entités doit être présente dans le système et remplir une fonction au minimum [Crubleau 2002].

Entités nommées	Relations	Commentaire
4 sous-ensembles, organe de travail, actionneur, partie, source, énergie, contrôlable et fonction	« <i>Un système doit comporter quatre sous-ensembles</i> », « <i>L'organe de travail est un actionneur</i> » et « <i>une des entités doit être contrôlable</i> »	Dans sa définition Pascal Crubleau attribue des mots clés pour définir les éléments fonctionnels du système technique : source d'énergie pour le moteur et actionneur pour l'opérateur, ces mots clés enrichissent la définition de la loi 1 car ils peuvent aider dans l'identification des éléments du système.

Tableau 7.3 : Extraction d'informations de la version 3 de la définition de loi 1

- 4) Pour assurer sa fonction principale, un système doit avoir 4 parties fondamentales, qui remplissent idéalement leur rôle dans le fonctionnement du système. Ces 4 pièces principales sont [Cavallucci and Weil 2001] :
- Le moteur : sa fonction est de générer l'énergie nécessaire pour assurer la fonction principale.
 - L'élément de transmission: qui sera le canal de cette énergie vers l'élément de travail.
 - L'élément de travail: qui, dans les limites du système technique, va assurer le contact physique entre le système et l'élément physique sur lequel il agit.

- L'élément de commande: sa fonction principale est de réagir aux variations des paramètres de fonctionnement du système en s'adaptant automatiquement à sa forme, sa structure et ses informations de sortie.

Les corollaires de cette loi sont les suivants :

- Chaque élément doit participer pleinement au bon fonctionnement du système
- Au moins une des parties doit être contrôlable pour adapter l'élément de contrôle aux variations.

Entités nommées	Relations	Commentaire
4 parties, rôle, moteur, générer, énergie, transmission, canal, contacte, élément physique, variation, et contrôlable	« Un système doit avoir 4 parties», « <i>Le moteur a pour fonction de générer l'énergie</i> », « <i>L'élément de transmission est le canal de l'énergie</i> », « <i>L'élément de travail assure le contact physique entre le système et l'élément physique sur lequel il agit</i> », « <i>L'élément de commande réagit aux variations dans le fonctionnement du système en s'adaptant automatiquement</i> » et « <i>une des entités doit être contrôlable</i> »	Ici encore cette définition apporte plus de précisions concernant les caractéristiques des éléments fonctionnels du système technique, en attribuant au moteur la capacité de générer de l'énergie, en considérant le transmetteur comme canal de cette énergie, en précisant que l'élément de travail est en contact direct avec l'objet sur lequel le système agit et que la fonction principale de l'élément de commande est de s'adapter aux variations du fonctionnement du système.

Tableau 7.4 : Extraction d'informations de la version 4 de la définition de loi 1

- 5) Dans sa Thèse [Cortes Robles 2006] donne la définition suivante : Afin d'être opérationnel un système technique a besoin de quatre éléments indispensables :
- Une source d'énergie : un moteur.
 - Un élément pour transmettre l'énergie produite ou transformée par le moteur, à l'organe de travail; mécanisme de transmission,
 - Un organe de travail qui réalise physiquement une fonction.
 - Un organe de contrôle.

La présence d'un organe de contrôle implique qu'au moins un des composants du système doit être contrôlable ; condition indispensable pour assurer le bon fonctionnement du système.

Entités nommées	Relations	Commentaire
4 éléments, source d'énergie, énergie produite, énergie transformée, moteur, organe de travail, réalise, physiquement et fonction	« <i>Un système a besoin de quatre éléments indispensables</i> », « <i>Le moteur a pour fonction de générer l'énergie ou de la transformer</i> », « <i>L'élément de transmission a pour fonction de transmettre l'énergie à l'organe de travail</i> » et « <i>L'organe de travail réalise physiquement l'énergie</i> »	Une indication supplémentaire apportée par cette version est que le moteur est responsable de la production ou de la transformation d'énergie

Tableau 7.5 : Extraction d'informations de la version 5 de la définition de loi 1

- 6) Dans sa Thèse Scaravetti, définit la loi 1 comme suit : Pour réaliser une fonction, une énergie doit être utilisée, transformée et transmise, chacune des 4 entités précédentes doit être présente et utile à la réalisation de cette fonction dans le système technique [Scaravetti 2004].

Le contrôle de l'opérateur à proximité de la réalisation de l'action est un gage de bon fonctionnement. Le critère pour cette loi est le nombre d'entités concernées par le contrôle ainsi que la proximité de l'entité contrôlée et de l'action [Scaravetti 2004].

Entités nommées	Relations	Commentaire
4 entités, fonction, énergie, utilisée, transformé, transmise, être présente, utile, réalisation, fonction, contrôle, proximité, action, bon fonctionnement.	« <i>Pour réaliser une fonction, une énergie doit être utilisée, transformée et transmise</i> », « <i>chacune des 4 entités du système précédentes doit être présente et utile à la réalisation de fonction</i> ». et « <i>Le contrôle de l'opérateur à proximité de la réalisation de l'action est un gage de bon fonctionnement</i> »	Une autre information pertinente apportée par cette définition concerne la proximité de l'entité de contrôle de l'entité opératoire, plus le contrôle est proche de l'entité opératoire plus l'efficacité est grande.

Tableau 7.6 : Extraction d'informations de la version 6 de la définition de loi 1

- 7) Dans un document écrit par Denis Choulier lors d'une journée de travail à TRIZ France, Choulier a proposé les définitions des éléments fonctionnels du système techniques suivantes [Choulier 2010] :

- L'unité de travail représente le « principe actif » du système.
- L'unité motrice est un élément d'interface du système. Elle transforme l'énergie qu'elle récupère sous une certaine forme à l'extérieur du système technique, dans une forme utilisable pour la transmission et vers l'unité de travail.
- La transmission est la partie du système qui fait le lien énergétique entre l'unité de travail et l'unité motrice. Elle est géographiquement située entre elles.
- L'unité de contrôle intervient pour moduler le niveau d'action de l'unité de travail en fonction des variations des conditions extérieures, y compris celles de la source d'énergie extérieure.

Entités nommées	Relations	Commentaire
L'unité de travail, principe actif, système, L'unité motrice, élément d'interface, transforme, l'énergie, récupère, extérieur du système, La transmission, lien énergétique, géographiquement située, L'unité de contrôle, module, niveau d'action, variations, conditions extérieures.	<p>« L'unité de travail est le principe actif du système »,</p> <p>« L'unité motrice est l'élément d'interface du système »,</p> <p>« L'unité de travail transforme l'énergie », « L'unité de travail récupère l'énergie à l'extérieur du système »,</p> <p>« La transmission fait le lien énergétique entre l'unité de travail et l'unité motrice »,</p> <p>« La transmission est géographiquement située entre l'unité de travail et l'unité motrice »,</p> <p>« L'unité de contrôle adapte le niveau d'action de l'unité de travail en fonction de variations des conditions extérieures »</p>	Cette dernière définition apporte d'avantage de précision sur les éléments fonctionnels du système. Elle présente l'unité motrice comme un élément d'interface du système, qui transforme l'énergie externe au système sous une forme utilisable par l'unité de travail. Cette définition positionne géographiquement l'unité de transmission entre l'unité motrice et l'unité de travail.

Tableau 7.7 : Extraction d'informations de la version 7 de la définition de loi 1

En analysant les résultats de l'extraction d'informations des différentes versions de la définition de cette première loi on constate que :

- 1- Ces définitions ont toutes un point commun sur la nécessité d'avoir une entité de contrôle, parmi les quatre éléments du système.
- 2- Les quatre éléments du système doivent participer à l'utilisation, la transformation, et la transmission de l'énergie.
- 3- Les caractéristiques des éléments fonctionnels d'un système qui ont retenu notre attention à travers ces définitions, sont :

Eléments fonctionnels	Caractéristiques importantes
L'unité de travail	<ul style="list-style-type: none"> - l'unité de travail est composée de l'élément du système technique qui est en contact physique directe avec l'objet modifié par le système. - Elle permet la réalisation de la fonction du système (considérée comme un actionneur).
L'unité motrice	<ul style="list-style-type: none"> - L'unité motrice est composée de l'élément qui génère ou transforme l'énergie nécessaire pour le fonctionnement du système. - Elle transforme l'énergie externe par rapport au système sous une forme utilisable par l'unité de travail
L'unité de transmission	<ul style="list-style-type: none"> - L'unité de transmission est composée des éléments qui transmettent l'énergie, elle est le canal de l'énergie de l'unité motrice vers l'unité de travail. - Elle se situe géographiquement entre l'unité motrice et l'unité de travail
L'unité de contrôle	<ul style="list-style-type: none"> - L'élément de contrôle est celui qui permet au système de s'adapter aux différentes

	variations des paramètres de fonctionnement. - le meilleur fonctionnement du système est celui qui place le contrôle au niveau de l'unité de travail
--	---

Tableau 7.8 : Banque de données des caractéristiques des éléments d'un système technique

Dans les caractéristiques proposées dans le tableau ci-dessus, nous remarquons un lien entre entités internes au système et celles externes : l'énergie externe reçue par le système et l'objet sur lequel le système agit. En effet, le moteur reçoit de l'énergie externe qu'il utilise et transforme pour la rendre exploitable par les autres éléments du système. L'élément opérateur du système agit directement sur l'objet externe qui est modifié par le système. Tout cela, nous pousse à déterminer en premier lieu le périmètre du système, avant de commencer à étudier le système.

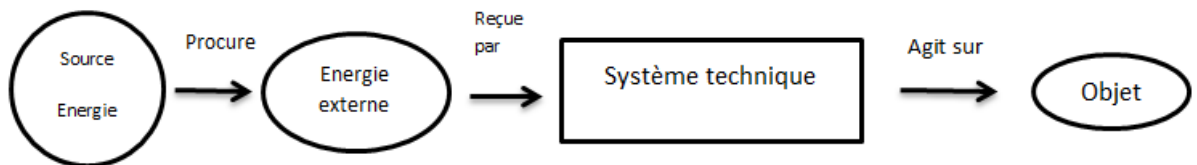


Figure 7. 1 : Délimitation du système technique

❖ Analyse de la loi 2

Voici certaines définitions de la loi d'évolution numéro 2 :

- 1) Pour qu'un système technique fonctionne, il est nécessaire que l'énergie circule facilement à travers ses parties. Il est notamment nécessaire que l'énergie générée par le moteur soit transmise à l'organe de travail [Ameglio 2005].
- 2) Un élément nécessaire à la viabilité d'un système, c'est le libre passage de l'énergie à travers toutes ses parties. Par conséquent, il est primordial de transmettre l'énergie du moteur à l'organe de travail via la transmission [Cortes Robles 2006].
- 3) Le système doit permettre le libre passage de l'énergie entre toutes ses entités lors de la réalisation de l'action. La transmission d'énergie doit être la plus efficace possible [Scaravetti 2004].
- 4) Une condition indispensable au bon fonctionnement du système est la circulation libre et efficace de l'énergie à travers ses quatre principales parties. En outre, tous les systèmes techniques agissent comme un convertisseur de puissance. Par conséquent, l'énergie doit être transférée entièrement sans

aucune perte de force motrice à travers la transmission aux unités de travail et de contrôle [Cavallucci and Weil 2001].

- 5) Dans son livre [Choulier 2011] propose de chercher la raison de la perte d'énergie pour améliorer le fonctionnement du système, il évoque aussi la notion du rendement de chaque composant qui doit être satisfaisant pour avoir un bon fonctionnement du système.

Le tableau suivant représente les résultats d'application de l'extraction d'information à ces définitions.

Numéro définition	Entités nommées	Relations	Commentaires
1	Energie, circule facilement, parties, générée, transmise, générée, moteur, organe de travail	<i>« l'énergie doit circuler facilement à travers les parties du système », « l'énergie générée par le moteur doit être transmise à l'organe de travail »</i>	Cette définition met l'accent sur la libre circulation d'énergie à travers les parties du système, afin que cette dernière puisse atteindre l'unité de travail à partir de l'unité motrice.
2	Viabilité, système, libre passage, énergie, les parties. Transmettre, moteur, organe de travail, transmission	<i>« Une condition de viabilité du système est le libre passage de l'énergie à travers toutes ses parties », « il faut transmettre l'énergie du moteur à l'organe de travail via la transmission »</i>	Tout comme la précédente elle indique la nécessité d'avoir un passage facile de l'énergie.
3	Système, libre passage, énergie, les entités, réalisation, action	<i>« Le système doit permettre le libre passage de l'énergie entre toutes ses entités lors de la réalisation de l'action »</i>	Cette définition s'accorde aux précédentes sur l'obligation d'avoir un passage libre de l'énergie.
4	Fonctionnement, système, circulation, libre, efficace, énergie, les quatre principales parties, transférée, sans aucune perte, force motrice, unités de travail et de contrôle	<i>« Une circulation libre et efficace de l'énergie à travers les quatre principales parties du système », « l'énergie doit être transférée sans aucune perte de force motrice à travers la transmission aux unités de travail et de contrôle »</i>	Par rapport aux définitions précédentes celle-ci apporte une nouvelle condition nécessaire au bon fonctionnement du système qui concerne la minimisation de la perte d'énergie générée par le moteur et qui arrive aux autres éléments du système.
5	Raison, perte, énergie, améliorer, fonctionnement, rendement, satisfaisant	<i>« chercher la raison de la perte d'énergie pour améliorer le fonctionnement du système », « le rendement de chaque composant doit être</i>	Cette dernière définition propose de chercher la raison de la perte d'énergie pour améliorer le fonctionnement du système, il évoque aussi la notion du rendement de chaque

		<i>satisfaisant »</i>	composant qui doit être satisfaisant pour avoir un bon fonctionnement du système
--	--	-----------------------	--

Tableau 7.9 : Banque de données des conditions de satisfaction de la loi 2

Pour résumer, les conditions nécessaires au bon fonctionnement du système et requises par cette loi sont :

- Un libre passage de l'énergie entre les éléments du système minimisant la perte de l'énergie,
- Un rendement efficace de chaque unité du système.

❖ Analyse de la loi 3

Voici certaines définitions de la loi d'évolution numéro 3 auxquelles nous allons appliquer l'extraction de l'information, comme le montre le tableau ci-dessous :

- 1) Pour qu'un système technique fonctionne correctement, les rythmes (fréquence, périodicité...) de ses parties doivent être coordonnés. Cette loi comporte deux aspects : Les actions des différentes parties tendent à être entièrement coordonnées, voire à se compléter (travail d'une partie pendant le repos d'une autre) et les rythmes (fréquence, périodicité, ..) s'harmonisent [Ameglio 2005].
- 2) Une condition essentielle pour le fonctionnement optimisé d'un système consiste à établir une coordination dans le rythme (fréquence, les vibrations, la périodicité, de la résonance) de toutes ses parties. Tout écart entre le rythme de fonctionnement de ces dernières, engendre inévitablement une perte d'efficacité diminuant la performance globale du système. Ainsi, il est important de mettre en place une forme d'harmonie entre les parties dans le but de parvenir à un fonctionnement plus efficace. Inversement, la coordination latente des parties du système peut parfois générer un fonctionnement non-optimisé. Dans ces conditions, l'objectif sera de se développer vers la discordance du rythme de fonctionnement des parties du système [Cavallucci and Weil 2001].
- 3) Une condition indispensable pour le fonctionnement correct d'un système est : la coordination (ou la discordance intentionnelle) du rythme de toutes ses parties (fréquence, vibration, périodicité). Plus les parties d'un système ont un fonctionnement irrégulier, plus le système sera complexe, plus difficile sera le développement de ce système et grand le nombre de contradictions entre les différentes parties. Au final, cette absence de coordination est nuisible à la qualité du fonctionnement [Cortes Robles 2006].

4) Rares sont les systèmes qui fonctionnent de façon continue. Les temporalités d'action des différents éléments du système technique et des éléments de l'environnement (source d'énergie et objet) sont à étudier [Choulier 2010].

En résumé, les conditions de fonctionnement optimal, selon la loi 3 sont :

- Les rythmes de fonctionnement des éléments du système doivent être coordonnés.
- Le rythme de fonctionnement de l'environnement du système (c'est-à-dire la source d'énergie et l'objet sur lequel le système agit) doit être coordonné avec les autres éléments internes du système. Les conditions, d'une façon générale sont détaillées et consignées dans le tableau 7.10. ci – dessous :

Numéro définition	Entités nommées	Relations	Commentaires
1	les rythmes, les parties, coordonnés, actions, se compléter, s'harmonisent	« les rythmes des parties du système doivent être coordonnés », « Les actions des différentes parties tendent à être entièrement coordonnées, et à se compléter », « les rythmes s'harmonisent »	Cette définition précise que le rythme de fonctionnement des éléments fonctionnels du système doit être coordonné.
2	Condition, essentielle, fonctionnement, optimisé, coordination, rythme, les parties. coordination latente, des parties, générer, fonctionnement non-optimisé, l'objectif, développer, discordance du rythme.	« Une condition essentielle pour le fonctionnement optimisé d'un système consiste à établir une coordination dans le rythme de toutes ces parties », « la coordination latente des parties du système peut parfois générer un fonctionnement non-optimisé, dans ce cas, l'objectif sera de se développer vers la discordance du rythme de fonctionnement des parties du système ».	Cette définition enrichit la première en faisant comprendre la nécessité de trouver la meilleure combinaison des rythmes des éléments du système.
3	Coordination, discordance intentionnelle, rythme	« la coordination (ou la discordance intentionnelle) du rythme de toutes ses parties »	Cette définition présente les mêmes conditions que les précédentes. Cependant elle met l'accent sur les inconvénients néfastes pouvant résulter des rythmes irréguliers des parties du système.
4	temporalités d'action, éléments du système, éléments de l'environnement, étudier	« il faut étudier es temporalités d'action des différents éléments du système technique et des éléments de l'environnement (source d'énergie et objet) »	Cette définition propose non seulement de vérifier la coordination des rythmes des éléments du système, mais également celle de la source externe d'énergie et de l'objet modifié par le système. Nous pouvons aussi comprendre que les sources d'énergies,

			alimentant le système, provenant des éléments environnementaux, peuvent avoir leur propre rythme et par conséquent, il y a lieu d'étudier la temporalité de ces sources énergétiques et éventuellement adapter le rythme du système à celui de l'énergie extérieure. Comme on peut également, par nécessité, s'adapter au rythme de l'objet.
--	--	--	--

Tableau 7.10 : Banque de données des conditions de satisfaction de la loi 3

Pour résumer, les conditions de fonctionnement optimal, selon la loi 3, sont :

- Les rythmes de fonctionnement des éléments du système doivent être coordonnés.
- Le rythme de fonctionnement de l'environnement du système (c'est-à-dire la source d'énergie et l'objet sur lequel le système agit) doit être coordonné avec les autres éléments internes du système.

❖ Analyse de la loi 4

Voici certaines définitions de la loi d'évolution numéro 4, le résultat de l'extraction d'information est présenté dans le tableau 7.11 :

- 1) Tout système technique évolue en augmentant son niveau d'idéalité. Cette loi est fondamentale, elle explique la tendance globale de l'évolution des systèmes [Ameglio 2005].
- 2) La notion d'idéalité, définie par Altshuller, permet de quantifier le degré de satisfaction d'un produit considéré. Cette loi fait référence aux postulats qui précisent que les systèmes techniques évoluent dans le temps afin de satisfaire les demandes « logiques » des clients au sens positif [Crubleau 2002].

Nous consignons dans le tableau suivant les données de satisfaction selon la loi 4

Numéro définition	Entités nommées	Relations	Commentaires
1	système technique, évolue, augmentant, niveau d'idéalité.	« Tout système technique évolue en augmentant son niveau d'idéalité ».	Cette définition de la loi 4 précise la nécessité d'améliorer le système vers un meilleur niveau d'idéalité
2	idéalité, quantifier, degré de satisfaction d'un produit, considéré, systèmes	« <i>L'idéalité, définie par Altshuller, permet de quantifier le degré de</i>	Cette définition propose d'utiliser la formule de l'idéalité définie par

	techniques, évoluent, temps, satisfaisant, demandes, clients	<i>satisfaction d'un produit » « les systèmes techniques évoluent dans le temps afin de satisfaire les demandes des clients »</i>	Altshuller pour quantifier le niveau d'idéalité par la satisfaction des clients.
--	--	---	--

Tableau 7.11 : Banque de données des conditions de satisfaction de la loi 4

Nous retenons de ces définitions, que l'une des étapes d'évolution du système est de faire en sorte que son idéalité augmente, et que cette loi propose une formule pour calculer le degré d'idéalité des éléments du système, dont on peut s'en servir pour améliorer les produits, connaître leurs positions par rapport à l'échelle d'évolution, réduire la nuisibilité, réduire les coûts et satisfaire les clients.

❖ Analyse de la loi 5

Voici certaines définitions de la loi d'évolution numéro 5 : Les parties d'un système se développent et évoluent de manière inégale, c'est la partie la plus médiocre du système qui est améliorée en priorité. Plus le système technique est complexe, plus l'inégalité du développement des parties est importante. L'amélioration d'une partie du système peut faire apparaître des problèmes dans une autre partie : la mise en évidence et la résolution de cette contradiction permet de faire évoluer le système de manière importante [Ameglio 2005].

1) Il y a un développement non uniforme des éléments du système. Il est important de bien cerner ces différents états d'avancement suivant les sous-ensembles. En effet, chercher à développer des systèmes déjà très évolués n'augmentera que très peu l'idéalité pour des moyens mis en œuvre importants. Enfin, il faudra veiller à développer le sous-ensemble qui ralentit l'évolution du système technique dans sa globalité [Crubleau 2002].

2) Les parties d'un système se développent de manière inégale. Plus le système est complexe, plus le développement de ses parties est inégal. Ce développement inégal génère l'apparition de contradictions techniques et physiques et par conséquent, suscite le besoin d'innover en les éliminant [Cortes Robles 2006].

Les résultats de l'extraction de l'information sont donnés dans le tableau suivant :

Numéro définition	Entités nommées	Relations	Commentaires
1	partie la plus médiocre, système, améliorée, priorité, Plus, complexe, inégalité du développement, importante, résolution, contradiction, évoluer	<i>« la partie la plus médiocre du système qui est améliorée en priorité », « Plus le système technique est complexe, plus l'inégalité du développement des parties est importante », « la résolution de la contradiction permet de faire évoluer le système »</i>	Cette définition indique la priorité d'évolution et d'amélioration des éléments du système. Ainsi que l'importance de la résolution des contradictions, qui apparaissent à cette étape du système, pour un meilleur développement.
2	Développement, non uniforme, éléments, système, Développer, sous-ensemble,	<i>« Il y a un développement non uniforme des éléments du système »,</i>	Cette définition rejoint la précédente sur le fait de commencer par développer les

	ralentit, évolution,	« il faudra développer le sous-ensemble qui ralentit l'évolution du système technique »	sous-ensembles du système les moins évolués.
	Plus, système, complexe, développement, les parties, inégal, génère, apparition, contradictions techniques et physiques, suscite, besoin, innover, en, éliminant	« Plus le système est complexe, plus le développement de ses parties est inégal », « le développement inégal génère l'apparition de contradictions techniques et physiques et suscite le besoin d'innover en les éliminant »	Ici encore on comprend la nécessité de résoudre les contradictions techniques mais aussi physiques pour améliorer le fonctionnement du système.

Tableau 7.12 : banque de données des conditions de satisfaction de la loi 5

La loi numéro 5 préconise un ordre de développement du système en commençant par les parties les moins évoluées, et en résolvant les contradictions techniques et physiques empêchant le développement du système.

On remarque que les lois d'évolution quatre et cinq sont très corrélées. D'un côté, on a la loi quatre qui permet de quantifier les degrés d'idéalité des éléments fonctionnels du système, et donc permet de les ordonner selon leur niveau d'idéalité. Et d'un autre côté on a la loi cinq qui propose d'améliorer les unités du système en commençant par la moins évoluée. Donc on utilise la loi quatre pour ordonner les éléments du système partant du moins idéal vers le plus idéal et par la suite faire évoluer ces éléments ainsi ordonnés en résolvant leur contradictions, comme le préconise la loi cinq. Ce qui est en accord avec notre troisième hypothèse de solution, et que nous allons vérifier à travers l'étude expérimentale dans les chapitres suivants.

➤ Synthèse de l'analyse des définitions des lois d'évolution (1 à 5)

L'analyse des définitions des lois d'évolution révèle :

Lois d'évolution	Caractéristiques importante
Loi n° 1	<ul style="list-style-type: none"> - Il est nécessaire que les quatre éléments du système participent à l'utilisation, transformation, et transmission de l'énergie, et qu'au moins l'une de ces entités soit contrôlable. - Les éléments fonctionnels du système possèdent des caractéristiques essentielles pour assurer le bon fonctionnement du système (voir tableau précédent).
Loi n° 2	<ul style="list-style-type: none"> - Un libre passage de l'énergie entre les éléments du système minimisant la perte de l'énergie. - Un rendement efficace de chaque unité du système.
Loi n° 3	<ul style="list-style-type: none"> - Les rythmes de fonctionnement des éléments du système doivent être coordonnés. - Le rythme de fonctionnement de l'environnement du système (c'est-à-dire la source d'énergie et l'objet sur

	lequel le système agit) doit être coordonné avec les autres éléments internes du système.
Lois n° 4 & 5	<ul style="list-style-type: none"> - La formule d'idéalité donnée par Altshuller peut être utilisée pour quantifier l'idéalité des éléments fonctionnels du système. - Les éléments fonctionnels du système peuvent être ordonnés en fonction du résultat de calcul de cette formule. - Une fois ordonnés, On peut résoudre les contradictions des éléments du système ainsi ordonnés pour les faire évoluer.

Tableau 7.13 : Synthèse des caractéristiques des lois d'évolutions

7.2.2. Analyse des exemples d'application des lois d'évolution

En étudiant les différentes illustrations existantes sur les lois d'évolution [Cavallucci 1999b; Cavallucci and Weil 2001; Cavallucci, Lutz et al. 2002; Crubleau 2002; Creax 2006], on remarque que la plupart des caractéristiques déduites lors de l'analyse des définitions apparaissent également lors de l'analyse des exemples d'application des lois.

Ainsi pour la loi 1, on remarque constamment la présence d'une unité contrôlable parmi les unités du système ; il y a un critère qui a retenu notre attention : c'est le fait que l'unité de travail soit composée de l'élément qui est en contact avec l'objet sur lequel le système agit. On constate également que l'application de la loi 2 est orientée vers l'amélioration d'un système (ou produit) permettant un meilleur passage de l'énergie et que pour la loi 3, les exemples illustrent des produits avec des rythmes de fonctionnement coordonnés. Pour l'illustration de la loi 4 on voit des produits plus évolués proposant plusieurs fonctions secondaires, et parfois on a du mal à distinguer entre l'évolution du produit selon les lois 4 et 5, car dans les deux cas des produits plus évolués sont présentés, avec un caractère plus complexe au niveau de la loi 5.

7.3. Présentation de la solution proposée

Le modèle que nous proposons consiste à utiliser les lois d'évolution dans un but d'amélioration des fonctions des systèmes et de prédiction des futures générations des produits. Il comprend quatre étapes principales, chacune constituée d'un questionnaire auquel l'utilisateur doit répondre. Le but de ces questions est de guider l'utilisateur au maximum dans l'identification des pistes d'évolution innovantes des produits. Pour ce faire, nous avons choisi d'implémenter dans notre modèle certaines fonctions que nous jugeons comme essentielles pour répondre à la problématique posée dans cette thèse, ces fonctions concernent essentiellement : l'identification des éléments fonctionnels des systèmes techniques comme définis par la loi d'évolution numéro 1 (hypothèse 1), la détection des carences du système par rapport aux exigences des lois d'évolution statiques puis leur résolution (hypothèse 2) et l'association d'un ordre d'évolution aux différentes fonctions du système (hypothèse 3).

Pour proposer un modèle d'application des lois d'évolution nous avons opté pour un modèle question-réponse qui va spécifier les questions en se basant sur des mots-clés extraits de la banque de données lors de l'extraction des informations, afin de guider aux maximum les utilisateurs, et de faciliter leur évaluation du système. Pour réaliser ces questions nous nous sommes inspirés du document de [Choulier 2010] exposé lors d'une séance de travail à TRIZ France ainsi que de son livre [Choulier 2011], et nous avons également utilisé certaines questions, notamment, celles destinées à identifier les éléments fonctionnels du système technique car nous les avons jugées perspicaces. Toujours dans une démarche de facilitation d'application des lois d'évolution notre proposition repose sur un modèle qui prend en considération la réponse des utilisateurs pour vérifier que les conditions d'application des lois sont satisfaites. Ce qui va éviter à l'utilisateur d'évaluer lui-même le système. Le modèle est représenté dans la figure suivante:

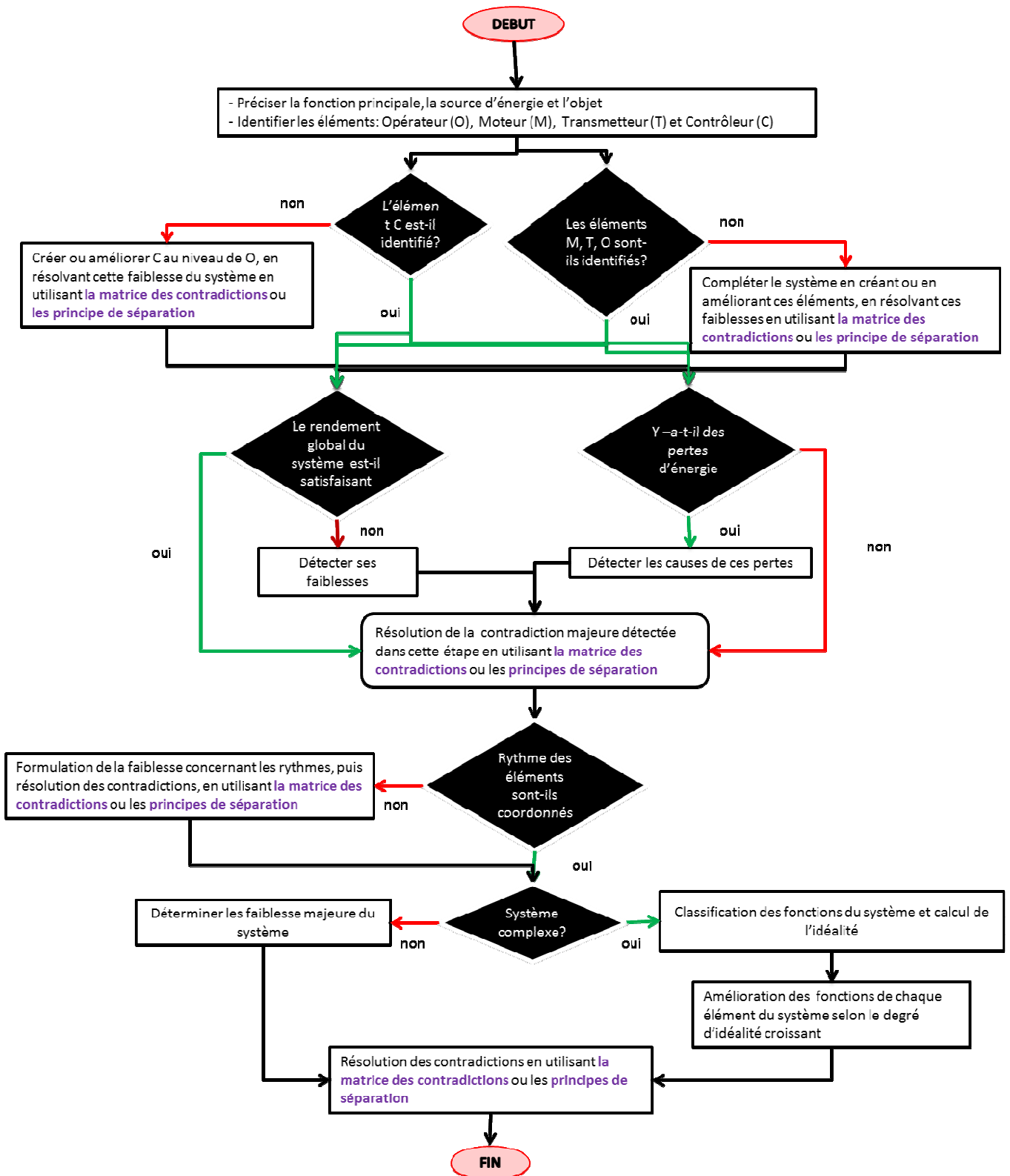


Figure 7.2 : Modélisation des cinq premières lois d'évolution

Ce modèle s'applique comme suit :

Étape 1 : Évolution du système selon la loi n° 1

Étape 1.1 : Délimitation du système

Cette étape consiste dans un premier temps à délimiter les frontières du système technique (le produit à étudier) avec son environnement extérieur en précisant :

- La fonction principale du système,
- L'énergie externe, lui permettant de réaliser cette fonction,
- La source de l'énergie externe,
- L'objet sur lequel le système agit (l'objet qui sera modifié par le système).

Dans un second temps, il est demandé à l'utilisateur d'identifier les éléments fonctionnels du système en répondant aux questions qui ont pour vocation d'aider et de faciliter leur identification (hypothèse 1).

Si un ou plusieurs éléments fonctionnels du système manquent ou s'ils ne participent pas à la réalisation de la fonction principale, alors il sera demandé à l'utilisateur de compléter le système en créant ces éléments ou en les améliorant pour les rendre actifs dans la réalisation de la fonction principale du système. Ces actions à réaliser par l'utilisateur dans le but d'améliorer le système constituent celle de la première étape d'évolution suivant la loi d'évolution numéro 1. Cette loi précise que tous les éléments du système doivent participer à la réalisation de la fonction principale de ce dernier. Un système incomplet ne survivra pas longtemps face à un autre système concurrentiel complet. Pour améliorer le système et le faire évoluer, notre modèle conseille de définir la faiblesse liée aux éléments du système, puis de la traduire en contradiction, et enfin de la résoudre en utilisant soit la matrice des contradictions techniques soit les principes de séparations.

Etant donné que des travaux antérieurs [Cavallucci, Rousselot et al. 2009] ont déjà démontré que les contradictions sont liées aux lois d'évolution, nous allons donc nous servir des résultats de ces travaux pour utiliser à notre tour les lois d'évolutions avec la résolution des contradictions.

Voici l'énoncé des questions de cette étape :

- Pour déterminer la fonction principale du système, on pose tout simplement la question "***Quelle est la fonction principale du système à étudier ?***"
- Pour déterminer l'énergie et sa source, on pose les questions suivantes "***Quelle est la nature de l'énergie externe reçue par le système qui lui permet d'effectuer sa fonction principale ?***" et "***Quelle est la source de cette énergie ?***"
- La question suivante "***Quel est l'objet sur lequel le système agit ?***", permet d'identifier l'objet externe. Cette question peut aussi être formulée différemment : "***Quel est l'objet modifié par le système ?***"

Étape 1.2 : Identification des éléments fonctionnels du système

Cette étape consiste à identifier les éléments fonctionnels du système en se servant des informations obtenues à l'étape précédente, et en répondant à des questions simples mais conçues de manière à avoir des réponses en adéquation avec les formulations exprimées par la loi d'évolution en cours d'application. (hypothèse 1).

Identification de l'unité de travail

L'unité de travail est composée de l'élément qui est en contact avec l'objet sur lequel le système agit, elle représente l'interface du système avec l'élément sur lequel il agit. Elle permet la réalisation de la fonction principale du système. Pour faciliter son identification nous proposons la question suivante : *Quelle est la partie du Système Technique qui est en contact direct avec l'objet sur lequel le système agit ?*

Identification du moteur

Le moteur est composé d'un ou de plusieurs éléments qui transforment l'intensité ou la nature de l'énergie servant à animer le système dans un contexte d'usage donné. Il récupère de l'énergie sous une certaine forme à l'extérieur du système technique et la transforme dans une forme utilisable pour les autres éléments du système. Le moteur est lui aussi un élément d'interface du système. Voici les questions que nous proposons pour l'identifier :

- *"Rappeler la source de l'énergie ?"*, cette question a pour objectif de rappeler à l'utilisateur que le moteur constitue la frontière du système avec l'élément externe fournisseur de l'énergie. Et que la détection de cette source, facilitera l'identification du moteur en contact avec cette dernière.
- *"Quel est l'élément du système directement en contact avec cette source d'énergie ?"* En répondant à cette question l'élément moteur, sera identifié.
- *"Vérifier que cet élément du système capte l'énergie puis la transforme en une autre forme d'énergie utilisable par un autre élément du système ?"*. Cette dernière question sert à vérifier la justesse de la réponse précédente, car l'élément moteur n'est pas juste un élément en contact avec la source d'énergie, il a pour fonction de transformer cette énergie et de la mettre à disposition du transmetteur.

Identification du transmetteur

Le transmetteur est constitué d'un ou de plusieurs éléments qui permettent la transmission de l'énergie. C'est le pont du système qui fait le lien énergétique entre le moteur et l'unité de travail. Il est géographiquement situé entre eux deux. Pour l'identifier nous posons les questions suivantes :

- ***"Quel est le chemin de l'énergie ?"*** La transmission dessine un chemin emprunté par l'énergie, et cette question va aider à identifier les éléments appartenant à ce chemin.
- ***"Quel sont les éléments qui véhiculent l'énergie ?"*** la réponse à cette question permet l'identification de l'unité de transmission.

Identification du contrôleur

L'unité de contrôle est composée des éléments qui déterminent le niveau d'action de l'unité de travail. Elle intervient pour moduler le niveau d'action de l'unité de travail en fonction des variations des conditions extérieures. Pour l'identifier nous posons la question ***"Quel est l'élément qui détermine le niveau d'action de l'unité de travail ?"***

Étape 1.3 : Satisfaction des conditions d'évolution selon la loi n° 1

Cette étape consiste à vérifier si les conditions d'évolution suivant la première loi sont satisfaites, voici les questions à poser à ce niveau :

- ***"Est-ce que les quatre éléments fonctionnels du système ont été identifiés ? Est-ce qu'ils participent tous à la réalisation de la fonction principale ?"*** la réponse à cette question permet de savoir si le système est composé des quatre éléments ou bien s'il existe des éléments manquants. Puis de vérifier que les éléments participent tous à la réalisation de la fonction principale du système, et qu'il n'y a pas d'éléments inactifs.
- Si des éléments manquent ou s'ils sont inactifs alors, compléter le système, ***"Quelle est la faiblesse de ces éléments ? La traduire en contradiction puis la résoudre"***
- ***"Est ce que l'unité de contrôle a été identifiée ?"*** Cette question permet de vérifier s'il existe une entité du système qui est contrôlée. Si il n'y a aucune unité de contrôle, alors notre modèle recommande de compléter le système par une unité de contrôle de préférence à proximité de l'unité de travail.

Étape 2 : Évolution du système selon la loi n° 2

Une fois que tous les éléments fonctionnels du système ont été identifiés, nous allons nous intéresser à la performance énergétique du système. Dans cette étape, il est demandé à l'utilisateur de vérifier s'il y a des pertes d'énergie, de détecter la cause de ces pertes pour les résoudre en utilisant les outils de résolution de contradiction de TRIZ. Puis de vérifier l'efficacité du rendement global du système, pour l'améliorer si elle n'est assez satisfaisante.

- **"Est ce qu'il y a des pertes d'énergie lors du fonctionnement du système ?" "A quoi sont-elles dues ?"** La première question permet de vérifier s'il y a des pertes d'énergie qui réduisent l'efficacité de fonctionnement du système. La seconde sert à détecter les raisons de ces pertes.
- **"Exprimer la faiblesse du système par rapport à ces pertes d'énergie ?"** cette question a pour but d'exprimer la faiblesse du système par rapport à ces pertes d'énergie, la traduire en contradiction pour la résoudre en utilisant les outils de résolution de TRIZ.
- **"Le rendement énergétique global du système est-il satisfaisant ? Si non exprimer la faiblesse liée à ce problème ?"** Le but de ces questions est d'exprimer la contradiction liée à la faiblesse du rendement du système pour la résoudre et faire évoluer le système en respectant les critères de la loi 2.

Étape 3 : Évolution du système selon la loi n° 3

Cette étape s'intéresse à l'évolution du système vers un rythme de fonctionnement coordonné entre ses éléments fonctionnels internes et ses éléments externes (internes : éléments fonctionnels et externes : source d'énergie et objet sur lequel le système agit). Les questions qui permettent de guider l'utilisateur pour faire évoluer le système selon ces critères sont :

- **"Les rythmes de fonctionnement des éléments fonctionnels du système, de la source d'énergie et de l'objet sont-ils coordonnés ? Si non exprimer la faiblesse liée à ce problème"** Le but de ces questions est de résoudre la carence du système liée à un rythme de fonctionnement non coordonné entre les éléments internes et externes au système. Et ensuite résoudre cette contradiction.

Étape 4 : Évolution du système selon les lois n° 4 & 5

Cette étape permet de faire évoluer les fonctions du système dans l'ordre de la moins efficace à la plus efficace comme suit :

- Si le système est simple alors on va demander à l'utilisateur d'indiquer lui-même les fonctions qui lui semblent prioritaires à améliorer. **"Quelle sont les fonctions à améliorer en priorité ? Exprimer la faiblesse de chacune d'entre elles ?"** L'utilisateur va ainsi ordonner les fonctions puis les améliorer les unes à la suite des autres, en utilisant les outils de résolution de contradictions de TRIZ.
- Si au contraire le système est complexe (composé de plusieurs fonctions secondaires et de plusieurs sous entités) alors la formule de l'idéalité sera utilisée pour calculer le degré d'idéalité de chaque élément fonctionnel du système, puis par la suite il sera demandé à l'utilisateur d'améliorer les fonctions de chaque élément fonctionnel (unité) du système en commençant

par l'élément ayant obtenu le plus petit degré d'idéalité. Les questions de cette étape sont les suivantes :

- **"Pour chaque fonction d'une unité du système, déterminer son niveau d'utilité ou de nuisibilité ainsi que le niveau de son coût ?"** Le but de cette question est de connaître les caractéristiques de chaque fonction (utilité, nuisibilité, coût) pour calculer le degré d'idéalité de chaque unité du système. Pour cela l'utilisateur, aura le choix entre plusieurs catégories. Pour l'utilité on a les niveaux suivants : peu utile, utile, très utile, extrêmement utile. Pour la nuisibilité on a les niveaux suivants : peu nuisible, nuisible, très nuisible, extrêmement nuisible. Pour le coût les niveaux suivants : pas coûteux, coûteux, très coûteux, extrêmement coûteux. Ces niveaux correspondent respectivement aux notations : 1, 3, 7 et 10.
- **"En suivant l'ordre croissant sur le degré d'idéalité obtenu, exprimer la faiblesse de chaque fonction ?"** Cette question permet de rechercher la faiblesse de chaque fonction pour la résoudre par la suite en utilisant les outils de résolution de contradictions de TRIZ.

L'utilisateur est libre de décider d'améliorer toutes les fonctions ou justes quelques-unes.

7.4. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons commencé par appliquer la technique de l'extraction d'information sur les différentes versions des définitions des lois d'évolution. Nous en avons extrait les pistes d'évolution de chaque loi que nous avons structurées dans une banque de données adaptée à nos besoins. Puis nous avons présenté dans le détail notre modèle d'utilisation des lois d'évolution. Nous avons vu que la première étape de ce modèle est de délimiter le système avec son environnement extérieur en précisant la source d'énergie et l'objet sur lequel le système agit, puis d'identifier les éléments fonctionnels du système. Si le système est incomplet ou que l'un de ses éléments est défectueux, alors une première étape de son évolution consistera à résoudre ce problème, comme le stipule la loi n° 1. La deuxième étape consiste à faire évoluer le système selon la loi n° 2, en résolvant les problèmes liés à la perte d'énergie ou à un rendement énergétique non satisfaisant. La troisième étape propose de faire évoluer le système où les rythmes de tous ses éléments seront coordonnés, afin qu'il fonctionne dans une totale cohérence. De même la coordination du rythme de fonctionnement doit concerner ses éléments internes et externes, comme le préconise la loi n° 3. Et enfin la dernière étape permet d'ordonner les fonctions selon leur niveau d'idéalité pour faire évoluer en priorité les plus faibles, en accord avec les lois n° 4 & 5. Notre modèle étant construit nous allons dans le chapitre suivant présenter le protocole expérimental et procéder à des applications pour tester notre modèle.

Chapitre 8:Protocole expérimental

8.1. Introduction

Pour vérifier nos hypothèses nous allons réaliser des expérimentations suivant un protocole visant à tester la validité et la fiabilité de notre modèle d'application des lois d'évolution. Son objectif est de tester la performance du modèle quant à l'identification des éléments fonctionnels des systèmes techniques, la détection des pistes d'évolution et la détermination de l'ordre d'évolution des fonctions des systèmes techniques.

Ce chapitre est structuré comme suit : nous commencerons par présenter les participants de l'expérimentation. Puis, nous indiquerons le matériel utilisé et nous expliquerons la procédure de recueil de données. Nous détaillerons ensuite l'analyse des données ainsi que le schéma de codage. Enfin nous terminerons par donner les limites de l'étude.

8.2. Méthode expérimentale

8.2.1. Participants

Les participants de l'étude ont des profils plutôt distincts concernant leurs métiers, âges et leurs formations. Il y a :

- 35 étudiants de l'Institut des Sciences et Techniques de l'Ingénieur d'Angers (ISTIA) suivant une formation d'ingénieurs en innovation. Ils ont une moyenne d'âge de 23 ans (Min= 21 ; Max= 30). Ces participants, non complètement novice sur TRIZ, ont suivi 24 heures de cours sur l'étude de l'évolution des systèmes techniques basée sur TRIZ. Ils possèdent également une petite expérience dans le domaine de la créativité et de l'analyse fonctionnelle, ayant suivi 18 heures de cours sur la créativité et 24 heures de cours sur l'analyse de la valeur dont une partie dédiée à l'analyse fonctionnelle. Ils possèdent donc un profil leur permettant de réaliser des activités de conception reposant sur de bonnes bases.
- 15 professionnels dont 8 développeurs logiciels, 3 chefs de projet en informatique et 4 ingénieurs commerciaux exerçant des métiers dans des entreprises différentes. Ils ont une moyenne d'âge de 29 ans (min= 28, max =32). Ces professionnels ne possèdent pas de connaissances sur la théorie TRIZ, cependant ils ont tous suivis durant leurs études des formations sur l'analyse fonctionnelle et sur certaines techniques de créativité leur permettant de participer à notre étude expérimentale.

8.2.2. Protocole expérimental

Pour la réalisation des expérimentations, nous avons utilisé comme support des systèmes techniques à usage domestique et connus par le public. Le système

technique est, en vertu de la loi d'évolution n°1 de la théorie TRIZ, composé d'éléments qui agissent sur un objet en utilisant une énergie qu'ils puisent de l'extérieur du système, pour réaliser une fonction donnée. Le système est composé de 4 parties : une entité motrice, une entité de transmission, une entité de travail et une entité de contrôle [Ameglio 2005].

Les systèmes techniques qui ont servi de base aux expérimentations, ont été choisis parmi les produits ordinaires que l'on trouve un peu partout dans le commerce. Il s'agit : d'un aspirateur, d'un lave-vaisselle, d'un sèche-cheveux, d'un stylo à bille et des patins à roulettes.

8.2.3 Procédure de recueil de données

Comme méthode de recueil des données, nous avons choisi les questionnaires, car ils nous semblent être le moyen le plus accessible pour valider les hypothèses sur lesquelles repose notre modèle. Nous avons utilisé les questionnaires suivants:

Le premier questionnaire est destiné à tester la partie du modèle concernant l'application de la loi 1 dans le but de l'identification des éléments fonctionnels du système technique. Il s'agit de l'unité motrice (moteur), de l'unité de transmission (transmetteur), de l'unité de travail (opérateur) et de l'unité de contrôle (contrôleur) de chacun des systèmes étudiés. L'étude réalisée à travers ce questionnaire va servir de test pour la validation de la première hypothèse, concernant la proposition d'une méthode permettant l'identification correcte des éléments fonctionnels du système.

Le deuxième questionnaire a servi pour la réalisation de la deuxième expérimentation, où il est question d'apporter son appréciation sur l'état du système à travers l'estimation des critères tels : le rendement global du système, la détection de perte d'énergie, les rythmes de fonctionnement, et l'identification des insuffisances concernant ces critères ainsi que la détection des défaillances dans le fonctionnement du système dans le but de les améliorer et de les réparer.

Le troisième questionnaire a servi pour la réalisation de la troisième expérimentation. Son but est d'anticiper l'évolution des systèmes en suggérant des voies d'amélioration dans un ordre préférentiel des fonctions. Pour tester la troisième hypothèse nous avons comparé les résultats obtenus lors des pistes d'évaluation de calcul d'idéalité proposés par les participants sur une ancienne génération des produits avec le produit actuel.

Ces expérimentations vont servir pour tester la validité de notre modèle d'application des lois d'évolution, nous présenterons leurs résultats dans les chapitres suivants.

D'une façon générale, les questions sont choisies en des termes suggestifs de manière à cultiver l'éclosion de réponses en liaison avec la prospective qu'apportent les lois d'évolution des systèmes techniques. Autrement dit, les questions sont simples et posées pour savoir ce qui peut empêcher un système technique d'évoluer dans le respect des règles exprimées par les lois d'évolution qui régissent ces mêmes systèmes. Les questions ont ciblé la détection de carences lors du fonctionnement des unités des différents systèmes, à travers l'estimation des critères liés au rendement du système, à la coordination des rythmes de fonctionnement de ses entités, à un degré d'idéalité, en conformité avec les expressions des différentes lois d'évolution. Des orientations ont été données aux utilisateurs pour l'évaluation du système selon le degré d'idéalité, comme par exemple d'estimer approximativement les coûts sur la base des matières, de leurs poids, du niveau d'utilité fonctionnelle, etc. Toutes les questions posées lors des expérimentations peuvent être consultées dans la partie annexe de cette thèse.

8.2.4 Déroulement des expériences

Afin de faciliter la participation des professionnels à l'étude, nous avons réalisé l'étude par Internet en se servant de l'outil Skype. Les participants pouvaient prendre autant de temps que nécessaire pour répondre aux questions. Quant aux étudiants nous avons pu facilement organiser la rencontre pour réaliser l'étude. Ils étaient donc regroupés dans une seule salle de cours à l'ISTIA, ils disposaient d'une demi-journée pour répondre aux questions. Ils devaient répondre individuellement aux questions, c'est la raison pour laquelle aucun temps de pause n'a été autorisé. Les expérimentations étaient dirigées par monsieur Pascal Crubleau, co-directeur de ma thèse, et moi-même.

8.2.5. Données recueillies

Les données obtenues lors des expérimentations correspondent aux réponses des participants recueillies par des questionnaires, ainsi qu'aux moyennes d'idéalité obtenues, en utilisant la formule d'idéalité d'Altshuller, suivant les estimations des participants du coût, du niveau d'utilité et de nuisibilité. Nous avons donc obtenue à la fois des données qualitatives et quantitatives.

- Pour certaines questions, il est demandé aux participants de choisir la réponse parmi celles proposées, tel est le cas de la question invitant l'utilisateur à évaluer l'utilité, la nuisance ou encore le coût des fonctions des produits étudiés en cochant la case correspondant à l'évaluation pour chaque fonction. Dans le souci de faciliter, aux utilisateurs non expérimentés, l'évaluation du degré d'idéalité, pour obtenir un résultat chiffré, et contourner la difficulté des coûts pas toujours évidents à donner, nous avons proposé la procédure suivante. A chacun des 3 paramètres prévus dans la formule d'idéalité, à savoir l'utilité, la nuisance et les coûts, nous avons fait correspondre un spectre de 4 nuances graduelles. A chaque nuance nous avons

attribué une notation qui nous semble appropriée, ces notations prennent les valeurs : 1, 4,7 et 11 respectivement. Ce qui facilite l'évaluation de chaque fonction par l'utilisateur et le calcul de son degré d'idéalité. Voir le tableau suivant:

Fonctions du système	Utilité				Nuisance				Coût			
	Très peu utile	Peu utile	utile	Très utile	Très peu nuisible	Peu nuisible	nuisible	Très nuisible	Très peu couteuse	Peu couteuse	couteuse	Très couteuse
Motrice												
De trans - mission												
De travail												
De contrôle												

Tableau 8.1 : Evaluation des fonctions du système

- Pour d'autres questions, plus ouvertes, les participants avaient la liberté du choix de la réponse qu'ils jugeaient la mieux adaptée à la question. C'est le cas par exemple de la question « Est-ce que les composants du système (Moteur, Transmetteur, Opérateur) possèdent des rythmes de fonctionnement différents des uns des autres? ». Dans ce cas les réponses peuvent être très différentes, selon les produits étudiés.

8.2.6. Méthode d'analyse des données

Pour le traitement des données quantitatives que nous avons obtenues, nous allons leur appliquer des analyses statistiques. Concernant les données qualitatives, pour faciliter leurs analyses, nous avons procédé à un découpage des données en unités et ensuite à la catégorisation de ses unités, comme expliqué ci-dessous :

❖ Découpage en unités

Les réponses codées sont des mots, par exemple « moteur électrique », « roue » représentant une entité du système ou des phrases, par exemple « on constate une perte d'énergie liée aux frottements » exprimant une lacune dans le fonctionnement du système.

❖ Catégorisation des unités

Dans le but de juger de la justesse des réponses des participants lors de l'utilisation du modèle d'application des lois d'évolution, nous avons utilisé un schéma de codage permettant de vérifier l'adéquation des réponses des participants aux questionnaires.

Nous avons utilisé deux catégories de codage pour l'analyse des réponses des participants. Si lors des réponses les entités des systèmes et leurs carences étaient

correctement identifiées et que les voies d'évolution étaient elles aussi pertinentes alors elles appartiendront à la catégorie «réponse correcte», sinon elles seront catégorisées en « réponse fausse ».

Lors du calcul du niveau d'idéalité, on obtient un ordre des fonctions selon leur niveau d'idéalité (ordre croissant). Pour savoir si l'ordre selon lequel les fonctions doivent être améliorées est correct, on se base sur une nouvelle version du produit étudié, et on compare les fonctions qui ont été améliorées dans cette nouvelle version, avec celles considérées comme prioritaires pour le développement. Si l'ordre est assez proche ou s'il coïncide alors la réponse de l'utilisateur appartient à la catégorie «réponse correcte».

Nous nous sommes inspirés du codage ouvert [Strauss and Corbin 2004] qui est un processus analytique à travers lequel des concepts sont identifiés et leurs propriétés et dimensions sont découvertes dans les données. Nous l'avons adapté à nos besoins de codage.

Pour décider de l'appartenance d'une entité à une catégorie, nous avons pris en considération les caractéristiques suivantes :

- Le respect des règles de découpage d'un système technique,
- La bonne identification des éléments externes et internes d'un système,
- La bonne identification des carences du système,
- La bonne identification des voies pertinentes d'évolution,
- La bonne évaluation des fonctions selon le coût, l'utilité et la nuisibilité,
- La bonne identification de l'ordre du développement des fonctions.

❖ Application du schéma de codage

Le tableau suivant représente un exemple de la démarche de codage que nous avons suivie pour juger de la justesse des réponses des participants. Elle consiste, dans un premier temps, à identifier les unités de codage, et dans un second temps, à les placer dans la catégorie qui leur correspond.

Exemple de réponse	Unité codée	Catégorie
L'élément qui est en contact avec la source d'énergie est le moteur électrique	Moteur électrique	Réponse correcte (entité d'un système)
La fonction principale du système est : aspirer la poussière	Aspirer la poussière	Réponse correcte (délimitation du système)
L'élément en contact avec l'objet sur lequel le système agit est : le corps du stylo	Corps du stylo	Réponse fausse (entité d'un système)
Il y a une perte d'énergie liée au frottement	Perte d'énergie liée au frottement	Réponse correcte (détection d'une carence)

Le rythme de fonctionnement des éléments du système n'est pas coordonné	Rythme de fonctionnement pas coordonné	Réponse correcte (détection d'une carence)
---	--	--

Tableau 8.2 : Exemple de schéma de codage

8.3. Limites de l'étude

La principale limite de cette étude expérimentale réside dans le fait de ne pas avoir testé le modèle sur des professionnels de la théorie TRIZ. La raison étant qu'il est très difficile de réunir autant de professionnels dans un espace-temps si restreint. Toutefois, cette absence de spécialistes peut être aussi considérée comme une aubaine qui a permis d'observer le comportement que pourraient avoir les non-initiés à la théorie TRIZ, une fois mis face à la démarche.

Une autre limite de l'étude, réside dans la difficulté que les participants ont rencontrée lors de l'estimation des coûts de certains objets et fonctions des systèmes techniques. Mais les consignes données ont pu les aider à se rapprocher le plus possible des estimations acceptables. Nous prévoyons d'affiner ce procédé par la suite.

Une dernière limite réside dans le fait de n'avoir réalisé que trois expérimentations, la raison étant qu'il est de plus en plus difficile de réunir des participants, et souvent ce ne sont que les étudiants qui répondent présents à la sollicitation. Une autre raison liée au respect de la confidentialité sur les informations que l'on peut être amené, par inadvertance, à communiquer en dehors de l'entreprise. Enfin, cette limite liée au manque de temps est ressentie parce qu'on doit, en parallèle développer le logiciel implémentant cette démarche.

8.4. Conclusion

Au cours de ce chapitre nous avons défini les caractéristiques du protocole expérimental à suivre pour tester notre modèle. Nous avons déterminé le profil adéquat des participants. Comme support matériel pour les besoins de nos expérimentations nous avons choisi des systèmes techniques à usage domestique connus par le public. Parmi les méthodes de recueil de données nous avons préféré les questionnaires. Enfin nous avons décidé des méthodes à utiliser pour le traitement et l'analyse des données recueillies.

Le protocole expérimental étant arrêté aux objectifs fixés, nous allons dans le chapitre suivant, procéder à la réalisation de la première expérimentation relative à l'identification des éléments fonctionnels des systèmes techniques.

Chapitre 9 : Expérimentation 1

« identification des éléments fonctionnels d'un système technique »

9.1. Introduction

A travers ce chapitre, nous allons expliquer le but de la première expérimentation, son déroulement ainsi que les résultats que nous obtiendrons. Nous allons appliquer aux données récoltées des traitements statistiques, puis nous les représenterons graphiquement.

9.2. But de l'expérimentation

Cette première expérimentation a pour but de tester la première hypothèse sur l'application de la loi 1. Plus précisément, tester notre modèle sur l'identification des éléments fonctionnels d'un système technique par les utilisateurs, à savoir : l'unité motrice, l'unité de transmission, l'unité de travail et l'unité de contrôle.

9.3. Participants

Les participants de cette première expérimentation sont des ingénieurs diplômés exerçant leurs professions dans des entreprises différentes. Ces 15 participants ne connaissent pas la théorie TRIZ, cependant ils ont tous reçu des formations portant sur la créativité et l'analyse fonctionnelle leur permettant de participer à notre étude.

9.4. Présentation de l'expérimentation

Cette expérimentation s'est déroulée en deux étapes :

Lors de la première étape, on a donné aux participants une définition simple de la première loi d'évolution qui décrit un système technique et ses quatre éléments fonctionnels (voir annexe 2). Puis on leur a demandé d'identifier ces éléments fonctionnels sur deux systèmes : le système des patins à roulettes et le système du sèche-cheveux.

Lors de la deuxième étape, nous leur avons présenté notre modèle d'application de la première loi d'évolution, en leur expliquant les différents éléments internes et externes d'un système (source de l'énergie, objet sur lequel le système agit et les quatre éléments fonctionnels du système). Lors de cette deuxième étape, nous avons également appliqué les phases de la loi 1, collectivement avec les participants, sur le système : vélo, en guise de démonstration. Puis nous leur avons demandé de suivre les étapes de ce modèle pour identifier les éléments fonctionnels des deux mêmes systèmes qu'ils avaient déjà traités lors de la première étape.

9.5. Résultats

Afin d'évaluer la réponse des participants nous nous sommes basés sur le schéma de codage présenté dans le chapitre 8, que l'on peut rappeler et résumer pour cette expérimentation comme ceci : Si le participant a identifié correctement

l'élément fonctionnel alors sa réponse sera considérée comme correcte sinon elle sera notée comme fausse.

9.5.1. Résultats obtenus pour le système des patins à roulettes

➤ Sans utilisation du modèle

Lors de la première étape où les participants devaient utiliser leurs propres connaissances pour appliquer la loi 1, on a remarqué un taux de participation assez faible (en dessous de la moyenne) et également un faible taux de réponses correctes pour l'identification des éléments fonctionnels du système comme le montre le tableau 9.1 ci-dessous. Les participants étaient 40 % à avoir répondu pour l'unité motrice et ils n'étaient que 20 % à avoir répondu correctement. Pour l'unité de transmission ils étaient 33.33 % à avoir répondu et seulement 20 % à l'avoir identifiée correctement. Pour l'unité opératrice sur les 40 % de participants à avoir répondu seulement 13.33 % ont répondu correctement. En fin, pour l'unité de contrôle sur les 33.33 % à avoir répondu à cette question, ils étaient seulement 20 % à avoir su identifier correctement cet élément. Soit une moyenne de bonnes réponses égale à 18.33 %. Le calcul de l'écart type obtenu est de 2.88 % ce qui signifie que les bonnes réponses sont concentrées autour de la moyenne de 18.33 % dans un intervalle [15.45 %, 21.21%], signifiant que l'espace des bonnes réponses est trop étroit, est leur taux est faible.

Unité du système	Pourcentage des participants	Pourcentage des réponses correctes
Unité motrice	40 %	20 %
Unité de transmission	33.33 %	20 %
Unité opératrice	40 %	13.33 %
Unité de contrôle	33.33 %	20 %

Tableau 9.1 : Résultats d'identification des unités du système des patins à roulettes sans utilisation du modèle

➤ Avec utilisation du modèle

Cependant, après avoir présenté le modèle aux participants, on remarque à cette deuxième étape que le taux de participation à augmenter de façon significative, comme indiqué dans le tableau 9.2 ci-dessous. La totalité des participants a correctement identifié l'unité motrice ainsi que l'unité opératrice (100 % de réponses correctes) avec une hausse de 80% sur les bonnes réponses pour l'unité motrice et de 86.66 % pour l'unité opératrice. Pour l'unité de transmission ils étaient 86.66 % à avoir répondu et 73 % à l'avoir identifié correctement avec une hausse de 53 % de bonnes réponses. En fin, pour l'unité de contrôle ils étaient 86.66 % à avoir répondu à

cette question et 73 % à avoir su identifier correctement cet élément, soit une hausse de 53 % de bonnes réponses. La moyenne des bonnes réponses obtenues s'élève à 86.5%.

Unité du système	Pourcentage des participants	Pourcentage des réponses correctes	Différence entre les deux étapes
Unité motrice	100 %	100 %	Augmentation de 80 %
Unité de transmission	86.66 %	73 %	Augmentation de 53 %
Unité opératrice	100 %	100 %	Augmentation de 86.67 %
Unité de contrôle	86.66 %	73 %	Augmentation de 53 %

Tableau 9.2 : Résultats d'identification des unités du système des patins à roulettes avec utilisation du modèle

Le tableau 9.3 suivant indique les résultats des calculs statistiques obtenus sur ces données. L'écart type obtenu est de 13.5 % donnant un intervalle des réponses [73%, 100%]. Ce qui est en bonne cohérence avec les pourcentages des bonnes réponses des résultats du tableau 9.2. La variance est de 182,25, elle est élevée, elle signifie dans ce cas que la dispersion autour de la moyenne est élevée. Réellement elle n'a aucune utilité, elle est calculée parce qu'elle est un intermédiaire du calcul de l'écart type.

Méthode statistique	Calcul
Ecart Type	13.5
Variance	182.25

Tableau 9.3 : Calculs statistiques pour le système des patins à roulettes

➤ Comparaison entre les deux situations

Le graphe de la figure 9.1 ci-dessous montre que les participants ont su appliquer notre modèle et identifier correctement les éléments du système. Le graphe montre également la forte hausse des bonnes réponses suite à l'application du modèle. Ce qui prouve que sur un système difficile à étudier comme celui des patins à roulettes où les participants avaient du mal avant présentation du modèle à identifier les éléments fonctionnels, arrivent, une fois ce dernier présenté à répondre correctement et comprendre le circuit emprunté par l'énergie récupérée en dehors du système puis utilisée par ces différents éléments fonctionnels.

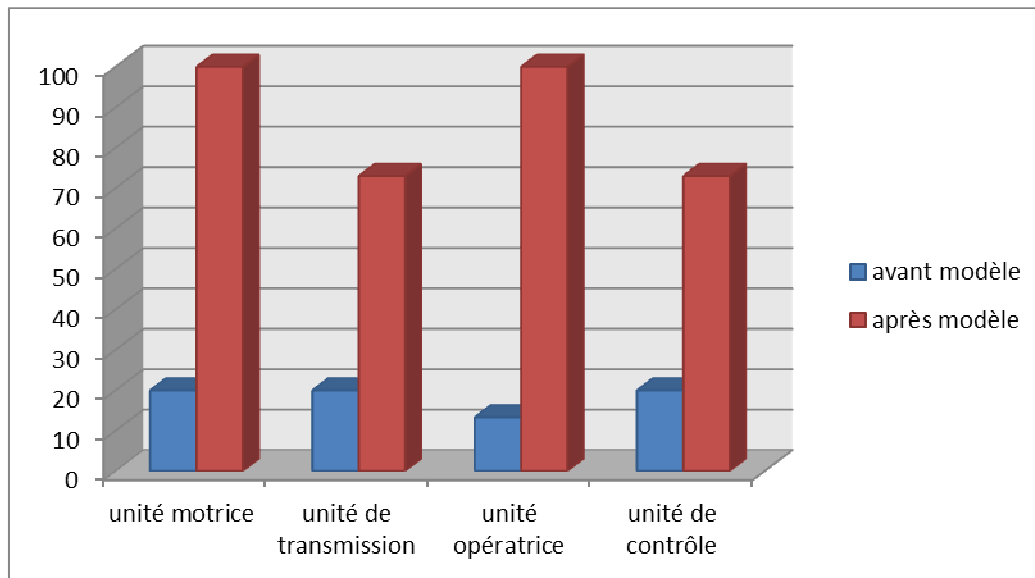


Figure 9.1: Résultat de l'application de la loi 1 sur le système des patins à roulettes

9.5.2. Résultats obtenus pour le système du sèche-cheveux

➤ Sans utilisation du modèle

Lors de la première étape où les participants devaient utiliser leurs propres connaissances pour appliquer la loi 1 sur le système du sèche-cheveux, on a remarqué un taux de participation assez moyen et également un faible taux de réponses correctes pour l'identification de certains éléments fonctionnels du système. Cependant, les résultats obtenus sont meilleurs comparés à ceux des patins à roulettes. Cela est peut-être dû au fait que le système du sèche-cheveux comporte un élément électrique, qui permet d'emblée de reconnaître la source d'énergie et l'unité motrice qui l'utilise. Le tableau 9.4 montre les résultats obtenus pour ce système. La totalité des participants a identifié l'unité motrice. Pour l'unité de transmission ils étaient plus de la moitié à avoir répondu 86.66 % et 53.33 % à l'avoir identifié correctement. Pour l'unité opératrice sur les 33.33 % de participants à avoir répondu seulement 20 % ont répondu correctement. En fin, pour l'unité de contrôle sur les 46.66 % à avoir répondu à cette question, ils étaient seulement 26.66 % à avoir su identifier correctement cet élément. Soit une moyenne de bonnes réponses égale à 50 %, ce taux est du fait que le système est connecté à une source d'énergie électrique qui rend facile l'identification du moteur qui a haussé cette moyenne. L'écart type obtenu est de 31.44 %. Ce qui montre que les valeurs sont distribuées de façon éloignée par rapport à la moyenne.

Unité du système	Pourcentage des participants	Pourcentage des réponses correctes
Unité motrice	100 %	100 %
Unité de transmission	86.66 %	53.33 %
Unité opératrice	33.33 %	20 %
Unité de contrôle	46.66 %	26.66 %

Tableau 9.4 : Résultats d'identification des unités du système du sèche-cheveux sans utilisation du modèle

➤ **Avec utilisation du modèle**

Cependant, après avoir présenté le modèle aux participants, lors de la deuxième étape de cette expérimentation, on remarque que le taux de participation a augmenté de façon significative, comme indiqué dans le tableau 9.5 ci-dessous. La totalité des participants a correctement identifié l'unité motrice (100 % de réponses correctes). Pour l'unité de transmission ils étaient 86.66 % à répondre correctement. Pour l'unité opératrice, ils étaient 86.66 % à avoir répondu correctement soit une hausse de 66.66 % de bonnes réponses. En fin, pour l'unité de contrôle ils étaient 100 % à avoir répondu à cette question et 80 % à avoir su identifier correctement cet élément, soit une hausse de 53.34 % de bonnes réponses. La moyenne des bonnes réponses obtenues s'élève à 88.33%.

Unité du système	Pourcentage des participants	Pourcentage des réponses correctes	Différence entre les deux étapes
Unité motrice	100 %	100 %	Pas de différence
Unité de transmission	100 %	86.66 %	Augmentation de 33.33 %
Unité opératrice	86.66 %	86.66 %	Augmentation de 66.66 %
Unité de contrôle	100 %	80 %	Augmentation de 53.34 %

Tableau 9.5 : Résultats d'identification des unités du système du sèche-cheveux avec utilisation du modèle

Le tableau 9.6 suivant indique les résultats des calculs statistiques obtenus sur ces données. L'écart type obtenu est de 7.27 %, ce qui signifie que la distribution des résultats est située dans l'environnement immédiat de la moyenne égale à 88,33%, soit un taux élevé de bonne réponse. Le calcul de la variance obtenu est de 52.79.

Méthode statistique	Calcul
Ecart Type	7.27
Variance	52.79

Tableau 9.6 : Calculs statistiques pour le système du sèche-cheveux

➤ **Comparaison entre les deux situations**

Le graphe de la figure ci-dessous montre une forte hausse des bonnes réponses des participants dès qu'ils prennent connaissance des indications du modèle. On y observe une augmentation de plus de 50% en moyenne pour l'identification des unités opératrice et de contrôle par rapport aux résultats obtenus lors des précédentes étapes sans utilisation de modèle.

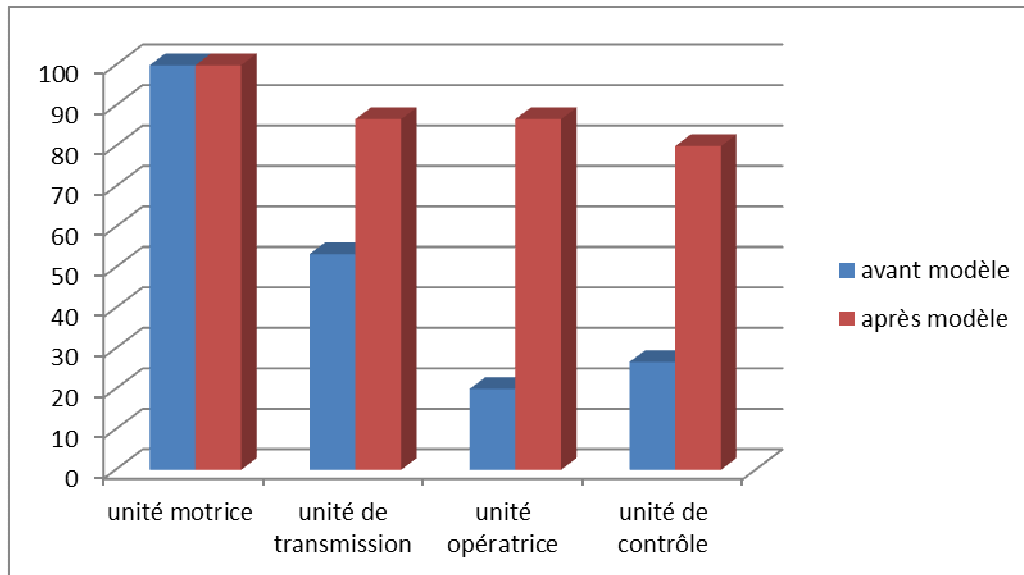


Figure 9.2: Résultat de l'application de la loi 1 sur le système du sèche-cheveux

➤ Synthèse

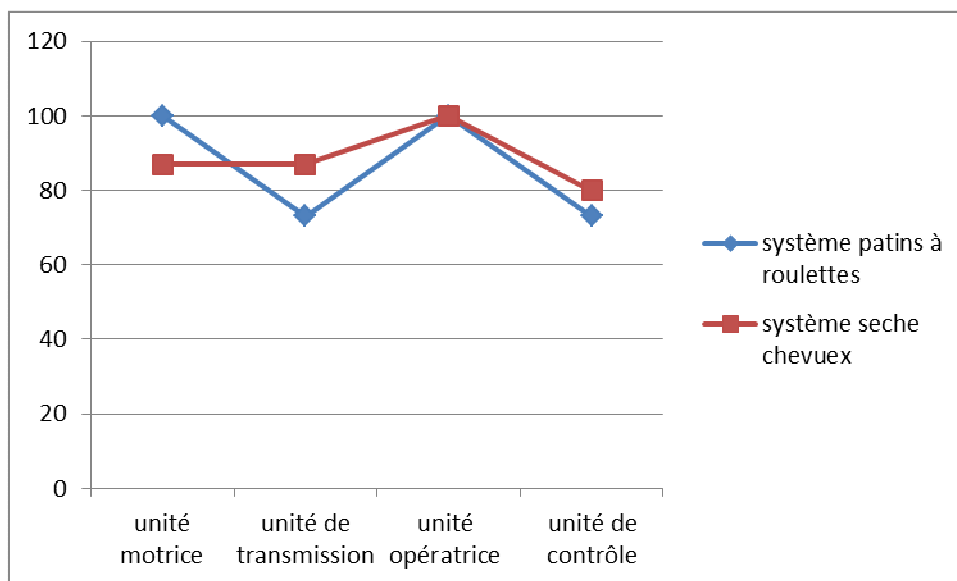


Figure 9.3 : Résultat de l'application de la loi 1

La figure 9.3 montre que les courbes des résultats des bonnes réponses de l'application de cette loi, lors de l'utilisation du modèle, sur les deux systèmes étudiés évoluent presque de façon identique. La corrélation obtenue sur ces deux séries est de 0.69, ce qui signifie qu'elles sont corrélées.

Etant donné que l'étude a porté sur deux systèmes techniques totalement différents dans leur fonctionnement comme dans leur alimentation énergétique, et que les résultats obtenus ont montré une bonne corrélation entre eux, notre modèle est cohérent avec les systèmes aussi différents les uns des autres, alors nous pouvons avancer qu'il est de ce fait fiable.

De plus, nous observons une forte hausse de participation et des bonnes réponses lors de l'utilisation du modèle. Il semble d'un apport significatif dans l'aide à l'identification correcte des éléments du système. Enfin, ces résultats nous permettent de valider notre première hypothèse.

9.6. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons testé la première hypothèse en réalisant notre première expérimentation. Les résultats que nous avons obtenus ont montré qu'avec le modèle, les participants arrivent à identifier correctement et facilement les éléments fonctionnels du système technique. Nous pouvons donc conclure à la validité de la première hypothèse relative à l'identification des entités principales d'un système technique, préconisée par la loi 1.

La première hypothèse portant sur l'identification des éléments fonctionnels du système et sa validation, constituent un préalable pour passer à la mise en œuvre

de toutes les autres lois. Nous pouvons donc passer à la deuxième hypothèse et au test de sa validation, objet du chapitre suivant.

Chapitre 10 : Expérimentation 2 « détection des voies d'évolution »

10.1. Introduction

Le modèle ayant satisfait à la première hypothèse dans l'identification des éléments du système, nous pouvons par conséquent passer à l'expérimentation de la deuxième hypothèse, dans ce chapitre. Nous allons expliquer le but de la deuxième expérimentation, plus précisément son déroulement et nous donnerons enfin les résultats.

10.2. But de l'expérimentation

Cette deuxième expérimentation a pour but de tester le modèle que nous proposons sur sa capacité de déterminer les lacunes des systèmes puis de les résoudre pour faire évoluer le système suivant les préconisations des lois d'évolution statiques. Cette expérimentation va servir de test pour la deuxième hypothèse.

10.3. Participants

Les participants de cette deuxième expérimentation sont 35 étudiants de l'Institut des Sciences et Techniques de l'Ingénieur d'Angers (ISTIA) suivants une formation d'ingénieurs en innovation. Ils ont une moyenne d'âge de 23 ans (Min= 21 ; Max= 30). Ces participants, non complètement novice sur TRIZ, ont suivi 24 heures de cours sur l'étude de l'évolution des systèmes techniques basée sur TRIZ. Ils possèdent également une petite expérience dans le domaine de la créativité et de l'analyse fonctionnelle, ayant suivi 18 heures de cours sur la créativité et 24 heures de cours sur l'analyse de la valeur dont une partie dédiée à l'analyse fonctionnelle. Ils possèdent ainsi un profil et un capital leur permettant de réaliser des activités de conception reposant sur de bonnes bases.

10.4. Présentation de l'expérimentation

Tout comme pour la précédente cette expérimentation va également se dérouler en deux étapes :

Lors de la première étape, on a donné aux participants une définition simple des lois d'évolution numéros 2 et 3 (voir annexe 2). Puis on leur a demandé de répondre aux questionnaires pour détecter les carences des systèmes et proposer de les résoudre pour satisfaire les conditions exprimées par les lois 2 et 3. Nous leur avons proposé quatre systèmes à étudier : le système de l'aspirateur, le système du lave-vaisselle, le système du sèche-cheveux et le système du stylo à billes.

Au cours de la deuxième étape, nous leur avons présenté notre modèle d'application des lois 2 et 3, en leur expliquant le but de chaque question du modèle, puis nous l'avons appliqué ensemble sur le système du vélo, en guise de démonstration. Lors de cette deuxième étape nous leur avons demandé de suivre les

étapes de ce modèle pour les appliquer de nouveau sur les quatre systèmes déjà étudiés au cours de la première étape.

10.5. Résultats

Afin d'évaluer la réponse des participants nous nous sommes basés sur les règles d'évaluation présentées dans le chapitre 8, que l'on va rappeler et résumer dans le cadre de cette expérimentation comme suit :

La réponse des participants sera considérée correcte dans le cas où ils auraient identifié de véritables carences du système concernant la perte d'énergie, une mauvaise distribution de celle-ci ou encore des rythmes de fonctionnement non compatibles des éléments du système.

10.5.1. Résultats d'application de la loi 2

➤ Sans utilisation du modèle

Les participants ont moyennement répondu à la question concernant l'identification des faiblesses des systèmes et ils étaient très peu à avoir trouvé la bonne réponse. Les résultats obtenus pour l'application de la loi 2 sont indiqués dans le tableau 10.1 suivant :

Système étudié	Pourcentage des participants	Pourcentage des réponses correctes
Aspirateur	51.24 %	28.57 %
Lave-vaisselle	40 %	11.42 %
Sèche-cheveux	48.53 %	37.14 %
Stylo	57.14 %	34.28 %

Tableau 10.1 : Résultats de l'application de la loi 2 sans utilisation du modèle

- Pour le système de l'aspirateur, parmi 51.42 % de réponses, il y a eu 28.57% de bonnes réponses
- Pour le système du lave-vaisselle, parmi 40 % de réponses, il y a eu 11.42 % de bonnes réponses
- Pour le système du sèche-cheveux, parmi 48.57 % de réponses, il y a eu 37.14 % de bonnes réponses
- Pour le système du stylo à bille, parmi 57.14 % de réponses, il y a eu 34.28 % de bonnes réponses

➤ Avec utilisation du modèle

Les résultats obtenus après l'application du modèle montrent une meilleure participation avec un meilleur taux de bonnes réponses. Les participants ont majoritairement su identifier les carences des systèmes liées au mauvais rendement énergétique comme voie de développement. Les résultats obtenus pour l'application de la loi 2 sont indiqués dans le tableau 10.2 suivant:

Système étudié	Pourcentage des participants	Pourcentage des réponses correctes	Différence entre les deux étapes
Aspirateur	88.57 %	85.71 %	Augmentation de 57.14 %
Lave-vaisselle	88.57 %	80 %	Augmentation de 68.58 %
Sèche-cheveux	100 %	97.17 %	Augmentation de 60.03 %
Stylo	100 %	100 %	Augmentation de 65.72 %

Tableau 10.2 : Résultats de l'application de la loi 2 avec utilisation du modèle

- Pour le système de l'aspirateur, parmi 88.57% de réponses, il y a eu 85.71% de bonnes réponses, soit une hausse de 57.14 % de bonnes réponses
- Pour le système du lave-vaisselle, parmi 88.57% de réponses, il y a eu 80% de bonnes réponses, soit une hausse de bonnes réponses équivalente à 68.58 %
- Pour le système du sèche-cheveux, parmi 100% de réponses, il y a eu 97.17% de bonnes réponses avec une hausse de 60.03 % sur les bonnes réponses
- Pour le système du stylo à bille, parmi 100% de réponses, il y a eu 100% de bonnes réponses, soit une hausse de 65.72 % de bonnes réponses

➤ Comparaison entre les deux situations

Les résultats obtenus suite à l'utilisation du modèle sont considérablement améliorés, on note une hausse de participation de la part des utilisateurs ainsi qu'une augmentation significative du pourcentage des bonnes réponses, comme le montre la figure 10.1 suivante.

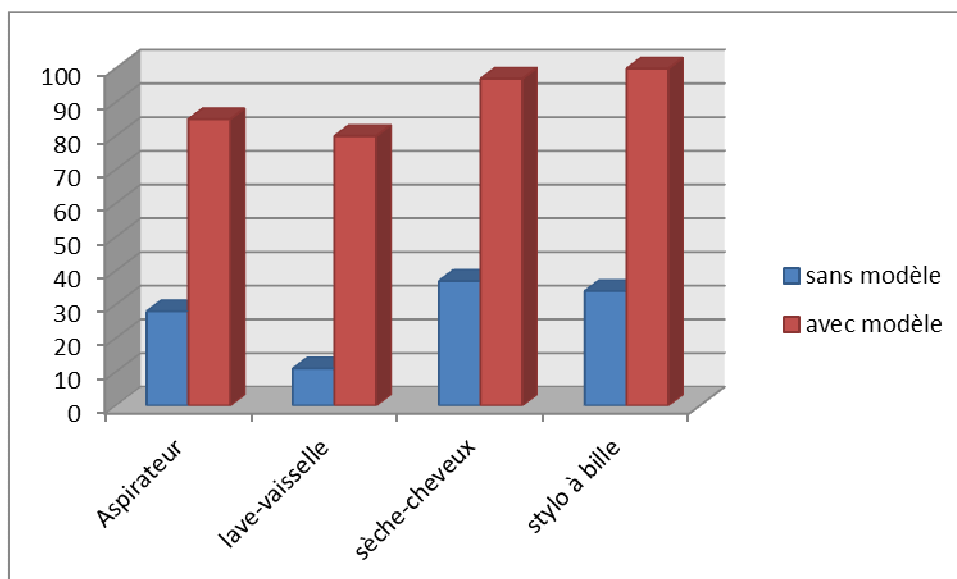


Figure 10.1 : Graphe comparatif des résultats d'application de la loi 2

10.5.2. Résultats d'application de la loi 3

➤ Sans utilisation du modèle

Les participants ont moyennement répondu à la question relative à la détection des faiblesses des systèmes et ils n'étaient pas très nombreux à avoir trouvé la bonne voie d'évolution. Les résultats obtenus pour l'application de la loi 3 sont indiqués dans le tableau 10.3 suivant :

Système étudié	Pourcentage des participants	Pourcentage des réponses correctes
Aspirateur	54.24 %	31.42 %
Lave-vaisselle	71.42 %	20 %
Sèche-cheveux	48.57 %	22.85 %
Stylo	77.14 %	17.14 %

Tableau 10.3 : Résultats de l'application de la loi 3 sans utilisation du modèle

- Pour le système de l'aspirateur, parmi 54.24 % de réponses, il y a eu 31.42% de bonnes réponses
- Pour le système du lave-vaisselle, parmi 71.42 % de réponses, il y a eu 20% de bonnes réponses
- Pour le système du sèche-cheveux, parmi 48.57 % de réponses, il y a eu 22.85% de bonnes réponses

- Pour le système du stylo à bille, parmi 77.14 % de réponses, il y a eu 17.14% de bonnes réponses

➤ **Avec utilisation du modèle**

Les résultats obtenus après l'application du modèle montrent une meilleure participation avec un meilleur taux de bonnes réponses. Les participants ont majoritairement su identifier les carences des systèmes liées à la mauvaise coordination des rythmes de fonctionnement. Cependant il est à noter que les participants n'étant ni des technologues ni des constructeurs ont rencontré quelques difficultés pour déceler la concordance des rythmes des différentes parties du système. Les résultats obtenus pour l'application de la loi 3 sont donnés dans le tableau 10.4 suivant :

Système étudié	Pourcentage des participants	Pourcentage des réponses correctes	Différence entre les deux étapes
Aspirateur	82.85 %	71.42 %	Augmentation de 40 %
Lave-vaisselle	77.14 %	62.86 %	Augmentation de 42.86 %
Sèche-cheveux	97.14 %	68.57 %	Augmentation de 45.72 %
Stylo	100 %	65.71 %	Augmentation de 48.47 %

Tableau 10.4 : Résultats de l'application de la loi 3 avec utilisation du modèle

- Pour le système de l'aspirateur, parmi 82.85% de réponses, il y a eu 71.42% de bonnes réponses, soit une hausse de 40 % de bonnes réponses
- Pour le système du lave-vaisselle, parmi 77.14 % de réponses, il y a eu 62.86% de bonnes réponses, soit une hausse de bonnes réponses équivalente à 42.86 %
- Pour le système du sèche-cheveux, parmi 97.14 % de réponses, il y a eu 68.57% de bonnes réponses avec une hausse de 45.72 % sur les bonnes réponses
- Pour le système du stylo à bille, parmi 100% de réponses, il y a eu 65.71% de bonnes réponses, soit une hausse de 48.57 % de bonnes réponses

➤ **Comparaison entre les deux situations**

Les résultats obtenus suite à l'utilisation du modèle sont très satisfaisants et augmentent de façon très nette par rapport à ceux obtenus lorsque les participants ne s'aident pas du modèle. La figure 10.2 suivante illustre parfaitement l'importance des écarts existants entre les deux résultats.

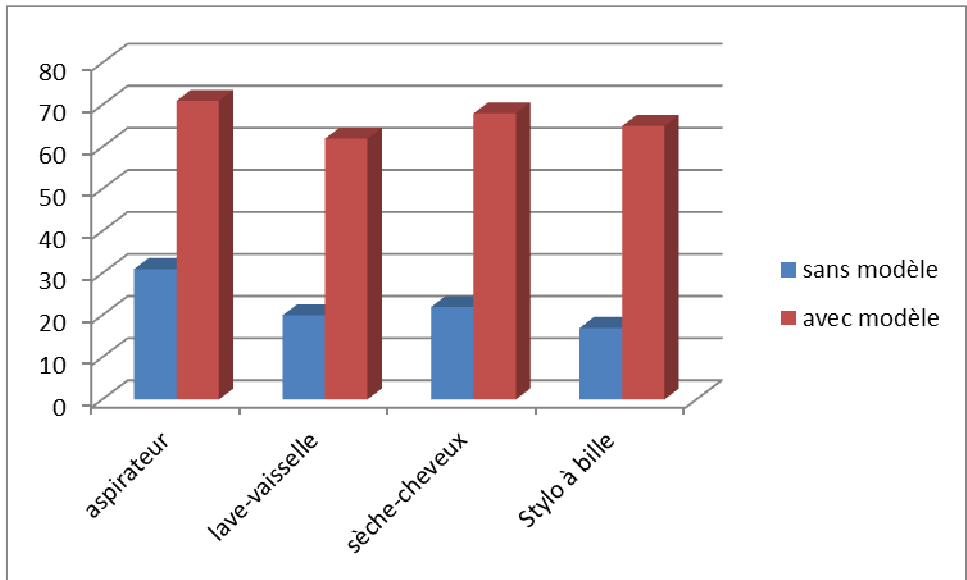


Figure 10.2 : Graphe comparatif des résultats d'application de la loi 3

Synthèse :

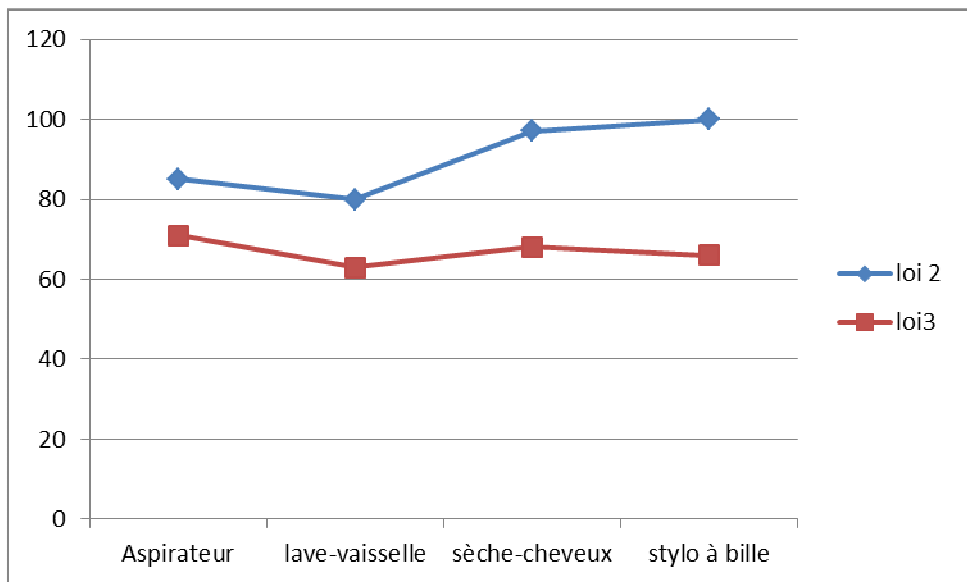


Figure 10.3 : Résultats obtenus lors de l'application du modèle pour les lois 2 & 3

La figure 10.3 montre que les courbes obtenues pour les résultats sur les bonnes réponses de l'application des lois 2 & 3 lors de l'utilisation du modèle évoluent presque de façon identique.

Les résultats obtenus lors de l'utilisation du modèle pour les lois 2 et 3 comparés à ceux obtenus sans l'utilisation du modèle, montrent que les participants appliquent correctement les lois d'évolution en détectant les voies d'évolution du système. Ce qui nous permet d'affirmer la validation de la deuxième hypothèse.

10.6. Conclusion

Ce chapitre a présenté la deuxième expérimentation qui a servi de test pour la deuxième hypothèse. Les résultats que nous avons obtenus ont montré qu'en s'appuyant sur le modèle, les participants arrivent à identifier correctement et facilement les carences des systèmes liés à un mauvais rendement énergétique ou à une mauvaise coordination des rythmes des éléments en cohérence avec les lois 2 et 3. Nous avons ainsi vérifié cette hypothèse. A présent nous pouvons passer au test de la troisième hypothèse.

Chapitre 11 : expérimentation 3 « évolution des fonctions des éléments du système dans le bon ordre »

11.1. Introduction

La deuxième hypothèse étant vérifiée, nous pouvons alors, dans ce chapitre, soumettre à l'épreuve du test la troisième hypothèse. Nous allons commencer par présenter son objectif, puis présenter sa réalisation. Enfin traiter les données obtenues à l'aide des calculs statistiques puis les représenter graphiquement.

11.2. But de l'expérimentation

Le but de cette expérimentation est de tester la troisième hypothèse sur l'évolution des fonctions des éléments du système technique selon un ordre de priorité basé sur le résultat du calcul de leur niveau d'idéalité, en commençant par le moins performant.

11.3. Participants

Les participants à cette expérimentation sont les mêmes que ceux de la deuxième expérimentation. Il s'agit des étudiants de l'ISTIA qui ont suivi 24 heures de cours sur l'étude de l'évolution des systèmes techniques basée sur TRIZ, possédant également une petite expérience dans le domaine de la créativité et de l'analyse fonctionnelle.

11.4. Présentation de l'expérimentation

Lors de cette expérimentation, nous avons réalisé une démonstration avec les participants sur le système de la brosse à dent, afin de leur montrer comment utiliser la grille d'évaluation des fonctions selon leur utilité, nuisibilité et leur coût. Par la suite, nous avons présenté aux participants une ancienne génération des systèmes : aspirateur et lave-vaisselle à étudier pour cette expérimentation en s'aidant de notre modèle comme présenté lors de la démonstration.

Toute hypothèse portant sur le fait que les participants peuvent être influencés par l'existence de la nouvelle génération des produits étudiés fut écartée, car les participants devaient juste évaluer l'utilité, la nuisibilité et le coût des fonctions qui ont servi pour calculer l'idéalité de ces derniers, et une fois le calcul de l'idéalité réalisé par la formule d'idéalité d'Altshuller, alors on peut connaître l'ordre selon lequel les fonctions doivent être améliorées.

11.5. Résultats

Pour tester l'exactitude des réponses, nous allons comparer l'ordre des évolutions des fonctions obtenu à l'aide du calcul du niveau d'idéalité, réalisé par les participants sur les systèmes étudiés appartenant à l'ancienne génération, avec l'ordre

des améliorations constatées sur les fonctions des systèmes de la génération qui a suivi. Si l'ordre obtenu par les participants coïncide avec celui observé sur la nouvelle, alors les réponses des participants sont correctes, dans le cas contraire elles sont fausses.

Lors du calcul du niveau d'idéalité pour déterminer les fonctions à faire évoluer en premier pour les systèmes aspirateur et lave-vaisselle, les participants ont suivi les orientations du modèle, présentées dans le chapitre 8 intitulé : protocole expérimental (voir tableau 8.1 : évaluation des fonctions du système). Ils ont trouvé, dans la majorité des cas, la bonne appréciation et le bon ordre d'amélioration des fonctions des unités du système, comme indiqué dans le tableau 11.1 suivant.

Système	Pourcentage des participants	Pourcentage des réponses correctes
Aspirateur	100 %	77.14 %
Lave-vaisselle	94.28 %	62.85 %

Tableau 11.1 : Résultats de l'application des lois 4 et 5

- Pour le système de l'aspirateur, parmi les 100% de réponses 77,14 % ont désigné l'unité motrice comme ayant le plus faible degré d'idéalité, comme indiqué dans la série S₁. Les participants étaient d'accord sur le fait d'améliorer en premier les fonctions de l'unité motrice, pour avoir une plus grande puissance d'aspiration. La plupart insistaient sur la nuisibilité du bruit lors du fonctionnement (fonction nuisible), et enfin tous ont évoqué la fragilité du sac à poussière, car ce dernier explose s'il est trop plein. En comparant ces pistes d'évolution proposées par les participants sur une ancienne génération d'aspirateurs avec ceux de nouvelle génération d'aujourd'hui, on constate que les participants ont identifié correctement les fonctions prioritaires à l'amélioration et à l'évolution. En effet, les nouvelles générations d'aspirateurs se caractérisent par plus de puissance d'aspiration, un fonctionnement moins bruyant et une absence totale du sac à poussière. La série S₁ des résultats du degré d'idéalité obtenue pour l'unité motrice par tous les participants est : S₁ = {0.1, 0.15, 0.15, 0.15, 0.15, 0.15, 0.15, 0.15, 0.15, 0.21, 0.21, 0.21, 0.21, 0.21, 0.21, 0.21, 0.22, 0.22, 0.22, 0.22, 0.22, 0.22, 0.22, 0.22, 0.22, 0.33, 0.33, 0.33, 0.33, 0.33, 0.33, 0.34, 0.34}

- Pour le système du lave-vaisselle, les résultats sont assez proches de ceux obtenus pour le système précédent. Les participants ont préconisé d'améliorer en priorité les fonctions de l'unité motrice pour un meilleur lavage de la vaisselle. Ils étaient 62.85 % à avoir donné les valeurs d'idéalité dans le bon ordre pour l'évolution des fonctions du système. La série S₂ des résultats du degré d'idéalité obtenue pour l'unité motrice par tous les participants est S₂ = {0.1, 0.11, 0.11, 0.12,

0.14, 0.14, 0.14, 0.15, 0.16, 0.2, 0.2, 0.2, 0.2, 0.2, 0.2, 0.2, 0.21, 0.21, 0.21, 0.21, 0.21, 0.21, 0.21, 0.21, 0.21, 0.21, 0.21, 0.21, 0.33, 0.33, 0.33, 0.33, 0.33, 0.33, 0.33, 0.34}

Synthèse des résultats

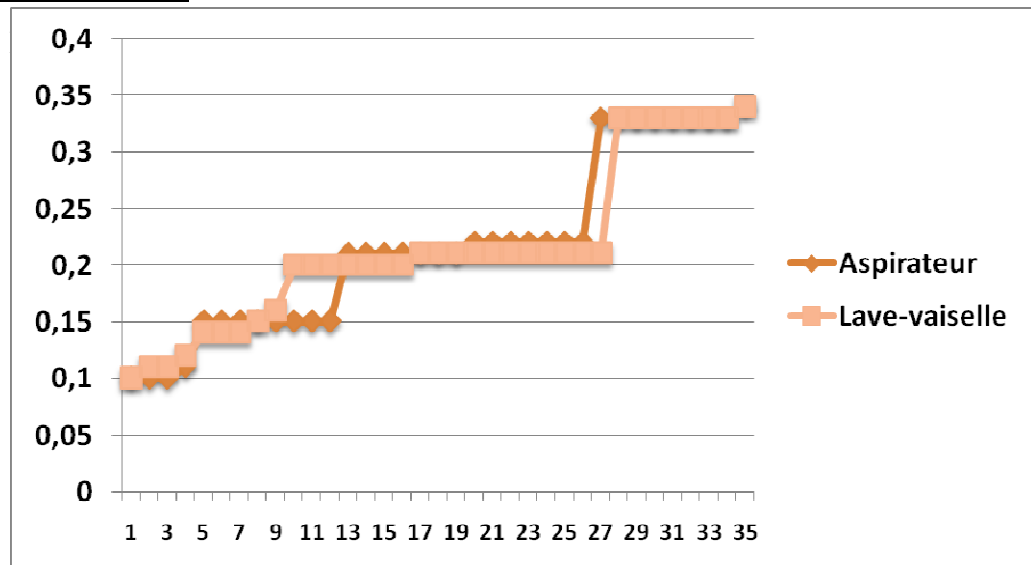


Figure 11. graphes : des résultats de l'application des lois 4 & 5

La figure 11.1 ci-dessus montre que les courbes des résultats obtenus par l'application des lois 4 & 5 lors de l'utilisation du modèle sur les deux systèmes étudiés évoluent presque de façon identique. La corrélation obtenue sur ces deux séries est de 0.81, ce qui signifie que le processus d'évaluation de l'idéalité utilisée dans notre modèle pour l'obtention de l'ordre de priorité d'amélioration des fonctions a été concluant. Les résultats n'ont pas indiqué d'écarts importants ce qui montre sa fiabilité.

Les résultats obtenus sont très satisfaisants, ce qui nous permet d'avancer que la troisième hypothèse est également vérifiée.

11.6. Conclusion

A travers ce chapitre, nous avons testé la troisième hypothèse à l'aide de la réalisation de cette expérimentation. Les résultats que nous avons obtenus ont montré qu'avec le modèle, les participants arrivent à identifier correctement l'ordre d'évolution des éléments fonctionnels du système.

Le constat du nombre et de l'importance des résultats satisfaisants lors d'utilisation de notre modèle nous permet d'avancer que les trois hypothèses émises sont vérifiées et de ce fait, nous pouvons dire que nous avons abouti à la validation de

notre modèle d'utilisation des lois d'évolution. Dans le chapitre suivant, nous allons discuter des résultats et de l'application de notre modèle.

Partie 4 : Discussion, synthèse et perspectives

Cette quatrième et dernière partie présente une synthèse de nos travaux de recherche. Elle se compose des deux chapitres suivant :

Le chapitre douze est consacré à la discussion sur nos travaux et leurs résultats.

Le chapitre treize rappelle notre objectif, puis présente les contributions que nous avons apportées au domaine de la recherche et celui de l'industrie, il montre ensuite les limites de notre recherche et enfin présente les perspectives envisageables pour le prolongement de notre travail.

Chapitre 12 : Discussion

12.1. Introduction

Après avoir conçu notre modèle d'application des lois d'évolution nous allons, à travers ce chapitre, discuter les différents aspects des éléments utilisés pour sa construction ainsi que les résultats obtenus lors de la réalisation des expérimentations.

12.2. Discussion

Ces dernières années, la théorie TRIZ s'est particulièrement distinguée par l'intérêt grandissant qui lui est portée. Cela est visible à travers les nombreuses publications d'articles dans les revues scientifiques et surtout par le développement des nombreux logiciels mettant en application ses outils. La littérature scientifique s'est énormément intéressée aux différents concepts et outils de TRIZ, elle a cependant très peu écrit sur les lois d'évolution des systèmes techniques. Ce manque de publications scientifiques reste inexpliqué, est-il dû à la complexité de ce thème ? Ou à l'absence de traduction des textes théoriques originaux ? Quelque soit la raison à ce constat, nous estimons que c'est l'innovation sur les systèmes techniques qui est lésée ainsi que les utilisateurs, notamment les PME/PMI.

Ce que nous avons recueilli comme connaissances sur les lois d'évolution des systèmes techniques à travers nos recherches bibliographiques, n'est pas considérable, mais nous pensons que les formules exprimées par les définitions des lois, les quelques études parues, même peu nombreuses, nous ont permis de considérer à juste raison que ces lois renferment des potentialités créatives qu'il est possible d'exploiter dans le but d'aider les PME/PMI à travers une démarche d'innovation évolutive des systèmes techniques. C'est ce qui a constitué l'objet de notre thèse.

12.2.1. Discussion des hypothèses émises

Nous avons fondé nos hypothèses sur le respect des règles et connaissances exprimées par les lois d'évolution. Elles précisent les critères de viabilité d'un système technique, ses conditions de fonctionnement lui permettant d'atteindre les meilleures performances et l'ordre selon lequel doivent évoluer ses fonctions. Les résultats satisfaisants des expérimentations nous ont permis de valider ces hypothèses.

12.2.2. Discussion des expérimentations réalisées

Pour la réalisation des expérimentations nous nous sommes appuyés sur des critères conformes aux tests des modèles. Nous nous sommes abstenus de toute intervention auprès des participants afin de ne pas influencer les résultats. Les systèmes techniques étaient choisis de façon à ce qu'ils soient différents dans leur constitution comme dans leur destination, par exemple certains sont dotés de moteurs électriques

(énergie électrique) comme le lave-vaisselle et d'autres non électrique utilisant la force musculaire comme les patins à roulettes ou le stylo à bille.

Les participants associés à l'expérimentation sont peu initiés à la théorie TRIZ, il nous était difficile d'associer quelques spécialistes de TRIZ, dans une même journée. Aussi le recours à des étudiants débutants en innovation et ayant bénéficié d'un certain nombre d'heures de formation dans la théorie TRIZ a été la seule et salutaire solution. Les résultats concluants, obtenus lors des expérimentations, ont montré que ce point a été plutôt positif car il a montré que le modèle ne posait aucun problème d'utilisation aux non initiés à TRIZ.

La méthode de recueil des données que nous avons utilisée a reposé sur l'utilisation des questionnaires. Les réponses attendues visaient à aider à l'identification des voies possibles d'évolution.

12.2.3. Discussion du modèle élaboré

Notre modèle conçu pour l'application des lois d'évolution permet de conduire l'étude prédictive des futures générations des systèmes techniques. Tout comme pour la théorie TRIZ, ce modèle est applicable dans le domaine de la technique d'ingénieur. Il apporte des améliorations sur des systèmes existants qui, en les multipliant, peuvent aboutir à des innovations de ruptures conduisant à l'apparition d'un nouveau système.

Notre modèle est destiné aux services de recherche et de développement des entreprises. Il est facilement accessible pour les non initiés à TRIZ et les expérimentations réalisées avec des participants peu formés sur cette théorie le confirment. Ce résultat s'explique par le fait que les questions qui constituent le cœur du modèle sont pertinentes. Elles permettent la fructification des idées d'évolution à partir des définitions des lois dans le sens où elles aident à générer les réponses adéquates sur l'état du système. Ces réponses résultent des questions spécifiques utilisant des mots-clés extraits des définitions des lois d'évolution.

12.2.4. Discussion des résultats obtenus

Pour chaque expérimentation nous avons utilisé deux étapes différentes : la première sans donner les directives que préconise le modèle, la deuxième en les présentant à tous les participants. Les résultats obtenus lors de l'utilisation du modèle par les participants sont de loin supérieurs à ceux de la première étape. Nous avons constaté que l'utilisation du modèle accroît fortement les résultats en matière de taux de participation comme en taux de réponses correctes.

Le calcul de quelques indicateurs statistiques, tels l'écart type ou le coefficient de corrélation, corrobore nos résultats. Les valeurs obtenues pour ce dernier coefficient se sont situées aux alentours immédiats de -1 et 1. Cependant nous nous gardons bien de conclure que cela traduit un fait absolu et sans réserves de l'efficacité de notre modèle. Nous comprenons bien que les séries de variables obtenues lors des expérimentations de notre modèle n'impliquent pas qu'il existe une relation linéaire traduisant une logique mathématique entre elles. Le contexte reste lié à l'application des lois d'évolution dont la visibilité des tendances reste encore peu maîtrisable. L'apport de notre modèle reste très significatif lorsqu'on compare les résultats des expérimentations faites, une fois sans les instructions du modèle puis la fois suivante avec ses instructions. Cet accroissement du nombre et la qualité des réponses traduisent l'aptitude de notre modèle, nous permettant, ainsi, par la même de conclure sur la validité et la fiabilité de notre modèle. Notre idée de départ sur la conception d'un modèle utilisant les lois d'évolution dans le cadre de l'aide à l'innovation des entreprises s'est affirmée comme une bonne et concluante initiative.

12.3. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons discuté les hypothèses ayant servi pour la construction du modèle, le déroulement des expérimentations ayant contribué à son test. Puis nous avons observé les besoins auxquels il répond, sa destination technologique et enfin l'importance des résultats obtenus lors de l'utilisation de ce modèle. Il en ressort que notre étude expérimentale et ses résultats nous permettent de considérer que notre idée de départ concernant les lois d'évolution constitue une bonne opportunité dans l'élaboration d'un processus d'aide à l'innovation. Cependant nous restons très conscients qu'un travail de recherche reste encore à entreprendre, pour le compléter afin qu'il soit applicable à l'ensemble des lois, rajouter d'autres fonctionnalités, mais surtout enrichir ses banques de données par d'autres informations. Le travail sera nécessairement poursuivi par nos soins et certainement par d'autres chercheurs. Dans le chapitre suivant nous allons présenter une synthèse des travaux et apports de nos recherches

Chapitre 13 : Synthèse des travaux de recherche

13.1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons reprendre les principaux éléments de nos travaux de recherche. Nous allons commencer par présenter le but que nous voulions atteindre, puis sa concrétisation, ensuite ses apports et ses limites et enfin ses perspectives envisageables.

13.2. But de la recherche : application des lois d'évolution dans l'aide à l'innovation

Nous avons vu dans les chapitres précédents (chapitre 1) que la théorie TRIZ se distingue des autres méthodes classiques de génération d'idées nouvelles, car elle atteint les plus hauts niveaux d'inventivité. Riche en outils de résolution des problèmes et de concepts très pertinents, elle offre réellement aux entreprises la possibilité d'innover. C'est sans doute l'une des raisons qui a poussé à un développement informatisé de la théorie et à l'apparition de nombreux logiciels basés sur cette dernière lors de ces dernières années (chapitre 3). Lors de notre étude comparative de ces logiciels, nous avons constaté un manque de contributions scientifiques sur l'utilisation des lois d'évolution (chapitre 2) à travers l'analyse des articles traitants de ce sujet et surtout un manque d'implémentation des lois d'évolution à travers ces logiciels (chapitre 3). C'est la raison pour laquelle nous avons décidé de traiter ce problème à travers cette thèse, pour montrer qu'il est possible d'appliquer ces lois dans l'étude d'évolution des produits. En d'autres termes, **nous voulons démontrer, à travers cette thèse, qu'il est possible de proposer une méthode d'application des lois d'évolution dans la prédiction des futures générations des produits.**

13.3. Travaux réalisés: modélisation des lois d'évolution

Le résultat de notre travail de recherche s'est concrétisé par la modélisation des lois d'évolution dans une perspective d'innovation. Pour réaliser cette modélisation nous nous sommes appuyés sur les techniques d'extraction d'informations pour recueillir les données pertinentes exprimées par ces lois. Ces informations nous ont permis de construire un algorithme posant des questions appropriées à chaque étape d'application d'une loi d'évolution, et d'obtenir des réponses dont seule la satisfaction de l'utilisateur peut permettre la validation, avant de passer vers l'étape suivante, jusqu'à passer en revue toutes les étapes d'une loi et toutes les lois d'évolution. Ce modèle nous a permis :

Dans un premier temps, de réaliser une analyse fonctionnelle du système technique à l'aide d'un questionnaire adapté pour identifier ses éléments fonctionnels. Puis de résoudre les problèmes de fonctionnement du système technique liés à une éventuelle absence de participation de l'un de ces éléments dans la réalisation de la fonction principale. Et de remédier à un mauvais paramétrage de l'élément de

contrôle. Les actions de cette étape, entreprises en vertu de la loi 1, sont représentées graphiquement dans la figure 13.1 ci-dessous.

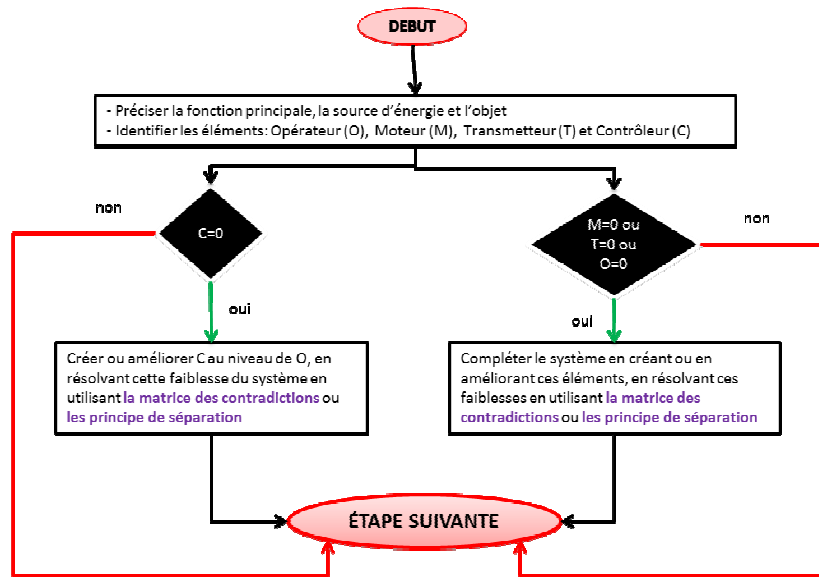


Figure 13.1: Actions de la première évolution

Dans un second temps, il s'agissait de faire évoluer le système en s'assurant que les conditions d'application de chaque loi étaient satisfaites, et de ce fait, notre modèle a proposé de faire évoluer le système selon les pistes d'évolution de la loi 2 à la loi 5, comme suit :

1. En identifiant les faiblesses du système qui l'empêchent de satisfaire aux conditions d'évolution de la loi 2, puis en proposant de les résoudre en utilisant les outils de résolution des problèmes de la théorie TRIZ. Dans cette étape notre modèle va particulièrement aider l'utilisateur à établir un diagnostic de l'état de fonctionnement du système pour vérifier s'il y a conformité entre la réalité et les nécessités soutenues par la loi d'évolution n°2. Par exemple détecter une éventuelle mauvaise circulation de l'énergie à travers les éléments du système; si la transmission de l'énergie, générée par le moteur et destinée vers l'unité de travail, arrive à destination sans aucune entrave etc. Explorer les possibilités de réduire le nombre de conversions de l'énergie utile afin de réduire la complexité du système, rechercher les pertes d'énergie qui réduisent le rendement, etc. Enfin toutes les anomalies en défaut avec la loi 2. Une fois ces incohérences mises en évidence, la phase suivante du modèle va consister à guider l'utilisateur dans la recherche des voies de solution pour permettre au système d'évoluer. Ces étapes sont précisées dans la figure 13.2 suivante.

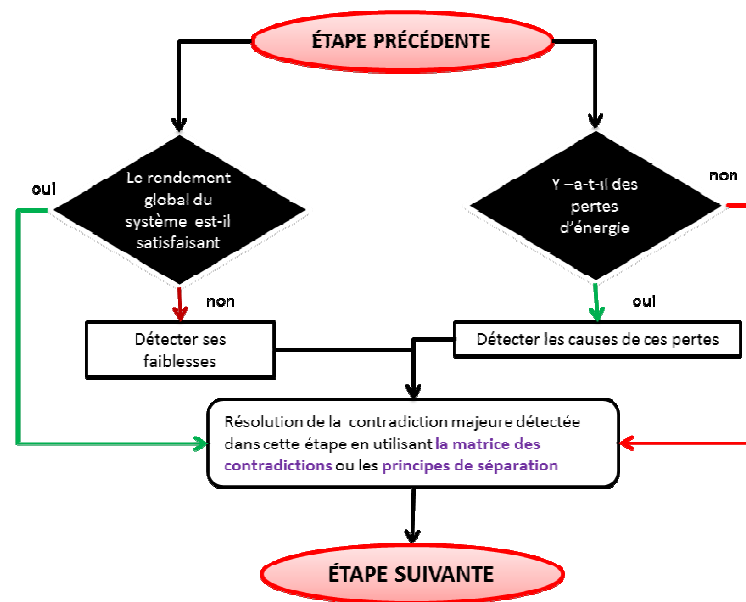


Figure 13.2 : Actions de la deuxième évolution

2. En identifiant puis en résolvant les faiblesses du système qui l'empêchent de satisfaire aux conditions d'évolution de la loi 3. Celle-ci stipule qu'un système technique ne peut fonctionner correctement que si les rythmes de ses unités sont coordonnés. Partant de cette condition notre modèle va, à travers les interrogations qu'il formule, aider l'utilisateur à rechercher si cette coordination existe, sinon, il passe à la phase de prospection des causes à l'origine de cette défaillance. Cette étape du modèle consiste à vérifier que les rythmes des unités actives contribuent à la mise en œuvre de la fonction principale. Les paramètres caractérisant la dynamique de ces rythmes (vitesse, fréquences, périodicité, etc.) doivent permettre une parfaite et totale synchronisation. Le modèle, dans cette étape, va demander à l'utilisateur de procéder à leur vérification. Si des défauts sont détectés, ils sont responsables du faible niveau de fonctionnement du système. Le modèle a aidé l'utilisateur d'en prendre connaissance. Il s'agit à présent de les éliminer afin de permettre au système d'acquiescer de la performance, et donc d'évoluer. L'utilisateur se charge de procéder à leur élimination, soit il dispose d'une solution pour le faire soit il recourt aux outils de résolution des problèmes dont le modèle est doté. Cette résolution rend possible le fonctionnement des éléments du système dans une parfaite coordination. Les actions de cette étape sont représentées graphiquement dans la figure 13.3 suivante.

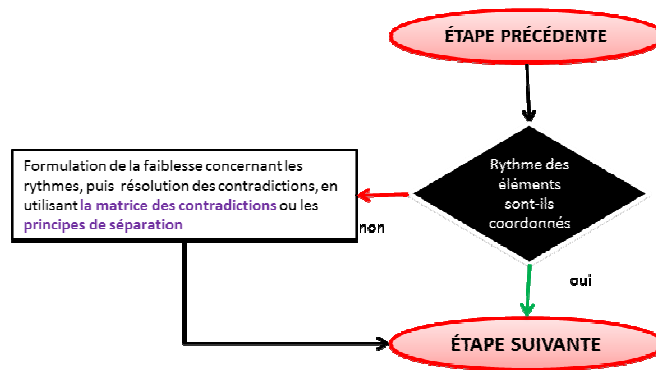


Figure 13.3 : Actions de la troisième évolution

- En proposant un ordre de priorité sur le développement des fonctions des éléments du système comme le stipulent les lois 4 et 5. Ce qui indique que l'amélioration et l'optimisation des fonctions du système doivent s'effectuer dans cet ordre. Cette étape a donc pour but, dans une première phase, d'évaluer les différents degrés d'idéalité des fonctions des unités en utilisant la formule de calcul d'idéalité d'Altshuller que nous avons utilisée et adaptée à notre modèle comme indice d'efficacité des fonctions. Dans une deuxième phase il s'agit d'ordonner ces différentes fonctions selon leur degré d'idéalité ou indice d'efficacité du plus petit au plus grand afin d'établir l'ordre de priorité dans l'opération d'amélioration. Et cela, en vertu de la loi n°5 qui dit : « c'est l'unité la plus inefficace du système qui est améliorée en premier ». Les actions de cette étape sont représentées dans la figure 13.4 suivante.

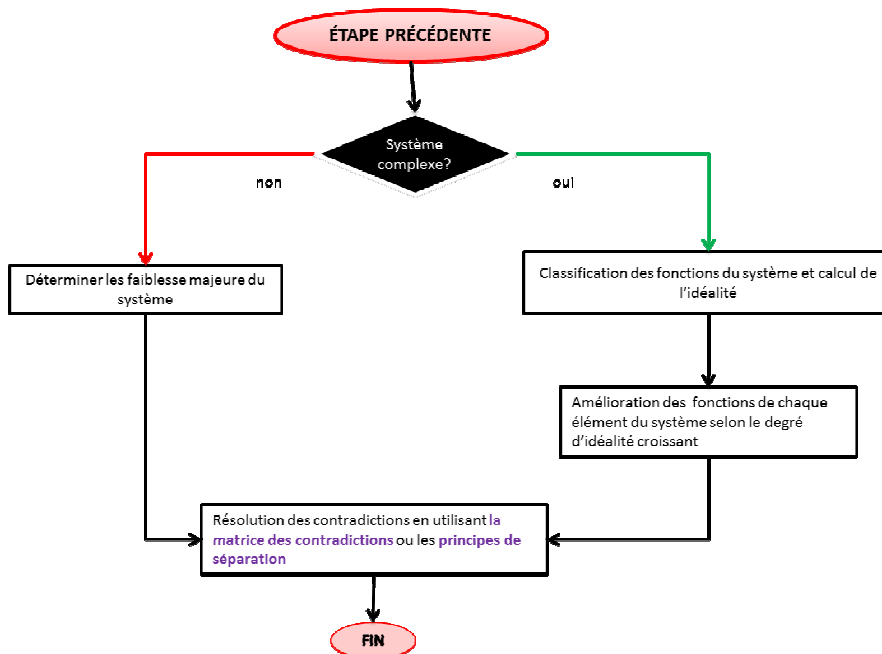


Figure 13.4: Actions de la quatrième évolution

13.4. Apports des travaux de recherche

Notre travail de recherche propose une approche d'utilisation des lois d'évolution. Elle est destinée aux utilisateurs comme les PME/PMI désirant améliorer et faire évoluer les produits existants. Elle offre des capacités d'évolution pouvant atteindre des innovations de ruptures. Nous allons dans ce qui suit présenter les apports de notre travail de recherche dans les domaines scientifique et industriel.

❖ **Apports dans le domaine scientifique :**

Une partie de notre travail de recherche a fait l'objet d'une première publication à ETRIA (Européenne Association de TRIZ). Cette association représente le point de rencontre et d'échange de la communauté TRIZ européenne. Notre publication a été appréciée pour l'originalité du thème traité. Nous avons également soumis notre modèle pour une publication dans une revue scientifique. Notre travail de recherche apporte un enrichissement scientifique de la base de données des documents traitants des applications de la théorie TRIZ particulièrement sur les lois d'évolution. Notre modèle est facile à mettre en œuvre, et son approche, associant observation du système à faire évoluer et questionnaire guidant la recherche des pistes de solution, apporte une assistance précieuse et féconde. Ses principaux apports sont :

- Réaliser une analyse fonctionnelle des systèmes permettant d'identifier facilement les quatre principaux éléments du système (à savoir le moteur, l'opérateur, le transmetteur et le contrôleur) en utilisant le questionnaire qui permet de faciliter l'identification de ces quatre éléments sur des systèmes ne contenant pas de moteur énergétique où il n'est pas évident de le faire.
- Détecter et résoudre les carences du système liées à une mauvaise circulation de l'énergie, une perte de cette dernière, une perte de temps, un mauvais rendement énergétique ou enfin une incompatibilité des rythmes de fonctionnement des éléments du système.
- Ordonner les fonctions du système à améliorer et faire évoluer en priorité en utilisant la formule d'idéalité d'Altshuller.

Enfin notre modèle présente une source d'inspiration dans une perspective de développement des méthodes d'innovation et de prédiction des futures générations des systèmes.

❖ Apports pour le domaine industriel :

Le but de nos travaux de recherche est de proposer un modèle qui peut être implémenté par un logiciel destiné aux PME-MPI fortement concernées par l'amélioration innovante des produits existants. Notre modèle peut constituer un véritable outil de travail pour les ingénieurs lors des séances de recherche des pistes à suivre pour le développement des produits existants dont ils peuvent anticiper les tendances d'évolution. Il permet également d'entrer dans le vif du sujet, par le fait de l'existence du système technique, de son observation et des questions apportées, le modèle permet de vaincre l'inertie psychologique. Il fait également gagner énormément de temps en guidant, d'emblée, le chercheur vers le chemin d'évolution à suivre. Ce qui est en soit un gain des points de vue économique et stratégique pour les entreprises. L'appropriation du modèle leur permettra de se projeter dans le temps en élaborant des plans de conception des systèmes à venir et une gestion des programmes de leur réalisation et de décider du temps de leur mise sur le marché.

13.5. Limites de notre démarche

Notre travail de recherche apporte certainement des éléments nouveaux enrichissant le domaine de l'innovation, cependant, comme tout nouveau modèle il présente certaines limites que nous allons présenter ci-dessous :

La principale limite de notre démarche réside dans le fait d'avoir modélisé uniquement les cinq premières lois d'évolution, alors que la théorie TRIZ en propose huit. La raison est le manque de temps parce qu'en parallèle nous devons consacrer beaucoup au développement du logiciel implémentant cette modélisation. Nous inscrivons ces travaux de recherches et de modélisation des trois lois restantes dans une perspective de continuation dans la réalisation de notre modèle.

Avec l'application des 5 lois d'évolution, notre modèle a les capacités suffisantes pour faire évoluer le système technique respectivement selon l'intégralité de ses composantes, sa conductibilité énergétique, les paramètres assurant la coordination des rythmes de ses fonctions, l'accroissement des niveaux d'idéalité de ses entités et enfin selon toutes les dispositions exprimées par l'ensemble des 5 lois pour tendre vers un développement idéal.

Les expérimentations que nous avons réalisées n'ont porté que sur un nombre limité de systèmes techniques. Toutefois l'hétérogénéité des systèmes proposés à l'étude, constitués différemment et à partir d'éléments fonctionnant avec des énergies différentes, a diminué quelque peu l'effet de cette limite. Quelque soit son type, sa nature ou sa fonction, le domaine auquel il appartient, tout système technique peut faire l'objet d'évolution par le biais de notre modèle, ce dernier étant fondé sur les lois d'évolution établies sur la connaissance et l'analyse des centaines de milliers de brevets, et peut aider à accomplir sa fonction d'innovation, voire anticiper notamment chez des PME et PMI, dont l'activité porte principalement sur les systèmes techniques. Anticiper est justement un but recherché par G. Altshuller : « *avec la théorie de l'inventivité, nous comprenons la logique de développement des systèmes techniques et pouvons prévoir à l'avance l'apparition de nouveaux problèmes en sachant comment il va falloir les résoudre* » (Altshuller, 2002, p. 64).

D'autre part nous n'avons pas pu tester notre modèle avec des experts de la théorie TRIZ qui auraient pu émettre d'éventuelles suggestions pouvant nous aider à affiner notre modèle. Toutefois cette limite n'est pas totalement négative. Le fait de tester notre modèle par des novices de la théorie TRIZ nous a permis de confirmer l'accessibilité de ce modèle à des utilisateurs peu initiés à TRIZ. Option faisant partie de nos objectifs de départ.

Nous n'avons pas pu tester notre modèle au niveau des entreprises. La raison en est purement d'ordre professionnel en raison du contrat de confidentialité qui nous lie à l'entreprise impliquée dans ce travail de recherche. Cela explique, en outre, l'absence de tests de notre modèle sur des produits en cours de développement au sein des entreprises.

13.6. Perspectives de recherche

Nos travaux de recherche ont pour but de proposer un modèle algorithmique d'application des lois d'évolution qui sera implémenté via un logiciel pouvant intéresser des entreprises dans le cadre de l'innovation de leurs produits. S'agissant d'un premier modèle, beaucoup d'améliorations sont susceptibles d'être apportées et notamment selon les perspectives suivantes :

D'abord, par l'enrichissement de sa base de données afin de rassembler un large choix de pistes d'évolution conformes aux exigences des lois objectives de l'évolution des systèmes techniques et maîtriser la connaissance de la logique de développement de ces derniers et anticiper leur manifestation.

Ensuite par l'intégration des trois autres lois restantes. Il s'agit de mettre en application les hypothèses devant permettre l'évolution du système technique à un stade très avancé de son développement, vers les deux transitions : soit vers le super système en vertu de la loi 6, soit vers le microsystème en vertu de la loi 7. Enfin implémenter l'application de la loi 8, en vertu de laquelle le système technique accroît sa contrôlabilité jusqu'à tendre vers un fonctionnement totalement autonome où l'intervention de l'homme n'est nullement sollicitée. De ce fait notre modèle portera sur l'ensemble des lois et apportera, ainsi un spectre plus large de propositions de pistes d'évolution. L'accroissement des axes de proposition de pistes liées à toutes les lois permettra de constituer un modèle pouvant donner une vision globale des tendances d'évolution du système technique avec plus de précision dans les contours, et d'anticiper sur le futur développement du système technique.

Poursuivre l'approfondissement des recherches techniques d'extraction des connaissances liées aux différentes définitions des lois et des applications qu'elles mettent en œuvre pour dégager des relations évolutives à explorer dans le but d'identification des solutions d'évolution.

Affiner d'avantage les questions liées aux définitions des lois dans l'application de notre modèle pour qu'elles soient en adéquation parfaite avec les

expressions qu'évoquent ces définitions des lois dans l'identification de l'évolution du système.

Développer le modèle de manière à ce qu'il soit utilisé, indifféremment, dans le domaine technique comme dans le domaine non technique, et cela d'autant plus que notre modèle aide à la formulation de la contraction du problème, phase préalable à la proposition aux outils TRIZ de résolution des problèmes inventifs ou en adoptant des versions de matrices de contradictions adaptées à certains domaines et issues de la transposition de la matrice de TRIZ.

13.7. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons commencé par rappeler le but de nos travaux de recherche. Puis nous avons présenté notre modèle. Par la suite nous avons traité de ses apports scientifiques et industriels ainsi que ses limites. Enfin nous avons proposé des perspectives de recherches pouvant être entreprises pour développer d'avantage nos recherches et consolider notre modèle. Après avoir atteint le but de nos recherches et présenté le modèle d'application des lois d'évolution dans une perspective d'innovation, nous allons passer au développement de notre conclusion générale.

Conclusion générale

Tous les acteurs du monde économique, concernés par l'innovation, ont depuis longtemps admis que cette dernière est à placer immanquablement dans le dispositif stratégique du développement de toute institution économique [Perrin, Forest et al. 2002]. Malheureusement, l'innovation n'a pas encore pris totalement sa place au sein des PMI-PME dont un grand nombre peinent encore à se doter de structures adéquates et de moyens méthodologiques d'innovation adaptés à leurs besoins.

Face à une forte concurrence, « l'entreprise occidentale trouve des difficultés à pérenniser son existence et poursuivre son développement » [Navarre 2000]. La cause de cet échec vient, en grande partie, de l'absence de la bonne technique d'aide à l'innovation [Cavallucci, Rousselot et al. 2009]. On l'a bien vu, les méthodes d'aide à l'innovation sont légion, plus de 200 méthodes et techniques selon [Terninko, Zusman et al. 1998], mais du point de vue de l'efficacité, elles ne donnent pas pleine satisfaction. Leurs approches traditionnelles sont à caractère psychologique, explorant les espaces de solutions où le hasard occupe plus de place que la logique. Ces méthodes n'encouragent pas la créativité. Les méthodes en mesure d'aider à innover sont celles fondées sur les connaissances et les sciences acquises par l'humanité depuis les temps lointains et sur les moyens pertinents [Zouaoua, Crubleau et al. 2009]. Parmi celles-ci, la théorie TRIZ fait l'unanimité autour d'elle. Cette dernière, propose un ensemble cohérent et méthodologique d'outils, systématise l'innovation et permet aux concepteurs d'atteindre de hauts niveaux d'invention.

Aujourd'hui, l'efficacité de TRIZ est traduite dans les faits. Des entreprises de renommée mondiale comme Boeing, Fuji Xerox, Fuji Photo Film, Nissan, Panasonic et Samsung [The Insight Centre Delivering breakthrough innovation and change 2011], etc., ont adopté cette théorie. Un rapport de la société Samsung indique que 10 000 de leurs ingénieurs sont formés à la théorie TRIZ [Sang-ryong 2006]. En 2003, 67 projets TRIZ, chez Samsung Electronics, ont engendré environ 150 M \$ d'économies sur les coûts prévus et ont permis de déposer 52 demandes de brevet. Dans la conception d'un pétrolier militaire de ravitaillement, Boeing a utilisé TRIZ pour la résolution d'un problème technique difficile et a pu économiser environ 12 millions de dollars [The Insight Centre Delivering breakthrough innovation and change 2011].

Depuis l'entrée de TRIZ en occident de nombreux logiciels ont été développés sur la base de ses concepts mis pour la plupart en application, exception faite des lois d'évolution auxquelles on a très peu recourues. La comparaison établie par nos soins fait ressortir que seulement 20% des logiciels sur la série que nous avons recueillie, implémentent les lois d'évolution alors que 80% utilisent la matrice des contradictions (voir chapitre 3; le critère de comparaison : implémentation des outils TRIZ). De plus ces 20% de logiciels ne le font que d'une façon très partielle. Pourtant, les fondateurs de TRIZ, Altshuller et son équipe, comme beaucoup de chercheurs et acteurs de la créativité accordent à ce concept une haute potentialité inventive et des perspectives prometteuses [Altshuller 1999] [Simondon 2001] [Cavallucci 1999a].

Les chapitres précédents et la bibliographie consultée, nous ont appris qu'en matière d'application des lois d'évolution dans un but d'innovation des systèmes techniques, il n'existe pas de démarches s'inscrivant strictement dans une telle

stratégie. Ce manque d'intérêt scientifique prive, selon nous, l'innovation d'un apport précieux et les entreprises d'une appréciable contribution.

Les perspectives potentielles d'innovation, annoncées depuis longtemps, n'ont pas été encore mises en pratique. Quelques tentatives ont, certes, été rapportées, mais aucune ne formalise un processus complet, clair et assimilable pour l'identification des tendances des systèmes techniques [Cavallucci, Rousselot et al. 2009]. En dépit du nombre considérable et très varié de systèmes techniques à faire évoluer. Cette importance du nombre peut s'avérer comme un puissant facteur de l'utilisation des lois d'évolution.

Nous pouvons dire, en définitive, que TRIZ a apporté des concepts qui ont prouvé leur efficacité sur le terrain de l'innovation, mais que celui des lois d'évolution, reconnu pourtant comme potentiellement innovateur sur les systèmes techniques, n'a pas connu d'utilisation pratique à la mesure des éloges qui lui ont été faites. Les approches, produites à ce jour, ont été très limitées dans leur application.

Partant de ce constat, nous avons consacré nos travaux de recherche à la conception d'un modèle d'application des lois d'évolution et la résolution des contradictions dans une perspective d'innovation prédictive. TRIZ se caractérise par des règles fondamentales dans le but d'aider l'innovation, pour notre démarche nous avons retenu particulièrement deux :

- 1) « Les systèmes techniques évoluent selon des lois d'évolution bien précises ». Il y a lieu de comprendre par là que ce sont des évolutions qui traduisent un besoin logique d'émancipation du système technique, exprimé à travers son fonctionnement non satisfaisant par rapport aux exigences du moment et aux attentes du marché. Ces changements sont prédéterminés, et obéissent à des règles précises. L'observation des systèmes techniques de différentes époques, l'étude de leur histoire d'évolution et l'analyse des centaines de milliers de brevets réalisés par Altshuller ont permis d'énoncer cette règle fondamentale et de synthétiser les tendances d'évolution des systèmes techniques. Le résultat est formulé par Altshuller, sous l'expression suivante : « *l'évolution des systèmes techniques obéit strictement à des lois objectives et n'est nullement un processus aléatoire* » [Altshuller 1999]. Partant de cette règle, nous avons fondé notre modèle sur les systèmes techniques et les lois de leur évolution. Lors de chaque étape, cette association, observation du système (de ses composantes, de ses fonctions, ou tout autre aspect visé par l'une des lois) et notre quête de la tendance d'évolution contenue dans la définition, se traduit dans le processus de notre modèle par l'émergence d'une réponse exprimant l'action à entreprendre ou la voie à suivre. Cela vaut pour tous les systèmes, indépendamment de leur domaine, la démarche étant fondée sur des règles objectives auxquelles obéit l'évolution des systèmes techniques. [Altshuller 1999].
- 2) La deuxième règle fondamentale, retenue par nos soins pour compléter l'assise de notre modèle, est l'existence des principes universels. Ces principes, synthétisés par Altshuller et son équipe sont à l'origine des résolutions de tous les problèmes des différents domaines et notamment ceux du domaine technique [Seredinski 2002]. Aussi la démarche proposée par

notre modèle, dans l'exploration de la voie d'évolution d'un système technique aboutit soit à la résolution du problème empêchant l'évolution du système, soit à la formulation d'une contraction. Autrement dit, l'identification d'une imperfection, anomalie ou manque de nature à contrarier l'évolution d'un système technique conformément aux dispositions énoncées par les lois d'évolution, est traitée par notre modèle de manière à l'éliminer si l'utilisateur dispose de la solution, soit à la transposer en contradiction. Cette dernière est transmise à la matrice des contradictions prévue dans notre modèle pour sa résolution. On peut également mobiliser, selon la nature du problème, les autres outils. Comme par exemple les principes de séparation pour la résolution des contradictions physiques ou les 76 solutions standard de résolution à partir des modèles champ substance. L'application des lois d'évolution est plus aisée lorsqu'elle s'accompagne de l'observation du système technique qu'on cherche à faire évoluer.

Pour la réalisation de notre modèle, nous avons, dans le chapitre 7, procédé à une exploration approfondie et minutieuse, par l'application de l'analyse et la technique de l'extraction de l'information des différentes versions des définitions des lois d'évolution. Le but est d'y saisir le sens des règles et des informations qu'elles apportent, la clarté de ce qu'elles évoquent et comment s'en servir pour identifier leurs tendances d'évolution. On y relève à partir des définitions l'expression de tout ce qui peut nécessairement prédéterminer l'évolution d'un système technique. Chaque loi porte sur un aspect particulier du développement évolutif du système technique, qu'il s'agisse de sa constitution physique à travers ses principaux éléments, des paramètres cinématiques des différentes parties fonctionnelles et mobiles qui le composent, de leur contrôlabilité, comme de la dynamique globale d'évolution du système technique ... etc. Toujours dans le sens de plus de perfectionnement, de rentabilité, d'utilité, de simplicité, moins de nuisances et aux moindres coûts jusqu'à atteindre un état idéal de développement. Chaque loi définit les conditions requises pour satisfaire les modifications du système étudié pour lui permettre d'évoluer dans le sens de ce qui est indiqué par cette loi. Connaître ces lois et les dispositions évolutives, traduites objectivement à partir des descriptions de leurs définitions et de l'image de la transformation qui surgit de l'observation du système, devrait permettre aisément aux entreprises du secteur du PMI/PME d'innover.

Selon l'analyse effectuée sur les différentes définitions des lois, notre modèle est structurée suivant différentes étapes intégrées dans un algorithme. La première étape de ce modèle est relative à la délimitation du système par rapport à son environnement extérieur repéré par sa source d'énergie et par l'objet sur lequel il agit, ainsi que l'identification de ses éléments fonctionnels. Son objectif est de détecter un éventuel manque ou défaillance parmi ses éléments et de prendre en charge sa résolution. C'est là, la première étape de son évolution selon la loi n° 1. La deuxième étape consiste à faire évoluer le système selon la loi n° 2, en résolvant les problèmes liés à la perte d'énergie ou à un rendement énergétique non satisfaisant, en recherchant toutes ressources disponibles mais pas exploitées par le système, afin de s'en servir pour augmenter le rendement du système. La troisième étape, préconisée par la loi n°3, vise une évolution du fonctionnement du système vers un état de coordination totale où toutes les fonctions de ses éléments sont exécutées dans une suite parfaitement rythmée. Cette coordination du rythme de fonctionnement doit concerner autant ses éléments internes que ceux externes qui ne lui sont pas propres,

mais qui participent à la réalisation de sa fonction principale. Et enfin la dernière étape prône de quantifier le degré d'idéalité des fonctions et de les classer. On remarque que les lois d'évolution n°4 et n°5 sont très complémentaires et de fait, font partie de la même étape. D'une part, on a la loi quatre qui permet de quantifier le niveau d'idéalité des éléments fonctionnels du système, et de les classer selon ce niveau. Et d'autre part, on a la loi cinq qui propose d'améliorer les unités du système en commençant par la moins évoluée.

Nous avons fondé nos hypothèses sur le respect des règles et des connaissances exprimées par les lois d'évolution. Elles précisent les critères de viabilité d'un système technique, les conditions de fonctionnement lui permettant d'atteindre les meilleures performances et l'ordre selon lequel doivent évoluer ses fonctions.

Nous avons procédé à la réalisation d'expérimentations (voir chapitre 9,10 et 11) pour tester notre modèle, avec l'aide d'étudiants en innovation regroupés pour la circonstance, dans une salle de classe. Nous avons choisis, comme supports d'expérimentation, des systèmes techniques de manière à ce qu'ils soient différents dans leur nature, dans la fonction principale qu'ils développent, par l'énergie qui les alimente, par leur complexité, dans leur fonctionnalité.

Peu d'entreprises disposent de compétence d'innovation. Nous l'avons déjà souligné. Nous rappelons ici le paradoxe soulevé par [Ledibois 2001]: « *malgré l'affirmation de leur volonté d'innover, il n'existe, dans les entreprises, ni responsable de l'innovation, ni département d'innovation, ni processus d'innovation structuré* ». Aussi l'usage de notre modèle est adapté de manière à ce qu'il soit accessible, autant que possible, à toutes les entreprises. Les conditions de déroulement de nos expérimentations sont celles qui prévalent au sein des entreprises, elles n'ont, en rien, affecté les résultats. Si le nombre de systèmes techniques utilisés, lors de ces tests, peut sembler insuffisant, compte tenu du temps limité que peuvent nous consacrer bénévolement les participants, le choix très varié quant à leur nature, leur destination, leur technique, leurs composants, l'énergie les alimentant, etc. fait que l'expérimentation garde toute sa crédibilité. Le modèle n'étant pas exclusif, il est destiné à l'ensemble des systèmes. Les hypothèses mises au cœur de notre dispositif, ont permis d'atteindre nos objectifs. Les résultats des expérimentations portant sur l'identification de tous ces éléments ont été satisfaisants et ont permis de valider nos hypothèses, et par voie de conséquence notre modèle.

L'utilisation de ce modèle sur les systèmes techniques ouvre de larges perspectives d'application. D'usage facile et accessible aux entreprises, notamment les PME-PMI, ce modèle constitue un moyen efficace pouvant aider à la résolution des problèmes d'innovation sur les systèmes techniques.

Cependant nous restons très conscients qu'un travail de recherche important reste encore à entreprendre, pour le compléter afin qu'il soit applicable à l'ensemble des lois. Le travail sera nécessairement poursuivi par nos soins et, peut-être, par d'autres chercheurs. Nous poursuivrons son développement en enrichissant sa base de données avec d'autres informations dont on continuera l'extraction, en rajoutant d'autres fonctionnalités pour mettre en pratique les prévisions de développement futur

des systèmes en concordance avec les progrès scientifiques réalisés ces dernières années.

Nous restons convaincus que les lois d'évolution des systèmes techniques n'ont pas encore révélé toutes leurs potentialités. Leurs définitions qui semblent exprimer des généralités, en raison de la multitude de systèmes et à leur très vaste diversification, donnent au contraire des indications assez précises quant aux situations problématiques qui font obstruction à l'évolution du système technique. C'est dans ces définitions que l'exploration doit se poursuivre et constituer une préoccupation majeure de la communauté scientifique, pour enrichir la base de données et ouvrir de larges horizons à l'application des lois d'évolution des systèmes techniques.

Annexe : Questionnaires utilisés pour la réalisation des expérimentations

1. Questionnaire de l'expérimentation numéro 1 sans utilisation du modèle

Utiliser la définition présentée ci-dessous pour déterminer les principaux éléments permettant le fonctionnement des systèmes techniques.

Définition : Loi 1 « Intégralité des parties d'un système technique »

Un système technique est composé de 4 parties :

- une entité motrice ;
- une entité de transmission ;
- une entité de travail ;
- une entité de contrôle.

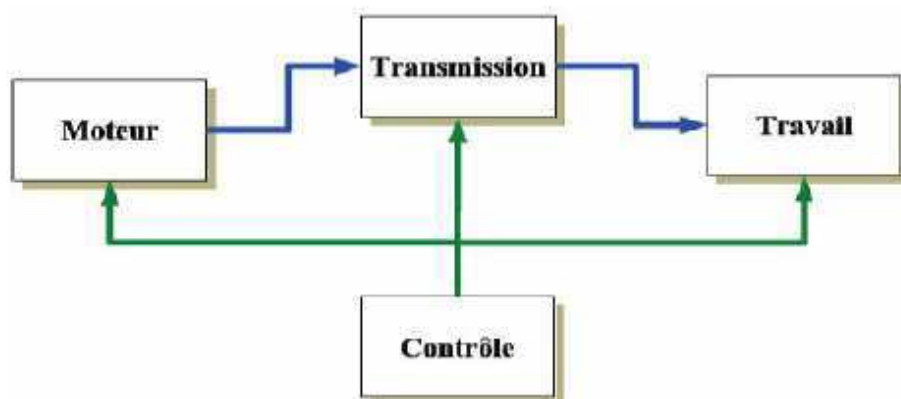


Figure : Les quatre composants d'un système technique

Pour réaliser une fonction, une énergie doit être utilisée, éventuellement transformée et véhiculée à chaque d'utilisateur. Chacune des 4 entités précédentes doit être présente et utile à la réalisation de cette fonction dans le système technique. Si une seule entité du système manque de performance, le système technique ne fonctionnera pas, même si les autres entités sont jugées performantes [Cavallucci 1999b]. Cette loi annonce aussi une condition indispensable sur la nécessité de contrôlabilité des entités du système.

Le contrôle de l'opérateur à proximité de la réalisation de l'action est un gage de bon fonctionnement. Le critère pour cette loi est le nombre minimum d'entités concernées par le contrôle ainsi que la proximité de l'entité contrôlée et de l'action.

Questions :

Déterminer l'élément moteur, l'élément transmetteur, l'élément opérateur et l'élément de contrôle

2. Questionnaire de l'expérimentation numéro 1 avec utilisation du modèle

2.1 Questions générales sur le système

- Quelle est la fonction principale du système à étudier ?
- Quelle est la nature de l'énergie externe reçue par le système qui lui permet d'effectuer sa fonction principale ? et Quelle est la source de cette énergie ?
- Quel est l'objet sur lequel le système agit ?

2.2 Questions pour déterminer les éléments fonctionnels du système

Identification de l'élément opérateur

- Quelle est la partie du Système Technique qui est en contact direct avec l'objet sur lequel le système agit ?

Identification de l'élément moteur

- Rappeler la source de l'énergie ?
- Quel est l'élément du système directement en contact avec cette source d'énergie ?
- Vérifier que cet élément du système capte l'énergie puis la transforme en une autre forme d'énergie utilisable par un autre élément du système ?

Identification du transmetteur

- Quel est le chemin de l'énergie ?
- Quel sont les éléments qui véhiculent l'énergie ?

Identification du contrôleur

- Quel est l'élément qui détermine le niveau d'action de l'unité de travail ?

3. Questionnaire de l'expérimentation numéro 2 sans utilisation du modèle

Application de la loi 2

Définition Loi 2 « Conductivité énergétique (*Taking out*) »

Un système technique doit permettre un libre passage de l'énergie à travers toutes ses entités. De plus, tout système technique peut être un convertisseur d'énergie. Par conséquent, il est nécessaire de transmettre l'énergie du moteur, via la transmission, à l'entité de travail [Cavallucci 1999b]. La transmission d'énergie doit être la plus efficace possible. Le nombre de conversions de l'énergie utile dans le système tend à diminuer avec son évolution [Grevy 2004].

Questions :

Est-ce que le système remplit les conditions exprimées par la loi 2 ? Si non détecter l'obstacle qui en est la cause, est-il possible d'améliorer certaines fonctions du système pour remplir ces conditions ?

Application de la loi 3

Définition : Loi 3 « Coordination du rythme des parties (*Local quality*) »

Un système technique ne fonctionne que si toutes ces parties agissent dans une parfaite synchronisation où les fréquences et les périodicités de leurs actions s'enchaînent harmonieusement. L'ensemble des parties peut être actionné soit en phase, soit en opposition de phase, mais toujours selon le programme prévu par le fonctionnement du système technique.

Les actions des différentes entités du système technique doivent être entièrement coordonnées, voir complémentaires (travail d'une partie pendant le repos d'une autre). Les rythmes (fréquence, périodicité, ..) doivent être en harmonie [Ameglio 2005].

Questions :

Est-ce que le système remplit les conditions exprimées par la loi 3 ? Si non est-il possible d'améliorer certaines fonctions du système pour remplir ces conditions ?

4. Questionnaire de l'expérimentation numéro 2 avec utilisation du modèle

Application de la loi 2

- Est ce qu'il y a des pertes d'énergie lors du fonctionnement du système ? Ou se situent-elles ? A quoi sont-elles dues ?
- Exprimer la faiblesse du système par rapport à ces pertes d'énergie ?
- Le rendement énergétique global du système est-il satisfaisant ? Si non exprimer la faiblesse liée à ce problème ?

Application de la loi 3

- les rythmes de fonctionnement des éléments fonctionnels du système, de la source d'énergie et de l'objet sont-ils coordonnés? Si non exprimer la faiblesse liée à ce problème

5. Questionnaire de l'expérimentation numéro 3

- Pour chaque fonction d'une unité du système, déterminer son niveau d'utilité ou de nuisibilité ainsi que le niveau de son coût en utilisant le tableau ci-dessous ?

Fonctions du système	Utilité				Nuisance				Coût			
	Très peu utile	Peu utile	utile	Très utile	Très peu nuisible	Peu nuisible	nuisible	Très nuisible	Très peu couteuse	Peu couteuse	couteuse	Très couteuse

Tableau : Evaluation des fonctions du système

- En suivant l'ordre croissant sur le degré d'idéalité obtenu en utilisant la formule d'idéalité d'Altshuller, exprimer la faiblesse de chaque fonction ?

Glossaire

Analyse de la valeur : l'analyse de la valeur est 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.

ARIZ « Algorithme de résolution des problèmes inventifs » : Il comporte tout un ensemble d'étapes riches et organisées, destinées à la mise en œuvre de la théorie TRIZ avec ordre et méthodologie

Brainstorming : la méthode du brainstorming est une technique de résolution créative de problèmes permettant de produire des idées nouvelles. Généralement elle consiste à former un groupe de personnes les plus diversifiées possibles afin de favoriser l'émergence d'idées nouvelles et variées, puis de présenter le thème de la session; et chaque personne présente ses idées.

Créativité : la créativité déclenche au sein d'un groupe d'individus la génération d'idées nouvelles et utiles.

Contradiction : on dit qu'on est face à une contradiction lorsque l'amélioration d'une fonction (ou caractéristique) d'un système entraîne la dégradation d'une autre fonction (caractéristique).

Découverte : la découverte est l'action de trouver ce qui était inconnu ou ignoré.

Extraction d'information : l'extraction d'information consiste à rechercher automatiquement des informations dans des textes en langue naturelle.

Inertie psychologique : les habitudes et les compétences dans un domaine donné, les idées reçues, les formules bien arrêtées, l'enfermement dans ses propres raisonnements, etc. constituent autant de barrières psychologiques qui empêchent inconsciemment le chercheur d'être créatif, de raisonner avec un certain recul, de se libérer de sa fixation sur l'idée de départ. Il ne se résout pas à chercher ailleurs dans d'autres champs de compétences que les siennes.

Innovation : l'innovation est la création d'un nouveau produit, dont la commercialisation connaîtra un succès.

Innovation participative : l'innovation participative consiste à mettre en place au sein de l'entreprise un système de gestion des idées qui stimule et recense les idées nouvelles des salariés de cette entreprise.

Invention : l'invention caractérise l'activité humaine d'imagination, de création et de confection d'objets nouveaux.

Lois d'évolution : les lois d'évolution des systèmes techniques sont des tendances selon lesquelles les systèmes évoluent selon des règles précises.

Matrice des contradictions : elle se présente sous la forme d'une table où les lignes correspondent aux paramètres du problème à améliorer et les colonnes aux paramètres du problème qui se dégradent, au croisement ligne, colonne, la table donne de un à quatre principes généraux correspondants aux solutions ou directions de recherche des solutions des contradictions techniques modélisées au moyen des 39 paramètres, représentant les facteurs, les plus souvent, sources de conflits.

Méthode des hommes miniatures : c'est une méthode destinée à surmonter l'inertie psychologique des concepteurs par leur imagination. Il s'agit de s'imaginer sous la forme d'hommes miniatures pouvant naviguer dans un univers mental qui représente un grossissement de la zone réelle de la contradiction permettant de distinguer les détails infiniment petits, pouvant suggérer des idées de solution.

Principes de séparation : les principes de séparations sont des principes inventifs destinés à la résolution des contradictions physiques. Une contradiction physique définit une situation problématique dans laquelle une caractéristique d'un élément présente deux propriétés contradictoires à la fois

Problème Inventif : c'est un problème qui contient au moins une contradiction technique et qui ne peut pas être résolu, avec des connaissances ordinaires ou des moyens techniques communs à l'entreprise. La résolution de ce problème inventif passe par l'ouverture sur un autre champ de compétences où il est possible qu'une solution existe.

QFD : la méthode QFD (Déploiement de la Fonction et de la Qualité) est une méthode qui transforme les demandes des utilisateurs en qualité de conception, pour développer les fonctions formant la qualité, déployer les moyens pour atteindre la qualité de conception en sous-systèmes et composants et finalement pour spécifier les éléments du processus de fabrication.

Ressource : on appelle ressources tous les éléments appartenant au système ou existant dans son environnement immédiat comme l'espace qui l'entoure, les substances qui y vivent et les énergies avec lesquelles il fonctionne ou celles qui existent dans son environnement et dont il peut s'en servir.

Résultat Final Idéal : il représente le résultat idéal à atteindre. C'est un objectif que tout concepteur doit garder dans son esprit, à défaut de l'obtenir physiquement, puisque irréel, il permettra l'ouverture des voies menant à la résolution du problème.

Schémes fondamentaux : la méthode des schémas fondamentaux propose d'utiliser cinq schémas fondamentaux, dérivés d'une analyse historique de produits nouveaux pour trouver des solutions innovantes.

S-Field : c'est la traduction du mot russe Vépole qui est un néologisme composé de « Ve », première syllabe du mot matière et de « Pole » signifiant champ, associés ils forment ainsi le mot composé S-Field : avec « S » première lettre du mot Substance et

« Field » signifiant « champ ». L'appellation « *modèles champ substance* » utilisée ici reprend la traduction anglo-saxonne « *Substance Field models* » ou « *Su-Field* ».

Synectique : la synectique est une technique de stimulation des facultés créatrices.

Système technique : un système technique est composé de 4 parties : une entité motrice, une entité de transmission, une entité de travail et une entité de contrôle. Pour réaliser une fonction, une énergie doit être utilisée, transformée et transmise, chacune des 4 entités précédentes doit être présente et participer utilement à la réalisation de cette fonction dans le système technique

Système idéal : un système idéal est un système qui n'a pas de coût, de surface, ni de poids, qui ne consomme pas d'énergie, ne nécessite pas de maintenance, qui maximise sa capacité de travail et ses fonctionnalités.

Teian : La méthode des boîtes à idées (Teian en japonais), permet à tout salarié de l'entreprise, quelque soit son niveau hiérarchique de présenter ses idées nouvelles, qui seront évaluées afin de décider de leur mise en œuvre.

Thésaurus : index alphabétique de mots reliés entre eux par des relations sémantiques

TRIZ : TRIZ est l'acronyme de théorie de résolution des problèmes inventifs, elle a été créée et développée par Genrich Altshuller en ex-URSS en 1946. Elle est définie comme un outil de génération d'idées dans la résolution des problèmes inventifs.

REFERENCES

- Afnor, R. (1990). Caractéristiques fondamentales de l'analyse de la valeur.
- Akao, Y. (1994). Development History of Quality Function Deployment. The Customer Driven Approach to Quality Planning and Deployment. J. A. P. Organization. Tokyo: 339.
- Al Haj Hasan, I. (2008). Alimentation automatique d'une base de connaissances à partir de textes en langue naturelle. Application au domaine de l'innovation. Université Blaise Pascal – Clermont-Ferrand II. France.
- Alami, S. (2009). Les méthodes qualitatives. France.
- Altshuller, G. S. and Shapiro, R. (1956). "About Technical Creativity." Journal Questions of Psychology.
- Altshuller, G. S. (1963). "How to Work on an Invention: About a Theory of Inventiveness." Azbuka Ratsionalizatora.
- Altshuller, G. S. (1984a). Creativity as an Exact Science. New York, Gordon and Breach Science Publishers.
- Altshuller, G. S. (1984b). And suddenly the inventor appeared. Technical Innovation Center, Ideation International.
- Altshuller, G. S. (1985a). Algorithm for Solving Inventive Problems ARIZ-85C.
- Altshuller, G. S. (1985b). Inventive Standards 76.
- Altshuller, G. S. (1999). The innovation algorithm TRIZ: systematic innovation and technical creativity Genrich ALTSHULLER Traduit par Lev SHULYAK et Steven RODMAN Technical innovation center, inc, worcester, ma, 1999 Isbn 0- 9640740-4-4.
- Altshuller, G. S.. (2002). Et soudain apparut l'inventeur, Paris, Ed. Seredinski (The Art of Inventing – And Suddenly the Inventor Appeared, Moscow : Detskaya Literatura, 1st edition : 1984).
- Ameglio, F. (2005). Les lois d'évolution de TRIZ pour une nouvelle méthode de veille prospective, Université Paul Cézanne Aix-Marseille III (UPCAM).
- Amidon, D. (1997). Innovation et management de connaissances. Editions d'Organisation.
- Asaki, Y. and Matsuo, Y. (2000). Learning Semantic-Level Information Extraction Rules by Type-Oriented. 18th International Conference on Computational Linguistics (COLING-2000): 698-704.
- Aznar, G. (2005). Idées: 100 techniques de créativité pour les produire et les gérer.
- Bachelet, R. (2007). Recueil, analyse et traitement des données (cours en ligne).
- Beaufils, P. (2000). "Innovez grâce à La méthode TRIZ." Industries et Techniques.
- Béchet, F., Nasr, A. et al. (2000). Tagging Unknown Proper Names Using Decision Trees. 38th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL'2000).
- Belski, I. (1999). "Solving Problems With Method of the Ideal Result." TRIZ journal.
- Bersano, G., Russo, D. et al. (2010). European testing of the efficiency of TRIZ in eco-innovation projects for manufacturing SMEs. 10 th ETRIA world TRIZ future conference. bergamo university press. Italy.
- Bertoluci, G. (2001). Proposition d'une amélioration de la cohérence des processus industriels. Ecole Nationale d'Arts et Métiers, Centre de Paris
- Bertoluci, G. and Le Coq, M. (2001). Démarche de résolution de problème. 7ème Colloque sur la Conception Mécanique.
- Bikel, D., Schwartz, R. et al. (1999). "An algorithm that learns what's in a name." Machine Learning 34(211-231).
- Boldrini, J. C. (2005). L'accompagnement des projets d'innovation. Le suivi de l'introduction de la méthode TRIZ dans des entreprises de petite taille. Faculté de Sciences Économiques et de Gestion. France, Université de Nantes.

- Boldrini, J. C. (2011). Le rythme implacable de l'innovation est-il gouverné par des lois d'évolution internes aux objets ? Paris, Institut d'Économie et de Management de Nantes – IAE.
- Burns, T. and Stalker, G. M. (1961). The Management of Innovation.
- Califf, M. and Mooney, R. J. (1999). Relational Learning of Pattern-Match Rules for Information Extraction. 16th National Conference on Artificial Intelligence: 328-334.
- Cavallucci, D. (1999a). Contribution à la conception de nouveaux systèmes mécaniques par intégration méthodologique France, Université de Strasbourg 1.
- Cavallucci, D. (1999b). TRIZ : l'approche altshullerienne de la créativité. Techniques d'ingénieur.
- Cavallucci, D. (2007). "Cours d'introduction à la TRIZ." from <http://www.inventive-design.net/content/view/14/175/>.
- Cavallucci, D. and Lutz, P. (1997). TRIZ, Un concept nouveau de résolution de problème d'innovation. Deuxième Congrès International Franco-Québécois de Génie Industriel
- Cavallucci, D. and Lutz, P. (1997b). "TRIZ, une nouvelle théorie d'aide à l'innovation industrielle." La Revue Française de Gestion Industrielle (RFGI) 16-N°3: 15-23.
- Cavallucci, D. and Lutz, P. (1998). "TRIZ, Une nouvelle approche de résolution des problèmes d'innovation." International Journal of DESIGN and INNOVATION RESEARCH (IJODIR) 1.
- Cavallucci, D., Lutz, P. et al. (2002). Converging in problem formulation : a different path in design. ASME Design Engineering Technical Conferences, Canada (Montreal).
- Cavallucci, D., Rousselot, F. et al. (2009). "Linking Contradictions and Laws of Engineering System Evolution within the TRIZ Framework." Blackwell Publishing.
- Cavallucci, D. and Weil, R. D. (2001). "Integrating Altshuller's Development Laws for Technical Systems into the Design Process." CIRP Annals – Manufacturing Technology.
- Chandy, R. K. and Tellis, G. J. (1998). "Organizing for radical product innovation : the overlooked role of willingness to cannibalize." journal of Marketing Research 474-487.
- Changqing, G., Kezheng, H. et al. (2005). "Comparison of Innovation Methodologies and TRIZ." TRIZ journal.
- Chin Pin, S., Haron, F. et al. (2011). "Applying TRIZ principles in crowd management " Safety Science(2): 286-291.
- Choulier, D. (2000). Une approche de résolution des problèmes d'innovation dans la conception de produits.
- Choulier, D. (2004a). Synthèse sur les lois d'évolution : Comparaison entre les points de vue de SIMONDON, DEFORGE, et ALTSHULLER, Université de technologie de Belfort-Montbéliard.
- Choulier, D. (2004b). TRIZ : Etat d'esprit, Laboratoire M3M Equipe Conception Innovante et Distribuée, Université de technologie de Belfort – Montbéliard.
- Choulier, D. (2010). Réflexions sur les lois d'évolution de TRIZ, Université de technologie de Belfort Montbéliard (UTBM).
- Choulier, D. (2011). Découvrir et appliquer les outils TRIZ. France.
- Christensen, C. A. and Tan, A. (2000). Developing Ideas for Innovative Products.
- Comité Européen de normalisation (2004). European Guide to good Practice in Knowledge Management
- Commission Européenne (1996). Livre vert sur l'innovation. Luxembourg.
- Cool, J. P. (2006). "Niche Markets : Targeting High-Value Market Segments using TRIZ." TRIZ journal.

- Cortes Robles, G. (2006). Management de l'innovation technologique et des connaissances : synergie entre la théorie TRIZ et le Raisonnement à Partir de Cas. France, Institut National Polytechnique de Toulouse.
- Cortes Robles, G., Negny, S. et al. (2005). Innovation and Knowledge Management: TRIZ at the Core of the Knowledge Creation Process ETRIA World Conference
- Creax. (2004). "Innovation Suite 3.1, User Manual." from http://www.dyu.edu.tw/~msung/Research/Creativity/TRIZ/TRIZ_Books/CIS_3.1-User_Manual.pdf.
- Creax. (2006). "Creax innovation Suite 3.1, Systematic innovation just got easier." from <http://www.knowllence.com/fr/produits/creatriz.php>.
- Crubleau, P. (2002). L'identification des futures générations de produits industriels. Proposition d'une demarche utilisant les lois d'évolution de TRIZ. France, université d'Angers.
- Czerepinski, R., Cz innovation, et al. (2002). "Product Review: TRIZ Digital Assistant." TRIZ journal, from <http://www.triz-journal.com/archives/2002/08/e/index.htm>.
- Dahl, D. W. and Moreau, P. (2002). "The influence and value of analogical thinking during new product ideation." Journal of Marketing Research: 47-60.
- Dal Pont, J. P. (1999). "L'entreprise Industrielle " Techniques de l'ingénieur.
- Deforge, Y. (1981). Technologie et génétique de l'objet industriel Paris.
- Dewar, R. D. and Dutton, J. E. (1986). "The adoption of radical and incremental innovations: an empirical analysis." Management Science: 1422-1433.
- Dictionnaire ROBERT (2007).
- Domb, E. (1999). "Strategic TRIZ and Tactical TRIZ : using the technology Evolution tools." TRIZ journal.
- Domb, E. (2001). " What is TRIZ? Managing Creativity for Project success." TRIZ journal.
- Domb, E. et al. (2000). "Review: TRIZ Explorer Software." from <http://www.triz-journal.com/archives/2000/08/e/index.htm>.
- Domb, E. and Miller, J. A. (2007). "Applying the Law of the Completeness of a Technological System to Formulate a Problem." TRIZ journal.
- Domb, E. and Rantanen, K. (2002). "Simplified TRIZ, New Problem-Solving Applications for Engineers and Manufacturing Professionals." St. lucie press.
- Droesbeke, J., Lejeune, M. et al. (2005). Modèles statistiques pour données qualitatives. Paris.
- Druel, F. (2007). Évaluation de la valeur à l'ère du Web : Proposition de modèle de valorisation des projets non marchands. France, UNIVERSITÉ D'ANGERS.
- Dubois, S. (2004). Contribution à la Formulation des Problèmes en Conception de Systèmes Techniques. Étude basée sur la TRIZ Université Louis Pasteur – Strasbourg I.
- Duchamp, R. (1999). Méthodes de conception de produits nouveaux. Paris.
- Duran-Novoa, R., Leon-Roviraa, N. et al. (2011). "Inventive problem solving based on dialectical negation, using evolutionary algorithms and TRIZnext term heuristics." Procedia Environmental Sciences 2: 1326-1334.
- Durand (1999). Le Duff Robert. Encyclopédie de gestion et de management. Dalloz. Paris.
- ENSAM (2005). Historique de TRIZ
- Equipe MAL'IN. (2003). "Méthode d'aide à l'innovation." from <http://www.trefle.u-bordeaux1.fr/malin/index.html>
- Fear, S. (1998). Methods of election campain strategy and tactics. Saint Petersburg.
- Fey, V. (1999). "Dilemma Of A Radical Innovation - A New View on the Law of Transition to a Micro-Level." TRIZ journal.
- Fey, V. (2001). "Glossery of TRIZ." TRIZ journal.
- Fourastié, J. (1979). Les trente glorieuses, La révolution invisible de 1946 à 1975.

- Gao, H.-F. (2011). "Innovation of applying the TRIZ theory and method to improve the textile technology " Wool Textile Journal: 54-58
- Gatignon, H., Tushman, M. L. et al. (2002). "A structural approach to assessing innovation : construct development of innovation locus, type and characteristics." Management Science: 1103-1122.
- Gettler–Summa, M. and Pardoux , C. (2008). La classification automatique Université Paris – Dauphine.
- Getz, I. and Robinson, A. G. (2003). Vos idées changent tout Paris.
- Giget, M. (1998). La dynamique stratégique de l'entreprise. Paris.
- Goldenberg, J., Lehmann, D. R. et al. (2001). "The idea itself and the circumstances of its emergence as predictors of new product success." Management Science: 64-84.
- Goldenberg, J., Mazurisky, D. et al. (1999). "Toward identifying the inventive templates of new products: a channelled ideation approach." Journal of Marketing Research: 200-210.
- Gordon, W. (1984). Synectics.
- Gotteland, D. and Haon, C. (2005). Développer un nouveau produit méthode et outils. France.
- Grevy, G. (2004). Lois d'évolution des systèmes techniques.
- Griffin, A. and Page, A. L. (1993). "An interim report on measuring product development success and failure." Product Innovation Management
- Grishman, R. (1997). "Information extraction: Techniques and challenges." Information Extraction: techniques and challenges: 10-27.
- Guide de l'innovation. (2010). "Le guide de l'innovation." from <http://www.guidedesautomatismes.com/cit/>.
- Haon, C. and D. Gotteland. (2008). "La pertinence d'une idée n'est pas la seule condition de succès." from <http://www.journaldunet.com/management/0606/0606141-retrans-gotteland-haon.shtml>.
- Henderson, R. M. and Clark, K. B. (1990). "Architectural innovation : the reconfiguration of existing product technologies and the failure of existing firms." Administrative Science Quarterly: 9-30.
- Hippel, E. V., Thomke, S. et al. (2003). "L'innovation chez 3M." Harvard Business Review s'intitulant.
- Hipple, J. (1999). "The Use of TRIZ Separation Principles to Resolve the Contradictions of Innovation Practices in Organizations." TRIZ journal.
- Hipple, J. (2002). "The Integration and Use of Myers Briggs Profiles within a TRIZ Problem Solving Session." TRIZ Journal.
- Ibekwe-SanJuan, F. (2007). Fouille de textes : méthodes, outils et applications. Paris.
- Ideal Matrix. (2009). "New TRIZ Software: Ideal Matrix." from <http://www.idealmatrix.com/>.
- Ideation International. (2006). "History of TRIZ & I-TRIZ ", from <http://www.ideationtriz.com>.
- Ideation International. (2011). "TRIZ & I-TRIZ." from <http://www.ideationtriz.com/triz.asp>.
- Institute of Innovative Design. (2010). "Innokraft : Innokraft 5.0 : program modules ", from <http://triz-guide.com/Innokraft.html>.
- Invention Machine. (2003). "Goldfire Innovator." from http://www.eng.nus.edu.sg/etm/Documents/gf_brochure.pdf.
- iwint INC. (2010). "CBT/TRIZ™ 5.0 – Computer-Based Training for TRIZ." from http://www.iwint.com.cn/uplmgFile/cbtTRIZ5_EN.pdf
- Iwint INC. (2010). "Site web d'INWIT." from <http://www.iwint.com/en/>
- Japan Human Relation Association and Kaizen teian (1992). "Developing systems for continous improvement through employee suggestions." Productivity Press.

- Julien, P. A., Vaghely, I. et al. (2003). PME et contrôle de l'information : le rôle du troisième homme. Colloque d'Agadir.
- Junghwan, K., Jinkyung, K. et al. (2009). "Application of TRIZ creativity intensification approach to chemical process safety." Journal of Loss Prevention in the Process Industries: 1039-1043.
- Kaplan, S. (1996). Introduction to TRIZ: The Russian Theory of Inventive Problem Solving. Ideation International Inc. Southfield MI.
- Killanders, A. (1996). "Generating electricity for families in northern Sweden." Report from the Department of Manufacturing Systems Royal Institute of Technology.
- Laroche, F., Coppens, C. et al. (2004). Etude et évaluation d'un outil d'aide à l'innovation intégrant les données capitalisées, PSA Peugeot Citroen.
- Larousse (2008). Dictionnaire encyclopédique
- Latour, B. (2003). L'impossible métier de l'innovation technique Encyclopédie de l'Innovation. Economica.
- Lattuf, J. A. (2006). Aide au pilotage d'une démarche d'innovation en conception de produits. France, École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers.
- Le Masson, H. (2001). "Innovation répétée et croissance de la firme. Micro-économie et gestion des fonctions de conception".
- Le Nagard-Assayag, E. and Manceau, D. (2001). "New product preannouncements in the context of indirect network externalities." International journal of Research in Marketing: 203–219.
- Ledibois, D. (2001). "Management de projet d'innovation : un processus pour réduire les risques." A.F.I.T.E.P.: 61-71.
- Leon-rovira, N. and Aguayo, H. (1998). "A new Model of the Conceptual Design Process using QFD/FA/TRIZ " TRIZ journal.
- Lilly, B. and Walters, R. (1997). "Toward a model of a new preannouncement timing." Journal of Product Innovation Management: 4-20.
- Linde, H., Herr, G. et al. (2006). Innovation of the Integrated Product and Process Development by WOIS. TRIZ Conference. Osaka.
- Litvin, S., Feygenson, N. et al. (2010). Advanced function approach. 10 th ETRIA world TRIZ future conference. bergamo university press. Italy.
- Luseau, C. (2010). "TRIZ : une méthodologie d'aide à l'invention." sciences de l'ingénieur.
- Mann, D. (2005). "Disruptive Advertising: TRIZ And the Advertisement." TRIZ journal.
- Mann, D. and Domb, E. (1999). "40 Inventive (Business) Principles With Examples." TRIZ journal.
- Martin, O. (2007). L'analyse des données quantitatives, l'enquête et ses méthodes.
- Martre, H. (1994). IE et stratégie des entreprises.
- Mazur, G. (1996). Théory of problem solving TRIZ.
- Meylan, C. (2007). Système TRIZ de stimulation de la créativité et d'aide à l'innovation, Méthodes pratiques pour la résolution de problèmes techniques et la recherche de nouvelles opportunités d'affaires.
- Miller, J. and Domb, E. (2001). "Using the 76 standards solutions : a case study for improving the word food supply." TRIZ journal.
- MIT Report (1997). "A TRIZ Analysis."
- Morrison, P. D., Roberts, J. H. et al. (2000). "Determination of user innovation and innovation sharing in a local market." Management Science: 1513-1527.
- Nakagawa, T. (1998). "Software tools for TRIZ : Invention machine's TechOptimizer pro ", from <http://www.osaka-u.ac.jp/php/nakagawa/TRIZ/eTRIZ/epapers/eTRTechOpt980607/eTR-1.html>.
- Nakawage, T. (1999). "Report of a personnal Trip to Triz mother countries (Russia and Belarus, Aug. 1999)." TRIZ journal.

- Navarre, C. (2000). "Le rôle stratégique de la gestion et du pilotage des projets de nouveaux produits dans le contexte de l'industrie automobile." Revue de gestion 13-30.
- Ngassa, A., Thouvenin, E. et al. (2000). Intégration de nouvelles ressources dans l'entreprise pour innover. Application à la méthode TRIZ et à la veille technologique. 3ème conférence internationale sur la conception et la fabrication intégrée en mécanique IDMME 2000. Montréal.
- Nunaly, J. C. (1967). Psychometric Theory. New York, McGraw-Hill Company. Online Etymology Dictionary (2011).
- Perret, F. L. and Louafa, T. (2008). "Créativité et innovation: l'intelligence collective au service du management " PPUR presses polytechnique: 71.
- Perrin, J., J. Forest, et al. (2002). Enjeux industriels et épistémologiques des sciences de la conception. International Conference of The Sciences of Design France: 1-9.
- Piaget, J. (1947). La Psychologie de l'Intelligence. Paris.
- Poibeau, T. (2003). Extraction automatique d'information : de texte brut au web sémantique. Paris.
- Pretium Innovation LLC. (2011). "TRIZ Software." from <http://www.pretiumllc.com/soft/>.
- Reboul, C. (2004). État des lieux en 2004 de l'utilisation de TRIZ dans les entreprises françaises.
- Regazzoni, D. and Russo, D. (2010). TRIZ tools to enhance Risk Management. 10 th ETRIA world TRIZ future conference. bergamo university press. Italy.
- Retseptor, G. (2005). "40 Inventive Principles in Marketing, Sales, and Advertising." TRIZ journal.
- Robertson, T. (1971). Innovative behavior and communications. New York, Rinehart and Winston
- Rogers, E. (1962). Diffusion of innovation
- Royzen, Z. (1996). Solving Contradictions in Development of New Generation Products Using TRIZ. 2nd Annual Total Product Development Symposium.
- Russo, D. and Birolini, V. (2010). Towards the right formulation of a technical problem. 10 th ETRIA world TRIZ future conference. bergamo university press. Italy.
- Salamatov, Y. (1999). TRIZ : The Right Solution at the Right Time.
- Sang-ryong, K. (2006). Samsung Committed to Promoting MAHA Management Corporate Culture.
- Saporta, B. (1997). Stratégies des petites et moyennes entreprises.
- Savransky, S. D. (2000). "Engineering of Creativity: Introduction to TRIZ Methodology of Inventive Problem Solving." CRC Press.
- Scaravetti, D. (2004). Formalisation préalable d'un problème de conception, pour l'aide à la décision en conception préliminaire. France, Ecole nationale supérieure d'arts et métiers.
- Sekine, S. and Eriguchi, Y. (2000). Japanese named entity extraction evaluation: analysis of results. 18th conference on Computational linguistics (COLING-2000): 1106-1110.
- Seredinski, A. (2002). Et soudain apparût l'inventeur (par G. Altshuller).
- Seredinski, A. (2004). 40 principes d'innovation TRIZ pour toutes applications par Guenrich Altshuller. Paris.
- Simon, H. A. (1991). Sciences des systèmes, Sciences de l'artificiel, Paris, Aubier.
- Simondon, G. (1989). Du monde d'existence de l'objet technique, Paris, Aubier.
- Simondon, G. (2001). Du monde d'existence des objets techniques.
- Skrupskis, M. and Ungvari, S. (2000). " Management response to Inventive thinking in a public transportation agency." TRIZ journal.
- Soderland, S. (1999). Learning Information Extraction Rules for Semi-structured and Free Text. Machine Learning.

- Song, M. X. and. Montoya-Weiss, M. M. (1998). "Critical development activities for really new versus incremental products " Journal of Product Innovation Management: 124-135.
- Sonntag, M. (2007). "Pour l'ère nouvelle." Les sciences de l'éducation.
- Souchkov, V. (2008). A Brief history of TRIZ.
- Souchkov, V. (2010). TRIZ and Systematic Business Model Innovation. 10 th ETRIA world TRIZ future conference. bergamo university press. Italy.
- Stiegler, B. (2011). "Il y a beaucoup d'inventions qui ne produisent aucune innovation." from <http://www.telecoms-media-pouvoir.net/index.php/vu-sur-la-toile/bernard-stiegler-%E2%80%99Cil-y-a-beaucoup-d%E2%80%99inventions-qui-ne-produisent-aucune-innovation%E2%80%9D/>.
- Strauss, A. and Corbin, J. (2004). "Les fondements de la recherche qualitative : techniques et procédures de développement de la théorie enracinée." Academic Press Fribourg.
- Stuart-mill, J. (2002). System of logic, University Press of the Pacific.
- Systematic Innovation. (2009). "What is systematic innovation? What is TRIZ?", from <http://www.systematic-innovation.com/Products/products01.htm>.
- Tannier, X. (2008). Traitement Automatique des Langues.
- Te-Sheng, L. and Hsing-Hsin, H. (2011). "Applying TRIZ and Fuzzy AHP to develop innovative design for automated manufacturing systems." Expert Systems with Applications **36**: 8302-8312.
- Terninko, J. and Zusman, A. (1996). "Step by step : TRIZ : Creating Innovative Solution."
- Terninko, J., Zusman, A. et al. (1998). "Systematic Innovation: An Introduction to TRIZ." Boca Raton CRC Press.
- Terssac, G. and Friedberg, E. (1996). Coopération et conception. France.
- The Altshuller Institute. (2011). "The Altshuller Institut for TRIZ Studies." from http://www.aitriz.org/index.php?option=com_contact&task=view&contact_id=1&Itemid=3.
- The Insight Centre Delivering breakthrough innovation and change. (2011). "Ressources TRIZ." from <http://www.insightcentre.com/triz.html>.
- Thouvenin, E. (2002). Modélisation des processus de conception de produits et développement de la capacité d'innovation : application au cas de la PMI. France, Ecole Nationale supérieure des Arts et Métiers.
- Timothy, P. (2003). Problem solving with TRIZ: historical perspectives and understanding ideality.
- Tomiyaama, T. (1993). A Japanese view on concurrent engineering.
- TRIZ Digital Assistant. (2011). "Download TRIZ Digital Assistant Screenshots ", from http://download.cnet.com/TRIZ-Digital-Assistant/3004-2251_4-11067277.html.
- TRIZ France (2009). historique
- TRIZ home page of Mitsubishi Research Institute (1998). Software tools for TRIZ : Invention machine's TechOptimizer pro.
- TRIZ researcher in India and Umakant. (2011). "TRIZsite." from <http://www.trizsite.tk/trizsite/startup/default.asp?menu=999001TM>.
- Truchot, P., Duchamp, R. et al. (1997). "L'approche pluridisciplinaire de la conception de produits : une science de l'innovation." Deuxième Congrès International Franco-Québécois de Génie Industriel.
- Van Lier, H. (2006). L'individuation selon Gilbert Simondon
- Verhaegen, P. A., Vandevenne, D. et al. (2010). Effectiveness of the PANDA ideation tool. 10 th ETRIA world TRIZ future conference. bergamo university press. Italy.
- Vicente, G. and Jose, M. (2010). A rule of thumb to elucidate the physical contradiction. 10 th ETRIA world TRIZ future conference. bergamo university press. Italy.
- Volle, M. (1997). Analyse de données. Économie et statistiques avancées. Paris, Economica.

- Voronin, V. (2000). "Art : inspiration or mathematical calculation?" TRIZ journal.
- Wits, W. and Vaneker, H. J. (2010). TRIZ based interface conflict resolving strategies for modular product architectures. 10 th ETRIA world TRIZ future conference. bergamo university press. Italy.
- Wu, C. T. (2011). "Identifying an innovative su-field modeling design processes " International Journal of Mathematical Models and Methods in Applied Sciences 704-712
- Yang, C. J. and Chen, J. Y. (2011). "Accelerating preliminary eco-innovation design for products that integrates case-based reasoning and TRIZ method " Journal of Cleaner Production 19: 998-1006.
- Yangarber, R., Grishman, R. et al. (2000). Unsupervised Discovery of Scenario- Level Patterns for Information Extraction. 6th Conference on Applied Natural Language Processing (ANLP 2000): 282-289.
- Yung-Chin, H. (2005). "Creative Solution from TRIZ for the Business Contradiction in Red Ocean Strategy." TRIZ journal.
- Zhang, J. and Shang, J. (2010). "Research on Developing Environmental Protection Industry Based on TRIZ Theory." Procedia Environmental Sciences: 1326-1334.
- Zlotin, B. and Zusman, A. (1999a). "ARIZ on the move." TRIZ journal.
- Zlotin, B. and Zusman, A. (1999b). "An integrated Operational Knowledge Base (System of Operator) and the Innovation Workbench System Software." TRIZ journal.
- Zlotin, B. and Zusman, A. (1999c). "Problems of ARIZ Enhancement." TRIZ journal.
- Zlotin, B. and Zusman, A. (1999d). "Triz and pedagogy." TRIZ journal.
- Zlotin, B. and Zusman, A. (2001). "TRIZ beyond Technology : The theory and practice of applying TRIZ to non-technical areas." TRIZ journal.
- Zouaoua, D., Crubleau, P. et al. (2009). TRIZ : Une clé d'innovation pour le marketing. Confere, Maroc.

LOIS D'ÉVOLUTION DE TRIZ DANS LA PREDICTION DES FUTURES GENERATIONS DES PRODUITS : PROPOSITION DE MODELE

RESUME : Le contexte économique actuel a créé un fort besoin d'innovation dans les entreprises. Pour faire face à la concurrence ces dernières n'hésitent pas à s'entourer des méthodes d'innovation et de créativité. On en trouve plusieurs sur le marché, malheureusement certaines d'entre elles présentent des limites quant à leur capacité à aider les entreprises à trouver la solution innovante. Ces méthodes ne sont pas toutes fondées sur la connaissance structurée et l'histoire de l'évolution des produits comme c'est le cas pour la théorie TRIZ. Cette théorie est porteuse d'une base réelle de concepts et de principes qui aident à générer des idées de solutions à des problèmes communs à tous les domaines. TRIZ a inspiré le développement de plusieurs logiciels basés sur ses principaux concepts et outils. Cependant la plupart de ces logiciels n'ont pas intégré les lois d'évolution de manière résolument tournée vers l'identification des tendances d'évolution des systèmes techniques dans une perspective d'innovation pour anticiper sur leur futur développement. C'est là tout l'intérêt pour les entreprises de pouvoir disposer de méthodes pouvant les aider dans ce domaine. Notre objectif est d'explorer la théorie TRIZ pour proposer un modèle d'application des lois d'évolution de la théorie TRIZ dans l'innovation de produits. Notre modèle se fonde sur les concepts essentiels de la théorie précisément la résolution des contradictions et les lois d'évolution. Le modèle que nous proposons est destiné aux équipes de recherche et développement et aux entreprises qui pourront tirer des profits en gagnant du temps dans la recherche des axes d'améliorations des produits plus précisément dans la recherche des futures générations de produits.

Mots clés : innovation PME-PMI, théorie TRIZ, lois d'évolution, systèmes techniques, modèle d'innovation.

EVOLUTION LAWS OF TRIZ FOR A DESIGN OF FUTURE GENERATION OF PRODUCT: PROPOSED MODEL

ABSTRACT : The current economic environment has created a strong need for innovation in companies. To overcome the concurrence, they do not hesitate to use the innovation and creativity methods. We find several of them on the market; unfortunately some of them have limitations in their ability to help companies to find innovative solution. These methods are not all based on structured knowledge and history of products evolution as is the case for the TRIZ theory. This theory carries a real basis of concepts and principles that help to generate ideas for solutions to common problems in all areas. TRIZ inspired the development of several software based on its key concepts and tools. However, most of existing software has not incorporated the laws of evolution focused on the identification of trends of technical systems with a process of innovation to anticipate their future development. The benefit for these companies is to have available methods that can help in this area. Our goal is to explore the TRIZ theory to propose a model to apply the law of evolution of TRIZ in innovation of products. Our model is based on the essential concepts of the theory especially resolving contradictions and laws of evolution. The model that we propose is intended for research and development teams and allows companies making profits by saving time in fetching the areas of product enhancements specifically in search of the next generation of products.

Keywords : Innovation, TRIZ theory, evolution laws, technical systems, innovation model.