

N° d'ordre : 2366

Thèse

Présentée pour obtenir

LE TITRE DE DOCTEUR DE L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE TOULOUSE

École doctorale : Systèmes

Spécialité : Systèmes industriels

Par

Guillermo CORTES ROBLES

Titre de la thèse

**Management de l'innovation technologique et des connaissances :
synergie entre la théorie TRIZ et le Raisonnement à Partir de Cas.**

Application en génie des procédés et systèmes industriels

Soutenue le 19 juillet 2006 devant le jury composé de :

Mme.	Camille ROSENTHAL-SABROUX	Présidente
M.	Jean Marc LE LANN	Directeur de thèse
M.	Jean Claude BOCQUET	Rapporteur
M.	Emmanuel CAILLAUD	Rapporteur
M.	Germain LACOSTE	Membre
M.	Stéphane NEGNY	Membre
Mme.	Pascale ZARATE.	Membre invité
Mme.	Corinne SOURD	Membre invité
M.	Pierre SERE PEYRIGAIN	Membre invité

A mis mujeres...

A Susana, mi esposa, de quien sólo he recibido amor y comprensión pues colaboró más que nadie durante el desarrollo de esta tesis.

A mis hijas Marifer y Daniela, quienes me han ofrecido las lecciones más importantes en mi vida, llenándola de sonrisas y alegría.

Al hombre que supo encauzar mi destino: Armando Robles Medina.

A Chelito, Laura Elena, Liliana, Laura y María Eugenia quienes sólo me han dado cariño.

A mi Hermanito.

Con mucho cariño para todos los Robles quienes con su ejemplo han guiado mi existencia.

Remerciements

Tout d'abord j'adresse mes remerciements au CONACYT et au gouvernement des États-Unis Mexicaines d'avoir mis à ma disposition tous les moyens financiers pour le développement de cette thèse.

Merci aux Professeurs Jean Claude BOCQUET, Emmanuel CAILLAUD d'avoir accepté de juger ces travaux en tant que rapporteurs.

Je tiens à remercier les professeurs Camille ROSENTHAL-SABROUX et Germain LACOSTE d'avoir accepté d'être membres du jury, pour leurs remarques et d'avoir partagé avec moi leurs visions et expériences.

Merci à Mme. Corinne SOURD et à M. Pierre SERE PEYRIGAIN pour avoir accepté d'être membre invité du jury de cette thèse.

Trois années ont été nécessaires pour l'aboutissement de cette thèse. Trois années pendant lesquelles j'ai reçu l'aide et le soutiens des professeurs, collègues et amis au sein de l'ENSIACET et l'Institut National Polytechnique de Toulouse. A vous tous, qui de manière scientifique mais surtout humaine m'avaient soutenu et encouragé, je vous suis très reconnaissant.

Je souhaite témoigner ma reconnaissance au Professeur Jean Marc LE LANN, Directeur de l'ENSIACET d'avoir accepté d'être mon directeur de thèse. J'adresse des remerciements très spéciaux à Stéphane NEGNY pour l'intérêt qu'il a témoigné pour mes travaux, pour ses conseils et sa patience, mais surtout pour sa bonne humeur et ses qualités humaines.

Je remercie également les différentes personnes qui ont participé au quotidien de mon travail et également à ceux qui ont accepté de la juger.

Merci à Philippe DUQUENNE, Pascale ZARATE et Alan HAIT du Département de Génie Industriel à l'ENSIACET pour leurs conseils et la manière si chaleureuse de guider mes réflexions.

Merci à mes amis Hilaire, Florian PICARD, Florian FABRE, Isabelle BETONNI, Marck FALGA et à tous mes collègues du Génie des Procédés.

Un grand merci à mes amis Leonardo Da Silva, Sofía Montalvo, Carlos Villagomez, Hector, Becky et Bruno.

Merci à Alberto Aguilar, Ignacio Herrera, Alejandro Sandoval et Antonin Ponsich de m'avoir tant aidé, de m'avoir écouté et conseillé et merci pour les si beaux gestes que vous avez eu à l'égard de ma famille, je vous suis très reconnaissant.

Merci a vous tous, car vous avez fait de mon séjour en France, une expérience inoubliable.

Titre : Management de l'innovation technologique et des connaissances : synergie entre la théorie TRIZ et le Raisonnement à Partir de Cas. Application en génie des procédés et systèmes industriels.

Résumé :

Les méthodologies traditionnelles de résolution de problèmes comme le brainstorming, la synectique, la méthode d'essais-erreurs, etc. trouvent leurs limites lorsqu'elles sont confrontées à un problème inventif ou problème contenant une contradiction (conditions sous laquelle deux exigences ou besoins d'un système sont mutuellement exclusives, mais doivent être associés afin d'atteindre un même objectif). Ce type de problèmes est généralement résolu en acceptant un important degré de compromis et avec une direction aléatoire de recherche d'une solution, qui se traduit par une efficacité inférieure à celle atteignable par d'autres méthodes.

L'arrivée de la théorie de résolution des problèmes inventifs ou théorie TRIZ a éliminé ces inconvénients. Cette approche, basée sur l'évolution historique des systèmes techniques, a produit une vision où l'innovation est considérée comme une ressource maîtrisable pouvant être appliquée systématiquement. Paradoxalement, cette approche basée sur la connaissance et applicable à n'importe quelle discipline ou domaine, ne possède pas la capacité à mémoriser, ce qui s'avère indispensable pour l'apprentissage. De ce fait, les connaissances qui ont servi et qui ont été créées lors de la résolution d'une contradiction, ne peuvent pas être réutilisées. Cet inconvénient est un facteur négatif pour la performance de TRIZ lors de la résolution d'un problème inventif.

Parallèlement, une autre approche a développé la capacité à identifier, stocker et réutiliser la connaissance : la gestion des connaissances. Cette capacité est mise en œuvre dans le raisonnement à partir de cas (RàPC). Cette approche, dont l'efficacité est basée sur l'aspect spécifique au domaine d'application, utilise les expériences acquises pendant la résolution des problèmes passés, afin d'aborder la résolution des problèmes nouveaux. Toutefois, le RàPC, de par sa nature, ne prend pas en considération les solutions qui ont été développées dans d'autres domaines. Cela limite fortement la capacité du RàPC à proposer une solution nouvelle ou innovante. De plus, la mémoire du système ne peut pas apporter une solution pour une situation qui n'a pas été identifiée et résolue auparavant.

Les limites et la complémentarité constatées dans les deux approches, ont servi de base pour la proposition d'un nouveau modèle. Ce modèle offre une approche qui combine la vision technologique de la théorie TRIZ et la capacité à mémoriser et réutiliser la connaissance développée par le raisonnement à partir de cas. La synergie entre ces deux approches permet d'un côté, de diriger les efforts créatifs lors de la résolution d'un problème inventif et de l'autre, de réutiliser la connaissance déployée lors de ce processus. La capacité de cette nouvelle approche est illustrée au travers d'études de cas issues du génie des procédés et du génie industriel.

Mots clés : Innovation, Capitalisation des connaissances (KBS), RàPC (CBR), théorie TRIZ, Matrice des Contradictions Techniques.

Title: Innovation and Knowledge Management: a synergy between TRIZ theory and Case-Based Reasoning. Application in process and industrial engineering.

Abstract:

Traditional problems solving methodologies like brainstorming, synectics, trial and error, etc. find their limits when they are facing inventive problems or problems that could be described like contradictions. A contradiction exists when two different and mutually exclusive requirements, states or conditions in a system, have to be present and act together, with the aim to accomplish same objectives. Trade off is usually the most used way to solve this kind of problem, also characterized by a random search of solutions. These situations have a negative impact over performance, which could be improved by applying other methodologies and tools.

The theory of inventive problem solving or TRIZ theory has the capacity to eliminate these negative aspects described above and to produce innovative solutions to contradictions. This approach, which is different from the traditional psychology based approaches, is knowledge based. The particular vision of TRIZ is based on the history of technological evolution. TRIZ considers innovation like a process which can be controlled and deployed systematically. Paradoxically, this knowledge based approach with transversal domain application, does not have the capacity to memorise, which is fundamental for learning. Consequently, knowledge that has been employed and created while solving inventive problems can not be reused. This drawback has a negative effect on problem solving performance while deploying TRIZ.

Knowledge management has developed the capacity to identify, store and reuse knowledge. This is the core capacity of several knowledge management methodologies, among them is, the Case-Based Reasoning (CBR). The performance of this problem solving tool, lies essentially in its capacity to offer a pragmatic answer for specific domain problems. CBR systems solve a new problem by identifying its similarity to one or several previously solved problems stored in a memory and by adapting their known solutions. Since CBR application is domain specific, CBR cannot consider the solutions that have already been identified in others domains while solving new problems. This characteristic limits the CBR's capacity to propose innovative solutions to a problem. Besides, a shortcoming is revealed when a CBR system faces a problem that had not been solved in the past. If this situation occurs, the memory cannot find a similar problem and consequently, no solution is proposed.

The limits and the complementarity observed between TRIZ and CBR are employed to propose a new model. This model presents an approach that combines the technological vision of TRIZ and the ability developed by CBR to memorize and to reuse knowledge. This synergy allows in the first place, to steer the creative effort when facing inventive problems and in the second, to reuse knowledge that had been acquired in past problems. The capability of this new approach is illustrated by its application in process engineering and industrial engineering.

Keywords: Innovation, Knowledge Based Systems, Case-Based Reasoning (CBR), TRIZ theory, Contradictions Matrix

Sommaire

Table de matières

Introduction générale	2
-----------------------------	---

Chapitre 1 : perspective globale sur l'innovation

1. Introduction	8
1.1. Généralités	8
1.2 Définition	9
2 Les diverses classifications de l'innovation.....	10
2.1 La nature de l'innovation	10
2.2 L'impact de l'innovation sur le marché	10
2.2.1 L'innovation radicale	11
2.2.2 L'innovation incrémentale	12
2.3 Le degré de nouveauté	13
2.4 L'innovation selon sa stratégie	13
2.5 Conclusion.....	14
3. Les différents modèles du processus d'innovation	15
3.1 Le modèle « Science – Push ».....	15
3.2 Le modèle « Demande Pull »	16
3.3 Le modèle « Coupling »	16
3.4 Le modèle d'innovation de quatrième génération.....	17
3.5 Le modèle d'innovation de cinquième génération	18
3.6 Les connaissances comme source de l'innovation continue.....	19
3.7 Conclusion.....	19
4 La créativité dans le processus d'innovation : visions et modèles	20
4.1 La créativité est une succession de phases	22
4.1.1 Le modèle Wallas	22
4.1.2 Le modèle d'Osborn	22
4.1.3 Le modèle Osborn – Parnes.....	22
4.2 La créativité est un art	23
4.3 La créativité peut être apprise et systématisée	23
4.3.1 L'approche de la pensée latérale.....	23
4.3.2 La systématisation de la créativité : l'approche de la théorie TRIZ	24
4.4 Les techniques pour diriger la créativité	25
4.5 Conclusion.....	26
5. La conception, un processus inhérent à l'innovation	27
5.1 Les caractéristiques du processus de conception.....	27
5.2 TRIZ dans le processus de conception	29
6. Conclusions	30

Chapitre 2 : la théorie TRIZ : une approche pour systématiser l'innovation

1. Introduction	32
2. Qu'est ce que la théorie TRIZ ?	32
2.1 Les origines de TRIZ	34

2.2 Le processus de résolution d'un problème dans TRIZ.....	35
2.3 L'analyse de ce processus.....	37
3. Les concepts de base de TRIZ.....	39
3.1 Le concept d'idéalité et le Résultat Idéal Final (RIF).....	39
3.2 La contradiction.....	41
3.2.1 La contradiction administrative.....	41
3.2.2 La contradiction technique.....	42
3.2.3 La contradiction physique.....	42
3.2.4 La formulation des contradictions.....	42
3.3 Les ressources.....	42
3.4 Les lois d'évolution.....	44
3.4.1 Les postulats des lois d'évolution.....	44
3.4.2 Les lois statiques.....	46
3.4.3. Les lois cinématiques.....	47
3.4.4 Les lois dynamiques.....	47
4 Les outils de TRIZ.....	48
4.1 Les outil analytiques et les outils basés sur la connaissance.....	48
4.2 L'algorithme ARIZ.....	49
5 Conclusions, avantages et inconvénients.....	51

Chapitre 3 : la Gestion des Connaissances

1. Introduction.....	54
2. La connaissance.....	54
2.1 Qu'est-ce que la connaissance ?.....	55
2.2 La relation information - connaissance.....	55
3. La connaissance tacite et explicite.....	56
3.1 La connaissance explicite.....	57
3.2 La connaissance tacite.....	57
3.3 Les deux dimensions de la connaissance dans l'entreprise.....	57
4. Le processus de création de connaissances.....	58
4.1 La socialisation : de la connaissance tacite à tacite.....	59
4.2 L'extériorisation : de la connaissance tacite à l'explicite.....	61
4.3 La combinaison : de la connaissance explicite à l'explicite.....	62
4.4 L'intériorisation, de la connaissance explicite à tacite.....	62
5. La gestion des connaissances ou knowledge management (KM) comme la problématique de capitalisation des connaissances.....	63
5.1 La capitalisation des connaissances.....	63
5.2 Les méthodes de capitalisation des connaissances.....	65
5.3 La mémoire d'entreprise.....	65
5.3.1 La méthode CommonKADS.....	66
5.3.2 La méthode REX.....	67
5.3.3 La méthode MKSM (Methodology for Knowledge System Management).....	68
5.3.4 La méthode CYGMA (Cycle de vie et Gestion des Métiers et Applications).....	68
5.3.5 Les ontologies.....	69
5.3.6 Mémoire à base de cas.....	70

6. L'innovation et la gestion des connaissances	74
7. Conclusion	75

Chapitre 4 : la création d'une synergie entre la théorie TRIZ et la gestion des connaissances

1. Introduction	78
1.1 La création d'une synergie pour mobiliser les connaissances et encourager la créativité	78
1.2 Type de conflit visé.....	79
2. Le Raisonnement à Partir de Cas (RàPC).....	80
2.1 Les fondements du RàPC	80
2.1.1 La théorie de la mémoire dynamique	80
2.1.2 Le raisonnement analogique	81
2.1.2.1 L'analogie transformationnelle ou par transformation.....	81
2.1.2.2 L'analogie dérivationnelle ou par dérivation	82
2.1.2.3 Le processus générique du raisonnement analogique	83
2.2 Les concepts de base du RàPC.....	84
2.3 Le mécanisme de résolution des problèmes du RàPC	84
2.4 Les avantages du RàPC	86
2.5 Les limites du RàPC.....	88
3. La théorie TRIZ, concepts et outils dans la synergie	89
3.1 Les avantages de la théorie TRIZ	90
3.2 Les limites de la théorie TRIZ.....	90
3.3 Une comparaison entre les deux approches.....	90
4. La matrice de résolution des contradictions techniques	92
4.1 Description	92
4.2 L'utilisation de la MRC.....	94
4.3 Exemple d'utilisation :.....	95
4.4 L'identification des contradictions comme un moyen de résolution des problèmes....	96
5. Vers une approche combinée	96
5.1 La mémoire de cas, intégration de la matrice de résolution des contradictions.....	97
5.2 La représentation d'un cas dans l'approche TRIZ-RàPC.....	99
5.3 Le modèle TRIZ-RàPC.....	101
5.4 La similarité des cas.....	102
5.5 L'apprentissage dans TRIZ-RàPC	104
6. Avantages et limites de la synergie TRIZ-RàPC.....	105
6.1 Les avantages de l'approche TRIZ-RàPC.....	105
6.2 Les limites de TRIZ-RàPC.....	106
7. Conclusion	107

Chapitre 5 : Le processus d'implémentation de TRIZ-RàPC

1. Introduction	110
2. Étape initiale du développement de la mémoire TRIZ-RàPC	110
2.1 Les composants de la mémoire TRIZ-RàPC.....	110
2.2 Le système comprenant le problème	111

2.3 Le problème modélisé sous la forme d'une contradiction	112
2.4 L'effet néfaste à éliminer ou l'amélioration souhaitée	114
2.5 L'utilisateur	114
3. Présentation du modèle de base de la mémoire TRIZ-RàPC.....	115
3.1 L'identification de la contradiction	115
3.2 Les principes associés	116
3.3 La recherche d'un cas	117
3.4 La représentation d'un cas	118
4. Conclusions	120
5. Évolutions de la mémoire TRIZ-RàPC	121
5.1 Les différences principales.....	122
5.1.1 L'association d'un paramètre pour caractériser l'objectif.....	122
5.1.2 Les ressources	123
5.1.3 La description de la solution	123
6. Exemple d'application	125
Le Lit Mobile Vrai.....	125
7. Conclusions	127
Conclusions générales et perspectives	130
Bibliographie.....	145

Annexes

Annexe 1: l'innovation incrémentale ou le concept d'amélioration continue.....	163
Annexe 2 : la théorie TRIZ, état de l'art.....	167

Figures et tableaux

Chapitre 1

Figure 1.1 Courbe idéale d'un système	11
Figure 1.2 Courbe – S de la recherche et le marketing d'un produit	11
Figure 1.3 Description de l'étape du cycle de vie	12
Figure 1.4 Modèle générique de l'innovation	15
Figure 1.5 Le modèle Science - Push.....	16
Figure 1.6 Modèle de deuxième génération « Demande Pull »	16
Figure 1.7 Le modèle « Coupling »	17
Figure 1.8 Le modèle «Chain – linked »	18
Figure 1.9 Le cycle de création de connaissances	19
Figure 1. 10 Les différentes approches de la créativité	21
Figure 1.11 Le processus de résolution de problèmes selon TRIZ.....	25
Figure 1.12 Les exigences du marché.....	27
Figure 1.13. Représentation générale du processus de conception de nouveaux produits.	28
Figure 1.14 TRIZ dans le processus de conception	29

Chapitre 2

Figure 2.1 Approche de résolution des problèmes de TRIZ	36
Figure 2.2 Exemple d'approche de résolution par TRIZ	36
Figure 2.3 Le processus convergeant de résolution des problèmes de TRIZ.....	38
Figure 2.4 La caractérisation des ressources	43
Figure 2.5 Les quatre composants essentiels d'un système	46
Figure 2.6 Le processus d'ARIZ	50
Tableau 2.1 Comparaison entre différentes méthodologies de résolution de problèmes	33
Tableau 2.2 Les cinq niveaux d'inventivité	35
Tableau 2.3 Les outils analytiques.....	48
Tableau 2.4 Les outils basés sur la connaissance	48

Chapitre 3

Figure 3.1 Modèle champ – substance de la connaissance	56
Figure 3.2 Le spectre des connaissances	56
Figure 3.3 Les connaissances dans l'entreprise	58
Figure 3.4 Les quatre modes de conversion de connaissances [N&T 97].....	59
Figure 3.5 La problématique de capitalisation des connaissances dans l'entreprise	64
Figure 3.6 Le processus du RàPC.....	71
Tableau 3.1 Les modèles de CommonKADS	67
Tableau 3.2 Comparaison de différentes méthodologies de capitalisation de connaissances	73

Chapitre 4

Figure 4.1 L'analogie par transformation	81
Figure 4.2 L'analogie par dérivation.....	82
Figure 4.3 La résolution d'un problème par le raisonnement analogique	83
Figure 4.4 Le processus de la TGAO	83
Figure 4.5 Le cycle de RàPC ou cycle des 4R's.....	85
Figure 4.6 a, b, c Processus d'extraction des tiges et graines.....	95
Figure 4.7 Le mécanisme du raisonnement analogique dans l'approche combinée TRIZ- RàPC	97
Figure 4.8 Le modèle de la mémoire dynamique.....	98
Figure 4.9 Adaptation du model MMD dans l'approche TRIZ-RàPC	98
Figure 4.10 Les composants d'un cas	99
Figure 4.11 Le processus de résolution de problèmes dans l'approche TRIZ-RàPC	101
Tableau 4.1 Une comparaison entre les approches du RàPC et TRIZ.....	91
Tableau 4.2 Fragment de la matrice de résolution des contradictions techniques (MRC)....	93
Tableau 4.3 Les 48 paramètres génériques	93
Tableau 4.4 Les 40 Principes de Résolution des Contradictions Techniques	94

Chapitre 5

Figure 5.1 Le contenu d'un cas.....	111	
Figure 5.2 La relation système - cas	111	
Figure 5.3 La caractérisation d'un cas par une contradiction	112	
Figure 5.4 La division d'un principe en sous-principes	112	
Figure 5.5 La relation entre l'effet néfaste ou l'amélioration et le cas	114	
Figure 5.6 La relation entre l'utilisateur et un cas	115	
Figure 5.7 Fenêtre initiale	116	
Figure 5.8 Fenêtre pour identifier la contradiction	116	
Figure 5.9 Les principes de résolution associés à la contradiction	117	
Figure 5.10 Le niveau le plus élevé de similarité	118	
Figure 5.11 Le contenu d'un cas.....	120	
Figure 5.12 Le contenu d'un cas.....	122	
Figure 5.13 Les ressources associées à un cas	123	
Figure 5.14 Les composants associés à la solution	124	
Figure 5.15 Lit Mobile Vrai	Figure 5.16 Lit Mobile Simulé.....	126
Figure 5.17 Le cas du lit mobile vrai	127	
Tableau 5.1 La base des paramètres	112	
Tableau 5.2 La base des principes	113	
Tableau 5.3 La description d'un principe par le biais des sous-principes	113	
Tableau 5.4 La base des contradictions	113	

Introduction

Introduction générale

Des nos jours, l'innovation est une des sources de succès, de pérennité, d'expansion et de création de valeurs pour une entreprise. L'implantation d'une démarche pour la gestion de l'innovation, intégrée comme un des axes primordiaux dans les programmes de développement industriel actuel, atteste de son importance. Toutefois, toute la difficulté d'une telle démarche se localise dans la gestion de certains éléments immatériels mais stratégiques dont l'ampleur influence la performance de l'entreprise. Parmi les facteurs concernant cette gestion, la connaissance est l'un des plus importants.

Le Comité Européen de Normalisation écrit dans son rapport que « *les entreprises focalisent leur attention vers la connaissance comme un moyen pour améliorer leur performance et leur capacité à innover* » [CEN 04]. Cette phrase met en évidence deux facteurs : les connaissances existantes dans une entreprise et leurs capacités à les mobiliser afin d'encourager l'innovation.

De plus, l'innovation peut être vue comme un processus de transformation des idées vers des produits nouveaux ou améliorés, qui repose essentiellement sur la génération de nouveaux concepts. Ces derniers seront ensuite développés au travers de produits futurs potentiellement acceptables par un marché. Toutefois, ce processus de transformation d'une idée vers un produit est rarement le fruit d'une seule personne (ou une seule connaissance) mais résulte, au contraire, du travail d'une équipe souvent pluridisciplinaire. Au final dans ce processus, interagissent une vaste variété de connaissances et de compétences réparties dans toute l'entreprise.

Le facteur temps est également présent dans le processus d'innovation et ce à différents niveaux. Les cycles de vie de plus en plus réduits obligent les entreprises à innover sans cesse : amélioration continue, ajout de nouvelles fonctionnalités, produit de nouvelle génération (les ordinateurs, les téléphones portables en sont des exemples). Avec cette réduction du cycle de vie, les entreprises doivent accélérer le processus d'innovation car la fenêtre de sortie d'un produit est de plus en plus réduite.

L'arrivée tardive sur un marché peut engendrer des conséquences dramatiques pour une entreprise (sortir un produit en premier peut générer des parts de marché importantes). Face à ce développement toujours plus rapide (et à moindre coût), les entreprises cherchent à capitaliser, réutiliser leurs connaissances, savoir-faire et expertise.

Les paragraphes précédents mettent en évidence deux facteurs : la créativité et les connaissances existantes et la capacité à les mobiliser afin d'encourager et accélérer l'innovation. Par conséquent, il faut développer une approche capable de satisfaire les axes connaissance-innovation. Cela implique d'un côté, le développement d'une mémoire organisationnelle, c'est-à-dire une structure qui favorise l'acquisition, l'analyse, la préservation et la réutilisation des connaissances et de l'autre, la création d'un entourage qui stimule la créativité avec comme but le déclenchement du processus d'innovation, la création de nouvelles connaissances et la résolution des problèmes. Ces nouvelles connaissances, destinées à améliorer la performance globale de l'entreprise, seront à leur tour mises à profit des produits, services et procédés nouveaux, voire dans la structure organisationnelle de l'entreprise.

La phase créative

En ce qui concerne la phase créative, les outils traditionnels pour encourager la créativité comme le brainstorming, la synectique, sont basés sur une approche psychologique de la créativité et par une exploration aléatoire de l'espace des solutions, qui ne tient pas compte de l'évolution des systèmes technologiques.

Alors, il est nécessaire d'offrir à une entreprise les moyens pour résoudre ses problèmes de façon systématique et continue. Cela devient possible grâce à l'apparition de la Théorie de Résolution des Problèmes Inventifs ou d'Innovation, appelée aussi théorie TRIZ. Cette théorie est fondée sur une analyse de plus de trois millions de brevets, une analyse des divers outils pour encourager la créativité, outils pour modéliser et résoudre les problèmes et finalement, une analyse détaillée de la littérature scientifique. Le résultat de cette démarche est que TRIZ peut proposer, durant la résolution d'un problème d'innovation, un ensemble d'outils et de concepts pour formaliser un problème, et pour guider la recherche dans l'espace des solutions afin d'aboutir plus rapidement à une solution. Cet ensemble d'outils et de concepts, tirent ses fondations d'un énorme corps de connaissances extrait de différents domaines techniques.

Toutefois même si TRIZ peut apporter un ensemble d'outils contenant les meilleures pratiques, extraites de différents domaines, cette théorie de résolution des problèmes ne possède pas la capacité à mémoriser la mise en œuvre du processus déployé. Cela conduit à une déficience dans l'apprentissage qui se traduit par une perte d'efficacité à long terme.

La phase de la réutilisation des connaissances

De l'autre côté, se trouve la connaissance, qui pendant très longtemps n'a pas été considérée comme un actif exploitable pour l'entreprise. Puisque la connaissance est intimement liée à l'action, il s'avère nécessaire de proposer une structure capable de capturer, indexer, stocker et diffuser les connaissances produites lors de la résolution d'un problème au sein de l'entreprise afin de la rendre productive et d'améliorer la performance globale de l'entreprise. Cette problématique est abordée par la gestion des connaissances.

Cependant, afin d'encourager l'innovation au sein d'une entreprise, il est nécessaire de développer une structure capable de rendre disponible la connaissance, de guider les efforts créatifs de leurs membres et d'offrir un cadre qui favorise la résolution des problèmes. En considérant tous ces problèmes une méthodologie doit être proposée afin de satisfaire toutes ces dimensions.

Une proposition pour satisfaire l'axe connaissance-innovation est décrite dans ce manuscrit.

L'organisation du manuscrit

Une synergie entre la vision de TRIZ et la capitalisation des connaissances qui vise à répondre à la problématique identifiée est décrite dans ce manuscrit. Ce document est composé de cinq chapitres :

Chapitre 1

Le premier chapitre « *Perspective globale sur l'innovation* », permet de positionner l'objectif de cette thèse par rapport à l'évolution des modèles de l'innovation, avec comme but, de mettre en évidence certains besoins insatisfaits.

Dans cette analyse, l'innovation est considérée comme un processus. Dans un premier temps, les modèles déployés pour représenter l'innovation dans sa globalité sont abordés dans ce chapitre. Parmi les multiples étapes et facettes de ce processus, seules deux sont brièvement décrites : la création d'un nouveau concept et la conception. Plus en aval, le rôle de la créativité et la manière de la considérer au cœur du processus d'innovation sont aussi passés en revue. Ce premier chapitre met en évidence les manques existants dans les approches traditionnelles pour encourager la création de nouveaux concepts, trouver de nouvelles voies d'évolution des produits existants et résoudre les problèmes de conception. Cette phase de génération de nouvelles idées est primordiale, car elle est à l'origine du déclenchement de l'ensemble du processus d'innovation. L'importance de la théorie TRIZ, par son équilibre entre les dimensions psychologiques et techniques de la créativité, se révèle capitale pour satisfaire cette étape. De même, ce chapitre souligne l'importance de la

connaissance comme véhicule pour effectuer la transformation d'une idée vers un nouveau produit.

Chapitre 2

Le chapitre 2, « *la théorie TRIZ : une approche pour systématiser l'innovation* » décrit l'approche de la théorie de résolution des problèmes inventifs qui considère l'innovation comme le résultat d'un processus d'évolution gouverné par des lois vérifiables. TRIZ est une théorie qui offre une structure pour guider la pensée créatrice. TRIZ inclut une base théorique, un répertoire d'outils analytiques et des outils basés sur la connaissance, qui aident les individus à inventer et à résoudre les problèmes complexes de façon systématique.

Dans la conception de la théorie TRIZ, un problème inventif est un problème qui possède une contradiction, condition qui existe lorsque, l'amélioration d'un paramètre ou caractéristique utile d'un système, provoque la dégradation inacceptable d'un autre paramètre tout aussi utile. Ce type de problèmes nécessite pour sa résolution, une grande capacité créatrice et souvent, l'utilisation de connaissances très diverses, non restreintes à un domaine spécifique. La théorie TRIZ est capable d'aborder avec succès ce type de problèmes. Certaines limites de la théorie TRIZ, les plus importantes par rapport au contexte présent, sont mises en évidence afin de proposer une autre approche capable de les supprimer. Parmi les limites, l'absence de la capitalisation de la connaissance mise en œuvre lors de la résolution est la plus critique.

Chapitre 3

Suite aux limites identifiées dans les chapitres précédents, le chapitre 3 sur « La gestion des connaissances » explore brièvement la façon dont les connaissances sont créées, mobilisées et gérées avec comme but d'améliorer la performance d'une entreprise. Cette analyse est faite, afin d'identifier une structure capable d'apporter les moyens pour acquérir, analyser et préserver la connaissance mise en évidence lors de la résolution d'un problème par le biais de TRIZ. Parmi les méthodologies analysées, le raisonnement à partir de cas (RàPC) se distingue. Le RàPC essaie de créer une solution à une nouvelle situation, en se basant sur l'adaptation et l'évaluation des solutions déjà connues et stockées dans une mémoire ou base de cas. Cette approche possède l'avantage d'éviter les difficultés de modélisation du savoir-faire des experts, en se concentrant sur l'acquisition des cas. De même, le RàPC raisonne sur un ensemble d'analogies intra-domaine. Cette avantage peut s'avérer un frein à la créativité dans le cadre de la résolution d'un problème inventif, car les solutions trouvées et accessibles dans d'autres domaines ne sont pas prises en compte.

Chapitre 4

Le chapitre 4 est concentré sur « La création d'une synergie entre la théorie TRIZ et la gestion des connaissances ». Dans ce chapitre un modèle conceptuel est proposé où s'intègrent la vision technologique de TRIZ et le Raisonnement à Partir de Cas (RàPC), afin d'offrir un outil capable de guider la pensée créatrice pendant la résolution d'un problème. En même temps, ce modèle cherche à créer une structure capable de capturer, stocker et rendre accessible l'information déployée pendant ce processus. Le but final de la synergie entre TRIZ et le RàPC est de produire un outil capable de capitaliser les connaissances et également d'appuyer l'innovation.

Ce chapitre inclut une description des bases théoriques de la synergie TRIZ-RàPC, ainsi que les éléments qui interagissent au cœur de cette synergie.

Chapitre 5

Finalemment le chapitre 5 « Le processus d'implémentation de TRIZ-RàPC », présente la description de l'implémentation du modèle TRIZ-RàPC. Cette implémentation met en relation plusieurs bases de données. Dans ces bases de données, la description d'un système, d'un problème et sa contradiction associée, sont utilisées pour rechercher dans la base de cas un problème similaire. Si la recherche aboutie à un cas, celui est sélectionné pour être réutilisé et adapté au cas cible. Dans le cas contraire, le système propose un ensemble de principes de résolution pour ce problème, déjà vérifiés dans le passé lors de situations similaires, mais dans des domaines différents.

Deux exemples d'application, le réacteur LPCVD et le lit mobile simulé illustrent la façon dont cette base de données a été construite et la manière dont un cas est présentée.

Finalemment, les conclusions et perspectives générales sur le modèle présenté dans le chapitre 4 sont introduites.

Chapitre 1

Perspective globale sur l'innovation

Résumé : Ce chapitre a pour objectif, d'offrir une perspective sur l'innovation. Dans cette analyse, l'innovation est considérée comme un processus. Parmi les multiples étapes et facettes de ce processus, seules deux sont brièvement décrites : la création d'un nouveau concept et la conception. Les modèles déployés pour représenter l'innovation dans sa globalité sont aussi abordés dans ce chapitre. Plus en amont, le rôle de la créativité et la manière de la considérer au cœur du processus d'innovation sont aussi passés en revue.

Chapitre 1 : perspective globale sur l'innovation

1. Introduction

« ...Chaque nouvelle génération s'améliorera par rapport aux générations précédentes et, ce mécanisme progressif et continu d'amélioration et d'adaptation, est la source de l'évolution des espèces » [TOA 03].

Ce paragraphe est un extrait de la théorie de l'évolution des espèces de Darwin, il met en évidence que la capacité d'adaptation à un environnement en changement perpétuel (et très compétitif), détermine la survie d'une espèce.

Par analogie, cette phrase est applicable à une entreprise. Par conséquent, la faculté d'adaptation, la flexibilité, l'habilité à apprendre et à développer de nouvelles capacités, sont des caractéristiques nécessaires pour assurer la pérennité sur un marché, où les frontières disparaissent, et où la concurrence internationale est de plus en plus accrue. L'ensemble des caractéristiques citées se regroupent sous un seul concept : l'innovation.

Selon une étude menée par Cap Gemini (Ernest & Young Center for Business Innovation), l'innovation est, plus que tout autre facteur, celui qui crée la valeur pour une entreprise [POL 03]. Parmi les facteurs pris en compte, cette étude a regardé la compétence à manager, l'identification d'une marque, la qualité du produit et même la satisfaction du client.

Ainsi, ce chapitre sera consacré à définir les éléments primordiaux liés à l'innovation, toujours dans le champ industriel. D'abord seront introduites les généralités du processus d'innovation ainsi que les différents modèles qui représentent ce processus. Puis, les différentes approches qui expliquent la créativité et leurs impacts sur l'innovation seront passées en revue.

1.1. Généralités

Le mot innovation vient du latin *innovatus*, qui signifie « changer ou rénover », [OED 03]. Cette définition permet deux interprétations différentes :

- Rénover : action de modifier ce qui existe déjà.
- Changer : création et introduction de quelque chose de nouveau, soit un produit, un concept, un service, etc.

Dans les conditions particulières d'une entreprise, la première notion, est liée aux différents types de réactions et d'adaptation aux fluctuations d'un marché, à l'influence d'une nouvelle technologie, à la mise en place d'un système d'amélioration continue, etc.

A propos du sujet, Masaaki IMAI, fait la différence entre une amélioration (philosophie de kaizen) et l'innovation : « L'amélioration peut être classée soit comme kaizen, soit comme innovation. Kaizen signifie de petites améliorations résultant d'efforts permanents. L'innovation entraîne une amélioration drastique... » [IMA 98].

La deuxième notion est la plus connue, cette approche de l'innovation contient de façon inhérente le processus de création. Cependant l'innovation ne se limite pas à la création de produits, d'objets techniques ou de services. Elle peut aborder également l'introduction d'un nouveau procédé de fabrication, un outil ou un mode opératoire nouveau, la découverte d'un nouveau marché, un changement dans l'organisation ou la conquête de sources inédites de matières premières [LAT 03].

Le résultat de l'impact de l'innovation a longtemps été identifié comme le facteur le plus important pour la survie et le succès d'une entreprise. Cela sous entend que si une entreprise veut garder et se développer dans son segment de marché, elle doit s'assurer que les produits ou services qu'elle fournit, se trouvent en conformité aux demandes

actuelles et futures de leurs clients. L'innovation est une manière de satisfaire ces demandes [C&T 00].

Cette problématique se trouve au cœur d'une nouvelle discipline : *la gestion de l'innovation*. Elle cherche à faciliter la mise en œuvre d'un ensemble d'outils, de techniques et de philosophies dans une organisation, afin de rendre l'innovation prédictible, profitable et disponible sur demande [L&T 99], [GII 05].

1.2 Définition

L'innovation a fait l'objet de plusieurs définitions, en voici quelques-unes :

- Dans le sens le plus strict, *l'innovation technologique* est la transformation d'une idée vers un produit vendable, soit nouveau soit amélioré, ou un processus opérationnel dans l'industrie ou le commerce, [C&T 00].
- L'implémentation réussie des idées créatrices dans une organisation, par le biais de l'utilisation des ressources avec le but de satisfaire un besoin [BEL 99].
- 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, de la vitalité économique d'une nation et du progrès de l'ensemble de la société [AMI 97].
- L'application commerciale ou industrielle de quelque chose de nouveau : un nouveau produit, un processus ou une méthode de production, un marché ou une source nouvelle d'approvisionnement, une nouvelle forme de commercialisation, d'affaires ou d'organisation financière [WRS 02].

La transformation d'une idée vers un produit, procédé ou service, est réalisée par le biais d'une vaste gamme de connaissances. Cela implique donc une interaction entre les différents acteurs au cœur de ce processus et entre différentes disciplines. Par conséquent et dans le contexte de ce manuscrit, *l'innovation est considérée comme un processus créatif, technologique et sociétal, où la connaissance individuelle et organisationnelle est exposée, assimilée, partagée et finalement, transformée afin de produire de la nouvelle connaissance. De ce fait, le développement systématique de nouvelles connaissances, produit des innovations en matière de produits, de processus et dans la structure de l'organisation.*

Un point commun aux définitions précédentes, est que toutes soulignent que l'innovation a comme point de départ, un processus créatif. Souvent les termes *créativité, découverte et invention* sont considérés comme des synonymes de l'innovation, cependant il vaut mieux les définir pour expliquer leurs différences.

⇒ **La créativité** consiste à faire émerger de nouveaux concepts ou à donner une nouvelle signification aux faits déjà connus [WAL 03].

- « *La créativité procède de la pensée divergente, dans la capacité de reproduire des formes nouvelles ou d'associer des éléments considérés généralement comme séparés. La créativité se définit, d'autre part, comme une dynamique d'anticipation intuitive, d'imagination et d'inconscient, qui s'appuie sur divers processus pour mettre au jour des structures nouvelles. Elle combine harmonieusement divergence et intuition. Le fait de sortir d'un système quelconque pour s'aventurer dans une dimension qu'aucune méthode ne peut constituer conduit à l'acte créateur* » [PCI 03].

- La créativité peut être considérée comme une façon de résoudre des problèmes, par des intuitions ou une combinaison d'idées provenant de domaines de connaissances très différents [GON 81].
- ⇒ **La découverte** est souvent définie comme l'action de trouver ce qui était inconnu ou ignoré [LAR 98]. Elle peut être fortuite ou résulter d'une induction. Son apparition débouche sur une nouvelle série d'innovation et la génération de brevets.
- ⇒ **L'invention**, est invariablement précédée d'une ou plusieurs découvertes qui aident l'inventeur à résoudre le problème qui se pose. L'invention est le résultat d'un processus de recherche mené avec intention. A cet état, on peut distinguer deux niveaux différents :
- A)** Partir d'une idée et plus tard chercher à développer ses diverses applications.
 - B)** Partir d'un besoin à satisfaire en analysant les éléments pour réussir.

A propos de la différence entre l'invention et l'innovation, DAL PONT dit : « ... *Les innovations se distinguent des inventions, par justement le passage de l'idée à un produit rentable* » [DAL 99]. Cela veut dire que l'invention peut être considérée comme une innovation, uniquement après avoir remportée un succès sur un marché.

2 Les diverses classifications de l'innovation

L'innovation peut s'analyser selon trois axes : sa nature, son impact sur le marché, et le degré de nouveauté exposé [EUC 04], [C&K 02], [LEX 03]. Leurs relations, servent à définir une stratégie pour la mise en œuvre du processus d'innovation. En raison de leur importance, ces trois axes seront brièvement analysés dans cette section.

2.1 La nature de l'innovation

Cette classification est liée à la manière dont une entreprise gère en interne ses ressources et les mobilise pour accomplir un objectif. Cette classification englobe trois domaines essentiels [C&K 02]:

- 1) *L'innovation dans l'offre*, certainement le type le plus connu d'innovation, car il est associé à la production de services ou produits nouveaux ou améliorés.
- 2) *L'innovation dans le processus* : ce type d'innovation ne doit pas être confondu avec l'amélioration d'un processus. Ce type d'innovation se caractérise par l'originalité d'un nouveau processus. Son implémentation apporte toujours quelque chose de nouveau et différent, réalisant un bond non-linéaire vers l'avant.
- 3) *L'innovation dans la structure* : ce type d'innovation change la forme et la configuration d'une organisation. Actuellement, plusieurs entreprises recherchent la création de la valeur sans modifier de façon radicale l'organisation, via le partenariat et les alliances stratégiques.

2.2 L'impact de l'innovation sur le marché

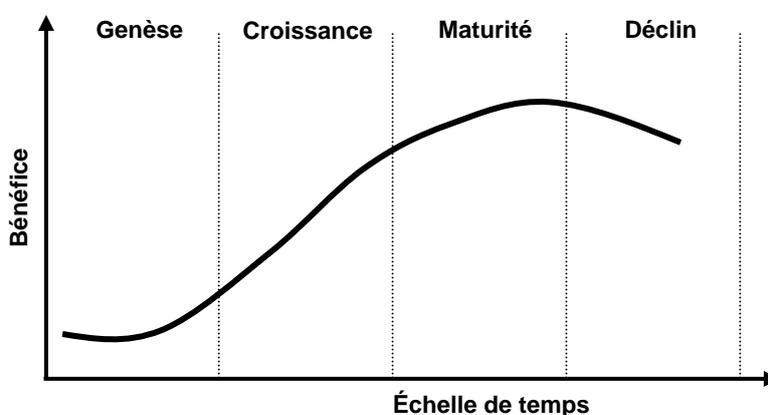
La classe la plus importante du processus d'innovation (**PI**), est celle liée à l'impact qu'elle produit sur le marché [EUC 04], [G&C 01], [GIG 94].

Cette classification, hiérarchise le type de changement qui résulte de l'introduction d'un nouveau produit sur un marché ou d'une technologie dans une industrie. Les échelons de cette hiérarchie (listés par ordre d'importance par rapport au changement recensé), ont été

identifiés comme radical, vraiment nouveau, discontinu, incrémental et imitatif [G&C 01]. Dans les paragraphes suivants seules les innovations radicale et l'incrémentale seront décrites. Cela est dû d'un côté à l'importance de l'innovation radicale et de l'autre, au fait que l'innovation incrémentale est un objectif très fréquent dans une entreprise.

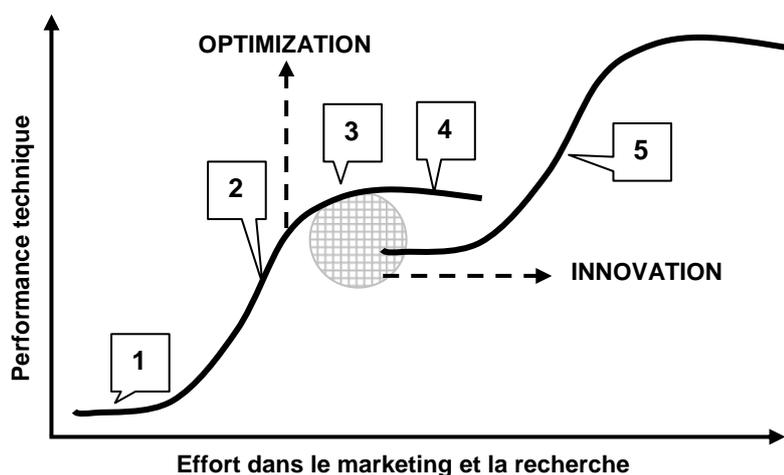
2.2.1 L'innovation radicale

Ce type d'innovation comprend l'utilisation d'une nouvelle technologie qui développe un nouveau marché. Les innovations radicales ne s'adressent pas à une demande identifiée, mais créent à la place, une demande précédemment non reconnue par le consommateur. Cette nouvelle demande développe de nouvelles industries avec de nouveaux concurrents, sociétés, canaux de distribution, et nouvelles activités de marketing. Ainsi, l'innovation radicale est un phénomène qui ne se manifeste pas fréquemment. Un outil qui permet l'identification d'une innovation radicale est la courbe en S. Cette courbe indique que la performance technologique d'un produit se déplace en suivant une courbe en S, jusqu'à atteindre ses limites (analogie faite avec un système biologique). Cette courbe est composée de quatre segments : genèse, croissance, maturité et déclin (figure 1.1).



Source : [CAV 99]

Figure 1.1 Courbe idéale d'un système



1. Début de la technologie
2. Région avec le taux de progrès technique le plus élevé
3. Limites de la technologie
4. Produit établi
5. Technologie ou produit remplaçant

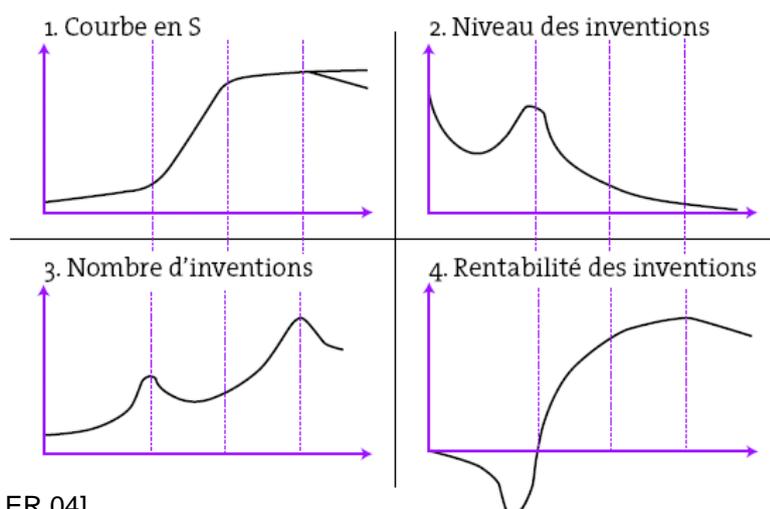
Source : [MAN 99] et [G&C 01]

Figure 1.2 Courbe – S de la recherche et le marketing d'un produit

La figure 1.2 suggère que la performance technologique d'un produit se déplace en suivant une courbe en S. La maturité technologique d'un système peut être observée sur sa courbe en S. Elle peut être déterminée en utilisant quatre descripteurs, qui sont en concordance avec les quatre segments schématisés sur la figure 1.2 :

- A). La performance technique
- B). Le nombre de brevets
- C). Le niveau d'innovation
- D). La rentabilité

Chacun de ces descripteurs a un profil typique comme le démontre la figure suivante :



Source : [LER 04]

Figure 1.3 Description de l'étape du cycle de vie

Mais à un certain point sur la courbe en S, le retour sur investissement (du temps, de l'argent et l'effort) devient inefficace. Ce point a été identifié avec un cercle grisé sur la figure 1.2. C'est après cet état, le déclin commence pour l'ancienne technologie ou ancien produit et une nouvelle courbe est lancée. Elle représente un produit ou une technologie innovant, qui remplace la génération ancienne en déclin.

Un exemple d'innovation radicale est le laser. GIGET explique le phénomène produit par cette invention : « le laser est inventé en 1958 – et il constitue déjà une synthèse créative entre plusieurs technologies elles-mêmes vieilles de plusieurs années. Immédiatement l'on imagine les applications les plus folles, notamment militaires, au point que les chercheurs terrifiés arrêtent leur travail ! 14 ans plus tard, en 1972, Le Monde relate un colloque du CNRS sur le laser sous le titre "Laser à quoi ? Laser à rien". Le laser semble promis au sort des inventions sans la moindre utilité. Il faut attendre le début des années 1980 pour voir vraiment le laser décoller : guidage laser, imprimantes laser, chirurgie laser, puis généralisation, par exemple dans les lecteurs optiques. Encore aujourd'hui, 5% à 10% des innovations industrielles utilisent le laser » [GIG 05].

2.2.2 L'innovation incrémentale

Cette classe peut être définie comme les nouvelles caractéristiques qui ont été ajoutées ou améliorées à un produit, mais également comme les avantages ou les améliorations apportées à la technologie déjà existante sur le marché. Cette classe est la plus rencontrée dans l'industrie. Le cycle PDCA (Plan, Do, Act, Check), qui est à la base de la plupart de ces approches destinées à la recherche de cette amélioration, est exposé dans l'annexe 1 de ce manuscrit.

Ce type d'innovation, implique l'adaptation, l'amélioration, et le perfectionnement des produits et/ou des systèmes existants de production et de livraison [GIG 94], [GER 95]. L'innovation incrémentale est importante pour deux raisons :

- A) C'est une stratégie pour augmenter la compétitivité d'une entreprise
- B) Elle permet à une entreprise de soutenir une veille sur ses affaires et permet aussi, d'entreprendre de nouvelles stratégies lorsque surgissent de nouvelles opportunités sur un marché.

Un exemple de ce type d'innovation est la souris optique, elle ne bouleverse pas les conditions d'usage ni l'état de la technique, mais elle produit une amélioration sensible.

2.3 Le degré de nouveauté

Une autre façon de classer l'innovation a été proposée par Genrich Saulovich Altshuller, scientifique russe et créateur de la Théorie TRIZ ou Théorie de Résolution de Problèmes Inventifs. Selon Altshuller, l'innovation peut être cataloguée en cinq classes (ou niveaux), selon le type de solution trouvée lors de la résolution d'un problème d'innovation, ainsi :

- 1) **Niveaux 1 : Solution apparente ou conventionnelle**, c'est la solution trouvée par des méthodes bien connues dans un domaine donné.
- 2) **Niveaux 2 : Des petites inventions à l'intérieur d'un paradigme**, l'amélioration d'un système existant, habituellement avec un certain compromis.
- 3) **Niveaux 3 : L'invention substantielle à l'intérieur d'une technologie**, l'amélioration essentielle du système existant.
- 4) **Niveaux 4 : L'invention en dehors d'une technologie**, la solution a été trouvée dans la science, mais hors de la technologie, en conséquence une nouvelle conception d'un système est née.
- 5) **Niveaux 5 : La découverte**, ce type de solution arrive lorsqu'un nouveau phénomène est découvert et appliqué pendant la résolution d'un problème.

Ce classement repose sur une vaste analyse de brevets. D'après Altshuller, les innovations appartenant aux niveaux 1, 2 et 3 (qui représentent respectivement 32, 45, et 18% des brevets analysés), sont habituellement transférables d'un domaine à un autre. Cela indique qu'une grande partie des problèmes rencontrés dans une discipline donnée, ont déjà été résolus dans un autre champ de la science [TZZ 98].

Par conséquent, la réutilisation de la connaissance synthétisée à partir de ces cinq niveaux, peut s'avérer très utile pour essayer d'améliorer le degré de nouveauté d'un projet d'innovation. En effet, les efforts créatifs durant la phase de conception peuvent être dirigés vers des solutions qui n'ont pas été envisagées jusqu'à présent.

2.4 L'innovation selon sa stratégie

La classification exposée, permet de cibler les efforts pour la mise en œuvre du processus d'innovation, néanmoins, vers quelle direction vont-ils se focaliser ?

Il existe six champs de base pour le développement d'une stratégie dans l'innovation : le client, la concurrence, la technologie, le partenariat, le projet et les ressources.

Mais il est peu probable que la mise en place d'une stratégie pure, apporte un avantage concurrentiel durable, étant donné la rapidité de changement du marché et des exigences du client. Ce qui attirera et développera les ressources d'une entreprise aujourd'hui, sera

l'adoption d'une stratégie où se mélangent différentes stratégies pures, en restant rapidement adaptables au changement continu du marché, [P&S 03].

- **L'innovation focalisée sur le client**, dans cette stratégie, les entreprises centrent leurs efforts en fonction des besoins de leurs clients, ainsi, ce type d'innovation dépendra entièrement du type de client choisi.
- **Centrée sur la concurrence**, la stratégie consiste à suivre soigneusement chaque mouvement du principal concurrent et de répondre le plus rapidement possible. Le but est d'être le *deuxième plus rapide*. L'innovation incrémentale est la caractéristique principale de cette catégorie.
- **Focalisée sur la technologie**, ici, il y a un très fort investissement dans la R&D (Recherche et Développement). Les entreprises qui appartiennent à cet ensemble cherchent à développer des innovations radicales.
- **Centrée sur le partenariat**, cette catégorie est divisée en deux sections : les partenaires externes et internes. Le dénominateur commun est le partage de responsabilité dans le processus d'innovation.
- **Pointée sur un projet**, les entreprises spécialisées dans l'innovation focalisée sur un projet, mettent en relation des systèmes très grands et complexes, par exemple : les programmes d'exploration spatiale, la mise en orbite d'un satellite, la fusion des entreprises. Le profil d'innovation est caractérisé par l'innovation radicale et souvent centrée sur la technologie.
- **Visée sur les ressources**, les entreprises conduites par cette stratégie mettent beaucoup l'accent sur l'évaluation de leurs ressources, c'est-à-dire, leur position sur le marché est déterminée par la possession du savoir-faire. L'innovation incrémentale est typique de cet ensemble.

Récemment un nouveau concept sur l'innovation a été mis en place, ce concept place le client au cœur du processus d'innovation avec des résultats surprenants. Donc il est possible de dire qu'une nouvelle catégorie est née : l'innovation co-développée ou centrée sur le marché. Dans cette catégorie se combinent plusieurs stratégies et le processus d'innovation prend un cheminement différent. A titre d'exemple, il est possible de mentionner le changement dans la conception. Dans cette nouvelle approche, les activités de conception sont réalisées par le client lui-même, avec la technologie mise à leur disposition par l'entreprise. Cela rend le processus de conception moins coûteux et plus focalisé sur la satisfaction du client [J&M 03], [T&V 02].

2.5 Conclusion

Les diverses manières de classer l'innovation mettent en évidence que l'innovation est un processus très complexe. Ce processus est affecté par une relation très forte entre l'entreprise et son environnement tant au niveau interne qu'externe. Dans cette relation complexe, il faut gérer une grande quantité de ressources, de connaissances, d'interrelations, mais également, il est nécessaire de mettre en cohérence et d'harmoniser l'information, les ressources et la technologie disponible. Tout cela avec comme but d'augmenter les possibilités de réussite de la stratégie mise en œuvre, et par conséquent, du succès d'une entreprise sur un marché très concurrentiel.

Cependant, l'innovation continue encore à être le fruit d'un effort créatif, car comme le souligne De Bono, l'information et la technologie comme produits de base pour l'innovation,

sont disponibles pour n'importe quelle entreprise et se banalisent de plus en plus. Alors comment créer la différence ?

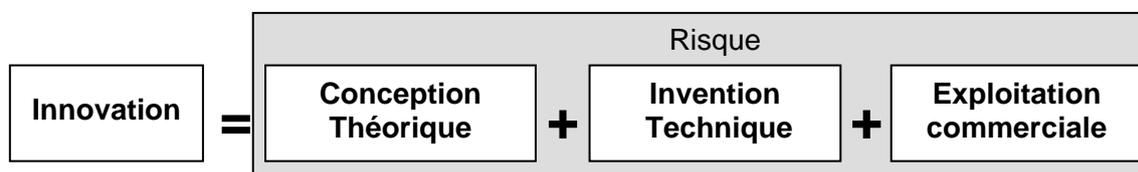
La réponse tient selon De Bono [DBE 04], dans la créativité, qui se traduit comme la capacité de produire une valeur supérieure « *en utilisant les mêmes ingrédients que la concurrence* » ou en d'autres termes, sur la capacité à innover.

Les paragraphes suivants abordent le processus d'innovation et le rôle que joue la créativité dans celui-ci.

3. Les différents modèles du processus d'innovation

Le processus d'innovation comme source de croissance économique, a fait l'objet de plusieurs discussions et d'une intense recherche. Des auteurs comme Schumpeter, Schmookler, Kline & Rosenberg, etc. ont modifié la façon de percevoir les effets de l'innovation sur les systèmes économiques. Par conséquent, cette partie sera consacrée à la présentation des différents modèles de l'innovation dans différents contextes.

Le modèle général du processus d'innovation (**PI**) est composé des éléments suivants :



Source : [C&T 00]

Figure 1.4 Modèle générique de l'innovation

Ce modèle indique que la phase initiale du PI, est la génération d'une nouvelle idée, mais une idée n'est qu'un ensemble de pensées avec une certaine formalisation et dans un certain contexte. C'est l'application de la connaissance technique à cette collection de pensées qui peut devenir une invention. L'invention est la structure de base pour le développement de différents produits qui peuvent être exploités commercialement. Tout cela, englobe un risque dû à l'introduction d'un nouveau produit, procédé, service, etc. sur un marché [SAL 99], [B&B 03].

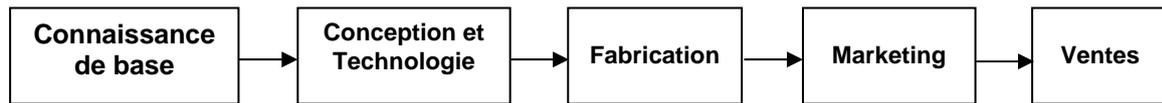
Par la suite, les modèles les plus représentatifs du processus d'innovation seront présentés suivis d'une succincte analyse des deux premières étapes du modèle général de l'innovation, c'est-à-dire, l'étape de génération d'un nouveau concept et la conception. La dernière étape, celle de la commercialisation ne sera pas abordée dans le contexte de cette thèse.

Les paragraphes qui suivent, abordent les principales étapes d'évolution des modèles du processus d'innovation depuis les années 50.

3.1 Le modèle « Science – Push »

Cette première approche de l'innovation a été fortement influencée par les théories de Schumpeter [SCH 35]. Ce modèle suggère que l'innovation émerge d'un flux unidirectionnel, qui tire son origine dans la science et les activités de recherche et développement et son point final dans une application commerciale. Alors, l'innovation est un processus linéaire qui commence avec une découverte scientifique, puis suivent diverses étapes comme : l'invention, la technologie, la fabrication pour finir par l'arrivée d'un nouveau produit / service / procédé, sur le marché, [DOG 99].

Ce modèle a aussi été nommé « Technology Push ». Il apparaît dans les années 1950/1960 où le développement des produits a été basé sur les avancées technologiques.



Source : [C&T 00]

Figure 1.5 Le modèle Science - Push

Cependant, la demande sur un marché a un fort impact sur le processus d'innovation. Cette relation est abordée par un autre modèle, celui de l'innovation tirée par la demande ou *demande pull*.

3.2 Le modèle « Demande Pull »

Lorsque la diversification de la demande sur un marché fut identifiée comme un facteur déclencheur du processus d'innovation, le modèle précédent (basé sur les activités de R&D), ne fut pas suffisant pour expliquer les variations observées. Cela a guidé les recherches vers un modèle différent : le modèle de l'innovation tirée par la demande. Ce modèle a été conçu à la fin des années 1960 et début des années 1970, où l'accent est mis sur les opportunités du marché et les besoins du client.



Source : [COR 03]

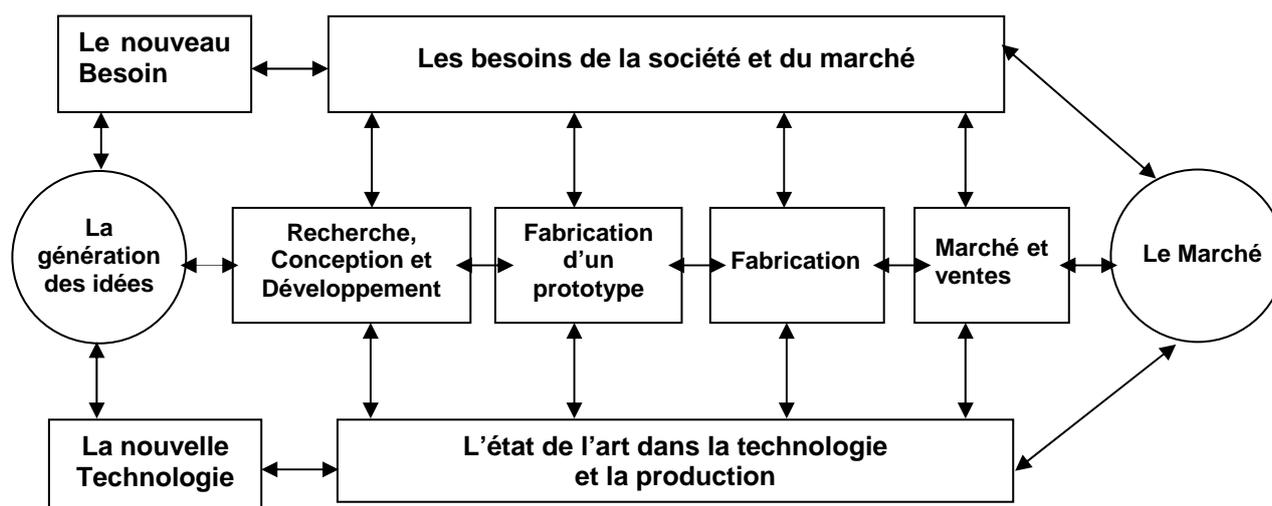
Figure 1.6 Modèle de deuxième génération « Demande Pull »

Dans ce modèle, l'innovation est vue comme dérivée d'une demande perçue sur un marché et qui modifie le développement et la direction de la technologie. Dans ce modèle, l'innovation est induite par le département qui a un lien direct avec le client et qui, basé sur cette expérience, peut indiquer les problèmes existants pendant la conception du produit ou suggérer de nouvelles directions pour la R&D. En résumé le marché est la source des idées pour diriger la R&D.

3.3 Le modèle « Coupling »

Le troisième modèle est une combinaison entre le modèle « Science Push » et « Demand Pull ». Il décrit l'interaction entre le marché, la technologie et l'organisation.

Le modèle « Coupling », est envisagé comme un processus d'interaction séquentielle, linéaire, logique et discontinue. Dans ce modèle une nouvelle tendance apparaît : un lien de rétroaction entre les activités de R&D et le marché [ROT 92].



Source : [C&T 00]

Figure 1.7 Le modèle « Coupling »

Après ces modèles linéaires, dans les nouveaux modèles un lien de rétroaction devient de plus en plus important et une configuration en réseau commence à se matérialiser. Ce sont les modèles de quatrième et cinquième génération.

3.4 Le modèle d'innovation de quatrième génération

Le modèle de quatrième génération aussi appelé « *Integrated Model* », est devenu évident dans la seconde moitié des années 1980.

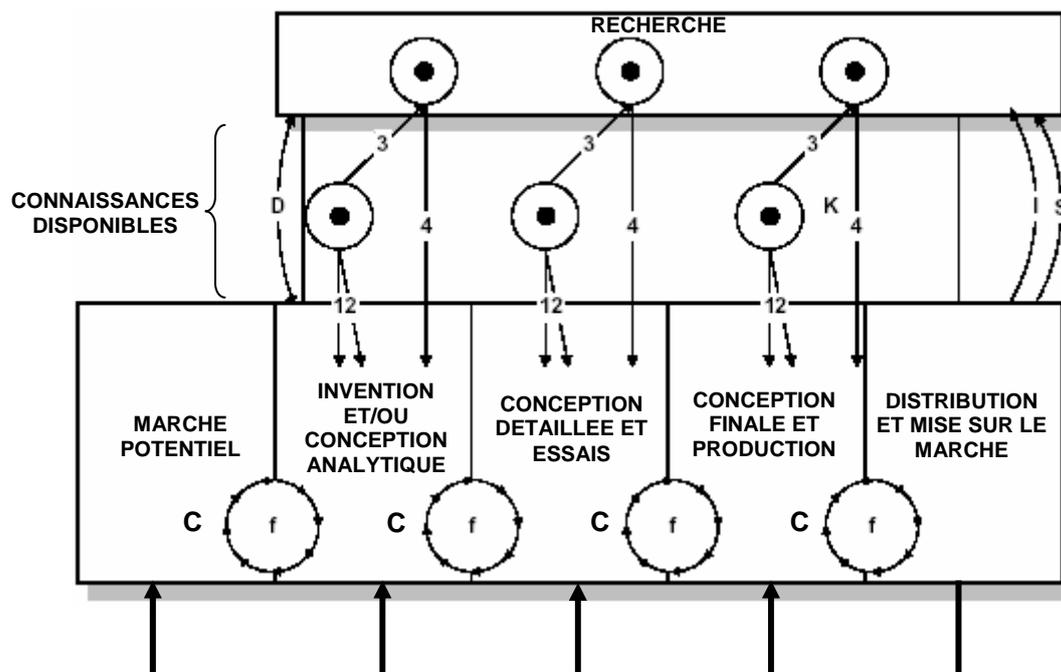
Ce modèle souligne l'importance d'incorporer différents départements de l'organisation pendant le développement d'un nouveau produit ou service (développement parallèle). Sous l'optique de ce modèle, il est nécessaire d'intégrer la R&D et la fabrication dans le processus de conception (appelé conception pour la commercialisation). Il propose également une collaboration horizontale plus forte, entre l'organisation, ses fournisseurs et les clients [ROT 92].

Le niveau élevé d'intégration entre les divers éléments de l'entreprise dans l'innovation, est représenté dans le modèle « Chain-linked » de Kline et de Rosenberg [K&R 86], le modèle le plus représentatif de cette génération. Ce dernier montre les rétroactions et les interrelations complexes entre le marketing, la R&D, la fabrication et la distribution dans le processus d'innovation. Compte tenu de son importance, une analyse concise de ce modèle est présentée dans le paragraphe suivant.

Le processus d'innovation selon Kline et Rosenberg

En 1986, Kline et Rosenberg ont présenté un modèle intégré du processus d'innovation, appelé «Chain – linked Model» [K&R 86]. La plus grande différence entre ce nouveau modèle et les anciens, est qu'il n'y a pas un chemin principal d'activité dans le processus d'innovation. Le PI peut prendre divers chemins différents.

La « *chaîne centrale de l'innovation* », est la première route de l'innovation. Ce chemin commence par la conception (C), puis il continue vers le développement et la production jusqu'au marché. La deuxième route, est un ensemble de liens de rétroaction qui associent et coordonnent la R&D avec la production et le marketing. Les liens de rétroaction sont vus comme des parties intégrantes du système de coopération entre les spécifications / développement du produit et le marketing, [N&S 00].



Source : [E&S 97]

Figure 1.8 Le modèle «Chain – linked »

Selon ce modèle, les activités de conception sont le moteur qui impulse l'innovation, mais plus encore elles ont un rôle central dans le succès ou l'échec du processus d'innovation.

Un résultat de l'analyse de Kline et Rosenberg est le suivant: *la conception est essentielle pour initier une innovation technologique et la re-conception est essentielle pour assurer son succès*. Ce résultat conduit à une première conclusion : «*le processus central de l'innovation n'est pas la science mais la conception*» [COL 02].

La conception initiale est suivie d'une phase de conception détaillée et de tests, qui mène à son tour à une phase de re-conception conduisant à la production, puis à la distribution et à la mise sur le marché, [QUE 00].

3.5 Le modèle d'innovation de cinquième génération

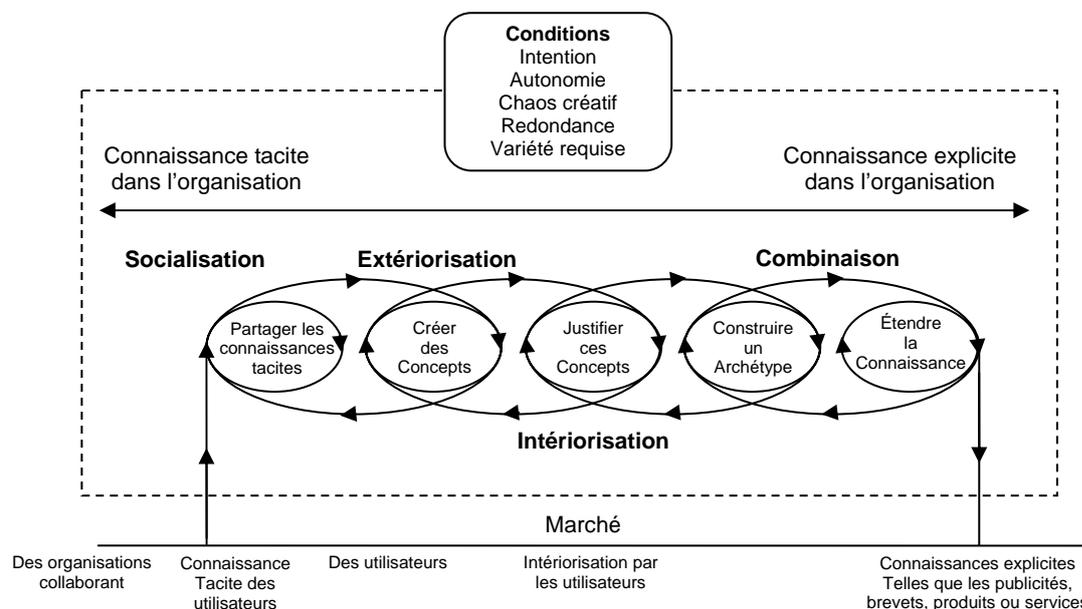
La cinquième génération de modèle d'innovation appelé « *Systems integrations and Networking Model* » ou **SIN**, est caractérisée par une stratégie croissante d'intégration entre différents organismes à l'intérieur et en dehors de l'entreprise, mais également par l'impact de divers éléments technologiques – électronique, informatique- et de l'information et de la communication (TIC) dans le processus d'innovation (**PI**). Le modèle SIN est un modèle d'intégration et de développement en parallèle qui cherche à mieux s'adapter avec les stratégies d'affaires. Ce dernier fait appel aux systèmes experts et à la simulation.

Les acteurs inclus dans le processus d'innovation, sont focalisés sur le client et il existe une forte interaction entre les fournisseurs et la concurrence. Les produits sont basés sur la relation entreprise - fournisseur - client, avec des outils comme le CAD, l'ingénierie concurrentielle, etc.

Ce modèle se caractérise aussi par une organisation horizontale, qui cherche à rapprocher les groupes de R&D, de marketing, de production, etc. Il souligne l'importance de la flexibilité dans l'entreprise, dans la rapidité du développement, sur la qualité et sur d'autres facteurs non-quantifiables. Le modèle fut conçu par Rothwell [ROT 92], et la propriété la plus importante de ce modèle est qu'il donne un cadre opérationnel empirique, pour mesurer différents éléments du processus d'innovation (**PI**). Rothwell décrit plus de 20 caractéristiques dans le **SIN**, [N&S 00].

3.6 Les connaissances comme source de l'innovation continue

Nonaka et Takeuchi [N&T 97] proposent un modèle basé sur l'idée, que le développement systématique de nouvelles connaissances, conduit à des innovations en matière de produits, processus et d'organisation. Ce modèle en cinq phases recouvre : (1) le partage des connaissances tacites, (2) la création de concepts, (3) la justification des concepts, (4) la création d'un archétype et (5) la diffusion des nouvelles connaissances dans l'organisation. La relation entre les cinq phases est schématisée sur la figure 1.9.



Source : [N&T 97]

Figure 1.9 Le cycle de création de connaissances

Selon les auteurs, « ce processus de conversion de l'extérieur vers l'intérieur et à nouveau vers l'extérieur sous la forme de nouveaux produits, services et systèmes est un facteur clé de la performance d'une entreprise et c'est précisément cette activité duale interne et externe qui alimente l'innovation continue qui à son tour conduit à l'avantage compétitif ».

Selon cette vision, l'innovation est générée lorsqu'une nouvelle connaissance est créée et diffusée au sein de l'entreprise. Ainsi, le pouvoir économique et de production d'une entreprise moderne, tient plus dans ses capacités intellectuelles et de service, que dans ses actifs matériels.

3.7 Conclusion

D'autres modèles ont été proposés pour représenter le processus d'innovation comme le modèle de Triple Helix de Leydesdorff et Etzkowitz [E&L 95]. Ce modèle est focalisé sur la relation et l'interaction entre trois sphères institutionnelles : l'université, l'industrie et le gouvernement comme source de nouvelles idées et comme stimulant de l'innovation. Un autre aussi important, est ce que Niosi [MEH 02] appelle le « système(s) national d'innovation » ; défini par les éléments et les relations qui interagissent lors de la production, diffusion et utilisation de nouvelles connaissances, localisables et ancrées dans les frontières d'un pays.

Après avoir analysé certains modèles de l'innovation parmi les plus représentatifs, il est possible d'en tirer quelques conclusions :

- 1) Presque tous les modèles coïncident sur le fait que la première étape du processus d'innovation, est la création de nouveaux concepts, suivi de la transformation de ceux-ci vers de nouveaux produits.
- 2) La créativité est considérée comme intrinsèque à ce processus et généralement non maîtrisée par les créateurs.
- 3) L'évolution des systèmes techniques et sociaux n'est pas prise en compte, et cela se traduit par un manque de perspective lors de la création de nouveaux produits ou lors de l'évolution d'une gamme de produits déjà sur le marché.

La systématisation de l'innovation

Néanmoins, il y a une nouvelle approche de l'innovation capable de satisfaire les trois points listés précédemment : celle de la théorie TRIZ. D'après la conception de TRIZ, le processus d'innovation peut être contrôlé et maîtrisé. De ce fait, l'innovation devient une ressource disponible sur demande et donc un processus systématique. Les travaux d'Altshuller et ses collègues sur l'analyse des bases de brevets et sur l'historique de l'évolution d'un grand nombre de produits et technologies, ont mis en évidence que cette évolution n'est pas le fruit du hasard, mais qu'elle suit certaines tendances. De ce constat, Altshuller et ses collaborateurs se sont intéressés à formaliser ces tendances d'évolution suivies par les systèmes techniques, de façon telle que cette connaissance puisse permettre aux ingénieurs d'anticiper les évolutions et de prévoir l'apparition des problèmes [SAL 99].

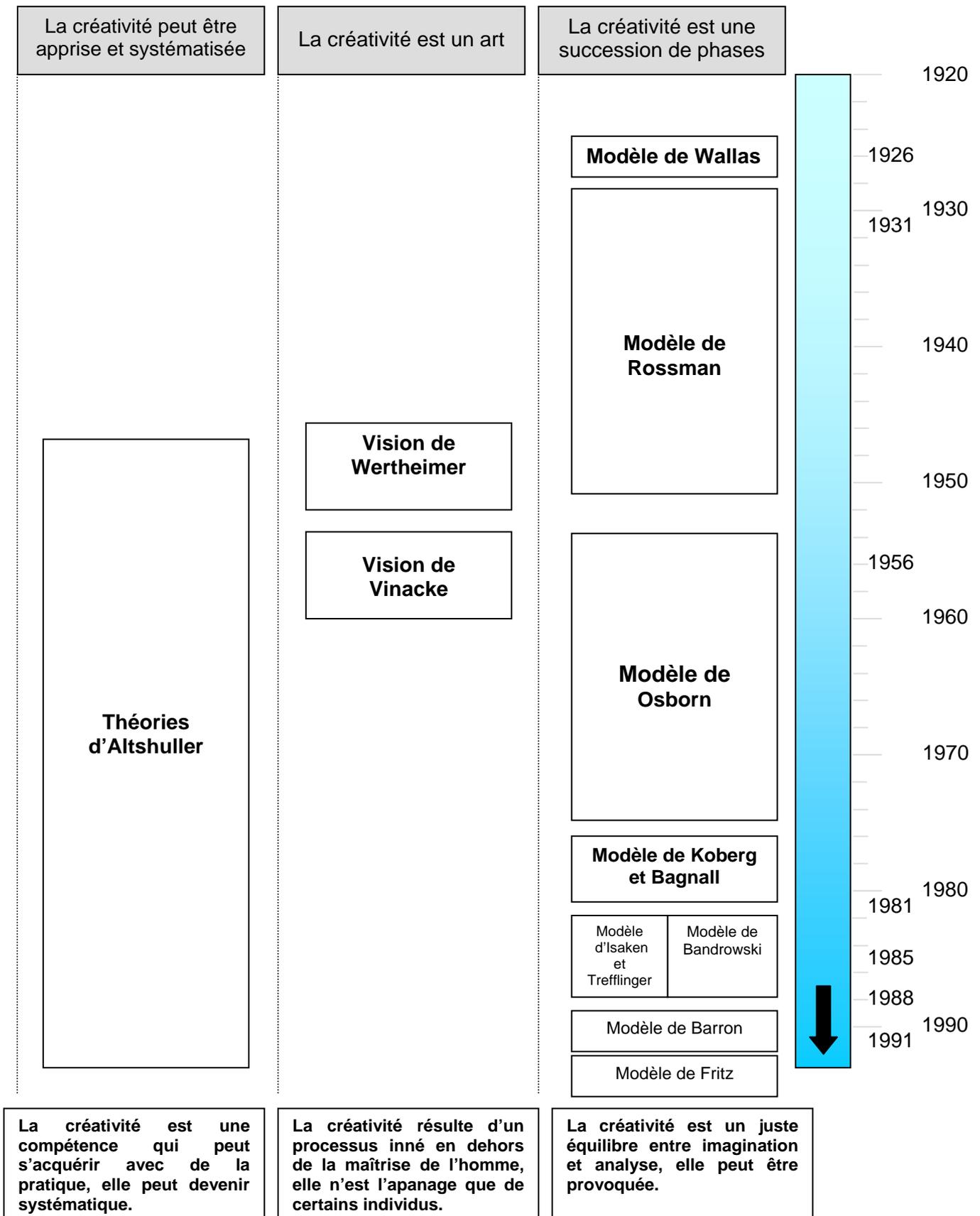
L'analyse de brevets a révélé aussi que si deux problèmes peuvent être généralisés avec le même modèle, alors leurs résolutions peuvent aussi être généralisées avec un modèle similaire, c'est-à-dire si deux problèmes provenant de différents domaines technologiques sont formulés par des modèles identiques, alors le modèle de résolution de l'un peut à priori s'appliquer à l'autre [ALT 99]. Ainsi, la théorie TRIZ fut conçue de manière à rendre accessibles les solutions qui ont été développées dans un autre domaine technologique, afin de rendre le processus d'innovation plus performant.

4 La créativité dans le processus d'innovation : visions et modèles

Toutes les définitions de l'innovation, coïncident : la phase initiale du processus d'innovation est la génération de nouvelles idées. Cette phase est ensuite suivie de la conversion des idées vers un revenu commercial, essence de l'innovation [SKY 98]. Plusieurs approches sont destinées à aider la génération des idées, les plus importantes sont représentées sur la figure 1.10.

Cette dernière montre de façon résumée, les différentes étapes suivies pendant l'évolution des diverses approches et perspectives sur la créativité. Elles ont été classées selon trois visions fondamentales. Cette classification n'est pas exhaustive, mais elle reflète clairement les tendances abordées.

Les différentes approches de la créativité



Source : [CAV 99]

Figure 1. 10 Les différentes approches de la créativité

Dans les paragraphes qui suivent, uniquement les modèles considérés comme les plus importants (selon leur impact dans la manière de concevoir la créativité) seront décrits.

4.1 La créativité est une succession de phases

La caractéristique commune à tous les modèles qui seront présentés par la suite, est qu'ils décrivent la créativité comme un processus de concaténation de différentes étapes.

4.1.1 Le modèle Wallas

Chaque objet, technologie ou machine a été produit par la génération de nouvelles idées, en conséquence, «*La transformation de ce qu'on ne connaît pas, vers la familiarité, est un processus créatif* » [SAL 99].

Un des premiers modèles de la pensée créatrice (conçu dans les années 20) a été attribué à Graham Wallas, qui représentait le processus de la création en quatre étapes :

- 1) Préparation, définition, observation et étude.
- 2) Incubation, laisser l'élément de côté pendant un certain temps.
- 3) Illumination, l'inspiration subite.
- 4) Vérification.

La théorie de ce modèle, implique que la pensée créatrice est un procédé subconscient, qui ne peut pas être contrôlé ou dirigé et que les pensées créatives et rationnelles sont complémentaires. Après l'apparition de ce modèle, plusieurs autres ont été conçus avec une caractéristique commune : ils ont représenté la créativité comme un procédé magique et mystérieux impliquant des pensées subconscientes non maîtrisées par le créateur.

4.1.2 Le modèle d'Osborn

Le créateur du "Brainstorming", Alex Osborn, propose aussi un modèle en 1953, qui s'appuie sur l'équilibre entre l'analyse et l'imagination, composé de sept éléments, [PLS 96] :

- 1) Orientation ; formalisation du problème.
- 2) Préparation ; collecte des données pertinentes.
- 3) Analyse ; analyse des données.
- 4) Conception ; trouver plusieurs alternatives par le biais de la génération des idées.
- 5) Incubation ; inviter à l'illumination.
- 6) Synthèse ; réunir toutes les pièces de manière cohérente.
- 7) Évaluation ; estimer la qualité des idées.

Osborn a proposé la conception et la génération des idées avec l'outil « brainstorming ».

4.1.3 Le modèle Osborn – Parnes

Ce modèle est le résultat de la combinaison de différentes approches (Parnes, Osborn, Isaksen et de Trefflinger), cependant, le modèle décrit ici, a été formulé par Sidney J. Parnes dans les années 50.

Le modèle a été nommé Résolution Créative des Problèmes (CPS, Creative Problem Solving Model). Il est composé de six étapes :

- 1) Mess-finding (trouver un objectif)
- 2) Fact-finding (identification des données importantes)
- 3) Problem-Finding (trouver le problème)
- 4) Idea-finding (génération des idées)
- 5) Solution finding (Évaluation des idées)

6) Acceptance-finding (implémentation de la solution trouvée)

La méthode implique d'abord, dans chaque étape, une phase de pensée divergente, où sont produites un bon nombre d'idées (faits, définitions des problèmes, idées, critères d'évaluation, etc.), suivie d'une phase convergente où seules les idées les plus prometteuses sont sélectionnées pour les explorer [HUG 98].

4.2 La créativité est un art

La vision de Wertheimer et Vinacke

D'autres philosophes, scientifiques et experts soulignent qu'il n'est pas possible de considérer la créativité comme une succession d'étapes, parmi eux Wertheimer [WER 45] et Vinacke [VIN 53]. D'après Wertheimer, le processus de la pensée créatrice suit une ligne de pensée bien définie qui ne peut pas être segmentée ni limitée à un certain modèle.

Vinacke vérifie expérimentalement que dans le processus créatif suivi par les artistes, il n'y a pas d'étape clairement identifiable. Vinacke décrit ce processus de la manière suivante : *il n'y a pas vraiment des étapes, mais à leur place il y a des processus qui agissent simultanément durant la création* [VIN 53].

4.3 La créativité peut être apprise et systématisée

Cette vision sur l'innovation change radicalement le paradigme sur l'innovation. Dans cette nouvelle perspective, l'innovation est une capacité et comme telle, elle peut être apprise, développée et enseignée. De plus, l'innovation perd sa dimension surnaturelle et devient une ressource maîtrisable et contrôlable.

4.3.1 L'approche de la pensée latérale

D'après Sperry W. prix Nobel de médecine en 1981, il y a deux processus de raisonnement : la pensée divergente et la pensée convergente. La raison principale de cela réside dans l'asymétrie cérébrale fonctionnelle. En d'autres termes, les hémisphères droit et gauche du cerveau ne traitent pas la même information.

L'hémisphère gauche, responsable de la pensée convergente, examine de manière essentiellement logique et analytique les détails et les données recueillis sur un sujet. Il ne cherche pas à construire des relations ou des abstractions. L'hémisphère droit est la source de la pensée divergente, plus intuitive et avec la tendance à fonctionner de manière holistique [ULR 05]. Lors de la résolution d'un problème, la pensée divergente essaie d'élargir l'espace de solution tandis que la pensée convergente, est concentrée en la réduction de cet espace afin de trouver une solution plausible. Ces deux processus coexistent dans un processus créatif. Cette conception sur la pensée, a eu un impact déterminant dans les courants et la recherche moderne sur la créativité. Il est possible de l'identifier dans les recherches menées par De Bono.

D'après De Bono [DBE 04], la pensée créatrice n'est pas un talent, elle est une habilité et par conséquent, elle peut être enseignée et apprise. De ce fait, elle peut être dirigée et exploitée par les membres d'une entreprise afin d'améliorer leur capacité à innover et les bénéfices de l'entreprise.

De Bono divise la pensée en deux types : la *pensée verticale* et la *pensée latérale*. Le premier type, gère les processus logiques ou rigides et le second représente la pensée « atypique », capable de produire une perturbation importante dans un raisonnement et ainsi, déboucher sur un nouveau concept. Dans la pensée latérale, la création de nouvelles idées n'est pas le résultat de la chance, c'est un processus dirigé, appuyé sur différentes

techniques comme : la diversité des alternatives, la focalisation, le challenge, l'entrée aléatoire, le traitement des idées, entre autres.

4.3.2 La systématisation de la créativité : l'approche de la théorie TRIZ

« *L'approche de TRIZ sur la créativité est basée sur la technologie, plutôt que sur la psychologie* » [Z&Z 99]. Cette phrase souligne la principale différence entre TRIZ et les nombreuses autres techniques pour encourager la créativité.

Dans le contexte de la Théorie TRIZ la créativité est observée d'un point de vue technique, cela implique que la créativité est considérée comme une combinaison d'idées et de connaissances provenant de domaines différents, afin de créer une connexion entre concepts très éloignés ; par exemple l'emploi de procédés issus de l'industrie agroalimentaire pour résoudre un problème dans le traitement de diamants [TZZ 98], ou l'adaptation d'une technologie provenant de l'industrie aéronautique pour la fabrication de produits féminins [LIT 04].

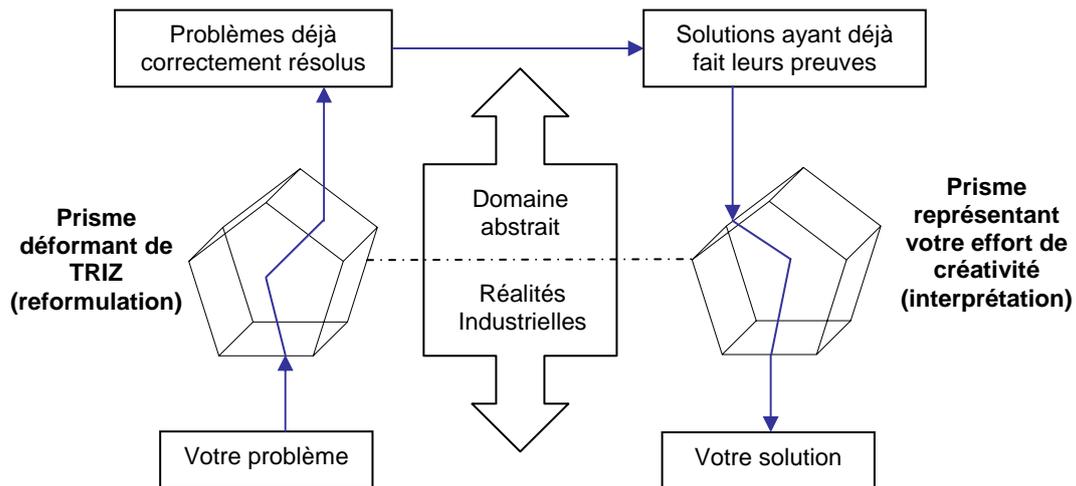
Dans les années 40, Genrich Saulovich Altshuller, scientifique russe refusait les idées préconçues sur la créativité : approche basée sur la psychologie et caractérisée par un degré très élevé d'incertitude. A la place, il choisissait une autre manière d'aborder cette dernière, basée sur l'analyse des évidences produites par la créativité sur la technologie, c'est-à-dire, les inventions. Ces évidences sont stockées et disponibles dans les bases de brevets.

Parmi les résultats de l'analyse menée sur les bases de brevets, Altshuller découvre un phénomène : le même problème avait été résolu plusieurs fois par un certain nombre d'inventions, dans différents secteurs technologiques. Parallèlement, il observe aussi que les mêmes solutions avaient été employées dans différents domaines et à différentes époques.

En résumé, le problème fondamental qui caractérise ces inventions était le même et avait été résolu de la même façon, comme l'illustre l'exemple suivant : *le processus qui consiste en une augmentation graduelle de la pression suivie d'une diminution très rapide, est utilisé pour enlever les grains à l'intérieur des fruits et légumes, afin que ceux-ci puissent être mis en conserve. Ce processus a été présenté dans un brevet datant de 1968 et étrangement, le même processus mais appliqué pour enlever la coquille de certaines noix a été breveté 18 ans après* [TZZ, 98]. Ce phénomène est abordé plus en détail dans le chapitre 4 dans les sections 4.3 et 4.4 de ce manuscrit.

Le raisonnement d'Altshuller fut que la connaissance contenue dans les inventions, peut être extraite, indexée et généralisée de façon à la rendre accessible aux inventeurs (ou innovateurs) de n'importe quel domaine. Cette procédure a donné naissance à la première base de connaissance de l'innovation, [Z&Z 99]. Les bases des connaissances contenues dans TRIZ permettent lors de la résolution d'un problème, de diriger la phase de génération de concepts vers les solutions ou les stratégies de résolution les plus créatives, identifiées dans d'autres disciplines et qui ont déjà prouvé leurs efficacités.

Ainsi, « *TRIZ... hisse les capacités de production des idées à un niveau supérieur en dirigeant dans la bonne direction, en soufflant des solutions génériques pour que l'effort de créativité prenne alors le relais et transpose ces ébauches d'idées au problème posé* », [CAV 99A]. La figure 1.11 représente le processus de résolution de problèmes au sein de TRIZ. Ce processus sera analysé plus profondément dans les chapitres 3 et 4.



Source : [CAV 99A]

Figure 1.11 Le processus de résolution de problèmes selon TRIZ

4.4 Les techniques pour diriger la créativité

Les différentes approches et perspectives sur la créativité, ont produit plus de 200 méthodologies et techniques destinées à l'encourager ou à la diriger. Cet ensemble peut être classé d'après Zusman [ZUS 98], selon les méthodes et les moyens employés. Cette classification a donné naissance aux sept outils différents décrits ci-dessous :

- 1) *Conditionnement / motivation et techniques de l'organisation* (Conditioning / motivating / organizing techniques) : les techniques, les procédures, les conditions spéciales ou les moyens qui appartiennent à cette catégorie cherchent à créer un environnement qui facilite l'élimination de barrières mentales pour encourager la créativité, exemple : écouter de la musique.
- 2) *Aléatoire* (Randomization) : l'inertie psychologique (pour une définition voir le chapitre 2 section 3.1), oblige -ou dirige- la pensée individuelle à se maintenir dans certaines lignes de raisonnement ou paradigmes ; ainsi, pendant la résolution d'un problème, il s'avère très utile de forcer un individu à faire des tentatives plus aléatoires pour le résoudre. C'est-à-dire la recherche de solutions à un problème se fait de manière aléatoire, exemple : le Brainstorming, la méthode d'essai-erreur.
- 3) *Techniques de focalisation* (Focusing techniques) : ces techniques sont employées pour aider un individu à centrer ses ressources sur un élément à la fois. L'application de ces techniques peut être systématique ou aléatoire. Exemple : la liste d'attributs.
- 4) *Systématiques* (Systems) : un système contient un ensemble de pas à suivre dans un ordre spécifique ou de manière aléatoire. Exemple : le « Quality Function Deployment » (QFD).
- 5) *Techniques ponctuelles* (Pointed techniques) : ces techniques offrent des recommandations simples ou en plusieurs étapes en suivant une direction prédéterminée et prometteuse. L'utilité de cette direction est basée sur l'intuition, le savoir-faire ou la connaissance accumulée et documentée. Exemple : ARIZ ou l'Algorithme de Résolution de Problèmes d'Innovation décrit dans le chapitre 2 de ce manuscrit.
- 6) *Techniques basées sur l'évolution* (Evolutionary directed techniques) : les techniques appartenant à cette catégorie offrent différentes directions selon les modèles

fondamentaux de l'évolution. Exemple : les lignes d'évolution des systèmes techniques. Une description de ces lignes d'évolution ainsi qu'un exemple d'application ont été dressés dans le chapitre 2 et dans l'annexe 2 respectivement.

- 7) *Techniques de l'innovation basées sur la connaissance* (Innovation knowledge-base techniques) : la particularité de ces techniques, est l'utilisation de la connaissance structurée, provenant du savoir-faire ancien sur l'innovation. Exemple : la matrice de résolution de contradictions et les 40 principes d'innovation. Une description de cet outil ainsi que plusieurs exemples d'application peuvent être consultés dans le chapitre 4 et l'annexe 2 de cette thèse.

Les techniques appartenant aux cinq premiers groupes ont été conçues sous une approche psychologique. Aujourd'hui, avec le développement des approches basées sur la connaissance (les groupes 6 et 7), elles peuvent être combinées ou renforcées avec la connaissance. Une comparaison parmi ces classes est faite par Zusman [ZUS 98] et une plus générale sur différentes méthodologies de résolution de problèmes est faite Changqing [CKF 05]. Sur le site web de www.mycoted.com, il existe une liste avec une description succincte de plus de 160 techniques pour encourager la créativité.¹

4.5 Conclusion

Après avoir fait une description succincte sur les modèles qui expliquent le processus créatif dans l'innovation, il est possible d'en tirer quelques conclusions :

- 1) A l'exception de TRIZ, ils sont tous basés sur une approche psychologique de la créativité.
- 2) L'aléatoire est fortement présent.
- 3) Le processus créatif implique une analyse, la génération des idées et une évaluation critique, c'est-à-dire, le processus de la pensée créatrice est un équilibre entre l'imagination et l'analyse.
- 4) Les modèles les plus anciens, impliquent que les idées créatrices, sont le résultat d'un processus subconscient sur lequel, le créateur n'a pas de contrôle. Les modèles plus récents considèrent la génération des nouvelles idées comme un procédé sous le contrôle de son créateur.
- 5) Le procédé créatif exige une commande à l'action et l'implémentation des idées [PLS 96], [MYC 03].
- 6) Ils n'ont presque pas évolué depuis des années et malgré cela, les entreprises et les départements de R&D, continuent à utiliser ces approches et des méthodes conventionnelles pour résoudre les problèmes actuels, qui deviennent de plus en plus complexes.

Alors les besoins des entreprises modernes exigent une approche qui puisse être déployée à volonté, capable de produire des résultats originaux et de réduire le temps de conception. Tout cela afin d'augmenter les possibilités de réussir sur un marché qui accepte des nouveaux produits et services. A notre avis, la théorie TRIZ est l'approche la plus prometteuse pour apporter cet avantage.

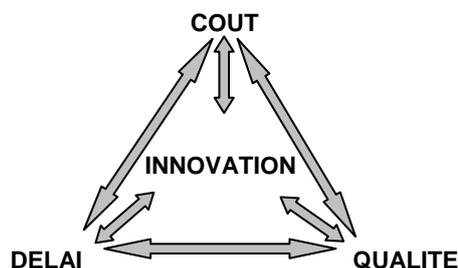
¹ Pour plus d'information voir: <http://www.mycoted.com/creativity/techniques/index.php>

5. La conception, un processus inhérent à l'innovation

Actuellement, il est possible de repérer la capacité du marché mondial à accepter de nouveaux produits, ce qui amène à la réduction du cycle de vie des produits fabriqués. Les clients et les utilisateurs demandent des produits de plus en plus adéquats à leurs goûts et besoins, ainsi les entreprises modernes doivent concevoir des produits plus rapidement, afin de conserver leurs positions sur un marché. Par conséquent, il n'est pas surprenant de constater que la capacité à développer des nouveaux produits/services, est devenue une aptitude déterminante pour le succès d'une entreprise et peut-être le critère principal de survie [MAR 03].

C'est la chrono-compétitivité ou la réduction du « time-to-market », l'élément le plus important dans cette stratégie, où arriver le premier sur le marché peut représenter un avantage compétitif indéniable, qui selon Musselwhite [MUS 90], peut atteindre jusqu'à 75% du nouveau marché et une différence de prix de 20% par rapport à la concurrence. Par exemple, dans la firme Sony, le délai moyen de réalisation d'un prototype (de l'idée jusqu'à la fabrication d'un premier modèle physique enveloppant ce concept) était de cinq jours en 1999 [TOM 99]. Cette capacité permet à l'entreprise Sony, d'introduire sur le marché plus de 5000 nouveaux produits par an [SMI 05].

Donc, les entreprises doivent concevoir une structure dans laquelle, les concepteurs développent et/ou sélectionnent les moyens d'atteindre un ensemble d'objectifs soumis à différentes contraintes, afin que le résultat final soit approprié aux attentes des clients et utilisateurs [T&N 96]. Pour arriver à ce stade, le produit ou service doit satisfaire trois axes : la qualité, le coût et le délai ou l'axe **QCD**. Le QCD englobe les besoins du client et c'est sur lui, que les activités de conception doivent se positionner.



Source : [CRU 02]

Figure 1.12 Les exigences du marché

En raison de l'importance de la conception dans le processus d'innovation, les paragraphes suivants abordent de manière très concise le processus de conception selon la nature de la démarche suivie.

5.1 Les caractéristiques du processus de conception

Une définition de la conception suggère qu'elle est le « *passage d'une situation initiale d'insatisfaction à une situation objective, dans laquelle cette insatisfaction est résolue par la définition du produit. Ce processus peut donc être considéré comme une résolution de problème* » [LON 04]. Alors, le processus de conception est un ensemble d'activités par lesquelles un concepteur sélectionne les moyens pour atteindre un ensemble d'objectifs, soumis à différentes contraintes. Le processus de conception peut être centré sur la création d'une nouvelle solution, sur la sélection d'une solution existante ou sur une combinaison de ces deux dernières [T&N 96], [LON 04], [H&E 96].

La conception vue comme un processus de résolution d'un problème a été classée de plusieurs manières. Une des classifications reconnaît trois échelons fondamentaux : **Descriptif, prescripteur ou basé sur l'informatique**. La distinction principale entre

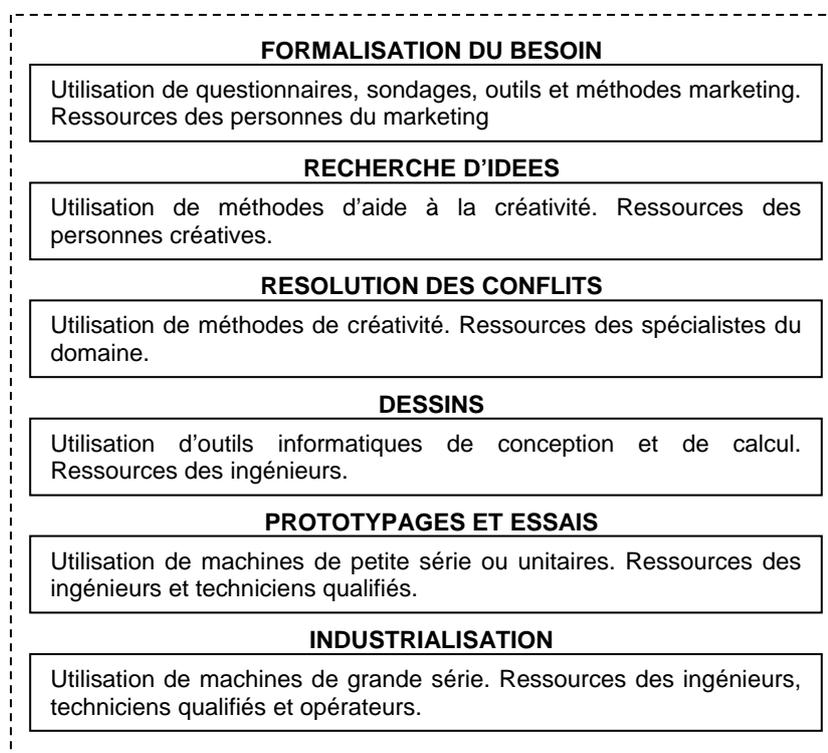
descriptif et prescripteur est que le premier décrit simplement la séquence d'activités qui ont lieu pendant la conception, tandis que le deuxième essaye de prescrire un modèle d'activités plus approprié et adapté aux conditions du problème.

Le processus de conception basé sur l'informatique en synergie avec TRIZ, a créé un nouveau champ d'application : l'Innovation Assistée par Ordinateur (l'INAO) ou en anglais « *Computer Aided Invention* » (CAI). Les principales applications de cette approche dans les milieux industriels ont eu pour objectif, la réduction du temps nécessaire pour résoudre des problèmes novateurs dans la conception de nouveaux produits, [JIM 00A].

Une autre classification a été proposée par Tate et Nordlund [T&N 96]. Ces auteurs ont divisé les différents processus de conception en deux catégories : la première est basée sur les activités réalisées dans le processus de conception et la deuxième, selon les différentes phases d'évolution suivies pendant la conception d'un objet.

- **Les modèles basés sur des activités**, le dénominateur commun de cet ensemble, est la présence du cycle « d'analyse - synthèse et d'évaluation ». L'idée primordiale dans cette catégorie est que la conception consiste en une itération répétée entre ces trois activités.
- **Les modèles de phase**, les modèles de phase cherchent à isoler l'information relative aux activités implémentées dans une étape. Par conséquent, une étape peut être enrichie avec une nouvelle activité ou série d'activités plus pertinentes et spécifiques selon des conditions aussi spécifiques. L'idée sous-jacente de ces modèles est que la conception est une interaction complexe entre plusieurs phases.

Le modèle suivant de phases, est une représentation générale du processus de conception de nouveaux produits (le développement d'un service suit approximativement les mêmes étapes), qui montre le processus le plus couramment suivi dans l'industrie.



Source : [CAV 99]

Figure 1.13. Représentation générale du processus de conception de nouveaux produits.

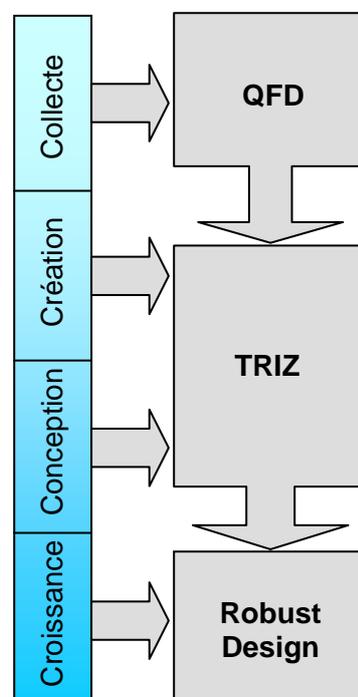
Il y a dans cette représentation du processus de conception deux étapes critiques : la recherche des idées et la résolution des conflits.

Depuis très longtemps, la résolution des conflits et surtout, la génération des idées, ont été envisagées comme des phénomènes incontrôlables en dehors de la maîtrise des concepteurs. A propos de ce sujet, Cavallucci a souligné : « ...*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* » [CAV 99], [CAV 97]. Comme il a été mentionné précédemment, la théorie TRIZ a démontré, par le biais de l'application, que les solutions identifiées comme efficaces dans l'analyse mondiale des bases de brevets, améliorent radicalement la conception des systèmes et produits. Ainsi, la systématisation de l'innovation devient possible, puisque TRIZ offre une façon de guider les actions entreprises pendant la résolution d'un problème, vers une solution ayant déjà prouvée son efficacité [TZZ 98]. L'intégration de TRIZ dans le processus de conception est abordée dans le paragraphe suivant.

5.2 TRIZ dans le processus de conception

L'intégration de TRIZ avec certaines approches comme le QFD, le « robust design », le « axiomatic design », l'analyse de la valeur, entre autres, a produit une synergie qui s'est révélée être un outil de conception très puissant [V&W 95], [TER 96], [R&A 98].

Une des synergies la plus efficace, est l'enchaînement QFD+TRIZ+ROBUST DESIGN (figure 1.14). Dans l'enchaînement de ces outils, le **QFD** (Quality Function Deployment), traduit l'information produite par le client afin de définir les objectifs de conception. Puis **TRIZ** permet la génération des idées et résolution des conflits et finalement, le **ROBUST DESIGN** identifiera les composantes, qui permettent à un système d'avoir une performance solide [TZZ 98].



Source : [CAV 99]

Figure 1.14 TRIZ dans le processus de conception

Les résultats produits par la concaténation de ces approches, ont augmenté l'intérêt et la recherche à propos de l'intégration de TRIZ avec d'autres méthodologies de conception et de résolution de problèmes. A titre d'exemple il est possible de citer la théorie de contraintes (Theory of Constraints), l'analyse fonctionnelle, le total design, etc.

6. Conclusions

Après avoir donné un bref aperçu sur l'innovation, il est évident que la phase créative qui déclenche tout le processus est la plus évasive et difficile à maîtriser. Plusieurs techniques ont été mises au point pour encourager la créativité, la plupart d'entre elles, sont basées sur une approche plutôt psychologique qui, pendant leur mise en œuvre, ignore totalement, l'évolution suivie par les systèmes techniques et sociaux. Donc une approche plus équilibrée est nécessaire, une où la dimension technique et psychologique de la créativité s'intègrent de manière harmonieuse. Cette condition est présente dans une approche : celle de la théorie TRIZ.

De façon plus concise, l'innovation est observée dans le contexte de ces travaux, comme un processus technologique, créatif, sociétal et fortement influencé par l'économie du marché, où la connaissance individuelle et organisationnelle est mise en évidence, partagée, assimilée, transformée et finalement créée, avec comme but de produire de la valeur dans une organisation et de ce fait, augmenter les possibilités de conserver un segment dans un marché très compétitif. Ainsi, le développement systématique de nouvelles connaissances, produit des innovations en matière de produits, de processus et dans la structure de l'organisation.

Cela implique d'un côté, le développement d'une mémoire organisationnelle, c'est-à-dire, une structure qui favorise l'acquisition, l'analyse, la préservation et la réutilisation des connaissances [LEN 99], [KUN 01] et d'un autre, la création d'un entourage qui stimule la créativité avec comme but le déclenchement du processus d'innovation et la création de nouvelles connaissances. Ces deux dimensions de l'innovation seront analysées par la suite.

Chapitre 2

La théorie TRIZ : une approche pour systématiser l'innovation

Résumé : la Théorie de Résolution des Problèmes Inventifs ou théorie TRIZ est une heuristique basée sur la connaissance. A la différence d'autres approches pour la résolution de problèmes, TRIZ n'est pas uniquement basé sur une approche psychologique. TRIZ inclut dans ses fondements, une synthèse de l'histoire de l'évolution des systèmes techniques et sociaux. De ce fait, lors de la résolution d'un problème, TRIZ utilise cette synthèse comme une source de connaissances, qui guide l'utilisateur lors de la résolution de problèmes non habituels ou inventifs. Cette approche de résolution est brièvement décrite dans ce chapitre.

Chapitre 2 : la théorie TRIZ : une approche pour systématiser l'innovation

1. Introduction

Le premier chapitre a mis en évidence les manques existants dans les approches traditionnelles pour encourager la création de nouveaux concepts, trouver de nouvelles voies d'évolution des produits existants, résoudre des problèmes de conception. Cette phase de génération de nouvelles idées est primordiale, car elle est à l'origine du déclenchement de l'ensemble du processus d'innovation [J&H 03].

Ce chapitre a également souligné les différences majeures entre les approches traditionnelles pour inciter la créativité, et celle de la théorie TRIZ. Cette dernière considère que la génération d'idées innovantes peut être mise en œuvre systématiquement et n'est plus l'apanage d'un intellect supérieur. De plus, elle hisse la créativité à un niveau supérieur par rapport aux autres méthodes. Cette théorie n'a pas la prétention de produire à chaque essai une idée innovante, mais de diminuer la part du hasard présent dans toutes les approches classiques lors de cette phase.

En effet la place du hasard est considérablement réduite, car TRIZ sert de guide pour orienter la réflexion vers de bonne direction de recherche d'idée, tandis que dans les approches classiques, l'ensemble de l'espace de solution est exploré plus au moins aléatoirement.

Ce chapitre est donc destiné à décrire très succinctement cette théorie, en sachant que l'annexe 2 de cette thèse, a été conçu comme un document de consultation sur la théorie TRIZ où sont présentés plus en détail les concepts de base et les outils les plus importants de TRIZ, ainsi qu'un exemple de leurs utilisations.

2. Qu'est ce que la théorie TRIZ ?

La découverte d'une solution innovante est souvent attribuée à un intellect supérieur, à la chance, au talent inné, à l'illumination soudaine, en résumé à des conditions en dehors de la maîtrise humaine. Cette croyance occasionne un manque dans le processus d'innovation, puisqu'elle n'autorise pas la mise en œuvre d'une méthode fiable et pérenne pour guider le processus d'innovation et amener la créativité à un niveau plus élevé [SCH 03].

Certes, l'industrie continue de créer des produits avec des idées nouvelles en utilisant des méthodes réduisant le champ d'exploration des idées mais où la part d'aléatoire reste importante (essais - erreurs, brainstorming, etc.). Par conséquent, ceci entraîne des solutions avec des performances moindres et d'une qualité inférieure à celle atteignable par de nouvelles méthodes ou théories [ALT 99]. Ces inconvénients sont corrélés à la grande part de hasard dans ces méthodes, dont la conséquence principale est que la recherche d'une solution originale prend souvent du temps.

Or dans un souci de réactivité (pour satisfaire des clients, gagner des parts de marché, être les premiers à sortir le produit, des fenêtres de sortie du produit de plus en plus réduites), les entreprises réduisent de plus en plus le temps de développement des produits, proposant alors des solutions de plus bas niveau, souvent faites de compromis. Dans ces conditions conjoncturelles, les méthodes traditionnelles atteignent leurs limites.

Le tableau 2.1 propose une comparaison entre différentes méthodologies de résolution de problèmes.

Attribut Méthode	Basé sur	Focalisé sur	Base des connaissances	Source des idées
Essai – erreur	Intuition	Explore de façon aléatoire l'espace de solution d'un problème	Néant	Généralement individuelle
Brainstorming	Intuition et diversification des points de vue des participants.	Explore de façon aléatoire l'espace de solution d'un problème	Néant	Une équipe de travail
Plan d'expériences	Recherche d'une expérience	L'analyse d'un problème similaire.	Néant	Généralement individuelle
Synectique	Recherche d'une analogie	L'identification d'une analogie	Néant	Une équipe de travail
5W1H	Recherche systématique	Offrir une réponse aux questions, quoi, qui, quand, où, pour quoi et comment.	Néant	Généralement individuelle
Combinaison	Combinaison de résultats	Combinaison de deux éléments différents	Néant	Individuelle ou dans une équipe de travail
Analyse en reverse	Idées sur un produit existant	L'amélioration d'un produit	Néant	Généralement individuelle
TRIZ	Analogie tirée de l'évolution des systèmes techniques et sociaux	L'évolution d'un système	Possède une vaste base de connaissance	Généralement individuelle.

Source : adaptée de [CKF O5]

Tableau 2.1 Comparaison entre différentes méthodologies de résolution de problèmes

Refusant l'idée d'une grande part d'aléatoire dans le processus d'innovation, TRIZ est une théorie efficace pour systématiser l'innovation et réduire le temps de développement des produits (accélération du processus de génération d'idée). La théorie TRIZ est basée sur le postulat que la créativité peut être développée et déployée systématiquement par tout individu, lors de la résolution d'un problème. Ce postulat ou point de départ de TRIZ, vient du constat qu'il existe des principes universels d'invention qui sont à la base de l'innovation. L'analyse des systèmes techniques, qui est un des fondements de TRIZ, permet de découvrir que ces derniers suivent certaines lois d'évolution, tout comme les systèmes biologiques. Les schémas d'évolution permettent alors de trouver les directions les plus efficaces vers lesquelles le système technique doit se diriger.

Au final TRIZ offre une méthodologie pour résoudre plus rapidement des problèmes de haute complexité, tout en refusant le compromis et souvent avec une vision nouvelle du problème. L'avantage majeure de TRIZ est que cette théorie, permet de stimuler la créativité de tout ingénieur à condition qu'il fasse l'effort conséquent d'appropriation de la théorie. Les paragraphes suivants présentent succinctement cette théorie : TRIZ.

2.1 Les origines de TRIZ

La Théorie de Résolution de Problèmes Inventifs ou Théorie de Résolution de Problèmes d'Innovation, est la traduction de l'acronyme russe TRIZ. Cette théorie tire ses origines dans l'ex Union Soviétique des années 40, lorsque son créateur Genrich S. Altshuller (jeune employé dans un bureau de brevets de l'armée navale soviétique), essayait d'identifier certains principes généraux pour guider ces travaux en tant qu'inventeur [ALT 99]. Altshuller était spécialement intéressé, par la réduction du temps de conception des inventions et pour développer un processus bien structuré, adaptable et réutilisable pour encourager la pensée créatrice [TZZ 98].

Cette approche possède la particularité de contenir de part sa nature, une combinaison équilibrée entre une synthèse de l'évolution des systèmes techniques et sociaux et une approche psychologique de la créativité.

TRIZ peut être définie selon Ideation International [IDE 06] et [ENG 05], comme une *théorie émergente basée sur la connaissance, qui offre une structure pour guider la pensée créatrice. TRIZ inclut une base théorique et un répertoire d'outils, qui aident les individus à inventer et à résoudre les problèmes complexes de façon systématique*. Tous ces outils sont conçus avec comme objectifs :

- Résoudre les problèmes inventifs ou les problèmes techniques complexes.
- Développer la créativité des inventeurs et des ingénieurs.
- Prévoir l'évolution d'un produit ou d'une technologie.
- Réduire la durée des phases de recherche et de développement d'un produit.

Compte tenu de ses objectifs, Altshuller a cherché les fondements d'une telle théorie dans quatre sources principales :

- 1) *Une analyse de brevets*. Cette analyse a été centrée sur la façon dont un problème avait été résolu, indépendamment du domaine technique ou de la technologie utilisée. Cette démarche produirait plus tard, un ensemble de principes génériques pour la résolution des problèmes inventifs mais aussi, les fondations de la première base des connaissances de l'innovation [Z&Z 99]. De plus, cette analyse a mis en évidence le fait que tous les systèmes techniques évoluent en suivant certaines lignes et certains modèles d'évolution [DEC 99].
- 2) *Le comportement psychologique des inventeurs*. Altshuller voulait comprendre les mécanismes de l'acte de la création technique, identifier les stratégies employées pendant la résolution d'un problème, les erreurs commises et les réutiliser [CAV 99A].
- 3) *Une analyse de la littérature scientifique*. Ces travaux ont révélé un ensemble de notions, principes et phénomènes scientifiques qui restaient soit improductifs soit cloisonnés à un domaine scientifique. Ainsi, Altshuller les a ordonnés de telle façon, que leurs effets utiles pouvaient être facilement identifiés et appliqués selon les besoins d'une situation problématique [ALT 99].
- 4) *Une analyse des méthodes de résolution d'un problème*. C'est ainsi que les mécanismes d'autres méthodes, comme par exemple la synectique, l'analyse cause-effet, l'analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC), ont été passées en revue afin de déterminer leurs faiblesses et avantages, pour être finalement intégrées dans la structure de TRIZ [CAV 99A].

Des années 40 à nos jours, plus de trois millions de brevets ont été analysés dans le but d'en extraire les stratégies de résolution, afin d'enrichir les bases des connaissances de

TRIZ [IDE 06]. Cela se traduit par une vaste diversité de domaines disponibles lors de la résolution des problèmes, ce qui augmente la qualité et l'originalité des solutions. Parallèlement, cette analyse a permis à Altshuller et ses collègues de classer l'innovation en 5 niveaux, selon leur degré d'inventivité (Tableau 2.2).

Les principaux critères qui ont servi à élaborer cette classification sont selon Terninko [TZZ 98] :

- L'éloignement entre la connaissance utilisée pour résoudre le problème et le domaine où celle-ci était appliquée.
- Le nombre de solutions qu'il faudrait essayer pour trouver cette solution, essentiellement par la méthode d'essais et erreurs.
- Le résultat obtenu ou changement accompli, par rapport aux conditions du problème.

<i>Niveau</i>	<i>Description</i>	<i>%</i>	<i>Origine de la connaissance</i>	<i>Nb. de solutions à considérer</i>
1	Solution apparente	32	Connaissance d'un individu	10
2	Amélioration mineure	45	Connaissance de l'entreprise	100
3	Amélioration majeure	18	Connaissance de l'industrie	1000
4	Nouveau concept	4	Connaissance de toutes les industries confondues	100000
5	Découverte	<1	Ensemble des savoirs	1000000

Tableau 2.2 Les cinq niveaux d'inventivité

Selon ce classement, les problèmes appartenant au niveau 1 ne requièrent pas le déploiement d'une méthodologie rigoureuse pour leur résolution. De même, les problèmes du niveau 5, seront résolus par la science et non par la technologie. Les innovations des niveaux 1 à 3 sont usuellement transférables entre domaines. TRIZ exploite ce phénomène de transfert, elle permet de résoudre les problèmes de niveaux 2, 3 voire 4.

2.2 Le processus de résolution d'un problème dans TRIZ

Traditionnellement, les approches pour résoudre un problème essaient de passer d'un problème initial identifié à une solution spécifique à ce problème. L'inconvénient est qu'avec cette stratégie, le cheminement du problème à la solution devient spécifique et non réutilisable en dehors du domaine où il a été conçu. De plus dans le cas de problème complexe, cette façon de procéder peut demander un temps de résolution très conséquent, voire ne pas aboutir.

Dans TRIZ, le processus de résolution d'un problème consiste à transformer le problème initial spécifique en un modèle standard de problème (Figure 2.1). Puis grâce aux outils de TRIZ, des solutions standard sont proposées puis vient la phase d'implémentation de cette solution au problème spécifique. Ce processus est schématisé de la manière suivante :

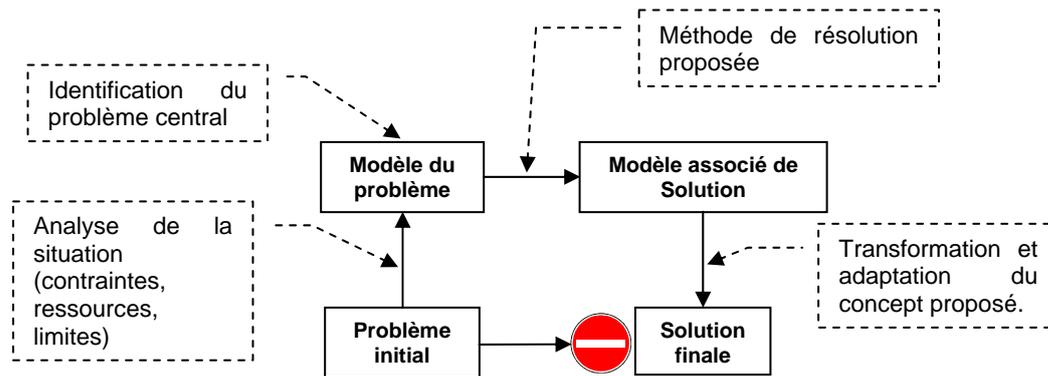


Figure 2.1 Approche de résolution des problèmes de TRIZ

A titre d'exemple [TZZ 98], soit l'équation de second degré $3x^2+5x+2=0$ à résoudre. Sans méthode particulière, la résolution est abordée par une méthode d'essai – erreur (voire brainstorming) : essai d'une valeur pour x puis d'une autre, après n itérations la solution est approchée. Cette approche est lente et imprécise dans le cas général.

Devant ce problème, TRIZ passe par un modèle de problème : équation générale du second degré $ax^2+bx+c=0$ (Figure 2.2). A ce modèle de problème est associé un modèle de solution avec les calculs du discriminant et des racines (limités à des solutions réelles dans le cas présent), figure 2.2. Ce modèle solution est ensuite appliquée au cas initial pour en déterminer la solution finale.

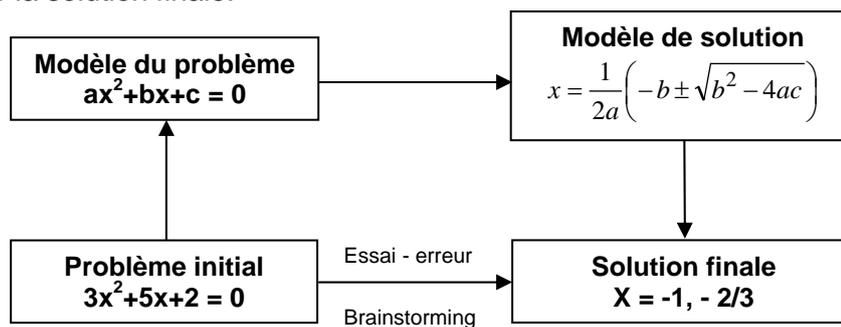


Figure 2.2 Exemple d'approche de résolution par TRIZ

Grâce à ce fonctionnement, TRIZ a accumulé un nombre important d'expériences innovantes ce qui se traduit par la suite par l'accès aux solutions les plus efficaces tout domaine confondu. Ce processus amène le problème initial à un niveau d'abstraction supérieur.

Comme il a été mentionné auparavant, il reste une part de hasard dans le processus de résolution des problèmes avec TRIZ. Cependant la place laissée au hasard est réduite, elle se retrouve dans les phases de transition du problème initial au modèle de problème ainsi que de la solution standard à la solution spécifique.

La résolution d'un problème dans TRIZ (passage de modèle de problème au modèle de solution), est basée sur la concaténation de ses concepts de base et ses outils. La démarche est affinée grâce aux étapes suivantes [DUB 04]:

- Description de la situation initiale.
- Identification du problème à résoudre.
- Formulation d'une solution idéale.
- Formulation d'une solution physique : solution sous sa forme générale.
- Formulation d'une solution technique : principe de réalisation de la solution physique.

- *Formulation d'une solution spécifiée, description complète de la solution, calcul des caractéristiques de la solution.*

Lors du passage du problème analogue standard à la solution analogue standard, cette démarche de résolution fait appel au raisonnement analogique. Le raisonnement analogique « est guidée par une pensée rationnelle et se focalise sur les similitudes structurelles / fonctionnelles entre deux choses et de là sur leurs différences. L'analogie nous aide donc à comprendre ce qui est inconnu au travers de ce qui est connu et comble l'écart entre une image et un modèle logique » [N&T 97]. Puis le raisonnement est nécessaire afin de développer une solution physique, basée celle-ci sur la perception créée par l'interprétation de l'analogie, ce qui conduit à un acte créateur.

Ainsi, la créativité est observée dans ces travaux d'un point de vue technique. Dans cette perspective et de part la conception de TRIZ, la créativité est considérée comme une combinaison d'idées et de connaissances provenant de domaines différents, afin de créer une connexion entre concepts très éloignés ; par exemple l'emploi de procédés issus de l'industrie agroalimentaire pour résoudre un problème dans le traitement de diamants [TZZ 98], ou l'adaptation d'une technologie provenant de l'industrie aéronautique pour la fabrication de produits féminins [LIT 04]. Par conséquent, la créativité vue comme un processus d'interconnexion entre différents concepts et comme la transformation cohérente de différentes connaissances et idées, repose essentiellement sur deux aspects :

- Une combinaison complexe entre différents attributs personnels comme les intuitions, les talents, l'expérience, etc.
- Les connaissances et capacités techniques.

2.3 L'analyse de ce processus

Ainsi, lors de la résolution d'un problème, deux processus coexistent : un *processus convergent* et un second *divergent*.

La pensée convergente correspond aux démarches de résolution de problèmes bien définis, de nature logique essentiellement. Le processus convergent cherche une solution logique, et essaie de déterminer sans ambiguïté si la solution est correcte ou non.

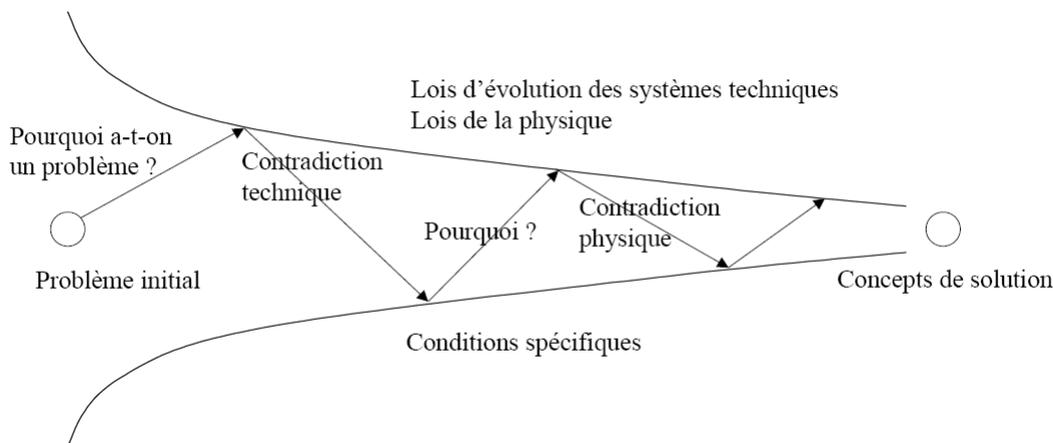
Mais dans l'innovation, la créativité est indispensable. Alors le cheminement suivi par la pensée doit être libre de suivre des voies non conventionnelles, suivre de nouvelles directions afin de créer des réponses inhabituelles à un problème [ULR 05]. Ce mécanisme est fourni par la pensée divergente, qui cherche donc à ouvrir les possibilités de décision, elle cherche également la transversalité et le décroisement entre différents types de connaissances et par conséquent, à élargir l'espace des solutions. Tandis que la pensée convergente est focalisée sur l'évaluation et le filtrage des concepts ou possibilités existantes [CAL 00]. En effet, pour un grand nombre de concepts générés, l'étude de l'ensemble des concepts n'est pas envisageable (trop consommateur de temps, trop coûteux, etc.). Par conséquent, les concepteurs doivent réaliser une analyse et un filtrage de ces concepts.

D'après Sperry W. prix Nobel de médecine en 1981, la raison de cela est l'asymétrie cérébrale fonctionnelle. En d'autres termes, les hémisphères droit et gauche du cerveau ne traitent pas la même information. L'hémisphère gauche est responsable de la pensée convergente et l'hémisphère droit de la pensée divergente [ULR 05]. Les différences entre les deux hémisphères ont conduit à reconnaître une dichotomie entre la pensée émotionnelle et la pensée rationnelle [GOL 95].

Ainsi lors de la résolution d'un problème, la phase divergente guidée essentiellement par l'intuition et l'imagination conduit à la création de nouveaux concepts, à la génération de nouvelles significations, à une interprétation différente des faits observés et à établir un lien entre connaissances éloignées. Ces nouvelles perceptions et concepts seront ensuite analysés et transformés par l'application d'un modèle d'interprétation rationnel, logique, plus rigide qui cherche à déterminer les voies à suivre et qui produit un ou plusieurs concepts potentiels de solution.

Néanmoins, lors de la résolution d'un problème, avoir une énorme quantité de concepts potentiels de solution peut se révéler être un inconvénient au moment de prendre une décision [I&L 00]. Il est alors nécessaire, de limiter la quantité de possibilités de solution, de focaliser la pensée créatrice vers la bonne direction.

Sur le sujet Dubois [DUB 04] explique : « *Il est alors nécessaire de quitter le paradigme d'un court temps de recherche de concepts de solution, pour un grand nombre de concepts générés et un temps d'étude des concepts, qui mène à envisager la conception de produit comme un acte de tri et d'analyse de concepts. La TRIZ préconise un processus convergent, dès la recherche des concepts de solution. Les effets sont alors un allongement de cette phase de recherche, mais un nombre de concepts générés plus petit, induisant un temps d'analyse réduit* ». Ce processus est représenté sur le schéma suivant :



Source : [DUB 04]

Figure 2.3 Le processus convergent de résolution des problèmes de TRIZ

La figure 2.3 montre que le processus de résolution dans TRIZ est un processus convergent, cadré d'un côté par l'ensemble des lois d'évolution des systèmes techniques et de l'autre par les conditions spécifiques du problème.

La convergence de ce processus permet entre autres :

- De réduire la phase de sélection de concepts.
- De focaliser le reste du processus sur les facettes les plus importantes du problème.
- D'augmenter (grâce aux conditions spécifiques du problème), la viabilité des concepts de solutions produits, ce qui peut avoir un impact positif sur la réussite de la solution finale.

Le processus schématisé sur la figure 2.3 est délimité par les lois d'évolution des systèmes techniques qui seront analysées dans la partie 3 de ce chapitre et par les lois de la physique. En ce qui concerne les lois de la physique, lorsqu'Altshuller menait une étude sur les bases de brevets, il a découvert que plusieurs solutions inventives très efficaces, étaient basées sur des effets naturels (lois de la physique) et que parfois, un effet pouvait facilement remplacer un système complexe [Z&Z 04B]. Altshuller a conclu que la

connaissance de plusieurs effets physiques, chimiques et géométriques et de leurs variantes, pouvaient apporter des éléments efficaces pour résoudre un problème technique. L'étude a également révélé que ces lois et effets s'utilisaient très rarement et parfois, n'avaient jamais été envisagés dans certains domaines technologiques.

Environ une centaine de ces lois et effets, font partie du corps de connaissance d'un ingénieur, tandis qu'il en existe approximativement 10 000 décrits dans la littérature scientifique et, cela sans prendre en compte les principes mathématiques et biologiques. Ainsi l'improductivité de cet ensemble d'effets est due aux facteurs suivants :

- Le manque d'une liaison effective entre l'apprentissage et l'emploi de ces effets pour les ingénieurs.
- La difficulté à maîtriser un tel corps de connaissance. Parfois les ingénieurs ne savent pas comment appliquer les effets physiques, chimiques ou géométriques, qui n'ont pas été étudiés dans leurs domaines scientifiques.
- La manière avec laquelle, ce corps de connaissance a été classé et organisé, habituellement de manière encyclopédique et purement descriptive.

Alors, Altshuller et ses collègues ont conçu un guide d'utilisation de ce corps de connaissance, afin de le rendre productif lors de la résolution d'un problème dans différents domaines. Pour ce qui est des lois d'évolution de TRIZ, elles font partie des concepts de base de TRIZ, qui sont l'objet du paragraphe suivant.

3. Les concepts de base de TRIZ

La théorie d'Altshuller se compose de plusieurs outils et concepts pour guider la réflexion pour aboutir plus rapidement à la solution. Parmi les concepts fondamentaux quatre se distinguent : l'idéalité, la contradiction, les ressources et les lois d'évolution d'un système technique. Ces concepts sont décrits dans les paragraphes ci-dessous.

3.1 Le concept d'idéalité et le Résultat Idéal Final (RIF)

Lors de son cycle, la tendance majeure des systèmes techniques est d'évoluer vers l'augmentation de leur degré d'idéalité : le système idéal étant un but pour tous les systèmes technologiques. Cette notion qui n'est pas privative à TRIZ, sert à définir les limites d'un système, produit ou objet et par le biais de cet exercice, de déterminer la voie à prendre lors de la résolution d'un problème.

Ce concept est exprimé avec une relation liant les effets utiles (F_u) produits par le système et la somme des coûts (F_c) et des effets nuisibles (F_n) produits par le système.

$$D = \frac{\sum F_u}{\sum F_n + \sum F_c}$$

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.

Le concept d'idéalité est contenu dans un outil de TRIZ, le Résultat Idéal Final (RIF). Le RIF fut proposé par Altshuller et Shapiro en 1950. Altshuller disait à propos du RIF : « *Le RIF est*

une fantaisie de l'esprit, un rêve. Il est inaccessible, mais il ouvre la voie vers la résolution du problème » [ALT 02]. Le Résultat Idéal Final (RIF) est un concept psychologique qui permet de trouver une alternative simple de la solution face à un problème complexe. Bien souvent, le résultat est utopique mais il offre une voie de réflexion rarement explorée.

Lors de la réflexion sur le RIF ; il faut imaginer une solution au-delà des réalités technologiques, il ne spéculer pas si c'est technologiquement possible ou non de l'atteindre. Le RIF amène une voie d'innovation en réfléchissant directement à la solution et non pas aux difficultés qui se dressent sur cette voie. Le RIF ne s'attarde pas sur le « comment » mais il propose une réflexion rigoureuse sur le problème avec une décomposition systémique de ce dernier pour assurer une analyse détaillée de ses fonctions. Ce travail permet de déterminer le ou les sous-systèmes à améliorer ainsi que les contraintes principales –supprimer celles provenant d'une barrière psychologique-.

Le RIF est formulé selon une maxime : *un des éléments du système ou de l'environnement a la capacité d'éliminer, par lui-même, un effet nuisible (ou redondant, superflu, etc.), en préservant la capacité de produire l'effet primaire utile du système sans introduire de nouveaux désavantages*. La phrase « par lui-même » veut dire, absolument sans rien, sans l'implication de l'homme, d'un flux d'énergie, d'un nouveau sous-système ou intervention d'un super système [SAL 99].

Le RIF est un outil destiné à vaincre la rigidité de la pensée ou « Inertie Psychologique ». D'après Salamatov [SAL 99], parmi les obstacles à la créativité, l'inertie psychologique est le plus redoutable et le principal opposant au concept d'idéalité. L'inertie psychologique est caractérisée par l'enfermement de la créativité dans un certain modèle de pensée dû à plusieurs facteurs comme : les habitudes, les compétences trop pointues, le jargon métier, entre autres. Lors de la résolution d'un problème, ces facteurs occasionnent une polarisation de la pensée car l'expérience, les connaissances et les routines organisationnelles, déterminent la façon de représenter une situation problématique et par conséquent, d'orienter la recherche d'une solution dans les connaissances les mieux maîtrisées. Cela, empêche la recherche de concepts capables de produire une solution innovante.

Lors du processus de résolution de problèmes dans TRIZ (Figure 2.1), les effets néfastes de l'inertie psychologique sont présents lors du passage à un niveau supérieur d'abstraction (formulation du problème standard) et lors de la recherche de la solution spécifique (adaptation de la solution standard). En effet, dans les deux cas l'utilisateur a souvent tendance à se raccrocher à ses connaissances. Toutefois, dans le premier cas TRIZ propose des outils pour briser cette inertie psychologique (voir tableau 2.3).

Le RIF possède une autre fonction. Il constitue un critère d'évaluation lorsque plusieurs concepts de solution sont proposés. Par exemple, lorsque diverses solutions réalisent une fonction voulue, le choix peut se porter vers celle qui se dirige vers l'idéalité (celle dont les effets nuisibles sont les moins présents).

En résumé les objectifs du RIF sont :

- D'encourager les idées novatrices.
- De diriger la réflexion vers des solutions nouvelles rejetant le compromis.
- D'établir les contraintes du problème.
- D'orienter la réflexion dans les différents outils de TRIZ.
- De présenter un critère d'évaluation des solutions.

3.2 La contradiction

De prime abord, tous les problèmes présentent la même caractéristique : ils semblent insolubles. Plutôt que de les résoudre directement, dans certains cas TRIZ passe par une étape intermédiaire de formulation d'une contradiction qu'il faut ensuite éliminer.

Selon Altshuller [ALT 99], l'invention (par conséquent l'innovation), constitue le dépassement partiel ou total d'une contradiction. Il est reconnu depuis longtemps que la contradiction est l'essence même du problème. La notion de contradiction, était déjà exploitée par les philosophes grecs de l'Antiquité dans la pensée dialectique [SAV 00] ou plus récemment par Piaget [PIA 47], entre autres.

Toutefois, Altshuller fut le premier à faire de ce concept, une puissante voie de résolution. Il a mis en place des outils pour les résoudre. Le travail d'analyse de brevets a abouti à l'identification d'un nombre limité de types de contradictions, ce qui permet une identification efficace mais également, de proposer des méthodes adéquates pour leurs résolutions. D'après Altshuller, tout problème comporte au moins une contradiction voire une succession de contradictions dans le cas de problèmes complexes. La difficulté réside dans l'identification de la (les) contradiction(s) car elle n'est pas toujours clairement apparente. Au final, une contradiction selon TRIZ se définit comme : deux exigences mutuellement exclusives devant être associées pour concourir au même objectif. Une fois la contradiction identifiée, il existe deux stratégies pour les éradiquer :

- Trouver une façon de concilier les deux exigences : le compromis. Souvent ce à quoi aboutissent les méthodes traditionnelles.
- Refuser le compromis en levant les contradictions. C'est cette approche qui est retenue dans TRIZ.

Ainsi, « *TRIZ propose, plutôt que de tenter de résoudre directement un problème, de formuler une contradiction, et de l'éliminer en suivant les tendances génériques d'évolution des systèmes* » [DUB 04].

Lors de l'analyse d'Altshuller, trois types essentiels de contradiction ont été identifiés : la contradiction technique, la contradiction physique et la contradiction administrative.

De nos jours avec l'extension de TRIZ à des domaines non-techniques, cette classification semble ne pas être la plus appropriée, car trop réductrice à cause de son ancrage dans le technique. Toutefois les méthodes de résolution des contradictions techniques, peuvent être appliquées avec d'autres méthodes ou techniques pour diriger le développement des systèmes complexes – économiques, systémiques, culturels, éducationnels et politiques [ORL 03].

Dans le cadre de ce manuscrit c'est essentiellement l'aspect technique de TRIZ qui est mis en avant, c'est donc cette classification qui est gardée. De plus elle a l'avantage de mettre en évidence les degrés de compréhension successifs du problème.

3.2.1 La contradiction administrative

La confrontation initiale à un problème se traduit par la nécessité d'exécuter une nouvelle fonction, d'améliorer un effet utile, de réduire voire d'éliminer un effet néfaste. C'est la vision première du problème sans analyse poussée.

De part cette vision sommaire, le problème semble d'une grande difficulté par conséquent il va falloir une analyse plus détaillée pour affiner la formulation de cette contradiction. A ce

stade, la contradiction administrative n'offre aucune voie de résolution, d'ailleurs il n'existe pas d'outils pour les résoudre.

3.2.2 La contradiction technique

C'est un conflit entre deux parties d'un même système, lorsque dans un système, l'amélioration souhaitée d'une fonction (caractéristique, paramètre) ou l'élimination d'un effet néfaste entraîne une détérioration inacceptable d'une autre fonction. Les contradictions techniques sont résolues à l'aide de la matrice de résolution des contradictions techniques ou matrice d'Altshuller.

3.2.3 La contradiction physique

Elle représente un conflit entre deux parties ou deux fonctions d'un même système. Cette contradiction exige l'existence simultanée, de deux états mutuellement exclusifs. Elle met en évidence une situation qui paraît impossible : un sous-système doit avoir une propriété (**P**) pour assurer une fonction, mais également une propriété (**-P**) pour assurer une autre fonction. A première vue, elle paraît absurde et inadmissible par définition. Ce type de contradiction est résolu en utilisant la séparation des principes.

Remarque : une contradiction technique à des causes physiques donc une analyse poussée du problème permettrait de transformer une contradiction technique en une contradiction physique.

3.2.4 La formulation des contradictions

La formulation d'une contradiction est une étape primordiale vers la résolution du problème. Il n'existe pas d'outil spécifique pour formuler cette dernière. Toutefois, le Questionnaire de la Situation Innovante (ISQ), outil brièvement décrit dans l'annexe 2, est d'une aide précieuse. Dans le cas de problèmes complexes, la solution nécessite l'éradication de plusieurs contradictions. Contradictions présentes dès le départ, ou la résolution d'une contradiction peut générer d'autres contradictions. Dans ce cas la proposition d'une solution consiste en une résolution successive de contradictions.

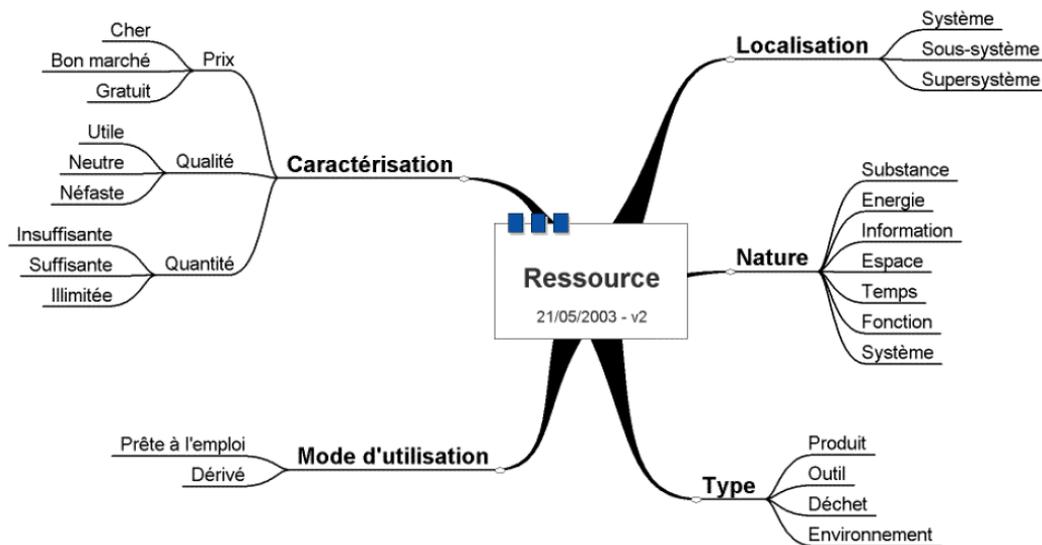
3.3 Les ressources

Dans la conception de TRIZ, le mot « ressource » possède un sens un peu différent du sens commun. Tout système en voie d'évolution dispose de certains moyens qui peuvent être utilisés afin d'améliorer la performance globale de ce système.

Une ressource est un élément disponible dans le système ou dans son environnement, généralement inactif, 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, résoudre les contradictions mais aussi guider l'évolution d'un produit, d'un procédé ou d'une technologie [D&R 02]. Une fois le problème posé, une analyse est faite afin d'identifier quelles sont les ressources disponibles.

Après leur identification, une ressource est sélectionnée, comme potentiellement capable de résoudre le problème en suivant certains critères, dont les plus importants sont : la quantité disponible, son accessibilité, le bénéfice attendu après son utilisation, le coût de transformation et d'utilisation, etc.

Finalement un effort créatif est déployé pour dériver une solution basée sur l'emploi de la ressource sélectionnée. La figure 2.4 schématise la caractérisation des ressources.



Source : [DUB 04]

Figure 2.4 La caractérisation des ressources

Parmi les ressources les plus importantes, l'énumération suivante propose une liste non-exhaustive :

- **Substances**
 - Déchets
 - Matières premières et produits
 - Éléments ou composants du système
 - Substances peu coûteuses
 - Flux de substances
 - Propriétés des substances
- **Champs énergétiques**
 - Énergie dans le système
 - Énergie provenant de l'environnement
 - Déchets du système deviennent l'énergie du système
- **Espace**
 - Vide
 - Autre dimension
 - Arrangements verticaux, sphériques, etc.
 - Placement à l'intérieur
- **Temps**
 - Préparation du système avant la réalisation de la fonction utile
 - Programmation
 - Opérations parallèles
 - Post-opération, adaptation du système après la réalisation de la fonction utile.
- **Information**
 - Générée par la substance
 - Inhérente à ses propriétés
 - Flux d'information
 - Information transitoire
 - Changement dans l'état de l'information

- **Ressources fonctionnelles**

- Ressources d'espace au cœur de la fonction primaire
- Utilisation d'un effet néfaste
- Utilisation des fonctions secondaires générées

Remarque : la possibilité de changer l'état des ressources existantes (par le biais de transformations naturelles, chimiques, de processus, d'accumulation, d'activation, etc.), afin d'éliminer un effet néfaste doit être considérée. Ce sont des ressources dérivées.

3.4 Les lois d'évolution

Dans un souci de réactivité, compétitivité les entreprises doivent définir les nouvelles orientations du développement de nouveaux produits : améliorer et faire évoluer un produit existant, proposer une nouvelle génération de produits ou créer un nouveau produit. Ces décisions stratégiques impactent directement la recherche et développement.

Suite à son analyse de brevets, Altshuller note des tendances d'évolution typiques pour les systèmes techniques. De ce constat il en a déduit un outil nommé lois d'évolution. Il serait plus correct de les appeler modèles d'évolution ou schéma d'évolution, car elles ne sont pas des lois au sens physique du terme.

Altshuller et ses collaborateurs se sont intéressés à synthétiser ces tendances d'évolution suivies par les ST. Ces dernières ont été extraites à partir de l'analyse de plus de trois millions de brevets depuis les années 40. Or, la connaissance de ces tendances peut être utilisée afin d'anticiper l'évolution d'un ST et de prévoir l'apparition de nouveaux problèmes [SAL 99]. Une des conclusions tirées de cette analyse est que le développement d'un système technique (ST) suit quatre étapes bien définies [ALT 02]:

- La sélection des composants du système.
- L'amélioration de ces composants.
- La dynamisation du système.
- Le développement du système par lui-même.

La connaissance des invariants d'évolution formalisés par Altshuller, permet d'améliorer (ou créer) des systèmes avec un sens cohérent d'évolution, anticiper les améliorations et l'occurrence de problèmes. Toutefois, ces lois d'évolution de TRIZ ne prédisent pas le futur, elles guident le développement du système (voies à suivre).

Ainsi la transition entre les étapes précédentes, représente l'évolution de tout système technique (ST). Cette évolution n'est pas un phénomène aléatoire, elle est régie par des lois prédéterminées, dont les postulats les plus importants sont détaillés dans la section suivante [IRG 99], [CRU 02].

3.4.1 Les postulats des lois d'évolution

- *Postulat No. 1* : la majorité des systèmes conçus par l'homme évoluent en suivant certaines lois prédéterminées. Ces étapes d'évolution, peuvent être identifiées à partir de l'étude de l'histoire de l'évolution des systèmes techniques (ST) et utilisées pour accélérer le processus d'évolution d'un ST.
- *Postulat No. 2* : l'évolution d'un ST suit un processus de génération et sélection. D'abord un nouveau concept est créé, ce qui conduit à la genèse de nouveaux systèmes. Puis à l'aide d'un processus de sélection, dont les critères sont déterminés par le marché, le système qui satisfait le mieux les exigences identifiées et possède le degré d'idéalité le plus élevé est choisi.

- *Postulat No. 3* : l'évolution d'un ST peut se baser sur la consommation des ressources présentes dans le système lui-même, dans son environnement ou dans les systèmes environnants. Cette consommation est hiérarchisée : d'abord seront utilisées les ressources facilement disponibles, suivent les ressources dérivées, et enfin les ressources complexes ou cachées.
- *Postulat No. 4* : La majorité des ST ont des ressources redondantes, en conséquence ils ont plus de ressource que nécessaire pour fournir leurs fonctions utiles. Ainsi, ces systèmes seront forcés de travailler plus efficacement, et/ou de remplir des fonctions supplémentaires.
- *Postulat No. 5* : La co-évolution de différents systèmes a lieu, car souvent un système est connecté à un autre pour remplir une fonction. Lors de son évolution, cette force de connexion liant différents systèmes s'accroît. De ce fait, un des systèmes présents dans la symbiose, génère des ressources, conduit à des limitations, ou amène à des changements pour un autre. Parallèlement, des relations de rétroaction peuvent apparaître entre différents systèmes. Si la rétroaction est positive, elle peut accélérer l'évolution des systèmes impliqués. En revanche, si la rétroaction est négative, elle peut suspendre le processus d'évolution des systèmes compris dans la symbiose.
- *Postulat No. 6* : la co-évolution de différents systèmes appartenant à différents niveaux hiérarchiques. Un système et ses sous-systèmes ou un système et son / ses super systèmes évoluent en coordination mutuelle. Alors, un super-système peut imposer ses propres tendances d'évolution à ses sous systèmes, mais aussi les limitations révélées dans un sous-système peuvent à leur tour, stopper l'évolution du système entier.
- *Postulat No.7* : l'évolution à court et long terme. L'évolution à court terme ou amélioration d'un ST dépend de ressources intrinsèques à celui-ci, mais le développement à long terme dépend de l'évolution de l'ensemble de la technologie et du marché. Alors, les perspectives d'évolution d'un ST à long terme doivent être basées sur une analyse des tendances d'évolution de l'ensemble de la technologie et du marché.
- *Postulat No. 8* : Il y a un nombre limité de voies de solution pour remplir une fonction, et celles-ci sont basées sur l'utilisation des ressources.
- *Postulat No. 9* : Il y a un ensemble limité de directions, par lesquelles un ST peut évoluer d'une étape vers la suivante. Cette évolution est basée sur l'implication de différents types de ressources. L'étape qui dominera est celle qui arrivera à concentrer la plupart des ressources humaines et financières. De ce fait, il est possible de diriger l'évolution d'un système en gérant ses ressources.
- *Postulat No. 10* : Il existe des méthodes communes, basées sur les lois d'évolution de résolution d'un problème ou d'amélioration d'un système. Ces lois peuvent être observées via l'analyse de l'évolution historique des inventions (brevets) et révélant ainsi, un corps de connaissance sur l'innovation, qui peut être collecté et transféré.

Suite à la synthèse des travaux d'Altshuller, les lois d'évolution des systèmes techniques se divisent en trois groupes et sont au nombre de huit :

- Les trois lois statiques, qui définissent la structure de tout ST opérationnel.
- Les trois lois cinématiques, qui définissent l'évolution des systèmes techniques, sans considérer les facteurs techniques ni physiques intrinsèques à un ST.

- Les deux lois dynamiques, qui traduisent l'évolution des systèmes techniques sous l'effet de facteurs physiques et techniques [CRU 02].

3.4.2 Les lois statiques

D'après Altshuller, « *Tout système technique résulte de la synthèse de parties séparées en un tout. Mais toute synthèse des parties est loin de pouvoir former un système technique apte à fonctionner. Il existe au moins trois lois dont les règles doivent être respectées pour que le système technique soit opérationnel* » [DUB 04].

Première loi : loi de d'intégralité d'un système technique (ST). Afin d'être opérationnel un ST 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.
- Un organe de travail qui réalise physiquement une fonction.
- Un organe de contrôle.

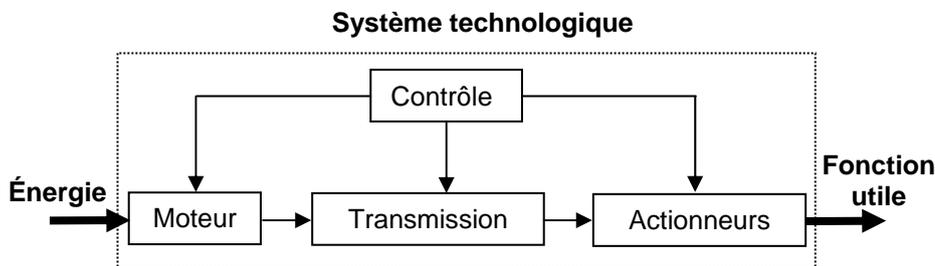


Figure 2.5 Les quatre composants essentiels d'un système

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.

Deuxième loi : loi de conductibilité énergétique. 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.

« *La transmission de l'énergie d'un système à un autre peut être accomplie soit par une substance (un levier, un arbre, un embrayage) soit par un champ (gravitationnel, magnétique, électrique), soit par une substance - champ (particules chargées, fluide magnétique, etc.). Les systèmes tendent à minimiser la quantité de sources d'énergie utilisée ainsi que le nombre de transformations d'énergie dans le système* » [COL 02].

Corollaire : pour rendre une partie du système contrôlable, il faut assurer la conductibilité d'énergie entre la partie donnée et l'unité de contrôle.

Troisième loi : loi de coordination des rythmes. 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.

3.4.3. Les lois cinématiques

Selon Altshuller, « *la cinématique comprend des lois qui définissent l'évolution des systèmes techniques sans tenir compte des facteurs techniques et physiques concrets déterminant cette évolution* » [DUB 04].

Quatrième loi : loi d'augmentation du degré d'idéalité. L'évolution de tout ST tend vers le niveau le plus élevé d'idéalité [SAL 99].

Afin d'exister, tous les systèmes techniques doivent avoir une fonction utile primaire, mais l'existence et l'exploitation de ce système, suppose une dépense d'énergie, de substances, d'information, d'espace, etc. avec une certaine efficacité.

Or d'après la définition du critère d'idéalité (§ 3.1), l'accroissement de l'idéalité peut être réalisé par augmentation de ces fonctionnalités utiles et la réduction de ses défauts (fonctions néfastes, coût).

Cinquième loi : loi du développement inégal des parties d'un ST. 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.

Sixième loi : loi de la transition du système vers un super – système. « Un système tend à remplacer ses composants par des parties ayant un plus haut degré de liberté » [CAV 99A]. Après avoir épuisé ses possibilités de développement, un système se rattache à un super - système en tant qu'une de ses parties. Alors, son développement futur se prolonge via le super – système. Le super-système peut être composé de deux (ou plusieurs) systèmes identiques pour améliorer sa performance, de systèmes similaires mais avec des propriétés fonctionnelles différentes, de systèmes différents. Ce nouveau système est un bi-système ou un poly-système.

3.4.4 Les lois dynamiques

D'après Altshuller, « *la dynamique comprend des lois qui traduisent l'évolution des systèmes techniques modernes sous l'effet de facteurs techniques et physiques concrets. Les lois statiques et cinématiques sont universelles ; en d'autres termes, elles sont vraies de tout temps, non seulement pour les systèmes techniques, mais aussi pour les systèmes en général (biologiques, sociaux, etc.). La dynamique exprime des tendances principales d'évolution des systèmes techniques uniquement à notre époque* » [DUB 04].

Septième loi : loi de transition d'un macro - niveau vers un micro – niveau. Les systèmes techniques tendent à changer le principe physique de fonctionnement d'un de ses composants, par un principe physique qui emploie des matériaux plus fractionnés. Des molécules, des atomes, des ions, des électrons, etc. effectuent le travail à la place d'un objet.

Cette fragmentation permet une diversification des caractéristiques et des fonctions, ainsi qu'un meilleur contrôle.

Huitième loi : loi d'augmentation de la contrôlabilité d'un système technique. Pour améliorer sa performance, un système technique rigide doit se transformer en un système dynamique et poursuivre la dynamisation de ses composants, afin de devenir une structure flexible et plus adaptable au changement. D'après Crubleau [CRU 02], cette loi tend à réduire la participation de l'homme dans l'opération du ST.

Attention : lors de l'utilisation des lois d'évolution, il faut les considérer en globalité. L'utilisation d'une seule loi, peut orienter l'évolution vers une voie incorrecte.

4 Les outils de TRIZ

Parallèlement aux concepts de base, Altshuller et son équipe ont développé un ensemble d'outils pour résoudre les problèmes complexes de façon systématique. Cavallucci [CAV 99A], donne une liste et détaille certains de ces concepts et outils. Une description ainsi qu'un exemple d'application de chaque outil ont été développés dans l'annexe 2, qui a comme objectif d'offrir une perspective beaucoup plus approfondie et riche sur la théorie TRIZ.

4.1 Les outils analytiques et les outils basés sur la connaissance

Les outils de TRIZ ont été classés comme analytiques (tableau 2.3) et basés sur la connaissance (tableau 2.4) [Z&Z 99]. La différence essentielle entre ces deux classes d'outils, se trouve dans leur domaine d'utilisation. Les outils analytiques s'avèrent utiles pendant la modification ou transformation de la situation problématique et les outils basés sur la connaissance, pour la transformation du système qui contient le problème. Parallèlement, les outils de TRIZ peuvent être classés selon leur utilisation en : outils de modélisation, de résolution de conflits et de déblocage psychologique.

Les outils analytiques	Champs d'utilisation :
1. Le questionnaire de situation innovante (ISQ)	Modélisation et définition d'un problème
2. La formulation des problèmes (PF)	Modélisation d'un problème
3. Le résultat idéal final (RIF)	Déblocage psychologique
4. L'analyse Champ – Substance	Modélisation d'un problème
5. Les phases initiales d'ARIZ ²	Résolution et modélisation
6. La détermination anticipée de défaillances (DAD)	Prédiction et Résolution de conflits
7. Les neuf écrans	Déblocage psychologique
8. Les opérateurs Dimensions, Temps et Coût (DTC)	Déblocage psychologique
9. Les hommes miniatures	Déblocage psychologique
10. Les mots simples	Déblocage psychologique

Tableau 2.3 Les outils analytiques

Les outils basés sur la connaissance	Champs d'utilisation :
1. La matrice d'Altshuller : la relation entre les 40 principes d'innovation et les 39 paramètres de contradiction	Résolution de conflits
2. Les 76 solutions standard	Résolution de conflits
3. La séparation des principes	Résolution de conflits
4. Les effets physiques, chimiques et géométriques	Résolution de conflits
5. Modèles d'évolution	Prédiction
6. ARIZ	Résolution de conflits

Tableau 2.4 Les outils basés sur la connaissance

L'application et l'enchaînement des outils listés ci-dessus, dépendent principalement de l'expérience et de la maîtrise de l'utilisateur, mais le déploiement de la gamme d'outils de TRIZ peut s'avérer très difficile selon la complexité de la situation problématique.

² L'Algorithme de Résolution des Problèmes Inventifs

Il y a dans TRIZ une autre manière d'aborder la résolution d'un problème complexe et d'enchaîner la gamme d'outils : par le biais de l'algorithme de résolution de problèmes inventifs ou ARIZ.

4.2 L'algorithme ARIZ

L'Algorithme de Résolution de Problèmes Inventifs a commencé son développement en 1946, tandis qu'Altshuller essayait « *d'inventer une méthode pour inventer* ». Selon Altshuller, « *cette méthodologie algorithmique, considère le processus de résolution d'un problème inventif, comme une action séquentielle avec le but de définir – et résoudre – les contradictions techniques. Le processus de la pensée est orienté vers une méthode idéale ou un dispositif idéal. Cette approche systématique, est implémentée dans toutes les étapes du processus de résolution. Cet algorithme inclut aussi, dans certains stades, des techniques spécifiques pour lever les barrières psychologiques. En outre, un système informationnel a été créé comprenant les principes typiques utilisés pendant l'élimination d'une contradiction technique* » [ALT 99].

Donc ARIZ est un processus logiquement structuré, qui fait évoluer un problème complexe jusqu'à un point où il est possible de le résoudre. Ainsi, l'application d'ARIZ vise la résolution de problèmes très complexes. ARIZ emploie dans sa constitution des outils et concepts comme :

- Le concept d'idéalité pour établir la solution idéale du problème.
- Le concept de contradiction : afin de définir et trouver la contradiction technique cachée dans le problème et plus tard, si c'est réalisable, la transformer en une contradiction physique.
- Les ressources disponibles dans l'environnement entourant le système en macro et micro niveau.
- La base des effets scientifiques.
- L'ensemble des outils de TRIZ basés sur la connaissance.

En résumé, ARIZ est une manière de mettre en place des outils de TRIZ, mais focalisée sur des problèmes très complexes. La figure suivante montre les étapes de cet algorithme.

5 Conclusions, avantages et inconvénients

Par rapport à d'autres méthodes pour encourager la créativité, TRIZ possède de nombreux points positifs dont :

- TRIZ permet l'accès aux meilleures solutions, pratiques et stratégies de résolution des problèmes disponibles dans différents domaines, capables de délimiter l'espace de solution d'un problème et de ce fait, produire une solution de manière plus efficace et presque systématique [SAV 00].
- Cette collection de solutions et stratégies basées sur une analyse technologique plutôt que psychologique, est employée dans TRIZ comme un guide pendant la résolution de problèmes inventifs. Cette base de connaissance, donne à TRIZ l'aptitude à éliminer les barrières entre différents domaines industriels [MAN 03].
- TRIZ comme méthode de résolution des problèmes, est un environnement où interagissent de façon équilibrée, une phase technique et psychologique de la créativité.
- La compréhension et l'application des concepts et des outils de TRIZ permettent aux individus d'accroître leur créativité, par le biais d'un processus convergeant vers des concepts ayant prouvés leurs efficacités. De ce fait, TRIZ produit un environnement pour amener la créativité vers un niveau supérieur.

Loin d'être la théorie idéale, TRIZ possède également quelques limites :

- TRIZ réduit l'espace de solution. Toutefois, l'utilisateur doit à chaque fois qu'il fait face à un problème, redéployer l'ensemble de la démarche et du processus. Cela implique que la connaissance mise en œuvre lors d'une résolution n'est pas capturée, ni le résultat de la mise en place d'une telle solution [COR 05].
- Les outils de TRIZ ont été conçus comme des outils génériques, et selon Kolodner [KOL 93], la connaissance générale peut offrir un cadre pour le raisonnement, mais l'application de cette connaissance générale dans une situation spécifique, peut s'avérer très complexe.
- Puisque TRIZ englobe une nouvelle façon de percevoir les problèmes, son introduction dans le milieu industriel s'est avérée longue et difficile, même si cette tendance tend à s'inverser. De plus, TRIZ utilise pendant la résolution d'un problème des indices et vecteurs provenant de différentes méthodes, techniques et stratégies issues d'autres domaines, ce qui masque la traçabilité entre la solution trouvée et TRIZ. Cela ne permet pas de prouver directement l'efficacité de TRIZ, puisque il n'y a pas un lien direct avec les solutions obtenues [CAM 02].
- D'après Cavallucci [C&L 98], lors du processus d'innovation d'un produit, il est très difficile d'harmoniser l'évolution du produit et de ses moyens de production, car TRIZ ne peut que se focaliser sur un seul élément à la fois, qui dans la majorité des cas, est le produit. De ce fait, le système de production peut rester relégué et devenir une victime de l'innovation focalisée sur le produit.
- Même si plusieurs études montrent que TRIZ augmente les capacités créatrices des acteurs impliqués dans la résolution d'un problème [CAV 99A], cette théorie ne produit pas de solutions miraculeuses. Il faut un important effort d'appropriation de la méthode et un exercice constant de ses outils afin d'améliorer la performance lors de la résolution d'un problème. De plus, un effort créatif est nécessaire pour transformer les voies de

résolution proposées par TRIZ, en solutions tangibles et capables de produire une solution innovante.

Il semble paradoxal que même si TRIZ est basée sur la connaissance, celle-ci ne possède pas la capacité de mémoriser la connaissance utilisée lors de la résolution d'un problème. Pourtant selon Renaud [RLF 04], une des manières les plus efficaces pour accélérer le processus d'innovation est de réutiliser la connaissance qui a déjà été acquise. C'est à partir de ce constat, qu'il a été envisagé de donner à TRIZ, la capacité de mémoriser et réutiliser la connaissance lors de la résolution d'un problème. Cette problématique a un lien très étroit avec la gestion des connaissances, dont certaines des méthodologies seront passées en revue afin, d'identifier celle qui offre les outils appropriés pour accomplir cette tâche.

Chapitre 3

La Gestion des Connaissances

Résumé : ce chapitre offre un bref aperçu sur la gestion des connaissances, ses enjeux et les approches typiques pour aborder les problématiques associées. L'objectif premier est d'analyser la façon dont les connaissances sont créées, mobilisées et gérées avec comme but d'améliorer la performance d'une entreprise. Cette analyse est faite, afin d'identifier une structure capable d'apporter les moyens pour acquérir, analyser et préserver la connaissance mise en évidence lors de la résolution d'un problème.

Chapitre 3 : la Gestion des Connaissances

1. Introduction

De nos jours, la compétitivité de l'industrie mondiale repose sur plusieurs éléments : la satisfaction au client, l'habilité à manager, l'image de la marque, la reconnaissance des produits, en sont des exemples. La plupart de ces éléments sont intangibles, ces actifs sont de grande valeur pour l'organisation, mais en raison de leur nature, très difficiles à quantifier du point de vue financier, bien que ceux-ci aient la capacité potentielle de produire un avantage compétitif dans l'avenir [CEN 04].

Parmi tous ces actifs, le plus important est la connaissance. Même dans l'industrie manufacturière, il est possible que les trois-quarts de la valeur ajoutée d'un produit soient dérivés de la connaissance [UWM 05]. A ce propos, Prusak [PRU 01], soutient qu'une entreprise peut être vue comme un ensemble coordonné de capacités, où le block minimal et essentiel pour l'intégration de celles-ci, est la connaissance. L'impact de cet actif sur l'économie moderne (dénommée économie basée sur la connaissance) est très important, par exemple, l'OCDE³ estime que plus de 50% du PIB des grandes économies reposent sur le savoir [OEC 96].

Par conséquent, la gestion des connaissances ou knowledge management est devenu un des axes les plus importants de la recherche industrielle. Il vise à produire une approche systématique et organisée, destinée à améliorer la capacité d'une entreprise à mobiliser ses connaissances afin d'améliorer sa performance.

D'après Prusak [PRU 01], l'influence et l'impact de la connaissance sur la performance de l'entreprise a été observée et analysée depuis longtemps, afin d'identifier quels sont les éléments à l'intérieur et à l'extérieur de l'organisation capables d'apporter un vrai avantage compétitif. Un exemple de la corrélation entre connaissance et performance a été observé pendant la Deuxième Guerre Mondiale. Il a été constaté que la construction d'un deuxième avion, prenait moins de temps que la première fois et que celui-ci, avait moins de défauts. Cette constatation, a révélé que les travailleurs avaient appris des erreurs du passé et qu'ils utilisaient ces nouvelles expériences, pour résoudre des problèmes similaires.

Plusieurs années plus tard, une autre entreprise « Hughes Aerospace and Electronics Company » mettait en place un système pour capturer l'information concernant les problèmes récurrents et les solutions appliquées, durant la conception de satellites. Ce système a démontré rapidement son utilité, en réduisant le cycle de développement de satellites et la quantité de défauts. Depuis, des entreprises comme IBM, Xerox, EDF et Hewlett-Packard Company ont développé des programmes pour capitaliser leurs actifs intangibles [PRU 01].

Mais qu'est-ce que la gestion des connaissances ou Knowledge Management (KM)?

Avant de continuer, il s'avère utile d'essayer de définir quelques concepts essentiels, tâche qui se révèle très compliquée puisque les définitions sont très variées et logiquement, influencées par différents courants de pensée.

2. La connaissance

Il est important de bien clarifier que les définitions qui seront proposées dans la suite, font référence à la connaissance **dans l'entreprise**, ainsi qu'à la façon dont elle est organisée à

³ Organisation de Coopération et de Développement Economiques (En anglais **O**rganisation for **E**conomic **C**o-operation and **D**evelopment)

l'intérieur de l'entreprise. Cela signifie que l'objectif est d'identifier, modéliser (ou créer), stocker, partager, utiliser et manager la connaissance au sein de l'entreprise.

2.1 Qu'est-ce que la connaissance ?

Selon le Knowledge Management Research Center [S&S 01], il n'y a pas de consensus pour offrir une définition de la connaissance. A cause de cela, des termes comme donnée, information et connaissance, sont souvent utilisés comme synonymes, mais leur nature permet de les discriminer. Les définitions suivantes essaient d'offrir une perspective sur ces trois éléments, elles seront présentées en suivant la chaîne donnée → information → connaissance.

2.2 La relation information - connaissance

Selon Gray P. [GRA 00], il y a une progression naturelle qui mène à la connaissance. Cette chaîne commence avec un ensemble de données et se termine avec la « création » de la connaissance.

Donnée ↔ Information ↔ Connaissance

- Une ***donnée***, est un élément discret, un résultat comme des nombres, des symboles, des figures, des schémas, sans contexte ni interprétation.
- L'***information*** est produite par l'application d'un modèle d'interprétation sur un ensemble de données. Elle facilite la compréhension d'un sujet quelconque dans un contexte précis et elle est la base pour acquérir la connaissance [CEN 04]. Donc l'information (élément stocké dans un système de connaissances) est le facteur, l'élément ou le moyen permettant de découvrir et de produire la connaissance. C'est-à-dire l'information qui permet de réactiver, de stimuler ou de recréer la connaissance.
- Selon Nonaka et Takeuchi [N&T 97], la ***connaissance*** se différencie de l'information car « ...*l'information est un flux de messages alors que la connaissance est créée par ce flux d'information et est ancrée dans les croyances et adhésions de celui qui la détient. Cette compréhension met l'accent sur le fait que la connaissance est reliée de façon essentielle à l'action humaine* ». Cette relation qui a lieu dans un contexte d'application spécifique, permet d'aboutir à la génération d'un concept ou d'une idée par le biais d'un processus d'intégration [GRA 00]. Ce processus englobe le savoir-faire, les savoirs, les émotions, les valeurs, les croyances, l'intuition, la curiosité, l'attitude et l'aptitude, etc. afin de produire la capacité d'agir et prendre des décisions. Donc, la création de la connaissance intègre une relation entre deux dimensions une *explicite* et autre *tacite* [CEN 04]. Quelques définitions de la connaissance, par rapport à l'objectif de ce chapitre, sont listées ci-dessous :
 - Davenport et Prusak [D&P 00], définissent la connaissance comme un flux où s'incorporent différentes expériences, valeurs, intuitions de la part d'un expert, informations et points de vue dans un contexte donné afin de produire un cadre pour évaluer et incorporer de nouvelles expériences et de l'information. Finalement, la connaissance se génère dans la pensée et l'esprit des gens qui donnent de la signification à ce flux. Cette connaissance peut être transférée vers une organisation, à l'aide du dialogue, de discussions, de l'imitation, de documents, de routines organisationnelles, de processus mis en place dans l'organisation, de meilleures pratiques, de normes, de codes, etc.
 - Une autre définition de la connaissance faite par Tounkara [TKR 02], explique qu'elle est « *l'ensemble de savoirs et savoirs-faire mobilisés par les acteurs dans le cadre*

de leurs activités. Cette définition implique que la connaissance n'est véritablement connaissance que si elle est prise dans l'action et elle n'a de sens que pour ceux qui la produisent et pour ceux qui l'utilisent ». Cette définition fait référence aux deux dimensions de la connaissance et qui sont reliées par l'action et le contexte.

- Du point de vue de TRIZ, la connaissance peut être modélisée comme n'importe quelle autre fonction générée par un processus (voir figure 3.1). En d'autres termes, comme le résultat produit par l'interaction entre deux substances et un champ [COR 05].

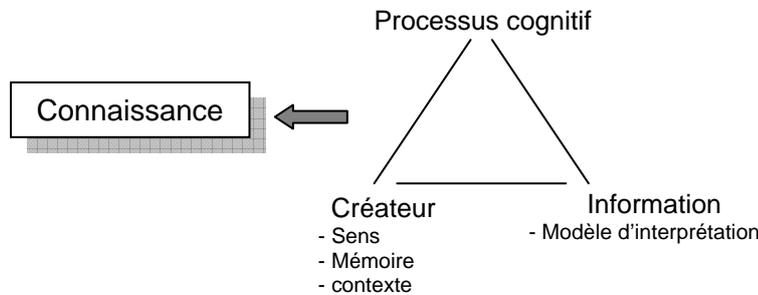


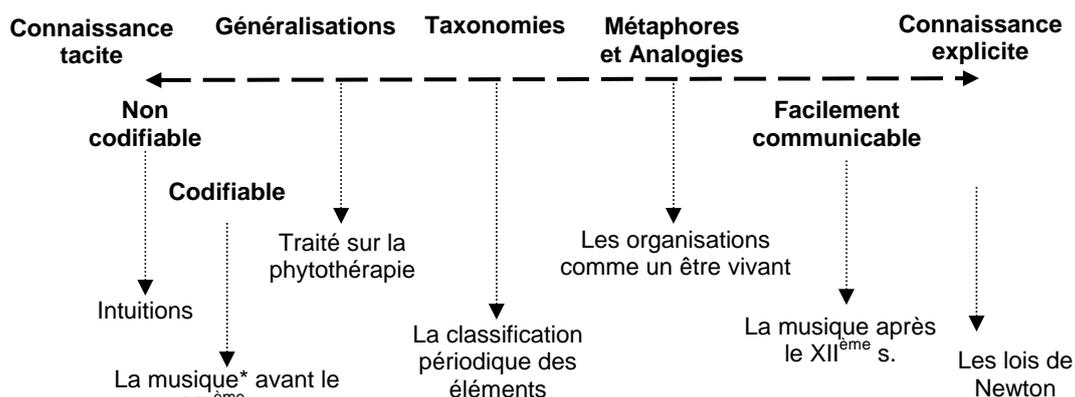
Figure 3.1 Modèle champ – substance de la connaissance

Vue comme un processus et dans la perspective de TRIZ, le champ est représenté par le processus cognitif réalisé par l'individu. Il permet de transformer l'information et produire la création d'un concept ou la création de la connaissance, selon une vision unique et spécifique à un individu. En raison de cela, dans ce processus interagissent les dimensions explicite et tacite de la connaissance.

Afin d'offrir une vision plus détaillée sur la connaissance, les dimensions tacite et explicite seront décrites dans la section suivante.

3. La connaissance tacite et explicite

La plupart des experts en KM, classent la connaissance en deux types essentiels, la connaissance tacite et la connaissance explicite. Une ligne spectrale mettant en évidence cette classification est montrée dans la figure 3.2 :



* Jusqu'à l'arrivée du système de notation au XII^{ème} siècle, la connaissance musicale pouvait uniquement être apprise par l'expérience directe.

Source : adapté de [H&A 03]

Figure 3.2 Le spectre des connaissances

3.1 La connaissance explicite

La connaissance explicite est la connaissance qui peut être clairement formalisée, structurée et définie de façon systématique par le biais du langage, d'objets, de schémas, d'images etc.

Pour cette raison, elle est facilement transférable à quelqu'un d'autre [GRU 00], [ABE 02]. La connaissance explicite possède deux dimensions, une individuelle et une collective. Au niveau individuel, les connaissances explicites sont des connaissances devenues conscientes. Au niveau collectif, la connaissance explicite est traduite sous la forme de règles, normes, codes, procédures écrites, etc. de façon à ce qu'elle puisse être facilement communiquée et diffusée [TKR 02].

3.2 La connaissance tacite

C'est grâce à Michael Polanyi [PLY 66], que la distinction entre connaissance tacite et explicite est née. Polanyi dit à propos de la connaissance tacite : « *Nous pouvons savoir plus que ce que nous sommes capables d'exprimer* ». Donc, la connaissance tacite est un attribut personnel, c'est la connaissance produite par les expériences passées, les valeurs, les perspectives, l'intuition et d'autres éléments dans un contexte particulier et spécifique. Pour cette raison, elle est difficile à formaliser et partager. Ce type de connaissance est intimement lié à l'action et à la création de nouvelles connaissances, par conséquent d'une grande valeur pour l'entreprise [COR 04].

La connaissance tacite inclut des composants de deux domaines : technique et cognitif. Le côté technique recouvre les habilités et aptitudes concrètes. Le côté cognitif est de nature très personnelle. Celui-ci se révèle sous la forme d'un talent, des habilités, des « tours de main », de l'intuition, etc. [GRU 03]. Mais selon Nonaka et Takeuchi [N&T 97], le composant cognitif comprend aussi les « modèles mentaux » avec lesquels les êtres humains construisent des « *modèles de fonctionnement du monde et recourant à des analogies et en les manipulant dans leurs esprits* ». Ainsi, les modèles mentaux comme les schémas, paradigmes, perspectives, croyances, points de vue, intuitions, imagination, etc. aident les individus à percevoir et définir la réalité qui les entoure et en conséquence, à déterminer une façon très personnelle de la modifier.

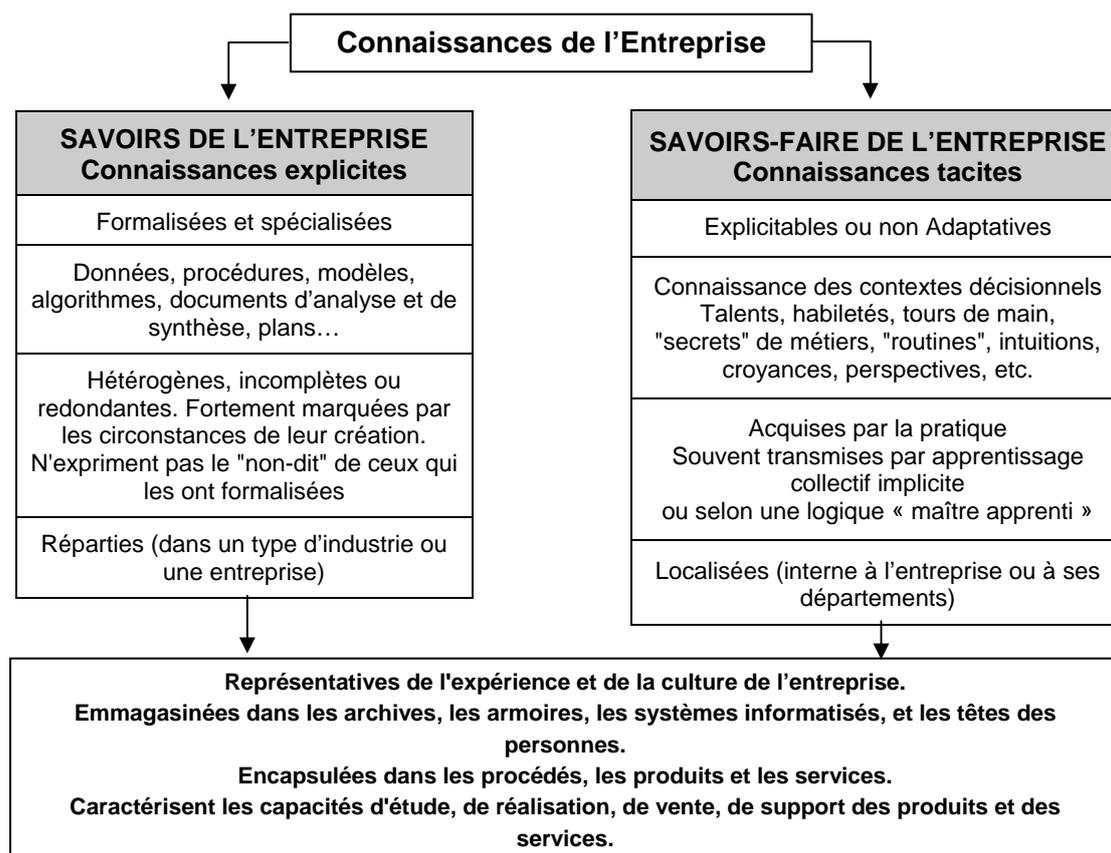
3.3 Les deux dimensions de la connaissance dans l'entreprise

La figure 3.3 montre les différences entre les deux types de connaissance dans l'entreprise : Les savoirs de l'entreprise et les savoirs-faire de l'entreprise.

Dans l'interaction entre ces deux types de connaissances, se trouve l'essence de la création de connaissances. Cette création de connaissances joue un rôle important dans l'innovation.

Comme il a été exposé dans le chapitre 1, l'innovation représente dans le contexte de ces travaux un processus technologique, créatif et sociétal. Au cœur de ce processus, la connaissance individuelle et organisationnelle est exposée, assimilée, partagée et transformée afin de produire de la nouvelle connaissance. De ce fait, le développement systématique de nouvelles connaissances, produit des innovations en matière de produits, de processus et dans la structure de l'organisation.

Mais comment la connaissance au sein d'une organisation est-elle produite ? Selon Nonaka et Takeuchi [N&T 97], la création de connaissances organisationnelles, « *est la capacité d'une entreprise dans son ensemble à créer de nouvelles connaissances, à les diffuser en son sein et à les incorporer dans ses produits, services et systèmes* ». La clé de cette création réside dans la conversion de la connaissance tacite vers explicite.



Source : [GRU 02]

Figure 3.3 Les connaissances dans l'entreprise

Il est important de souligner qu'une organisation ne peut pas créer de connaissances par elle-même. Afin que ce processus de création se réalise, il faut la participation et l'interaction des individus qui la composent. Pour que la connaissance explicite ou tacite générée au niveau individuel devienne organisationnelle, celle-ci doit être exposée, amplifiée, partagée et diffusée au sein de l'organisation par le biais du dialogue, la discussion, l'échange d'expériences, l'observation, l'imitation, etc.

4. Le processus de création de connaissances

L'approche développée par Nonaka et Takeuchi [N&T 97], essaie d'expliquer le processus d'innovation de manière différente. Ils exposent un processus très différent au simple traitement d'un flux d'information, provenant de l'environnement extérieur de l'organisation vers l'intérieur. Selon les approches traditionnelles, ce flux d'information est traité par les entreprises, afin d'en tirer des données pour re-formaliser et redéfinir les problèmes et leurs solutions. Puis au fur et à mesure de ce processus, elles essaient de recréer leur environnement et de développer de nouvelles capacités, pour s'adapter aux circonstances recensées. Ils énoncent que les organisations confrontées à des environnements incertains, sont amenées à établir avec ceux-ci, des relations actives plutôt que passives et que par le biais de ces processus, elles se transforment.

L'approche de l'innovation de Nonaka et Takeuchi, est fondée sur une nouvelle théorie de la création des connaissances organisationnelles. Celle-ci est basée sur la distinction entre la connaissance tacite, la connaissance explicite et leurs interactions. Plus spécifiquement, Nonaka et Takeuchi soutiennent que la création de connaissances réside dans « *la mobilisation et conversion des connaissances tacites* ». Ce processus de mobilisation et conversion, peut se dérouler en suivant quatre sous-processus essentiels :

- 1) Socialisation : de la connaissance tacite vers la connaissance tacite
- 2) Extériorisation : de la connaissance tacite vers la connaissance explicite
- 3) Combinaison : de la connaissance explicite vers la connaissance explicite
- 4) Intériorisation : de la connaissance explicite vers la connaissance tacite

Ce processus est représenté sur la figure 3.4 :

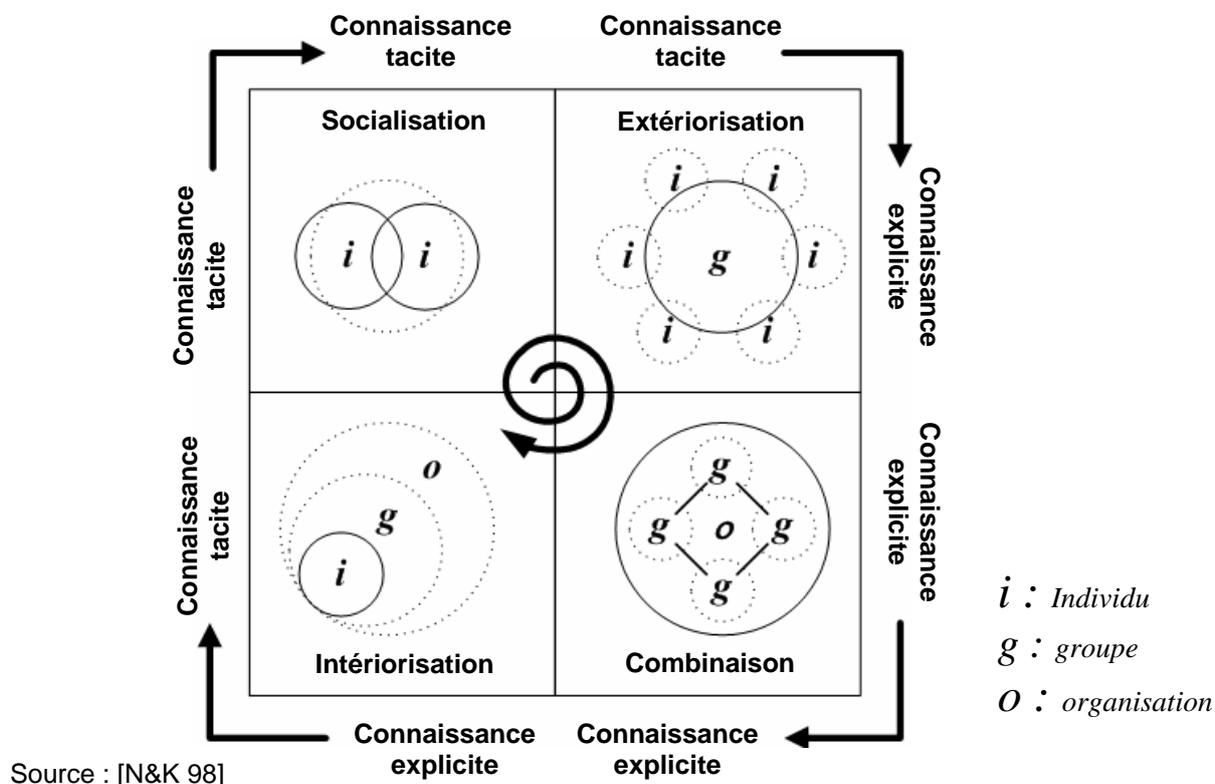


Figure 3.4 Les quatre modes de conversion de connaissances [N&T 97]

4.1 La socialisation : de la connaissance tacite à tacite

La socialisation est le processus par lequel la connaissance *tacite* est partagée. Puisque la connaissance tacite, en raison de sa nature est difficile à formaliser et à partager, celle-ci peut être exposée par l'action et donc, apprise par la pratique [J&P 05]. La socialisation comme moyen pour échanger la connaissance tacite, se réalise par le biais **de l'observation, l'imitation et la pratique**. Celle-ci est vue comme un processus sociétal qui demande une interaction directe avec un expert. La création de modèles mentaux partagés, les aptitudes techniques, les tours de main et certains secrets métier sont produits par la socialisation [N&T 97], [GUT 98].

Exemple :

Lorsque la société Matsushita Electric développait une machine à fabriquer le pain, elle rencontre un problème crucial dans le système de pétrissage de la pâte. En l'occurrence, il s'agissait d'une connaissance essentiellement tacite, possédée par les boulangers. Une comparaison entre le pétrissage réalisé par un boulanger et par la machine fut observée très attentivement, mais aucune différence importante ne fut enregistrée. Alors un des participants du projet, se propose comme volontaire pour apprendre directement sous la tutelle d'un boulanger. Fabriquer un pain similaire à celui du boulanger, allait se révéler une tâche très difficile et personne ne pouvait expliquer pourquoi. Un jour le stagiaire remarqua que le boulanger n'étendait pas seulement la pâte mais la tordait aussi, ce qui apparut être

le secret pour fabriquer un bon pain. Le stagiaire *socialisa* la connaissance du boulanger par l'observation, l'imitation et la pratique [N&T 97].

Mais afin que le transfert d'information ait du sens, il est nécessaire que ce transfert s'effectue sous certaines conditions (comme l'association à des émotions propres à un contexte donné). Selon Shigehisa Tsuchiya [TSU 94], « *Pour qu'il y ait création de connaissances organisationnelles, indispensables à la décision et l'action, il est nécessaire que les schémas d'interprétation de chacun des membres de l'organisation possèdent un minimum de représentation commune...* ».

Ce niveau minimal de « compréhension » est reconnu comme un élément critique pour que la socialisation ait lieu. Tsuchiya l'appelle « commensurabilité », Pachulski [PAC 01] « mise en cohérence », « fusion d'horizons » par Gadamer*, « rythmes d'interaction » par Scheffin*, « terrain cognitif commun » par Nonaka et Takeuchi [N&T 97], « schémas d'interprétation individuels » par d'autres auteurs [GRU 05]. Cette « mise en cohérence » est indispensable pour l'apprentissage organisationnel, parce que les données et l'information seront transformées en connaissance, uniquement lorsque leurs sens sont révélés selon des schémas d'interprétation similaires [PAC 01].

Ainsi, *la socialisation est la fusion de connaissances tacites des participants dans un schéma mental partagé* [N&T 97]. Cette définition implique que la socialisation, en plus de faciliter le partage de la connaissance tacite, est un facteur qui déclenche l'apprentissage organisationnel.

L'apprentissage organisationnel a été défini comme un résultat, un processus ou l'ensemble des deux, par lequel un groupe crée, partage et applique la connaissance, avec comme but l'amélioration de la performance d'une organisation. De façon plus générale, l'apprentissage organisationnel peut être vu comme les activités reliées à la connaissance (i.e. la création, la dissémination et application de la connaissance) au sein d'un groupe d'individus travaillant ensemble [J&P 05].

Selon Nonaka et Takeuchi [N&T 97], la création de connaissances organisationnelles est vue comme « *la capacité d'une entreprise considérée dans son ensemble, de créer de nouvelles connaissances, de les disséminer au sein de l'organisation, de leur faire prendre corps dans les produits, les services et les systèmes* ».

Finalement, l'apprentissage organisationnel existe lorsque plusieurs individus travaillent ensemble pour accomplir un but commun, et qu'au milieu de cette interaction sociale, se produit la génération et le transfert de la connaissance tacite. Lorsque le terme « transfert de connaissance » est utilisé, il fait référence à *la mobilisation des connaissances d'une partie d'une organisation vers une autre, avec comme but la résolution d'un problème* [GAR 93].

La socialisation existe aussi :

- Entre différents départements d'une entreprise, lorsque ceux-ci interagissent pendant la conception d'un nouveau produit.
- Entre le département de R&D ou Marketing et les clients finaux.
- Entre les fournisseurs et l'entreprise
- L'entreprise et sa concurrence.

* Cité par Nonaka et Takeuchi [N&T 97]

Nonaka et Takeuchi [N&T 97] soulignent que l'interaction avec les clients avant et après l'introduction d'un produit sur un marché, génère un cycle de partage de connaissances tacites et de création d'idées qui conduisent à l'amélioration continue des produits.

4.2 L'extériorisation : de la connaissance tacite à l'explicite

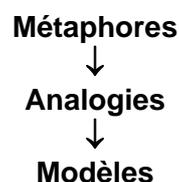
L'extériorisation est la transformation de la connaissance tacite en concepts explicites. Nonaka et Takeuchi [N&T 97] signalent que l'extériorisation « *est la quintessence de la création de connaissances parce que la connaissance tacite devient explicite sous la forme de métaphores, analogies, concepts, hypothèses ou modèles* ».

La communication ou partage d'informations existantes dans une situation, joue un rôle essentiel dans l'extériorisation. C'est principalement par le **langage** qu'une idée ou concept est créé et exposé. Mais souvent, les expressions utilisées s'avèrent inefficaces et insuffisantes pendant la description d'un nouveau concept ou d'un concept inconnu à quelqu'un d'autre, et en conséquence, il faut se tourner vers d'autres méthodes comme les métaphores, les analogies, les schémas ou modèles, etc.

Ainsi, Nonaka et Takeuchi [N&T 97] mentionnent que l'extériorisation « *se retrouve typiquement dans le processus de création de concepts et est déclenchée par le dialogue et la réflexion collective* ». Puisque le langage est relié à l'action, le dialogue devient une action collective. Le dialogue est un processus de communication fondamental qui mène directement à une transformation personnelle et organisationnelle. Il stimule la création d'environnements de confiance et franchise qui encouragent quelques capacités comme la réflexion et la génération. Il est possible de regarder le dialogue comme une approche révolutionnaire lors de la création de différents atouts organisationnels comme l'apprentissage, la prise de décisions, la planification, la résolution des problèmes, le leadership, le management des équipes de travail et le changement culturel entre autres (Linda Ellinor, 1996).

De plus, le dialogue est un moyen pour débloquer la créativité, parce qu'il dévoile les limites des modèles mentaux et des paradigmes et expose de cette façon, des dimensions non perçues d'un problème ou d'une idée, produisant ainsi, une synergie capable d'apporter des solutions plus appropriées à celles générées par une seule personne [GUT 98].

Mais la façon la plus efficace et efficiente de transformer la connaissance tacite en explicite se trouve dans l'utilisation séquentielle des éléments suivants :



Nonaka et Takeuchi [N&T 97] expliquent : « *les contradictions inhérentes à une métaphore sont alors harmonisées par l'analogie qui réduit la part d'inconnu en mettant en lumière les aspects communs entre deux choses différentes* », par conséquent, « *l'analogie nous aide donc à comprendre ce qui est inconnu au travers de ce qui est connu et comble l'écart entre une image et un modèle logique* ». Lorsque les concepts deviennent explicites, la possibilité de construire un modèle qui les représente, se matérialise.

Exemple :

Un projet de développement d'un mini-copieur dans l'entreprise Canon est un exemple du processus d'extériorisation. Un des problèmes rencontrés lors de la conception de ce

produit, était de produire à faible coût une cartouche d'encre jetable, cela, afin d'éliminer l'entretien (nécessaire pour les machines conventionnelles). Le copieur était conçu pour un usage personnel, contrairement aux machines conventionnelles. Alors le nouveau produit devait avoir une haute fiabilité et ne nécessiterait pas (ou un minimum) de maintenance. Une étude sur la maintenance mettait en évidence que plus de 90% des problèmes venaient du tambour ou des parties qui l'entourent.

Alors il a fallu trouver une façon de produire le tambour à un prix assez bas pour être cohérent avec le prix de vente cible du copieur, ainsi une équipe de travail fut assignée à cette tâche. Plusieurs discussions furent animées autour de ce problème sans beaucoup de résultats. Un jour, un des membres de l'équipe sortit de la salle, pour chercher quelques cannettes. Après cela, il demanda : combien cela peut-il bien coûter de produire cette cannette ?

Ce membre de l'équipe exprime ainsi une idée, produite par une vision très personnelle et par son imagination (éléments de nature tacite). Cette intuition est peut être déclenchée par la similarité physique entre les deux objets, ce qui crée une connexion entre deux concepts éloignés et qui se matérialise par une analogie.

Ensuite l'équipe concentre ainsi ses efforts, à explorer la possibilité de fabriquer le tambour cylindrique en utilisant le processus de fabrication des cannettes et le même matériau. En s'appuyant sur les similarités et les différences, les membres de l'équipe découvrent que la technologie employée pour fabriquer les cannettes pouvait être adaptée au processus de fabrication du tambour cylindrique. Cela a donné naissance au tambour amovible et au système de cartouche jetable.

Il est possible d'observer dans cet exemple, l'utilisation d'une analogie comme facteur pour déclencher la création d'un nouveau concept. Lorsque les différences et similitudes entre la cannette et le tambour cylindrique ont été établies, celles-ci permettent de définir un modèle. Ce modèle, enveloppe les connaissances créées par l'analyse de l'analogie et lance la conception d'un nouveau produit.

4.3 La combinaison : de la connaissance explicite à l'explicite

La combinaison se réalise lorsque différents types de connaissance explicite s'amalgament dans le même système de connaissances. Des moyens comme la transmission de documents, les réseaux de communication, la messagerie instantanée, les bases de données, en résumé les technologies de l'information et de la communication, mais aussi les réunions, les conversations téléphoniques et d'autres activités relationnelles, sont des facteurs clé dans la distribution et le partage des connaissances individuelles et collectives au sein de l'organisation.

Exemple :

Ce type de conversion est souvent rencontré lorsque les cadres intermédiaires, transforment ou traduisent les visions d'entreprises, les concepts d'activités ou les concepts produits, afin de les rendre opérationnels. L'utilisation de réseaux de communication informatique et de bases de données, facilite ce mode de conversion de connaissances.

4.4 L'intériorisation, de la connaissance explicite à tacite

L'intériorisation est le processus par lequel la connaissance explicite devient tacite. L'intériorisation se présente lorsque les expériences acquises pendant les phases de socialisation, extériorisation et combinaison s'incorporent dans les bases de connaissances tacites des individus sous la forme de modèles mentaux partagés ou de savoir-faire technique [N&T 97]. La verbalisation ou formalisation de la connaissance explicite sous la forme de schémas, manuels, méthodes heuristiques, etc. est un excellent moyen pour la

rendre tacite. Le fait de documenter une expérience aide les individus à intérioriser la connaissance et en conséquence à accroître leur connaissance tacite. De plus, le partage d'expériences documentées facilite le transfert de connaissances explicites vers d'autres personnes, ce qui améliore la capacité à résoudre un problème [AAM 95].

Exemple :

L'entreprise « General Electric » stocke toutes les plaintes de clients et les enquêtes dans une base de données localisée à son centre de réponses. Cette base peut être utilisée par les membres d'une équipe de développement de nouveaux produits, car les plaintes et les enquêtes stockées dans la base, peuvent être utilisées comme un élément pour « revivre » ce que les employés du centre de réponse ont eu comme expérience.

Après la phase d'intériorisation, ces expériences peuvent être valorisées puisqu'elles ont un lien très étroit avec l'apprentissage par l'action. C'est à ce moment-là que la connaissance organisationnelle se produit, parce que la connaissance tacite accumulée est partagée par la socialisation avec d'autres membres de l'entreprise (et au-delà des frontières de l'organisation vers les clients, les fournisseurs, la concurrence, etc.) et de ce fait, un nouveau cycle de création de connaissance commence. Le cycle de création de connaissances organisationnelles est parfois appelé **SECI** par **S**ocialisation – **E**xteriorisation – **C**ombinaison – **I**ntériorisation.

5. La gestion des connaissances ou knowledge management (KM) comme la problématique de capitalisation des connaissances

L'intérêt croissant du monde industriel pour la gestion des connaissances, est né de la perception des connaissances comme un actif corporatif stratégique qui doit être recueilli, stocké, actualisé, diffusé et appliqué dans les futurs problèmes que devra affronter une entreprise. Les définitions de cette nouvelle discipline sont variées, en voici quelques unes :

- L'administration des atouts qui résultent de l'utilisation et l'application de l'information [J&P 05].
- Le management des activités et des processus destinés à amplifier l'utilisation et la création de connaissances dans l'entreprise [GRU 03].
- La gestion des connaissances est la formalisation et l'accès à l'expérience, la connaissance et l'expertise qui créent de nouvelles capacités, améliorent la performance, encouragent l'innovation et incrémentent la valeur perçue par le client [PAC 01].
- La gestion des connaissances est l'art de créer de la valeur à partir des atouts intangibles d'une entreprise [SVE 97].
- La gestion des connaissances est l'ensemble des processus qui gouvernent la création, la dissémination et l'utilisation de la connaissance [PAC 01].

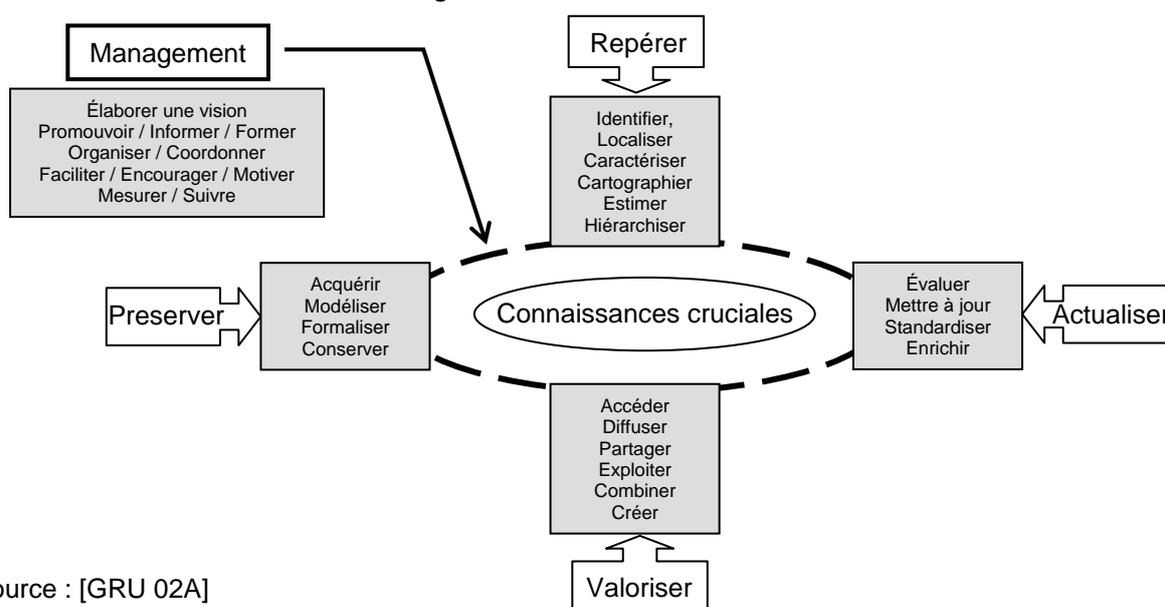
5.1 La capitalisation des connaissances

La gestion des connaissances est envisagée dans le contexte présent, comme une problématique liée à la capitalisation des connaissances qui est définie d'après Grundstein [GRU 05] comme : « ... *Capitaliser les connaissances de l'entreprise c'est considérer les connaissances utilisées et produites par l'entreprise comme un ensemble de richesses constituant un capital, et en tirer des intérêts contribuant à augmenter la valeur de ce*

capital ». Afin d'accomplir cet objectif, quatre facettes doivent être analysées : repérer, préserver, valoriser, actualiser les informations sources de connaissance.

- A).** *Repérer* la connaissance. Celle-ci concerne les problèmes liés au repérage des connaissances cruciales. Ces savoirs, considérés comme l'ensemble des connaissances explicites et tacites indispensables aux processus de décision et au déroulement des processus essentiels qui constituent le cœur des activités de l'entreprise : il faut les identifier, les localiser, les caractériser, en faire des cartographies, estimer leur valeur économique et les hiérarchiser.
- B).** *Préserver* la connaissance. Cette étape concerne les problèmes liés à la préservation des connaissances : lorsque les connaissances sont explicitables, il faut, les acquérir auprès des porteurs de connaissances, les modéliser, les formaliser et les conserver. Si les connaissances ne sont pas explicitables, il faut encourager le transfert de connaissances de type « maître - apprenti » et les réseaux de communication entre les personnes.
- C).** *Valoriser* la connaissance. Dans cette étape, l'intérêt primordial se focalise sur les problèmes liés à la valorisation des connaissances. Il faut les mettre au service du développement et de l'expansion de l'entreprise et de ce fait, les rendre accessibles selon certaines règles de confidentialité et de sécurité, les diffuser, les partager, les exploiter, les combiner et créer des connaissances nouvelles. Ainsi, il faut créer un environnement qui favorise l'interaction entre les personnes, le dialogue et la créativité.
- D).** *Actualiser* la connaissance. L'actualisation des connaissances implique qu'il faut les évaluer, les mettre à jour, les standardiser et les enrichir au fur et à mesure des retours d'expériences, de la création de connaissances nouvelles et de l'apport de connaissances externes.

Il y a une autre problématique associée à la capitalisation des connaissances, celle qui concerne l'interaction entre les quatre facettes décrites précédemment. C'est là, que se positionne le management des activités et des processus destinés à amplifier l'utilisation et la création de connaissances dans l'entreprise, appelé Knowledge Management ou Gestion des Connaissances [GRU 02A]. Les facettes de la capitalisation des connaissances et son interaction est schématisée sur la figure 3.5.



Source : [GRU 02A]

Figure 3.5 La problématique de capitalisation des connaissances dans l'entreprise

Ce processus a été abordé par différentes méthodologies, dont voici une liste non exhaustive des plus importantes : la méthode REX, la méthode MKSM, la méthode CYGMA, la méthode MEREX, la méthodologie CommonKADS, la méthode KOD, les ontologies, le Raisonnement à Partir de Cas (RàPC) plus en aval. Une brève description est présentée dans les paragraphes suivants, mais d'abord, une classification succincte de ces méthodes est présentée dans le paragraphe suivant.

5.2 Les méthodes de capitalisation des connaissances

Les méthodes de gestion des connaissances ont fait l'objet de plusieurs classifications comme celle offerte par Barthelmé-Trapp [B&V 01], qui distingue trois grands courants :

A). Les démarches de capitalisation. Elles cherchent l'explicitation des connaissances détenues par un expert sur un support informationnel, avec comme but une exploitation ultérieure, parmi les plus utilisées la méthode CommonKADS, MKSM, IBIS ou QOC.

B). Les démarches de mémorisation continue pour retour d'expériences. Elles consistent à élaborer des bases d'information qui stockent les expériences passées et gèrent leurs accès. L'objectif est donc de « *garder des traces des incidents et échecs, faits techniques et rédactions de documents présentant les solutions pratiques de conception* » [B&V 01]. Dans cette catégorie se trouve la méthode CYGMA ou la méthode REX.

C). Les démarches cartographiques. Elles cherchent à répertorier les compétences contenues par l'organisation, c'est-à-dire à faire une représentation graphique et descriptive des connaissances afin de les situer dans l'entreprise. Les arbres de connaissances en sont l'exemple typique.

Dans les paragraphes suivants, plusieurs méthodes pour construire une mémoire d'entreprise seront analysées selon la classification proposée par Dieng-Kuntz et al. [KUN 01] et même si la liste n'est pas exhaustive, elle offre une description succincte des méthodes les plus utilisées.

5.3 La mémoire d'entreprise

Les méthodes qui seront présentées par la suite, sont utiles pour construire une mémoire d'entreprise, dont l'objectif est « *d'aider l'utilisateur en lui fournissant des informations appropriées de l'entreprise, mais en lui laissant la responsabilité d'une interprétation et d'une évaluation contextuelle de ces informations* » [KUN 01]. Certains objectifs primordiaux de cette mémoire sont les suivants :

- Acquérir la connaissance des experts travaillant dans un domaine.
- Préserver la connaissance de façon telle, qu'elle puisse être réutilisée à l'avenir.
- Disséminer la connaissance en permettant un accès flexible et efficace dans le contexte particulier d'un problème [LEN 99].

Le développement de cette mémoire peut se faire de trois manières :

- Descendante : une méthodologie descendante propose des modèles génériques à partir desquels, il est possible d'interpréter les données récoltées par les experts, par exemple : la méthodologie CommonKADS.

- Ascendante : à l'opposé de la situation précédente, en partant des données tirées des experts, celles-ci doivent être abstraites afin de construire des modèles ; l'exemple typique est la méthode KOD (Knowledge Oriented Design).
- Une méthodologie mixte qui combine les approches ascendante et descendante i.e. IBIS.
- Classées comme une autre approche, les approches coopératives mettent l'accent sur l'exploitation de collectifs.

L'objectif sous-jacent peut être divisé en trois classes essentielles :

- A).** La constitution d'un annuaire ou cartographie des connaissances de l'entreprise. Celui-ci permet d'identifier qui dans l'entreprise possède l'expertise sur un certain type d'activités, quelle position occupe cet individu dans la structure de l'entreprise ou l'organisation. De plus, les expériences stockées dans la mémoire montrent comment l'expert a résolu un problème et quelles ont été les décisions prises. Mais également, cette cartographie met en évidence les lacunes, les points faibles et les insuffisances dans la structure de l'entreprise afin de prendre les mesures adéquates.
- B).** La construction d'une base des meilleures pratiques. Dans cette base, les connaissances en provenance de multiples sources à la fois internes et externes à l'entreprise, sont extraites, synthétisées, évaluées afin de les rendre évolutives. Donc, les connaissances dans la base concernent la meilleure façon de faire les choses et leur pertinence est focalisée sur les processus et les procédés, plutôt que sur les produits.
- C).** L'explicitation du savoir faire d'experts de l'entreprise. Ce type de mémoire d'entreprise peut contenir ou non des connaissances formelles. Si le système cherche à exploiter les capacités de raisonnement des utilisateurs, alors une base de connaissances formelles est nécessaire. Les connaissances formelles sont les connaissances explicitées par un expert et qui ont été modélisées à l'aide d'un formalisme bien défini. Dans le cas contraire, un livre des connaissances s'avère utile. Un livre de connaissances est un ensemble de documents contenant les descriptions textuelles et graphiques des modèles des connaissances obtenus à partir des experts dans l'entreprise ou l'organisation.

5.3.1 La méthode CommonKADS

Cette méthodologie est un des résultats des projets ESPRIT, KADS-I et KADS-II. Elle repose sur le postulat que le partage des connaissances est basé sur la communication et la création de connaissances. Donc, la gestion de connaissances signifie le partage de la connaissance parmi plusieurs individus. L'originalité de cette méthodologie « *est de permettre de modéliser les connaissances utilisées par les experts pour résoudre des problèmes selon des perspectives différentes...* » [PAC 01].

CommonKADS permet de modéliser les connaissances employées par les experts lors de la résolution d'un problème selon trois catégories ou « couches » de la connaissance :

- La couche « domaine », décrivant les connaissances qui sont pertinentes en regard du champ d'action étudié.
- La couche « inférence », décrivant les pas de raisonnement mené sur le champ d'action étudié. La façon dont les connaissances du domaine interagissent dans le raisonnement est aussi étudiée.

- La couche « tâche », décrivant la décomposition hiérarchique d'une tâche en sous-tâches, jusqu'aux tâches élémentaires de plus bas niveau de l'arbre.

CommonKADS utilise en plus des trois catégories citées ci-dessus, six modèles pour analyser la connaissance : organisation, tâche, agent, communication, connaissance et conception.

- Le modèle de l'organisation décrit l'entreprise dans son ensemble ainsi que ses fonctions.
- Le modèle tâche décrit les tâches réalisant les fonctions identifiées par le modèle d'organisation.
- Le modèle agent identifie et décrit les agents –humains ou informatiques- impliqués dans la réalisation des tâches.
- Le modèle de communication représente la communication entre agents et homme-machine.
- Le modèle de connaissances (ou d'expertise) modélise l'expertise indispensable à la réalisation des tâches par les agents.
- Le modèle de conception concerne plus spécifiquement la conception d'un système à base de connaissances destiné à implémenter les connaissances modélisées [KUN 01].

Le tableau 3.1 montre l'application de chaque modèle selon le type de mémoire souhaitée [KUN 01]:

<i>Type de mémoire</i>	<i>Modèles CommonKADS pertinents</i>
Mémoire métier	Modèles de connaissance
Mémoire société	Modèles d'organisation, de tâche, d'agent
Mémoire individuelle	Modèles d'agent et de connaissance
Mémoire de projet	Modèles de tâche, d'agent et de communication
Mémoire technique	Modèles de tâche, d'agent et de connaissance
Mémoire managériale	Modèles d'organisation, de tâche, d'agent et de communication

Tableau 3.1 Les modèles de CommonKADS

5.3.2 La méthode REX

Cette méthode a été conçue avec comme objectif de capitaliser les expériences produites lors du démarrage du réacteur SuperPhénix en 1987 au sein du Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA). Le principe de base de la méthode est de constituer « *des éléments de connaissances tels que des éléments d'expériences issus d'une activité quelconque et à restituer ces éléments pour qu'un utilisateur puisse les valoriser. Les éléments de connaissances ainsi définis sont stockés et gérés dans une mémoire avant d'être restitués pour examen et réutilisation* » [KUN 01]. En d'autres termes, l'objectif est de capitaliser les retours d'expériences produits lors de la conception, par exemple, sur les erreurs de conception commises, ce qui permet de prendre les mesures adéquates pour éviter leur répétition. De plus, la méthode cherche à produire les éléments nécessaires afin de comprendre les décisions prises, en gardant la trace des motifs et des critères de décision [TKR 02].

5.3.3 La méthode MKSM (Methodology for Knowledge System Management)

Cette méthode a été développée au CEA comme une « *méthodologie d'analyse permettant d'aboutir, au moins en partie, à la maîtrise de la complexité dans les projets de gestion des connaissances, avant d'aboutir à un projet "opérationnel". Les phases de la méthode procèdent par raffinements successifs de l'analyse et de la modélisation du patrimoine de connaissances, jusqu'au grain suffisant qui permet d'avoir une visibilité correcte sur les connaissances à gérer, les projets possibles à mettre en place et les critères de décision pertinents* » [ERM 96].

Les objectifs primordiaux de cette méthode sont de :

- Développer des fondements théoriques importants et solides. Les bases théoriques de la méthode ont été tirées d'un énorme corps de connaissances.
- Fournir un ensemble de méthodes et outils directement appropriables par des utilisateurs peu expérimentés, avec un minimum d'effort et de connaissances spécialisées.
- Être une "méthodologie brève" ou une méthodologie facile à mettre en œuvre qui ne nécessite pas des efforts prolongés pour être assimilée. Cela augmente considérablement leur viabilité et implémentation à grande échelle.
- Viser un large choix d'applications, étant donné qu'un projet sur la gestion des connaissances concerne plusieurs activités comme la gestion de la qualité, la gestion des documents, les systèmes de communication, etc.
- Se baser sur des expériences concrètes et variées. Ainsi la méthode bénéficie du retour d'expérience du groupe dans des domaines très diverses.
- Permettre d'évaluer le retour d'investissement possible [ERM 96].

D'après cette méthode, le système des connaissances d'une organisation est un système complexe et celui-ci, n'est pas réductible à d'autres systèmes comme le système de gestion de documents, le système d'information, le système de gestion de la qualité, etc. De ce fait et afin d'avoir une perspective du système et sa complexité, il s'avère nécessaire de concevoir un outil adapté à cette condition. L'outil développé est le microscope de la connaissance. Un tel outil sert à observer la connaissance sans la réduire ou la découper. Il implique aussi que la connaissance se discerne comme un système global avec trois axes : structure, fonction et évolution. [ERM 03].

La méthode MKSM possède une extension avec la méthode MASK, qui aborde la problématique de la gestion des connaissances comme un processus plus vaste qui considère l'appropriation et l'évolution de la connaissance, comme faisant partie du système.

5.3.4 La méthode CYGMA (Cycle de vie et Gestion des Métiers et Applications)

Cette méthode est focalisée sur la capitalisation des connaissances lors de projets de conception de produits industriels. La méthode reconnaît six classes de connaissances industrielles : les connaissances singulières, terminologiques, structurelles comportementales, stratégiques et opératoires. La méthode cherche, en se basant sur ces catégories, à créer un bréviaire de connaissances et une base de connaissances exploitables par un moteur de recherche ou un algorithme de raisonnement déductif. Les

bases de connaissances produites sont appelées AMI ou Applications Métier Industrielles ou Assistants Métiers de l'Ingénieur.

Le bréviaire de connaissance est élaboré à partir de la connaissance détenue par les experts et contenue dans la documentation de l'entreprise. Plus tard dans ce processus, la connaissance ainsi obtenue est validée par les experts, et enveloppée dans un glossaire métiers, un livre sémantique, un cahier de règles et finalement, un manuel opératoire [KUN 01].

5.3.5 Les ontologies

La communication dans une entreprise est fortement affectée par les expériences, la formation, les besoins et la perception de leurs membres. En raison de cela, les points de vue et les perceptions sur le même sujet, sont fréquemment très différents. Ce phénomène est dû à l'emploi de jargons, de concepts, de schémas et de méthodes qui peuvent se révéler complémentaires, incompréhensibles ou incompatibles [KUN 01]. D'après Altshuler, les personnes utilisent des mots pour communiquer et ces mots ne sont pas neutres, ils renferment une signification bien définie et cela dirige la réflexion vers une direction bien identifiée [ALT 99].

Un autre facteur d'impact sur la communication, est l'incompatibilité entre les modèles mentaux des acteurs. Un modèle mental est « *une structure de connaissances détenues par des membres d'une équipe qui leur permettent de former des explications et des attentes pertinentes pour la réalisation d'une tâche et en retour de coordonner leurs actions et adapter leurs comportements aux demandes de la tâche et d'autres membres de l'équipe* » [N&T 97]. Tous ces facteurs, ont comme conséquence :

- Une mauvaise communication.
- D'énormes difficultés pour identifier les besoins et les solutions.
- Une interaction et une coopération limitées.
- Une réutilisabilité et un partage des solutions –et de connaissances- restreinte, ce qui se reflète en une tendance à gaspiller l'effort en réinventant la roue à chaque fois [KUN 01].

Ainsi, il est nécessaire de trouver la façon d'éliminer ou réduire significativement la confusion conceptuelle et terminologique, afin de produire une compréhension partagée, c'est-à-dire, une ontologie. Les définitions proposées sont nombreuses, mais la plus répandue décrit une ontologie comme une « *spécification d'une conceptualisation* » [GRB 93], ou comme une spécification explicite d'une conceptualisation d'un domaine, formée par des entités et des relations. Les composants d'une ontologie sont : des concepts, des relations entre concepts, des fonctions, des instances et des axiomes. Les éditeurs d'ontologies comme Ontolingua et Protégé, permettent la construction d'une ontologie.

L'utilisation des ontologies dans la construction d'une mémoire d'entreprise, permet d'explicitement une terminologie et une conceptualisation partagée par un métier donné ou par une communauté donnée dans une organisation, ce qui produit une structure pour développer des bases de connaissances ainsi qu'une base pour générer des vues sur les bases de connaissances [KUN 01].

Parmi les types d'ontologies Dieng-Kuntz [KUN 01] reconnaît les classes suivantes :

- *Les ontologies du domaine* représentent des conceptualisations spécifiques à un domaine et sont utilisables par plusieurs activités sur ce domaine exemple : l'analyse et la conception.

- *Les ontologies applicatives* représentent des connaissances du domaine nécessaires à une application donnée, elles sont donc spécifiques et non réutilisables.
- *Les ontologies de haut niveau* contiennent des conceptualisations valables dans différents domaines, par exemple le dictionnaire sémantique WordNet disponible sur <http://wordnet.princeton.edu/obtain>
- Les méta-ontologies expriment « *les primitives des langages de représentation des connaissances* » [KUN 01].

5.3.6 Mémoire à base de cas

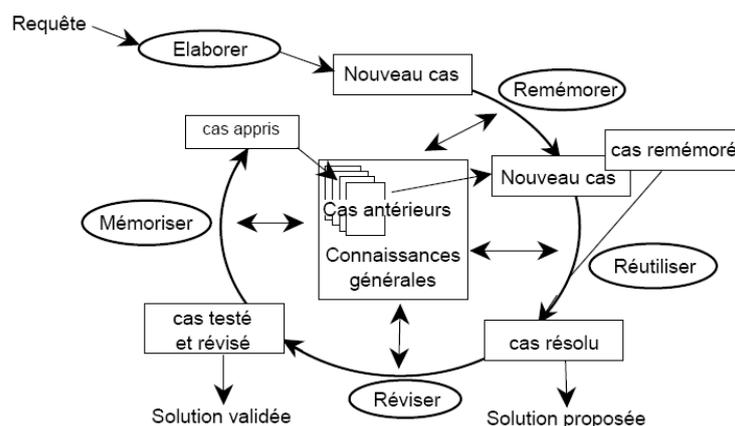
Le RàPC (en anglais Case-Based Reasoning) est un processus où la réutilisation des expériences passées est le but principal. Cette technique provenant du domaine de l'Intelligence Artificielle, a été utilisée dans les systèmes experts et dans d'autres domaines comme les sciences cognitives.

Dans cette approche l'utilisateur essaie de résoudre un nouveau problème en reconnaissant les similarités entre différents problèmes, préalablement résolus appelés cas. Un cas est communément un problème spécifique qui a été identifié, résolu, stocké et indexé dans une mémoire avec sa solution et éventuellement, le processus d'obtention de celle-ci [FUC 99].

Ce processus se déroule selon quatre étapes primordiales :

- 1) *Remémoration* : le processus commence avec une description initiale du problème ou nouveau cas. Puis, ce nouveau cas est utilisé pour identifier ou remémorer un cas ou ensemble de cas contenus dans la mémoire.
- 2) *Réutilisation* : si un ou plusieurs cas sont similaires au problème, le cas le plus similaire est sélectionné pour réutiliser sa solution.
- 3) *Révision* : la solution obtenue est évaluée, examinée et rectifiée si nécessaire, afin d'assurer le succès.
- 4) *Mémorisation* : la nouvelle expérience est stockée et la mémoire mise à jour. Les erreurs, processus spéciaux, ou stratégie de rectification de la solution, sont des éléments qui doivent être aussi stockés au côté de la solution. Il est important de noter qu'au cœur de ce processus, il y a une mémoire de cas qui contient toute la connaissance (générale et spécifique), qui a été récoltée des anciens cas et qui supporte le processus de résolution d'un problème dans un domaine particulier.

Ainsi la connaissance et l'information des cas déjà résolus sont extraites, récoltées et apprises, pour finalement être transformées, examinées et appliquées pendant la résolution du nouveau problème [A&P 94], [L&P 97]. Ce processus est représenté sur la figure suivante :



Source : [FUC 97]

Figure 3.6 Le processus du RàPC

Le RàPC comme outil de résolution de problèmes, est une combinaison où se retrouvent mêlées une approche pragmatique et cognitive. Le côté cognitif est représenté par le raisonnement analogique. Ce composant fondamental d'un système basé sur le RàPC, est le processus le plus utilisé par les humains, lors de la résolution d'un problème [KOL 93], [TZZ 98]. De plus, l'apprentissage par analogies est aussi inhérent à tous les systèmes basés sur le RàPC. D'après Leake [LEA 96], le raisonnement et l'apprentissage possèdent un lien très étroit (cette affirmation est basée sur la théorie de la mémoire dynamique, qui sera présentée plus tard dans le chapitre 4 de ce manuscrit). En conséquence, l'apprentissage est présent dans le RàPC parce qu'il induit des généralisations en se basant sur les similarités entre cas, mais aussi parce que le RàPC accumule et indexe les cas dans une mémoire pour une utilisation postérieure [L&P 97].

Du point de vue pragmatique, le RàPC implémente dans un système, les caractéristiques identifiées par l'approche cognitive. Cette implémentation nécessite moins d'effort que d'autres techniques [CUN 98], [LMR 03]. Cette facilité d'implémentation est liée au fait que l'utilisateur comprend et utilise plus facilement, les exemples concrets proposés par ce type de systèmes.

Depuis le système CYRUS développé en 1983 par J. Kolodner, le RàPC a été appliqué dans des domaines comme : le droit, la médecine, la nutrition, la cuisine, la conception de nouveaux produits, la prise de décisions entre autres [LIA 00], [RCG 04], [KMR 04].

L'emploi du RàPC comme approche pour construire une mémoire d'entreprise s'avère intéressante car celle-ci possède les caractéristiques suivantes :

- A).** Évite les difficultés de modélisation du savoir-faire des experts en se concentrant sur l'acquisition des cas.
- B).** L'évolution de la mémoire d'entreprise est faite par son utilisation et par l'incorporation de nouveaux cas dans la mémoire.

Ainsi, une mémoire de cas est utile pour stocker les expériences acquises pendant le déroulement d'un projet, les meilleures pratiques existantes dans une entreprise ou les histoires symboliques [KUN 01].

Après avoir brièvement analysé les différentes méthodes de capitalisation de connaissances, une comparaison est dressée dans le tableau 3.2 :

Méthode	Modes de recueil	Types de modèles produits	Modes d'évolution	Sources de connaissances	Aspects des connaissances étudiées
Common KADS	Entretien + Analyse de documents	Modèles d'organisation, de tâche, d'agent, de communication, d'expertise, du domaine	Modélisation de connaissances	Experts + Documents	Organisation + Résolution de problèmes + Domaine
REX	Entretiens + analyse de documents	Lexique, vues, éléments d'expérience	Ajouts d'éléments d'expérience + liens vers lexique et vues	Experts + Documents	Résolution de problèmes + Vocabulaire
MKSM	Entretien + Analyse de documents	Modèles du contexte, du domaine, d'activités, de concepts et de tâches	Modélisation de connaissances	Experts + Documents	Activité + Domaine
CYGMA	Entretien + Extraction à partir de documents	Glossaire, livret sémantique, cahier de règles, manuel opératoire	Modélisation de connaissances	Experts + Documents	Activité + Domaine
Ontologie	Entretien + Analyse de documents	Modèles organisationnels, du domaine, de concepts, sémantiques entre autres	Modélisation de connaissances	Experts + Documents	Organisation + Domaine + Vocabulaire + Résolution de problèmes
RàPC	Entretien + Analyse de documents	Modèles de tâches, d'expertise	Ajout d'éléments d'expérience	Experts + Documents	Résolution de problèmes + Activité + Domaine

Méthode	Typologie de connaissances définies	Type de mémoire définies	Type de tâches étudiées	Outils
Common KADS	Tâche, Inférence, Modèle du domaine, Ontologie	Mémoire d'activités	Tous types de tâches	KADS Workbench, Cokace, KADS Tool
REX	Objet descriptif, point de vue, terme	Mémoire individuelle d'expériences	Conception	L'outil REX
MKSM	Triangle sémiotique information + contexte + signification	Mémoire d'activités	Conception, supervision, gestion	L'outil MKSM
CYGMA	Connaissances terminologiques, ontologies, stratégiques, structurelles, comportementales, opératoires entre autres.	Mémoire métier	Conception	Non défini
Ontologie		Mémoire métier	Tous types de tâches	Protégé, Ontolingua
RàPC	Tâche, connaissances opératoires, objet descriptif	Mémoire d'activités / métier	Conception, supervision, analyse.	Non défini

Source : adapté de [KUN 01]

Tableau 3.2 Comparaison de différentes méthodologies de capitalisation de connaissances

6. L'innovation et la gestion des connaissances

Comme il a été exposé dans les paragraphes précédents, *l'innovation représente un processus technologique, créatif et sociétal, où la connaissance individuelle et organisationnelle est exposée, assimilée, partagée et finalement, transformée afin de produire de la connaissance nouvelle. De ce fait, le développement systématique de nouvelles connaissances, produit des innovations en matière de produits, de processus et dans la structure de l'organisation* [COR 04].

Ainsi et afin d'encourager l'innovation au sein d'une entreprise, il est nécessaire de développer une structure capable de rendre disponible la connaissance, de guider les efforts créatifs de leurs membres et d'offrir un cadre qui favorise la résolution des problèmes.

D'après Malhotra [MAL 00], les systèmes de gestion des connaissances sont basés sur la convergence et la conformité vers certains objectifs organisationnels bien définis, généralement la recherche de l'optimisation et le consensus. En d'autres termes, la mise en œuvre des meilleures pratiques contenues dans les systèmes d'information d'une entreprise, peut se révéler préjudiciable à long terme. Cela arrive car l'utilisation des meilleures pratiques peut en effet, faciliter la conduite d'activités lorsque l'environnement industriel est stable. Cependant quand le changement est radical et discontinu, le renouvellement des principes de base contenus dans les pratiques stockées s'avère indispensable afin de favoriser l'innovation. Ce qui se traduit par un besoin croissant des utilisateurs à avoir des réponses ou des *suggestions plus imaginatives que celles proposées par les réponses concrètes et documentées* contenues dans ce type de systèmes [HED 76].

Le concept de gestion des idées cherche à combler cette carence. La gestion des idées cherche à mettre en place un système pour collecter, conduire et transformer les idées au sein d'une entreprise, en produits nouveaux afin d'améliorer la performance globale de celle-ci. Selon Deloule [DEL 04], les stratégies sur l'innovation reposent essentiellement sur la rapidité des processus de conception et de développement de produits nouveaux et sur l'intégration et la combinaison de nouvelles connaissances. L'auteur ajoute : « *Ces stratégies s'appuient sur un partage rapide des connaissances et sur le management des idées de nouveaux concepts de produit. Le succès se mesure alors non seulement au nombre des nouvelles idées générées mais aussi à la rapidité de leur mise en œuvre et à leur pertinence stratégique* ».

L'auteur propose donc un système qui vise à « *opérer un rapprochement entre les connaissances sur les évolutions des marchés et des technologies et les ressources et compétences de l'entreprise pour créer de nouveaux produits ou marchés* ». Un tel système comprend les étapes suivantes :

- A).** Une structure pour identifier, formuler et collecter les idées.
- B).** Un processus pour les hiérarchiser afin de sélectionner les plus prometteuses.
- C).** Gérer la transformation de ces idées vers le lancement de projets nouveaux.
- D).** Capitaliser les connaissances des intervenants lors de la transformation des idées exposées.

Le déroulement de ces étapes met en place un processus divergeant – convergeant ; divergeant afin d'enrichir les idées exposées par le biais d'un effort collectif des membres de l'entreprise et convergeant afin de sélectionner les concepts avec le plus de potentiel. Ce processus doit permettre « *des temps de réflexion à la fois individuels et collectifs tout en assurant la confidentialité des idées exposées* ». Cette phase est aussi destinée à faciliter les échanges entre les différents acteurs en favorisant la confrontation de connaissances et de compétences de natures différentes.

Finalement, le processus d'évolution des idées exposées est enregistré dès leur émergence jusqu'à leur concrétisation, ce qui fait appel à un processus de capitalisation des connaissances.

7. Conclusion

Après avoir brièvement analysé les différentes méthodologies pour élaborer une mémoire d'entreprise, il est possible d'apprécier les points suivants :

- L'évolution de la mémoire d'entreprise est une tâche complexe et difficile qui nécessite souvent l'assistance des experts. Si à cela s'ajoute un environnement en continuelle évolution et extrêmement complexe, le résultat est une mémoire peu flexible et peu sensible au changement organisationnel, où les capacités ou compétences cruciales d'aujourd'hui, peuvent devenir les compétences rigides de demain et empêcher l'entreprise de se développer [LEO 95]. Le RàPC offre une façon de réduire cette difficulté, car l'ajout progressif de cas dans la mémoire permet une évolution du contenu de la mémoire.
- La créativité est considérée dans toutes ces méthodes de capitalisation de connaissance, comme un élément intrinsèque aux utilisateurs. Ainsi, même si la créativité fait partie du processus de création de nouvelles connaissances et d'activités essentiellement productrices de valeur pour l'entreprise (comme la résolution de problèmes et la conception) ; aucune méthode ne dispose d'une structure explicite pour canaliser les efforts créatifs des membres d'une entreprise, ce qui représente une des plus importantes limites de la gestion des connaissances.
- Concernant la gestion des idées, elle met en place une structure pour collecter et transformer les idées produites par les membres d'une entreprise, mais cette transformation est réalisée en utilisant le processus du brainstorming, et de ce fait, la transformation ne peut pas être dirigée. En conséquence, cela perpétue le paradigme « *d'un court temps de recherche de concepts de solution, pour un grand nombre de concepts générés et un temps d'étude des concepts, qui mène à envisager la conception de produit comme un acte de tri et d'analyse de concepts* » [DUB 04]. De plus, les processus de transformation ne prennent pas en compte les lois d'évolution des systèmes techniques et cela augmente l'aléatoire dans le processus de conception.

Par conséquent, la gestion des connaissances doit se focaliser sur les enjeux critiques pour l'entreprise comme l'adaptation organisationnelle, la performance face à un environnement discontinu, afin de créer une synergie entre la connaissance, les systèmes d'information (TIC) et la créativité humaine, avec comme but final de transformer la connaissance en innovation.

Une proposition pour satisfaire les dimensions connaissance-créativité sera exposée dans le chapitre suivant. Dans ce dernier une synergie est créée entre le Raisonnement à Partir de Cas (RàPC) et la théorie TRIZ afin de produire une mémoire organisationnelle.

Le RàPC offre plusieurs avantages dans cette synergie, certains ont déjà été mentionnés comme la facilité de faire évoluer le contenu de la mémoire, ou la facilité de sa mise en œuvre parce qu'il évite les difficultés de modélisation de savoir-faire des experts. Mais un autre avantage est important dans cette synergie : sa complémentarité avec l'approche de la théorie TRIZ.

Chapitre 4

La création d'une synergie entre la théorie TRIZ et la gestion des connaissances

Résumé : le modèle conceptuel proposé dans ce chapitre, présente une approche où s'intègrent la vision technologique de TRIZ et le Raisonnement à Partir de Cas (RàPC) afin d'offrir un outil capable de guider la pensée créatrice pendant la résolution d'un problème. En même temps, ce modèle cherche à créer une structure capable de capturer, stocker et rendre accessible l'information déployée pendant ce processus. Le but final de la synergie entre TRIZ et le RàPC est de produire un outil capable de capitaliser les connaissances et également d'appuyer l'innovation.

Chapitre 4 : la création d'une synergie entre la théorie TRIZ et la gestion des connaissances

1. Introduction

De nos jours, la connaissance est considérée comme un des plus importants vecteurs de croissance économique. Cela a donné naissance au terme « Économie fondée sur le savoir », qui plus tard est devenu « Économie dirigée par le savoir », terme qui est utilisé pour définir les économies fondées sur la production, la distribution et l'utilisation de la connaissance comme source principale de production de la valeur [EUC 04]. Cette vision a conduit à modifier la manière de percevoir l'innovation. Ainsi dans un de ses rapports, le Comité Européen de Normalisation écrit que les « *entreprises focalisent leur attention vers la connaissance comme un moyen pour améliorer leur performance et leur capacité à innover* » [CEN 04].

De ce constat et dans le contexte de ces travaux, l'innovation est vue comme un processus technologique, créatif et sociétal, où la connaissance individuelle et organisationnelle est exposée, assimilée, partagée et finalement, transformée, afin de produire de nouvelles connaissances. Ces nouvelles connaissances, destinées à améliorer la performance globale de l'entreprise, seront à leurs tours, enveloppées dans des produits, services et procédés nouveaux et même dans la structure organisationnelle de l'entreprise [COR 04].

Le paragraphe précédent met en évidence deux facteurs : les connaissances existantes dans une entreprise et leurs capacités à les mobiliser afin d'encourager l'innovation. Par conséquent, il faut développer une approche capable de satisfaire les axes connaissance-innovation. Cela implique d'un côté, le développement d'un système qui favorise l'acquisition, l'analyse, la préservation et la réutilisation des connaissances. Fonctions qui peuvent être rempliées par une mémoire organisationnelle ou d'entreprise (exposé dans le chapitre 3) [LEN 99], [KUN 01].

De l'autre, la création d'un entourage qui stimule la créativité avec comme but le déclenchement du processus d'innovation, la création de nouvelles connaissances et la résolution des problèmes. Une proposition pour satisfaire l'axe connaissance – innovation sera décrite dans ce chapitre.

1.1 La création d'une synergie pour mobiliser les connaissances et encourager la créativité

La création d'une mémoire organisationnelle dont le but est d'acquérir, préserver disséminer la connaissance [LEN 99], a été abordée par la gestion des connaissances avec entre autres le Raisonnement à Partir de Cas (RàPC) [DBI 99] qui possède plusieurs avantages, qui seront présentés dans ce chapitre. Mais même si le RàPC comme outil pour la résolution de problèmes et le partage des connaissances, a largement prouvé son efficacité, [WAT 01], cette approche ne possède pas une structure explicite pour stimuler la créativité.

De part sa conception, le RàPC ne peut que proposer des solutions innovantes du niveau 1 voire début du niveau 2 au sens de TRIZ, car il est basé sur des cas passés et spécifiques à un domaine. De plus son inconvénient majeur est mis en évidence lorsque pour un nouveau problème, la mémoire de cas ne contient pas de situation semblable rencontrée dans le passé. Dans une telle situation, la mémoire de problèmes résolus sera incapable d'offrir un problème analogue et par conséquent une solution.

Concernant la créativité, lors de la résolution de problèmes, celle-ci est abordée au travers d'heuristiques de recherche de solution : essais-erreurs, brainstorming, plans d'expériences, entre autres. Toutefois, ces heuristiques laissent une grande place au hasard, qui s'est vue réduite grâce à l'apparition de la théorie TRIZ.

La théorie TRIZ est capable d'aborder les problèmes en utilisant des analogies génériques, et également, de guider la créativité des individus lors de la résolution d'un problème. Cette théorie accélère le processus de génération d'idées et de créativité car l'aléatoire ne réside plus que dans la formalisation du problème et dans l'interprétation des concepts de TRIZ. Par conséquent, la place du hasard est considérablement réduite. De plus, de part sa transdisciplinarité, TRIZ offre la possibilité d'accéder à une synthèse des meilleures pratiques dans plusieurs domaines et facilite de ce fait, le transfert des solutions entre domaines.

Le modèle qui sera proposé plus tard dans ce chapitre, est basé sur une synergie entre le RàPC et certains concepts et outils issus de la théorie TRIZ, comme le concept de contradiction, le Résultat Idéal Final et la Matrice de Résolution des Contradictions techniques pour proposer un modèle, afin d'organiser la mémoire dans un système de raisonnement à partir de cas. Cette synergie démontre la complémentarité entre TRIZ et le RàPC, au travers d'un modèle *qui produit une mémoire organisationnelle ou une structure pour capitaliser, réutiliser efficacement la connaissance et aider à la créativité lorsque la connaissance est défaillante lors de la résolution d'un problème*. Ainsi, ce modèle reprend et augmente la partie des éléments forts du RàPC et de la théorie TRIZ, en lui ajoutant une dimension supplémentaire afin de palier l'inconvénient majeur énoncé précédemment.

1.2 Type de conflit visé

Le champ d'application de cette approche est la résolution de problèmes dits « non-routiniers ». Un problème est nommé « routinier » si toutes les étapes critiques pour arriver à sa solution sont connues. Une étape est dite critique, si son absence ne permet pas d'arriver à la solution préconisée.

Alors un problème est défini comme non-routinier si au moins une étape critique n'est pas connue. Une autre façon d'appeler ce type de problèmes est « *problème inventif* » [SAV 00].

Un problème inventif englobe les situations suivantes [SAV 00] :

- A).** L'amélioration de deux dimensions d'un problème en même temps ou élimination d'une contradiction.
- B).** L'identification et la prévention d'une déficience.
- C).** La réduction des coûts d'un procédé technique ou d'un processus.
- D).** Une nouvelle utilisation d'un procédé, processus ou technique connu (une analogie).
- E).** La création d'un nouveau système à partir des éléments existants (synthèse d'un système).
- F).** La création d'une nouvelle technique, d'un nouveau procédé ou système pour satisfaire un nouveau besoin (genèse).

La résolution d'un problème technique dépend d'après Savransky [SAV 00], de deux éléments :

- L'expérience de la personne qui fait face au problème, c'est-à-dire, si la personne a rencontré dans le passé des situations similaires.
- De son habilité à reconnaître cette similarité.

Une approche basée sur ces deux conditions, celle du Raisonnement à Partir de Cas est décrite dans la section suivante.

2. Le Raisonnement à Partir de Cas (RàPC)

Plusieurs raisons justifient l'utilité du RàPC comme outil de résolution de problèmes [WAT 97], [LEN 99], [KOL 93] par exemple :

- Les experts dans un domaine comparent quotidiennement un problème nouveau avec des expériences passées.
- Un expert adapte des cas passés pour la résolution d'un problème nouveau.
- Des cas sont disponibles en sources bibliographiques et dans la mémoire des experts, alors ceux-ci peuvent être enregistrés quand une nouvelle solution est générée.
- Il est possible dans un domaine donné, d'assigner un résultat à un cas, de l'expliquer, puis de le classer comme un succès ou un échec.
- Un cas peut être généralisé jusqu'à un certain point, afin d'extraire quelques caractéristiques qui facilitent son identification et sa spécificité.
- La comparaison entre deux cas peut se faire facilement.
- Les cas maintiennent leur pertinence sur des intervalles de temps relativement longs.

Ces caractéristiques peuvent se résumer avec deux concepts : mémoriser et réutiliser la connaissance utilisée lors de la résolution d'un problème. Le premier implique le développement d'une structure pour organiser et stocker la connaissance. Cette dimension a été basée sur les travaux de Schank [SNK 82], et plus spécifiquement, sur la théorie de la mémoire dynamique. Le deuxième essaie de reconnaître une analogie, afin de pouvoir réutiliser la connaissance stockée, ce qui fait appel au raisonnement analogique. Étant donnée leur importance dans le processus du RàPC, ces éléments seront décrits dans les paragraphes suivants.

2.1 Les fondements du RàPC

Le RàPC trouve ses fondements dans les travaux de Schank sur la mémoire dynamique, qui souligne l'importance des expériences passées pendant la résolution d'un problème [SNK 82], et dans le raisonnement analogique, qui selon Gallagher, [G&B 02], Terninko [TZZ 98], est le processus le plus utilisé toujours lors de cette résolution. Un bref aperçu de ces deux composants est dressé ci-dessous.

2.1.1 La théorie de la mémoire dynamique

La théorie de la mémoire dynamique proposée par Schank [SNK 82], explique que la plupart des personnes améliorent leur capacité à résoudre des problèmes grâce à leurs expériences. C'est-à-dire, qu'un individu résout plus rapidement un problème si l'a déjà résolu dans le passé (ou un similaire), et que la performance s'améliore car il se souvient des erreurs commises et évite de les reproduire. Ainsi, la capacité d'un individu à résoudre un problème est dynamique, parce que l'ajout de nouvelles expériences à celles déjà vécues, modifient la façon d'affronter les nouveaux problèmes [PRU 01]. Cette constatation peut être étendue et servir de base, pour la conception d'un système de résolution de problèmes.

Schank considère donc que la mémoire est dérivée de l'expérience, car les processus de compréhension, de remémoration et d'apprentissage sont réalisés par la même structure de la mémoire ou structure de connaissance appelé MOP's (Memory Organization Packets) ou paquets d'organisation de la mémoire. De ce fait, le RàPC « *repose essentiellement sur l'hypothèse que les nouvelles expériences nous rappellent des cas ou événements passés* » et que « *ces connaissances peuvent guider notre comportement* » [BEA 94], [LEN 99].

2.1.2 Le raisonnement analogique

L'analogie a un rôle central dans le raisonnement. Le raisonnement analogique, est un processus d'identification et de mobilisation des connaissances qui ont été extraites d'une situation familière, afin de résoudre une situation méconnue. Alors, l'habilité à faire une analogie entre situations distantes ou domaines lointains, est cruciale pour la créativité et l'innovation comme le démontrent les études de Greiner [GRE 88], Falkenhainer [FAL 90], Sifonis [SCB 03] entre autres.

Dans le contexte de ces travaux, seuls deux types d'analogies seront analysés : l'analogie transformationnelle qui est à la source des travaux sur le RàPC et l'analogie dérivationnelle [CAR 86].

2.1.2.1 L'analogie transformationnelle ou par transformation

L'analogie transformationnelle ou par transformation, essaie de réutiliser, avec quelques modifications mineures, une solution trouvée précédemment dans une situation similaire. La sélection de l'expérience qui apportera la solution, est faite en se basant sur une mesure de similarité.

Dans l'analogie par transformation, deux problèmes partagent quelques caractéristiques sur lesquelles une mesure de similarité a été établie. Ainsi, soit A un problème et B sa solution. Alors un problème à résoudre, appelé *cible*, est représenté par l'expression ($\mathbf{A}_C, \mathbf{B}_C$) et un problème déjà résolu appelé *source* par ($\mathbf{A}_S, \mathbf{B}_S$).

Une relation de *dépendance* β existe entre \mathbf{A} et \mathbf{B} , si A intervient dans la déduction de B par cette relation β . Alors ($\mathbf{A}, \beta, \mathbf{B}$) est une description de dépendance. Dans le RàPC, un couplage est fait entre descriptions de problèmes et celui-ci est désigné par α ; alors ($\mathbf{A}_S, \beta_S, \mathbf{B}_S$) α ($\mathbf{A}_C, \beta_C, \mathbf{B}_C$)

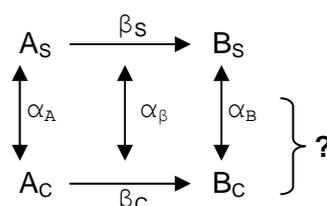


Figure 4.1 L'analogie par transformation

Ainsi, si α_A représente la différence entre \mathbf{A}_S et \mathbf{A}_C , il est possible alors de déterminer α_B (la différence entre \mathbf{B}_S et \mathbf{B}_C), pour en déduire \mathbf{B}_C en propageant α_B dans \mathbf{B}_S . Le transfert de la connaissance est réalisé, lorsque la solution connue est transformée pour satisfaire le nouveau problème et produire ainsi, une nouvelle solution.

2.1.2.2 L'analogie dérivationnelle ou par dérivation

Dans l'analogie dérivationnelle ou par dérivation, le but est de stocker et d'adapter le processus de raisonnement qui a amené à la résolution d'un problème similaire. Dans ce processus, chaque étape du raisonnement menant à la solution est mémorisée et stockée avec les informations suivantes :

- La structure et les objectifs du problème.
- Les décisions prises.
- Les indicateurs ou pointeurs sur les connaissances du domaine utilisées.

La réutilisation d'une solution extraite est faite par étapes, c'est-à-dire, à chaque étape du processus de résolution il faut vérifier que les conditions (justifications) d'exécution entre l'étape du cas cible et le cas source, sont valides. Si à la fin du processus, un schéma complet de raisonnement peut être appliqué dans le cas cible, alors il faudra mémoriser les différences et modifier la solution finale en conséquence.

Dans ce processus s est la similarité entre A_S et A_C . R_S est la méthode (raisonnement suivi) d'obtention de la solution B_S en partant du problème A_S . La résolution de A_C est faite par le calcul d'une méthode de dérivation R_C . Celle-ci est obtenue à partir de la méthode déjà connue R_S en utilisant la similarité s . A son tour s , a été employée afin d'identifier les éléments de R_S qui sont encore valides dans le problème A_C .

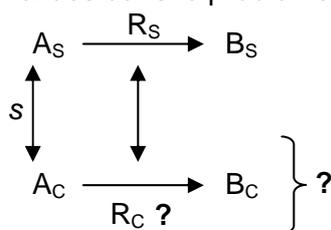


Figure 4.2 L'analogie par dérivation

La méthode suivie par un système qui utilise l'analogie par dérivation doit suivre la méthodologie suivante [BEA 94] :

A). Lors de la résolution d'un problème, comme il a été mentionné précédemment, les connaissances listées ci-dessous doivent être mémorisées.

- La structure et les objectifs du problème.
- Les décisions prises comme par exemple : les possibilités considérées et rejetées, les raisons de la décision, les critères de décision, les raisons pour lesquelles une direction de recherche prometteuse a été abandonnée, les liens entre une décision prise et la suivante.
- Les possibilités considérées et rejetées.
- Les indicateurs ou pointeurs sur les connaissances utilisées dans le domaine.
- La solution résultante.

Donc après A, deux situations sont possibles soit B, soit C.

B). Lorsque pour un problème donné, il n'y a pas de solution connue et qu'il n'est pas possible de le résoudre par instanciation directe d'un cas, il faudra analyser le problème en utilisant d'autres méthodes.

C). Si après l'analyse d'un problème les étapes initiales du raisonnement suivi sont identiques à celles d'un problème passé, alors le processus complet associé à ce problème peut être utilisé.

D). Appliquer le processus de dérivation pour obtenir une nouvelle solution, sans oublier que chaque étape doit être validée dans le problème cible. Si une étape n'est plus valable, il faut évaluer les possibilités non choisies (stockées dans le point A) et sélectionner la plus appropriée ou abandonner l'analogie, et en chercher une plus adaptée.

E). Lorsqu'un grand ensemble d'étapes de raisonnement sont similaires entre le problème cible et le problème source, il faut mémoriser les différences.

2.1.2.3 Le processus générique du raisonnement analogique

Mais dans les deux cas (analogie par transformation ou dérivation), le mécanisme du raisonnement par analogie schématisée dans les figures 4.1 et 4.2, consiste à trouver dans un inventaire de problèmes déjà résolus (figure 4.3) (1), le plus proche de la situation problématique confrontée (2). Si dans le répertoire d'expériences passées une situation similaire apparaît (3), la solution associée peut être réutilisée (4) et adaptée par le biais d'un effort créatif (5) et enfin évaluée, afin de proposer une solution efficace pour la situation initiale (6).

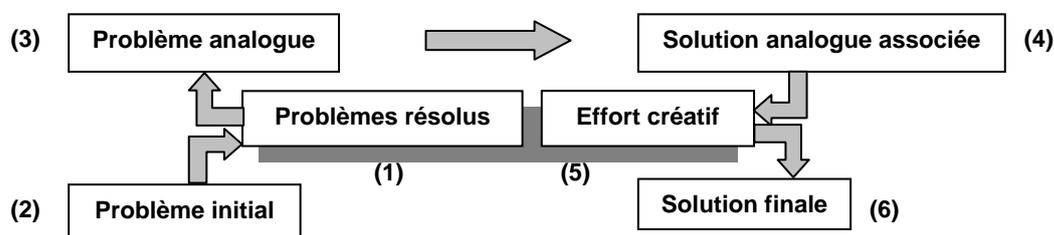


Figure 4.3 La résolution d'un problème par le raisonnement analogique

Le mécanisme du raisonnement analogique est un des fondements d'outils tels que la Technologie de Groupe Assistée par Ordinateur (TGAO) appliquée au champ de la productique. Cette dernière organise de manière efficace le stockage et la recherche d'information sur des problèmes similaires, afin de minimiser le temps de recherche d'information et de résolution de problèmes identiques [GAI 94].

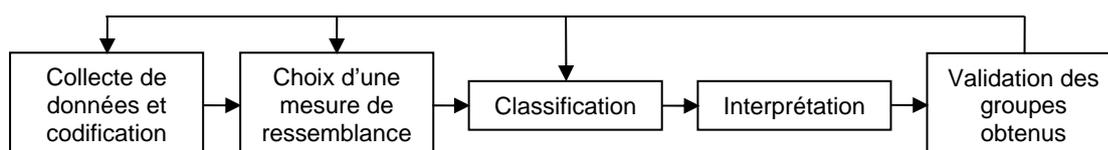


Figure 4.4 Le processus de la TGAO

Une autre approche basée sur le raisonnement analogique est l'Analyse des Tendances Conjointes (ATC), utilisée dans la conception, qui en partant de certaines valeurs, essaie de générer des solutions concrètes en termes d'attributs de produits comme la forme, la couleur, la texture, etc. [LIM 03]. Même si ces approches sont similaires à celle du RàPC, ni la TGAO ni l'ATC font appel au cycle de RàPC ou des 4R's (Retrieve, Reuse, Revise, Retain) exposé par Aamodt [A&P 94], qui constitue le noyau de base pour la résolution de problèmes, la mémorisation et l'apprentissage.

2.2 Les concepts de base du RàPC

Le processus de résolution d'un problème dans le RàPC repose d'après Leake [LEA 96], sur deux conditions essentielles : la similarité des problèmes et la récurrence. La première condition implique que des problèmes similaires auront des solutions similaires et ainsi, la résolution d'un problème nouveau peut être abordée à partir d'expériences passées.

La deuxième condition suppose que les problèmes ont une nature récurrente. En d'autres termes, que les problèmes rencontrés dans le futur, seront similaires à ceux déjà rencontrés. Cette récurrence s'explique par la nature répétitive d'un besoin, c'est-à-dire, tandis que les moyens de satisfaire ce besoin évoluent dans le temps, le besoin lui reste identique.

Ces deux principes expliquent la nature du RàPC : mémoriser et réutiliser les expériences acquises pendant la résolution d'un problème comme le démontrent les études de Schank [SNK 82], Aamodt [A&P 94], Restrepo [RCG 04]. En outre, ce mécanisme de résolution de problèmes est utilisé dès les premières étapes du développement humain, jusqu'à la résolution de problèmes complexes par un expert dans une discipline donnée.

Ainsi, dans le processus du RàPC, un utilisateur essaye de résoudre un problème en identifiant des similitudes avec différents problèmes précédemment résolus appelés cas. Un cas est un problème dans un domaine spécifique qui a été identifié, résolu, stocké et indexé dans une mémoire avec sa solution et éventuellement le processus d'obtention de celle-ci.

Ce processus est représenté par les notations suivantes :

L'espace de problèmes est noté par **Problèmes** et l'espace de solutions par **Solutions**. Un problème et une solution sont par définition des éléments de **Problèmes** et **Solutions** respectivement. Une relation binaire entre **Problèmes** et **Solutions** est supposée de manière à ce que, résoudre un problème **pb**, c'est trouvé $sol \in \text{Solutions}$ telle que **pb a pour solution sol**.

Un cas est alors la représentation d'un épisode de résolution de problème où $pb \in \text{Problèmes}$. Par conséquent, un cas est donné par le couple $(pb, sol(pb))$ où $pb \in \text{Problèmes}, sol(pb) \in \text{Solutions}$ et **pb a pour solution sol(pb)**.

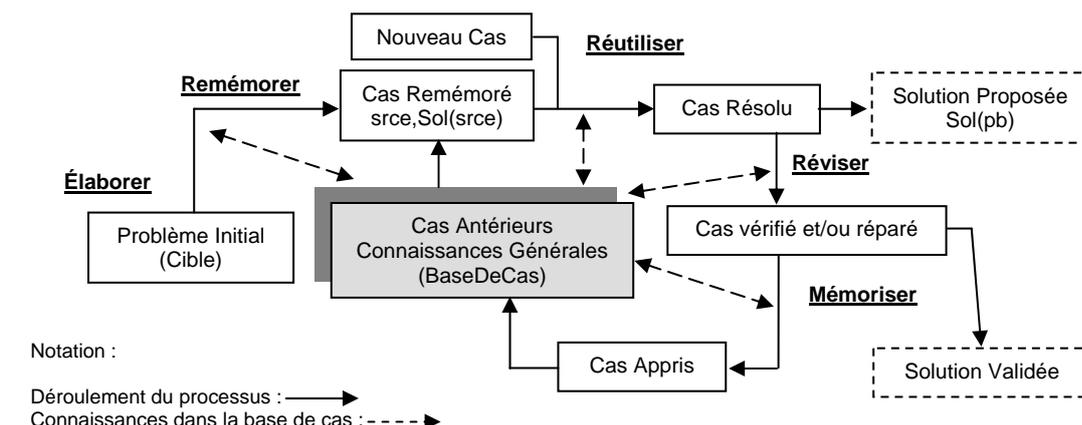
Une *base de cas* est un ensemble fini de cas, généralement organisée selon une structure bien définie. Celle-ci est notée par **BaseDeCas**. Un cas source est un élément de **BaseDeCas** et est noté par $(srce, sol(srce))$: *srce* est appelé *problème source*. Le *problème cible* ou problème à résoudre, est noté par **cible** [LIE 05].

2.3 Le mécanisme de résolution des problèmes du RàPC

Les éléments présentés ci-dessus, permettent de définir le RàPC comme la relation suivante :

$$(\text{cible}, \text{BaseDeCas}) \mapsto \text{Sol}(\text{cible}) \in \text{Solutions}$$

De ce constat, un cas est considéré comme une unité de connaissances, puisqu'il est manipulé par un raisonnement, et non pas une simple donnée [LIE 05]. Ce raisonnement est composé de cinq étapes : l'élaboration, la remémoration, la réutilisation, la révision et la mémorisation illustrées sur la figure 4.5.



Source : adapté [A&P 94]

Figure 4.5 Le cycle du RàPC ou cycle des 4R's

Les étapes du RàPC

- *Première étape ; l'élaboration* : avant de déployer l'ensemble du processus une étape préliminaire est nécessaire. Elle consiste à préparer un problème cible afin de le mettre en forme et à collecter des informations sur ses caractéristiques, en vue de l'étape de remémoration [LIE 05].
- *Deuxième étape, la remémoration* : la description du problème cible obtenue dans l'étape antérieure est utilisée pour rechercher un cas source dans la base de cas, similaire au problème cible.

$$(cible, BaseDeCas) \mapsto (srce, Sol(srce)) \in BaseDeCas$$

L'identification d'un cas source dans la base de cas est très liée à la méthode d'indexation utilisée. Généralement deux techniques sont utilisées par la plupart des logiciels commerciaux de RàPC : la méthode du plus proche voisin et la recherche inductive [WAT 97].

- *La méthode du plus proche voisin* ; cette méthode est basée sur la mesure de Minkowski et consiste à calculer la distance relative entre le cas cible et les cas sources dans l'index de la base de cas. La valeur la plus petite est donc le cas le plus « proche » du cas cible. Afin que cette distance soit plus réaliste et donc plus utile, un certain poids est assigné à certains attributs décrivant un cas. La proximité ou la similarité entre un cas cible et un cas source, est la somme pondérée des attributs soumis à la comparaison. Cette similarité est traduite mathématiquement par l'équation suivante :

$$Sim(C, S) = \sum_{i=1}^n f(C_i; S_i) \times p_i$$

Où

C = est le cas cible

S = est le cas source

n = est le nombre d'attributs de chaque cas

i = est un attribut spécifique (1 jusqu'à n)

f = est une fonction de similarité de l'attribut i pour les cas C et S

p = est l'importance ou poids de l'attribut i

- *La recherche inductive, l'induction* est une méthode utilisée dans l'Intelligence Artificielle pour extraire des règles ou construire des arbres de décision à partir d'une

base de données. Dans le RàPC, la base de cas est analysée par un algorithme d'induction avec comme but de produire un arbre de décision qui classe ou indexe les cas. L'algorithme d'induction le plus utilisé dans le RàPC est celui appelé ID3 [WAT 97].

- *Troisième étape, la réutilisation et adaptation* : une fois un cas source remémoré, $(srce, Sol(srce))$, la solution associée à celui-ci doit être adaptée aux conditions spécifiques du cas cible, puis testée pour vérifier son efficacité. Si le résultat n'est pas satisfaisant, la solution doit être adaptée.

$$(cible, (srce, Sol(srce))) \mapsto Sol(cible)$$

Le processus d'adaptation cherche les différences les plus importantes entre deux cas, afin de les prendre en compte lors de la création d'une nouvelle proposition de solution. Cette nouvelle proposition est le résultat de l'application de certaines règles, heuristiques ou formules définies à l'avance dans le système du RàPC. Généralement deux types d'adaptation sont utilisés dans le RàPC : l'adaptation structurelle et dérivationnelle. Les mécanismes d'adaptation ont été présentés dans la section 2.1.2 sur le raisonnement analogique.

- *Quatrième étape, la révision* : la solution obtenue pour le problème cible $(cible, Sol(cible))$ qui est en fait un nouveau cas, est alors testée afin de déterminer si $Sol(cible)$ est une solution correcte du cas cible. Si ce test s'avère négatif, celle-ci devrait être modifiée jusqu'à ce que le test soit positif. Les erreurs, processus spéciaux, ou stratégies de modification de la solution, sont parfois aussi stockés comme faisant partie de la solution.
- *Cinquième étape, la mémorisation* : une fois que le nouveau cas $(cible, Sol(cible))$ a été validé, la nouvelle expérience peut être stockée et la mémoire mise à jour. Le stockage d'un nouveau cas, peut ne pas être pertinent si $(cible, Sol(cible))$ est très proche d'un cas $(srce, Sol(srce))$ déjà existant dans la base de cas. Si cette situation arrive les deux cas peuvent être représentés par un seul cas qui les généralise ou ne pas considéré l'intégration du nouveau cas dans la mémoire.

Tous les systèmes de RàPC ne réalisent pas l'ensemble des étapes décrites ci-dessus. Plusieurs logiciels commerciaux de RàPC, n'effectuent aucune activité d'adaptation. Ils se limitent à proposer une solution et laissent l'adaptation et la révision à l'utilisateur, c'est-à-dire, ils limitent leur fonctionnalité à retrouver des cas dans la mémoire, ce qui correspond à l'objectif d'une mémoire organisationnelle qui en l'occurrence est « *d'aider l'utilisateur en lui fournissant des informations appropriées de l'entreprise, mais en lui laissant la responsabilité d'une interprétation et d'une évaluation contextuelle de ces informations* » [KUN 01], [WAT 97], [A&P 94], [KOL 93], [LIE 05], [LEN 99].

2.4 Les avantages du RàPC

Le RàPC comme outil pour la résolution de problèmes et le partage des connaissances, possède plusieurs avantages, dont les plus importants par rapport à l'objectif de cette contribution sont détaillés ci-dessous :

- *Facilité d'acceptation et d'utilisation* : d'après Kolodner [KOL 93], l'affinité cognitive entre le RàPC et le processus humain de résolution de problèmes (le raisonnement analogique), fait du RàPC un outil qui facilite le transfert d'expériences. Cette affinité simplifie la compréhension, l'emploi et l'application des exemples proposés par un système de RàPC. Selon Leake [LEA 96], pour qu'un système de RàPC soit mis en

place de manière satisfaisante, l'utilisateur doit accepter de manière naturelle le système. En d'autres termes, l'utilisateur doit avoir confiance sur les conclusions offertes par le système. Dans le RàPC, cette confiance est produite par le fait que l'utilisateur a l'impression, que son jugement est guidé de façon logique vers des solutions déjà vérifiées.

- *L'apprentissage et une performance croissante* : l'apprentissage est selon Leake [LEA 96], un produit inhérent à tout système de raisonnement à partir de cas. Cet avantage est basé sur la capacité de mémorisation d'un système de RàPC. Ainsi un cas peut être utilisé comme un outil pour la formation. L'emploi de cas comme outil pour le partage des connaissances est très habituel. Nonaka dans [N&T 97] souligne « *les documents et manuels facilitent le transfert de connaissances explicites vers d'autres personnes ; les aidant de ce fait à faire indirectement l'expérience des expériences des autres* ». Alors les solutions pragmatiques contenues dans la base de cas, permettent aux utilisateurs de s'approprier des expériences d'autres car il existe un lien entre la connaissance et la façon d'appliquer celle-ci dans un contexte donné.

Mais également, le RàPC est capable d'apprendre du succès et de l'échec, lors de la résolution d'un problème. Si un problème est résolu de façon satisfaisante, la solution qui en résulte est stockée pour une future réutilisation, ce qui évite la nécessité de réinventer une solution déjà déployée.

Si la solution n'est pas satisfaisante ou si elle aboutit à un échec, cela met en évidence que l'apprentissage est nécessaire, et alors il faut se concentrer sur l'acquisition de la connaissance qui doit combler ce manque. Quand un échec arrive l'apprentissage est divisé principalement en deux classes :

- L'apprentissage dérivé par un échec dans la réalisation d'une tâche (task failures), c'est-à-dire, par l'obtention d'une solution non adéquate.
- L'apprentissage dérivé d'un écart entre le résultat attendu et le résultat obtenu (expectation failures), dans lequel le résultat final ne coïncide pas (il est plus mauvais ou meilleur) avec les prévisions faites.

Mais dans les deux situations, les erreurs commises qui ont conduit à cet échec peuvent être également mémorisées (ainsi que d'autres éléments), permettant aux utilisateurs de prendre les mesures adéquates afin de ne pas les répéter ou d'avancer des hypothèses pour les causes d'un problème. Ces conditions se traduisent par une performance croissante lors de la résolution d'un problème [L&P 97].

- *Réduction de l'effort d'obtention de la connaissance et facilité de maintenance* : le processus suivi par le RàPC (remémorer, réutiliser, réviser et mémoriser) est selon Dubitzky [DBI 99] et Watson [WAT 01], proche des besoins d'un système de gestion des connaissances. Un des problèmes dans les systèmes de gestion des connaissances basés sur des règles, est justement la façon d'obtenir les règles. L'acquisition de ces règles est un processus laborieux qui, de plus, ne garantit pas que les règles obtenues seront suffisantes pour caractériser la connaissance des experts. Dans le RàPC, l'utilisateur emploie des épisodes complets ou cas. Par conséquent, les efforts pour décomposer une expérience afin de généraliser leurs étapes et produire des règles, n'est plus nécessaire. Cela réduit considérablement le coût d'obtention de la connaissance, même s'il faut considérer que le développement d'un système de RàPC, requiert un effort important pour créer les critères d'indexation et réutilisation des cas.
- *Un outil plus coopératif* : selon Watson [WAT 97] et Kolodner [KOL 93] entre autres auteurs, un expert est plus coopératif à partager ses réussites (cas résolus avec

succès), ce qui produit la matière première pour alimenter une base de cas. Par conséquent, le RàPC est une approche intéressante pour la construction d'un système à base de connaissances car il réduit l'effort et évite les difficultés de modélisation du savoir-faire des experts, en se focalisant sur l'acquisition de cas. Par ailleurs, dans un système de RàPC il n'est pas nécessaire d'obtenir des règles basées sur la connaissance des experts, ce qui réduit l'effort de maintenance de la base de cas. Ainsi, une évolution continue de la mémoire de cas est possible par auto alimentation : incorporation successive des nouveaux cas résolus [KUN 01].

- *Production de critères d'évaluation d'une solution* : au lieu de justifier une solution à un problème, par la démonstration des conditions permettant d'appliquer certaines règles, le RàPC utilise des précédents. De ce fait, il est possible de justifier l'utilisation d'une procédure de résolution ou une solution par l'exposition de cas passés. Ces justifications sont alors employées comme des critères pour évaluer une solution, lorsqu'il n'y a pas un algorithme disponible ou d'autres critères pour réaliser celle-ci.
- *Les solutions proposées ont une meilleure qualité* : selon Leake [LEA 96], lorsque les principes de base dans un domaine donné ne sont pas bien compris, l'application des règles peut s'avérer très complexe et improductive. Dans de telles situations, les solutions proposées par une base de cas, peuvent être plus performantes que celles produites par l'enchaînement d'une séquence de règles, car un cas contient ce qui a été fait et le résultat obtenu, lorsque certaines circonstances étaient présentes, condition très utile dans des domaines comme le diagnostic médical ou l'analyse juridique.

2.5 Les limites du RàPC

Toutefois le RàPC possède également quelques limites, dont les plus importantes sont décrites dans le paragraphe suivant :

- De part son fondement, le RàPC raisonne sur des cas similaires et donc du même domaine : ensemble d'analogies intra-domaine [A&P 94]. C'est d'ailleurs l'avantage principal du RàPC. Toutefois, dans le contexte de ce travail, où il s'agit de prendre en considération l'aspect créatif et innovant, cette vision spécifique s'avère un frein à la créativité. En effet, les solutions qui se sont révélées efficaces, dans d'autres domaines ne sont pas prises en compte, ce qui réduit le rayon d'action de la connaissance stockée. De plus, selon Sifonis [SCB 03], il existe une corrélation significative entre la quantité de sources et domaines employés pendant la résolution d'un problème (par le raisonnement analogique) et la quantité des solutions générées. Cette étude montre aussi, que la diversité des domaines pris en compte durant la résolution d'un problème, a un impact favorable sur la créativité et la qualité des solutions obtenues. Afin d'apporter une solution à cette problématique, plusieurs propositions ont été avancées pour améliorer et faire évoluer la structure de la base de cas : la création de multiples bases de cas, l'utilisation des « cas virtuels » ou l'utilisation des ontologies pour surmonter les différences sémantiques entre différentes bases de cas [WAT 01].
- Le RàPC facilite la conduite d'activités lorsque l'environnement industriel est stable. En effet le besoin d'innover est minime et de ce fait les meilleures pratiques suffisent pour résoudre les problèmes [LEO 95]. En revanche, sur un marché instable, les entreprises doivent être concurrentielles et réactives, par conséquent elles doivent apporter des améliorations ou *des idées plus imaginatives* [HED 76]. Dans ces conditions, les meilleures pratiques ne suffisent plus car de nouvelles connaissances doivent être générées, ce que le RàPC réalise difficilement.

- Une des forces du RàPC est qu'il s'appuie sur les expériences passées, ce qui est également une faiblesse. En effet, la limitation évidente de cette approche est de faire face à un problème qui n'a pas été identifié, résolu et indexé dans la mémoire. Dans une telle situation, la mémoire de cas ne pourra pas offrir un cas similaire et l'utilisateur devra alors trouver par un autre moyen une solution à son problème. Toutefois, cet inconvénient peut être partiellement palier si les cas sont structurés de manière non-indépendante. Souvent les cas ne sont pas totalement indépendants, par conséquent le processus de résolution peut s'appuyer sur ce constat pour exploiter les parties communes avec d'autres cas [BER 00].
- Une autre limite du RàPC concerne le contenu de la mémoire de cas. Il est supposé que l'ajout de nouveaux cas dans la base augmente les performances de résolution de problèmes. Néanmoins cela est vrai jusqu'à une certaine limite, car lorsque la base de cas devient trop importante, de plus en plus de cas doivent être considérés durant la phase de remémoration, ce qui se traduit sur une baisse de performance du système.
- Sir William Bragg, Prix Nobel de physique disait : *une des choses les plus importantes dans la science n'est pas l'obtention de nouveaux faits, mais plutôt de découvrir de nouvelles manières de percevoir ceux-ci*. Ainsi, la créativité fait partie de la nature du RàPC, puisque celui-ci offre un environnement où il est possible d'adapter de nouvelles idées à un contexte spécifique, de les réinterpréter, de combiner différents concepts, d'expliquer et d'évaluer de nouveaux concepts [W&K 94]. Selon López [L&P 97], ces caractéristiques ont un lien étroit dans le processus de la créativité. Néanmoins, même si la créativité est présente dans le RàPC, ce dernier ne possède pas de structure pour guider les efforts créatifs des utilisateurs, lors de la résolution d'un problème ne trouvant pas de cas similaire dans la mémoire. Même si des procédés de génération de solution alternative peuvent être ajoutés au RàPC.

L'approche de TRIZ comme outil pour la résolution d'un problème, est proposée afin de réduire l'impact des désavantages mentionnés précédemment. Une description succincte de certains concepts de base est faite, afin de présenter les éléments qui seront pris en compte plus en aval dans ce chapitre.

3. La théorie TRIZ, concepts et outils dans la synergie

Cette nouvelle approche sur l'innovation a été brièvement présentée dans le chapitre 2, néanmoins, certains de ses concepts de base seront rappelés ainsi que certains de ses outils introduits, avec comme but de souligner la complémentarité entre TRIZ et le RàPC.

La théorie d'Altshuller se compose de plusieurs outils et concepts pour guider la réflexion afin d'aboutir plus rapidement à une solution, mais dans le contexte de ces travaux, l'accent est mis sur deux principaux :

- L'évolution d'un système technique est régie par certaines tendances bien définies, dont la plus importante est l'idéalité. Tout système technologique évolue vers l'augmentation de son degré d'idéalité. Le degré d'idéalité se mesure comme suit : rapport entre les fonctions utiles au système et la somme des coûts et effets indésirables. Cette décomposition du système permet d'isoler les composants à améliorer. Le Résultat Idéal Final (RIF) est un outil dérivé du concept d'idéalité qui sert à définir une direction de recherche de solution. Bien souvent, le résultat est utopique mais il offre une voie de réflexion rarement explorée.
- Dans TRIZ, tout problème peut se formuler en termes de contradictions (technique, physique, humaine ou administrative). Une contradiction surgit lorsque deux exigences

ou besoins d'un produit ou d'un processus sont mutuellement exclusifs, mais doivent être associés pour concourir au même objectif. La résolution de la contradiction (par les outils adaptés) élimine l'élément préjudiciable suscitant le conflit, contrairement aux démarches classiques qui favorisent le compromis.

3.1 Les avantages de la théorie TRIZ

Par rapport à d'autres méthodes pour encourager la créativité, TRIZ possède de nombreux points positifs, dont la plupart ont déjà été détaillés dans le chapitre 2 et dans l'annexe 2, néanmoins certains renferment une importance singulière dans ces travaux :

- De part sa conception, TRIZ élimine les barrières entre différents domaines industriels [MAN 03] parce qu'elle permet, par l'utilisation de ses outils, l'accès aux meilleures solutions, pratiques et stratégies de résolution de problèmes disponibles dans différents domaines. Ceci permet de délimiter l'espace de solution d'un problème et de ce fait, produit de manière plus efficace et presque systématique une solution [SAV 00].
- TRIZ comme méthode de résolution de problèmes, est un environnement où interagissent de façon équilibrée deux parties de la créativité : une phase technique avec l'utilisation des outils et une phase psychologique avec l'analyse des problèmes et l'interprétation des voies de recherche de solution.
- La compréhension et l'application des concepts et des outils de TRIZ permettent aux individus d'accroître leur créativité, par le biais d'un processus convergeant vers des concepts ayant prouvés leurs efficacités. De ce fait, TRIZ produit un environnement pour amener la créativité à un niveau supérieur.

3.2 Les limites de la théorie TRIZ

Loin d'être une approche idéale, TRIZ possède également des inconvénients :

- TRIZ réduit l'espace de solution. Toutefois, l'utilisateur doit à chaque fois qu'il fait face à un problème, redéployer l'ensemble de la démarche et du processus. Cela implique que la connaissance mise en œuvre lors d'une résolution n'est pas capturée, ni le résultat de la mise en place d'une telle solution [COR 05].
- Les outils de TRIZ ont été conçus comme des outils génériques, et selon Kolodner [KOL 93], la connaissance générale peut offrir un cadre pour le raisonnement, mais l'application de cette connaissance générale dans une situation spécifique, peut s'avérer très complexe.
- Puisque TRIZ englobe une nouvelle façon de percevoir les problèmes, son introduction dans le milieu industriel s'est avérée longue et difficile, même si cette tendance tend à s'inverser.

3.3 Une comparaison entre les deux approches

Après avoir analysé TRIZ et le RàPC, et avant de présenter un modèle basé sur leur complémentarité, une comparaison entre ces deux approches est dressée dans le tableau suivant :

RàPC	TRIZ
Méthode opérationnelle	Méthode heuristique
La méthode de résolution utilise le raisonnement analogique, mais est focalisée dans un domaine spécifique (intra-analogies).	Aussi basée sur le raisonnement analogique, mais utilise des analogies transférables entre domaines.
Propose des solutions rapidement, sans avoir besoin de les dériver à partir de zéro.	Il faut toujours une analyse importante pour déterminer la nature du conflit et l'outil pertinent à appliquer.
Permet de proposer des solutions même, si le domaine n'est pas bien connu pour l'utilisateur.	L'utilisateur doit bien connaître la situation problématique.
Produit les éléments pour évaluer une solution, même s'il n'y a pas un algorithme disponible pour élaborer celle-ci.	L'idéalité est l'unique outil d'évaluation proposé par TRIZ.
Mémorise les erreurs et permet donc à l'utilisateur, de prendre les mesures adéquates afin de ne pas répéter la même erreur ou de prévenir leur occurrence.	Ne possède pas une mémoire et de ce fait, les erreurs, les succès et les solutions finales ne sont pas stockés.
Ne contient pas d'outils pour surmonter la rigidité de la pensée créatrice ou l'inertie psychologique.	Contient plusieurs outils pour réduire l'influence de l'inertie psychologique.
Les tendances d'évolution des systèmes techniques ne sont jamais prises en compte.	Permet de déterminer l'état d'évolution d'un système et de ce fait, prévoir son évolution future.
Si un problème n'a pas été résolu dans le passé, le système n'est pas capable d'offrir un cas similaire.	Permet d'affronter tous les types de problèmes.

Tableau 4.1 Une comparaison entre les approches du RàPC et TRIZ

Les différences perçues dans le tableau 4.1 mettent en évidence que même si les deux approches sont basées sur le raisonnement analogique, le RàPC est focalisé sur un domaine spécifique tandis que TRIZ utilise des analogies transférables entre domaines, ce qui accroît la possibilité d'obtenir des solutions innovantes.

Grâce à sa mémoire, le RàPC permet de proposer des solutions rapidement sans refaire le processus de résolution. De plus, cette mémoire est utile pour stocker les erreurs, ce qui permet de prendre les mesures adéquates pour éviter de les répéter ou de prévenir leur occurrence. Dans TRIZ, l'absence de mémoire oblige l'utilisateur à une analyse fine du problème pour déterminer la nature du conflit et l'outil pertinent à utiliser. Mais également l'ensemble du processus de résolution est à mettre en œuvre pour chaque nouveau cas traité. Le caractère très général de TRIZ, permet de proposer une solution quelle que soit la situation problématique rencontrée. Par contre dans le RàPC, il est nécessaire d'avoir un cas similaire déjà résolu.

Les habitudes, les compétences trop pointues, la maîtrise des activités apporte une assurance mais cela freine la créativité. Cette rigidité dans la façon de penser est nommée « Inertie Psychologique ». TRIZ contient plusieurs outils pour briser cette Inertie Psychologique qui est un élément déterminant lors de la mise en forme du problème et la mise en œuvre de la solution. Outils que ne possèdent pas le RàPC.

Ainsi, il est nécessaire de combiner dans le même environnement, la capacité opérationnelle du RàPC avec la synthèse des connaissances extraites des différents domaines existant dans TRIZ ; afin de créer un modèle capable d'acquérir, préserver et réutiliser les

connaissances et en même temps, de guider la résolution d'un problème lorsqu'une mémoire de cas ne peut pas apporter une solution. Un outil de TRIZ contenant cette synthèse de connaissances s'avère crucial par la suite : la matrice de résolution des contradictions techniques.

4. La matrice de résolution des contradictions techniques

4.1 Description

Dans la résolution d'un problème basée sur le raisonnement analogique, la personne qui fait face au problème, cherche les similitudes entre le problème posé et son répertoire d'anciens problèmes déjà résolus. Cet inventaire de solutions trouvées, est le fruit de l'expérience éducative, professionnelle et personnelle. Si cette recherche conduit à une analogie correcte, il est possible d'obtenir ou dériver une solution conforme aux besoins du problème ; cependant, que va-t-il arriver si la personne n'a jamais été confrontée à une situation semblable ?

Ce manque de standard conduit parfois à l'utilisation de la méthode d'essai – erreur, qui entraîne une perte de temps et de ressources. Toutefois, une approche plus efficace existe, celle de la recherche de problèmes (et ses solutions) standard. Cette approche de résolution est présente dans plusieurs outils de TRIZ, dont la matrice de résolution des contradictions techniques, un des outils le plus utilisés dans TRIZ [TZZ 98].

Depuis les années 40 jusqu'à nos jours, Altshuller et ses collaborateurs ont analysé plus de trois millions de brevets [IDE 06]. Cette analyse a permis de classer l'innovation en 5 niveaux, de la *solution apparente* jusqu'à la *découverte*, selon l'inventivité déployée pendant l'obtention d'une solution (tableau 2.2).

D'après Terninko [TZZ 98], les innovations appartenant aux niveaux 1, 2 et 3 (représentant 95% des brevets analysés), sont usuellement transférables entre domaines. Ce phénomène de transfert implique que 95% des problèmes inventifs dans une discipline donnée, ont déjà été identifiés, formalisés et résolus dans d'autres disciplines. Dans le contexte de l'étude, ce phénomène de transfert est traduit comme le fait que 95% des problèmes peuvent voir leur solution adaptée à d'autres domaines.

Une des conséquences tirée de cette classification, est qu'il est possible d'avoir accès à des solutions ou stratégies de résolution de problèmes, normalement non-disponibles à cause de l'énorme volume d'information, mais surtout à cause de l'Inertie Psychologique.

L'ensemble des outils de TRIZ repose sur une synthèse plus fine de l'analyse précédente. TRIZ comprenant déjà de nombreux outils (pour une liste exhaustive se référer à l'annexe sur TRIZ), il apparaît peu opportun de complexifier la théorie en créant un nouvel outil, dans le cadre de la synergie entre TRIZ et le RàPC. Dans ce contexte, une idée est de trouver un outil de TRIZ offrant une structure qui permet le déploiement du RàPC. La Matrice de Résolution des Contradictions techniques (MRC) qui a pour vocation d'éliminer des contradictions, remplit les conditions requises.

Suite à cette analyse de brevets, Altshuller conclut que les solutions apportées aux systèmes techniques découlent de 40 principes fondamentaux tous domaines confondus (principes décomposés en sous principes pour accroître leur compréhension et efficacité). De plus, comme énoncé précédemment, tout problème se formalise par une contradiction. La deuxième étape du travail d'analyse d'Altshuller a été d'exprimer la contradiction sur chaque brevet pour finalement arriver à matérialiser l'ensemble des contradictions en termes de conflit entre deux paramètres (un paramètre amélioré l'autre détérioré), parmi un ensemble de 39 paramètres identifiés. L'expression de la contradiction (conflit entre deux

paramètres) et la/les proposition(s) de direction de recherche de solution (les principes) ont été organisées et classées dans une matrice 39*39 appelée Matrice de Résolution des Contradictions Techniques (Tableau 4.2).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
1	-	-	15, 8, 29, 34	-	29, 17	-	29, 2, 40, 28	-	2, 8, 15, 38, 18, 37	10, 36	10, 14, 19, 39	1, 35, 28, 27	5, 34, 31, 35	-	-	-	
2	-	-	10, 1, 29, 35	-	35, 30	-	5, 35, 14, 2	-	8, 10, 19, 35, 29	13, 29	13, 10, 39, 1, 10, 27	26, 28, 2, 19, 6	-	-	-	-	
3	8, 15, 29, 34	-	-	-	15, 17, 4	-	7, 17, 4, 35	-	13, 4, 17, 8, 10, 4	35	10, 29, 15, 34, 29, 34	19	-	-	-	-	
4	-	35, 28	-	-	17, 7, 10, 40	-	35, 8, 2, 14	-	28, 10	4, 14, 35	13, 39, 15, 14, 37, 35	14	-	-	1, 10, 35	-	
5	2, 17, 29, 4	-	14, 15	-	-	-	7, 14, 17, 4	-	29, 19, 30, 4	10, 30, 15	5, 34, 11, 2, 29, 4, 13, 39, 40, 14	3, 15, 40, 14	-	6, 3	-	-	
6	-	30, 2, 14, 18	-	26, 7, 9, 39	-	-	-	-	1, 18, 35, 36	10, 15	2, 38, 40	-	-	-	2, 10, 19, 30	-	
7	2, 26, 29, 40	-	1, 7, 4, 35	-	1, 7, 4, 17	-	-	-	29, 4, 38, 34	15, 35, 36, 37	1, 15, 28, 10, 1, 15, 7	9, 14, 4	-	6, 35, 4	-	-	
8	-	35, 19, 14	-	35, 8, 2, 14	-	-	-	-	2, 18, 24, 35, 37	7, 2, 34, 35, 28, 17, 15	9, 14, 17, 15	-	-	35, 34, 38	-	-	
9	2, 28, 13, 38	-	13, 14, 8	-	29, 30, 34	-	7, 29, 34	-	13, 28, 38, 40	13, 15, 10, 15, 33, 1, 26, 14, 35, 5	18, 10, 35, 35, 19, 2	-	-	-	-	-	
10	8, 1, 37, 18, 13, 1	18, 17, 19, 9	17, 28, 10	19, 10, 15, 36, 37	1, 18, 15, 9, 2, 36, 13, 12, 37, 18, 37, 28	-	-	-	6, 35, 35, 24, 36, 35, 21	36, 15, 10, 33, 2, 3, 40, 27	35, 4, 35, 9, 18, 19, 3, 27	-	-	-	-	-	
11	10, 36, 29, 10, 36	13, 35, 35, 1, 10, 10, 6, 35, 35, 24	35, 1, 10, 10, 6, 35, 35, 24	10, 10, 6, 35, 35, 24	10, 10, 6, 35, 35, 24	10, 10, 6, 35, 35, 24	10, 10, 6, 35, 35, 24	10, 10, 6, 35, 35, 24	10, 10, 6, 35, 35, 24	10, 10, 6, 35, 35, 24	10, 10, 6, 35, 35, 24	10, 10, 6, 35, 35, 24	10, 10, 6, 35, 35, 24	10, 10, 6, 35, 35, 24	10, 10, 6, 35, 35, 24	10, 10, 6, 35, 35, 24	10, 10, 6, 35, 35, 24
12	8, 10, 29, 40	15, 29, 13, 5, 34, 14, 4, 10	15, 29, 13, 5, 34, 14, 4, 10	15, 29, 13, 5, 34, 14, 4, 10	15, 29, 13, 5, 34, 14, 4, 10	15, 29, 13, 5, 34, 14, 4, 10	15, 29, 13, 5, 34, 14, 4, 10	15, 29, 13, 5, 34, 14, 4, 10	15, 29, 13, 5, 34, 14, 4, 10	15, 29, 13, 5, 34, 14, 4, 10	15, 29, 13, 5, 34, 14, 4, 10	15, 29, 13, 5, 34, 14, 4, 10	15, 29, 13, 5, 34, 14, 4, 10	15, 29, 13, 5, 34, 14, 4, 10	15, 29, 13, 5, 34, 14, 4, 10	15, 29, 13, 5, 34, 14, 4, 10	
13	21, 35, 2, 39, 1, 15, 1	26, 13, 37	13, 37	2, 11, 13, 39	2, 11, 13, 39	2, 11, 13, 39	2, 11, 13, 39	2, 11, 13, 39	2, 11, 13, 39	2, 11, 13, 39	2, 11, 13, 39	2, 11, 13, 39	2, 11, 13, 39	2, 11, 13, 39	2, 11, 13, 39	2, 11, 13, 39	
14	1, 8, 40, 15, 26, 19, 5, 34, 31	40, 1, 15, 26, 19, 5, 34, 31	1, 15, 26, 19, 5, 34, 31	1, 15, 26, 19, 5, 34, 31	1, 15, 26, 19, 5, 34, 31	1, 15, 26, 19, 5, 34, 31	1, 15, 26, 19, 5, 34, 31	1, 15, 26, 19, 5, 34, 31	1, 15, 26, 19, 5, 34, 31	1, 15, 26, 19, 5, 34, 31	1, 15, 26, 19, 5, 34, 31	1, 15, 26, 19, 5, 34, 31	1, 15, 26, 19, 5, 34, 31	1, 15, 26, 19, 5, 34, 31	1, 15, 26, 19, 5, 34, 31	1, 15, 26, 19, 5, 34, 31	
15	4, 31	-	9	-	1, 40, 35	-	-	-	35, 5, 16, 27	26, 35, 10	-	-	-	-	-	-	
16	-	6, 27, 19, 16	-	1, 40, 35	-	-	-	35, 5, 16, 27	26, 35, 10	-	-	-	-	-	-	-	

Tableau 4.2 Fragment de la matrice de résolution des contradictions techniques (MRC)

Les tableaux 4.3 et 4.4 donnent respectivement les paramètres et les principes de la MRC :

1. Masse d'un objet mobile	25. Gaspillage de substance
2. Masse d'un objet immobile	26. Perte de temps
3. Longueur d'un objet mobile	27. Gaspillage d'énergie
4. Longueur d'un objet immobile	28. Perte d'information
5. Surface d'un objet mobile	29. Bruit
6. Surface d'un objet immobile	30. Émissions / facteurs nuisibles
7. Volume d'un objet mobile	31. Autres facteurs nuisibles générés par l'objet
8. Volume d'un objet immobile	32. Adaptabilité
9. Forme	33. Compatibilité / Capacité de branchement
10. Quantité de substance	34. Facilité d'utilisation
11. Quantité d'information	35. Fiabilité / Robustesse
12. Durée de l'action d'un objet mobile	36. Aptitude à la réparation
13. Durée de l'action d'un objet immobile	37. La sécurité
14. Vitesse	38. La sûreté / Vulnérabilité
15. Force / Torsion	39. L'esthétique
16. Énergie dépensée par l'objet mobile	40. Autres facteurs nuisibles agissant sur l'objet
17. Énergie dépensée par l'objet immobile	41. Facilité de fabrication
18. Puissance	42. Précision de la fabrication / Consistance
19. Tension / Pression	43. Degré d'automatisation
20. Résistance	44. Productivité
21. Stabilité d'un objet	45. Complexité du système
22. Température	46. Complexité du contrôle
23. Brilliance	47. Capacité à détecter / mesurer
24. Efficacité de la fonction	48. Précision de la mesure

Tableau 4.3 Les 48 paramètres génériques

1. La segmentation	21. Changement de vitesse
2. L'extraction	22. La transformation d'un plus en moins
3. La qualité locale	23. La rétroaction
4. L'asymétrie	24. L'intermédiaire
5. La combinaison	25. Le self service
6. L'universalité	26. La copie
7. Le placement interne (poupées russes)	27. L'éphémère et l'économique
8. Le contrepoids	28. Reconception
9. L'anti-action préliminaire	29. Le système hydraulique et pneumatique
10. L'action préliminaire	30. La membrane flexible et les films minces
11. La compensation	31. Les matériaux poreux
12. L'équipotentialité	32. Le changement de couleur
13. L'inversion	33. L'homogénéité
14. La sphéricité – courbes	34. Le rejet et la régénération
15. Le degré de dynamisme/Adaptation	35. La modification des paramètres
16. Actions partielles ou excessives	36. L'utilisation des changements de phase
17. Le changement de dimension	37. L'expansion thermique
18. Les vibrations	38. L'oxydation
19. L'action périodique	39. L'environnement inerte
20. La continuité de l'action d'utilité	40. Les matériaux composites

Tableau 4.4 Les 40 Principes de Résolution des Contradictions Techniques

Dans sa version initiale la MRC comprenait 39 paramètres génériques, 48 dans sa version révisée de 2003 [MDZ 03]. Les cellules grisées dans le tableau 4.3, montrent les paramètres qui ont été ajoutés dans la nouvelle version de la MRC (passage de 39 paramètres à 48).

A l'exception de cette partie, par la suite seule la matrice révisée est utilisée car elle est plus efficace comme le démontre les tests de Mann [MAN 02A], [MAN 04B]. Cette augmentation d'efficacité est essentiellement due à l'augmentation du nombre de paramètres et surtout au fait que toutes les cellules de la matrice (hormis la diagonale) contiennent des principes (pas le cas dans la matrice initiale).

4.2 L'utilisation de la MRC

En raison de la nature générale des 40 principes contenus dans la matrice de résolution de contradictions techniques (MRC), celle-ci ne donne pas une solution « prêt-à-l'emploi ». La MRC a été conçue afin de restreindre le domaine de recherche de solutions offrant des voies d'exploration avant de laisser place à la créativité. Son utilisation suit les cinq étapes suivantes :

- 1) Traduire l'énoncé du problème sous la forme d'un conflit entre deux paramètres : formulation de la contradiction. *Remarque* : la formulation du RIF est fortement conseillée, afin de guider la génération des concepts de solution.
- 2) Identifier ces deux paramètres parmi les 39 paramètres génériques.
- 3) Utiliser la matrice : sur les lignes de la matrice se trouve le paramètre à améliorer et sur les colonnes celui qui est détérioré. L'intersection entre les lignes et les colonnes isole une cellule de la matrice. Cette cellule contient le ou les principes à explorer pour lever

la contradiction, principes utilisés avec succès pour résoudre cette contradiction dans différents domaines techniques et placés dans un ordre recommandé d'utilisation.

- 4) Identifier les principes et analyser leurs descriptions.
- 5) Traduire ces principes de solutions en solutions opérationnelles. Si lors de l'étape 4, les principes proposés ne suffisent pas à générer une solution, il est recommandé à l'utilisateur de balayer l'ensemble des 40 principes.

4.3 Exemple d'utilisation :

Afin de bien comprendre le fonctionnement de la MRC, une étude de cas simple abordée par [TZZ 98], est présentée en détail dans cette partie.

Avant d'être conditionnés, les piments doux nécessitent un prétraitement : séparation des tiges et graines de la cosse. Avant la mise en place de la solution, cette opération était faite manuellement car l'automatisation était difficile à cause de la non-uniformité des cosses en taille et en forme. Il s'avère donc nécessaire de développer une solution capable d'extraire les graines et tige pour une grande quantité de piments, dans le but d'augmenter la productivité.

- 1^{ère} étape, la formalisation du conflit entre deux paramètres : il est souhaitable de rendre plus facile le prétraitement des piments avant leur mise en conserve, mais cela n'est pas possible, car l'extraction des graines et la séparation des tiges sont difficiles. La formulation du RIF donne : *les cosses expulsent d'elles-mêmes les graines et les tiges.*
- 2^{ème} étape, l'identification de deux paramètres en conflit. La recherche des paramètres les plus similaires parmi les 39 paramètres génériques donne comme résultat le paramètre 32 appelé « facilité de fabrication » versus 26 appelé « quantité de substance ».
- 3^{ème} étape, utilisation de la matrice MRC : à la croisée de la ligne 32 et de la colonne 26, la cellule contient 4 principes : 35, 23, 1 et 24 en ordre recommandé d'utilisation.
- 4^{ème} étape, l'identification des principes : le principe 35 fait référence au changement de paramètres. Ce principe sous-entend le changement de paramètres associés à l'état du produit ou du procédé, comme l'état physique (gaz, solide, liquide), la concentration, la consistance, le degré de flexibilité, la température, la pression, etc.
- 5^{ème} étape, développement de la solution : l'application du principe 35 permet de trouver une solution satisfaisante. Les cosses sont placées dans une cuve hermétique (figure 4.6a), puis la pression est graduellement augmentée jusqu'à 8 atmosphères. Les cosses rétrécissent jusqu'à se fracturer au niveau de la tige (point le plus faible). L'air pénètre finalement dans le piment afin d'équilibrer la pression à l'intérieur et à l'extérieur de la cosse (figure 4.6b). Une fois cet équilibre atteint, la pression dans la cuve est rapidement réduite. Suite à ce changement brutal de conditions, le piment explose en son point faible, explosion suivie d'une éjection de la tige et des graines (phénomène causé par un nouvel équilibre de pression) figure 4.6c.

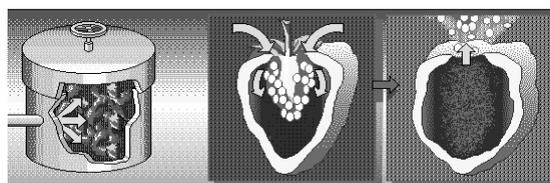


Figure 4.6 a, b, c Processus d'extraction des tiges et graines.

4.4 L'identification des contradictions comme un moyen de résolution des problèmes

Lors de l'analyse de brevets, des problèmes de prime abord différents ont été identifiés avec la même contradiction. Forcément, les principes de résolution proposés pour lever la contradiction, sont les mêmes. Ces principes sont de par leur définition très vastes et généraux, c'est donc suite à cette étape du processus de résolution, que la créativité doit s'exprimer pour transformer la direction de recherche donnée par le principe en solution. Dans l'exemple précédent, la direction donnée par le principe 35 est le changement de paramètre, et la solution proposée consiste à avoir deux niveaux de pression (solution non directement dérivable de l'énoncé du principe).

Plus important encore, les solutions déployées pour résoudre la même contradiction, dans des problèmes et domaines différents, étaient les mêmes mais leur implémentation étaient séparées de plusieurs années. Toujours, sur l'exemple précédent, la solution a été brevetée en 1968. Depuis, divers problèmes ont été formalisés avec la même contradiction et résolus avec le même processus : augmentation graduelle de la pression suivie d'une diminution brutale. Un brevet datant de 1986 a été déposé pour enlever la coquille de certaines noix. Sur ce processus, un brevet a également été déposé pour le nettoyage de filtre pour les particules de petite taille et un autre pour la préparation de diamants (pour augmenter la pureté des diamants). La seule différence minimale entre ces applications concerne les niveaux de pression à atteindre (par exemple 20 atmosphères pour le cas des diamants contre 8 pour les piments).

La conclusion de ce constat est que le processus de résolution du problème peut être accéléré lors de la transposition du principe en solution, en rendant accessibles les solutions d'un problème similaire (identifié avec la même contradiction) ou connexe, dans un autre domaine. Donc, la similarité entre deux problèmes, exprime que si *deux problèmes partagent la même contradiction, alors la solution ou stratégie de résolution de l'un, peut a priori, s'appliquer à l'autre.*

5. Vers une approche combinée

C'est à partir du constat précédent et des limites du RàPC, qu'il est apparu intéressant de coupler TRIZ et le RàPC. Dans cette nouvelle approche, TRIZ offre la connaissance générale et la structure initiale afin de produire un support pour indexer un cas et le RàPC les techniques pour rechercher et comparer un problème résolu précédemment. Donc TRIZ-RàPC est une structure qui combine deux types de connaissance : générique provenant de différents domaines et spécifique à un domaine dans le même système.

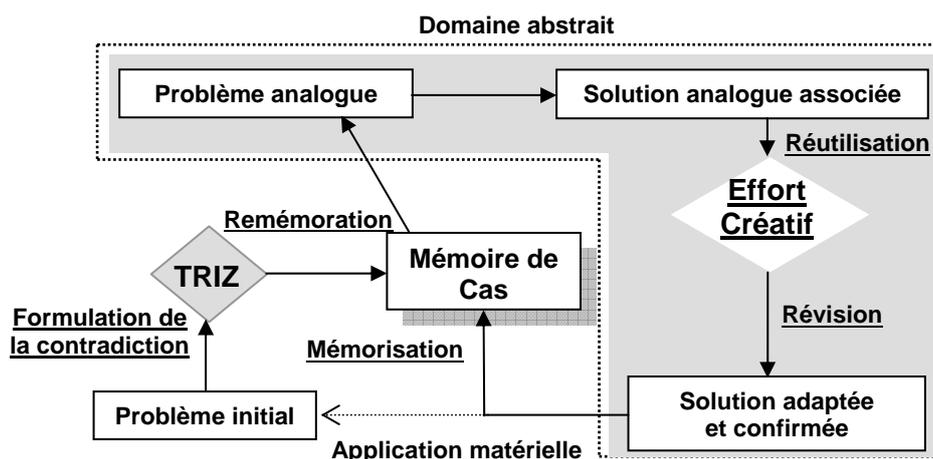


Figure 4.7 Le mécanisme du raisonnement analogique dans l'approche combinée TRIZ-RàPC

La figure 4.7 montre le modèle général du mécanisme de raisonnement analogique utilisé dans cette approche combinée. Ce processus se déploie de la manière suivante : l'énoncé du *problème initial* est transformé en *une contradiction*. TRIZ offre les outils pour formuler le RIF, identifier les ressources, etc.

Puis le cheminement passe par la MRC, qui sert de mémoire de cas, pour déterminer les paramètres en contradiction et ainsi passer à un *problème analogue*. Suite à ce problème analogue, l'utilisateur se voit proposer une *solution analogue* qu'il peut réutiliser et/ou transformer si nécessaire par le biais d'un effort créatif. Puis cette nouvelle solution est *révisée* et implémentée et finalement, devient un nouveau cas à ajouter à la mémoire [COR 04]. Ce cheminement général est valable quel que soit le cas de figure : que la mémoire de cas contienne un cas similaire ou non. La distinction des possibilités précédentes, se fait au niveau de la formulation du *problème analogue* et au contenu de la mémoire de cas, comme la partie 5.3 le détaille.

Les systèmes typiques de RàPC sont construits pour aborder les problèmes dans un domaine spécifique, tandis que dans un système de gestion des connaissances, une vaste diversité de sources de connaissances est disponible. En conséquence, un système de RàPC peut difficilement adapter sa structure à cette multiplicité de ressources, ce qui met en évidence une carence lorsqu'un utilisateur est confronté à un problème, qui présente un besoin de plusieurs connaissances. Afin de résoudre cette problématique, plusieurs solutions ont été proposées : la création de multiples bases de cas, l'utilisation des « cas virtuels » ou l'utilisation des ontologies afin de surmonter les différences sémantiques entre différentes bases de cas [WAT 01].

Ainsi, l'application du RàPC dans la gestion des connaissances a besoin d'un élément capable de s'adapter aux multiples domaines, lors de la résolution des problèmes complexes. Plusieurs outils de TRIZ dont la matrice de résolution des contradictions, ont été conçus comme des outils basés sur la transversalité des domaines, ce qui peut représenter une alternative très intéressante à explorer.

5.1 La mémoire de cas, intégration de la matrice de résolution des contradictions

L'efficacité d'un système de RàPC est profondément liée à la structure et au contenu de sa mémoire. La façon de construire celle-ci a été abordée dans plusieurs modèles comme le modèle de la mémoire dynamique (MMD) de [SNK 82], le modèle des catégories et exemplaires (MCE) [A&P 94] ou le modèle « case retrieval nets » [LEN 99]. Dans le modèle de la mémoire dynamique –un des plus faciles à implémenter-, les cas qui partagent des

caractéristiques similaires sont stockés sous une structure plus générale nommée « Épisode Généralisé » (figure 4.8). Un épisode généralisé est composé de normes, cas et indices. Les normes sont des caractéristiques partagées entre tous les problèmes indexés sous le même épisode généralisé. Les indices sont les caractéristiques discriminantes entre différents cas [A&P 94].

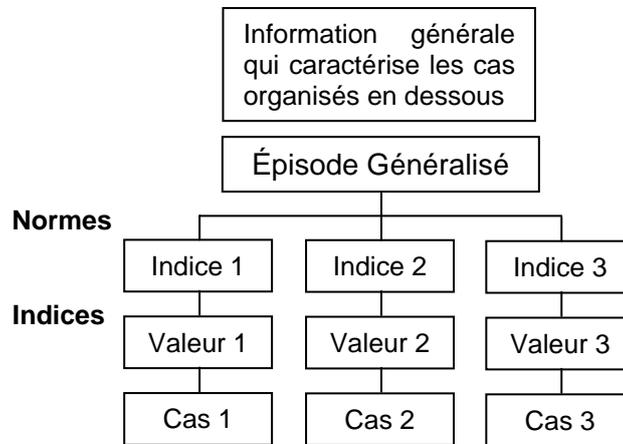


Figure 4.8 Le modèle de la mémoire dynamique

Cependant, un point commun entre tous les modèles recensés, est la nécessité d’avoir une abstraction ou généralisation comme guide pour stocker et indexer les cas résolus. Ce besoin représente le champ d’application des outils de TRIZ et plus spécifiquement celui de la MRC.

Dans TRIZ, le problème initial est transformé en un « problème analogue », typiquement la formulation d’une contradiction. L’application des outils de TRIZ donne une « solution analogue » associée, les principes dans le cas de la MRC. C’est à partir de cette analogie que la MRC, peut fournir une structure pour indexer les cas. Dans ce système, le mécanisme de RàPC est présent à l’intérieur de chaque cellule de la matrice ou cellule de connaissance et c’est ainsi que les connaissances extraites de différents domaines et spécifiques à un domaine coexistent dans l’approche TRIZ-RàPC.

Dans la perspective de TRIZ-RàPC et à titre d’exemple, le modèle de la mémoire dynamique est transformé de la manière suivante :

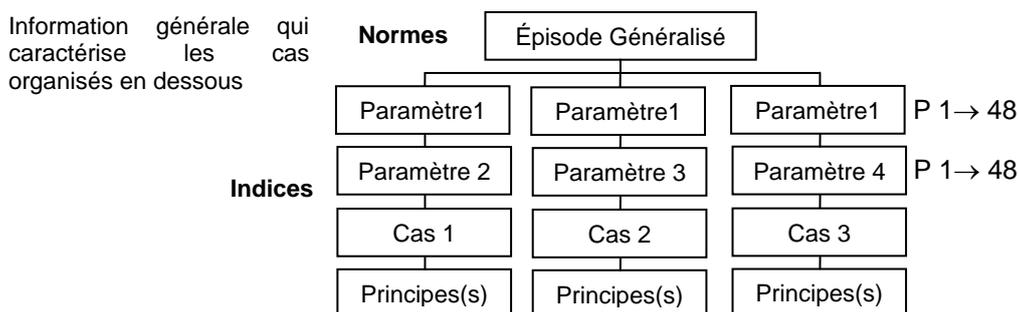


Figure 4.9 Adaptation du model MMD dans l’approche TRIZ-RàPC

Les épisodes généralisés sont représentés par l’ensemble des contradictions, les normes sont le paramètre à améliorer et le paramètre détérioré, et finalement l’objectif à atteindre et les caractéristiques du système où le problème est localisé, représentent les indices.

5.2 La représentation d'un cas dans l'approche TRIZ-RàPC

Un cas dans le RàPC, est un problème identifié, résolu et indexé, généralement composé de deux éléments : la description du problème, la solution associée et éventuellement un troisième, le résultat de l'implémentation.

$$\text{Cas (Pb,Sol(Pb),Re)}$$

Mais l'approche TRIZ-RàPC est centrée sur les contradictions (conflit entre deux paramètres) comme moyen pour déterminer la nature d'un problème, et sur les principes inventifs comme fil conducteur pour le raisonnement. Alors l'énoncé ci-dessus est transformé de la manière suivante :

$$\begin{aligned} &\text{Cas (Contradiction,Sol(Contradiction),Re)} \\ &\text{Cas (Contradiction,Sol(Principe),Re)} \\ &\text{Cas ((Paramètre1, Paramètre2),Sol(Principe),Re)} \end{aligned}$$

Un cas possède les composants suivants :

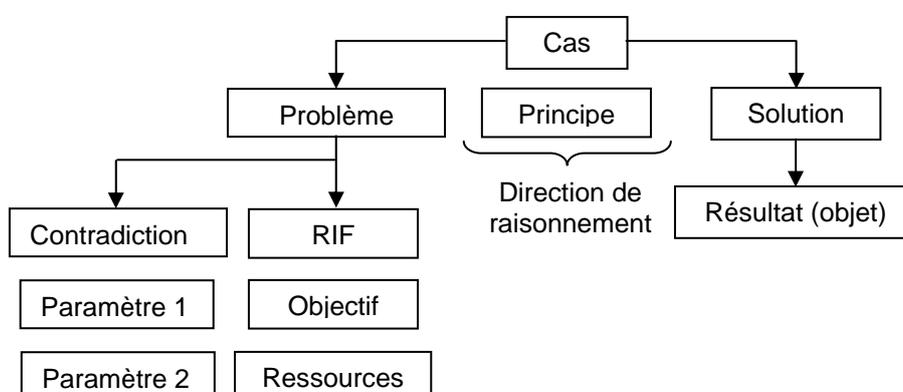


Figure 4.10 Les composants d'un cas

- **La description du problème** ; cette rubrique contient l'information sur l'environnement, le système et les conditions sous lesquelles le problème existe. L'information essentielle est :
 - (1) le nom du système, le sous-système, pièce ou élément où le problème est constaté.
 - (2) Une description du problème identifié et sa traduction sous la forme d'un conflit entre deux paramètres.
 - (3) l'objectif à atteindre.
 - (4) l'identification des deux paramètres en conflit parmi les paramètres qui composent la MRC [ALT 99].

La description du problème a été basée sur la première étape de l'algorithme ARIZ 85-C (Algorithme de Résolution des Problèmes Inventifs [SAV 00]) et sur le Questionnaire de situation innovante (QSI) [TZZ 98]. D'autres travaux ont été considérés et plus spécifiquement ceux de Dubois [DBO 04]. La description la plus simple contient au moins les éléments listés ci-dessous :

- Problème
- Utilisateur/Équipe
- Nom_du_système
- Énoncé_du_problème : conflit de deux paramètres
- Objectif

- Résultat_Idéel_Final : RIF
- Contradiction : (P1,P2)
- Paramètre_à_améliorer_1
- Paramètre_degradé_2
- Ressources disponibles

Un autre composant de la description du problème est le Résultat Idéal Final (RIF). Le RIF fut proposé par Altshuller et Shapiro en 1950. Le RIF peut être utilisé comme critère de sélection lorsqu'il y a plusieurs solutions. Le RIF est formulé comme suit : un élément nuisible élimine (*définir l'action néfaste dans le problème*) tout en conservant l'effet primaire utile, et le tout sans compliquer le système et sans introduire de nouveaux désavantages.

Souvent la résolution d'une contradiction dévoile d'autres contradictions [COR 03], mais dans l'approche TRIZ-RàPC un cas repose sur l'hypothèse d'être uniquement associé à une contradiction. Si cette situation surgit, la ou les contradictions successives, seront traitées comme un nouveau cas, mais en soulignant dans leur description, leur origine et le cas originel dont elle émane.

- **La solution associée** ; suite à la résolution d'un problème, l'utilisateur doit associer à la solution le principe qui a permis de la trouver. Ce principe pouvant être l'un de ceux proposés dans la cellule de la matrice (suite à la contradiction) ou un autre parmi les 40, si les principes contenus dans la cellule ne permettent pas d'aboutir à une solution.
 - Solution
 - Description_solution
 - Principe_associé
 - Autre_principe
- **Le résultat de l'implémentation** ; finalement, une appréciation de la solution est faite, afin d'évaluer son impact (succès ou échec). Il est important de considérer dans le cas, les propositions potentielles d'application exposées par les utilisateurs. Celles-ci comprennent l'utilisation possible de la solution dans d'autres domaines, les adaptations possibles, ou les relations avec un autre problème, ainsi que les problèmes rencontrés lors de cette implémentation.
 - Résultat
 - Implementation_positive(Oui,Non)
 - Applications_potentielles
 - Conseils_d'implémentation

5.3 Le modèle TRIZ-RàPC

La résolution d'un problème ou la recherche d'un cas dans la mémoire TRIZ-RàPC, suivent le processus schématisé sur la figure 4.11 :

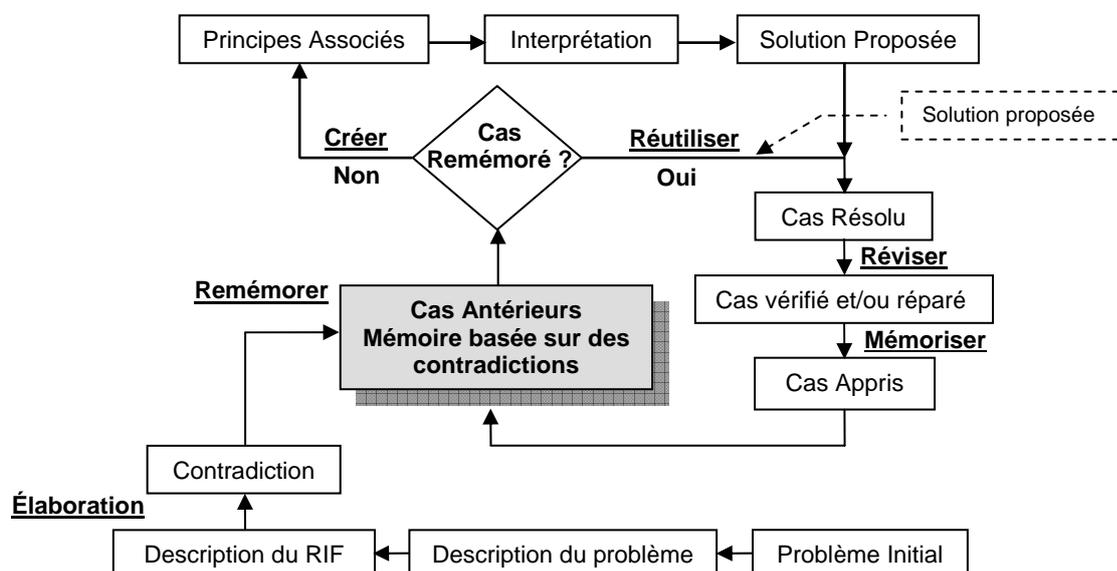


Figure 4.11 Le processus de résolution de problèmes dans l'approche TRIZ-RàPC

Le processus, commence par l'identification du problème initial, suivie de la *description détaillée du problème* et la formulation du *Résultat Idéal Final* (RIF), qui servira de critère additionnel lors de l'évaluation d'une solution. Lors de ce travail préliminaire, la dernière étape du processus est dédiée à la formulation du problème sous la forme d'une *contradiction*, c'est-à-dire, l'identification des deux paramètres en conflit. Puisqu'il y a un nombre limité de paramètres (48 dans la matrice 2003) et chaque contradiction englobe uniquement deux paramètres parmi les 48, la comparaison de deux contradictions est très simple et cela permet alors, d'identifier facilement d'autres cas dans la mémoire qui partagent la même contradiction.

A partir de la confrontation de la nouvelle contradiction au cas de la mémoire, le processus évoqué sur la figure 4.11 met en évidence deux possibilités :

- Un *cas similaire est trouvé* dans la mémoire. Donc, sa solution associée est évaluée pour déterminer si celle-ci sera réutilisée.
- *Aucun cas similaire n'est identifié* dans la mémoire. Le système proposera au moins, une description hiérarchisée des principes associés à la contradiction identifiée ; la matrice reprend alors son utilisation première. Le ou les principes proposés restreignent le champ d'exploration des solutions, pour être ensuite analysés et interprétés et pour finalement, laisser place à la créativité de l'utilisateur afin de proposer une solution.

Quel que soit le chemin pris dans le processus, les deux directions finissent par converger vers la proposition d'une solution qui sera à son tour vérifiée ou rectifiée afin d'obtenir un résultat satisfaisant. Finalement le processus se termine lorsque le résultat de l'implémentation de la solution (succès ou échec), ainsi que les stratégies ou conseils pour leur mise en œuvre sont validés pour être mémorisés et ainsi étoffer la mémoire de cas.

5.4 La similarité des cas

D'après Lenz [LEN 99], la similarité est une appréciation de l'utilité d'un problème passé, ou en d'autres termes, la capacité ou le potentiel d'un cas passé (source) pour résoudre une situation nouvelle (cible). Cela conduit à la situation suivante : un cas peut être considéré comme similaire à un autre, si la solution du premier (problème source) est relativement facile à adapter au seconde (problème cible). Néanmoins, cette condition peut uniquement être vérifiée, qu'après avoir essayé de la réutiliser pour le problème cible. Dans ce cas, l'utilité ne peut être considérée que comme une similarité *à posteriori*.

Cependant dans le RàPC, un principe régit cette utilité : plus un problème cible est similaire à un cas source, plus d'utilité sera la solution de ce dernier. De ce constat, la similarité doit être déterminée qu'à partir de la description de deux problèmes (cible et source) et par conséquent, cette mesure se transforme en un critère *à priori* pour l'utilité.

Ainsi lors de la résolution d'un problème, l'utilisateur d'un système RàPC, cherche généralement à comparer la description d'un cas cible avec un cas contenu dans la base de cas. Cette requête de l'utilisateur est cruciale, car la requête n'est pas toujours représentée de la même façon qu'un cas. Parallèlement, lors du calcul de la similarité entre deux cas, seules les descriptions du problème sont prises en compte. Il faut donc uniformiser la requête et la structure d'un cas, afin de faciliter la recherche dans la mémoire de cas.

La particularité du processus schématisé sur la figure 4.11, réside dans la formulation de la contradiction, car *si deux problèmes peuvent être décrits avec la même contradiction, alors la nature du conflit qu'ils partagent est similaire*, ce qui facilite l'identification d'un cas puisque la requête et le cas possèdent les mêmes attributs. Les autres caractéristiques d'un cas –l'objectif et les descripteurs du système où le problème est localisé-, seront employées comme des éléments discriminants, afin de mesurer précisément la similarité entre deux problèmes formalisés par la même contradiction.

Un élément discriminant est l'objectif recherché. Celui-ci peut aussi être corrélé à un des 48 paramètres, ce qui facilite la comparaison entre deux descriptions des différents problèmes, associés à la même contradiction. Les exemples présentés au paragraphe 4.3 sont repris, à savoir : nettoyage du filtre et préparation de diamants.

Remarque : pour l'identification de la relation objectif - paramètre, les 48 paramètres seront utilisés (tableau 4.3).

⇒ **Problème 1** : un filtre à air capture la poussière sur une surface poreuse lorsque l'air passe au travers. Après un certain temps, il convient de nettoyer ce filtre. Cette tâche de nettoyage est compliquée à cause de la petite taille des particules adsorbées dans les pores. L'objectif est de trouver une méthode simple et efficace pour nettoyer le filtre et le *réutiliser*. Cet objectif peut être associé à un autre paramètre générique. Dans le cas présent, la réutilisation du filtre peut être liée au paramètre 13 « durée de l'action d'un objet immobile » (tableau 4.3). De ce fait, la nature du problème et l'objectif à atteindre seront clairement définis par le biais des 48 paramètres génériques. La faisabilité du couplage objectif-paramètre a été vérifiée par l'analyse de 25 brevets, parmi les 100 employés dans l'analyse de la matrice 2003 et cités par [MAN 04B].

- La formulation du résultat idéal final (RIF) pour ce problème dit : *la poussière capturée par la surface poreuse, quitte par elle-même le filtre.*
- La contradiction identifiée relie le paramètre 32 (facilité de fabrication) contre le paramètre 26 (la quantité de substance). La solution est obtenue grâce à l'emploi du principe 35, augmentation puis diminution de la pression.

⇒ **Problème 2** : un diamant doit être conditionné afin d'être taillé, mais pour cela, il faut identifier les imperfections propres à chaque cristal, ce qui est une tâche assez difficile et qui requiert un expert. Donc une méthode simple et efficace est nécessaire pour segmenter le diamant de façon « naturelle » en suivant ces imperfections (fissures). Le but principal est donc l'obtention d'un cristal libre de fissures, afin d'éviter de futurs problèmes lors de la taille du diamant. Cet objectif peut être associé au paramètre 25 « gaspillage de substance » (tableau 4.3).

- La formulation du résultat idéal final (RIF) pour ce problème dit : *le diamant se divise par lui-même en suivant ses propres imperfections.*
- La contradiction identifiée relie le paramètre 32 (facilité de fabrication) contre le paramètre 26 (la quantité de substance). La solution est obtenue grâce à l'emploi du principe 35, augmentation de la pression (de quelques dizaines d'atmosphères) suivi d'une diminution drastique. Ce qui occasionne la fracture du diamant, due à la présence d'air dans ses fissures naturelles.

Dans ces deux cas, la contradiction identifiée est identique (paramètre 32 (facilité de fabrication) versus paramètre 26 (la quantité de substance)) ainsi que la solution déployée : augmentation puis diminution brutale de la pression (principe 35).

Toutefois, ces deux cas se différencient par leurs objectifs. Pour le filtre, l'objectif est de le *réutiliser*. Quant au diamant, il faut identifier et supprimer les imperfections (fissures naturelles propres à chaque cristal) afin de ne pas l'abimer lors de la taille. Ainsi dans l'approche TRIZ-RàPC, les objectifs sont caractérisés à l'aide des 48 paramètres afin de faciliter la discrimination de deux problèmes associés à la même contradiction : l'objectif du filtre est caractérisé par le paramètre 13 (durée de l'action d'un objet immobile), pour le diamant le paramètre 25 (gaspillage de substance) est utilisé.

La fonction de similarité est donc basée sur trois éléments fondamentaux :

- 1) La contradiction (combinaison de deux paramètres). Cet élément est le facteur le plus important, car c'est lui qui détermine le type de problème. En raison de cela, la contradiction réalise une fonction de filtrage et limite l'espace de recherche.
- 2) L'objectif à atteindre (un seul paramètre parmi les 48).
- 3) Les caractéristiques du système où le problème est localisé (i.e. quantité de sous-systèmes, ressources disponibles, le domaine, etc.). Les caractéristiques représentent les spécificités du système dans le domaine où sera appliqué le modèle TRIZ-RàPC.

Après que la contradiction ait été identifiée, l'objectif et les caractéristiques du système, aident à cibler plus précisément un problème similaire stocké dans la base de cas.

La fonction pour calculer la similarité présentée ci-dessous est selon Kolodner [KOL 93], Kaster [KMR 04], Lenz [LEN 99], la plus utilisée par la plupart de logiciels de RàPC due à sa facilité d'implémentation.

$$FSim(C, S) = \frac{\sum_{i=1}^n p_i \times sim(f_i^C, f_i^S)}{\sum_{i=1}^n p_i}$$

Où

C = est le cas cible

S = est le cas source

n = est le nombre d'attributs de chaque cas

i = est un attribut spécifique de 1 jusqu'à n

f = est une fonction de similarité de l'attribut i pour les cas C et S

p = est l'importance ou poids de l'attribut i

5.5 L'apprentissage dans TRIZ-RàPC

Comme dans la plupart des systèmes de RàPC, l'apprentissage dans l'approche TRIZ-RàPC est basé sur la mémoire (voir 2.4§) et sur l'utilisation des explications produites lors de la résolution d'un problème. L'apprentissage a lieu, par accumulation et incorporation successive de nouveaux cas dans la mémoire. Ces nouveaux cas offrent à l'utilisateur de nouvelles données et de nouvelles situations qui peuvent être utilisées pour la résolution ou l'interprétation de nouveaux problèmes [KOL 93], [Ö&A 98].

Dans TRIZ-RàPC, un cas contient l'information et les sources de connaissances employées lors de la résolution d'un problème et ces sources peuvent être utilisées pour renforcer l'apprentissage.

Il y a néanmoins un problème lié à cette manière d'apprendre : dans le RàPC il est supposé que l'ajout de nouveaux cas dans la base, a un impact positif sur la performance du système, cependant cela entraîne une contradiction : une vaste quantité de cas est nécessaire pour augmenter la performance du système et en même temps, la quantité de cas dans la mémoire doit être faible afin de réduire le temps de recherche et d'augmenter ainsi la performance du système.

Une façon de limiter la croissance de la base de cas, est de catégoriser les cas selon leur apport dans la performance du système. Par exemple dans le système « Déjà-vu » [KOL 93], [S&K 96] il y a quatre classes de cas :

- Les *cas pivots* sont les cas dont la suppression diminue la compétence du système.
- Les *cas auxiliaires* sont les cas dont la suppression diminue l'efficacité du système.
- Les *cas de recouvrement* relient des régions de l'espace du problème couvertes par d'autres cas.
- Les *cas supports* appartiennent à des groupes dont chaque cas fournit une couverture similaire aux autres.

Dans l'approche TRIZ-RàPC, les cas pivots sont représentés par l'ensemble des contradictions, c'est-à-dire 2256 types de cas. Théoriquement, cet ensemble fermé de types de problèmes, doit limiter l'explosion de types de cas dans la base, car a priori, avec cet ensemble de contradictions il est possible de formaliser n'importe quel problème contenant une contradiction.

La mémorisation dans l'approche TRIZ-RàPC

La mémorisation d'un nouveau cas dans l'approche TRIZ-RàPC est essentiellement basée sur les critères suivants : tout problème sera mémorisé si un seul des éléments identifiés entre un cas source et cible est différent. Ainsi, un nouveau cas est mémorisé si :

- Aucun cas similaire n'a pu être trouvé, c'est-à-dire, aucun cas contenu dans la mémoire ne partage pas la même contradiction que le problème cible.
- Si le cas remémoré a du être modifié.
- Si les caractéristiques du cas cible présentent trop de différences par rapport à celles du cas source, par exemple même contradiction mais différents objectif et système.
- Si le principe de résolution utilisé (principe associé à la contradiction) dans un nouveau cas, est différent à ce qui a été utilisé dans le cas source.

6. Avantages et limites de la synergie TRIZ-RàPC

6.1 Les avantages de l'approche TRIZ-RàPC

La synergie TRIZ-RàPC possède plusieurs avantages dont les plus importants sont listés ci-dessous :

- *L'affinité cognitive* du processus intrinsèque du TRIZ-RàPC est peut être un des avantages les plus importants de cette synergie, car les exemples ou cas produits par le système sont plus facilement compréhensibles. L'affinité existante entre le raisonnement, l'apprentissage humain et le processus de résolution de problèmes inhérent à TRIZ-RàPC, est due au fait que les deux prennent en compte les expériences passées pour la résolution d'un problème ou pour prendre une décision. De plus, il est plus facile d'identifier et dériver une nouvelle solution en partant d'un problème spécifique et bien défini – un cas- que dériver celle-ci d'un concept abstrait [KOL 93], [G&B 02].
- *L'apprentissage est un produit intrinsèque* au raisonnement analogique. Selon Leake [LEA 96], Kolodner [KOL 93], Kaster [KMR 04], les processus de raisonnement et d'apprentissage ont un lien très étroit, mais c'est la synergie formée entre le raisonnement, l'apprentissage et la mémorisation qui fait du processus de Raisonnement à Partir de Cas un excellent moyen pour acquérir et partager la connaissance
- *Un autre avantage est la capacité à produire un système de capitalisation des connaissances.* D'après [GRU 00], les conditions qu'un système de capitalisation des connaissances doit posséder se résumant brièvement en : la localisation et l'extraction de la connaissance, la modélisation et validation, et finalement l'application et l'assimilation de la connaissance obtenue. Ces conditions ont été remplies par le RàPC, ainsi la synergie créée est capable d'offrir une structure qui permet de guider la pensée créatrice pendant la résolution d'un problème et, en même temps de fournir les éléments nécessaires pour capturer, stocker et réutiliser la connaissance produite pendant ce processus. De ce fait, TRIZ-RàPC peut apporter les éléments pour exporter les solutions inventives stockées dans la mémoire, capturer et rendre disponible les expériences produites lors de l'utilisation de TRIZ.
- *La capitalisation des connaissances et l'apprentissage par l'action.* Les individus apprennent lorsqu'ils sont immergés et réagissent à un flux d'information. Un groupe apprend quand ses membres coopèrent afin d'accomplir un but commun. Dans ce contexte, l'apprentissage organisationnel se manifeste aux différents niveaux quand les nouveaux comportements, connaissances ou valeurs sont produits, partagés et utilisés [N&T 97]. L'apprentissage est un produit inhérent au Raisonnement à Partir de Cas, parce que celui-ci, indexe et stocke un cas dans une mémoire pour être réutilisé dans l'avenir. Puisque le savoir peut se construire dans l'action et par l'expérimentation, TRIZ-RàPC peut produire un environnement où il devient possible de partager et d'apprendre des expériences passées et donc, d'acquérir de nouvelles connaissances. Cette interaction favorise la création de connaissances par le cycle SECI (Socialisation – Extériorisation – Combinaison – Intériorisation), au milieu d'un groupe de travail, c'est qui se traduit en un avantage compétitif pour une entreprise.
- *Un autre avantage dérivé de la capitalisation des connaissances* est que la structure TRIZ-RàPC offre à TRIZ une nouvelle capacité, celle de mémoriser l'information générée pendant la résolution d'un problème. Ainsi, une solution inventive peut être stockée et réutilisée si une situation semblable apparaît. Le processus de mémorisation n'existe pas dans TRIZ. Cette absence de mémoire et la nature générique de plusieurs

techniques et stratégies proposées par TRIZ, rendent difficile la perception de son efficacité [CAM 02]. Subséquemment, TRIZ-RàPC peut contribuer à révéler les évidences de l'efficacité de cette nouvelle approche de résolution de problèmes d'innovation.

- *Une performance croissante lors de la résolution d'un problème.* TRIZ offre dans cette symbiose, plusieurs outils qui ont été conçus comme des lignes pour diriger la pensée créatrice vers un ensemble de solutions et stratégies, qui ont été synthétisées à partir d'une grande quantité de domaines. La réutilisation de ces solutions - qui ont été prouvées comme efficaces dans le monde technique-, ne garantissent pas le succès à chaque essai de résolution, mais certainement réduisent le temps et l'effort pendant la recherche de solutions potentielles. Cette caractéristique a une importance vitale dans le contexte de TRIZ-RàPC, puisque le système sera capable d'offrir pendant la résolution d'un problème, au moins une direction ou principe capable de résoudre le problème (un principe parmi les 40), même si une situation similaire n'a jamais été rencontrée dans le passé. De plus selon Leake [LEA 96], un système de RèPC est efficace pour gérer une grande quantité de données. Mais également, dans un système de RèPC le contenu de la mémoire de cas est mis à jour et actualisé par l'utilisation du système, ce qui réduit considérablement l'effort de maintenance d'un tel type de systèmes.
- *La créativité de la solution* est aussi affectée, parce que la quantité de sources ou domaines pris en compte pendant la résolution d'un problème, a un impact important sur la qualité de la solution proposée. Selon Altshuller [ALT 99] et Sifonis [SCB 03], l'utilisation des connaissances produites dans différentes disciplines et l'emploi de concepts éloignés (par rapport au domaine où le problème est identifié), génèrent des solutions significativement plus créatives.

6.2 Les limites de TRIZ-RàPC

Les principales limites de l'approche présentée se résument à :

- *La difficulté d'utilisation de TRIZ* fait partie d'une des limitations d'un tel processus. La théorie TRIZ implique une façon différente de percevoir la technologie et contient intrinsèquement, une façon de penser aussi différente, parfois extrêmement difficile à appréhender. Cela implique que l'utilisateur doit être formé aux principes et concepts de base de cette théorie avant la mise en place de l'approche présentée. Toutefois dans le modèle présenté, l'utilisation de TRIZ est réduite à deux outils le RIF et la MRC qui sont parmi les plus faciles à appréhender.
- *La difficulté pour déterminer la « bonne » contradiction* ; un autre problème a été identifié lors de l'utilisation de la matrice de résolution des contradictions. Celle-ci suppose que l'utilisateur a correctement posé le problème. De ce fait, l'aléa réside dans la formulation de la contradiction et en conséquence, l'identification erronée d'un problème conduit à une perte de temps et d'effort pendant sa résolution. Certains outils de TRIZ ont été conçus afin de minimiser cette difficulté, parmi les plus importants se trouvent le Questionnaire de la Situation Innovante et le « Problem Formulator » [TZZ 98] ou « Root Contradiction Analysis » suggéré par Mann [MAN 02B].
- *L'identification des cas exemples consomme trop de temps* ; le remplissage de chaque cellule de connaissance dans la MRC est une activité qui exige beaucoup de temps et une importante analyse. En dépit de cette restriction, le bénéfice futur d'une performance accrue (due à l'ajout successif de cas produits par le RèPC), justifie cet effort. Bénéfice qui se reportera également sur la qualité des solutions trouvées, solutions qui surmontent une contradiction.

- *Les barrières sociologiques*, une démarche de capitalisation des connaissances suppose d'après Tounkara [TKR 02], une adhésion « *sans faille* » de la part des experts sollicités. Ce qui n'est pas toujours le cas, car l'expert peut être opposé au partage des connaissances. Les raisons de cela sont principalement la peur de perdre une position privilégiée dans l'organisation ou de perdre le monopole des connaissances qu'il maîtrise, etc. En raison de cela, une période de sensibilisation vers la capitalisation des connaissances, doit être mise en place avant l'introduction d'une telle approche ; ainsi qu'un système qui garantisse la reconnaissance aux apports faits par les participants.
- *Le stockage d'un cas est fait à posteriori*, à cause de cela, l'utilisateur ne peut pas se rappeler de toute l'information critique, ce qui se traduit par une perte d'information.
- *La mise en œuvre de cette approche augmente la charge de travail*, cela est principalement dû à la séparation entre le processus de résolution d'un cas et celui du stockage, car ces deux activités ne se réalisent pas en parallèle.
- *Limites héritées du RàPC* ; en ce qui concerne le RàPC, parmi ses principales limites trois se distinguent : **(1)** la difficulté d'application dans des domaines fortement théoriques, **(2)** la tendance à utiliser des cas aveuglément sans le valider correctement lors de la résolution d'un nouveau cas et **(3)** la polarisation de la pensée que produisent certains cas sur l'utilisateur. Les deux premières ont été héritées au modèle TRIZ-RàPC, mais pas le dernier. En effet TRIZ élimine la polarisation de la pensée en utilisant des outils pour briser l'inertie psychologique et d'autres basés sur la transdisciplinarité.

7. Conclusion

La synergie TRIZ-RàPC est une approche dirigée par les problèmes c'est-à-dire, TRIZ-RàPC établit une connexion entre connaissance et action ainsi qu'une façon de véhiculer celle-ci dans un environnement où l'innovation est une activité créative, technique et sociétale. Les perspectives de l'approche présentée seront introduites plus loin dans ce manuscrit. Le chapitre 5 montre une façon très simple d'implémenter le modèle présenté, il servira d'exemple pour la mise en œuvre de l'approche présentée dans ce chapitre.

Chapitre 5

Le processus d'implémentation de TRIZ-RàPC

Résumé : ce chapitre offre une présentation succincte d'un outil où a été implémentée la synergie TRIZ-RàPC. Elle montre la façon dont un cas est représenté, recherché dans la base de cas et comment un nouveau cas est ajouté à la mémoire.

Chapitre 5 : Le processus d'implémentation de TRIZ-RàPC

1. Introduction

Après avoir décrit les approches qui interagissent dans la synergie TRIZ-RàPC et leurs fondations théoriques, ce chapitre détaille la réalisation technique prenant appui sur une mémoire basée sur la matrice de résolution des contradictions. Le développement de cette mémoire a suivi deux étapes essentielles. La première décrit une application très générale : une base de cas a été construite autour de quatre niveaux de similarité prédéfinis. Ces niveaux à leur tour, reposent sur trois caractéristiques du système possédant le problème : le nom du système, la contradiction et l'effet néfaste à éliminer.

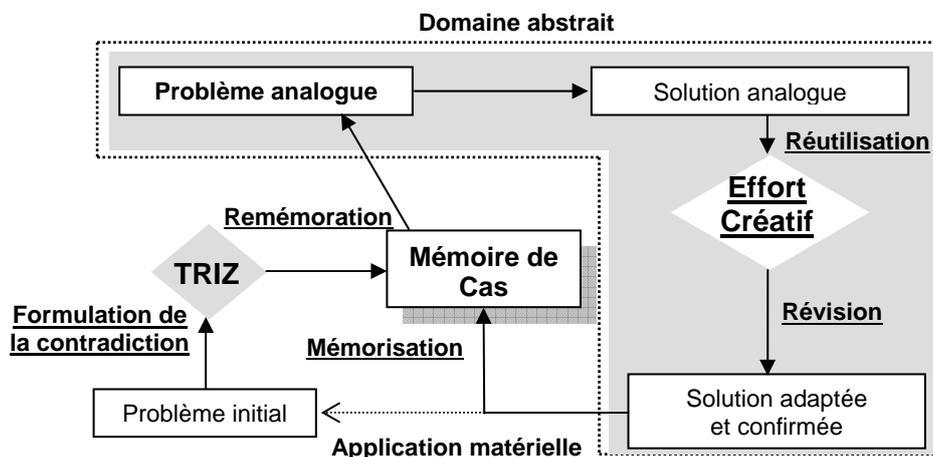
Cette base de cas initiale a révélé ses limites, par conséquent il a fallu déterminer d'autres caractéristiques d'un cas pouvant faire partie de la description du problème, améliorant ainsi la recherche d'un cas. Ces caractéristiques ont été utilisées dans la deuxième étape du développement de la mémoire, qui par exemple, utilise la sélection d'un paramètre parmi les 48 comme un moyen pour cibler l'objectif de la résolution d'un problème et les ressources disponibles dans le système.

Les paragraphes suivants décrivent ces deux étapes de la mémoire basée sur le modèle présenté au chapitre 4 et plus spécifiquement sur la matrice de résolution des contradictions techniques.

2. Étape initiale du développement de la mémoire TRIZ-RàPC

2.1 Les composants de la mémoire TRIZ-RàPC

Le socle de la mémoire TRIZ-RàPC, est basé sur le processus exposé sur la figure 4.7 (chapitre 4, section 5) :



Cette figure représente le mécanisme du raisonnement analogique dans l'approche combinée TRIZ-RàPC. Elle est focalisée autour de trois éléments fondamentaux :

- 1) Le système comprenant le problème.
- 2) Le problème modélisé sous la forme d'une contradiction.
- 3) L'effet néfaste à éliminer ou l'amélioration souhaitée.

Ces éléments ainsi que leurs relations au sein de cette base de données forment un cas (figure 5.1).

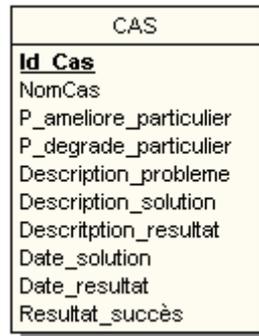


Figure 5.1 Le contenu d'un cas

D'après la figure 5.1, un cas est composé par un problème, décrit à l'aide d'une étiquette (*NomCas*) et une description de ce dernier (*Description_problème*). La description du problème est faite sous la forme d'un conflit entre deux caractéristiques, qui seront plus tard associées à deux paramètres parmi les 48 (*P_ameliore_particulier* et *P_degrade_particulier* respectivement), ce qui amène à la formalisation de la contradiction. Le cas contient aussi une description de la solution à la contradiction (*Description_solution*), des données concernant l'utilisateur l'ayant proposée, ainsi que le résultat obtenu (*Resultat_succès*) et la date d'obtention de ce résultat (*Date_resultat*).

Ces composants d'un cas et leurs relations sont décrits plus en détail dans les paragraphes suivants.

2.2 Le système comprenant le problème

Cette rubrique contient l'information sur le système où l'effet néfaste, l'amélioration ou la création d'une nouvelle fonctionnalité a été identifié. La description du système est faite par le biais d'une étiquette contenant le nom du système. Puis, la fonction utile primaire de ce dernier est brièvement analysée, ainsi que la façon dont celle-ci est produite, et finalement les conditions entraînant l'effet néfaste ou conditions sous lesquelles le problème se déclenche.

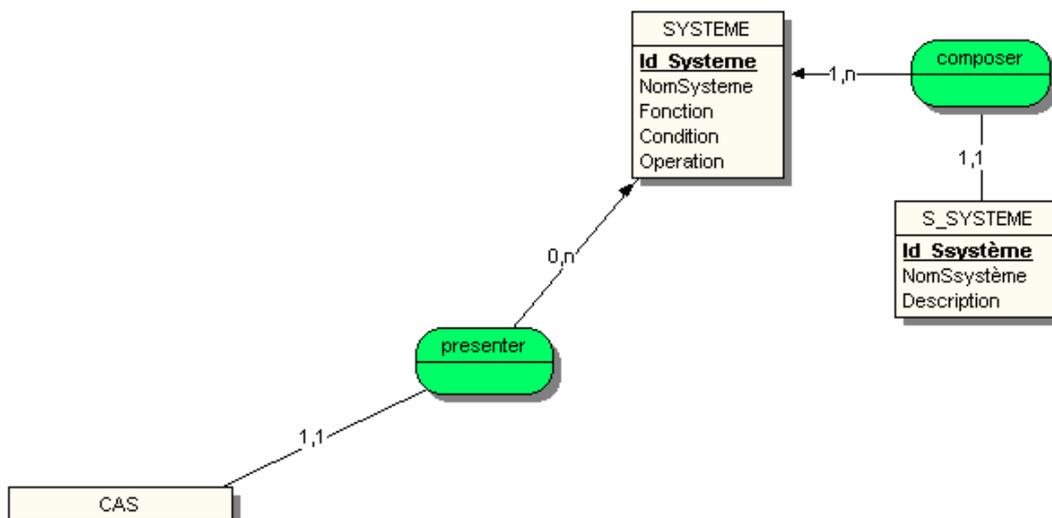


Figure 5.2 La relation système - cas

Comme le montre la figure 5.2, la description du système contient aussi une description concise des sous-systèmes qui le composent.

2.3 Le problème modélisé sous la forme d'une contradiction

Cet élément fondamental est au cœur du problème, il exprime le conflit sous la forme d'une contradiction à l'aide de la matrice de résolution des contradictions techniques.

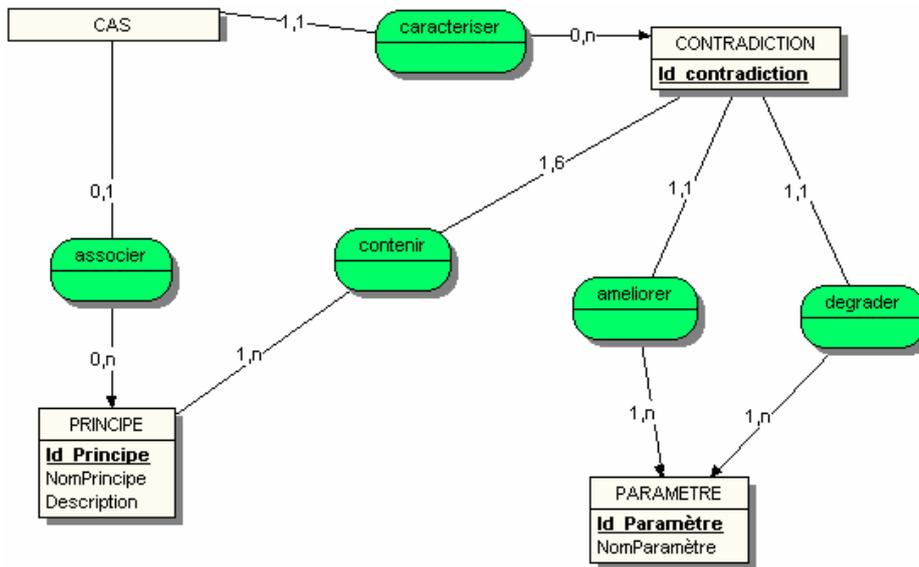


Figure 5.3 La caractérisation d'un cas par une contradiction

La figure 5.3 met aussi en évidence que la solution d'un cas est associée à un principe, qui à son tour, est divisé en sous-principes pour accroître sa compréhension, multiplier les possibilités d'application et faciliter la résolution.

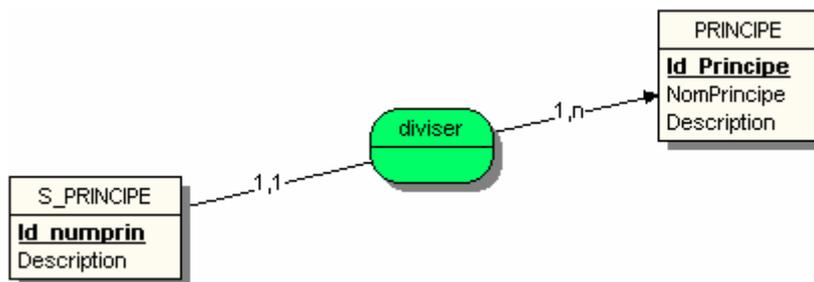


Figure 5.4 La division d'un principe en sous-principes

La relation contradiction-principe représente la matrice des contradictions techniques qui a été transformée en une base de données. Cette structure met en relation une base de paramètres et une base de principes, organisées comme suit :

IDPARAMETRE	Nom du paramètre	Description
1	1. Masse d'un objet mobile	
2	2. Masse d'un objet immobile	
3...	3. Longueur d'un objet mobile	
48	48. Précision de la mesure	

Tableau 5.1 La base des paramètres

L'étiquette « *IDPARAMETRE* » est unique à chaque paramètre afin de faciliter l'identification d'une contradiction.

ID_PRINCIPE	Nom du principe
1	La segmentation
2	L'extraction
3...	La qualité locale
40	Les matériaux composites

Tableau 5.2 La base des principes

La description des principes est stockée dans une autre base de données car l'interprétation peut changer selon le domaine d'application et parce qu'il est plus facile de maintenir la base en modifiant la quantité des sous-principes. Par exemple, le principe 17, le changement de dimensions, renferme 4 sous principes :

ID_PRINCIPE	ID_SOUSPRINCIPE	Description
17	1	Déplacer un objet dans un espace bidimensionnel ou tridimensionnel.
17	2	Utiliser un objet avec plusieurs compartiments au lieu d'un seul afin de développer plus d'activités concourantes dans le temps.
17	3	Incliner ou réorienter un objet pour qu'il repose sur l'un de ses côtés.
17	4	Utiliser une autre face.

Tableau 5.3 La description d'un principe par le biais des sous-principes

L'étiquette « *ID_PRINCIPE* » fait référence à un principe et l'étiquette « *ID_SOUSPRINCIPE* » à la quantité de sous principes contenus par le principe. La quantité de sous-principes peut être modifiée afin d'améliorer la compréhension et l'efficacité du principe lors de son interprétation.

Après avoir défini les paramètres et les principes, une relation est créée entre ceux-ci dans une autre base, la base des contradictions.

IDCONTRADICTION	Paramètre à améliorer	Paramètre dégradé
-	1	2
	NUM_PRINCIPE	ID_PRINCIPE
	1	3
	2	19
	3	35
	4	40
*	0	
+	2	1
+	3	1
+	4	1
+	5	1
+	6	1
+	7	1
+	8	1
+	9	1
+	10	1
	10	1

Tableau 5.4 La base des contradictions

Le tableau 5.4 montre la configuration de la base des contradictions, l'étiquette « *IDCONTRADICTION* » assigne un code unique à une contradiction. Par le biais de ce code unique, il est possible d'identifier facilement tous les problèmes qui partagent la même contradiction dans la base de cas. Cette base montre aussi les principes de résolution associés à chaque contradiction. A titre d'exemple sur le tableau 5.4 il est possible de constater que la contradiction 1 met en relation le paramètre 1 (masse d'un objet mobile) comme paramètre à améliorer versus le paramètre 2 (masse d'un objet immobile) comme

paramètre dégradé et qu'elle contient quatre principes : 3, 19, 35 et 40 hiérarchisés selon un ordre recommandé d'application (*NUM_PRINCIPE*).

2.4 L'effet néfaste à éliminer ou l'amélioration souhaitée

L'effet néfaste représente l'objectif à atteindre et sur le lequel sera centré la résolution de la contradiction. Cette étape de formalisation de l'objectif du problème comprend plusieurs situations :

- Le besoin d'éliminer, réduire ou minimiser les effets néfastes qui gênent l'opération du système ou qui sont produits par le système.
- Le besoin d'amélioration d'un système, d'un de ses composants avec comme but d'augmenter sa performance.
- La création d'une nouvelle fonction ou l'ajout d'une nouvelle fonctionnalité dans le système.

Cet objectif est formalisé à l'aide d'une étiquette et d'une description proposée par l'utilisateur. Cette étape est liée à un cas de la façon suivante :

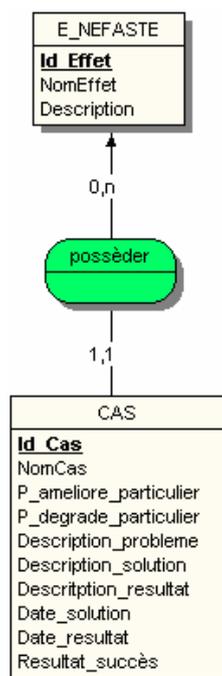


Figure 5.5 La relation entre l'effet néfaste ou l'amélioration et le cas

L'information obtenue dans cette étape contribue à l'identification d'un cas et la recherche dans la base de cas est lancée sur l'étiquette associée au problème.

2.5 L'utilisateur

Dans le contexte de l'implémentation de la base de cas au sein d'une organisation, et dans l'optique d'une plus grande efficacité du processus de capitalisation des connaissances, il est conseillé de clairement identifier les sources de connaissance. Les sources les plus importantes sont le savoir des personnes qui ont, par le passé, résolu un problème. Or, ils sont dépositaires des expériences acquises et afin que ces expériences puissent être réutilisées, il faut d'abord les identifier et les considérer comme des ressources. Ce besoin

d'identification des dépositaires de connaissance, correspond à une démarche de cartographie des connaissances guidée par les problèmes déjà résolus.

Même si les données concernant l'utilisateur ne sont pas affichées sur la figure 5.1, elles sont contenues dans chaque cas. L'intégration des données concernant l'utilisateur, cherche à stocker l'information nécessaire pour clairement identifier les points suivants :

- Qui a résolu le problème. Cela permet de valoriser les contributions faites par quiconque lors de l'utilisation et l'amélioration de la base de cas.
- Où est cet individu dans la hiérarchie de l'organisation, afin de savoir où se trouve cette connaissance et si elle est disponible si nécessaire.

Le fait de savoir qui possède une telle connaissance et où est cet individu dans l'entreprise, peut être un facteur déclencheur pour le transfert de connaissance tacite, lors de la résolution d'un problème. Ce processus est réalisé par la socialisation, qui est vue comme un mécanisme qui demande une interaction directe avec un expert [N&T 97]. La socialisation met en synergie des employés qui partagent une même vision et crée une empathie qui a le pouvoir d'encourager la créativité [H&C 04].

Les données sur l'utilisateur sont reliées à un cas de la manière suivante :

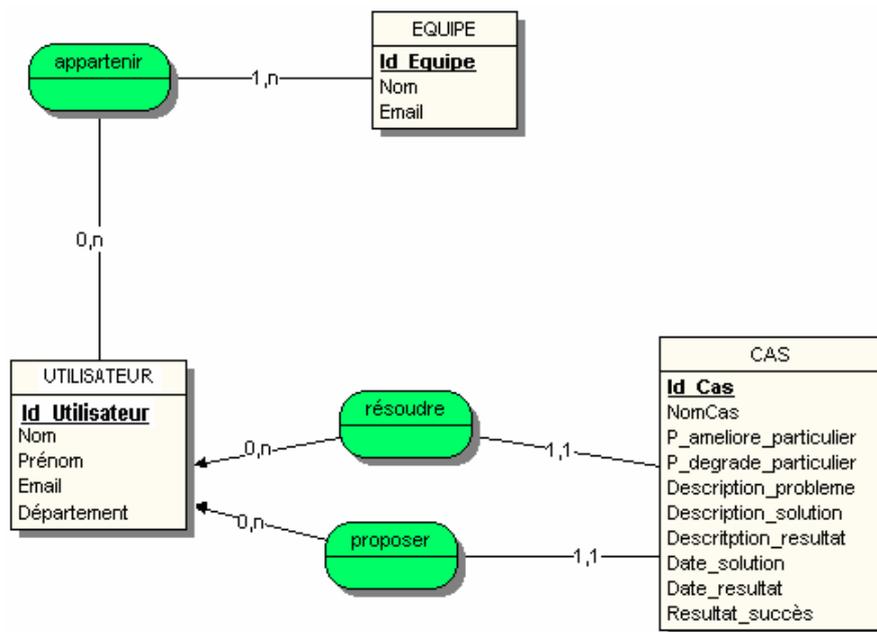


Figure 5.6 La relation entre l'utilisateur et un cas

Après avoir décrit les éléments qui interagissent dans la base de cas, la section suivante montre de quelle manière, ces relations ont été implémentées, comment un cas est représenté, et comment il est recherché dans la base.

3. Présentation du modèle de base de la mémoire TRIZ-RàPC

3.1 L'identification de la contradiction

Après avoir décrit brièvement les composants qui interagissent dans l'approche TRIZ-RàPC et la façon dont ceux-ci s'intègrent dans un cas, les paragraphes suivants montrent les étapes nécessaires pour l'identification d'une contradiction, de leurs principes associés, ainsi

que des problèmes contenus dans la base. Ces données sont nécessaires pour réaliser une requête dans la mémoire de cas. La figure 5.7 montre la première fenêtre du processus qui présente l'objectif de la mémoire.



Figure 5.7 Fenêtre initiale

Sur la figure 5.8, les données concernant le système, l'effet néfaste ou l'amélioration souhaitée, ainsi que la contradiction, seront utilisées pour lancer la recherche d'un cas dans la base. L'identification de la contradiction dans cette étape amène vers une phase d'analyse de leurs principes de résolution associés.

Cette étape essaie entre autres, d'apporter un outil didactique pour utiliser efficacement la matrice de résolution des contradictions techniques.

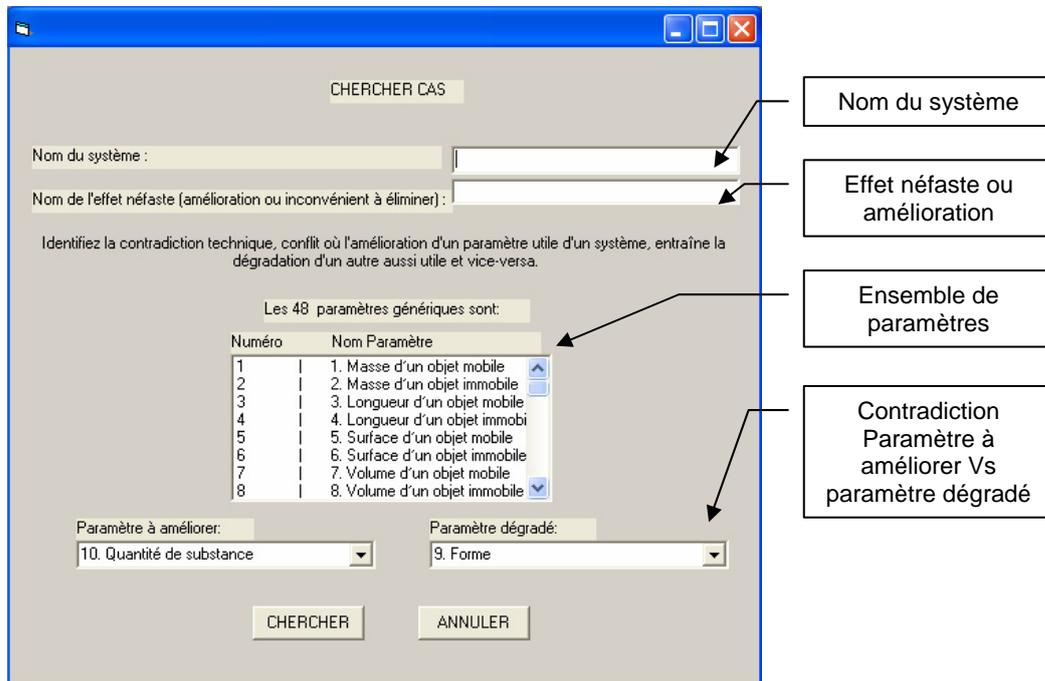


Figure 5.8 Fenêtre pour identifier la contradiction

3.2 Les principes associés

Les premières étapes du processus d'identification de la contradiction, permettent à l'utilisateur de consulter les principes associés à celle-ci, afin qu'il puisse envisager au moins quatre voies de résolution possibles (quantité minimal de principes contenus dans une cellule de la matrice des contradictions, dans la version 2003). Cette présentation des

principes est faite dans le but d'ouvrir des perspectives de résolution et d'encourager la réflexion, avant de lancer la recherche d'un cas.

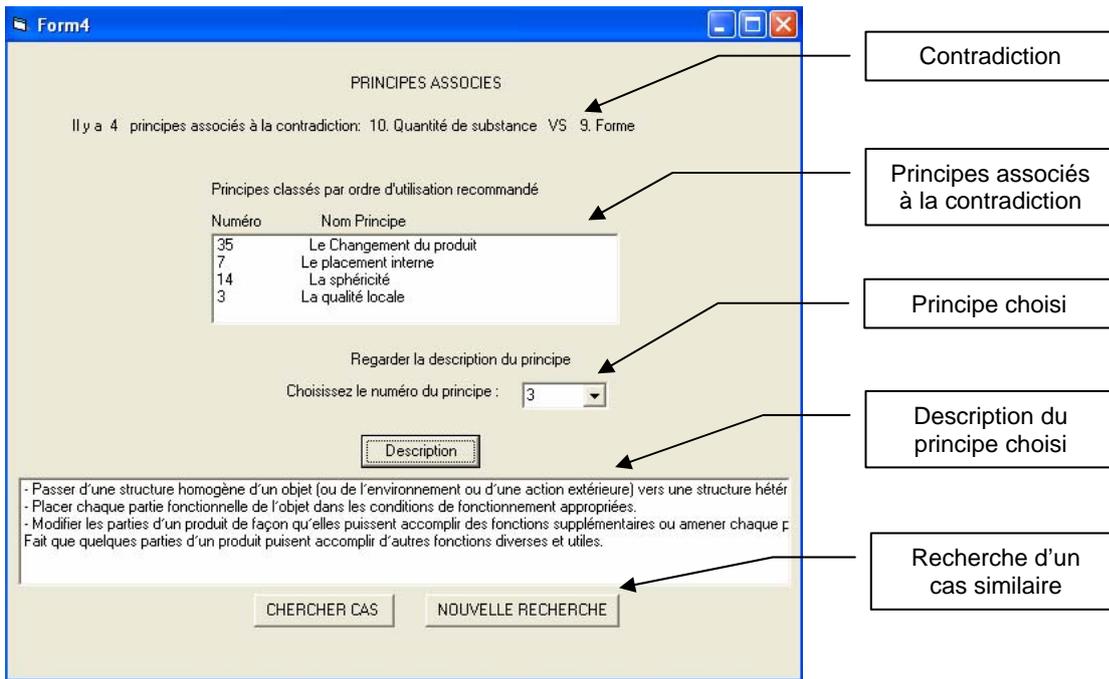


Figure 5.9 Les principes de résolution associés à la contradiction

La figure 5.9 montre la quantité de principes associés à une contradiction, l'ordre recommandé d'utilisation de ces derniers et permet de sélectionner un des principes proposés, afin d'obtenir sa description.

Après cette étape, l'utilisateur peut commencer la recherche d'un cas dans la base.

3.3 La recherche d'un cas

Comme il a été mentionné précédemment, la recherche d'un cas dans cette version de la mémoire TRIZ-RàPC, a été organisée autour de quatre niveaux de similarité prédéfinis et hiérarchisés. Il faut souligner que ces niveaux sont tous organisés autour d'un même axe : la contradiction identifiée. Une description concise de ces niveaux est présentée dans les paragraphes suivants.

Premier niveau ou niveau plus élevé de similarité

Le premier niveau offre le ou les cas le(s) plus similaire(s) à une requête dans la base de cas. Ce niveau contient les cas qui : partagent la même contradiction, sont localisés dans le même système et cherchent à éliminer le même effet néfaste ou à produire la même amélioration. Les données produites par cette requête se regroupent sous un seul format :

Figure 5.10 Le niveau le plus élevé de similarité

Le deuxième niveau de similarité

Ce niveau offre tous les problèmes stockés dans la base qui partagent la même contradiction, le même effet néfaste ou amélioration recherchée, mais qui ont été identifiés dans différents systèmes. Les données contenues sont similaires à celles de la figure 5.10.

Le troisième niveau de similarité

Le troisième niveau est concentré sur tous les cas qui partagent la même contradiction et qui ont été identifiés dans le même système. L'effet néfaste n'est pas pris en compte dans ces conditions.

Le quatrième niveau de similarité

Ce niveau contient uniquement les données de tous les problèmes qui partagent la même contradiction, dans différents systèmes et sans prendre en compte l'effet néfaste ou objectif de résolution souhaité.

3.4 La représentation d'un cas

Le cas sur lequel est fondé cette section provient d'un exemple de génie des procédés : un réacteur de LPCVD. La description du problème est exposée ci-dessous.

Exemple :

La CVD (Chemical Vapor Deposition)

L'opération de dépôt chimique à partir d'une phase vapeur (CVD Chemical Vapor Deposition), consiste à mettre en contact un ou plusieurs substrats avec un ou plusieurs gaz réactifs. Les gaz réagissent chimiquement avec les substrats afin de déposer sur ces derniers un film solide. Cette opération a lieu dans un réacteur.

Les deux technologies de CVD les plus importantes pour la production des composants de micro - électronique sont la CVD à pression réduite (LPCVD) et CVD par activation de plasma (PECVD).

Par la suite, on s'intéresse exclusivement au procédé de LPCVD à activation thermique, dans des réacteurs à parois chaudes.

Problématique

Certains des principaux problèmes avec le procédé de LPCVD sont liés au fonctionnement du réacteur et à sa configuration :

- 1) L'existence d'une zone stagnante entre deux plaquettes adjacentes.
- 2) L'épuisement progressif des gaz réactifs le long de la charge de plaquettes
- 3) Le contrôle de température.
- 4) La quantité de plaquettes à produire est aussi un problème. Généralement, un réacteur LPCVD peut travailler avec 25 plaquettes à la fois ou plus.

Formalisation de la contradiction

Un des paramètres importants de conception est l'espace entre les plaquettes (profondément lié à la quantité de plaquettes à produire), c'est ici qu'une contradiction a été mise en évidence [E&P 98], [S&K 01].

C'est dans cet espace que le film se dépose et par conséquent, s'il y a un espace important entre plaquettes, le film se dépose uniformément, mais la quantité de plaquettes produites par batch se réduit. Si au contraire, l'espace entre les plaquettes se réduit, la quantité de plaquettes produites augmente mais le film déposé n'est plus uniforme.

En d'autres termes, il n'est pas possible avec la configuration actuelle du réacteur d'augmenter la **quantité de plaquettes produites** dans le réacteur sans modifier sa **forme** (le volume, la surface, etc.). La contradiction est formulée à l'aide du paramètre « 10 : Quantité de substance » comme caractéristique à améliorer et, « 9 : Forme » comme paramètre dégradé.

De ce fait, les données nécessaires pour représenter un cas sont : le nom du système (Réacteur LPCVD, plus une description plus détaillée de ce dernier), l'effet néfaste ou l'amélioration (il est nécessaire d'augmenter la quantité de plaquettes fabriquées) et finalement, la description de la contradiction (paramètre 10 vs paramètre 9). Cette contradiction offre comme voies de solution les principes : 35, 7, 14 et 3.

Le principe 14 suggère de rendre la zone de travail sphérique, actuellement la disposition des plaquettes se fait de manière verticale. L'application de cette nouvelle configuration de la zone de travail au réacteur LPCVD a permis le traitement simultané d'un nombre élevé de plaquettes. Le réacteur accepte une charge de 90 plaquettes contre les 25 traitées auparavant [VER 96].

Après avoir identifié et résolu un cas, il est ajouté à la base de cas. Ce cas et ses composants peuvent être consultés dans un formulaire contenant les données suivantes :

- 1) Les renseignements sur l'utilisateur ou l'équipe qui a résolu le cas.
- 2) Une description du problème sous la forme d'un conflit entre deux paramètres.
- 3) La contradiction identifiée.
- 4) La description de la solution.
- 5) La description du résultat obtenu.

Ces éléments sont illustrés par le biais d'un exemple et résumés sur la figure 5.11 :

The screenshot shows the CAS2 software interface with the following fields and values:

- ID_CAS: 1
- NOMCAS: Réacteur de LPCVD
- SYSTEME: 1
- Utilisateur: 1
- NOM: Cortes Robles
- PRÉNOM: Guillermo
- DÉPARTEMENT: Laboratoire de Génie Chimique
- Nom du système: Réacteur de LPCVD
- Description du problème: La quantité de plaquettes produites doit être augmentée et la zone stagnante du réacteur doit être réduite. Pour atteindre ces objectifs, il est nécessaire de maximiser l'utilité de la zone productive du réacteur tout en gardant sa configuration.
- Paramètre à améliorer: Quantité de plaquettes à l'intérieur du réacteur
- Paramètre dégradé: Forme de Réacteur afin d'augmenter la quantité
- CONTRADICTION: 432
- EFFET: 0
- Nom de l'effet: Augmenter la productivité
- PRINCIPE: 14
- Description de la solution: Le principe 14 suggère transformer la zone de travail, originalement linéaire, en une zone sphérique. Alors la configuration des plaquettes à l'intérieur du réacteur est changée d'une organisation linéaire, vers une organisation courbée.
- Description du résultat: Ce nouveau système a permis d'augmenter la productivité du réacteur, car celui-ci accepte une charge de 90 plaquettes contre les 25 traditionnelles. De plus, la zone stagnante a été éliminée et le réacteur à une surface au sol plus réduite.
- Résultat (succès):

Figure 5.11 Le contenu d'un cas

Les cellules correspondant à l'utilisateur et le système, identifiées sur la figure 5.11 avec les numéros 1 et 6, représentent respectivement un code unique qui sert à identifier l'utilisateur qui a résolu le cas et le système où le problème a été localisé. Ces codes permettent l'accès aux données les décrivant plus en détail.

La base de cas a été alimentée avec 100 brevets à partir desquels ont été extraites les données nécessaires pour représenter un cas. La méthode d'analyse et de formulation de la contradiction est disponible dans [MAN 04B]. Une liste contenant les brevets utilisés est présentée dans l'annexe 3 de ce manuscrit.

4. Conclusions

Les tests effectués sur la base de cas permettent d'établir les conclusions suivantes :

- Il est techniquement faisable d'implémenter sur une base de données, le mécanisme de résolution de problèmes schématisé sur la figure 4.7.
- La recherche basée sur la contradiction offre toujours une réponse si deux cas partagent la même contradiction.

Les tests révèlent qu'il faut améliorer les points suivants :

- Souvent la recherche d'un cas basée sur l'effet néfaste, n'abouti pas à l'identification d'un cas, alors il est nécessaire d'apporter un moyen pour cadrer l'identification de l'effet ou de l'amélioration désirée. C'est à partir de cette constatation, que l'idée d'associer l'effet néfaste à un paramètre parmi les 48.
- L'identification de la contradiction n'est pas toujours facile. Il faut parfois un énorme effort et une analyse pointue. Il arrive souvent que le même problème est décrit avec des contradictions différentes (i.e. brevets US6683126, US6732497, US6741816, US6716485). Cela dépend de l'expérience de l'utilisateur ainsi que de sa façon de

percevoir le problème. Alors il est souhaitable d'apporter une méthode pour déterminer la contradiction à résoudre.

- D'autres éléments doivent être ajoutés à la description du problème afin de faciliter l'identification et la discrimination d'un cas similaire dans la base. Cela afin de réduire l'effort d'adaptation d'une solution.
- Il est nécessaire d'ajouter les données concernant les sources bibliographiques utilisées (base de données, intranet, normes, etc.), l'emploi de documents, procédures ou autre type de documents. Cela afin d'éliminer l'effort lors de la réutilisation d'un cas. Cela implique qu'une base de données soit déjà disponible et qu'elle soit accessible par l'utilisateur. Le contenu de cette base dépendra du domaine d'application du modèle TRIZ-RàPC.
- De même, il est nécessaire d'enregistrer dans chaque cas et plus spécifiquement, lors de la description de la solution, la façon dont un principe est interprété lors de l'élaboration d'une solution, afin de faciliter sa compréhension et réutilisation.
- Les erreurs commises et les suggestions pour l'implémentation de la solution doivent aussi être considérées dans chaque cas, afin que l'utilisateur puisse prendre les mesures adéquates avant l'adaptation d'un cas.
- Les ressources présentes dans le système contenant le problème peuvent être utilisées comme un autre élément discriminant pour l'identification d'un cas dans la base de cas.

Les conclusions précédentes mettent clairement en évidence les limites de l'outil. C'est à partir de ces inconvénients relevés qu'il devient obligatoire d'étoffer les fonctionnalités de cet outil afin d'assurer sa pertinence et son efficacité. Ces améliorations sont abordées dans la partie qui suit.

5. Évolutions de la mémoire TRIZ-RàPC

Suite aux observations tirées de l'analyse de la première étape du développement de la base de cas, une deuxième étape dans le développement de la base de cas a été entreprise. Une des principales améliorations réside dans la représentation d'un cas. Il faut souligner que le mécanisme pour associer une contradiction à un problème ou pour consulter un principe, est le même que celui décrit dans la présentation de la mémoire TRIZ-RàPC. En revanche, la construction et la recherche d'un cas, sont maintenant basées sur cinq éléments au lieu de trois lors de l'étape précédente. Ces composants d'un cas, représentés sur la figure 5.12 sont :

- 1) Le système où le problème est localisé.
- 2) le type d'objectif de résolution : l'amélioration d'une caractéristique du système, la réduction ou l'élimination d'un effet néfaste et la création ou l'ajout d'une nouvelle fonctionnalité dans un système (choix laissée à l'utilisateur).
- 3) La contradiction associée au conflit.
- 4) L'objectif à atteindre lors de la résolution de la contradiction : associé à un des 48 paramètres.
- 5) Les ressources identifiées dans le système (choix laissée à l'utilisateur).

CAS - □ ×

TRIZ - RàPC

Mémoire de cas basée sur la matrice des contradictions

No. de Cas

UTILISATEUR

Problème proposé par Nom de l'utilisateur ou de l'équipe E-mail

SYSTEME

Identifié dans le système Nom du système

Type d'objectif de résolution 2

DESCRIPTION DU PROBLEME

3 Description du conflit

Paramètre à améliorer Paramètre dégradé

Contradiction identifiée Objectif à atteindre

Paramètre associé à l'objectif Ressources identifiées

4 Description des ressources identifiées

SOLUTION ASSOCIEE

Solution associée 5

Figure 5.12 Le contenu d'un cas

Les données contenues par ce cas sont :

- Nom du système : (système identifié par le numéro 1), réacteur LPCVD.
- Type d'objectif de résolution : 2 (Amélioration d'un système).
- Contradiction identifiée : 432 (quantité de substance versus la forme), Objectif à atteindre : 44 (paramètre nommé productivité). Les données saisies lors de l'identification des deux paramètres, déterminent automatiquement le code de la contradiction qui sera associée au problème.
- Les ressources identifiées : 3 (l'espace).

Cet ensemble de valeurs permet l'identification du cas et la recherche d'un cas similaire dans la base.

Les données concernant l'utilisateur sont associées à un cas, par contre la solution ne fait plus partie d'un cas, elle est considérée comme un élément à part et accessible dans une autre fenêtre. Cela afin de rendre plus facile l'analyse d'un cas par l'utilisateur.

5.1 Les différences principales

5.1.1 L'association d'un paramètre pour caractériser l'objectif

Une analyse a été menée sur 100 brevets (annexe 3), avec comme but l'obtention de données nécessaires pour leur introduction dans la base de cas. Cette analyse a mis en évidence que l'objectif à atteindre lors de la résolution d'une contradiction, pouvait être décrit à l'aide d'un paramètre parmi les 48.

Le critère discriminant pour le cas était présent dès la mise en œuvre de l'outil. Cependant, l'utilisateur remplissait les champs en toute liberté. Cette libre expression conduit inévitablement en une difficulté d'utilisation : chaque utilisateur décrit l'objectif avec son

propre style ce qui se traduit en une difficulté de comparaison. Cet inconvénient est pallié par le « cadrage » de ce critère.

Pour se faire, l'association entre l'objectif de résolution (1 : élimination ou réduction d'un effet néfaste, 2 : amélioration d'un système et 3 : Création ou ajout de nouvelles fonctionnalités), et l'objectif à atteindre est réalisé par le biais d'un paramètre parmi les 48 (additionnel aux deux qui déterminent la contradiction). Cette réalisation de la fonctionnalité est intéressante car elle ne nécessite pas l'ajout d'information supplémentaire car les paramètres sont déjà disponibles. Avant son introduction définitive, la pertinence et la faisabilité de cette solution ont été testées sur les 100 brevets alimentant la base de cas.

5.1.2 Les ressources

Les ressources (chapitre 2, section 3.3), doivent être incluses dans la description du problème car ce sont elles, qui associées à la relation contradiction-principes, guident la recherche d'une solution. La liste, qui n'est pas exhaustive (chapitre 2, section 3.3), peut être facilement actualisée et adaptée aux besoins de l'utilisateur. Il est important de souligner que la description d'un problème cible peut contenir plusieurs ressources.

No. de ressource	Type de ressource
1	Substances
1	Déchets
2	Matières premières et produits
3	Éléments ou composants du système
4	Substances peu coûteuses
5	Flux de substances
6	Propriétés des substances
0	*
2	Champs énergétique
3	Espace
4	Temps
5	Information
6	Ressources fonction
7	Ressources dérivées
8	Substances modifiées

Ressource	Description de la ressource
1	Changement de phase
2	Réactions chimiques
3	Application des effets physiques
4	Traitement thermique
5	Fractionnement
6	Décomposition
7	Transformation vers un état mobile
8	Formation de mélanges
9	Introduction d'additifs
10	Ionisation
0	*
0	*

Figure 5.13 Les ressources associées à un cas

5.1.3 La description de la solution

La description de la solution, schématisée sur la figure 5.14, est composée de quatre éléments essentiels : le résultat idéal final, le principe sélectionné pour dériver la solution, l'interprétation de ce principe et une description de la solution proposée.

A son tour, cette fenêtre permet l'accès aux données concernant quelques exemples d'interprétation des 40 principes dans différents domaines, les critères d'évaluation, les problèmes rencontrés lors de l'implémentation de la solution, les suggestions proposées par les personnes ayant résolues le problème et la documentation associée à la solution. La solution est présentée dans la fenêtre suivante :

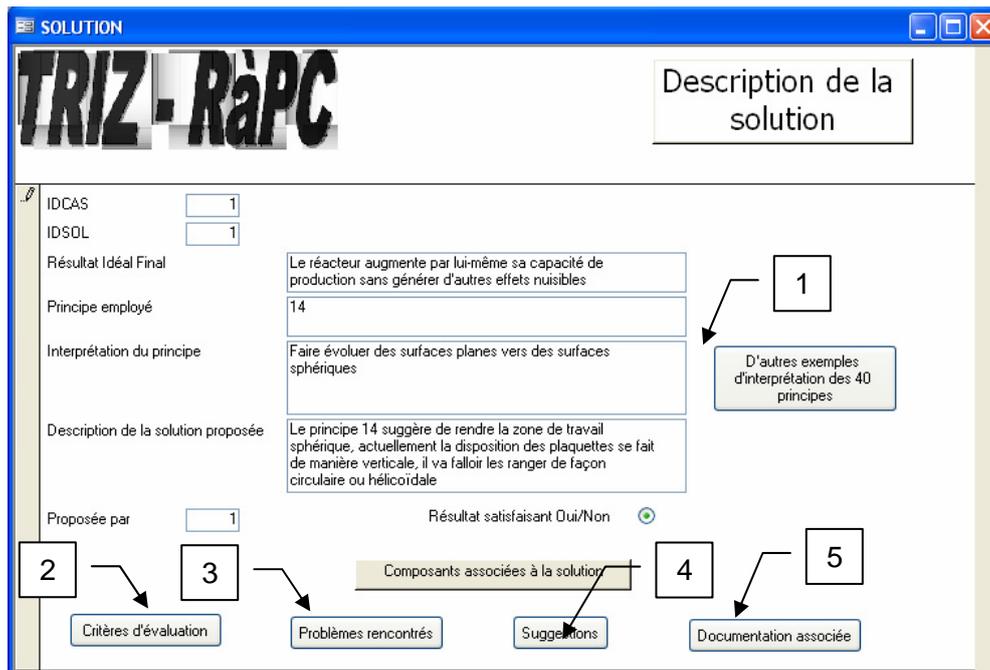


Figure 5.14 Les composants associés à la solution

1. Les exemples des 40 principes

Les 40 principes de résolution des contradictions ont une application transverse, leur interprétation dans les domaines suivants est disponible :

- Exemples concernant les affaires
- Exemples sociaux
- Appliqués dans l'architecture
- Technologie alimentaire
- Développement des logiciels et microélectronique
- Gestion de la qualité
- Santé publique
- Chimie
- Conception éco-innovatrice
- Éducation
- Finances, marketing et ventes
- Génie des procédés

2. Les critères d'évaluation

Les critères pour évaluer une solution sont stockés dans une table à l'aide d'une étiquette et d'une description, quelques exemples typiques sont : le coût, l'esthétique, la fiabilité, les dimensions, le temps, etc. En encore une fois, il semble possible d'associer un des 48 paramètres à chaque critère, car ils définissent la façon dont une caractéristique doit être évaluée et ces caractéristiques peuvent être associées à un paramètre parmi les 48. Cependant, cette association doit être analysée afin de déterminer sa faisabilité.

3. Les problèmes rencontrés

Cette rubrique correspond aux problèmes identifiés lors du développement de la solution. Ils essayent d'être un guide et de faciliter l'adaptation d'un cas dans la base, mais également,

un élément pour déclencher des mesures préventives afin d'éviter leur occurrence. Un problème dans cette section est formalisé par une description concise du problème rencontré. Il est important de souligner que si ce problème produit une nouvelle contradiction, celle-ci sera traitée comme un cas nouveau et par conséquent, tout le processus devra être redéployé.

Après avoir décrit les problèmes associés à la solution, si possible, une proposition pour les contourner peut être ajoutée.

4. Les suggestions

Les données liées à cette étape concernent l'implémentation de la solution. C'est dans cette phase que la personne qui a résolu ce cas offre ses conseils pour faciliter l'implémentation de la solution, mais également, sa vision pour l'application de la solution trouvée pour des problèmes connexes ou similaires.

5. La documentation

Les documents employés lors de la modélisation du problème et du développement de la solution, sont contenus dans cette table. L'objectif est de référencer les bases de données internes et externes qui ont été employées lors de la résolution d'un cas, afin qu'elles puissent être réutilisées par d'autres utilisateurs.

6. Exemple d'application

Le Lit Mobile Vrai

Cette partie met en application, la synergie TRIZ-RàPC au travers d'un exemple simple et bien connu, emprunté au domaine du Génie des Procédés. Dans cette partie, la synergie permet d'améliorer une technique séparative.

La séparation par chromatographie est une technique pour séparer en continu un mélange de plusieurs constituants. Cette technique relativement ancienne a un regain d'intérêt suite à de nouvelles applications industrielles : biotechnologies, pharmacie, chimie fine... Le point de départ de cette étude est le Lit Mobile Vrai. Pour cette technique, le mélange de constituants à séparer, est envoyé dans une colonne où une phase liquide et une phase solide circulent à contre courant (Une représentation simplifiée du Lit Mobile Vrai est donnée en figure 5.15). A la sortie de la zone 4 le liquide est recyclé vers l'entrée de la zone 1, quant au solide sortant de la zone 1 il est recyclé en entrée de la zone 4.

Cet appareil possède une alimentation (avec le mélange à séparer) et deux sorties : l'extrait et le raffinat : l'extrait est enrichi en composé le plus retenu, de préférence par la phase solide et le raffinat enrichi en constituant le moins retenu. Le principal inconvénient de cette technique est la mise en mouvement de la phase solide, souvent problématique en Génie des Procédés.

Pour résoudre ce problème, l'inconvénient du Lit Mobile Vrai a été formalisé et formulé en une contradiction technique. La formulation précise est réalisée grâce à l'application du Questionnaire de la Situation Innovante (annexe 2, section 6.1.1). Cette étape de réponse au questionnaire est cruciale car elle conditionne la formulation de la contradiction et par conséquent la résolution. Une contradiction clairement identifiée et clairement formulée permet d'orienter la réflexion vers une solution pertinente. Dans le cas présent, la contradiction peut se formuler ainsi : «réduire la circulation de la phase solide sans en contrepartie diminuer l'efficacité de la séparation et accroître le coût de fonctionnement».

Une fois cette contradiction clairement identifiée, l'étape suivante consiste à identifier les 2 paramètres en contradiction, dans la matrice :

- Paramètre Amélioré : Le déplacement de la phase solide implique une difficulté d'utilisation du système par conséquent le paramètre 34 : Facilité d'utilisation est retenu.
- Paramètre dégradé : Dans le cas présent c'est le paramètre 16 : Énergie dépensée par un objet mobile.

Sur cet exemple la description du cas ne sera pas plus détaillée, car en lançant la recherche à partir des informations précédentes aucun cas similaire n'est disponible dans la mémoire. Dans ces conditions, la matrice des contradictions retrouve son utilisation originelle à savoir la recherche de solution grâce aux principes. L'intersection de la ligne 34 et de la colonne 16 de la matrice des contradictions propose les principes suivants : 24 Intermédiaire, 1 Segmentation, 13 Inversion et 28 Reconception. Le principe 24, suggère d'utiliser un objet intermédiaire, le principe 1 préconise de scinder l'objet en parties indépendantes, d'augmenter le degré de fragmentation du système. Le principe 13 suggère d'inverser l'ordre des actions utilisées, de rendre les parties mobiles immobiles et inversement. Quant au principe 28, il conseille de remplacer les systèmes mécaniques par des systèmes optiques, lumineux, etc. et d'utiliser un champ énergétique à la place d'un système physique pour accomplir la fonction désirée.

Le Lit Mobile Vrai étant composé d'une seule partie, l'application du principe 1 implique une séparation des différentes zones au niveau des sorties et de l'entrée. Suite au principe 1, un des sous principes propose : rendre une partie mobile statique et une partie statique mobile. L'objectif étant de réduire la circulation du solide, ce dernier est alors rendu fixe. En contre partie, si le solide devient fixe, les entrées et sorties doivent permuter (mouvement de rotation) à intervalle de temps fixé («rendre des parties statiques mobiles»). La solution proposée consiste à simuler le mouvement à contre courant du liquide et du solide par une permutation (rotation) des entrées sorties du système (dans les sens de circulation du liquide). La phase solide est quant à elle immobile (lit fixe). Cette amélioration du Lit Mobile Vrai donne naissance au Lit Mobile Simulé représenté en figure 5.16.

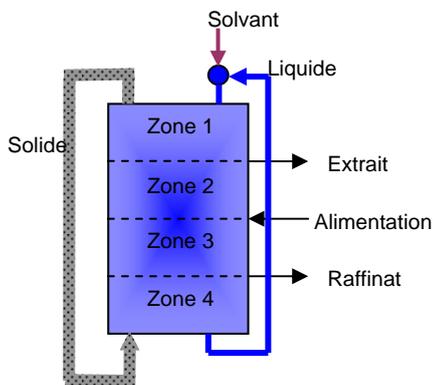


Figure 5.15 Lit Mobile Vrai

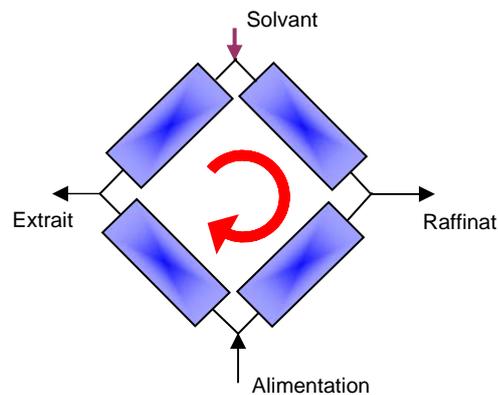


Figure 5.16 Lit Mobile Simulé

Après avoir analysé le problème, certains descripteurs ont été obtenus :

- Nom du système : Lit mobile vrai
- Type de conflit : 1 (élimination, réduction d'un effet néfaste)
- Contradiction identifié : 1567
- Paramètre associé à l'objectif : 24 (efficacité de la fonction)
- Ressources identifiées : 4 et 6 (le temps et les ressources fonctionnels respectivement).

Avec ces données, le cas peut être décrit comme le montre la figure suivante :

The screenshot shows a software window titled 'CAS' with the 'TRIZ-RàPC' logo. The main title is 'Mémoire de cas basée sur la matrice des contradictions'. The form contains the following fields and data:

- No. de Cas:** 2
- UTILISATEUR:**
 - Problème proposé par: 2
 - Nom de l'utilisateur ou de l'équipe: [empty]
 - E-mail: [empty]
- SYSTEME:**
 - Identifié dans le système: 2
 - Nom du système: Lit mobile vrai
 - Type d'objectif de résolution: 1. Élimination ou réduction d'un effet néfaste
- DESCRIPTION DU PROBLEME:**
 - Description du conflit: Réduire la circulation de la phase solide sans en contrepartie diminuer l'efficacité de la séparation et accroître le coût de fonctionnement.
 - Paramètre à améliorer: 34. Facilité d'utilisation
 - Paramètre dégradé: 16. Énergie dépensée par l'objet mobile
 - Contradiction identifiée: 1567
 - Objectif à atteindre: Le principal inconvénient de cette technique est la mise en mouvement de la phase solide
 - Paramètre associé à l'objectif: 24. Efficacité de la fonction
 - Ressources identifiées: 4
 - Description des ressources identifiées: Il est possible d'accomplir des opérations parallèles, il est aussi possible d'utiliser les temps d'inactivité du système. Les ressources fonctionnelles sont aussi disponibles
- SOLUTION ASSOCIEE:**
 - Solution associée: 2
 - Voir solution: [button]

Figure 5.17 Le cas du lit mobile vrai

Dans une perspective d'évolution, le Lit Mobile Simulé ne peut se restreindre qu'à la partie séparation. L'objectif est d'accroître la productivité de cet appareil. Dans ce contexte une nouvelle contradiction peut être formulée et l'objectif est caractérisé par le paramètre 44 (productivité). Cette évolution peut être associée à la Distillation Réactive. Cette solution consiste à mettre au sein du même appareil une zone où les espèces chimiques sont séparées et une zone où se produit une réaction chimique. Effectivement avant cette solution, ces deux étapes étaient concomitantes : tout d'abord la réaction avait lieu pour synthétiser les nouveaux produits. Cette phase de réaction était suivie d'une phase de séparation pour purifier les constituants (cette technique de distillation réactive ne peut avoir lieu systématiquement, il faut que la synthèse et la séparation s'y prête).

L'adaptation de cette solution au cas du Lit Mobile Simulé est relativement triviale. En effet, la phase solide peut servir de catalyseur dans certaines parties afin de réaliser la réaction. Dans les autres parties, elle garde son rôle initial pour la séparation. Au final, l'appareil contient à la fois une partie de séparation et une partie de réaction mais il est composé de huit zones différentes au lieu de quatre. Cet appareil se nomme le Lit Mobile Simulé Réactif.

7. Conclusions

Après l'introduction des cas dans la base et à l'emploi de cette base sur certains exemples, il est possible d'en tirer les conclusions suivantes :

- Il est nécessaire de former l'utilisateur futur aux concepts et outils de TRIZ avec comme but l'amélioration de la capacité à résoudre un problème inventif. L'annexe 2 de ce manuscrit, a été conçue avec cet objectif.

- Il est bien possible de stocker les solutions inventives et de les réutiliser dans des situations similaires. Également, il est possible de stocker dans un cas les suggestions offertes par l'utilisateur, les descriptions des problèmes rencontrés, ainsi que les liens vers les documents utilisés pendant la création d'une solution.
- L'identification de la contradiction à résoudre est une étape [SHO 05] qui doit être assistée. Souvent un problème peut être défini avec des contradictions différentes et parfois elles ne sont pas triviales, ce qui rend difficile la mise en œuvre du processus au cœur de la synergie TRIZ-RàPC. La procédure mise en pratique par Dubois [DUB 04] et l'outil nommé Root Conflict Analysis peuvent s'avérer très utiles dans de telles situations.
- Il faut créer un lien avec d'autres outils de TRIZ, selon l'étape de résolution dans le processus TRIZ-RàPC. Par exemple, conseiller l'emploi des outils pour briser l'inertie psychologique pendant l'analyse d'un cas, afin de réduire la rigidité que produisent certains cas sur l'utilisateur.
- Le mécanisme doit être amélioré. Le modèle présenté dans ce chapitre a laissé la responsabilité de l'adaptation d'un cas à l'utilisateur. Alors il faut mettre en place un processus d'adaptation pour les cas contenus dans la base et pour l'adaptation des 40 principes lors de la résolution d'une contradiction.
- L'approche TRIZ-RàPC est capable, par le biais de la connexion entre le résultat idéal final, la matrice de résolution des contradictions et l'analyse des ressources disponibles dans le système, de proposer des solutions nouvelles et d'encourager la création de concepts nouveaux.

Conclusions générales et perspectives

Conclusions générales et perspectives

Le développement d'une méthodologie d'application des outils de TRIZ

L'équipe de Génie Industriel du laboratoire de génie chimique a commencé en 1998 un projet de recherche sur la théorie TRIZ. La première étape de ce projet fut l'appropriation de la théorie TRIZ au travers de la thèse de Córdova Lopez [COL 02]. Ces travaux ont abouti à la création d'une méthodologie pour l'application de certains outils de la théorie TRIZ.

La mise en œuvre de cette méthodologie sur un exemple industriel a fait resurgir un inconvénient majeur lié à TRIZ : l'obligation de redéployer l'ensemble de la méthodologie lorsqu'un nouveau problème surgit. C'est à partir de ce constat que les objectifs de ce travail ont été fixés : ajouter une mémoire pour capitaliser la connaissance déployée durant la résolution d'un problème et réduire le temps de génération de produits innovants.

Les objectifs étant établis, il est clairement visible que deux axes majeurs se dégagent : l'innovation et la connaissance. Dans un premier temps, ce travail s'est focalisé sur les différents modèles de l'innovation et sur les heuristiques pour la génération d'idées et la résolution de problèmes. Bien que très utilisées, l'analyse de ces heuristiques met en évidence un inconvénient commun : l'espace des solutions est exploré aléatoirement. Certes certaines d'entre elles, essaient de structurer l'exploration toutefois l'aléatoire est toujours présent, avec pour conséquence d'être consommateur de temps et d'argent. De plus, les solutions trouvées avec ces heuristiques sont souvent faites de compromis ce qui limite fortement leur degré d'innovation.

Théorie refusant le compromis, TRIZ oriente la réflexion vers des solutions innovantes, tout en minimisant l'exploration aléatoire de l'espace des solutions. Cette théorie particulièrement efficace, systématise l'innovation et améliore le processus de réflexion. TRIZ tire son avantage majeur de la transdisciplinarité des domaines techniques. Cette transdisciplinarité provient des fondements de cette théorie qui repose, entre autres, sur une vaste analyse de brevets. Théorie en perpétuelle évolution, à l'heure actuelle TRIZ comprend de nombreux concepts et outils dont plusieurs basés sur la connaissance extraite des brevets et de la littérature scientifique.

Loin d'être la théorie idéale, TRIZ ne fournit pas une solution « prête à l'emploi », elle guide la réflexion vers des solutions potentielles. Il reste un effort créatif à réaliser pour transformer ces directions de recherche en une solution. Au final, TRIZ hisse la créativité à un niveau supérieur. De plus grâce à TRIZ, tout individu peut proposer un concept innovant. Cependant TRIZ possède un inconvénient majeur : lorsqu'un nouveau problème apparaît il faut déployer l'ensemble de la théorie. Ce déploiement a pour conséquence d'être consommateur en énergie et surtout il ne tient pas compte des expériences et connaissances acquises.

La capitalisation des connaissances, est le second objectif de ce travail. La première étape de cette partie a consisté à dresser un état de l'art des méthodes et outils pour la capitalisation des connaissances. Suite à leur analyse, le raisonnement à partir de cas (RàPC) est apparu comme l'outil le plus adapté aux objectifs de ce travail (pour les raisons évoquées dans les chapitres 3 et 4). Malgré ces avantages indéniables, le RàPC possède des limites par rapport aux objectifs visés, dont les deux principales sont : la spécificité à un domaine (qui est son point fort dans une utilisation normale), la difficulté de proposition de solution lorsque le problème initial ou problème cible ne possède de cas similaire (surtout que l'étape d'adaptation n'est pas abordée dans ce travail, elle fait partie des perspectives).

Vu les objectifs et après l'analyse des outils spécifiques aux deux axes majeurs, il est intéressant de noter la complémentarité entre TRIZ et le RàPC. Cette complémentarité est exploitée dans le modèle proposé où TRIZ offre la structure et les outils pour développer la créativité et le RàPC l'outil pour capitaliser et réutiliser les connaissances.

L'originalité de ce modèle est d'utiliser un des outils existant de TRIZ, la matrice des contradictions techniques comme point central afin d'éviter la création d'un outil supplémentaire. Les points forts de ce modèle s'inscrivent à plusieurs niveaux :

- 1) Affinité cognitive : les exemples proposés sont facilement compréhensibles par l'utilisateur, grâce au raisonnement analogique inhérent à TRIZ et au RàPC.
- 2) L'apprentissage à long terme : l'apprentissage est le résultat d'une connexion entre la pensée par analogies et la mémorisation.
- 3) La capitalisation des connaissances : le modèle TRIZ-RàPC est capable d'offrir une structure qui permet de guider la pensée créatrice pendant la résolution d'un problème et, en même temps de fournir les éléments nécessaires pour capturer, stocker et réutiliser la connaissance produite pendant ce processus.

Enfin, la dernière partie de ce manuscrit, décrit dans un premier temps l'implémentation de ce modèle dans un outil dédié. Cette partie aborde également les améliorations apportées de façon à rendre cet outil opérationnel. Avant d'illustrer l'ensemble de l'étude au travers d'exemples, il a fallu implémenter la base de cas : condition sine qua non pour que l'outil fonctionne. Une analyse détaillée d'une centaine de brevets a permis d'alimenter cette base. Deux exemples ont été retenus pour présenter l'outil. Le premier, emprunté au génie des procédés, concerne le lit mobile simulé. Il permet de montrer la démarche générale que doit adopter un utilisateur lorsqu'il est confronté à un problème.

Le modèle conceptuel présenté dans ce travail constitue la première étape vers un outil d'aide à la conception innovante. L'outil présenté n'est qu'un point de départ et il ouvre de nombreuses voies et perspectives d'évolution.

Perspectives

- La phase d'identification du problème est, comme dans d'autres méthodologies, l'étape la plus délicate. Dans TRIZ, l'identification de la contradiction n'est pas une tâche facile, elle demande parfois une analyse poussée et beaucoup d'effort, qui se traduit malgré cela « *par une durée réduite de génération des concepts de solution et par un nombre restreint de solutions générées* » [DUB 04] et donc, par la réduction de l'effort de conception. Plusieurs travaux ont abordé cette question, ainsi il semble logique de proposer leur intégration dans la première étape de l'approche TRIZ-RàPC.

Dans cette optique, les travaux de Dubois sur la constitution d'une ontologie de la formulation des problèmes, selon les cadres de la TRIZ et l'opérationnalisation de cette ontologie peuvent se révéler très prometteuses.

Une autre approche, celle développée par Shuskov [SHO 05] pour structurer et visualiser les contradictions (RCA+) apparaît comme une des voies à suivre.

- L'approche TRIZ-RàPC ne considère pas toutes les étapes du processus de résolution du RàPC, celle de l'adaptation a été laissée à la responsabilité et à l'expérience de l'utilisateur. Par conséquent, il est important de développer ou d'adapter les outils de TRIZ afin d'assister cette phase. Cela implique la création d'un logiciel capable de guider l'utilisateur dans l'identification du problème à résoudre et basé sur cette analyse, de proposer les outils nécessaires à sa résolution.

Par exemple, un des objectifs de l'implémentation de la phase d'adaptation est d'assister l'utilisateur dès l'identification du problème jusqu'au pré-dimensionnement d'un appareil dans le domaine de génie des procédés.

Pour satisfaire la phase d'adaptation, l'approche développée par Carbonell [CAR 86] brièvement décrite dans le chapitre 4 de ce manuscrit, s'avère très intéressante. Dans celle-ci, la résolution d'un problème suit une concaténation des étapes menant vers un raisonnement et à une proposition de solution. Chaque étape est mémorisée avec les justifications des décisions prises, ainsi que les pointeurs vers la connaissance utilisée lors de la résolution.

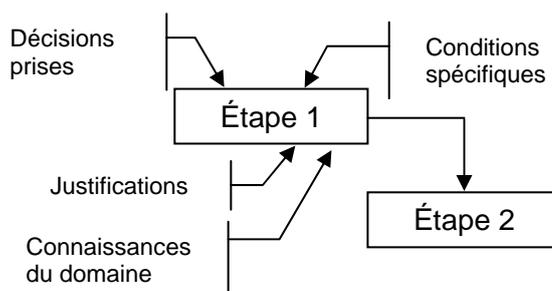


Figure 2. Le passage d'une étape vers la suivante

De ce fait, la résolution d'un nouveau cas peut être abordée à partir des raisonnements contenus dans la base de cas. La résolution est donc divisée en étapes, et le passage d'une étape vers la suivante, doit être d'abord validé par rapport aux conditions qui ont conduit à cet état. Si les conditions ne sont pas valables, alors il faut chercher une autre étape similaire à celle du problème à résoudre. Cette fragmentation permet à notre avis, de combiner les étapes de plusieurs problèmes et donc, de transformer un problème afin d'arriver à un concept de solution efficace.

- Encore dans la perspective d'implémentation de la phase d'adaptation du cycle du RàPC, il semble intéressant de créer une interface avec les logiciels de TRIZ existants sur le marché, afin de tirer bénéfice des bases de données et de brevets disponibles. Cela permettra la possibilité d'envisager une nouvelle façon d'assister l'utilisateur durant l'adaptation ou la création d'une nouvelle solution.
- L'ajout d'autres outils de TRIZ doit être envisagé selon la complexité du problème. Dans l'approche TRIZ-RàPC, trois outils essentiels ont été directement employés : le RIF, les 48 paramètres génériques et les 40 principes de résolution (même si ces deux derniers sont contenus dans la matrice de résolution des contradictions). Néanmoins, il est nécessaire d'apporter des outils de modélisation et de résolution plus performants et adaptés à chaque étape de résolution. Par exemple, lorsque l'évaluation d'une solution n'est pas satisfaisante et la cause de cela n'est pas bien définie, l'emploi de la détermination anticipée de défaillances (DAD) peut apporter les éléments pour analyser et déterminer la cause de cette insatisfaction. Le même outil peut être utilisé afin de prévoir les possibles défaillances de la solution, les risques existants et la manière de réduire l'impact de ces facteurs.

Les outils pour briser l'inertie psychologique doivent être considérés à chaque étape de la résolution. Cela est nécessaire afin d'encourager la créativité et permettre à l'utilisateur, d'avoir un regard différent sur les conditions menant au problème, sur les contraintes et sur l'analyse des voies de solution.

- Le processus de résolution présenté dans la figure 4.11 du chapitre 4 de ce manuscrit, met en évidence une multitude de contradictions qu'il faut analyser et essayer de résoudre :
 - La capitalisation et gestion des connaissances doivent être collectives et individuelles. En même temps, elles doivent être localisées et réparties dans l'organisation. Même si cette contradiction a été résolue dans le temps (i.e. par l'emploi d'intranets et d'internet et par une autre multitude de technologies de l'information et de la communication), la résolution des problèmes complexes nécessite des outils plus adaptés.
 - La confidentialité des cas représente aussi une contradiction car l'information contenue dans chaque cas, doit être consultée librement et en même temps rester confidentielle. Les critères de confidentialité n'ont pas été abordés dans ce manuscrit mais ils devront être établis lors de l'évolution du modèle TRIZ-RàPC.
 - Le contenu de la base de cas est aussi une contradiction car il est supposé que l'ajout des cas dans la base, a un impact positif sur la performance globale du système. Cependant une mémoire avec une quantité importante de cas, a pour conséquence une augmentation du temps de recherche et de comparaison des cas. Cela, affecte négativement la performance du système lors de la résolution d'un problème. Par conséquent, il faut définir un processus de maintenance de la base de cas et une analyse poussée afin de déterminer des critères de mémorisation plus efficaces.
 - Lors de la résolution de problèmes, une contradiction physique se révèle : la connaissance doit être générale pour aborder n'importe quel problème et spécifique pour réduire le temps d'élaboration d'une solution. C'est-à-dire, la connaissance doit être générale et spécifique en même temps. Le modèle TRIZ-RàPC offre une solution pour cette contradiction par l'utilisation du principe de séparation dans le temps. D'abord, lorsque le besoin de connaissance générale se manifeste, cette dernière est contenue dans la matrice des contradictions techniques puis, lorsqu'une solution doit être proposée, une recherche à l'intérieur de chaque cellule de la matrice contenant de la connaissance spécifique est lancée.
 - Concernant la créativité, elle doit être libre de suivre plusieurs voies et dirigée, afin de produire une solution cohérente avec l'évolution d'un système. Encore une fois, TRIZ peut apporter une solution par le biais des lois et modèles d'évolution. Par conséquent, l'intégration de ces modèles au cœur de la démarche qui a été proposée, doit être envisagée.

Ces contradictions et d'autres qui sûrement seront mises en évidence lors de l'amélioration du modèle TRIZ-RàPC, offrent un champ de réflexion et d'action, pour lequel la théorie TRIZ semble être l'outil idéal de résolution.

Bibliographie

Bibliographie

- [A&P 94] AAMODT A. et PLAZA E; "Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches", 1994, AI Communications. IOS Press, Vol. 7: 1, pp. 39-59.
- [AAM 95] AAMODT, A., « Knowledge Acquisition and Learning by Experience The Role of Case-Specific Knowledge », 1995, Machine Learning and Knowledge Acquisition; Integrated Approaches, Academic Press, Ch. 8, 99 197-245
- [ABE 02] ABDULLAH M. S., BENEST I., EVANS A., KIMBLE C., « Knowledge Modelling Techniques for Developing Knowledge Management Systems », 2002, 3rd European Conference on Knowledge Management, Dublin, Ireland.
- [ALT 01] ALTSHULLER G., « 40 Principles: TRIZ Keys to Technical Innovation », TRIZ Tools, Volume I, 2001 (second printing), Technical Innovation Center.
- [ALT 02] ALTSHULLER G., « Et soudain apparut l'inventeur », 2002, Éditeur : Avraam Seredinski.
- [ALT 99] ALTSHULLER G., « The Innovation Algorithm », 1999. Technical Innovation Center.
- [AMI 97] AMIDON Debra, « Innovation et management de connaissances », 1997, Editions d'Organisation.
- [B&B 03] BYRD J. et BROWN P., "The Innovation Equation. Building Creativity and Risk Taking in Your Organization", 2003, Publié par Jossey-Bass /Pfeiffer 2003.
- [B&V 01] BARTHELME-TRAPP F. et VINCENT B., "Analyse comparée de méthodes de Gestion des connaissances pour une approche managériale », 2001, Xème Conférence de l'Association Internationale de Management Stratégique.
- [BEA 94] BEAUBOUCHER N., "Anaïs : Raisonnement à Partir de Cas en Résolution de Problèmes », 1994, Thèse de doctorat à l'Université de Paris VI.
- [BEL 99] BELSKI I., « Solving Problems With Method of the Ideal Result », 1999, The TRIZ journal.
- [BER 00] BERNARD A., DEGLIN A., "Knowledge-based environment for the generation of rapid product development processes", 2000, International Journal of Manufacturing Science and Production, 2000, Vol 3 : 2-4, pp 167-173.
- [BUK 03] Brainstorming UK, « dans la définition de Brainstorming », 2003 dans www.brainstorming.co.uk
- [C&D 00] CHOULIER D., et DRAGHICI G., « TRIZ : une approche de résolution des problèmes d'innovation dans la conception de produits », 2000, http://www.mec.utt.ro/~draghici/draghici_mef00.pdf
- [C&K 02] CHEN Eric L. et KAI-LING HO Kathryn, « Demystifying Innovation », 2002,

- Cap Gemini Ernest & Young Center for Business Innovation.
- [C&L 98] CAVALLUCCI D. and LUTZ P., "Beyond TRIZ Limits", 1998, The TRIZ Journal.
 - [C&T 00] CHRISTENSEN C. A., and TAN A., « Developing Ideas for Innovative Products », , 2000 Masters Thesis Project, Technical University of Denmark, DTU.
 - [CAL 00] CALCIU M., « Modèles et systèmes d'aide à la décision en marketing pour les managers », 2000, Mémoire en vue de l'obtention de l'habilitation à diriger des recherches en sciences de gestion , Lille. Disponible dans : http://claree.univ-lille1.fr/~calciu/hdr/1_2/sad.html
 - [CAM 02] CAMPBELL B., "If TRIZ is such a good idea, why isn't everyone using it?", 2002, The TRIZ Journal.
 - [CAR 86] CARBONELL J., "Derivational Analogie, a theory of reconstructive problem solving and expertise acquisition", 1986, Machine Learning, An Artificial Intelligence Approach, Vol. 2, pp. 371 – 391. Morgan Kaufmann.
 - [CAV 97] CAVALLUCCI D., LUTZ P., « TRIZ, un concept nouveau de résolution des problèmes d'innovation », 1997. Deuxième Congrès International Franco-Québécois de Génie Industriel - ALBI 1997
 - [CAV 99] CAVALLUCCI D., « Contribution a la conception de nouveaux systèmes mécaniques par intégration méthodologique », 1999, Thèse doctorale à Strasbourg 1.
 - [CAV 99A] CAVALLUCCI D., « TRIZ : l'approche Altshullérienne de la créativité », 1999, Techniques de l'Ingénieur A 5 211.
 - [CCF 06] Comité des Constructeurs Français d'Automobiles, « Production Mondiale De Véhicules », 2006, disponible sur www.ccf.fr
 - [CEN 04] COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION, CWA 14924-5:2004 E, « European Guide to good Practice in Knowledge Management - Part 5: KM Terminology » 2004, et CWA 14924-1:2004 E, « European Guide to good Practice in Knowledge Management – Part 1: Knowledge Management Framework » 2004.
 - [CKF 05] CHANGQING G., KEZHENG H., FEI M., "Comparison of Innovation Methodologies and TRIZ", 2005, The TRIZ Journal.
 - [CLA 00] CLARKE D., « Inventive Troubleshooting », 2000, Machine Design, Penton Media Inc. ISSN 024 -9114, pp 78 – 80.
 - [COL 02] CORDOVA LOPEZ E., "Contribution à une approche méthodologique du processus d'innovation: application de la théorie TRIZ aux systèmes produit – procédé – processus », 2002, Thèse de Doctorat à l'INPT.

- [COR 03] CORTES ROBLES G., « Gestion de l'innovation : application de la théorie TRIZ », 2003, Mémoire de DEA Systèmes Industriels, INPT-ENSIACET-LGC.
- [COR 04] CORTES ROBLES, G., NEGNY S. et LE LANN J.M., "Knowledge Management and TRIZ: A Model for Knowledge Capitalization and Innovation", 2004, The European TRIZ Association World Conference: TRIZ Future 2004, Florence, It.
- [COR 05] CORTES ROBLES, G., NEGNY S. et LE LANN J.M., « Innovation and Knowledge Management: TRIZ at the Core of the Knowledge Creation Process », 2005, ETRIA World Conference TRIZ Future 2005, Graz, Au.
- [CRU 02] CRUBLEAU Pascal, « L'identification des Futures Générations de Produits Industriels. Proposition d'une Démarche Utilisant les Lois d'Evolution de TRIZ », 2002, Thèse doctorale à L'Université d'Angers.
- [CRW 97] Creativity Web Resources for Creativity and Innovation, Syntectics, 1997, the Creativity Web site.
- [CUN 98] CUNNINGHAM P., "CBR: Strengths and Weaknesses", 1998, the 11th International Conference on Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems.
- [D&P 00] DAVENPORT T. et PRUSAK, L., « Working Knowledge: How Organizations Manage What they Know » 2000, Boston, MA: Harvard Business School Press.
- [D&R 02] DOMB E., et RANTANEN K., "Simplified TRIZ, New Problem-Solving Applications for Engineers and Manufacturing Professionals", 2002, St. Lucie Press
- [DAL 99] DAL PONT Jean-Pierre, « L'entreprise Industrielle », 1999, Techniques de l'ingénieur, AG10 Vol. AG 10-1.
- [DBE 04] DE BONO, Edward, « La boîte à outils de la créativité », 2004, traduit par Laurence Nicolaïeff ; Paris Ed. d'Organisation.
- [DBI 99] DUBITZKY W., BÜCHNER A. G., AZUAJE F. J., "Viewing Knowledge Management as a case-Based Reasoning Application". 1999, Exploring Synergies of Knowledge Management & Case-Based Reasoning. Papers from the AAI Workshop, Technical Report WS-99-10 pp -27, AAI Press.
- [DEC 99] DE CARVALHO M. et BACK, N., "TRIZ Methodology and its Use in Systematic Engineering Design", 1999, Congrès Brésilien d'Ingénierie Mécanique, Aguas de Lindoia, Brazil.
- [DEL 04] DELOULE F., CHANAL V. et RIEU C., « Comment Capitaliser les Idées Émergentes dans les Projets d'Innovation », 2004, Colloque I.P.I. 2004,

- Information, Compétences et Connaissances dans les systèmes productifs, Autrans, Fr.
- [DOG 99] DODGSON Mark « Systemic Integration of the Innovation Process within the firm », 1999, Australia Asia Management Centre, Australian National University.
 - [DOM 97] DOMB Ellen, « The Ideal Final Result: Tutorial », 1997, The TRIZ Journal.
 - [DOM 98] DOMB Ellen, « QFD and TIPS/TRIZ », 1998, The TRIZ Journal.
 - [DOM 98A] DOMB Ellen, « Using the Ideal Final Result to Define the Problem to Be Solved », 1998, The TRIZ Journal.
 - [DOM 98B] DOMB Ellen, « The 39 Features of Altshuller's Contradiction Matrix », 1998, The TRIZ Journal.
 - [DRU 93] DRUCKER, P., "Post Capitalist Society", 1993, Harper & Row, New York, NY.
 - [DTM 99] DOMB E., TERNINKO J., MILLER J., MAcGRAN E., « The Seventy-Six Standard Solutions: How They Relate to the 40 Principles of Inventive Problem Solving », 1999, The TRIZ Journal web site.
 - [DUB 04] DUBOIS S., « Contribution à la Formulation des Problèmes en Conception de Systèmes Techniques. Étude basée sur la TRIZ », 2004, thèse de doctorat à l'Université Louis Pasteur – Strasbourg I.
 - [DUN 01] PHAN DŨNG, « My experiences with my teacher Genrikh Saulovich Altshuller », 2001, The TRIZ Journal web site.
 - [DUN 97] DUNG Phan « Dialectical Systems Thinking for Problem Solving and Decision Making », 1997, 7th International Conf. on Thinking, Singapore.
 - [E&L 95] ETZKOWITZ H. et LEYDESDORFF L., « The Triple Helix---University-Industry-Government Relations: A Laboratory for Knowledge Based Economic Development», 1995, disponible dans <http://users.fmg.uva.nl/lleydesdorff/list.htm>
 - [E&P 98] ECONOMOU D., et PANAGOPOULOS T., « Examining Scale-up and Computer Simulation in Tool Design for 300-mm Wafer Processing », 1998, Web Site de Micromazine.
 - [E&S 97] EVANGELISTA, SANDVEN, SIRILLI et SMITH, « Innovation expenditures in European industry », 1997, ISSN 0804-8185.
 - [ENG 05] ENSAM & TRIZ, « Historique de TRIZ », 2005 dans <http://www.angers.ensam.fr>
 - [ERM 96] ERMINE J.L., CHAILLOT M., BIGEON P., CHARRETON B., MALAVIEILLE D., « MKSM : Méthode pour la gestion des connaissances », 1996, Ingénierie des systèmes d'information, AFCET-Hermès, Vol. 4, n° 4, pp. 541-575

- [ERM 03] ERMINE J.L., "La gestion des connaissances", 2003, Lavoisier, Hermès Science Publications.
- [EUC 04] European Commission, Directorate-general for Enterprise, "Innovation Management and the Knowledge - Driven Economy", 2004, the European Commission, ECSC-EC-EAEC Brussels-Luxembourg.
- [FAL 90] FALKENHAINER B., " A Unified Approach to Explanation and Theory Formation", 1990, Computational Models of Scientific Discovery and Theory Formation, Ed. Morgan Kaufmann
- [FEY 01] FEY Victor « Glossary of TRIZ », 2001, The TRIZ Journal.
- [FRE 98] FRENKLACH Gregory, « Classifying the Technical Effects », 1998. The TRIZ Journal.
- [FUC 97] FUCHS B., « Représentation des Connaissances pour le Raisonnement à Partir de Cas : le système ROCADE », 1997, Thèse de doctorat à l'Université Jean Monnet de Saint-Etienne.
- [FUC 99] FUCHS B., LIEBER J., MILLE A., NAPOLI A., "Towards a unified theory of adaptation in CBR", 1999, Proceedings of the third International Conference on Case-based Reasoning, ICCBR-99, Lecture notes in Artificial Intelligence, Springer Verlag, Germany, 25-27 august.
- [G&B 02] GALLAGHER J. et BIERKER E., "Analogical Thinking: Bringing the Past; Present and Future into Relationship", 2002, disponible dans <http://www.collegetransitiongroup.com/>.
- [G&C 01] GARCIA R. et CALANTONE R., « A critical look at technological innovation typology and innovativeness terminology: a literature review », 2001, The Journal of Product Innovation Management.
- [G&S 98] GOEI Parveen et SINGH Nanua, « Creativity and Innovation in Durable Product Development », 1998, Elsevier Science.
- [GAI 94] GAILLARD F., « Sur la modélisation des connaissances et l'utilisation de bases de données objet en productique », 1994, Thèse de Doctorat à l'Université de Technologie de Compiègne.
- [GAR 93] GARVIN D., « Building a Learning Organization », 1993, Harvard Business Review, pp. 78-91
- [GER 95] GEROSKI P. A., "Innovation and Competitive Advantage", 1995, Organisation for Economic Co-operation and Development, Working Paper No. 159.
- [GIG 94] GIGET M., « L'innovation dans l'entreprise » A 4 010, 1994, Techniques de l'Ingénieur.
- [GIG 05] GIGET M. « l'innovation, de la découverte à la "synthèse créative" », 2005.

- Disponible sur <http://www.internetactu.net/?p=6031>,
- [GII 05] General Ideas, Inc., « Innovation management », 2005, <http://www.generalideasinc.com/>
 - [GOL 95] GOLEMAN D., "La Inteligencia emocional", 1995, Ediciones B México, S.A de C.V.
 - [GON 81] GONZALEZ Ma. Del Pilar, « La Educacion de la creatividad », 1981, Thèse doctorale à l'université de Barcelone.
 - [GRA 00] GRAY, Paul, « Knowledge Management Overview », 2000, Center for Research on Information Technology and Organizations, University of California.
 - [GRE 88] GREINER R., "Learning by Understanding Analogies", 1988, Artificial Intelligence, 35 pp 81 – 125.
 - [GRB 93] GRUBER, T., « A translation approach to portable ontologies », 1993, Knowledge Acquisition, 5(2):199-220, Academic Press. Disponible dans http://ksl-web.stanford.edu/KSL_Abstracts/KSL-92-71.html
 - [GRU 00] GRUNDSTEIN, Michel, « Le Management des Connaissances dans l'Entreprise Problématique, Axe de progrès, Orientations », 2000, Research Report # 050010 au sein du LAMSADE.
 - [GRU 02] GRUNDSTEIN, Michel, « Gameth : Un Cadre Directeur pour Repérer les Connaissances Cruciales pour l'Entreprise », 2002, Research Report 09, dans le site web www.mgconseil.fr
 - [GRU 02A] GRUNDSTEIN, Michel, 1er Colloque du groupe de travail Gestion des Compétences et des Connaissances en Génie Industriel. « Vers l'articulation entre Compétences et Connaissances », 2002, GCC-GI02 12-13 décembre 2002 – Nantes, France.
 - [GRU 03] GRUNDSTEIN, Michel, « De la Capitalisation des Connaissances au Management des Connaissances dans l'Entreprise, les Fondamentaux du Knowledge Management », 2003, dans le site web www.mgconseil.fr
 - [GRU 05] GRUNDSTEIN, Michel, « Vers un Modèle Global de Knowledge Management pour l'Entreprise (MGKME) », 2005, Research Report No. 11 Janvier 2005, disponible dans le site web www.mgconseil.fr
 - [GUI 96] GUIMBRETIERE P., « Joints homocinétiques », 1996, Techniques de l'ingénieur, dossier B5815.
 - [GUT 98] GURTEEN David, « Knowledge Management and Creativity », 1998, the Journal of Knowledge Management Volume 2, Number 1, September 1998
 - [H&A 03] HALL R. and ANDRIANI P., "Managing knowledge associated with innovation",

- 2003, Journal of Business Research 56 (2003) pp. 145– 152, Elsevier Ltd.
- [H&C 04] HANDZIC M. and CHAIMUNGKALANONT M., “Enhancing Organisational Creativity through Socialisation”, 2004, The Electronic Journal of Knowledge Management Volume 2 Issue 1, pp 57-64. Academic Conferences Ltd.
 - [H&E 96] HUBKA Vladimir et EDER Ernest, « Design Science, Introduction to the Needs, Scope and organization of the Engineering Design Knowledge », 1996, Springer.
 - [HAR 03] HARRINGTON Marie « The Power of Common Sense », 2003, The Kaizen Institute.
 - [HED 76] HEDBERG L., NYSTROM P. ET STARBUCK W., « Camping on Seesaws: Prescriptions for a Self-Designing Organization », 1976, Administrative Science Quarterly, volume 21, pp. 41-65.
 - [HOH 01] HOHMANN Christian, « Innovation de rupture contre innovation incrémentale », 2001, dans http://membres.lycos.fr/hconline/engineer_fr.htm
 - [HUG 98] HUGHES D., “A Comparison and Integration of the Osborn/Parnes and the Ideation/TRIZ Models For Innovation”, 1998, University of North Carolina. Disponible en <http://www.unc.edu/>
 - [I&L 00] IYENGAR S. et LEPPER, M., “When choice is demotivating: Can one desire too much of a good thing?”, 2000, Journal of Personality and Social Psychology, 79, 995-1006.
 - [IDE 06] IDEATION INTERNATIONAL, « History of TRIZ & I-TRIZ », 2006, disponible dans <http://www.ideationtriz.com>.
 - [IMA 98] IMAI Masaaki, « Gemba Kaizen, L’art de manager avec du bon sens », 1998, Editions JV&Ds.
 - [INM 05] INVENTION MACHINE, « What's New in TechOptimizer 4.0 », 2005, dans <http://www.invention-machine.com/>
 - [IRG 99] IDEATION RESEARCH GROUP, « TRIZ in Progress », 1999.
 - [J&H 03] JONG J., et HARTOG D., « Leadership as a determinant of innovative behaviour », 2003, SCALES (SCientific Analysis of Entrepreneurship and SMEs), ISBN: 90-371-0895-4.
 - [J&M 03] JEPPESEN L. et MOLIN M., « Consumers as Co-Developers, Learning and innovation outside the firm », 2003, Copenhagen Business School et Centre for Economic and Business Research.
 - [J&P 05] JANZ B. et PRASARNPHANICH P., « Understanding Knowledge Creation, Transfer, and Application: Investigating Cooperative, Autonomous Systems Development Teams », 2005, Proceedings of the 38th Hawaii International

- Conference on System Sciences.
- [JIM 00B] JIMENEZ CANDIA L., « The Altshuller's Contradiction Matrix in the Knowledge Creation of Innovation Case Study : The Honda City », 2000, The TRIZ Journal.
 - [JIM 00A] JIMENEZ CANDIA « Contribution à la mise en application de la méthode TRIZ, pour l'aide au développement des décisions liées aux processus innovants », Mémoire de DEA 2000 à L'ENSIACET-LGC.
 - [KMR 04] KASTER D., MEDEIROS C., ROCHA H., "Supporting modeling and problem solving from precedent experiences: the role of workflows and case-based reasoning", 2004, Environmental Modelling & Software, Volume 20, Issue 6, June 2005, Pages 689-704, Elsevier.
 - [K&R 86] KLINE S. and ROSENBERG N., "An Overview of the Process of Innovation", 1986, In Landau R, Rosenberg N. (Eds), "The Positive sum", Academy of Engineering Press.
 - [KOL 93] KOLODNER J. "Case-Based Reasoning", 1993, Morgan Kaufmann Publishers, Inc.
 - [KOW 96] KOWALICK J., « Tutorial: Use of Functional Analysis and Pruning, With TRIZ and ARIZ, to Solve "Impossible - to - Solve" Problems », 1996, The TRIZ Journal.
 - [KOW 97] KOWALICK J., « Altshuller's Greatest Discovery - And Beyond », 1997, The TRIZ Journal.
 - [KOW 99] KOWALICK J., « Problem-Solving and Other Antidotes for Psychological Inertia », 1999, The TRIZ Journal.
 - [KUN 01] DIENG-KUNTZ R., CORBY O., GANDON F., GIBOIN A., GOLEBIEWSKA J., MATTA N., RIBIÈRE M., « Méthodes et outils pour la gestion des connaissances : une approche pluridisciplinaire du knowledge management », 2001, 2^e éd. Paris, Dunod.
 - [L&P 97] LÓPEZ R. et PLAZA E., "Case-Based Reasoning : An Overview". 1997, AI Communications, IOS Press, Volume 10, Number 1, pp. 21-29(9)
 - [L&T 99] LOILIER T. et A. TELLIER, « Gestion de l'innovation », 1999, Editions Management Société.
 - [LAR 98] LAROUSSE, « Dictionnaire encyclopédique », 1998.
 - [LAT 03] LATOUR Bruno, « L'impossible métier de l'innovation technique », 2003, dans l'Encyclopédie de l'Innovation, Economica.
 - [LEA 96] LEAKE D, "Case-Based Reasoning: Experiences, Lessons, and Future Directions", 1996, Menlo Park AAAI Press/MIT Press
 - [LEN 99] LENZ M., « Case Retrieval Nets as a Model for Building Flexible Information

- Systems », 1999, Thèse de Doctorat à l'Université Humboldt, Berlin.
- [LER 04] LEON ROVIRA N., « Intégrer TRIZ à la Conception du Produit », 2004, Design Management Journal, Vol. 14 / No. 2
 - [LEO 95] LEONARD-BARTON, D., "The Wellsprings of Knowledge", 1995, Cambridge, MA: Harvard Business School Press.
 - [LEX 03] L'EXPANSION, « Leur Métier ? Butineur », 2003, numéro 679.
 - [LIA 00] LIAO T., ZHANG Z. et MOUNT C., "A case-based reasoning system for identifying failure mechanisms", 2000, Engineering Applications of Artificial Intelligence, Volume 13, Issue 2, 1 April, Pages 199-213; Elsevier.
 - [LIE 05] LIEBER J., « Notions de base et notations du raisonnement à partir de cas », 2005, Laboratoire Lorrain de Recherche en Informatique et ses Applications, disponible dans <http://www.loria.fr/~lieber/rapc.html>
 - [LIM 03] LIM D., « Modélisation du processus de conception centrée utilisateur, basée sur l'intégration des méthodes et outils de l'ergonomie cognitive : application a la conception d'IHM pour la télévision interactive », 2003, Thèse de Doctorat à l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers Centre de Paris.
 - [LMR 03] LIMAM MANSAR S., MARIR F., and REIJERS H., "Case-Based Reasoning as a Technique for Knowledge Management in Business Process Redesign", 2003, Academic Conferences Limited. Electronic Journal on Knowledge Management, Volume 1 Issue 2 (2003) 113-124
 - [LIT 04] LITVIN S. «New TRIZ Based Tool – Function-Oriented Search (FOS) », 2004. Proceedings of TRIZ Future Conference. Firenze University Press.
 - [LON 04] LONCHAMPT P., « Co-évolution et processus de conception intégrée de produits : Modèle et support de l'activité de conception », 2004, Thèse de doctorat à l'Institut National Polytechnique De Grenoble.
 - [MAC 98] MARCONI Janice « ARIZ : The Algorithm for Inventive Problem Solving. An Americanized Learning Framework », 1998, The TRIZ Journal.
 - [MAL 00] MALHOTRA Y., "Knowledge Management & New Organization Forms: A Framework for Business Model Innovation", 2000, Information Resources Management Journal , 13 (1), 5-14, 2000.
 - [M&S 00] MANN D. and STRATTON R., "Physical Contradictions and Evaporating Clouds", 2000, The TRIZ Journal.
 - [MAN 02a] MANN D., "Assessing the Accuracy of the Contradiction Matrix for Recent Mechanical Inventions", 2002, the TRIZ Journal.
 - [MAN 02b] MANN D., "Hands-on Systematic Innovation", 2002, CREAX Press, Belgium.
 - [MAN 03] MANN D., « Better Technology Forecasting Using Systematic Innovation

- Methods », 2003, Science Direct.
- [MAN 04A] MANN D., « Practical Application of the TIPS Theory : From Tea-Bags To Air-Bags And Beyond », 2004, Ideal Final Result Consultants Ltd.
 - [MAN 04B] MANN D., « Comparing The Classical and New Contradiction Matrix Part 2- Zooming In », 2004, the TRIZ Journal.
 - [MAN 99] MANN D., « Using S-Curves and Trends of Evolution in R&D Strategy Planning », 1999. The TRIZ Journal.
 - [MAR 03] MARTINET A., « Stratégie et innovation », 2003, Encyclopédie de l'Innovation, Economica, 2003, page 27-48.
 - [MDZ 03] Mann D, Dewulf S, Zlotin B, Zusman A., "Matrix 2003, Updating the Contradiction Matrix". 2003, Library of Congress Cataloguing-in-Publication Data, 2003.
 - [MEH 02] MEHTA Michael D., "Nanoscience and Nanotechnology: Assessing the Nature of Innovation in These Fields". 2002, Bulletin of Science, Technology & Society, Vol. 22, No. 4, August 2002, 269-273, Sage Publications.
 - [MUS 90] MUSSELWHITE, W., "Time-based innovation: the new competitive advantage", 1990, Training & Development Journal, January, pp. 53-5.
 - [MYC 03] MYCOTED, « Creativity Techniques » dans <http://www.mycoted.com>
 - [MZR 03] MAZUR Glenn, « Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ) », 1996, dans <http://www.mazur.net/>
 - [N&K 98] NONAKA, I. et N. KONNO, « The Concept of ba: Building a Foundation for Knowledge Creation », 1998, California Management Review, 40-3, pp.40-54.
 - [N&P 04] NADEAU J.P. et PAILHES J., « Méthodes d'Aide à l'Innovation: MAL'IN », 2004, TREFLE, ENSAM Bordeaux.
 - [N&S 00] NIININEN P. et SAARINEN J. « Innovations and the Success of Firms », 2000, ISSN 1239-0259 VTT, Group for Technology Studies.
 - [N&T 97] NONAKA I. et TAKEUCHI H., « La connaissance créatrice. La dynamique de l'entreprise apprenante », 1997, traduit par De Boeck Université.
 - [NAK 01] NAKAGAWA Toru, « Introduction to TRIZ (Theory of Inventive Problem Solving): A Technological Philosophy for Creative Problem Solving », 2001, dans <http://www.osaka-gu.ac.jp/php/nakagawa/TRIZ/eTRIZ/>
 - [NAK 99] NAKAGAWA Toru « Report of A Personal Trip to TRIZ Mother Countries (Russia & Belarus, Aug. 1999) », 1999, The TRIZ Journal web site.
 - [OEC 95] Organisation For Economic Co-Operation And Development (OECD), « Oslo Manual » 1995. Voir aussi www.oecd.org
 - [OEC 96] Organisation de Coopération et de Développement Economiques,

- [OED 03] « l'Economie Fondée sur le Savoir », 1996, dans le site web www.oecd.org
- [OED 03] « Online Etymology Dictionary » étymologie du mot « innovation », 2003, dans <http://www.etymonline.com>
- [OIC 06] The International Organization of Motor Vehicle Manufacturers, "Statistics 2004", 2006, disponible sur www.oica.net
- [ORL 03] ORLOFF M., « Inventive Thinking Through TRIZ », 2003, Ed. Springer.
- [OTC 06] Organisme Technique Central, « Bilans annuels », 2006, disponible sur http://www.utac-otc.com/fr/ctvl/bilan_annuel.asp
- [OXF 04] Oxford Creativity, « 40 Inventive Principles with examples », 2004, dans le web site de Oxford Creativity.
- [Ö&A 98] ÖZTÜRK P., et AAMODT A., "A context model for knowledge-intensive case-based reasoning", 1998, Int. J. Human - Computer Studies, Vol 48, 331-355, Academic Press Limited.
- [P&S 03] PRESTWOOD Donna et SCHUMANN Paul, « Innovation Strategies », 2003, Glocal Vantage Inc. Disponible dans http://www.theinnovationroadmap.com/Travelogue/2003_12_01_archive.html
- [PAC 01] PACHULSKI A., « Le repérage des connaissances cruciales pour l'entreprise : Concepts, méthode et outils », 2001, thèse de doctorat à l'Université Paris IX.
- [PCI 03] « La créativité », définition du mot dans <http://perl.club-internet.fr/>
- [PIA 47] PIAGET J., « La Psychologie de l'Intelligence », 1947, Armand Colin, Paris.
- [PLS 96] PLSEK Paul E., « Models for the Creative Process », 1996, Directed Creativity.
- [PLY 66] POLANYI M., « The Tacit Dimension », 1966, Routledge & Kegan Paul Ltd, London.
- [POL 03] POLLARD Dave, « Cap Gemini On Measuring Innovation », 2003, publié dans <http://blogs.salon.com/0002007/2003/11/27.html#a534>.
- [PRO 90] PROBLEMISTICS « The Problem of Learning », 1990, Problemistics web site.
- [PRU 01] PRUSAK, L., « Where did knowledge management come from? », 2001, IBM Systems Journal, Vol 40, No 4, pp. 1002-1007.
- [QUE 00] QUEZADA RUIBAL Marie-Alice, « Le processus de conception de nouveaux produits dans l'industrie biotechnologique: Le cas de CIBA-GEIGY », 2000, Thèse doctorale à l'Université Lumière Lyon 2.
- [R&A 98] LEON-ROVIRA N. et AGUAYO H., « A new Model of the Conceptual Design Process using QFD/FA/TRIZ », 1998, The TRIZ Journal.
- [R&R 03] RUCKES Martin et RØNDE Thomas, « Resting on Laurels: A Theory of Inertia in Organizations », 2003, University of Southern Denmark.
- [RCG 04] RESTREPO J; CHRISTIAANS H; GREEN W., "Give me an Example:

- Supporting the Creative Designer”, 2004, CADE2004 Web Proceedings of Computers in Art and Design Education Conference, Copenhagen Business School, Denmark and Malmö University, Sweden, 29 June – 1 July 2004.
- [RLF 04] RENAUD J., LEFEBVRE A., and FONTEIX C., “Improvement of the Design Process through Knowledge Capitalization: An Approach by Know-how Mapping”, 2004, Concurrent Engineering: Research and Applications Volume 12 Number 1 March 2004.
 - [ROT 92] ROTHWELL R. “Successful industrial innovation: critical factors for the 1990s”, 1992, R&D Management, 22(3) (1992) 221-239.
 - [RYZ 93] ROYZEN Zinovy, « Application TRIZ in Value Management and Quality Improvement », 1993, TRIZ Consulting, dans www.trizconsulting.com
 - [RYZ 97] ROYZEN Zinovy, « Solving Contradictions in Development of New Generation Products Using TRIZ », 1997, The TRIZ Journal.
 - [S&K 01] SCHOOF, KLEIJN, VAN DER AKKER, OOSTERLAKEN, TERHORST et HUUSSSEN « Simulation and Validation of SiO₂ – LPCVD From TEOS in a vertical mm multi wafer reactor », 2001, Delft University of Technology.
 - [S&S 01] SANTOSUS, M. et SURMACZ, J., « The ABCs of Knowledge Management », 2001, Knowledge Management Research Center dans <http://www.cio.com/>
 - [SAL 99] SALAMATOV Yuri, « TRIZ: The Right Solution at The Right Time », 1999, Insytec BV
 - [SAV 00] SAVRANSKY S. D., « Engineering of Creativity: Introduction to TRIZ Methodology of Inventive Problem Solving », 2000, CRC Press.
 - [SAV 99] SAVRANSKY S. D., « Lesson 4 Contradictions », 1999, The TRIZ Journal.
 - [SCH 03] SCHWEIZER P., “Problem Solving With TRIZ: Historical Perspectives and Understanding Ideality”, 2003, Small Business Advancement National Center - University of Central Arkansas, Marketing Management Association. Disponible dans <http://www.sbaer.uca.edu/research/mma/2003/toc.pdf>
 - [SHE 03] SHERIDAN John H., « Guru’s view of the gemba », 2004 dans <http://www.kaizen-institute.com/>.
 - [SHO 05] SHOUSKOV V., « Root Conflict Analysis (RCA+): Structuring and Visualization of Contradictions », 2003, TRIZ Future 2005 ETRIA Conference.
 - [SHU 99] SHULYAK Lev, « Introduction to TRIZ », Publié dans le Web dans www.triz.org
 - [SCB 03] SIFONIS C., CHEN F., and BOMMARITO D., “Analogy as a Tool to Enhance Innovative Problem Solving”, 2003, Proceedings of the 25th Annual Meeting of the Cognitive Science Society, Boston MA.
 - [SKY 98] SKYRME David J., « Creativity Is Not Innovation », 1998 dans

- <http://www.skyrme.com>
- [SMI 05] SMITH H., "What Innovation Is? How Companies Develop Operating Systems for Innovation", 2004, European Office of Technology and Innovation, disponible dans www.csc.com
 - [SMI 05A] SMITH H., "The Innovator is a Problem Solver", 2005, Computer Sciences Corporation World april – june 2005. Disponible dans www.csc.com
 - [S&K 96] SMYTH B. and KEANE M., "Design à la Déjà Vu, Reducing the Adaptation Overhead", 1996, Case-Based Reasoning: Experiences, Lessons and Future Directions, MIT Press.
 - [SMW 94] SUSHKOV V., MARS N. et WOGNUM P., « Introduction to TIPS: a Theory for Creative Design », 1994, Elsevier Science Limited.
 - [SNK 82] SCHANK R., "Dynamic Memory: A Theory of Learning in Computers and people", 1982, Cambridge University Press.
 - [SCH 35] SCHUMPETER J., « Théorie de l'évolution économique », 1935, Paris, Dalloz.
 - [STE 04] STENMARK Dick « The Mindpool Hybrid: Theorising a New Angle on EBS and Suggestion Systems » 2004, Volvo Information Technology.
 - [SVE 97] SVEIBY K., "The New Organizational Wealth: Managing and Measuring Knowledge-based Assets", 1997, Barrett-Koehler Publishers.
 - [T&D 97] TATE Karen et DOMB Ellen, « 40 Inventive Principles With Examples », 1997, The TRIZ Journal.
 - [T&N 96] TATE Derrick et NORDLUND Mats « A Design Process Roadmap as a General Tool for Structuring and Supporting Design Activities », 1996, Proceedings of the Second World Conference on Integrated Design and Process Technology (IDPT-Vol. 3), Society for Design and Process Science, Austin, TX.
 - [T&V 02] THOMKE Stefan et VON HIPPEL Eric, « Customers as Innovators : A New Way to Create Value », 2002, Harvard Business Review.
 - [TDM 00] TERNINKO John, DOMB Ellen et MILLER Joe « The Seventy-six Standard Solutions, with Examples » Section One, Class 2, 3, 4, et 5, 2000, The TRIZ Journal.
 - [TER 96] TERNINKO John, « TRIZ/QFD Synergy Results in Customer Driven Innovation », 1996, Ideation International.
 - [TKR 02] TOUNKARA, Thierno, « Gestion des connaissances et Veille : vers un guide méthodologique pour améliorer la collecte d'informations », 2002, Thèse de doctorat à l'Université Paris IX.
 - [TOA 03] « The Talk. Origines archive Exploring the creation / evolution », 2003, The

- Origin of Species by Charles Darwin. Dans <http://www.talkorigins.org>
- [TOM 99] PETERS Tom, « L'innovation un cercle vertueux », 1999, Village Mondial.
 - [TRA 06] Transmissions, dans <http://pboursin.club.fr/pdgtrans.htm>.
 - [TSU 94] TSUCHIYA, Shigehisa, « A Study of Organizational Knowledge », 1994, International Symposium on the Management of Industrial and Corporate Knowledge (ISMICK 94).
 - [TZZ 98] TERNINKO John, ZUSMAN Alla et ZOTLIN Boris « Systematic Innovation: An Introduction to TRIZ ». 1998, St. Lucie Press.
 - [ULR 05] ULRICH K., "Unleashing Creativity", 2005, Scientific American Mind, Vol. 16 No.1, Scientific American Inc.
 - [UWM 05] WARFIELD, Terry at the University of Wisconsin-Madison, School of Business, dans <http://instruction.bus.wisc.edu/twarfield/>
 - [V&W 95] VERDUYN David M. et WU Alan « Integration of QFD, TRIZ, & Robust Design: Overview & "Mountain Bike" Case Study », 1995 dans ASI Total Product Development Symposium, Nov. 1-3, 1995, Dearborn, MI.
 - [VER 96] VERGNES Hugues, «Études expérimentales et modélisation du réacteur annulaire et de son modèle réduit », 1996, Thèse doctorale à l'INP. (LGC-ENSIACET-INP).
 - [VIN 53] VINACKE W., "The Psychology of Thinking", 1953, New York, McGraw Hill.
 - [WAL 03] WALLISCH Pascal « ARTIFICIAL CREATIVITY », 2003, University of Chicago. Disponible dans http://www.lascap.de/Downloads/ARTIFICIAL_CREATIVITY.pdf
 - [WAT 01] WATSON I., "Knowledge Management and Case-Based Reasoning: A Perfect Match?" 2001, Proceedings of the Fourteenth International Florida Artificial Intelligence Research Society conference, May 21-23, pp. 118-122 AAAI Press.
 - [WAT 97] WATSON I., "Applying Case-Based Reasoning: techniques for enterprise systems", 1997, Morgan Kaufmann Publishers, Inc.
 - [WER 45] WERTHEIMER M., "Productive Thinking", 1945, New York, Harper.
 - [W&K 94] WILL L. ET KOLODNER J., "Towards More Creative Case-Based Design Systems", 1994, Proceedings of AAAI-94, Seattle, WA.
 - [WRS 02] World Resources Institute, « Innovation for Sustainability », 2002, dans www.pathways.wri.org.
 - [Z&Z 04A] ZUSMAN Alla et ZLOTIN Boris « TRIZ Tutorial #2 : Overcoming Contradictions (No More Trade-Offs!) », 2004, Ideation International Inc. Web site.
 - [Z&Z 04B] ZUSMAN Alla et ZLOTIN Boris « TRIZ Tutorial #5 : Physical, Chemical And

- [Z&Z 91] Other Effects That Help Inventors», 2004, Ideation International Inc. Web site.
- [Z&Z 91] ZLOTIN Boris et ZUSMAN Alla, « Problems of ARIZ Enhancement », 1991, Ideation Research Group.
- [Z&Z 98A] ZLOTIN Boris et ZUSMAN Alla, « ARIZ on the Move », 1998, Ideation International, The TRIZ Journal.
- [Z&Z 99] ZLOTIN Boris et ZUSMAN Alla « Managing Innovation Knowledge: The Ideation Approach to the Search, Development, and Utilization of Innovation Knowledge », 1999, Ideation International.
- [ZUS 98] ZUSMAN Alla, « Overview of Creative Methods », 1998, Ideation International.

Annexes

Annexe 1

L'innovation incrémentale ou le concept d'amélioration continue

Résumé : cette annexe présente une des approches les plus utilisées pour la mise en œuvre d'un système d'amélioration continue.

L'innovation incrémentale : *Kaizen* ou le concept d'amélioration continue

Introduction

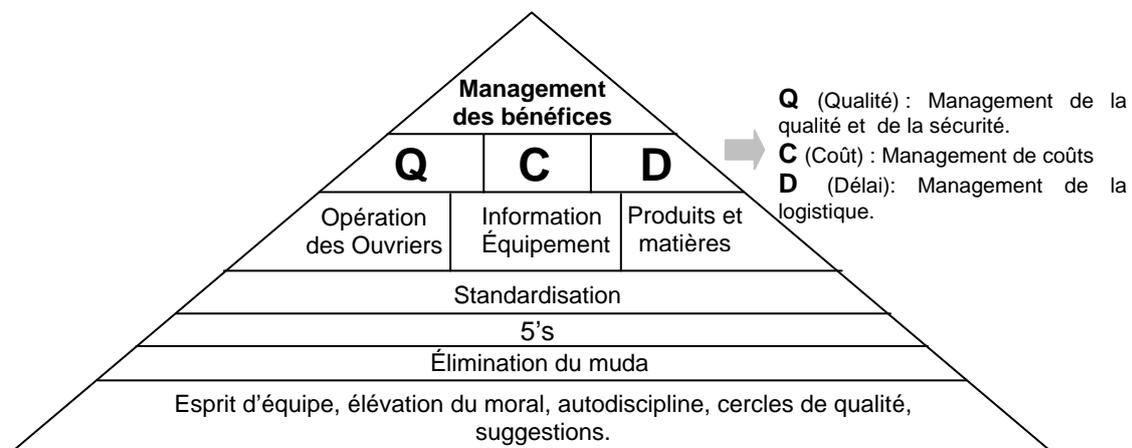
« Les idées pour la réorganisation, la réduction de coûts, la mise en place d'un nouveau système budgétaire, l'amélioration de la communication ou l'assemblage des produits pendant la fabrication, sont également des innovations. L'innovation est la génération, l'acceptation et l'implémentation de nouvelles idées, processus, produits ou services », [J&H 03]. Cette définition de l'innovation met l'accent sur l'amélioration sous différentes formes (soit la réorganisation, la réduction, etc.) au sein d'une compagnie et ce concept est le fondement de la philosophie de **Kaizen**.

Le mot **Kaizen** signifie en japonais « *Amélioration continue* », mais sa signification implique une amélioration faisant participer tout le monde dans une organisation, pour une dépense communément faible et de façon continue.

Kaizen stimule un mode de pensée orienté vers le processus, car pour améliorer les résultats, il faut améliorer le processus. De plus, kaizen se concentre sur les efforts humains pour améliorer le « **Gemba** » qui signifie en japonais « Le lieu réel », celui où l'action réelle à lieu. Le gemba dans une entreprise, c'est l'endroit où se déroulent les activités créatrices de valeur, dont l'objectif est la satisfaction du client.

Le mécanisme d'amélioration de kaizen est basé sur trois concepts de base :

- 1) L'application de l'outil 5's (l'art de bien gérer sa maison)
- 2) L'élimination du *muda*
- 3) La standardisation



Source : [IMA 98]

Figure1 Structure de management de Kaizen (gemba kaizen)

2 Les 5's

Les 5's sont des activités qui ne comprennent pas l'application d'une technologie et généralement leur coût est très réduit. Ce sont des activités basées sur le sens commun. Les cinq composantes des « 5's » sont [SHE 03]:

- 1) *Seiri* : distinguer ce qui est nécessaire de ce qui ne l'est pas au gemba, et se débarrasser de ce qui n'est pas absolument nécessaire.
- 2) *Seiton* : ranger de façon ordonnée tout ce qui reste après le seiri.
- 3) *Seiso* : conserver la propreté du gemba après le seiri et seiton.

- 4) *Seiketsu* : déployer en long et en large la notion de propreté et pratiquer continuellement les trois règles ci-dessus.
- 5) *Shitsuke* : faire une habitude de l'engagement aux « 5's »

3 L'élimination du *muda*

Muda est le mot japonais pour « gaspillage », mais ce mot intègre de plus vastes connotations ; n'importe quelle activité ne créant pas de valeur ajoutée doit être considérée comme *muda*. Idéalement au sein de *gemba*, toute activité doit créer de la valeur et ce concept s'applique aux ressources humaines et matérielles. Depuis le point de vue de kaizen, l'élimination du *muda* est la façon la plus efficace d'améliorer la productivité et de réduire les coûts de fonctionnement. Pour kaizen, l'élimination du *muda* est plus importante que la création de valeur ajoutée. Selon kaizen, il y a huit types de *muda* [HAR 03] :

A) Muda de la surproduction	B) Muda du traitement
C) Muda du stockage	D) Muda de l'attente
E) Muda des rejets	F) Muda du transport
G) Muda du déplacement	H) Muda de temps

Tableau 1 Les différents types de *muda*

4 La standardisation

Les standards au *gemba* traduisent les exigences technologiques et de conception spécifiées par les ingénieurs, en standards opérationnels applicables quotidiennement par tout le monde dans une entreprise.

Le processus de standardisation est représenté par le cycle **PDCA** / **SDCA**. Le premier cycle **PDCA** (Plan, Do, Check et Act = Préparer, Faire, Vérifier, Agir), est l'élément qui assure la continuité dans le processus d'amélioration.

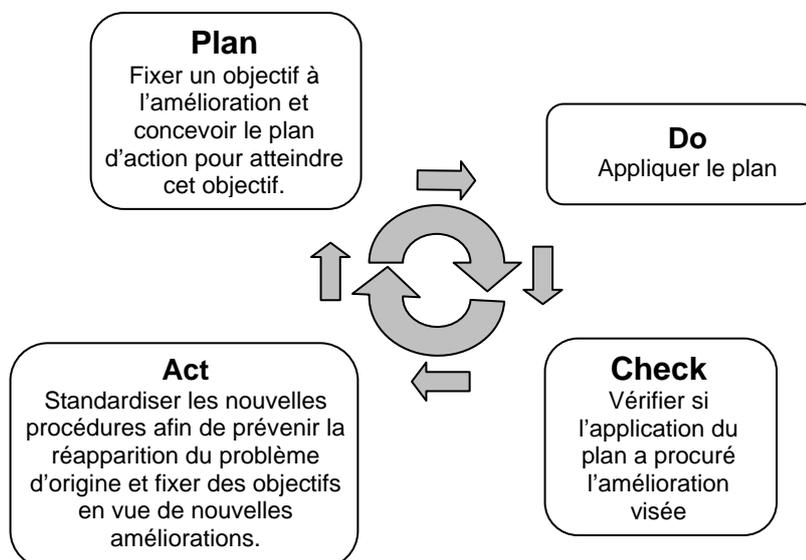


Figure 2. Le cycle PDCA

Avant d'utiliser le cycle **PDCA** comme outil d'amélioration, le processus en cours d'analyse doit être stabilisé, sous la forme d'un second processus appelé **SDCA** (Standardize, Do, Check, Act = Standardiser, Faire, Vérifier, Agir), afin de produire les éléments nécessaires pour mesurer le processus d'amélioration.

En conséquence, chaque fois qu'une anomalie est produite dans le système, il faut bien déterminer si elle est due à une absence de standards, à une transgression des standards existants ou bien que le standard ne soit pas adéquat. Ainsi, le **SDCA** standardise et stabilise un processus (**SDCA** = la maintenance), tandis que le **PDCA** les améliore (**PDCA** = l'amélioration). [IMA 98]

L'outil « 7- Step Model »⁴, est une version modifiée du cycle **PDCA**.

La philosophie de *kaizen*, cherche à améliorer les trois axes d'une entreprise : le **QCD** (Qualité, Coût, Délai), car la compétition mondiale oblige à innover, diversifier, réduire les coûts, améliorer la qualité et livrer de plus en plus vite [HOH 01].

5 La méthodologie de Kaizen

La méthodologie employée pour enregistrer les activités *kaizen* conduites par des petits groupes (cercles de qualité) et par l'encadrement de l'entreprise, c'est « *Kaizen Story* » Cette méthodologie est composée de huit étapes :

- 1) Choix du thème : un groupe de travail *kaizen* doit avant de démarrer le processus *kaizen*, comprendre et vérifier les conditions actuelles du *gemba*, c'est-à-dire, appliquer les 5's et collecter des données.
- 2) Définition de l'objectif.
- 3) Compréhension de l'état actuel.
- 4) Collecte et analyse des données pour découvrir la cause première.
- 5) Adoption et application des mesures et actions correctives.
- 6) Évaluation.
- 7) Établissement ou révision des standards pour prévenir la récurrence ou réapparition de la cause d'origine.
- 8) Revoir le processus ci-dessus et commencer à travailler aux étapes suivantes.

Kaizen Story, est un outil pour la résolution de problèmes sur la base de l'analyse des données qui permet d'enregistrer et conserver les activités *kaizen*.

Il y a dans les activités *kaizen* deux points importants à mentionner :

- A) Les activités *kaizen* peuvent être une source excellente d'idées pour l'innovation au niveau du système de production.
- B) Les activités *kaizen* peuvent conduire à l'incrémentation de la qualité et à la réduction des coûts dans une entreprise, mais il reste encore une question : jusqu'où les activités *kaizen* doivent être implémentées ? Mais également quel est le niveau acceptable de qualité dans *kaizen*? Car la recherche perpétuelle de la perfection dans un système de production, peut avoir comme conséquence, une dépense excessive de temps et ressources (humaines particulièrement), qui peuvent être assignées à la recherche d'un degré supérieur d'innovation.

⁴ Pour plus d'information voir: <http://www.mycoted.com/creativity/techniques/seven-step.php>

Annexe 2

La théorie TRIZ, état de l'art

Résumé : cette annexe offre une perspective plus vaste que celle offerte dans le chapitre 2 de ce manuscrit. L'objectif sous jacent est de présenter plus profondément la philosophie de TRIZ, ses origines et ses outils, ainsi que certains exemples d'application. La liste d'outils présentés n'est pas exhaustive, car une des voies d'évolution de TRIZ consiste en l'incorporation d'autres outils et méthodologies.

TRIZ : Théorie de Résolution de Problèmes Inventifs

1. Introduction

L'évolution de la technologie a été produite par la capacité de l'homme à inventer, à transformer son environnement par le biais de la création et la conversion des idées.

Aujourd'hui, cette évolution a atteint un niveau où un changement s'avère nécessaire dans la façon de percevoir le développement de la technologie. Les raisons de cela, sont liées essentiellement au trinôme « compétence-information-technologie » dans l'industrie car : (1) il n'est pas possible de contrôler l'amélioration des compétences de la concurrence ; (2) l'information est une ressource disponible sur demande et (3) la technologie est un produit de base qui n'est plus réservé à un seul secteur. De plus en plus, ce trinôme se banalise et en conséquence, comment demeurer le leader dans un marché ? Comment rester le plus compétitif ?

La réponse se trouve dans l'utilisation des ressources, c'est-à-dire, l'entreprise qui devient le leader sur un marché, est celle qui génère une valeur supérieure avec les mêmes ressources que la concurrence voire moins, en d'autres termes, dans la créativité et l'innovation [DBE 04], [DRU 93].

De son côté, la créativité (et en conséquence l'innovation), est souvent associée au génie, à la chance et même parfois perçue comme un talent inné. La condition ou croyance d'associer l'innovation à la chance ou à des conditions en dehors de la maîtrise humaine, occasionne un manque dans le processus d'innovation, puisque elle n'autorise pas la mise en œuvre d'une méthode fiable et pérenne pour guider le processus d'innovation et amener la créativité à un niveau plus élevé [SCH 03].

Certes, l'industrie continue de créer des produits avec des idées nouvelles en utilisant des méthodes réduisant le champ d'exploration des idées mais où la part d'aléatoire reste importante (essais - erreurs, brainstorming, etc.). Par conséquent, ceci entraîne des solutions avec des performances et d'une qualité inférieures à celles atteignables par de nouvelles méthodes ou théories [ALT 99]. Les paragraphes suivants présentent la théorie de Résolution de Problèmes Inventifs ou théorie TRIZ. L'approche de TRIZ est basée sur le postulat que la créativité peut être apprise et développée par tout individu, et qu'en raison de cela, la recherche et la création des idées peuvent être dirigées et contrôlées.

2. L'évolution du processus de résolution de problèmes

D'après Smith [SMI 05A], l'innovation est un processus continu de résolution de problèmes, ce qui positionne cette dernière comme la capacité centrale du développement de la technologie. Mais *comment les innovateurs ou inventeurs ont fait pour inventer et innover ?*, plus important encore, *quelles ont été les méthodes employées ?*

Ce type de questions a intrigué l'humanité depuis très longtemps. Principalement deux approches ont essayé d'apporter un peu de lumière sur le mystère de la genèse de la création technologique : l'approche psychologique et l'approche basée sur l'évolution de la technologie.

D'un côté, l'approche psychologique focalise son intérêt vers les caractéristiques créatives individuelles des scientifiques et inventeurs, sans considérer les lois d'évolution des sciences et de la technologie. De l'autre côté l'approche technologique n'a pas pris en compte l'aspect psychologique inhérent à l'acte créateur. En conséquence, les visions sur la création et les méthodes employées, dépendaient du domaine d'influence des chercheurs.

Dans les paragraphes qui suivent, les méthodes les plus couramment utilisées lors de la résolution d'un problème et la génération de nouveaux concepts seront définies.

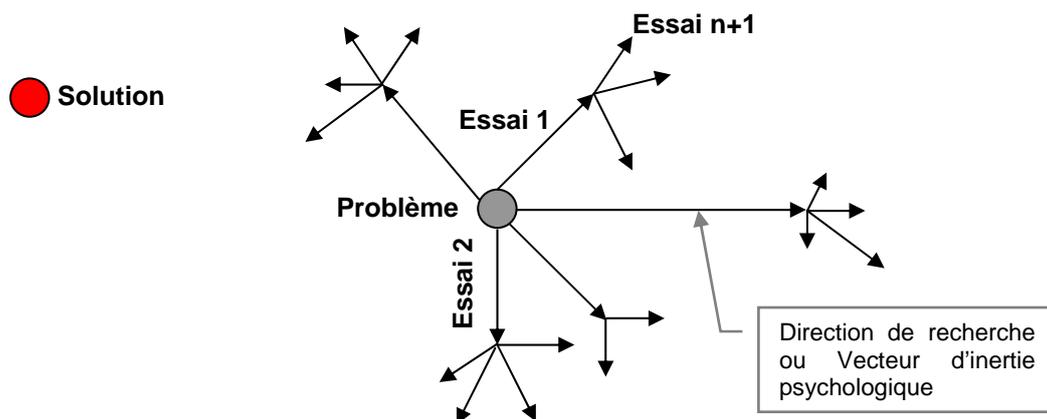
2.1 La méthode essais et erreurs

La méthode d'essais – erreurs est la méthode de résolution de problèmes la plus ancienne, elle a été employée dès le commencement du développement de la technologie et malgré l'augmentation du degré de complexité des nouveaux problèmes, cette méthode continue à jouer un rôle central. De façon générale, les méthodes de résolution de problèmes n'ont subi aucune amélioration ces dernières années. Par conséquent, les inventeurs et les innovateurs continuent à vouloir atteindre leurs objectifs en utilisant cette méthode.

La méthode d'essais – erreurs a été formellement exposée en 1898 par E. Thorndike dans une recherche sur l'apprentissage [SAL 99]. La méthode est caractérisée par une absence de direction de recherche, c'est-à-dire, la recherche d'une solution se fait de façon aléatoire en tentant de couvrir le plus possible l'espace de solution. Thomas A. Edison résume cette méthode de la façon suivante : *le génie représente un pour cent d'inspiration et quatre-vingt-dix-neuf pour cent de transpiration.*

Cette méthode a pris deux directions primordiales d'évolution : l'accélération de la génération des idées afin de couvrir le plus possible l'espace des solutions et en deuxième lieu, l'intensification du filtrage des idées, par le biais de l'application de quelques critères de sélection des concepts.

La recherche et le développement en suivant cette méthode, se transforme en un gigantesque échec ; selon Salamatov [SAL 99], 50% des projets lancés sous cette méthode sont abandonnés pour des raisons économiques et les 50% restant, ne possèdent pas les caractéristiques nécessaires pour leur industrialisation.



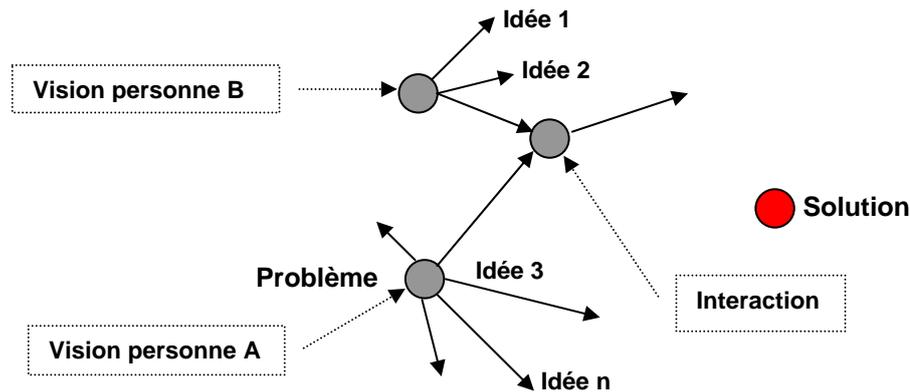
Source : [DUN 97]

Figure 2.1 Heuristique d'essais- erreurs

2.2 Le « Brainstorming »

Le Brainstorming fut développé par Alex Osborn en 1937, comme un outil pour améliorer la méthode d'essais – erreurs, mais la première publication décrivant cette méthode n'est apparue qu'en 1957 ! A cette date, le brainstorming avait déjà 20 ans d'utilisation dans l'entreprise Batten, Barton, Durstine & Osborn, [SAL 99].

Cette méthode est basée sur la pluridisciplinarité, afin d'observer le problème sous différents points de vue. Dans le brainstorming, une équipe essaye de trouver une solution à un problème spécifique, en amassant toutes les idées spontanément produites par ses membres en respectant une condition : la suppression temporaire du sens de la critique.



Source : [CAV 99]

Figure 2.2 Heuristique de type brainstorming

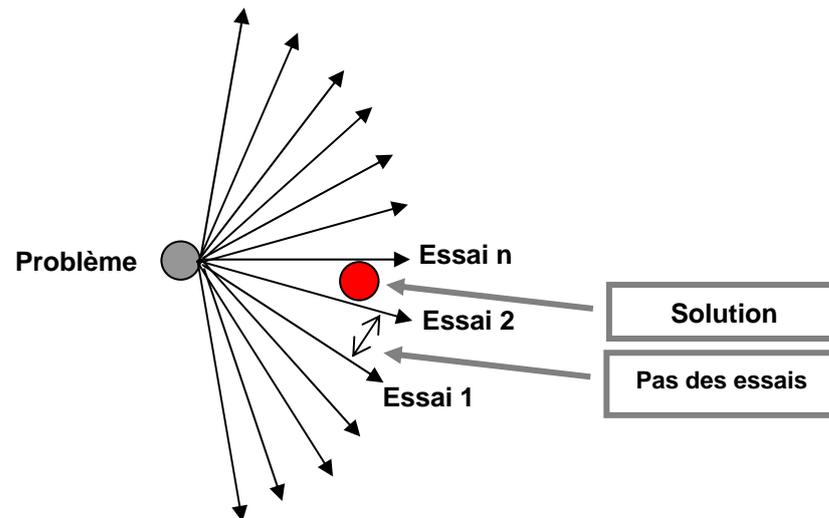
Le brainstorming présente certains inconvénients majeurs:

- A) **L'appréhension d'évaluation** : situation où les membres d'un groupe sont peu favorables à exprimer leurs suggestions. Les participants considèrent que l'appréciation des autres membres de l'équipe est forcément négative ou que leurs apports sont peu originaux. Ce qui en résumé représente la crainte d'être jugé par d'autres.
- B) **L'improductivité sociale** : quand les membres du groupe limitent intentionnellement leurs contributions et comptent sur d'autres membres de l'équipe pour faire le travail. Ceci arrive quand les participants croient que leur contribution ne peut pas être clairement identifiée ou pleinement appréciée.
- C) **Le blocage de la production des idées** : résultat de l'attente des membres de l'équipe. Les membres doivent attendre que d'autres finissent l'exposé de leurs idées avant qu'ils puissent offrir leurs propres idées. En attendant, les idées produites peuvent devenir obsolètes ou désuètes. Cette attente occasionne un repli des participants sur leurs pensées au lieu de collaborer et produire de nouvelles idées [STE 04].
- D) **Conservation de la pluridisciplinarité**. Puisque la méthode est basée sur la pluridisciplinarité, il faut veiller à ce que cette condition ne disparaisse pas à un certain stade du processus de résolution du problème [BUK 03].

Le mécanisme le plus important du « brainstorming » est l'interaction et le développement de nouvelles idées. Ce mécanisme est représenté sur la figure 2.2. La personne « A » a exprimé une idée, puis, la personne « B » apporte un changement et une nouvelle idée est née. Maintenant la personne « A » observe son idée initiale de façon différente, ainsi le processus d'enchaînement des idées guide vers la résolution d'un conflit. Toutefois, le brainstorming n'élimine pas la recherche aléatoire des solutions et parfois empêche même, d'arriver à une solution satisfaisante, puisque la direction de recherche de la solution change continuellement selon les contributions des membres de l'équipe [ALT 99].

2.3 Les plans d'expériences

D'après Cavallucci [CAV 99], cette approche de résolution de problèmes s'avère productive si la perspective de résolution ne comporte qu'un nombre limité de paramètres. L'utilisation de cette heuristique devient peu efficace pour résoudre des problèmes où les paramètres inhérents au problème et la direction de la recherche ne sont pas connus.



Source : [CAV 99]

Figure 2.3 Heuristique Plan d'expériences

2.4 La méthode « Synectics »

En essayant d'améliorer le Brainstorming, William Gordon a développé la méthode de la synectique en 1960. W. Gordon a trouvé qu'il y avait une forte relation entre le brainstorming, la pensée critique et le raisonnement analogique, et qu'en conséquence, un réseau pouvait être créé pour interconnecter ces processus mentaux et capturer cette synergie [ALT 99], [CRW 97].

Les groupes qui travaillent avec la synectique, sont des groupes composés de personnes de différents domaines. Les membres de l'équipe essaient de résoudre ensemble un problème de façon créative, par le biais du développement continu de l'imagination et grâce à la combinaison d'éléments qui en apparence ne sont pas compatibles.

Le processus est basé sur le raisonnement analogique : il est fondé sur la transformation du méconnu vers le connu et encore une fois, vers le méconnu. Ce processus comprend les étapes suivantes :

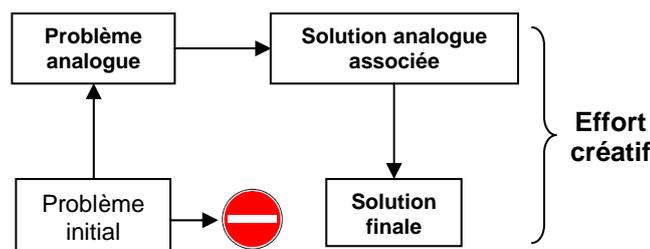


Figure 2.4 Le raisonnement analogique

La synectique utilise quatre types différents d'analogies dans le but de réduire la rigidité dans la pensée créatrice, aussi appelée inertie psychologique :

- Analogies directes : le système ou l'objet contenant le problème est comparé avec un objet similaire dans la nature ou avec un autre système identifié dans un domaine différent.
- Analogies personnelles : l'analogie personnelle est aussi appelée « empathie ». La personne qui fait face au problème s'imagine faisant partie du système et cherche de l'intérieur la manière de résoudre le problème.

- Analogies symboliques : cette analogie cherche à comparer le problème avec un concept abstrait afin d'inférer des propriétés utiles à la résolution du problème.
- Analogies imaginaires : ce type d'analogie introduit des créatures imaginaires (ou des machines, des robots ou des ressources magiques) dans le problème. Ces créatures sont capables d'accomplir n'importe quelle tâche ou de générer les conditions requises dans le problème.

La synectique s'avère un outil très puissant pour la résolution d'un problème et pour la génération de nouveaux concepts, mais elle trouve ses limites dans le fait qu'elle ne prend pas en compte l'étude des lois d'évolution de systèmes techniques et par conséquent, elle peut atteindre que des solutions qui se trouvent dans le premier ou deuxième niveau de classification de l'innovation d'après TRIZ (voir tableau 2.1).

2.5 Conclusion

Après avoir fait une description succincte sur les méthodes les plus couramment employées pendant la résolution d'un problème, il est possible d'en tirer quelques conclusions :

- Elles sont basées sur une approche psychologique.
- L'aléatoire est présent.
- Elles ont toutes, un apprentissage court (avec exception la synectique)
- Les solutions qui se trouvent en dehors des champs où se trouve le problème, sont difficilement accessibles.
- Elles n'ont subi aucune amélioration (exemple: la méthode d'essais – erreurs)

Néanmoins, les entreprises et les départements de R&D, continuent à utiliser les méthodes conventionnelles pour résoudre les problèmes actuels, qui deviennent de plus en plus complexes. Donc, il faut développer une méthodologie capable d'aborder chacun des points suivants :

- 1) Révéler les problèmes qui attendent des solutions innovantes.
- 2) Résoudre les problèmes inventifs de manière efficace.
- 3) Utiliser de façon systématique les méthodes trouvées pendant la résolution d'un problème dans d'autres domaines.
- 4) Mettre à la disposition des innovateurs, les solutions déjà trouvées dans d'autres domaines, afin de soulager les innovateurs de la laborieuse nécessité de rechercher de nouveaux concepts de solutions à chaque fois qu'ils sont confrontés à un nouveau problème.

En partant des besoins exprimés dans les quatre points précédents, une nouvelle approche est apparue, celle de la théorie TRIZ, qui sera décrite dans les paragraphes suivants.

3. La théorie TRIZ : l'âge de l'innovation systématique

Introduction

La recherche chaotique et désordonnée, typique des méthodes décrites antérieurement, a un coût très élevé en temps et en énergie pendant la résolution d'un problème. Ainsi, il s'avère nécessaire de procéder à une recherche ordonnée, régie par des règles bien structurées et logiques [ALT 99].

Régulièrement pendant la résolution d'un problème, les procédés employés pour encourager la créativité, fournissent plusieurs indices de solution en conservant une

direction technologique donnée. Cette approche, ne permet pas l'accès aux solutions existant dans une autre technologie ou domaine. La théorie TRIZ possède un avantage très important, elle guide le processus de résolution vers des modèles industriels d'ingénierie, en conséquence, « *l'aléatoire ne réside que dans la formalisation du problème et l'interprétation des directions données* » [CAV 99].

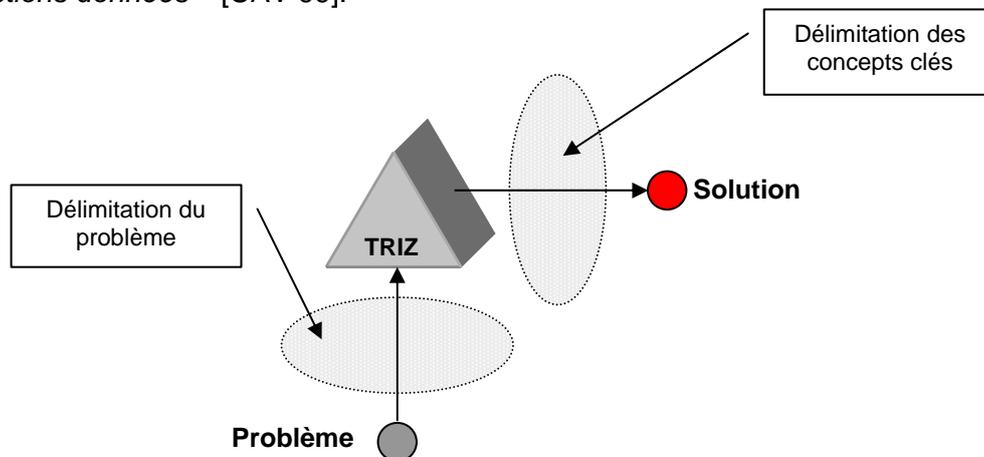


Figure 2.5 Heuristique TRIZ

La résolution de problèmes inventifs ou très complexes, nécessite des outils (heuristiques) capables de réduire la complexité du problème. Ces outils, ne peuvent pas être formalisés uniquement sur l'expérience d'un seul inventeur ou même sur un groupe d'inventeurs. Afin de développer un ensemble d'outils opérationnels, il s'avère nécessaire de :

- A) Définir les lois d'évolution des systèmes techniques.
- B) Analyser une grande quantité d'information, sous la forme de brevets.
- C) Développer un algorithme pour le processus de résolution où, chaque étape suit logiquement et naturellement son antécédent.
- D) Améliorer de façon continue cet algorithme, en suivant le retour d'expériences produit par son application.

C'est ainsi que suite à sa curiosité et guidé par les restrictions précédentes, **Genrich Saulovich Altshuller** tentait de trouver quelques principes généraux pour inventer. Au final, il a développé une nouvelle façon de percevoir la créativité et l'innovation. Cette nouvelle perspective est contenue dans TRIZ ou la Théorie de Résolution de Problèmes Inventifs ou d'Innovation.

TRIZ est l'acronyme russe de « *Teorija Rezhenija Izobretatel'stich Zadach* ». Cette théorie, qui « *ne se classe ni dans les outils, ni dans les méthodes...mais qui représente toute seule, une discipline* » [CAV 99A], est née au sein de l'ex-Union Soviétique au milieu des années 40.

3.1 Description de la théorie TRIZ

L'arrivée de TRIZ dans les domaines technologiques actuels a développé une nouvelle perspective sur l'innovation, celle où l'innovation peut être systématisée. Mais que représente exactement TRIZ?

Les définitions sont variées en voici quelques-unes :

- « *Une science naissante, TRIZ entoure une méthode structurée pour la pensée créatrice. TRIZ inclut une base théorique, divers outils analytiques, et des outils basés sur la connaissance, qui aident les individus à inventer et à résoudre les problèmes complexes de manière systématique* », Ideation International [IDE 06].

- « Une science expérimentale dont l'objectif est d'aider les inventeurs et plus généralement tous les ingénieurs à résoudre méthodiquement les problèmes technologiques » ENSAM & TRIZ [ENG 05].

Cette nouvelle discipline trouve ses principaux champs d'application dans :

- La résolution des problèmes inventifs ou les problèmes techniques complexes.
- Le développement de la créativité des inventeurs et des ingénieurs.
- La prédiction de l'évolution d'un produit ou d'une technologie.
- La réduction de la durée des phases de recherche et de développement d'un produit.
- L'identification et le traitement des défaillances des produits industriels.

2.1.1 Histoire et développement de TRIZ

Cette approche sur l'innovation trouve ses origines dans l'ex Union Soviétique des années 40, lorsque son créateur Genrich S. Altshuller, jeune employé dans un bureau de brevets de l'armée navale soviétique, essayait d'identifier certains principes généraux pour guider ces travaux en tant qu'inventeur [ALT 99]. Altshuller était spécialement intéressé, par la réduction du temps de conception des inventions et pour développer un processus bien structuré, adaptable et réutilisable pour encourager la pensée créatrice [TZZ 98].

L'intérêt d'Altshuller pour la systématisation de la créativité est né lorsqu'il découvrait que parmi une grande quantité de brevets, il y avait des idées similaires et des solutions analogues pour différents problèmes, dans différents domaines et à différentes époques. Il s'est rendu compte que, même les inventions les plus originales et créatives, avaient des bases communes. Donc, une de ses réflexions, était d'extraire des brevets les plus créatifs, une méthodologie pour aider les individus à innover.

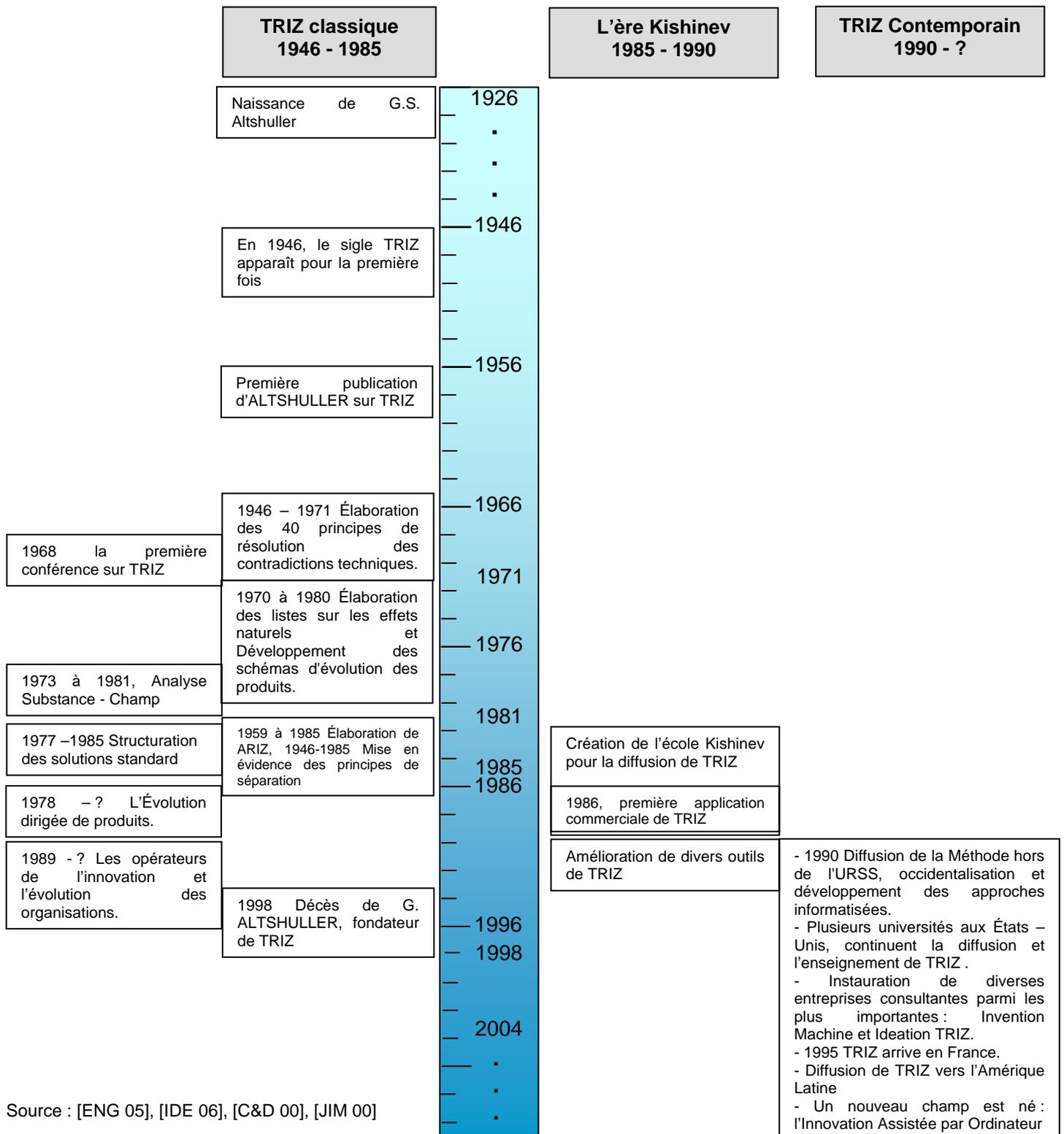
Il a envoyé une proposition de ses idées à Staline où il précisait « *qu'il y avait chaos et ignorance dans l'approche russe sur l'innovation et l'invention* » et encore plus important, Altshuller exprimait qu'il y avait « *une théorie qui peut aider n'importe quel ingénieur à inventer. Cette théorie peut produire des résultats de valeur inestimable et révolutionner le monde technique* » [ALT 99].

Suite à cette proposition, Il a été considéré comme opposant au régime et a été envoyé au goulag pendant 25 ans. Durant ce temps, Altshuller a continué à analyser son approche sur l'invention. Après le décès de Staline, il s'est remis à étudier les bases de données de brevets, et a énoncé les principes de la théorie TRIZ, qui changerait la vision traditionnelle sur le développement de la technologie.

Néanmoins, la théorie TRIZ est restée isolée au sein de l'ancienne URSS pendant plusieurs années, ce n'est qu'à l'affaiblissement de l'ancienne URSS et à la fin de la Guerre Froide, qu'un grand nombre de spécialistes de TRIZ ont émigré aux États-Unis et en Europe, où la théorie TRIZ est devenue un outil important pour l'innovation [NAK 01].

La transition de TRIZ de ses origines jusqu'aux nos jours, a été complexe. Afin de donner une perspective suffisamment vaste, une ligne sur l'évolution de la théorie a été créée (figure 2.6).

L'évolution de TRIZ



Source : [ENG 05], [IDE 06], [C&D 00], [JIM 00]

Figure 2.6 Ligne de temps de l'évolution de TRIZ

4. Les bases théoriques de TRIZ

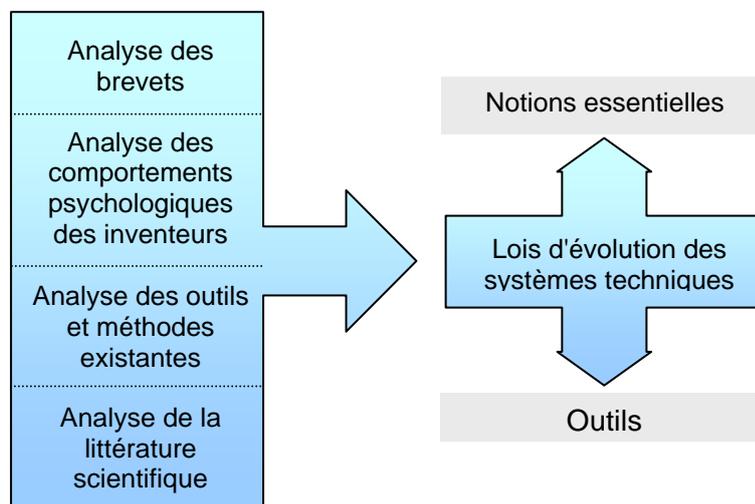
Au milieu des années 50, Altshuller a supposé que la création d'une science exacte sur l'origine et l'évolution des systèmes techniques, pourrait être extraite, par le biais de l'étude et l'analyse d'un grand corps de connaissance contenant les évidences de la créativité sur la technologie : les brevets.

Les travaux d'Altshuller ont contribué à la création des premiers éléments, pour tracer et déterminer les tendances et lignes d'évolution des systèmes techniques. De plus, il a également établi les bases pour l'approche de TRIZ sur la résolution des problèmes.

4.1 Les sources des travaux d'Altshuller

Afin de bien comprendre TRIZ, il s'avère nécessaire de faire l'analyse des sources des travaux d'Altshuller, dans le but de découvrir la philosophie intrinsèque de la théorie et ses conclusions.

Entre 1946 et 1985, Altshuller a analysé quatre domaines principaux pour concevoir la théorie TRIZ. Dans les paragraphes qui suivent, une description succincte en sera faite.



Source : [CAV 99A]

Figure 2.7 Les quatre sources des travaux d'Altshuller

4.1.1 L'analyse de brevets

Durant la phase de recherche de tendances technologiques, Altshuller a analysé environ 200000 brevets et il en a sélectionné 40000 comme les plus « créatifs » selon trois critères :

- A)** L'éloignement entre la connaissance qui produisait la solution et le domaine professionnel de l'inventeur.
- B)** Le nombre théorique des essais pour arriver à une solution.
- C)** L'écart ou changement existant entre la conception originale (ou formalisation du problème) et la solution [TZZ 98].

A la fin des années 80, le développement de TRIZ reposait sur une recherche de plus de 1500 personnes/an et sur l'étude et l'analyse systématique, de plus de 3 millions de brevets. De ce fait, TRIZ contient les meilleures pratiques des plus grands ingénieurs et des esprits inventifs du monde [MAN 03], [IDE 06].

Parmi les conclusions les plus importantes d'une telle analyse, ont été révélées les lignes d'évolution des systèmes techniques et une classification de l'innovation.

Cette classification est composée des cinq degrés d'inventivité suivants :

Niveau	Degré d'inventivité	% de solutions	Origine des connaissances	Nb. Approx. De solutions à considérer
1	Solution apparente	32	Connaissance d'un individu	10
2	Amélioration mineure	45	Connaissance de l'entreprise	100
3	Amélioration majeure	18	Connaissance de l'industrie	1 000
4	Nouveau concept	4	De toutes les industries confondues	100 000
5	Découverte	1	Ensemble des savoirs	1 000 000

Tableau 2.1 Degrés d'inventivité

Cette classification met en évidence que les catégories « Amélioration mineure » et « Solution apparente », représentent 77% du progrès technologique.

De plus, les inventions du niveau 1, 2, et 3 sont habituellement transférables d'une discipline à l'autre, c'est-à-dire, 95% des problèmes inventifs présents dans n'importe quelle discipline, ont déjà été résolus dans une autre.

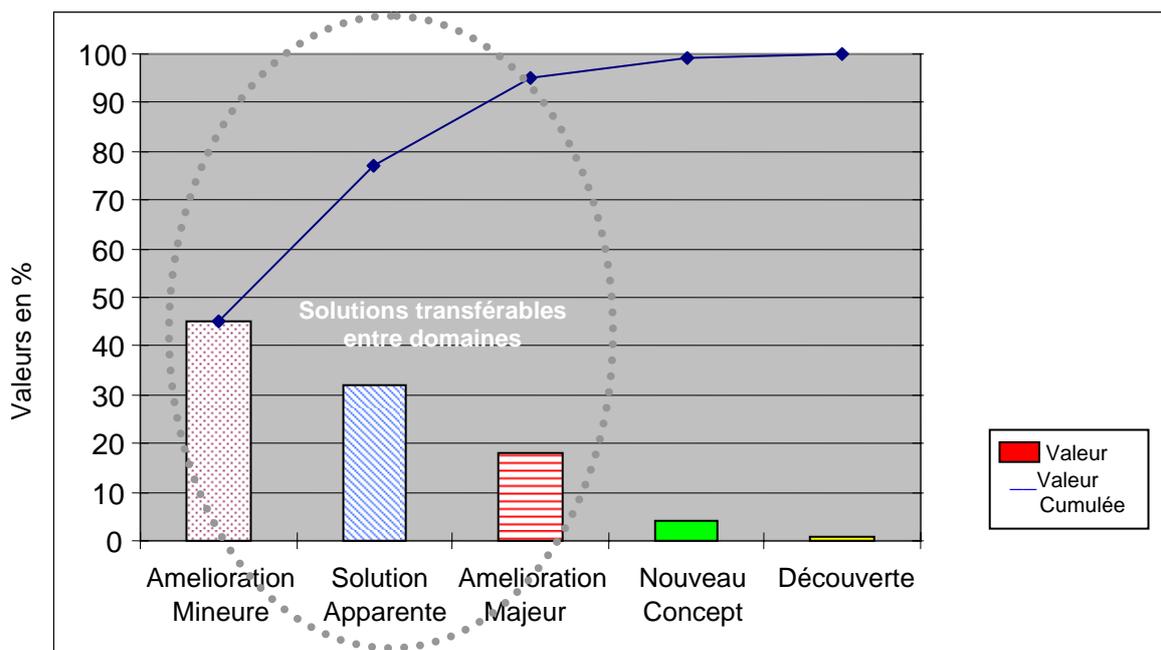


Figure 2.8 Les cinq niveaux d'inventivité

Entre 1964 et 1974 Altshuller et ses collaborateurs, ont vérifié deux fois les brevets qui étaient sous analyse, afin d'assurer la validité de ces pourcentages. Aucune évaluation postérieure n'a été faite [TZZ 98].

4.1.2 Analyse des comportements psychologiques des inventeurs

Altshuller a finement analysé les méthodes que les inventeurs ont utilisées pour parvenir à une invention. Il a essayé de dessiner une vaste perspective de la pensée créatrice, afin de faire émerger les mécanismes utilisés par les inventeurs au moment où ils sont confrontés à un problème inventif. Cette analyse a contribué au développement de nouvelles approches

pendant la résolution d'un problème et aussi, à mieux comprendre la nature d'une situation problématique.

4.1.3 Analyse des outils et méthodes

Altshuller et son équipe ont analysé différents outils comme : l'analyse fonctionnelle, l'AMDEC (Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité), la méthode d'essais - erreurs, le brainstorming, etc. pour déterminer, parmi ces nombreux outils, ceux qui pourraient s'adapter et s'intégrer dans la structure de TRIZ. En conséquence, c'est après cette analyse que la structure de la synectique de W. Gordon, la méthode des analogies et plusieurs autres, ont été adaptées et intégrées dans la « boîte d'outils » de TRIZ.

Cette tendance a continué, spécialement après l'introduction de TRIZ dans divers environnements industriels et académiques. En raison de cela, différentes organisations industrielles et académiques ont incorporé d'autres techniques et méthodes dans la boîte d'outils de TRIZ. L'incorporation « naturelle » d'autres techniques comme l'analyse cause – effet, le design, etc. était évidente.

L'application de TRIZ aux différents domaines de la science a généré l'annexion des nouveaux outils et a été à l'origine de plusieurs synergies. Une des plus importantes, est la synergie QFD+TRIZ+TAGUCHI (Chapitre 1), capable de produire une méthodologie pour la conception et le développement de nouveaux produits.

4.1.4 Analyse de la littérature scientifique

Cette analyse a mis en évidence un répertoire de savoirs (effets scientifiques), qui restait improductifs dans la science. Ce répertoire a été organisé, non pas de façon bibliographique, mais comme un outil très performant et plus applicable lors de la résolution d'un problème inventif.

Altshuller et son équipe ont classé plusieurs principes scientifiques comme : physiques, géométriques et chimiques et ont construit une base de connaissance de ces effets.

Cette base de données, permet de retrouver une liste d'effets potentiels qui peuvent être appliqués en fonction de la configuration spécifique du problème à résoudre.

Cet outil a déjà été incorporé dans plusieurs logiciels comme par exemple dans TechOptimizer 4.0 d'Invention Machine, dans le module « TechOptimizer Effects module », qui contient plus de 8000 lois / théorèmes / phénomènes [INM 05].

4.2 Conclusions sur la démarche suivie

Les travaux d'Altshuller ont permis d'énoncer les hypothèses de base d'une théorie sur l'innovation qui peut être enseignée, mais également de transformer le paradigme sur la créativité. La définition d'un problème inventif et le concept de « fonction » contenus dans TRIZ ont servi de base pour développer une « boîte d'outils ». Parmi les outils de TRIZ se trouvent les 40 principes d'innovation, les 39 paramètres génériques, l'Algorithme de Résolution de Problèmes d'Innovation « ARIZ », etc. Mais également cette démarche a débouché sur les bases philosophiques de TRIZ qui peuvent être exposées comme suit :

- A) Tous les systèmes techniques évoluent en suivant les mêmes tendances, indépendamment du domaine auquel ils appartiennent. Ces tendances peuvent être étudiées et utilisées, afin de rendre plus efficace le processus de résolution des problèmes et, également de prévoir le développement futur de n'importe quel système technique.
- B) Les systèmes techniques, tout comme les systèmes biologiques et sociaux, évoluent par le biais de l'élimination de divers conflits. L'ensemble de ces principes d'élimination de

conflits est universel pour tous les domaines de l'ingénierie. L'origine de ces principes se trouve dans les tendances d'évolution des systèmes techniques.

- C) Tous les problèmes inventifs, comportent au moins une contradiction. Trouver une solution inventive pour un problème, signifie résoudre le conflit avec une contrainte primordiale : la négociation ou le compromis est inadmissible.
- D) Parfois, trouver une solution à une contradiction, implique l'utilisation de connaissance en dehors du domaine de connaissance du chercheur. Pour organiser et diriger la recherche d'effets (lois / théorèmes / phénomènes) capables de résoudre le problème, il s'avère nécessaire d'avoir des lignes de recherche. Dans ces lignes, les effets sont classés selon les fonctions techniques qu'ils peuvent réaliser [SMW 94].

Tel a été le procédé suivi par Altshuller pendant qu'il développait TRIZ. Les paragraphes suivants exposent une description de la structure de TRIZ, de ses notions de base et de sa « boîte d'outils ».

5. Notions de base de TRIZ

TRIZ a été conçu autour de quatre concepts primordiaux :

- A) Le concept d'idéalité.
- B) Les contradictions contribuent à la résolution d'un problème.
- C) L'utilisation efficace des ressources disponibles dans le système.
- D) L'évolution d'un système est régie par des lois.

En conséquence, les outils de TRIZ dirigent la pensée créatrice vers ces quatre concepts de base, qui seront définis dans les paragraphes suivants.

5.1 Le concept d'Idéalité

Les travaux d'Altshuller, ont mis en évidence une tendance commune à tous les systèmes techniques en évolution : **tous les systèmes évoluent vers l'augmentation du degré d'idéalité**. Cette phrase synthétise la principale loi d'évolution des systèmes techniques [SAL 99].

Afin d'exister, tous les systèmes techniques doivent avoir une fonction utile primaire. Cependant l'existence et l'exploitation de ce système, suppose une dépense d'énergie, de substances, d'information, d'espace, etc. avec une certaine efficacité. Ainsi, le coût d'un système est la somme de la masse, la taille, l'énergie et les ressources consommées par celui-ci. Plus cette somme est réduite, moins coûteux est le système, c'est-à-dire, plus l'idéalité est proche.

Selon l'approche de la théorie TRIZ un système tend vers le système idéal, qui assure les fonctions utiles, sans fonction inutile ou nuisible et sans coût.

Le concept d'idéalité a été formulé comme la somme de toutes les fonctions utiles d'un système divisée par la somme de tous ses effets et conséquences nuisibles.

$$IDEALITE = \frac{\sum Fu}{\sum Fn}$$

Mais plus spécifiquement :

$$D = \frac{\sum F_u}{\sum F_n + \sum F_c}$$

Où l'expression signifie :

- D : indique le taux d'idéalité et le degré d'approche de l'idéalité.
- $\sum F_u$: est la somme de toutes les fonctions utiles du système.
- $\sum F_n$: est la somme de toutes les fonctions nuisibles causées par le système.
- $\sum F_c$: est la somme de tous les coûts générés par le système.

Par définition, *un système idéal est un système qui n'existe pas, mais dont la fonction utile est livrée ou assurée d'une manière ou d'une autre.*

Un système idéal c'est un système qui :

- Qui n'a pas de coût.
- Qui n'a pas de volume.
- Qui n'a pas de surface.
- Qui maximise sa capacité de travail.
- Qui maximise ses fonctionnalités [CAV 99A].

Le système idéal est un concept utopique, mais il offre une voie d'exploration et de réflexion rarement explorée.

5.1.1 L'inertie psychologique (IP)

Durant le développement de sa théorie, Altshuller identifiait un phénomène caractérisé par l'enfermement de la créativité dans un certain modèle de pensée. Il dénommait ce phénomène : *l'Inertie Psychologique (IP)*. L'Inertie Psychologique est l'obstacle le plus important à vaincre lors du déploiement des activités créatives pendant la résolution d'un problème. C'est l'**IP** -aussi nommée Paralyse Paradigmatique- le principal opposant au concept d'idéalité.

L'inertie psychologique, est un phénomène où la maîtrise et l'expertise dans un domaine, apporte une certaine rigidité dans la manière de penser et cela empêche parfois, de voir une solution existante et presque évidente. L'inertie psychologique amène à croire que les solutions à un certain problème, se trouvent uniquement dans un certain domaine de connaissance (celui de la personne qui fait face au problème). Cela empêche de chercher des solutions dans les domaines voisins, connexes ou très différents et de développer de nouveaux concepts.

Il y a plusieurs types d'IP (plus de 44 ont été identifiées par Kowalick [KOW 99]), mais Salamatov reconnaît trois types élémentaires d'inertie psychologique [SAL 99] :

- Inertie terminologique
- Inertie d'image
- Inertie causée par l'orientation fonctionnelle spécifique

Altshuller a développé, adapté et incorporé dans TRIZ, certains outils (la méthode des hommes miniatures, les opérateurs DTC, Le RFI, etc.) avec le but de briser cette rigidité dans la façon de penser. Il a aussi souligné quatre points importants à prendre en compte pour éviter l'IP :

- Ne jamais être persuadé que la solution réside dans son propre domaine de compétence.
- Favoriser la pluridisciplinarité.
- Identifier les termes ou expressions porteurs d'IP et les remplacer par d'autres plus neutres.
- Respecter toutes les idées même les plus farfelues [CAV 99A].

L'exemple suivant reflète l'impact de l'IP pendant la conception d'un système ou la résolution d'un problème.

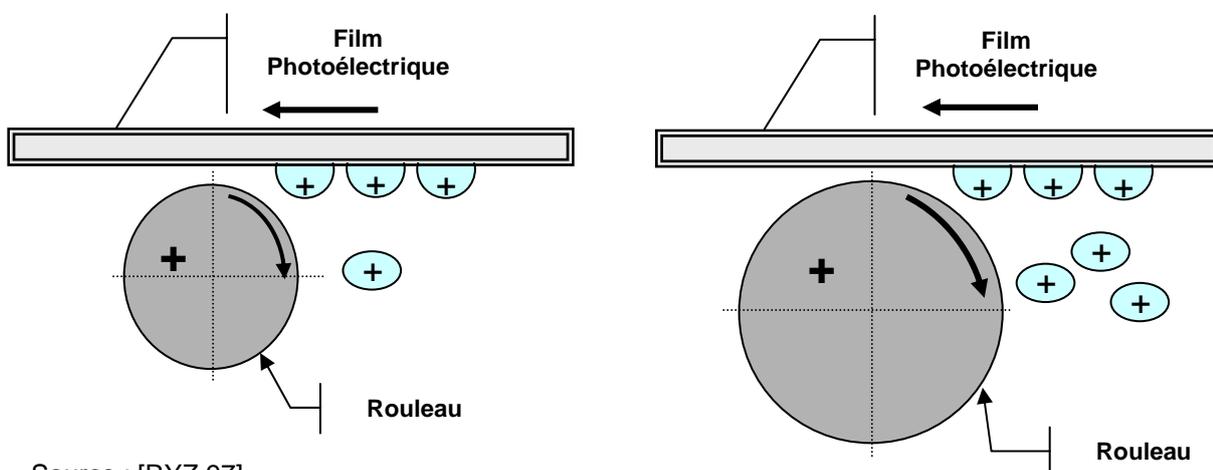
Exemple : Dans une imprimante laser, le processus d'impression est accompli par un film photoélectrique qui transporte l'encre (toner), chargé positivement et un rouleau chargé aussi positivement.

Ces deux composants ont été disposés de façon à ce que le rouleau conserve toujours un sens de rotation inverse à celui-ci du film photoélectrique, afin que le surplus d'encre soit expulsé par le principe de répulsion de charges. Cette force de répulsion est inverse au carré de la distance entre le rouleau et le film photoélectrique (Loi de Coulomb), c'est-à-dire, plus le diamètre du rouleau large est plus sa fonction est performante.

Néanmoins, l'augmentation du diamètre du rouleau conduit vers une contradiction physique : le rouleau doit être large pour accroître la force d'interaction avec le film photoélectrique et en même temps, doit être petit afin de minimiser la taille de l'imprimante.

La solution trouvée a été un compromis entre la taille du rouleau et la taille de l'ensemble, avec un diamètre du rouleau entre 20 et 30 mm (Figure 2.9).

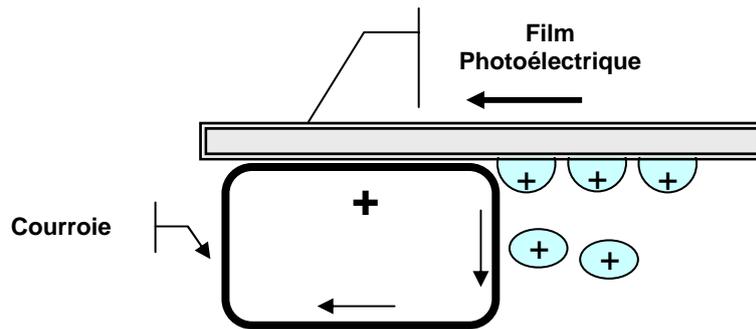
D'un autre côté, la solution idéale est que le « rouleau », livre au système une surface plate, large et capable de tourner en même temps [RYZ 97].



Source : [RYZ 97]

Figure 2.9 Première solution trouvée : le compromis sur le diamètre.

⇒ **Solution** : selon l'un des conseils d'Altshuller pour combattre l'IP, il faut identifier le ou les termes porteurs de l'IP et les substituer. Ainsi, le terme « **rouleau** » force la pensée vers une pièce cylindrique. En conséquence, ce mot doit être substitué par un terme plus neutre, par exemple « **objet** ». De ce fait, la formulation du problème peut s'énoncer comme suit : l'objet qui doit éliminer le surplus d'encre doit à la fois, être plat et capable de tourner. Cette fois, la réponse est presque évidente : une courroie.



Source : [RYZ 97]

Figure 2.10 Solution proposée : la courroie

5.2 Le concept de contradiction

Il est possible de déterminer la présence de la logique dialectique, comme faisant partie de TRIZ. Dans la vision de cette logique « *le conflit entre deux entités A et B se résoudra par la création de quelque chose de nouveau, qui ne sera ni A, ni B, ni même un mélange des deux. Les solutions seront alors efficaces et inventives* » [C&D 00]. La dialectique qui apparaît comme une des bases de la théorie est contenue dans le concept de la contradiction.

Altshuller disait à propos des contradictions : « *...du point de vue de l'ingénierie, une invention manifeste toujours le dépassement complet ou partiel d'une contradiction...* » [ALT 99]. L'identification, la formalisation, puis la suppression d'une contradiction est le processus le plus efficace pour créer (mais non l'unique).

De façon générale, et du point de vue de TRIZ, une contradiction surgit lorsque, dans un système, une tentative d'améliorer un certain paramètre, cause la détérioration inacceptable d'un autre paramètre du même système [G&S 98].

Il y a deux types essentiels de contradictions, **la contradiction physique et la contradiction technique**, mais Salamatov [SAL 99], identifie un autre type : **la contradiction administrative** nommée contradiction organisationnelle ou opérationnelle par Cavallucci [CAV 99A]. Finalement, Córdova, expose **la contradiction humaine** [COL 02].

5.2.1 La contradiction physique

Cette contradiction exige l'existence simultanée, de deux états mutuellement exclusifs, liés à une fonction, une exécution ou à un composant ; comme forte et faible, dur et mou, lisse et rugueux. Ce type de contradictions est résolu en utilisant les principes de séparation (section 6.2.2 de cette annexe).

- De telles contradictions se produisent également si : l'intensification d'une fonction utile dans un sous-système, cause simultanément l'intensification d'une fonction nocive dans le même sous-système.
- La réduction d'une fonction nocive d'un sous-système, cause simultanément la réduction de la fonction utile dans le même sous-système [SAV 00].

Les contradictions physiques peuvent se présenter de trois manières principales :

- A)** Le premier type de contradiction, exige **l'exécution d'une fonction** pour devenir opérationnel ou pour obtenir un résultat désiré et, en même temps, la **non-exécution** de

cette fonction pour éviter une action nocive ou effet non désirable. Exemple : une température élevée est nécessaire, pour fixer un circuit intégré sur une carte électronique ; mais en même temps, une température basse doit être présente, afin de ne pas abîmer le circuit.

- B)** Le deuxième type impose une certaine **valeur d'une caractéristique** pour parvenir à un résultat désiré, néanmoins cette caractéristique doit avoir une **valeur opposée**, pour prévenir une action nocive ou effet non désirable, ou pour assurer une autre fonction utile. Exemple : les ailes d'un avion, doivent être longues pendant le décollage et petites pour le vol à grande vitesse.
- C)** Le troisième type demande la **présence d'un élément** pour arriver à un résultat désiré, mais aussi, **son absence** pour empêcher des effets négatifs ou pour obtenir un autre résultat positif. Exemple : le train d'atterrissage d'un avion est nécessaire pour l'atterrissage mais indésirable pendant le vol [TZZ 98].

5.2.2 La contradiction technique

La contradiction technique, est un type de contradiction où l'amélioration d'une caractéristique utile, provoque la dégradation d'une autre caractéristique, elle aussi utile (et réciproquement).

Bien souvent cette contradiction technique est cachée ou mal formulée. Les contradictions techniques sont résolues au moyen de la matrice de résolution des contradictions techniques (section 6.2.1 de cette annexe).

Exemple: Un nouveau moteur plus puissant est installé dans un avion afin d'augmenter la vitesse de l'avion. Ce moteur augmente le poids total de l'avion. Cependant, les ailes maintenant, ne peuvent plus soutenir l'avion plus lourd pendant le décollage, ainsi, la taille des ailes est augmentée. Le résultat : il y a plus de force de résistance à l'avancement ce qui ralentit l'avion.

- De telles contradictions se produisent si : La création ou l'intensification de la fonction utile dans un sous-système, cause la création d'une nouvelle fonction nocive ou l'intensification de la fonction nocive existante, dans un autre sous-système.
- L'élimination ou la réduction de la fonction nocive dans un sous-système, cause la détérioration de la fonction utile dans un autre sous-système.
- L'intensification de la fonction utile ou la réduction de la fonction nocive dans un sous-système, cause une complication inacceptable d'un autre sous-système, ou même au niveau du système technique complet.

5.2.3 Les autres contradictions

La contradiction administrative se présente lors de la perception initiale d'un problème, celle-ci s'appelle « Situation Initiale », et symbolise les conditions dans lesquelles le problème se trouve. La situation initiale contient une contradiction où, ce qu'il y a à faire apparaît clairement, mais les moyens pour sa réalisation ne sont pas connus.

Ce type de contradiction est aussi appelé **contradiction organisationnelle**. Selon Cavallucci, « *un problème d'innovation, au premier abord, laisse entrevoir une contradiction organisationnelle. C'est souvent notre premier contact avec le problème tel qu'il est formulé initialement. Une contradiction organisationnelle n'indique cependant pas dans quelle*

direction la solution doit être prospectée et nécessite une révision pour diminuer son degré de complexité » [CAV 99].

La contradiction humaine, « *Il s'agit plutôt d'un phénomène psychologique sur la prédisposition à ne pas entreprendre un changement radical innovant même quand il existe l'aspiration d'améliorer les conditions actuelles d'un processus ou d'un produit » [COL 02].*

Cette contradiction ne doit pas être confondue avec le phénomène de l'inertie psychologique. La différence réside dans l'incapacité à percevoir le besoin de changer (opposition au changement), plutôt que sur l'incapacité de briser un paradigme ou casser une tendance dans la pensée créatrice.

Cette contradiction se présente sous différentes formes :

- L'incapacité à déterminer de nouvelles voies d'action.
- La difficulté à entreprendre de nouveaux projets en raison d'avoir atteint un niveau satisfaisant de performance.

Les manifestations de ce type de contradiction sont variées, parmi les plus affectées se trouve la réactivité de l'entreprise au changement et sa capacité à innover [R&R 03].

5.2.4 Le concept de « problème inventif » et des ressources

Un **Problème Inventif** est un problème qui contient au moins une contradiction technique, qui ne peut pas être résolue, avec la connaissance ordinaire ou les moyens techniques communs. De plus, les conditions du problème ne permettent pas, la négociation ou le compromis entre les différentes parties du conflit.

Parfois la résolution d'un tel problème ne peut pas être abordée avec la connaissance accumulée et disponible dans un domaine spécifique (ex. la connaissance d'une entreprise ou une seule discipline). Alors, la solution doit être cherchée dans un autre domaine, au-delà des frontières d'une discipline ou d'une entreprise. Cela, introduit une difficulté supplémentaire, puisque dans quelle discipline, spécialité scientifique ou type d'entreprise doit-on chercher ?

TRIZ englobe des outils capables d'organiser cette recherche et de résoudre les contradictions techniques. Alors, dans TRIZ la résolution d'un problème commence avec l'identification d'une contradiction, puis, une stratégie de résolution est dressée basée sur les ressources disponibles, les conditions spécifiques du problème et les tendances d'évolution des systèmes techniques.

Par conséquent, une **solution inventive** est une solution qui implique l'élimination totale ou partielle d'une contradiction. Elle est basée sur l'utilisation efficace des ressources disponibles dans le système et son environnement. Un critère d'évaluation d'une solution inventive, est que le coût des **ressources** utilisées pour obtenir un résultat, est presque négligeable par rapport aux bénéfices obtenus (concept d'idéalité).

5.3 Les ressources disponibles dans le système

Dans la conception de TRIZ, le mot « **ressource** » possède un sens un peu différent du sens commun. Tout système en voie d'évolution dispose de certains moyens qui peuvent être utilisés afin d'améliorer la performance globale de ce système, ces moyens sont les ressources.

Une ressource est un élément disponible dans le système ou dans son environnement, généralement inactif, 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, résoudre les contradictions mais aussi guider l'évolution d'un produit, d'un procédé ou d'une

technologie [D&R 02]. Une fois le problème posé, une analyse est faite afin d'identifier quelles sont les ressources disponibles.

Parmi les ressources les plus importantes, l'énumération suivante propose une liste non-exhaustive :

- **Substances**
 - Déchets
 - Matières premières et produits
 - Éléments ou composants du système
 - Substances peu coûteuses
 - Flux de substances
 - Propriétés des substances

- **Champs énergétiques**
 - Énergie dans le système
 - Énergie provenant de l'environnement
 - Les déchets du système deviennent l'énergie du système

- **Espace**
 - Vide
 - Autre dimension
 - Arrangements verticaux, sphériques, etc.
 - Placement à l'intérieur

- **Temps**
 - Préparation du système avant la réalisation de la fonction utile
 - Programmation
 - Opérations parallèles
 - Post-opération, adaptation du système après la réalisation de la fonction utile

- **Information**
 - Générée par la substance
 - Inhérente à ses propriétés
 - Flux d'information
 - Information transitoire
 - Changement dans l'état de l'information

- **Ressources fonctionnelles**
 - Ressources d'espace au cœur de la fonction primaire
 - Utilisation d'un effet néfaste
 - Utilisation des fonctions secondaires générées

La possibilité de changer l'état des ressources existantes (par le biais de transformations naturelles, chimiques, de processus, d'accumulation, d'activation, etc.), afin d'éliminer un effet néfaste ou d'accomplir une fonction doit être considérée. Ce sont des ressources dérivées. Parmi les ressources dérivées se trouvent :

- **Ressources dérivées**
 - Déchets transformés
 - Matières premières ou produits transformés
 - Eau transformée
 - Autres substances transformées

- **Modification des substances**
 - Changement de phase

- Réactions chimiques
- Application des effets physiques
- Traitement thermique
- Fractionnement
- Décomposition
- Transformation vers un état mobile
- Formation de mélanges
- Introduction d'additifs
- Ionisation

Après leur identification, une ressource est sélectionnée, comme potentiellement capable de résoudre le problème en suivant certains critères, dont les plus importants sont :

- La quantité disponible
- Son accessibilité
- Le bénéfice attendu après son utilisation
- Le coût de transformation et d'utilisation

Enfin, un effort créatif est déployé pour dériver une solution basée sur l'emploi de la ressource sélectionnée.

Exemple : dans l'exemple suivant une ressource fonctionnelle est employée et plus spécifiquement, un effet néfaste est utilisé. Si pendant une transfusion sanguine le groupe sanguin utilisé n'est pas compatible avec celui du receveur, un phénomène de coagulation aura lieu lorsque les deux types de sang se mélangent. Cet effet peut être utilisé en cas d'urgence pour arrêter une hémorragie. Pour cela il suffit d'appliquer sur la blessure, un pansement imprégné d'un groupe sanguin différent de celui du receveur. L'application de cette mesure, nécessite une vérification préalable de la qualité du sang, afin d'éviter la transmission d'une maladie contagieuse.

5.4 L'évolution des systèmes techniques

Le travail d'Altshuller a contribué à la création des premiers éléments, pour tracer et déterminer les tendances et lignes d'évolution des systèmes techniques. L'essence de ce travail énonce que *l'évolution de n'importe quel système technique, est gouvernée par des lois vérifiables [ALT 01].*

Suite à son analyse de brevets, Altshuller note des tendances d'évolution typiques pour les systèmes techniques. De ce constat il en a déduit un outil nommé lois d'évolution. Il serait plus correct de les appeler modèles d'évolution ou schéma d'évolution, car elles ne sont pas des lois au sens physique du terme. Il y a huit lois génériques qui permettent d'orienter l'avenir d'un produit ou d'un procédé, en partant du postulat que l'évolution des systèmes techniques suit certaines directions bien définies.

Lois Statiques	Loi 1 : Intégralité des parties d'un ST
	Loi 2 : Conductivité énergétique d'un ST
	Loi 3 : Coordination du rythme des parties d'un ST
Lois Cinématiques	Loi 4 : Augmentation du niveau de perfectionnement d'un ST
	Loi 5 : Développement inégal des parties d'un ST
	Loi 6 : Transition vers le super- système
Lois Dynamiques	Loi 7 : Transition d'un macro niveau vers un micro niveau
	Loi 8 : Augmentation du niveau de contrôlabilité

Tableau 2.2 Les lois ou tendances d'évolution des systèmes techniques

L'énoncé précédent indique que pendant l'évolution d'un système, l'amélioration d'une de ses parties ayant déjà atteint le sommet de son exécution fonctionnelle, amènera à un conflit avec une autre partie. Cette situation problématique, guidera le système vers l'amélioration de son composant le moins évolué. Ce sont les lois d'évolution qui permettent de faire la transition entre les différentes étapes dans l'évolution d'un système. Elles guident le processus de résolution des problèmes et contrôlent le cheminement vers l'atteinte de l'état idéal. L'ensemble de lois ainsi qu'un exemple de son utilisation, sont décrits dans la section 6.2.5 de cette annexe.

L'évolution de TRIZ, a produit un ensemble d'outils capables d'éclairer la recherche de nouveaux concepts, mais aussi, des outils capables de résoudre une grande diversité de problèmes de complexité variée. Aujourd'hui, cet ensemble d'outils, ainsi que d'autres outils et méthodologies sont connus comme *l'Innovation Systématique* [SHU 99].

6. Les outils de TRIZ

L'organigramme de la figure 2.11 montre de façon succincte, l'emploi des divers outils de TRIZ, lors de la résolution d'un problème. Certains ne sont pas indiqués, particulièrement l'algorithme ARIZ, car c'est une manière alternative de lier les outils et les techniques de TRIZ [Z&Z 91].

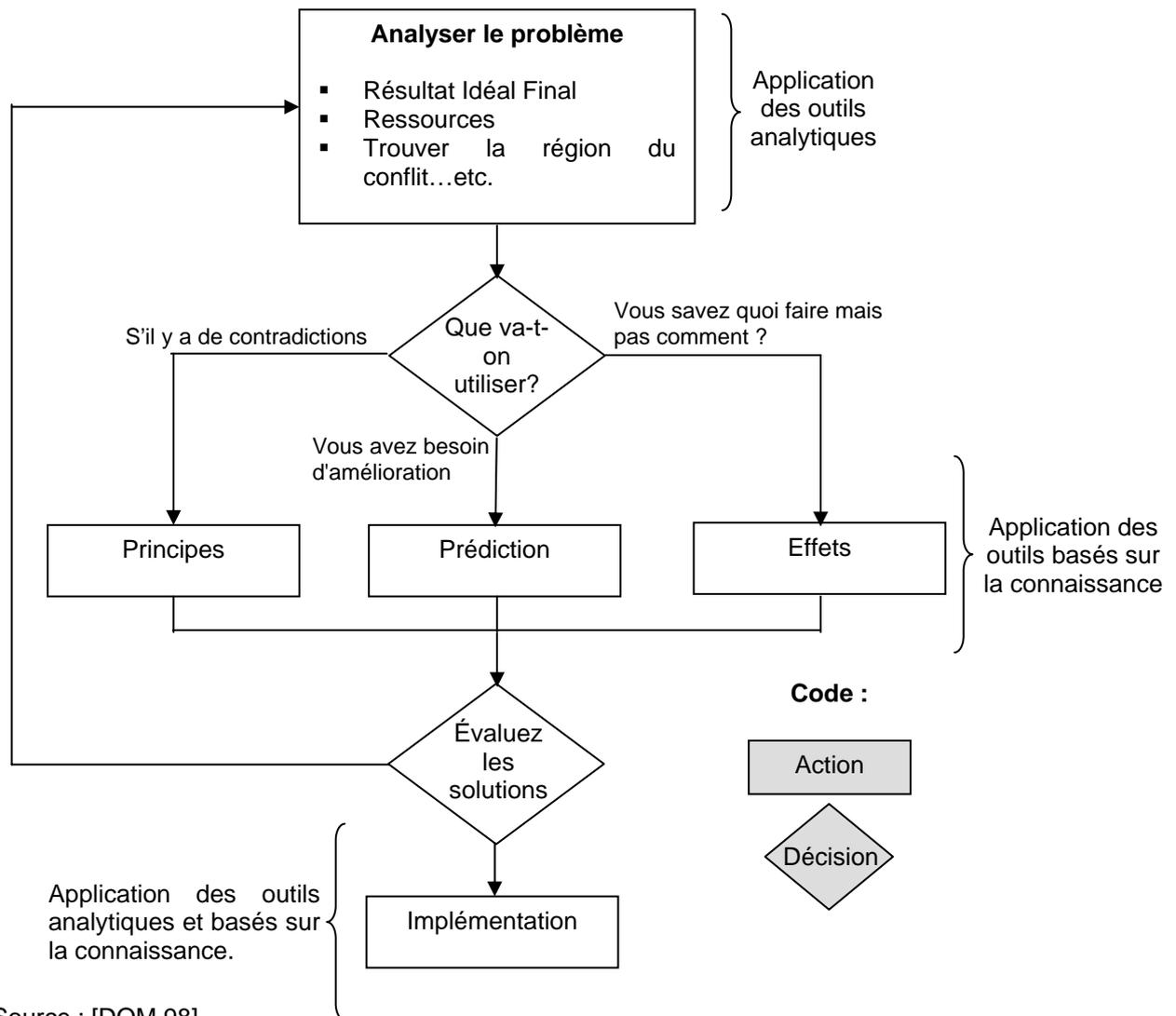


Figure 2.11 Organigramme général de résolution de problèmes avec TRIZ

Il y a des outils particuliers à utiliser selon les conditions de la situation problématique, ou selon l'étape spécifique d'application de la méthodologie de résolution de problèmes. Nonobstant, ils peuvent être mélangés et appliqués conformément au besoin et à l'expertise de l'utilisateur.

Les outils de TRIZ ont été divisés en deux catégories principales : les outils analytiques et les outils basés sur la connaissance.

La différence selon Zlotin et Zusman [Z&Z 99], se trouve dans la structure du problème. Un processus de résolution de problèmes englobe deux composantes primordiales : le problème lui-même et le système dans lequel le problème existe. Souvent, un inventeur tente d'éliminer le problème en modifiant le système, tandis qu'il est plus facile de reconsidérer le problème.

En conséquence, les outils analytiques s'avèrent d'utilité pendant la modification d'un problème et les outils basés sur la connaissance, pour la transformation du système qui contient le problème [Z&Z 99]. Les tableaux suivants montrent les deux catégories.

Les outils analytiques	Utilisation dans la région de :
1. Le questionnaire de situation innovante (ISQ)	Modélisation et définition d'un problème
2. La formulation des problèmes (PF)	Modélisation d'un problème
3. Le résultat idéal final (RIF)	Déblocage psychologique
4. L'analyse Champ – Substance	Modélisation d'un problème
5. Les phases initiales d'ARIZ ⁵	Résolution et modélisation
6. La détermination anticipée de défaillances (DAD)	Prédiction et Résolution de conflits
7. Les neuf écrans ou l'approche multi-écrans	Déblocage psychologique
8. Les opérateurs Dimensions, Temps et Coût (DTC)	Déblocage psychologique
9. Les hommes miniatures	Déblocage psychologique
10. Les mots simples	Déblocage psychologique

Tableau 2.3 Les outils analytiques

Les outils basés sur les connaissances	Utilisation dans la région de :
1. La matrice d'Altshuller : la relation entre les 40 principes d'innovation et les 39 paramètres de contradiction	Résolution de conflits
2. Les 76 solutions standard	Résolution de conflits
3. La séparation des principes	Résolution de conflits
4. Les effets physiques, chimiques et géométriques	Résolution de conflits
5. Modèles et lignes d'évolution	Prédiction
6. ARIZ	Résolution de conflits

Tableau 2.4 Les outils basés sur la connaissance

L'organigramme suivant, montre l'utilisation des différents outils de TRIZ selon le type de situation problématique identifié.

⁵ L'Algorithme de Résolution des Problèmes Inventifs

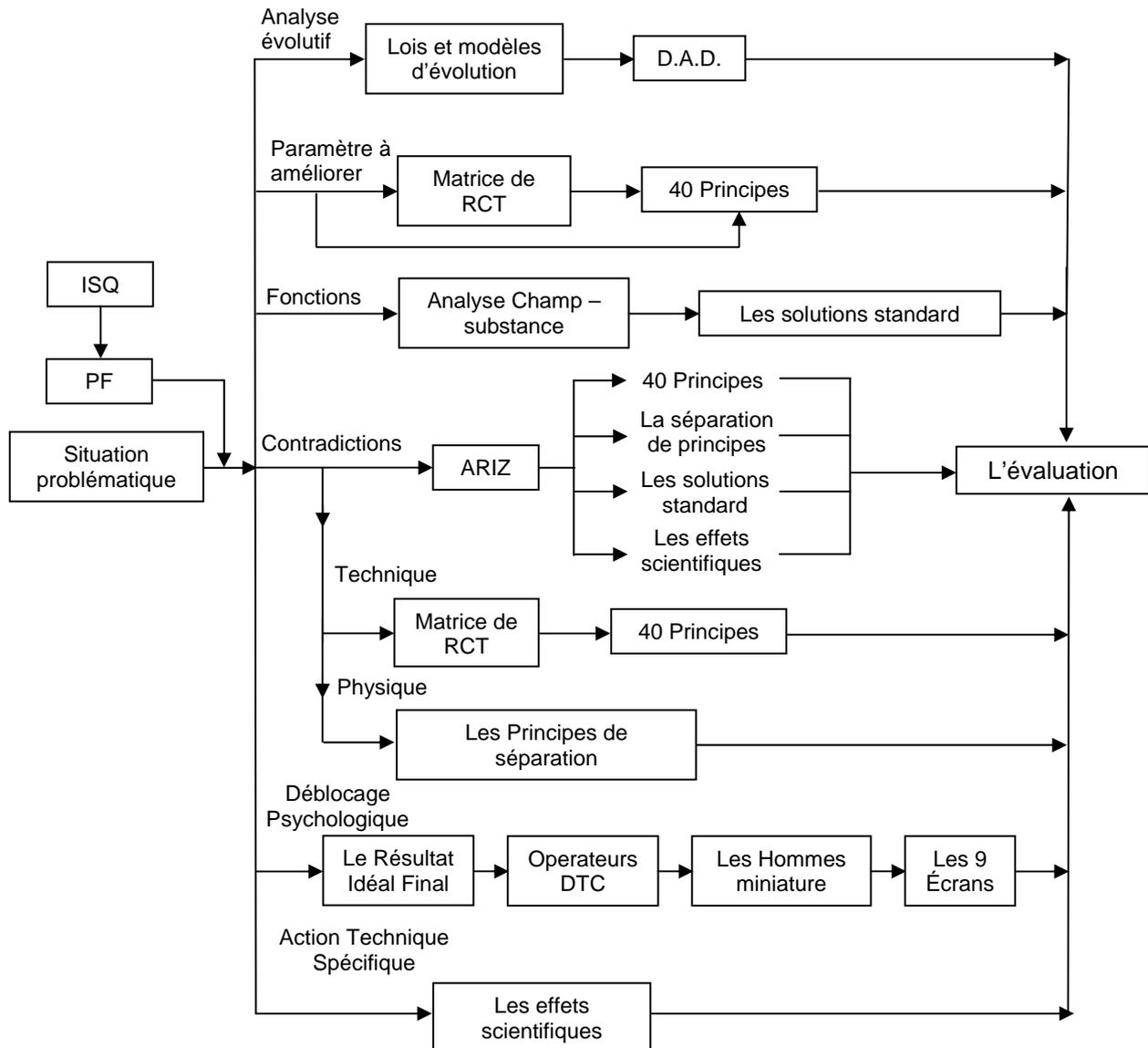


Figure 2.12 Traitement d'une situation problématique dans l'inventaire d'outils de TRIZ

6.1 Les Outils Analytiques

6.1.1 Le questionnaire de la situation innovante (QSI)

Une des difficultés d'application de TRIZ est que cette théorie admet comme postulat initial, que le problème à résoudre a été correctement formalisé. Plus important encore, il convient de s'assurer que le problème formalisé est bien celui à résoudre. Afin de palier cet inconvénient, certains outils dont le QSI ont été développés pour réaliser cette étape [TZZ 98].

Le Questionnaire de la situation innovante (**QSI**) en anglais, «Innovation Situation Questionnaire **ISQ**» a été développé dans l'école Kishinev. Cet outil a été conçu afin de bien comprendre un problème et son environnement.

Parmi les objectifs du QSI se trouve :

- Une définition et formulation d'une situation innovante.
- Une mise en évidence de tous les besoins d'information.

- Fournir la structure nécessaire pour recueillir l'information indispensable.
- Une reformulation et une division du problème.

Le QSI rend explicite tous les besoins d'information, lorsque l'information primordiale n'est pas suffisamment connue par une équipe de travail. Une autre raison pour l'exploitation de l'outil QSI, est la capacité à reformuler un problème et le transformer en plusieurs petits problèmes.

Un autre élément important, est la possibilité de produire, pendant l'application de cet outil, des concepts qui peuvent devenir solutions ou se révéler comme possibilités de solution pour d'autres problèmes. Finalement, l'information produite par le QSI, sert comme « matière première » pendant l'enchaînement avec d'autres outils de TRIZ.

Le QSI se décompose en six étapes : (1) l'information sur la situation problématique et son environnement, (2) l'identification des ressources disponibles, (3) l'information sur le problème, (4) le changement permis du système, (5) les critères de sélection de concepts et finalement (6) l'historique des solutions testées. Les points suivant les décrivent plus en détail.

1) Information sur la situation problématique (Amélioration, création, élimination d'un effet néfaste) et son environnement : cette rubrique est composée de 5 étapes. L'objectif est d'obtenir une description du système, de ses sous – systèmes, de son environnement et la façon dont ils agissent.

A) Nom du système

B) Fonction primaire utile du système : la fonction est décrite en utilisant un verbe actif, traduisant le fait qu'un objet réalise une action dans le système.

C) Structure ou condition actuelle du système : description des conditions du système lorsqu'il est inactif. Il est recommandé d'inclure ici des schémas du système, des photos ou d'autres éléments capables de mettre en évidence l'état du système. Ensuite il est nécessaire d'indiquer tous les sous-systèmes, les détails et leurs connexions. Le super-système dans lequel le système opère peut également être mentionné.

D) Description de l'opération du système. Comment la fonction primaire du système est-elle produite ?

- Comment les sous-systèmes ou les composants du système interagissent-ils ?
- Quelle est la séquence d'interaction ?
- Quels sont la méthode et l'objectif de cette interaction ?

E) Environnement du système. Le système environnant peut amener des conditions, des contraintes à la solution du problème. Comment ce système interagit avec le super-système qui l'englobe ? Dans cette partie, la description de l'environnement inclut :

- Tout autre système avec lequel le système initial (SI) interagit de façon utile ou néfaste.
- Tout autre système situé à proximité du SI et qui est susceptible d'avoir une interaction ou pas d'interaction directe à l'heure actuelle.
- Super-système dans lequel le SI est un composant.
- L'environnement naturel entourant le SI.

2) Les ressources disponibles : cette étape explore la possibilité d'utiliser les ressources « gratuites » disponibles dans l'environnement où est localisé le système. Parfois, la conception la plus innovante, tire son avantage concurrentiel de phénomènes naturels.

L'objectif est de déterminer quels sont les phénomènes naturels présents dans l'environnement, afin de les rendre productifs ou de les utiliser pour éliminer un effet néfaste.

Les ressources typiques sont (section 5.3) :

- Substances
- Champs énergétiques
- Espace
- Temps
- Information
- Ressources fonctionnelles
- Ressources dérivées
- Modification des substances

3) L'information sur la situation problématique : l'intérêt de cette partie est d'indiquer les causes qui conduisent au problème et d'indiquer comment l'inconvénient est relié à la fonction principale ou à d'autres fonctions utiles.

A) Amélioration désirée du système ou inconvénient à éliminer. Les inconvénients typiques sont :

- L'action utile requise est absente.
- L'action utile requise a été mise en œuvre mais l'effet est inefficace ou incomplet.
- Il y a un facteur néfaste dans le système, une action nuisible ou un résultat néfaste produit par la fonction utile primaire.
- L'information requise sur la condition d'un objet est absente ou insuffisante.
- La complexité du système est très élevée, le coût du système est aussi très élevé.
- L'amplitude de certains paramètres du système est inférieure ou supérieure aux spécifications requises.
- L'amplitude des caractéristiques du système relatives à la mesure ou au contrôle est inférieure aux spécifications.

B) Description du mécanisme qui produit la condition indésirable (s'il est clairement identifié).

- Il faut décrire le mécanisme, les conditions et les circonstances sous lesquelles la condition ou effet indésirable apparaît.

C) Histoire du développement du problème. Après quel événement ou étape dans le développement du système le problème est apparu : décrire les événements historiques conduisant à l'inconvénient ainsi que les raisons.

- A cette étape, il s'avère très utile de considérer un chemin d'évolution ou de développement du système qui aurait évité le problème.

D) Autres problèmes qui doivent être résolus. Est-il possible de modifier la direction du développement du problème, de telle façon que les conditions guidant vers leur occurrence soient éliminées ? Y a-t-il des nouveaux inconvénients à cause de cette modification ? Sont-ils plus faciles à résoudre ?

4) Changement du système : cette étape, composée de deux sous – étapes, sert à définir le degré acceptable du changement dans le système. Cette condition englobe les situations suivantes :

A) Changements permis au système. Faire une analyse afin d'évaluer et décrire le degré de changement possible atteignable. Le degré de changement possible dépend essentiellement de :

- L'état actuel (en développement, prototype, production pilote, production de masse, etc.)
- Pertes directes et indirectes occasionnées par un effet néfaste.
- Les bénéfices potentiels ou autres gains qui résultent de la résolution du problème.

- Les phrases suivantes sont utiles pour décrire le problème :

- Un changement complet est possible, incluant la création d'un nouveau produit et/ou technologie.
- Un changement majeur est possible dans certaines limites imposées par le coût, le développement, l'équipement et la compatibilité avec les stratégies du marché.
- Un changement mineur est permis. Les options sont limitées par la nécessité de garder une technologie existante, de satisfaire les besoins imposés par un contrat ou par les clients. Les contraintes formulées doivent être bien spécifiées.
- Uniquement un changement minimum est permis. Il faudra bien souligner le pourquoi de cette contrainte.

B) Limites imposées au changement du système. Indiquer quels éléments, composants ou sous-systèmes peuvent être changés, ainsi que ceux qui doivent rester inchangés. Indiquer aussi quelles caractéristiques techniques, économiques ou de toute autre nature pourraient rester constantes, ne pas diminuer ou augmenter. Il faut aussi, expliquer les raisons de ces restrictions.

- Si possible, indiquer les conditions sous lesquelles ces restrictions peuvent disparaître.
- Dans le cas où l'élimination de ces restrictions amène à des nouveaux problèmes, une analyse devra être faite afin de déterminer le cheminement à suivre, c'est-à-dire, s'il est mieux de garder le problème dans sa forme originale ou d'entreprendre la résolution des nouveaux problèmes générés.

5) Les critères de sélection de concepts de solution : cette étape du QSI, sert à indiquer quel est (ou sont), le composant qui doit être changé pour accéder au niveau désiré de performance du système. Les critères primordiaux sont :

- Les caractéristiques technologiques désirées.
- Les caractéristiques économiques souhaitées.
- Le délai désiré.
- Le degré de nouveauté visé.
- D'autres critères.

Souligner quels composants ou parties du système doivent être changés afin d'obtenir les caractéristiques souhaitées.

- Quels changements qualitatifs et quantitatifs sont nécessaires pour obtenir ces caractéristiques ?

- Comment et pourquoi les changements proposés affecteront la situation indésirable ?
- Quelles seront les bases pour établir les critères de sélection d'une solution potentielle ?

6) Historique des solutions testées : cette section du QSI, aborde l'élaboration d'une base bibliographique de toutes les tentatives précédentes de résolution du problème, avec comme but de trouver les raisons pour lesquelles celles-ci ont échoué. Cette étape cherche aussi à trouver d'autres systèmes qui possèdent une problématique similaire.

- A).** Antécédents d'essais pour résoudre le problème et raisons des échecs.
- B).** Autres systèmes dans lesquels un problème similaire se manifeste. Identifier ces systèmes avec un problème analogue, puis se demander si :
 - Le problème a déjà été résolu dans un autre domaine ?
 - La solution trouvée, est-elle applicable à la situation problématique confrontée ?
 - Si cela n'est pas faisable, indiquer pourquoi. Quelles sont les limitations et les contraintes ?

6.1.2 La formulation de problèmes

Dans cet outil, le processus de formulation est fait par le biais d'un graphique de cause et effet, afin de mettre en évidence le lien entre les fonctions utiles primaires (FUP) et les fonctions nocives primaires (FNP) d'un système.

Pour construire ce graphique, il faut commencer, soit avec les fonctions nocives primaires FNP soit avec les FUP.

Si le processus débute avec la FNP, il faut identifier les fonctions qui peuvent être liées aux FUP. Un lien est considéré complet s'il y a au moins une interaction de FNP vers FUP. Le graphique révèle une description utile de plusieurs problèmes secondaires, impliqués dans le problème d'innovation [TZZ 98].

Afin de résoudre le problème d'innovation (c'est-à-dire, éliminer la FNP), il faut formuler les relations de cause - effet de tous les problèmes impliqués.

Une fois que toutes les relations sont identifiées, il est possible de discerner le problème ayant le plus fort impact sur le système et l'éliminer. Parfois, l'élimination d'un seul problème secondaire permet la résolution du problème principal. *Le QSI identifie l'information principale qui permet de résoudre un problème primaire, la formulation de problèmes utilise cette information pour bien poser le problème.*

6.1.3 Le RIF : Le Résultat Idéal Final (Ideal Final Result)

Parfois pendant la résolution d'un problème, il est possible de trouver différentes situations :

- A)** Les stratégies d'élimination d'une contradiction technique sont nombreuses, c'est-à-dire, un problème peut avoir une gamme très variée de solutions ; le problème ainsi se transforme en un problème de décision : il faut sélectionner une solution parmi un ensemble.
- B)** Si aucune voie de résolution n'est connue : Est-il possible d'avoir un critère capable de diriger la recherche d'une solution ?

De plus ce critère doit prendre en compte la loi primordiale de systèmes techniques ou loi de l'augmentation du degré d'idéalité, qui dit que la tendance majeure des systèmes techniques est d'évoluer vers l'augmentation de son degré d'idéalité [SAL 99], [MAN 04A]. Selon la relation d'idéalité (section 5.1), l'augmentation du degré d'idéalité s'atteint essentiellement par :

- A) L'augmentation des fonctions utiles du système
- B) La réduction du coût généré par le système
- C) L'élimination ou réduction des fonctions nuisibles causées par le système [DOM 98A]

En d'autres termes, il faudra adopter la solution qui amène le système vers le degré le plus élevé d'idéalité. C'est le résultat extrême de cette évolution, le Résultat Final Idéal (**RIF**) qui produit la meilleure solution à un problème, étant donné les conditions.

Le concept d'idéalité est contenu dans un outil de TRIZ, le Résultat Idéal Final (RIF). Le RIF fut proposé par Altshuller et Shapiro en 1950. Altshuller disait à propos du RIF : « *Le RIF est une fantaisie de l'esprit, un rêve. Il est inaccessible, mais il ouvre la voie vers la résolution du problème* » [ALT 02]. Le Résultat Idéal Final (RIF) est un concept psychologique qui permet de trouver une alternative simple de la solution face à un problème complexe. Bien souvent, le résultat est utopique mais il offre une voie de réflexion rarement explorée.

Lors de la réflexion sur le RIF ; il faut imaginer une solution au-delà des réalités technologiques, il ne spéculé pas si c'est technologiquement possible ou non de l'atteindre. Le RIF amène une voie d'innovation en réfléchissant directement à la solution et non pas aux difficultés qui se dressent sur cette voie. Le RIF ne s'attarde pas sur le « comment » mais il propose une réflexion rigoureuse sur le problème avec une décomposition systémique de ce dernier pour assurer une analyse détaillée de ses fonctions. Ce travail permet de déterminer le ou les sous-systèmes à améliorer ainsi que les contraintes principales – supprimer celles provenant d'une barrière psychologique- [DOM 97].

Le RIF est formulé selon une maxime : *un des éléments du système ou de l'environnement a la capacité d'éliminer, par lui-même, un effet nuisible (ou redondant, superflu, etc.), en préservant la capacité de produire l'effet primaire utile du système sans introduire de nouveaux désavantages.* La phrase « par lui-même » veut dire, absolument sans rien, sans l'implication de l'homme, d'un flux d'énergie, d'un nouveau sous-système ou intervention d'un super système [SAL 99].

Exemple : tous les bâtiments industriels ou résidentiels ont des conduits d'aération destinés à libérer l'air utilisé. Néanmoins, pendant l'hiver et, spécialement dans les villes très froides ceux-ci se gèlent. La surface intérieure développe lentement une couche de glace, à cause de l'humidité contenue dans le flux d'air et cela, peut bloquer la sortie d'air avec de très graves conséquences. Depuis longtemps, plusieurs dispositifs (mécaniques pour la plupart), ont essayé d'éliminer le problème sans succès, car ils tendent aussi à se geler et exigent de l'entretien. Dans ces conditions que faire ?

L'énoncé du RFI est très simple : le conduit d'aération élimine par lui-même la glace qui se forme.

Cela a été justement le raisonnement de l'inventeur (selon le brevet No. 1298 488) : le conduit a une paroi faite d'un matériel ondulé et flexible. La surface extérieure de la double paroi est transparente et celle à l'intérieur est noircie.

La cavité formée est remplie avec un liquide volatil. De ce fait, lorsque le soleil fait monter la température, la pression de la vapeur dans la cavité, augmente et provoque l'allongement du conduit. Une baisse de la température déclenche la condensation de la vapeur et donc, la réduction de la longueur du conduit. De ce fait, le changement continu des dimensions du conduit, empêche la glace de s'accumuler autour du conduit en éliminant le problème du blocage.

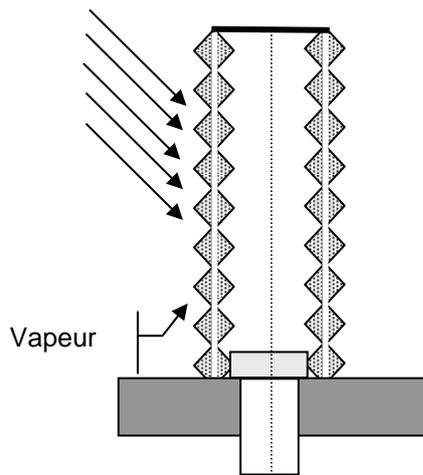


Figure 2.13a Le conduit allongé

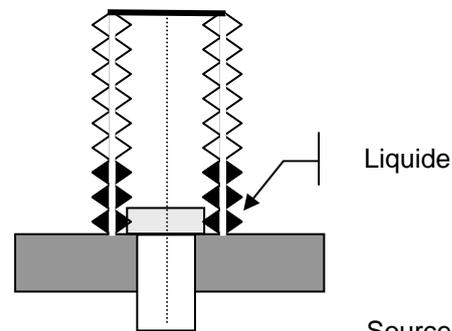


Figure 2.13b Le conduit raccourci

Source : [SAL 99]

6.1.4 L'analyse substance – champ (Substance Field Analysis)

Tous les systèmes ont été conçus afin d'exécuter une fonction. Selon Kowalick [KOW 97], la découverte la plus importante d'Altshuller, est d'avoir identifié la composition d'une fonction, qui sert de base à TRIZ et à ARIZ. Cette fonction est le produit de l'interaction entre une substance S_1 , provoquée par une autre substance S_2 , par le biais d'un certain type d'énergie. Altshuller découvrait une loi simple mais universelle: **Toutes les fonctions peuvent être décomposées en trois éléments de base.**

Cette loi possède les corollaires suivants :

- Une fonction doit avoir trois éléments de base afin d'exister.
- Une fonction est créée en réunissant les trois éléments appropriés.

Ces trois éléments qui composent une fonction, peuvent être définis comme «**deux substances et un champ**», ce graphe est aussi appelé **vépole** (contraction de champ et substance en russe).

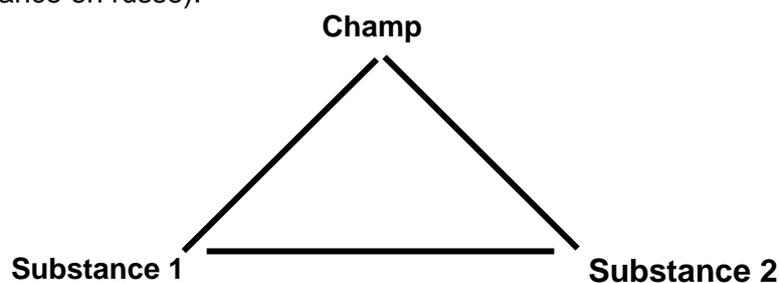


Figure 2.14 Le Modèle Substance – Champ : le concept du système technique minimal

Ces trois éléments, forment la base de **l'analyse Substance – Champ**. Cet outil sert à la modélisation et simplification d'un système technique.

Ces trois éléments jouent le même rôle fondamental en technologie que le triangle en géométrie. Toute figure complexe peut s'exprimer en somme de triangle. De façon analogue, tout système complexe peut se représenter par combinaison de block simple (figure 2.14).

Pour poursuivre l'analogie, avec la connaissance de quelques règles fondamentales et des fonctions géométriques, il est facile de résoudre de nombreux problèmes de géométrie sans de longs calculs ou mesures laborieuses. De même, la connaissance des 76 solutions

standard (section 6.2.3 de cette annexe), permet plus facilement de résoudre de nombreux problèmes.

Le concept de Substance – Champ (**SuFi**) offre aussi, une indication pour diriger la recherche des solutions d'un problème et également, pour identifier une classe de problèmes pour lesquels, les 76 solutions standard peuvent être appliquées.

La figure 2.14 représente un block Substance – Champ et symbolise le modèle minimal d'un système technique, opérationnel, fonctionnel et contrôlable.

La terminologie employée dans l'analyse Substance - Champ (**SuFi**), a des significations un peu particulières, par exemple, le terme « **substance** » fait référence à un objet avec un degré indéterminé de complexité, c'est-à-dire, une substance dans le contexte de TRIZ, peut être un élément isolé (une pièce d'un véhicule) ou un système complexe (le véhicule lui-même).

Il faut faire mention des états des substances, ceux-ci incluent non seulement les états physiques de la matière (solide, liquide, gazeuse, le plasma et même le vide), mais aussi une grande diversité de sous – états (la mousse, le gel, une poudre, etc.). Sont aussi considérées comme substances, les caractéristiques spécifiques de certains éléments comme les propriétés électriques, thermiques, magnétiques, optiques, luminescentes, ferromagnétiques, semi-conducteurs, etc.

Le terme champ est employé au sens large du domaine de la physique, de la chimie. Le champ peut être un flux d'énergie, d'information, de forces, une réaction, ou une interaction réalisant un effet. De par cette vision très large, les champs les plus souvent utilisés sont listés dans le tableau 2.5 (liste non exhaustive).

Champs dans TRIZ	
M : Mécanique	M : Magnétique
P : Pneumatique	G : Gravitationnel
Hy : Hydraulique	N : Nucléaire
A : Acoustique	O : Optique
T : Thermique	OI : Olfactif
H : Chimique	R : Radiatif
E : Électrique	B : Biologique

Tableau 2.5 Les champs de TRIZ

L'emploi de certains champs a été restreint à cause de la difficulté pour les contrôler (par exemple les champs nucléaire et gravitationnel), étant donné les limitations scientifiques actuelles. Néanmoins ces types de champs, catalogués comme « non- maîtrisables », seront appliqués avec une structure scientifique qui sera développée dans le futur et cela, permettra la résolution de divers problèmes classés aujourd'hui comme « insolubles ».

6.1.4.1 Les modèles de base

Il y a quatre modèles de base pour représenter un système sous la forme Substance - Champ (**SuFi**):

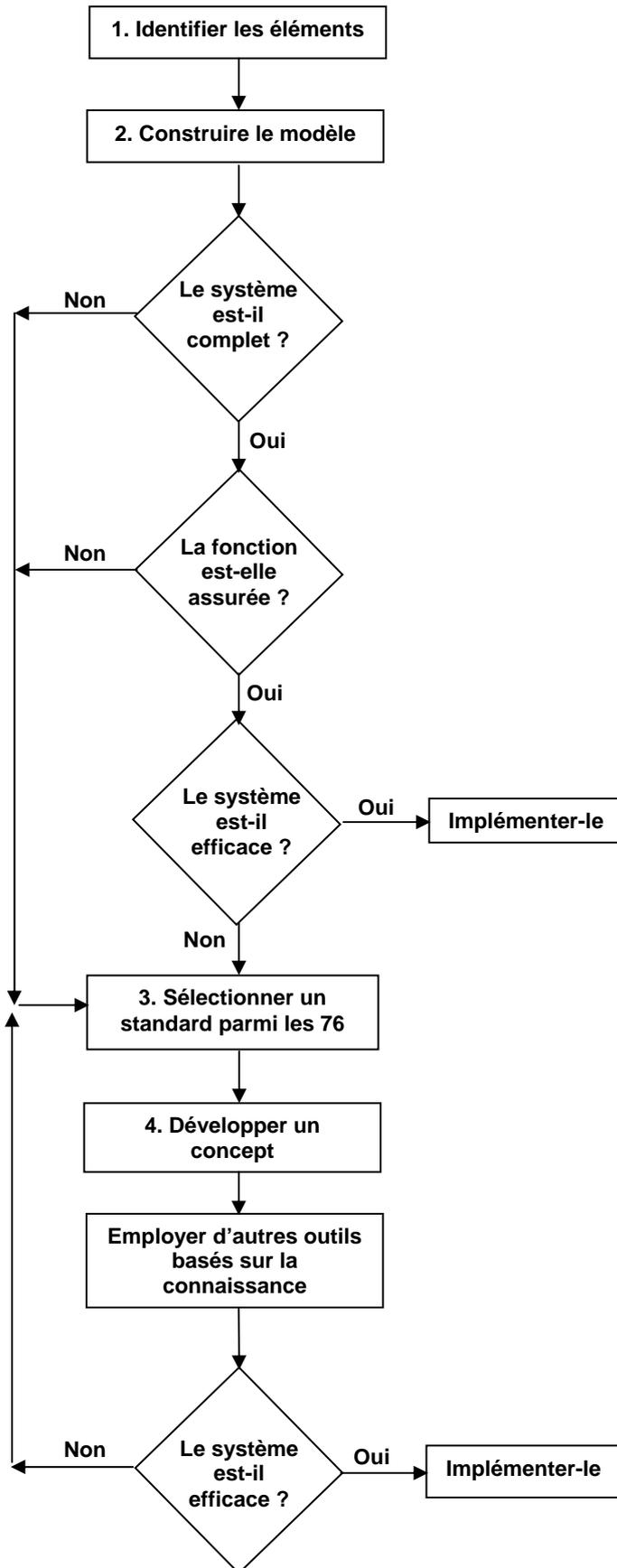
- 1) Le système incomplet : il faut le compléter ou développer un nouveau système.
- 2) Le système effectif complet : deux substances et un champ y sont présents, avec une relation de synergie.
- 3) Le système non – effectif complet : il faut l'améliorer pour obtenir l'effet souhaité.

4) Le système nuisible complet : il faut éliminer le ou les effets nuisibles.

Si l'un des trois éléments manque, l'analyse Substance - Champ (**SuFi**) indique où est-ce qu'il faut améliorer le modèle et donne aussi, des directions pour diriger la pensée créatrice. Lorsqu'il manque plus d'un élément, l'analyse Substance - Champ (**SuFi**) peut suggérer la façon de modifier le système pour améliorer la performance. Ceci est particulièrement vrai, s'il est possible d'introduire des changements radicaux pendant la conception du système.

Un algorithme résumant les 4 étapes de résolution a été proposé afin de résoudre un problème à l'aide de l'analyse Substance – Champ ou SuFi (figure 2.15), voici ces étapes :

- A) Identifier les éléments.** Le champ agit sur les deux substances ou est intégré avec la substance 2 comme un système.
- B) Construire le modèle.** Après avoir réalisé les étapes « A » et « B », évaluer si le système est complet et effectif. S'il y a des éléments manquants, il faut essayer de les identifier.
- C) Envisager des solutions à partir des 76 solutions standard.**
- D) Développer un concept de solution.**



Source : [TZZ 98]

Figure 2.15 Organigramme orienté de résolution de problèmes avec l'analyse Substance – Champ (Su-Fi)

6.1.4.2 Le symbolisme Substance – Champ

Le tableau suivant, montre les symboles adoptés pour la modélisation dans l'analyse Substance – Champ (**SuFi**).

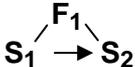
Nomenclature	Symbole
Modèle Su – Field (vue générale)	
Connexion normale	
Action excessive	
Action dirigée, ou effet désiré	
Interaction mutuelle	
Inaction	
Action déficiente	
Action nocive	
Coupure dans la connexion	
Transformation	
Champ en entrée	F →
Champ en sortie	→ F
État du champ en entrée	F'
État du même champ en sortie (les paramètres changent, mais pas la nature du champ.	F''
Champ en transition	F~
État de la substance en entrée	S'
État de la substance en sortie	S''
Transition de substance se trouvant dans l'état S' ou l'état S''	S'-S''

Tableau 2.6 Symbolisme de l'analyse Su – Field

Remarque : Parfois, un modèle Substance - Champ (SuFi) complet, est dessiné simplement avec un triangle, si les détails de sa composition ne sont pas importants.

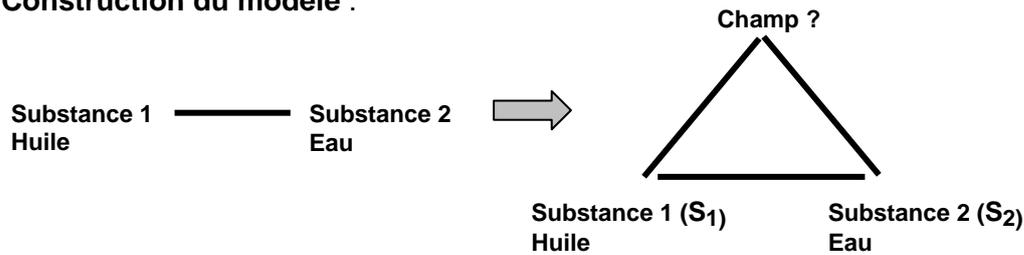
Exemple : Les méthodes existantes pour déterminer le contenu d'eau dans l'huile d'une machine, exigent beaucoup de temps et ont besoin d'instruments de mesure spécialisés. De quelle façon est-il possible de déterminer la présence de l'eau dans l'huile d'une automobile ? Si, par exemple, l'automobile se trouve au bord de la route. Une méthode simple, rapide et efficace est nécessaire [SAL 99].

En suivant l'organigramme représenté sur la figure 2.15, les étapes de résolution sont les suivantes :

1) Identification des éléments :

- Substance 1= huile de moteur
- Substance 2= de l'Eau
- Champ : ?

2) Construction du modèle :

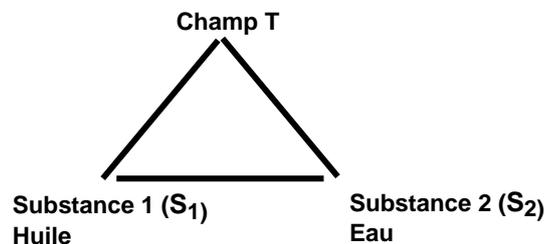


- Le système est-il complet ?

Le champ est l'élément manquant, mais lequel choisir ? Selon les conditions du problème, le champ doit être simple et accessible. Le champ doit séparer les substances et montrer la présence ou non de l'eau.

Il est évident, que la séparation des substances doit se baser, dans la disparité entre les caractéristiques de S_1 et S_2 , mais encore une fois, laquelle ?

Parmi la grande variété des caractéristiques, la plus notoire est le point d'ébullition. Avec l'incorporation du champ thermique au modèle, le block se complète.



- La fonction est-elle assurée ?

Oui, le brevet japonais No. 52-46837 le confirme. Un peu d'huile doit être placé sur une pièce plate en métal et chauffé au-dessus des 100 C° et l'eau bouillante deviendra évidente.

3) Le système est-il efficace ?

Oui, donc il peut être implémenté. Cet exemple n'a pas fait appel au point No. 3 (Sélection d'un standard parmi les 76 solutions standard) car le système était complet et son efficacité vérifiée.

6.1.5 L'Algorithme de Résolution de Problèmes Inventifs (ARIZ)

L'Algorithme de Résolution de Problèmes Inventifs a commencé son développement en 1946, tandis qu'Altshuller essayait « *d'inventer des méthodes pour inventer* ».

Selon Altshuller, « *cette méthodologie algorithmique, considère le processus de résolution d'un problème inventif, comme une action séquentielle avec comme but de définir – et résoudre – les contradictions techniques. Le processus de la pensée est orienté vers une méthode idéale ou un dispositif idéal. Cette approche systématique, est implémentée dans toutes les étapes du processus de résolution. Cet algorithme inclut aussi, dans certains stades, des techniques spécifiques pour enlever les barrières psychologiques. En outre, un système informationnel a été créé comprenant les principes typiques utilisés pendant l'élimination d'une contradiction technique* » [ALT 99].

Donc ARIZ est un processus logiquement structuré, qui fait évoluer un problème complexe jusqu'à un point où sa résolution est possible. Ainsi, l'application d'ARIZ vise la résolution de problèmes très complexes.

ARIZ emploie dans sa constitution des outils et concepts comme :

- Le concept d'idéalité pour établir la solution idéale du problème.
- Le concept de contradiction : afin de définir et trouver la contradiction technique cachée dans le problème et plus tard, si c'est possible la transformer en une contradiction physique.
- Les ressources disponibles dans l'environnement entourant le système aux macro et micro niveaux.
- La base des effets scientifiques
- Les outils de TRIZ basés sur la connaissance.

En résumé, ARIZ est une manière de mettre en place les outils de TRIZ, mais focalisée sur des problèmes très complexes. Le premier article contenant l'idée d'ARIZ (intitulé « About a Technology of Creativity »), est apparu en 1956, dans le journal scientifique « Questions of Psychology» [NAK 99].

Les auteurs G. S. Altshuller et R. V. Shapiro, ont exposé dans ce document, les bases théoriques de TRIZ. L'évolution d'ARIZ a continué depuis 1956 et une notation spécifique a été adoptée, afin de différencier chaque version. Donc, chaque version d'ARIZ possède deux nombres, qui désignent l'année de création (souvent les initiales de son créateur sont ajoutées) [DUN 01], [NAK 99].

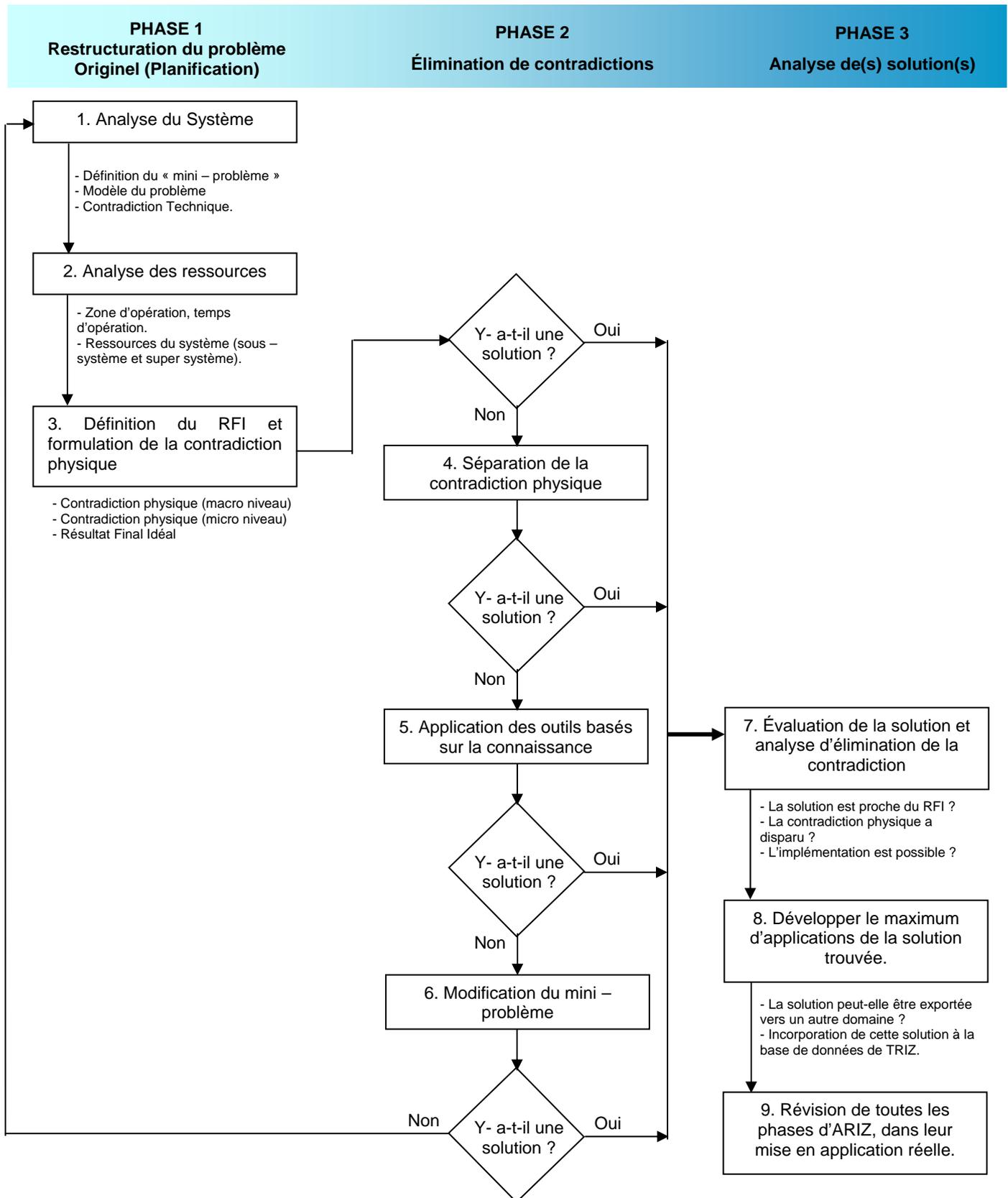
La première version d'ARIZ (ARIZ-56), contenait 3 étapes principales et 10 sous - étapes. La version d'ARIZ-85AS, qui est la dernière version développée et révisée par G. S. Altshuller, intègre 10 étapes et 60 sous étapes (chacune d'elles contenant plusieurs points, par conséquent, ARIZ-85AS comporte 157 points à considérer).

D'autres versions d'ARIZ ont été développées par certains collaborateurs d'Altshuller et par certaines entreprises comme Ideation International avec l'ARIZ-92 ou ARIZ-SMVA 91 version (E) [SAV 00], [Z&Z 98A].

Selon Altshuller, il faut prendre en compte les points suivants avant d'utiliser ARIZ :

- 1) ARIZ a été spécialement conçu pour affronter les problèmes non typiques.
- 2) Moins de 1% de tous les problèmes techniques, ont besoin de l'emploi d'une version moderne d'ARIZ.
- 3) La courbe d'apprentissage d'ARIZ est longue, environ 80 heures d'instruction.

L'organigramme suivant montre une perspective générale de la structure de l'algorithme.



Source : [MAC 98]

Figure 2.16 Organigramme général d'ARIZ

Exemple d'application d'ARIZ : le problème suivant a été exposé par Cavallucci dans [CAV 99A].

PHASE 1

- **Énoncé du problème** : dans une étape d'un processus de fabrication, il est nécessaire d'aligner un flux de cylindres qui arrivent sur un tapis roulant.
- **Nom du système** : système d'auto-orientation de cylindres
- **Formulation** : des cylindres arrivent sur un tapis roulant dans des orientations diverses. Les cylindres, avant leur phase d'emballage, doivent être orientés. Les systèmes d'alignement sont complexes et dans le cas de telles formes, pas toujours fiables. Le problème posé est de trouver une solution simple, fiable et économique d'alignement des cylindres.

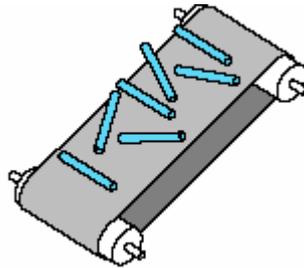


Figure 2.17a Arrivée des cylindres

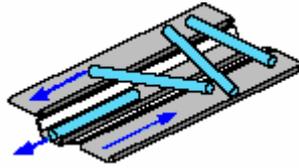
- **Réduction au Mini-problème** : les cylindres doivent être orientés sans altération majeure du système.
- **Contradiction technique** : l'orientation des cylindres requiert un appareillage d'alignement, mais ce dernier accroît la complexité du système.
- **Modèle du problème** : un élément ressource du système doit permettre l'alignement.
- **Analyse de la zone de contradiction et des ressources** : la zone de conflit est la surface du convoyeur. La seule ressource en présence est le convoyeur lui-même.
- **Formulation du RIF** : le convoyeur aligne de lui-même les cylindres.

PHASE 2

- **Contradiction physique** : afin d'effectuer l'action « orienter », différents points de la surface du convoyeur devraient avoir des vitesses différentes. Afin d'effectuer l'action «convoyer», ce dernier devrait évoluer à une vitesse donnée.
- **Élimination de la contradiction physique** : le principe 1; segmentation ou séparation, contient un sous-principe formulé comme suit : séparer des requêtes opposées entre un système et son sous-système, en le divisant en plusieurs parties où chaque partie possède une propriété P et les autres une propriété Anti P.

PHASE 3

- **Transposition vers une solution** : un convoyeur à deux niveaux de convoyage, dont les deux bandes des côtés possèdent des directions de convoyage opposées.



Source : [CAV 99A]

Figure 2.17b Modification du tapis roulant

6.1.6 DAD : la détermination anticipée de défaillances (Anticipatory Failure Determination)

Cet outil a comme but l'identification et le discernement des différentes causes, lors de la mauvaise opération d'un système (soit le manque de performance d'un article, la production d'une unité défectueuse, etc.).

La détermination anticipée de défaillances (DAD) trouve son principal champ d'application, lorsqu'un système met en évidence certains effets négatifs, dont ses causes ne sont pas connues. La DAD permet également de reconnaître et de supprimer systématiquement certaines défaillances du système, avant qu'elles ne se produisent.

Les approches de la Détermination Anticipée de Défaillances

Recherche : détermination des causes potentielles de l'occurrence d'une défaillance.	Prévention : détermination des défaillances potentielles associées à un système.
--	--

Tableau 2.7 Les Approches de la DAD

La détermination anticipée de défaillances (DAD), consiste principalement en l'application de deux phases :

A) Dans la première étape, le problème original se formalise selon la nature de la défaillance.

Question originale	Question transformée
1. Pourquoi la défaillance s'est-elle produite ?	- Comment pouvons-nous créer cette défaillance ?
2. Quelles autres défaillances peuvent se produire dans le système ?	- Comment pouvons-nous endommager le système ? - Comment pouvons-nous induire les phénomènes indésirables les plus dangereux ?

B) La deuxième phase de la DAD est polarisée sur la prévention de l'inconvénient prévu.

Les étapes génériques de cet outil sont [CLA 00]:

1. La formulation du problème original ou initial.
2. L'identification d'un scénario idéal.
3. Localisation de la défaillance.
4. Formuler et amplifier le problème inversé.
5. Chercher la solution par le biais de l'utilisation des ressources disponibles et par la résolution de contradictions.
6. Formuler une hypothèse.
7. Vérifier et tester cette hypothèse.

Exemple **Le problème de « Points Noirs »** : cet exemple consiste en l'application de la DAD – Recherche [IRG 99].

Le problème suivant a été dévoilé dans une chaîne d'assemblage d'hélicoptères. Pendant la fabrication d'un longeron en aluminium (composant primaire de la lame d'un rotor d'hélicoptère), se développait un certain type de défaut : l'apparition de certains points noirs sur la pièce.

Le longeron est un composant avec une fonction très importante, donc il est nécessaire qu'à la fin du processus de fabrication, que la pièce soit sans défauts.

La surface d'un longeron est usinée puis polie ; immédiatement après le polissage chaque longeron est scellé dans un sachet en plastique et stocké dehors, sous un toit pour attendre la prochaine étape de traitement : l'électro-oxydation.

Dès que l'électro-oxydation a eu lieu, les points noirs apparaissent sur la surface du longeron. L'analyse de ces points, a révélé l'existence de micro cavités. Ce type de défaut est très dangereux, parce qu'il réduit la résistance à l'usure du longeron.

Pendant des années, ce problème a essayé d'être résolu, mais les causes restaient inconnues aux ingénieurs de l'entreprise.

Premier étape

Formulation du problème original : le longeron est une pièce de forme complexe avec une surface polie et oxydée. Dans les conditions actuelles du processus de fabrication, un défaut se produit fréquemment, appelé « les Points Noirs ». La détermination des causes qui produisent ce défaut, est absolument nécessaire.

Deuxième étape

Formulation du problème inverse : il est nécessaire de produire des Points Noirs sur la surface du longeron, dans les conditions existantes de production.

Troisième étape

Amplification du problème inverse : il est indispensable de produire un longeron tout noir, dans les conditions du processus de production existant.

Quatrième étape

Recherche de solutions : une analyse bibliographique et la consultation d'experts dans le domaine, a indiqué qu'il y a un procédé spécial pour donner une couleur noire à l'aluminium. Afin d'atteindre ce but, la surface de la pièce en question, est exposée à une solution d'acide chlorhydrique (HCl), puis traitée par électro-oxydation.

Cinquième étape

Identification et utilisation de ressources :

Substances : Métal, air, humidité. Substances dans le processus : un abrasif, fluide lubrifiant – réfrigérant.

Champs : Changement de la température, actions chimiques d'oxydation.

L'acide chlorhydrique n'est pas une ressource disponible dans le processus, mais il faut regarder cela d'un autre point de vue. Est-ce que l'acide chlorhydrique peut être obtenu dans les conditions actuelles du processus ?

L'acide chlorhydrique est composé d'hydrogène et chlore. Dans l'environnement entourant un longeron il y a suffisamment d'hydrogène, néanmoins d'où vient le chlore ?

Le chlore se trouve dans l'eau du robinet et aussi dans le fluide employé comme réfrigérant.

La question suivante est : sous les conditions actuelles du processus est-il possible d'avoir de l'acide chlorhydrique ? Ainsi, de petites gouttes d'une solution d'acide chlorhydrique

(produites par la combinaison d'eau, de chlore et d'hydrogène), pourraient être présentes et réagir sur la surface du longeron.

Néanmoins, après la phase d'usinage des longerons (où le fluide réfrigérant est utilisé), le longeron est soigneusement séché et couvert avec un tissu de façon qu'il n'y reste aucune trace du liquide réfrigérant. En conséquence, l'hypothèse doit être écartée ? Mais, est-il possible qu'il reste de manière ignorée un peu de liquide réfrigérant ?

Il a été mentionné que le longeron possède une forme complexe (une forme cylindrique ou courbée) et l'intérieur comme l'extérieur du longeron sont usinés, mais est-ce que l'intérieur du longeron est aussi séché pour éliminer les restes de liquide réfrigérant ? La réponse est NON ! Dans ce cas, l'acide chlorhydrique pourrait être présent. Cependant, le défaut apparaissait sur la surface extérieure du longeron.

Sixième étape

La recherche de l'effet indispensable : Comment les gouttes d'acide chlorhydrique sont-elles transportées de l'intérieur du longeron vers l'extérieur ?

Ce phénomène serait possible uniquement si, cette solution diluée d'acide chlorhydrique et d'eau, existant dans l'intérieur du longeron, s'évaporait, puis se condensait à l'extérieur du longeron. Par conséquent, une fluctuation de température est nécessaire.

Septième étape

Recherche de solutions : dans ce cas, le mécanisme de l'effet nocif est évident ainsi que la solution.

Huitième étape

Vérification de l'hypothèse. L'hypothèse dit : lors de changements de température pendant le jour, la solution d'eau et d'acide s'évapore de la partie interne du longeron, puis se condense sur la surface extérieure. Au final, les petites gouttes d'acide chlorhydrique préparent la surface extérieure à la formation de points noirs avant l'électro-oxydation. Un simple test peut confirmer cette hypothèse.

Neuvième étape

Développement de la solution : après la confirmation de l'hypothèse, il est facile d'implémenter une solution pour prévenir la création de points noirs. Pour commencer, la surface intérieure du longeron doit aussi être bien séchée et afin d'assurer cet état, il est recommandé de mettre dans l'emballage du longeron, un petit sac d'un produit absorbant d'humidité.

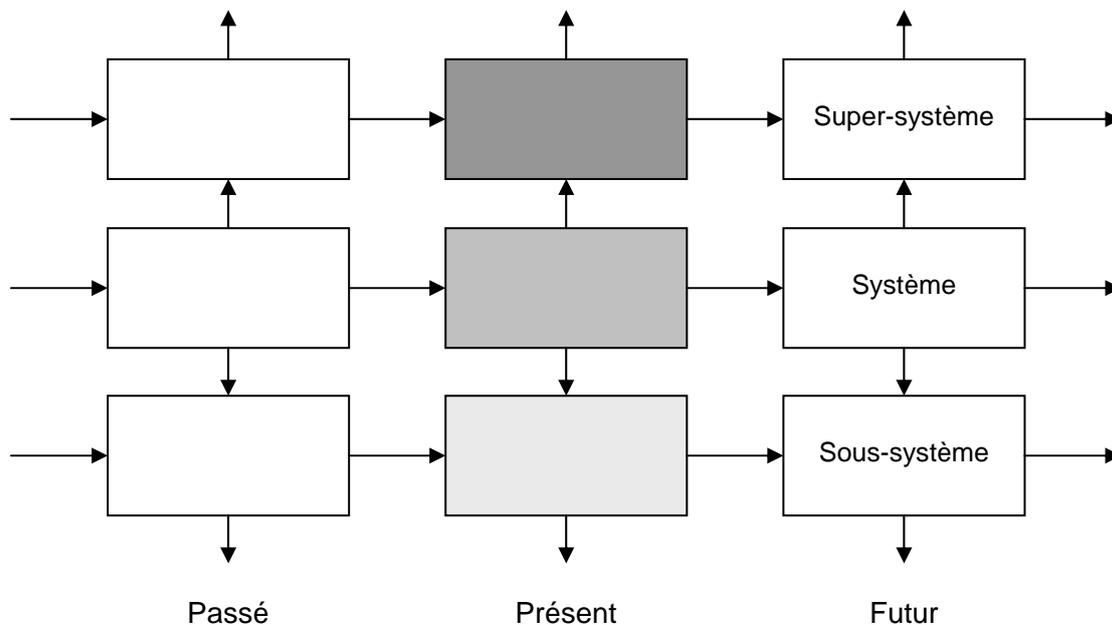
Dans certaines étapes de cet outil de TRIZ, il est possible d'appliquer d'autres outils de l'ingénierie industrielle comme la technique de 5'w, le diagramme de cause – effet, etc.

6.1.7 Les neuf écrans ou l'approche multi-écrans

Lors de la résolution d'un problème, il est important d'avoir une perspective dynamique et suffisamment vaste du système qui va être amélioré. Une façon de construire celle-ci est par l'utilisation de l'approche multi-écrans ou des neuf écrans, un des outils les plus puissants de TRIZ pour analyser un système. Cette méthode permet de construire un cadre où il est possible d'apprécier un système technique selon deux dimensions : le temps et l'espace (approche systémique). L'axe du temps contient généralement le passé, le présent et le futur d'un produit ou d'un système, mais d'autres écrans peuvent être ajoutés. Concernant l'approche systémique de TRIZ, le super-système, le système et le sous-système sont considérés. Remarque : si besoin, il est possible d'augmenter la quantité d'écrans utilisés dans n'importe quelle des dimensions (temps ou approche systémique).

L'objectif de la méthode est de remplir simultanément plusieurs scénarios, selon différents niveaux systémiques séparés dans le temps. Cette méthode permet d'analyser l'évolution suivie par le système, de quelle façon se sont accomplies les transitions et quelles ont été les contradictions résolues. Cet exercice est fait afin d'envisager quelles seront les contradictions futures, avec comme but d'ouvrir les perspectives d'évolution d'un système et déclencher la génération des idées. L'exemple d'application de cet outil est contenu dans l'exemple d'application des modèles et lignes d'évolution des systèmes technologiques (section 6.2.5 de cette annexe).

La figure suivante schématise la structure qui relie le temps et les différents niveaux systémiques.



Source : [DUB 04]

Figure 2.18 Le schéma multi-écrans

6.1.8 Les opérateurs Dimensions, Temps et Coût (DTC)

Cet outil de TRIZ sert à briser les stéréotypes psychologiques (IP) et à accroître l'imagination humaine. L'objectif principal de cet outil, réside dans la reformulation de la description du problème, basée sur la distorsion d'une situation réelle suivant trois grandes lignes : la **D**imension, le **T**emps et le **C**oût. Cet outil déplace l'angle de vision pour mieux entrevoir l'effet d'un paramètre physique, temporel ou fonctionnel.

L'opérateur DTC est composé par six étapes, destinées à redéfinir les conditions d'un problème ou système. Dans chaque étape, il y a une question qui change de façon exagérée un des opérateurs DTC.

Étape	Description de la question
1.- ($D \rightarrow \infty$) La dimension	La taille d'un objet, système ou sous-système augmente infiniment, ($D \rightarrow \infty$). Que va-t-il se passer si les dimensions de l'objet où se localise le problème augmentent?
2.- ($D \rightarrow 0$) La dimension	Les dimensions du problème ou système sont réduites jusqu'à zéro ($D \rightarrow 0$). Quelles seront les conséquences, si au contraire, la dimension diminue ?
3.- ($T \rightarrow \infty$) Le temps	La vitesse de l'objet (de changement, de déplacement, de réaction, etc.) augmente à l'infini $T \rightarrow \infty$. Que va-t-il se passer si l'action dans le système s'exécute de plus en plus lentement ?

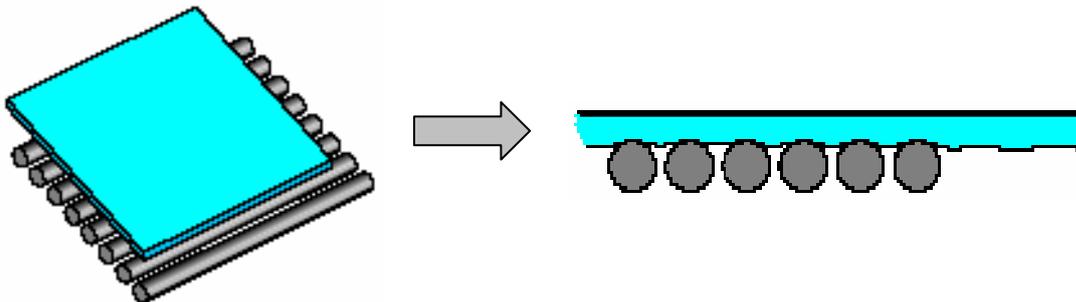
4. (T→0) Le temps	Ou le cas contraire, si le système opère en un rien de temps T→0. Que va-t-il se passer si l'action qui s'analyse, se réalise à une vitesse de plus en plus rapide? Si elle s'exécute quasi instantanément ?
5. (C→∞) Le coût	Le coût d'un objet augmente à l'infini C→∞. Le coût (d'opération, de fabrication, de maintenance, etc.) de la machine / objet où le problème est identifié, devient inabordable ?
6. (C→0) Le coût	Le système a une valeur nulle C→0. Le coût (d'opération, de fabrication, de maintenance, etc.) de la machine ou objet où le problème est localisé, devient infime et négligeable ?

Tableau 2.8 Les six questions de l'opérateur DTC

L'opérateur DTC n'est pas destiné à trouver une solution à un problème, son objectif est d'éliminer l'inertie psychologique, inhérente au raisonnement. Par conséquent, cet outil permet d'observer un système par d'autres points de vue et indique de nouvelles directions lors de la résolution d'un problème. De plus, l'opérateur DTC permet d'entreprendre la résolution d'un problème sans idées préconçues.

Exemple : Pendant la fabrication de plaques de verre, les plaques de verre brûlantes sont transportées par le biais d'un convoyeur, où la plaque passe d'un rouleau métallique à un autre en se refroidissant petit à petit.

Suite à cette opération, il est nécessaire de polir la plaque car le verre non complètement solidifié, se déforme pendant le passage d'un rouleau à l'autre.



Source : [CAV 99A]

Figure 2.19a Plaque de verre sur le convoyeur **Figure 2.19b** Déformation de la plaque de verre

A) La première solution envisagée à ce problème a adopté la logique suivante : plus les rouleaux seront petits, plus petits seront les creux et donc, moins la plaque de verre sera déformée.

Néanmoins, une contradiction technique est apparue : plus fins sont les rouleaux, plus la construction du grand convoyeur est difficile. Par exemple, si l'épaisseur d'un rouleau est similaire à celle d'une allumette, il faut en avoir 500 pour un mètre de convoyeur ; en plus, il faut les placer avec une grande précision. Ainsi, les coûts et le temps nécessaire d'entretien augmentent et peuvent se traduire par une diminution du degré d'idéalité.

B) La deuxième voie de solution s'est focalisée sur l'amélioration du procédé de polissage afin de rectifier la surface de verre.

C) Et finalement, la décision de remplacer le système par quelque chose de nouveau a été prise. La logique adoptée est résumée dans le tableau suivant :

Étape	Description de la question
1.- La dimension ($D \rightarrow \infty$)	Que va-t-il se passer si les dimensions de l'objet dont il s'agit dans le problème augmentent? La taille du rouleau augmente de 3 mm jusqu'à 1, 2, 3 mètres de diamètre. Résultat : la plaque de verre n'a plus de creux, parce que la surface du convoyeur est complètement plate, par contre la plaque maintenant a une forme courbée et cela génère en un nouvel effet nuisible.
2.- La dimension ($D \rightarrow 0$)	Les dimensions du système sont réduites jusqu'à zéro. La taille du rouleau devient minuscule (de molécules, des atomes), comment construire un tel convoyeur à rouleaux ? La feuille chauffée de verre se déplacerait sur une couche d'atomes, mais comment ?
3. Le temps ($T \rightarrow \infty$)	Le temps de mouvement de l'objet augmente à l'infini $T \rightarrow \infty$. Que va-t-il se passer si la plaque de verre se déplace très lentement ? ou s'il n'y a pas besoin de déplacer la plaque ? Si c'est le cas, alors la plaque ne sera pas déformée car c'est durant le transport que les creux se forment. Est-t-il possible d'éliminer le besoin de déplacer la plaque ?
4. Le temps ($T \rightarrow 0$)	Où le système opérerait en un rien de temps $T \rightarrow 0$. Que va-t-il se passer si la plaque se déplace à une vitesse supérieure ? Et plus rapide encore ? Ainsi elle n'aura pas le temps de se déformer. Quelles sont les caractéristiques d'un tel convoyeur ?
5. Le coût ($C \rightarrow \infty$)	Le coût de l'objet augmente à l'infini $C \rightarrow \infty$. La construction du convoyeur est très chère ? Dans une telle condition, comment le convoyeur est-il ? Chaque rouleau est ajusté avec une précision micrométrique voire nanométrique, comment développer un tel processus ?
6. Le coût ($C \rightarrow 0$)	Le système a une valeur nulle $C \rightarrow 0$. Le coût du convoyeur est presque zéro, ainsi, un convoyeur est fabriqué avec une quantité infinie de rouleaux ajustés avec une précision micrométrique et utilisé une seule fois. Cela élimine le coût de maintenance. Quelle est la structure de ce nouveau convoyeur jetable ?

En suivant la logique du point 2 ($D \rightarrow 0$), La plaque de verre se déplace sur une couche d'atomes. Mais quel type d'atomes ? Pas des atomes de gaz, parce qu'ils peuvent se disperser, ni des atomes d'un corps solide car ils ne peuvent pas être déplacés. Il ne reste qu'une seule possibilité : utiliser des atomes d'un liquide. Donc, la plaque de verre chauffée est transportée sur une surface liquide, un convoyeur idéalement plat.

Mais encore une fois, quel liquide doit être employé ? Les caractéristiques d'un tel liquide sont :

- *Facilement liquéfiable.*
- *La température d'ébullition doit être haute (supérieure à 1500°C), afin d'éviter la déformation du verre sur la surface liquide.*
- *La masse volumique doit dépasser celle du verre (2,5 g/cm³), afin d'assurer la flottaison de la plaque de verre.*

Alors le liquide recherché doit avoir les caractéristiques suivantes :

Une température de fusion comprise entre 200 et 300 C° afin de concevoir un convoyeur économique, une température d'ébullition supérieure à 1 500 C° et une masse volumique supérieure à 5,0-6,0 g/cm³.

Ces caractéristiques sont seulement possibles pour un métal. Cette fois, la sélection sera faite par élimination, donc il ne reste que le bismuth qui est cher, le plomb dont la vapeur est nocive et l'étain. Au lieu d'avoir un convoyeur, un bac est rempli d'étain liquide dont la température est contrôlée de façon électrique [ALT 02] [CAV 99A] [ALT 99].

6.1.9 La modélisation avec les hommes miniatures (MHM)

Durant les années 60, William Gordon créateur de la synectique (§ 2.4), proposa d'utiliser des éléments appartenant aux analogies personnelles (subjectives), comme méthode pour la résolution de problèmes : l'empathie.

L'empathie produit une profonde introspection dans les paramètres de référence liés aux réalités externes et, cela peut aider à expliquer certains aspects liés à une situation problématique [PRO 90].

Les variantes de cette méthode consistent principalement en :

- A) S'imaginer comme faisant partie de la machine où se localise le problème, ou comme étant la machine elle-même. Puis, chercher la solution depuis l'intérieur de la machine.
- B) Le concepteur essaie d'imaginer la meilleure façon d'utiliser son corps pour atteindre un objectif.

Cette approche est purement psychologique et suppose que cette perspective interne, permettra de résoudre le problème. Malheureusement, l'empathie amène parfois à une impasse psychologique. L'individu confronté à la situation problématique, commencera à éviter les situations liées à sa destruction, segmentation, déformation, fusion, congélation, etc. Puisque de telles situations sont « naturellement » interdites pour un être vivant. Donc, cette interdiction est immédiatement et involontairement, transposée vers la machine en limitant les possibilités de solution.

TRIZ a adopté l'empathie, mais l'a transformée en un outil plus effectif, universel et flexible : la Modélisation avec les Hommes Miniatures (**MHM**). Le procédé est très simple il faut imaginer que l'objet (machine, appareil, etc.), se présente comme une agglomération d'hommes dont la **taille est microscopique**, dont chaque homme ou groupe d'hommes est **facilement différentiable** par une certaine caractéristique et finalement, qu'ils sont **capables d'obéir** à tous les ordres donnés par le concepteur.

Pendant la modélisation avec les MHM, il est conseillé de prendre en compte les points suivants :

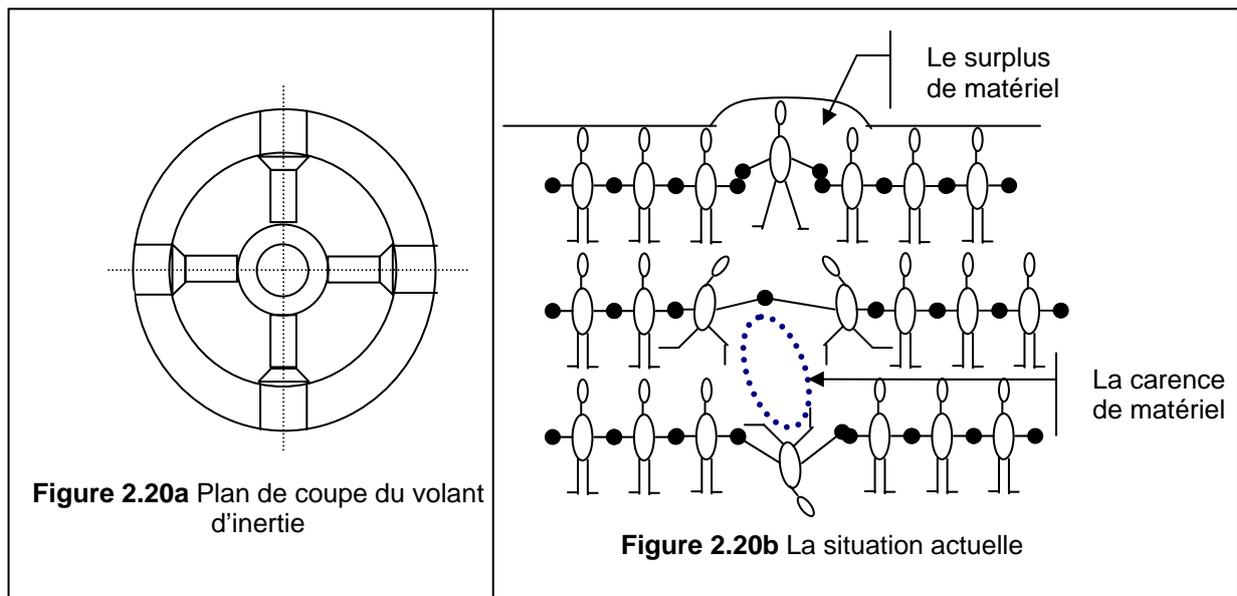
- 1) Isoler la partie de l'objet qui ne réussit pas à réaliser l'action souhaitée, puis il faut imaginer la partie sélectionnée en tant qu'une foule d'hommes miniatures.
- 2) Diviser la foule des hommes miniatures en groupes d'action (en mouvement, statiques, flexibles, en couleur, etc.), selon les conditions du problème.
- 3) Analyser le modèle obtenu (le dessiner avec les hommes miniatures) puis, le reconstruire afin d'obtenir l'action nécessaire (résolution des contradictions).
 - Usuellement, il faut construire deux diagrammes différents : celui qui représente la situation **actuelle** et, un autre la situation « **idéale** ». Parfois un troisième dessin est ajouté : celui-ci qui montre la situation résolue.
- 4) Transférer vers un résultat technique.

Exemple : L'accident le plus fréquent qui peut arriver durant l'essai d'un volant d'inertie est l'éclatement du volant en morceaux. L'occurrence de cette défaillance, survient en raison des déformations du matériel (cavités, rides, etc.) et à cause de l'imprécision de la fabrication. Ces paramètres (déformation et imprécision) ne peuvent pas être améliorés.

En raison de cela, pendant la dernière étape du processus de fabrication, le volant d'inertie doit être équilibré. Cette opération consiste à éliminer l'excès de métal dans certaines zones et à ajouter dans d'autres. L'équilibrage des volants prend des heures et parfois des jours. Alors comment résoudre ce problème ?

L'équilibrage rend homogène le volant d'inertie, mais cela prend beaucoup de temps. De l'autre côté, l'élimination de l'équilibrage ne consomme pas de temps, mais laisse le volant hétérogène. En d'autres termes, l'hétérogénéité est présente, car il est impossible de l'éliminer avec les méthodes de production actuelles et ne doit pas être présente afin d'éviter la rupture du volant. La **contradiction physique** est formulée de la manière suivante : les déformations sont toujours présentes et le volant d'inertie tourne à grande vitesse sans rupture [SAL 99].

1) *Isolation* : le point de conflit est n'importe quel point du volant d'inertie (Figure 2.20a).



2) *Classification des hommes miniatures*. La figure 2.20b représente le surplus et la carence de matériel dans la structure du volant. Les hommes miniatures qui ont été dessinés comme « anormaux », montrent l'occurrence d'un défaut. Dans les zones défectueuses, la force cohésive entre les hommes est insuffisante pour résister aux forces centrifuges, donc il faut les supprimer.

3) *Analyse du modèle*. Dans la figure 2.20c, tous les hommes miniatures se trouvent à leur place et parfaitement alignés, particulièrement les hommes qui portent les numéros de 1 à 4. Aucune déformation n'est observée, alors comment cet état est-il possible ? Quelles conditions permettent d'arriver à cette configuration ?

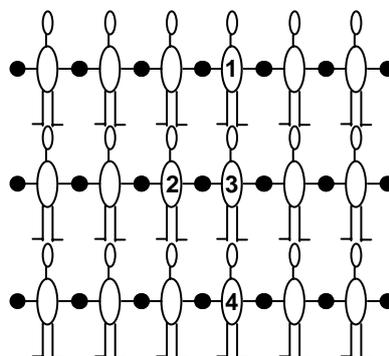


Figure 2.20c Le cas idéal

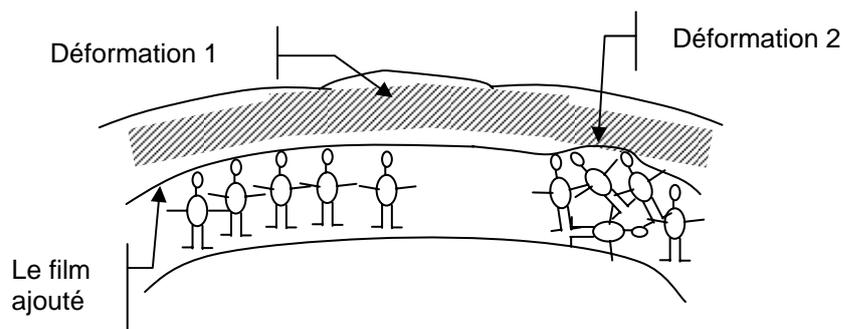
4) *Transfert vers la solution*. Afin que chaque homme miniature trouve sa position idéale dans la structure du volant d'inertie, ils doivent avoir un degré majeur de liberté. Donc

maintenant, ils sont devenus capables de se déplacer et de trouver leur place dans chaque zone défectueuse à l'intérieur du volant. Le problème maintenant est d'une autre nature car, l'existence des forces centrifuges lors de la rotation, va modifier la position de chaque homme miniature. Cela changera la configuration souhaitée (schématisée sur la figure 2.20c). Alors comment résoudre cette situation ? comment prévenir que les hommes miniatures soient déplacés des différentes zones défectueuses à cause de la force centrifuge ?

La réponse est un film de protection, mais ce film aura aussi des déformations en conséquence, quel doit être le comportement des hommes miniatures ? Ils doivent être capables de se déplacer et balancer les déformations à l'intérieur du volant.

Puisqu'ils sont libres, pourquoi ne peuvent-ils pas se rassembler dans les endroits où il y a des cavités et en même temps, s'éloigner des endroits où il ya un surplus de matériel ? Afin d'avoir ce comportement, les hommes miniatures doivent être légers et répondre rapidement aux mouvements.

Finalement avec ses caractéristiques, la réponse est presque évidente : le volant doit être fabriqué avec une cavité, qui sera rempli d'une poudre ou encore mieux, avec de petites boules. Les boules auront de l'huile à l'intérieur, qui les rendra capables de s'adapter et se positionner rapidement dans les zones problématiques sous l'effet de la force centrifuge (Brevet USA 3 733 923, le volant auto-équilibré).



Source : [SAL 99]

Figure 2.20d La solution trouvée

6.1.10 La méthode des mots simples

Il y a dans l'inertie psychologique un composant très important : les mots. Ce sont les mots et surtout, des termes spécifiques ou propres à un certain domaine, qui sont porteurs de l'inertie psychologique.

Les problèmes sont habituellement exprimés avec un mélange de mots communs et d'un langage propre à un domaine. Cependant, les mots ne restent pas inchangés, ils évoluent. Par contre, les idées que ces termes évoquent ont tendance à rester identiques [ALT 02].

A cause de ce phénomène les mots imposent une idée, mais inventer et créer, implique aller au-delà de la connaissance conventionnelle ; ce qui implique casser ou redéfinir les notions établies et véhiculées par ces termes. En conséquence, les mots fixent une direction à la pensée créatrice et, cela doit à tout prix être éliminé ou au moins, réduit au minimum.

La méthode des mots simples consiste à définir et exprimer une contradiction ou situation problématique, puis à remplacer les mots ou expressions porteurs de l'inertie psychologique, par d'autres plus neutres. Il faut mentionner que cette technique est communément employée avec d'autres outils de TRIZ.

Exemple : pendant l'identification d'une situation problématique, un marin posa le problème d'augmenter la vitesse d'un « brise-glace » lorsqu'il traverse la mer gelée. La vitesse du brise-glace, dépend de l'épaisseur de la glace qu'il peut casser, c'est-à-dire, de la puissance de son moteur. Dans un brise-glace 70% de l'espace disponible, est occupé par des moteurs, des compartiments de carburant et d'autres systèmes, parmi lesquels le système de refroidissement, un des plus importants et plus problématiques. Comme dans le brise-glace il n'y a pas d'espace pour une cargaison importante, une caravane de trois ou quatre navires de transport, se trouvent généralement derrière lui.

Parfois, dans la résolution d'un problème, le plus grand effort créatif se trouve dans la modélisation ou la formalisation du problème et non dans l'obtention de sa solution [ALT 99]. De ce fait, dans ce problème le mot « Brise-glace » impose un chemin de solution : il faut briser, casser, segmenter la glace, tandis qu'il serait plus facile de casser le moins possible de glace [ALT 99], [ALT 02].

*Alors la définition du problème est la suivante : « un **objet** doit traverser la glace comme si elle n'existait pas », c'est-à-dire, Est-ce qu'il est possible de traverser la glace sans la casser ou en cassant le moins possible ?*

La substitution du mot « briser » est suffisante pour réduire l'impact de l'inertie psychologique et cela permet de continuer l'exercice. Donc la formulation du problème vers le RFI est exposée comme suit : le bateau se déplace dans la glace à grande vitesse et avec une consommation normale d'énergie.

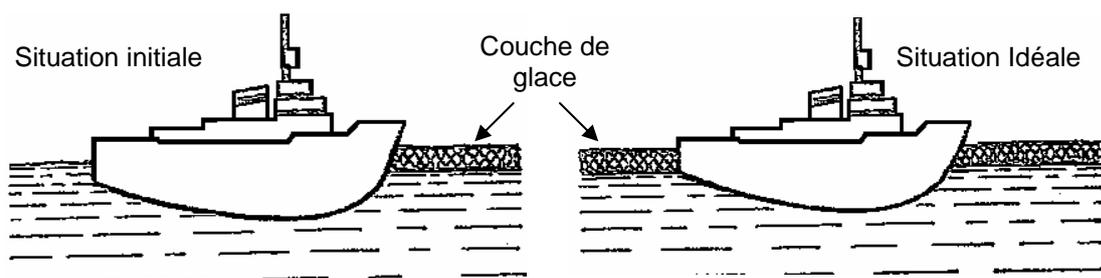


Figure 2.21 Comparaison entre la situation actuelle et l'idéale

En suivant le RFI, il faut imaginer la coque d'un bateau, dont la couche moyenne n'existe pas, justement la couche située au niveau de la glace (figure 2.21).

Si l'objectif principal est l'augmentation de la vitesse d'un bateau capable de transporter une grande cargaison à travers de la glace, il faut prendre en considération trois éléments :

- A)** L'épaisseur de la glace
- B)** La puissance de son moteur
- C)** La forme et la surface de la coque qui est en contact avec la glace.

L'épaisseur de la glace n'est pas un élément sur lequel il est possible d'influer, cela indique que seulement les points B et C, peuvent être modifiés et c'est en les analysant que le problème doit se résoudre.

La figure 2.22a montre la configuration idéale d'un bateau dans la glace. Celle-ci établit une contradiction physique : afin d'offrir moins d'opposition à la glace et avec comme but d'augmenter la vitesse du bateau, la coque doit être le plus effilée et mince possible, mais avec cette configuration, le bateau aura moins de stabilité. Ainsi, afin que le bateau se déplace à grande vitesse sa coque doit être effilée, mais pour que celui-ci soit stable, elle doit être plate et le plus ample possible. Alors comment résoudre le problème ?

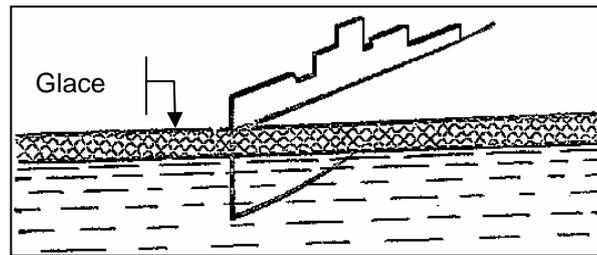


Figure 2.22a Configuration actuelle du brise-glace

La figure 2.22b indique le changement de la forme de la coque du bateau. Cette modification le rend plus stable mais aussi, plus difficile la traversée de la glace puisque sa surface a augmenté et qu'il faut briser une plus grande quantité de glace.

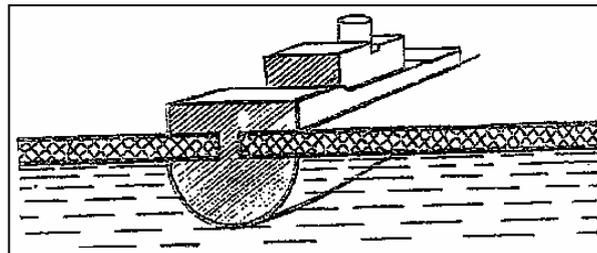


Figure 2.22b Changement dans la forme de la coque

La solution trouvée doit refuser le compromis (entre la vitesse et la stabilité) et s'approcher de l'idéalité. En raison de cela, le « brise-glace » nouveau, doit posséder les deux caractéristiques et, c'est justement là que se trouve la solution. La figure 2.22c montre le bateau « semi immergé » ou « bateau traverse glace ».

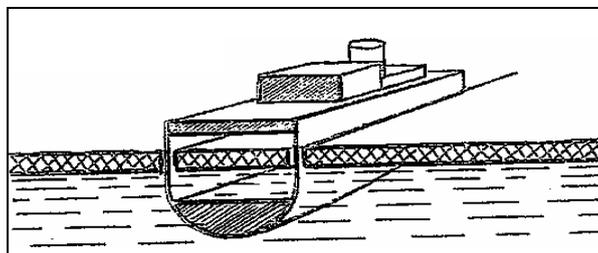


Figure 2.22c Le bateau « semi immergé »

6.2 Les outils basés sur la connaissance

Cet ensemble d'outils a pour but principal, la recherche d'une voie de transformation du système où se localise le problème. En général, les outils basés sur la connaissance, ont une utilité spécifique pour s'adresser à un certain type de problèmes, tandis que les outils analytiques ont une application universelle. Les paragraphes suivants décrivent ces outils et offrent un exemple de leurs applications.

6.2.1 La Matrice de Résolution des Contradictions Techniques (MRCT)

Le processus typique de résolution d'un problème est basé sur le raisonnement analogique, c'est-à-dire, la personne qui fait face au problème, cherche les similitudes entre le problème posé et son répertoire d'anciens problèmes déjà résolus. Cet inventaire de solutions trouvées, est le fruit de l'expérience éducative, professionnelle et personnelle.

Si cette recherche lui apporte une analogie correcte, il arrive à trouver une solution conforme aux besoins du problème ; cependant, que va-t-il arriver si la personne n'a jamais été confrontée à une situation semblable ?

Ce manque de standards conduit parfois à l'utilisation de la méthode d'essais – erreurs, qui entraîne une perte de temps et de ressources. Toutefois, une approche plus efficace existe, celle de la recherche de problèmes (et leurs solutions) standards. Cette approche est représentée par la matrice de résolution des contradictions techniques, un des outils le plus utilisés dans TRIZ [TZZ 98], [KOW 96].

Le développement de la matrice d'Altshuller a commencé dans les années 40, avec comme but de fournir un outil capable de guider la pensée créatrice pendant la résolution d'une contradiction technique, ou lors de l'utilisation d'ARIZ, mais la construction d'une telle matrice, allait se révéler une tâche compliquée.

Pendant la création de la matrice de contradictions⁶, il a fallu considérer plus que l'analyse et la sélection des brevets. De ce fait, il a été nécessaire de prendre en considération, les avancées techniques dans plusieurs champs de la science et dans différents types d'industries, surtout dans celles où un type spécifique de contradiction avait été résolu.

Ainsi, la matrice de contradictions d'ARIZ-65 était basée sur l'analyse d'environ 5000 inventions liées à 43 types différents de brevets [ALT 99], jusqu'à l'arrivée de la matrice actuelle, qui repose sur l'analyse de plus de 2 millions de brevets et qui offre une voie de résolution pour plus de 1500 contradictions techniques.

Suite à cette analyse de brevets, Altshuller conclut que les solutions apportées aux systèmes techniques découlent de 40 principes fondamentaux tous domaines confondus (principes décomposés en sous principes pour accroître leur compréhension et efficacité). De plus, comme énoncé précédemment, tout problème se formalise par une contradiction. La deuxième étape du travail d'analyse d'Altshuller a été d'exprimer la contradiction sur chaque brevet pour finalement arriver à matérialiser l'ensemble des contradictions en termes de conflit entre deux paramètres (un paramètre amélioré, l'autre détérioré), parmi un ensemble de 39 paramètres identifiés. L'expression de la contradiction (conflit entre deux paramètres) et la/les proposition(s) de direction de recherche de solution (les principes) ont été organisées et classées dans une matrice 39*39 appelée Matrice de Résolution des Contradictions Techniques

L'utilisation de cet outil est relativement simple : sur les lignes de la matrice se trouve le paramètre à améliorer, sur les colonnes celui qui est détérioré. L'intersection entre ligne et colonne isole une cellule de la matrice. Cette cellule contient le ou les principes à explorer pour lever la contradiction : principes utilisés avec succès pour résoudre cette contradiction dans les différents domaines techniques et placés dans un ordre recommandé d'utilisation.

⁶ Dans plusieurs textes les termes Matrice de Contradictions, Tableau de Contradictions et Matrice d'Altshuller sont employés comme synonymes.

Caractéristique qui se trouve détériorée Y		1	2	3.....	39
		Masse d'un objet mobile	Masse d'un objet immobile	Longueur d'un objet mobile	Productivité
1	Masse d'un objet mobile		-	15, 8, 29, 34	35, 3, 24, 37
2	Masse d'un objet immobile	-		-	1, 28, 15, 35
3	Longueur d'un objet mobile	8, 15, 29, 34	-		14, 4, 28, 29
39	Productivité	35, 26, 24, 37	28, 27, 15, 3	18, 4, 28, 38	

Figure 2.23 Fragment de la matrice de résolution de contradictions

Mann [MAN 02] a testé cette matrice sur un échantillon de 130 inventions. Selon l'auteur elle a permis d'atteindre la solution préconisée dans les brevets dans 48% des cas. Suite à ce test et à une nouvelle analyse de brevets (plus de 150 000), plusieurs auteurs ont proposé une évolution de la matrice avec une extension du nombre de paramètres (passage de 39 à 48) et également avec le remplissage des cellules vides (sans principes dans la matrice initiale) à part sur la diagonale. Par contre, le nombre de principes inventifs reste inchangé [MDZ 03].

D'après Mann [MAN 04B], la version 2003 de la matrice de résolution de contradictions techniques, permet dans 95% de cas, d'arriver à la solution préconisée dans un brevet. La section A de cette annexe montre la version 2001 de cette matrice. Un exemple de l'utilisation de la matrice de résolution de contradictions sera analysé après la description des 40 principes de résolution de contradictions et les 39 paramètres.

6.2.1.1 Les 40 Principes de résolution de contradictions techniques

L'analyse de brevets menée par Altshuller a mis en évidence que, lors de la découverte et la résolution d'une contradiction, il avait une quantité réduite de principes fondamentaux de solution et de paramètres en conflit : 40 principes de résolution et 39 paramètres génériques d'ingénierie.

Les 40 principes sont des stratégies ou des heuristiques, capables de guider la résolution d'un problème, sans occasionner des effets néfastes. Ces principes ont été classifiés et rangés de façon telle, qu'ils occupent une position dans la matrice de résolution de contradictions, selon les paramètres qui interviennent dans un conflit. En raison de leur énoncé très général, les principes proposés par la matrice de résolution de contradictions techniques (MRC), ne donnent pas une solution « prêt-à-l'emploi ». Ils ont été conçus afin de restreindre le domaine de recherche de solutions offrant des voies d'exploration avant de laisser place à la créativité.

1. La segmentation	21. Changement de vitesse
2. L'extraction	22. La transformation d'un plus en moins
3. La qualité locale	23. La rétroaction
4. L'asymétrie	24. L'intermédiaire
5. La combinaison	25. Le self service
6. L'universalité	26. La copie
7. Le placement interne (poupées russes)	27. L'éphémère et l'économique
8. Le contrepoids	28. La reconception
9. L'anti-action préliminaire	29. Le système hydraulique et pneumatique
10. L'action préliminaire	30. La membrane flexible et les films minces
11. La compensation	31. Les matériaux poreux
12. L'équipotentialité	32. Le changement de couleur
13. L'inversion	33. L'homogénéité
14. La sphéricité – courbes	34. Le rejet et la régénération
15. Le degré de dynamisme	35. La modification des paramètres
16. Actions partielles ou excessives	36. L'utilisation des changements de phase
17. Le changement de dimension	37. L'expansion thermique
18. Les vibrations	38. L'oxydation
19. L'action périodique	39. L'environnement inerte
20. La continuité de l'action d'utilité	40. Les matériaux composites

Tableau 2.9 Les 40 Principes de Résolution de Contradictions Techniques

La section B de cette annexe offre une description plus détaillée de chaque principe, ainsi que quelques exemples d'application.

6.2.1.2 Les 39 paramètres

Un conflit apparaît lorsqu'en essayant d'améliorer un paramètre d'un système, un deuxième se trouve détérioré de façon inacceptable. Ces paramètres en conflit furent classifiés par Altshuller entre les années 40 et 70. Il y a trois catégories différentes [SAV 00]:

- A)** Paramètres physiques et géométriques : classement comprenant la masse (1 et 2), la longueur (3 et 4), la surface (5 et 6), le volume (7 et 8), la vitesse (9), la force (10), la tension et pression (11), la forme (12), la température (17), la brillance (18) et finalement, la puissance (21).
- B)** Paramètres négatifs indépendants : ici se retrouvent la durabilité d'une action (15 et 16), l'énergie dépensée par un sous – système (19 et 20), le gaspillage (22 et 23), la perte (24 et 25), la quantité de substance (26) et les facteurs nuisibles (30 et 31).
- C)** Paramètres positifs indépendants : cette catégorie est composée de la stabilité (13), la résistance (14), la fiabilité (27), la précision (28 et 29), l'usinabilité (32), la facilité d'utilisation (33), l'aptitude à la réparation (34), l'adaptabilité (35), la complexité (36 et 37), le degré d'automatisation (38) et la productivité (39).

Comme mentionné précédemment, l'étude menée lors de l'élaboration de la version 2003 de la matrice des contradictions techniques, a augmenté la quantité de paramètres. Les paramètres ajoutés sont listés ci-dessous :

La quantité d'information, l'efficacité de la fonction, le bruit, les émissions / facteurs nuisibles, la compatibilité / la capacité de branchement, la sécurité, la sûreté / la vulnérabilité, l'esthétique et la complexité du contrôle - capacité à détecter / mesurer-.

Le tableau suivant montre la liste des 39 paramètres originaux.

1. Masse d'un objet mobile	21. Puissance
2. Masse d'un objet immobile	22. Gaspillage d'énergie
3. Longueur d'un objet mobile	23. Gaspillage de substance
4. Longueur d'un objet immobile	24. Perte d'information
5. Surface d'un objet mobile	25. Perte de temps
6. Surface d'un objet immobile	26. Quantité de substance
7. Volume d'un objet mobile	27. Fiabilité
8. Volume d'un objet immobile	28. Précision de la mesure
9. Vitesse	29. Précision de l'usinage
10. Force	30. Facteurs nuisibles agissant sur l'objet
11. Tension et pression	31. Facteurs nuisibles générés par l'objet
12. Forme	32. Facilité de fabrication (Usinabilité)
13. Stabilité d'un objet	33. Facilité d'utilisation
14. Résistance	34. Aptitude à la réparation
15. Durée de l'action d'un objet mobile	35. Adaptabilité
16. Durée de l'action d'un objet immobile	36. Complexité du système
17. Température	37. Complexité de contrôle
18. Brillance	38. Degré d'automatisation
19. Énergie dépensée par l'objet mobile	39. Productivité
20. Énergie dépensée par l'objet immobile	

Tableau 2.10 Les 39 Paramètres Génériques de l'ingénierie

La section C de cette annexe présente une description plus détaillée de chaque paramètre et offre aussi quelques exemples afin de faciliter son identification.

Exemple : *Le processus de dépôt d'un film sur une surface, est un processus industriel très important. La technologie pour le processus de déposition, peut être divisée en deux groupes : dépôts qui se produisent grâce à une réaction chimique ou à une réaction physique.*

Cet exemple traite de la production de dépôts par réaction chimique, pendant la fabrication de composants électroniques, plus particulièrement de plaquettes de silicium.

⇒ **La CVD (Chemical Vapor Deposition)**

L'opération de dépôt chimique à partir d'une phase vapeur (CVD Chemical Vapor Deposition), consiste à mettre en contact un ou plusieurs substrats avec un ou plusieurs gaz réactifs. Les gaz réagissent chimiquement avec les substrats afin de déposer sur ces derniers un film solide. Cette opération a lieu dans un réacteur.

Les deux technologies de CVD les plus importantes pour la production des composants de micro - électronique sont la CVD à pression réduite (LPCVD) et CVD par activation de plasma (PECVD).

Le procédé de LPCVD génère des films avec une excellente uniformité d'épaisseur de matériel sur des plaquettes de silicium. Les principaux problèmes avec le procédé de LPCVD sont la **température** de dépôt élevée (plus de 600° C) et le **taux relativement** lent de dépôt.

Le processus de PECVD peut fonctionner à températures plus basses (moins de 300° C) grâce à l'énergie supplémentaire fournie aux molécules de gaz par le plasma dans le réacteur. Cependant, la **qualité des films** tend à être inférieure aux processus fonctionnant à températures élevées.

De plus, la plupart des systèmes de dépôt de PECVD peuvent **seulement déposer** le matériel d'un côté des plaquettes à traiter et pas plus de 4 plaquettes à la fois. Les systèmes de LPCVD déposent des films des deux côtés pour au moins 25 plaquettes de silicium à la fois

⇒ Les Réacteurs de LPCVD

Ceux-ci peuvent être classés en deux sous-ensembles selon si le mode de chauffage se réalise à travers les parois du réacteur (réacteurs à parois chaudes) ou par chauffage direct du substrat ou de son récepteur (réacteur à parois froides).

Dans la suite, on s'intéresse exclusivement au procédé de LPCVD à activation thermique, dans des réacteurs à parois chaudes. La géométrie des réacteurs à parois chaudes, est généralement cylindrique. Il existe deux types d'organisation, soit verticale soit horizontale.

L'organisation verticale présente quelques avantages comme :

Minimiser la surface occupée au sol par le réacteur

Minimiser le risque de parallélisme entre les plaquettes

Ces deux types de réacteurs sont les plus couramment employés dans l'industrie micro – électronique.

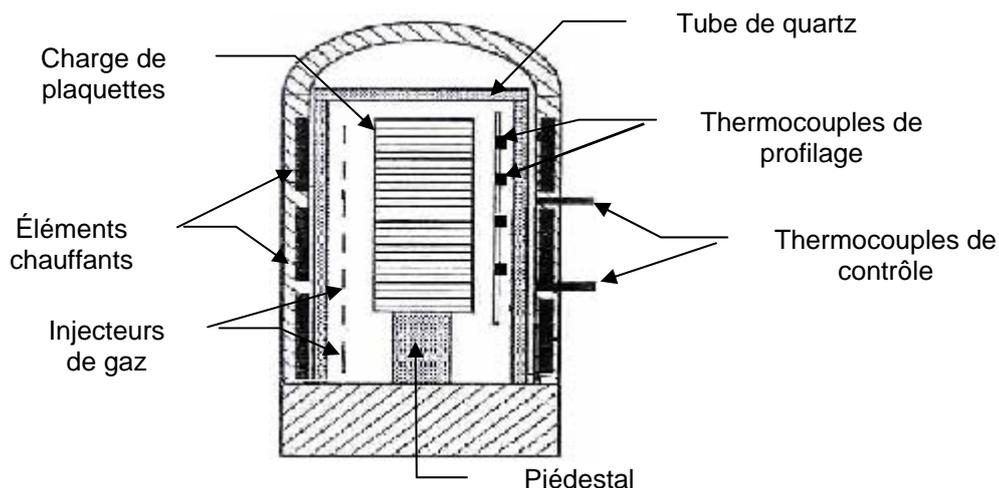


Figure 2.24 Schéma d'un réacteur tubulaire vertical de LPCVD

⇒ Problématique

Certains des principaux problèmes avec le procédé de LPCVD ont déjà été mentionnés, mais il y a d'autres problèmes liés au fonctionnement du réacteur et à sa configuration, qui n'ont pas été résolus ou partiellement résolus :

- 5) L'existence d'une zone stagnante entre deux plaquettes adjacentes.
- 6) L'épuisement progressif des gaz réactifs le long de la charge de plaquettes
- 7) Le contrôle de température.
- 8) La quantité de plaquettes à produire est aussi un problème. Généralement, un réacteur LPCVD peut travailler avec 25 plaquettes à la fois ou plus.

⇒ **Formalisation de la contradiction**

Un des paramètres importants de conception est l'espace entre les plaquettes (profondément lié à la quantité de plaquettes à produire), c'est ici qu'une contradiction est mise en évidence - [E&P 98], [S&K 01].

C'est dans cet espace que le film se dépose et par conséquent, s'il y a un espace important entre plaquettes, le film se dépose uniformément, mais la quantité de plaquettes produites par batch se réduit. Si au contraire, l'espace entre les plaquettes se réduit, la quantité de plaquettes produites augmente mais le film déposé n'est plus uniforme.

En d'autres termes, il n'est pas possible avec la configuration actuelle du réacteur d'augmenter la **quantité de matière** dans le réacteur sans modifier sa **forme** (le volume, la surface, etc.).

⇒ **Application de la matrice de résolution de contradictions**

Avec les paramètres « 26 : Quantité de substance » comme caractéristique à améliorer et, « 12 : Forme » comme paramètre dégradé, il est possible d'obtenir les principes suivants :

Paramètre qui se trouve dégradé →		11	12	13.....	
		Tension et pression	Forme	Stabilité d'un objet	
↓ Paramètre à améliorer	25	Perte de temps	37, 36, 4	4, 10, 34, 17	35, 3, 22, 5
	26	Quantité de substance	10, 36, 14, 3	35, 14	15, 2, 17, 40

Figure 2.25a Fragment de la matrice de résolution de contradictions techniques

⇒ **Analyse des principes proposés**

- **35- Modification des paramètres** : Changer l'état physique d'un objet (gaz, liquide, solide).
 - a) Changer la concentration ou la consistance.
 - b) Changer le degré de flexibilité.
 - c) Changer la température.
- **14- La sphéricité** : Au lieu d'utiliser des parties ou des surfaces planes, utiliser des surfaces circulaires. Faire évoluer des surfaces planes vers des surfaces sphériques, et des parties cubiques vers des parties sphériques.
 - a) Utiliser des spirales, des dômes, des voûtes.

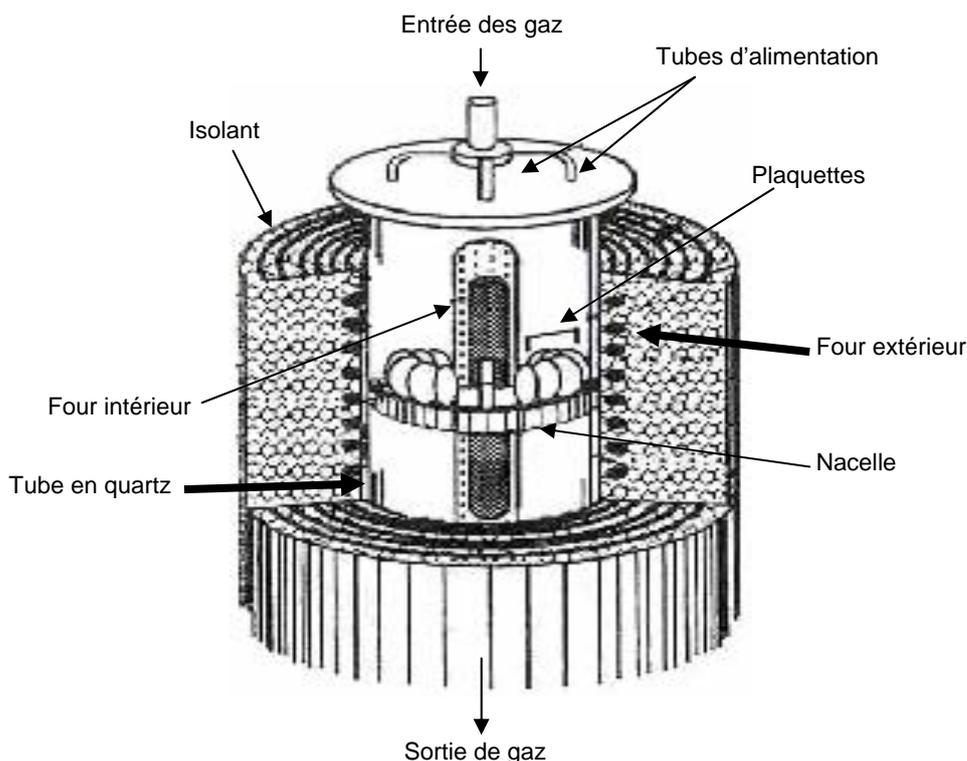
- b) Passer de mouvements linéaires à des mouvements rotatifs, profiter de la force centrifuge.

⇒ **Transformation vers la solution**

Le principe 14 suggère de rendre la zone de travail sphérique, actuellement la disposition des plaquettes se fait de manière verticale, il va falloir les ranger de façon circulaire ou hélicoïdale. Cette nouvelle configuration du réacteur LPCVD a été explorée par une équipe de travail au sein du Laboratoire de Génie Chimique (LGC-ENSIACET-INP), dans un travail de thèse intitulé « Études Expérimentales et Modélisation du Réacteur Annulaire et de son Modèle Réduit » [VER 96].

Les avantages de cette configuration sont [VER 96] :

- Traitement simultané d'un nombre élevé de plaquettes. Le réacteur accepte une charge de 90 plaquettes contre les 25 traitées auparavant.
- Élimination de la zone stagnante entre deux plaquettes contiguës.
- Contrôle fin des températures.
- Automatisation plus aisée du chargement et du déchargement.
- Surface au sol plus petite pour traiter la même charge de plaquettes qu'avec un réacteur tubulaire horizontal.



Source : [VER 96]

Figure 2.25b Le nouveau réacteur : le réacteur annulaire

6.2.2 Les principes de séparation

Les principes de séparation ont été développés par Altshuller entre 1959 et 1985. L'objectif de cette technique est la résolution des contradictions physiques.

Une contradiction physique se traduit comme suit : afin de fournir une fonction spécifique, une certaine zone, un sous-système ou un composant, doit posséder la propriété A. En même temps, il est nécessaire d'avoir la condition Anti-A, pour satisfaire les conditions ou restrictions du problème.

Cet outil implique de ne pas utiliser la simultanéité de 2 actions afin d'empêcher qu'une action endommage l'autre. En 1970, Altshuller a proposé onze méthodes pour résoudre une contradiction physique :

- Séparation des propriétés contradictoires dans l'espace.
- Séparation des propriétés contradictoires dans le temps.
- Combinaison de plusieurs systèmes : super système.
- Combinaison d'un système et de son opposé : anti-système.
- 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 vers le micro niveau (changement d'échelle par l'utilisation de substances à un état physique plus "dissocié" : poudre, liquide, gaz, etc.).
- Changement de phase d'une partie du système, ou de son environnement.
- Changement de phase "dynamique" dépendant des conditions de travail (changement de phase dans le temps).
- Utilisation des phénomènes associés aux changements de phase.
- Remplacement d'une substance monophasée par une substance bi ou polyphasée.
- La création et/ou l'élimination de substances par combinaison ou décomposition physico-chimique.

Mais plusieurs experts en TRIZ ont démontré que cette première classification pouvait se réduire à seulement quatre classes principales [SAV 00] :

- 1) La séparation dans l'espace
- 2) La séparation dans le temps
- 3) La séparation sur les conditions
- 4) La séparation entre le système et ses composants

6.2.2.1 La transformation d'une contradiction technique comme alternative de résolution d'un problème

Parfois les conditions du problème sont plutôt favorables à la résolution d'une contradiction physique, mais seule la contradiction technique a été identifiée. Dans ces conditions la voie à suivre, c'est la transformation de la contradiction technique vers une contradiction physique. Le processus général à suivre est composé des étapes suivantes :

- Identifier le résultat désiré et le résultat indésirable.
- Isoler le composant, produit ou sous-système où se présente le problème.
- Identifier les éléments, composants ou caractéristiques générant l'impact négatif.
- Exprimer cette interaction avec les phrases qui suivent :
 - Le facteur (nom) doit avoir ou doit être (indiquer le paramètre « positif »), afin de (définir le premier besoin du sous-système).
 - Le facteur (nom) doit avoir ou ne doit pas être (indiquer le paramètre « négatif »), afin de (définir le deuxième besoin du sous-système).

Exemple : dans l'exemple du système pour obturer une ampoule, la contradiction peut se définir comme suit (voir figure 2.28) :

- La **température** doit être **présente**, afin de **fondre** le verre et **fermer** l'ampoule.
- La **température** doit être **absente**, afin de ne **pas abîmer** le médicament.

6.2.2.2 La séparation dans l'espace

L'idée est de séparer dans l'espace les exigences en conflit. Lorsqu'un système doit exécuter des fonctions mutuellement exclusives ou procéder sous conditions contradictoires, il faut essayer de fractionner le système en sous-systèmes de façon à assigner chaque fonction contradictoire aux différents sous-systèmes.

Le critère qui déterminera l'application de cette heuristique peut être dégagé en apportant une réponse à la question suivante : il est nécessaire que le paramètre en question, soit positif et négatif partout dans le système ou il y a des composants ou des sections où cette condition n'est pas nécessaire ?

Exemple : Un sous-marin utilise plusieurs détecteurs (sonar) pour obtenir des données sur le monde extérieur, au milieu de l'océan. Le problème est que le bruit produit par le sous-marin lui-même contamine les données qui arrivent. Pour résoudre ce problème, les détecteurs sont fixés sur un câble et ainsi localisés à quelques centaines de mètres. Donc le sous-marin et le sonar sont séparés dans l'espace [SAV 00].

6.2.2.3 La séparation dans le temps

L'idée est de séparer dans le temps, les exigences contradictoires existantes dans le système. Si un système doit satisfaire des exigences contradictoires, exécuter des fonctions mutuellement exclusives ou fonctionner sous conditions opposées, il faut essayer d'ordonner les opérations effectuées par le système, de manière telle que, les exigences, fonctions ou opérations soient réalisées sur différents intervalles de temps.

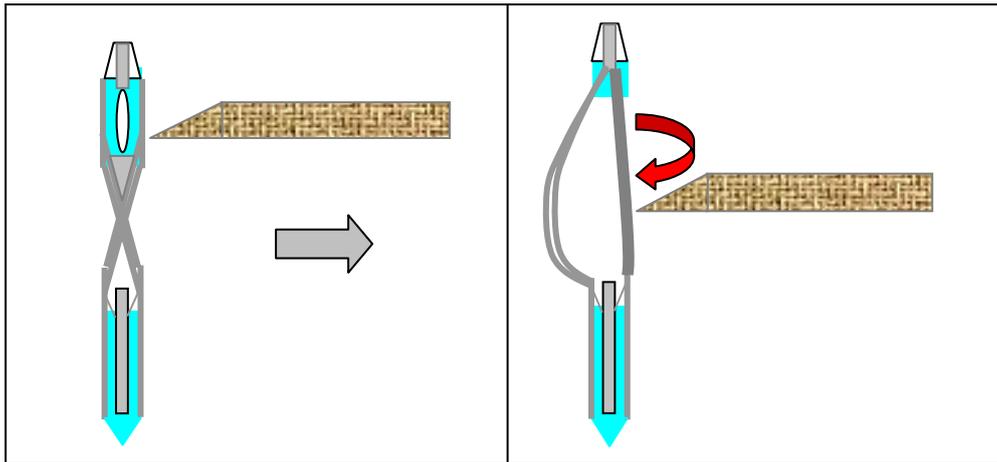
Le critère qui doit être pris en compte pour l'application de cette classe de séparation s'exprime comme suit : le paramètre (la caractéristique, le sous-système, etc.) qui contient le conflit, doit être « positif » et « négatif » tout le temps dans le système ou y a-t-il des intervalles, durant lesquels cette condition n'est pas nécessaire ?

Si un tel type d'intervalle existe, l'utilisation de la séparation dans le temps devient possible.

Exemple : il est difficile de faire passer un fil épais par le chats d'une aiguille. Cette situation se matérialise par la contradiction physique suivante : Une aiguille doit avoir un grand chats pour faciliter l'insertion du fil, et doit avoir un petit chats pour faciliter la couture.

En divisant cette contradiction dans le temps, la reformulation de la contradiction donne : le chats doit être grand durant l'insertion du fil et petit pendant la couture.

⇒ *Solution : une aiguille a été conçue afin de résoudre cette contradiction. La particularité c'est que celle-ci est composée par deux fils. Les fils ont été tordus de trois quarts de tour, puis soudés. L'aiguille résultante ressemble à une aiguille ordinaire, mais une fois qu'une force de torsion est appliquée dans le sens contraire à celui de la soudure, un grand orifice apparaît afin de faciliter l'insertion du fil. Une fois libérée, l'aiguille reprend sa forme initiale en retenant le fil.*



Source : [Z&Z 04]

Figure 2.30 Les fonctions de l'aiguille séparées dans le temps

6.2.2.4 La séparation sur les conditions

Ce principe de séparation est possible lorsque deux fonctions ou états mutuellement exclusifs sont exigés dans le même système, sous-système, produit ou paramètre. Cette contradiction se manifeste quand un des états ou des fonctions requises, est efficace lorsqu'une condition d'un système est présente ou elle a une certaine amplitude et devient inefficace ou inexistante lorsque cette condition change.

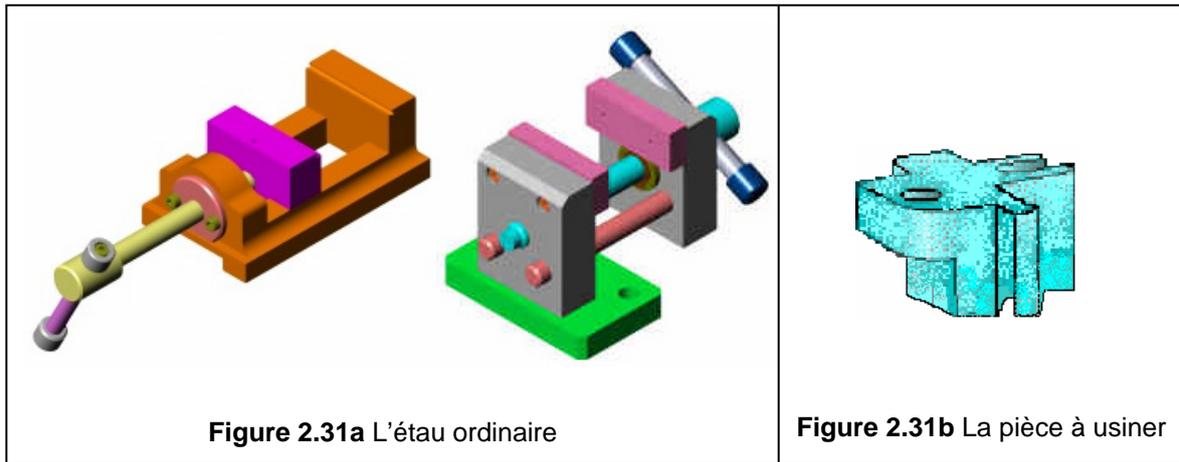
Cette classe de séparation est aussi utile, lorsqu'un processus peut s'accomplir que si une condition spéciale existe. Une voie de résolution pour ce conflit, consiste à essayer de changer le système ou l'environnement l'entourant, afin de produire les conditions requises pour que le processus désiré se réalise.

Exemple : L'eau est une substance qui offre une certaine résistance selon la vitesse à laquelle un corps impacte sa surface. Donc, pendant la conception d'un jet-ski, la vitesse est la condition à prendre en compte lorsque les propriétés de l'eau sont analysées.

6.2.2.5 La séparation entre le tout et ses composants

Lorsqu'un système doit exécuter des fonctions mutuellement exclusives ou procéder sous des conditions contradictoires, il faut essayer de fractionner le système et ordonner chacune des fonctions ou conditions contradictoires à un sous-système (ou groupe de sous-systèmes). Le système dans l'ensemble doit maintenir les fonctions et les conditions restantes.

Exemple : parfois l'usinage d'une pièce en métal de forme très irrégulière, devient une tâche compliquée à cause de la difficulté pour la fixer sur un étau ordinaire. La fonction primordiale d'un étau est de fournir une force de fixation uniformément distribuée. Cela est fait à l'aide d'une surface plate, comme l'indique la figure suivante.



Afin de bien tenir des objets de forme complexe, les mâchoires de l'étau doivent avoir une forme correspondante. Il est cher de produire une mâchoire unique pour chaque objet, en conséquence, le système nécessite d'être flexible afin de pouvoir serrer n'importe quel type et forme de pièce.

⇒ *Solution : utiliser un étau ordinaire, mais ajouter quelques cylindres métalliques capables de se déplacer librement de façon qu'ils puissent s'adapter à la forme de l'objet - [Z&Z 04A].*

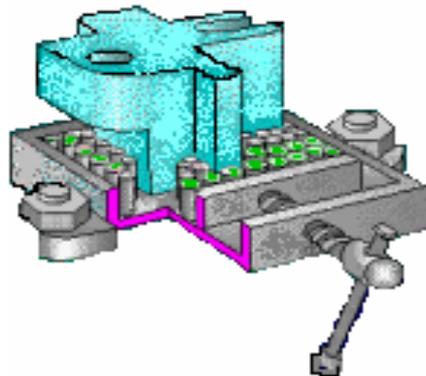


Figure 2.31c L'étau modifié

6.2.3 Les 76 solutions standard

Entre 1977 et 1985, Altshuller a examiné une grande quantité de solution aux divers problèmes techniques, dans différents domaines de l'ingénierie. La particularité de cet examen était que les critères d'analyse se basaient sur l'analyse Substance - Champ (SuFi). Cette analyse a conduit aux 76 solutions standard (en réalité il y en a 86 classes dans la structure des 76 solutions standard) [DTM 99], [TDM 00].

Cet outil s'inscrit dans la continuité de l'analyse substance-champ. Le modèle substance-champ produit une représentation graphique très utile lorsque le lien entre le problème et la contradiction n'est pas explicite. L'intérêt principal de la modélisation substance-champ est l'existence d'un outil pour transformer cette représentation graphique d'un problème en un modèle graphique de solution : les 76 solutions standard.

L'idée des standards est de dire que si deux problèmes résultent en une même modélisation (aux contraintes spécifiques près), ils ont des voies de solution identiques.

Cet outil est très important car il est à la base de la résolution d'un grand nombre de problèmes d'innovation. C'est sûrement un des outils de résolution les plus utilisés.

Remarque : le terme standard diffère de sa notion courante : exigences auxquelles des produits fabriqués doivent répondre. Dans TRIZ c'est une règle itérative et standardisée de résolution de problèmes. Les standards définissent une base de données de procédés types de résolution de problèmes techniques.

Les standards se constituent sous la forme de recommandations :

Si {condition 1} et {condition 2} alors {recommandation}

Les conditions définissent la typologie du problème.

Les 76 solutions standard ont été groupées en 5 classes :

Classe	Nb. De solutions standard
1. Construction et destruction de vépoles	13
2. Développement de vépoles	23
3. Transition vers un super-système et le microniveau	6
4. Standard de mesure et détection	17
5. Mise en application des standards	17
TOTAL	76 solutions standard

Tableau 2.11 Classification des 76 solutions standard

L'emploi des 76 solutions standard

Lors de l'emploi des 76 solutions standard, il n'y a pas besoin de formuler la contradiction, cet outil trouve son principal champs d'application lorsque :

- Un problème comprend une interaction non-désirée ou nuisible entre deux sous-systèmes (ou composantes d'un système).
- Un système est incomplet.
- Un système doit être amélioré.
- Un paramètre d'un sous-système ou produit, doit être modifié lors du fonctionnement, mais les moyens pour le faire, ne sont pas connus.
- Une action ou effet sur un autre sous-système est très puissante.
- Une action ou effet sur un autre sous-système est trop faible.

Les 40 principes sont aussi contenus dans la collection des solutions standard, de plus ces dernières incluent leurs meilleures pratiques et solutions. Au contraire des Principes de résolutions de contradictions techniques, qui exécutent leur fonction avec un ensemble de paramètres génériques, les solutions standard accomplissent leur fonction avec des modèles physiques, une représentation d'un système ou produits déjà conçus. Cela fait des solutions standard, un outil plus spécifique que les principes de résolution des contradictions techniques [SMW 94].

Afin de modéliser cette structure physique (ou interrelation entre sous-systèmes), contenant la situation problématique ou responsable de fournir un certain effet utile, l'utilisation de **l'analyse Substance - Champ (SuFi)** s'avère nécessaire. Le problème doit être formulé comme un effet non-désiré ou insuffisant. Pour obtenir une solution au problème, le modèle physique initial qui contient l'interaction insatisfaisante, doit être transformé vers une structure dans laquelle, l'effet désiré est exécuté.

En conséquence, les solutions standard ont été conçues comme une structure en deux parties :

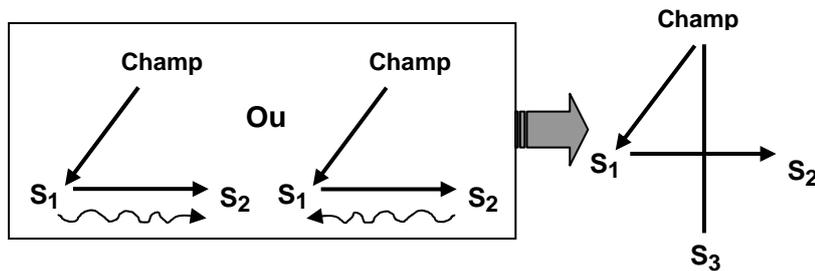


Figure 2.26 La structure des solutions standard

- A) La partie de gauche spécifie les conditions du problème, c'est-à-dire, quelles sont les restrictions durant l'introduction d'un composant et quel est le type de modèle SuFi du problème.
- B) La section de droite, montre la façon de transformer le modèle afin d'atteindre le résultat désiré.

Exemple :

Standard No. 2 : si un vépole résiste aux changements nécessaires et si les conditions du problème ne contiennent pas de contraintes à l'introduction d'additifs dans les substances, alors on résout le problème par la transition (définitive ou provisoire) vers un vépole complexe en introduisant dans S_1 ou/et S_2 des additifs qui augmentent la contrôlabilité ou qui donne au vépole les propriétés nécessaires.

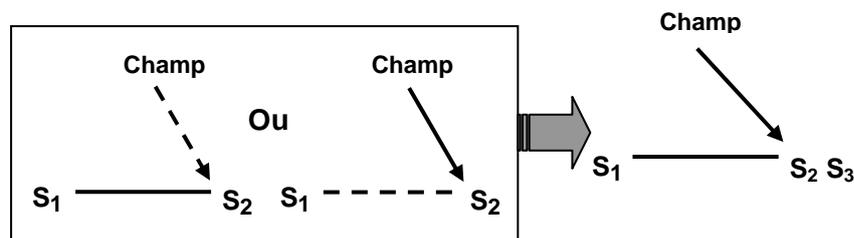


Figure 2.27 Le standard No. 2

Le standard par lui-même, ne spécifie pas exactement les substances ou champs qui doivent d'être introduits, il indique une méthode abstraite de transformation du système.

Exemple : un système pour conditionner un médicament, dans une ampoule en verre, est composé des éléments suivants : (1) un brûleur à gaz produisant une flamme qui fond le verre, en isolant le liquide de l'environnement, (2) Le médicament, (3) une ampoule et (4) un récipient dans lequel les ampoules sont stockées.

Un problème surgit à cause de la difficulté à maintenir la longueur de la flamme. Si elle devient plus grande que la spécification, un réchauffement inacceptable survient et l'excès de température détériore le médicament.

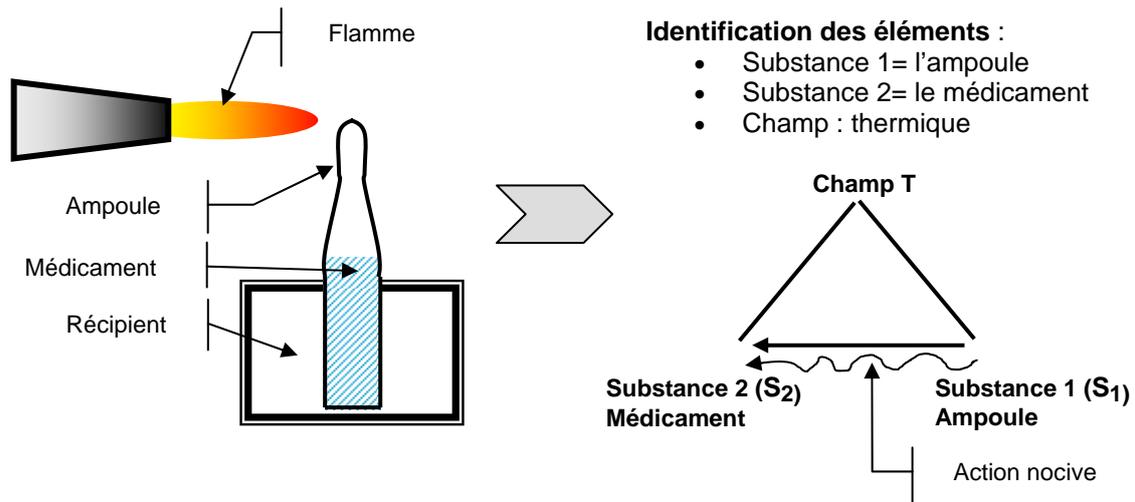
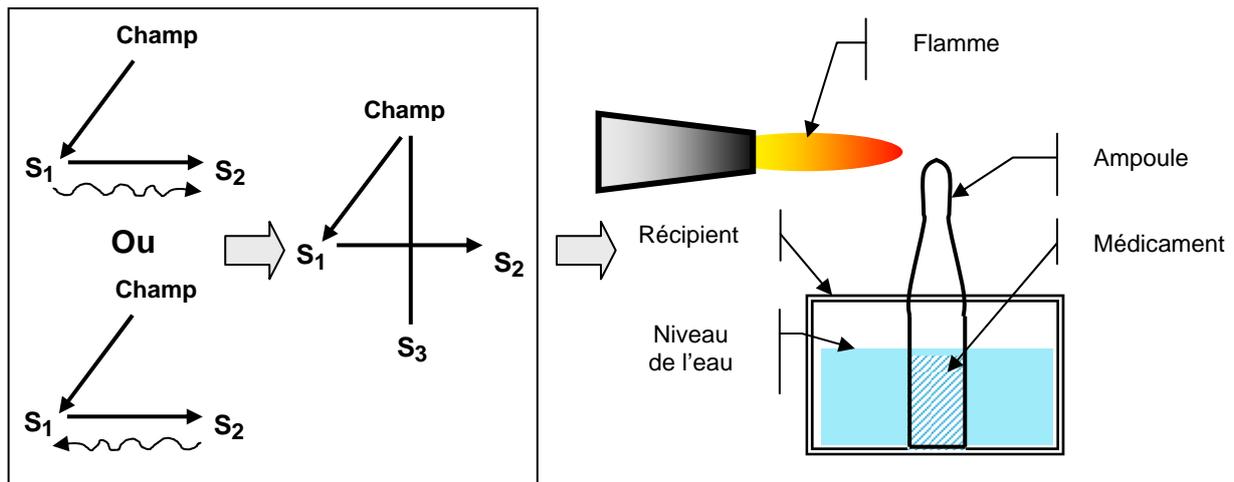


Figure 2.28 Représentation du processus et sa modélisation SuFi

La solution est contenue dans le groupe 1-2, qui fait référence à la décomposition d'un vépole. Le standard 1-2-1, indique : « Si un effet utile et nocif apparaissent entre deux substances dans un block SuFi et, s'il n'est pas obligatoire de garder un contact direct entre ces substances, alors le problème peut être résolu en introduisant une troisième substance entre les deux déjà existantes. »



NOTE : la troisième substance peut être obtenue à partir des substances existantes ou par le biais de l'exposition aux champs contenus dans le système. En particulier, la substance à introduire peut être de la mousse, bulles, etc.

Source : [SAL 99]

Figure 2.29 Schéma du standard 1-2-1 et de la solution transposée

⇒ Transformation vers la solution

Durant la transformation d'un système, il faut tout d'abord utiliser les champs et les substances disponibles dans le système, dans l'environnement ou générés par des substances disponibles (ou avec un coût minimum). Ainsi, une des recommandations est de remplir le récipient avec un liquide incombustible comme par exemple de l'eau, dont le but est de protéger la partie de l'ampoule qui contient le médicament. Par conséquent, le besoin de contrôler la longueur de la flamme disparaît.

6.2.4 Les Effets dans TRIZ

C'est dans les années 70, qu'Altshuller a commencé l'élaboration d'un guide pour innover. L'étude menée sur les brevets (plus de trois millions), a montré que plusieurs solutions inventives très efficaces, étaient basées sur des effets naturels (lois de la physique) et que parfois, un effet pouvait facilement remplacer un système complexe [Z&Z 04B].

L'étude a également révélé que ces principes s'utilisaient très rarement et parfois, n'avaient jamais été utilisés dans certains domaines technologiques. Altshuller a conclu que la connaissance de plusieurs effets physiques, chimiques et géométriques et de leurs variantes, pouvaient apporter les éléments nécessaires pour résoudre un problème technique.

Environ une centaine de ces principes, font partie du corps de connaissances d'un ingénieur, tandis qu'il y a approximativement 10 000 effets décrits dans la littérature scientifique et, cela sans prendre en compte les principes mathématiques et biologiques. Ainsi l'improductivité de cet ensemble d'effets est due aux facteurs suivants :

- Les formations ne font pas un lien réel entre l'apprentissage et l'emploi de ces effets.
- La méconnaissance dans l'application des effets, est aussi un élément important. Parfois les ingénieurs ne savent pas comment appliquer les effets physiques, chimiques ou géométriques, qui n'ont pas été étudiés dans leur domaine scientifique.
- La manière avec laquelle, ce corps de connaissance a été classifié et organisé, habituellement de manière encyclopédique et purement descriptive.

Tout d'abord, il faut bien clarifier le concept. Un effet est considéré comme une transformation, caractérisée par un paramètre d'entrée, un paramètre de sortie et certaines conditions sous lesquelles, le paramètre d'entrée est transformé en paramètre de sortie.



Un **effet** est défini dans le contexte de TRIZ, comme une réponse spécifique et automatique d'une substance, à une action régie par les lois de la nature et les propriétés particulières des matériaux. En raison de la nature déterministe de ces lois, ces réponses sont reproductibles et fiables [Z&Z 04B].

Ce qui reste, c'est de trouver la façon d'organiser toute cette connaissance, mais comment ? Comment trouver l'effet (ou effets) correct(s) pour une situation spécifique ?

Un tel guide doit être simple et facile à utiliser, alors son élaboration a été basé autour du principe fonctionnel suivant : une liste des fonctions ou des applications généralement rencontrées dans la pratique, et la liste correspondante d'effets qui peuvent être employés afin de réaliser ces fonctions. Cette relation a donné naissance au concept de « pointeur », qui représente un vecteur capable de mobiliser ou d'orienter la connaissance.

Le guide développé par Altshuller et plusieurs de ses collaborateurs, consiste essentiellement en deux parties :

- 1) Un livre de référence contenant une description succincte d'un effet donné, le résultat obtenu après le déroulement de l'action produite par l'effet, et les effets s'avérant les plus utiles pour la résolution d'un problème technique. La description de l'effet est faite sur cinq niveaux :
 - Comment peut-on obtenir l'effet spécifique ? Description des conditions, états, etc.

- Comment peut-on éliminer des sorties secondaires afin de se concentrer sur la sortie désirée ?
- Comment peut-on contrôler les paramètres de l'effet ? afin de pouvoir le modifier dans le temps, l'espace, se concentrer sur l'interaction avec d'autres paramètres ou d'autres effets ?
- Comment peut-on mesurer les paramètres de l'effet spécifique ?
- Est-ce qu'il existe ou manque l'anti-effet pour chaque effet spécifique ? [FRE 98].

2) Un tableau de sélection.

De ce fait, la recherche dans ce guide est un processus en deux phases.

⇒ **Première phase** : identifier la fonction technique désirée et sélectionner le ou les effets correspondant(s), dans la table de sélection.

⇒ **Deuxième phase** : obtenir l'information initiale liée à l'effet sélectionné, dans le livre de référence. Cette information inclut des exemples pour montrer comment cet effet a été utilisé dans le passé.

Effet désiré (action ou fonction requise)	Phénomène physique qui fournit l'effet désiré ou propriété souhaitée
4. Stabilisation de la température	Transition de phase, en incluant la transition au-dessus du point de Curie.
6. Déplacer un objet	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Application d'un champ magnétique afin d'influencer un objet ou aimant attaché à l'objet. ▪ L'application d'un champ magnétique pour influencer un conducteur avec un flux de courant électrique qui le traverse. ▪ Influencer un objet électriquement chargé avec un champ électrique. ▪ Transfert de pression dans un liquide ou un gaz ▪ Les oscillations mécaniques ▪ La force centrifuge ▪ L'expansion thermique ▪ Pression
7. Déplacer un liquide ou un gaz	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Force capillaire ▪ Osmoses ▪ Effet de Thoms ▪ Vagues ▪ Effet de Bernoulli ▪ Effet de Weissenberg
8, 9, 10	
14. Destruction d'un objet	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Décharge électrique ▪ Effet électro-hydraulique ▪ Résonance ▪ Ultrasons ▪ Cavitation ▪ Emploi de lasers

Tableau 2.11 Fragment du tableau des effets

6.2.5 Les modèles et lignes d'évolution

Les lois d'évolution des systèmes techniques

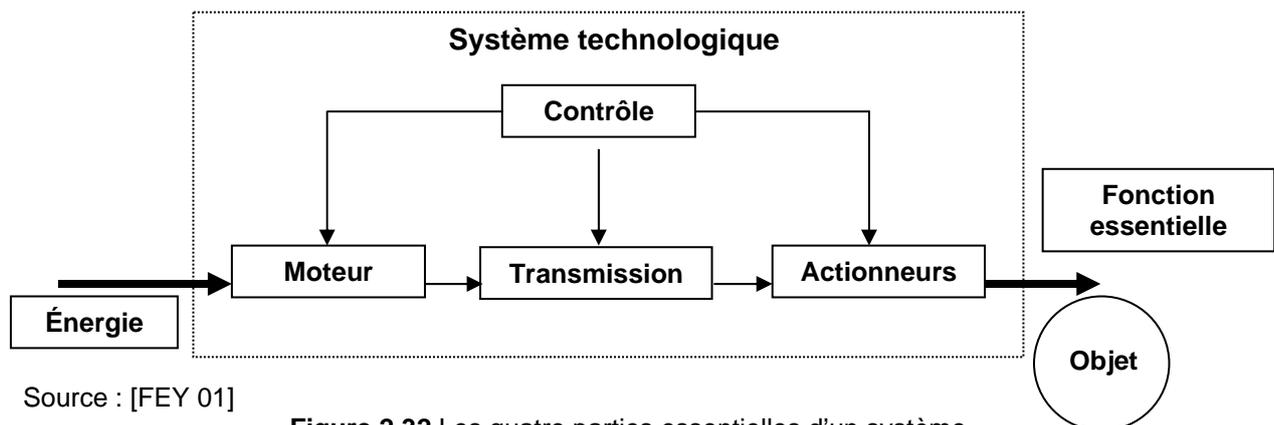
La recherche technologique a toujours essayé de prédire le futur développement des systèmes technologiques (par le biais de la simulation, la méthode d'essais - erreurs etc.), sans de résultats probants.

Les lois d'évolution des systèmes techniques sont un produit des travaux d'Altshuller qui reposent sur l'analyse de brevets. Le rôle qu'elles jouent, est primordial pour le traitement d'un problème par la théorie TRIZ. Elles guident l'ingénieur dans ses recherches afin de réduire les directions possibles d'évolution du système étudié et montrent le chemin à suivre.

L'ensemble des lois du développement des systèmes techniques (ST), peut être divisé en trois groupes : statiques, cinématiques et dynamiques.

6.2.5.1 Les lois statiques

Loi d'intégralité des parties du système technique (ST) : cette loi déclare que pour qu'un système technique fonctionne, il doit inclure quatre parties essentielles : un moteur, une transmission, une unité de contrôle et une unité de travail.



Source : [FEY 01]

Figure 2.32 Les quatre parties essentielles d'un système

Une condition indispensable pour le fonctionnement d'un système technique, est une aptitude minimale de ses composants à fonctionner ainsi que la contrôlabilité d'au moins une de ses parties

Loi de la conductibilité énergétique d'un ST : un élément nécessaire à la viabilité d'un système, c'est le libre passage de l'énergie à travers toutes les parties d'un système.

« La transmission de l'énergie d'un système à un autre peut être accomplie soit par une substance (un levier, un arbre, un embrayage) soit par un champ (gravitationnel, magnétique, électrique), soit par une substance - champ (particules chargées, fluide magnétique, fluide lumineux). Les systèmes tendent à minimiser la quantité de types d'énergie utilisée ainsi qu'à minimiser le nombre de transformations d'énergie dans le système » [COL 02].

Corollaire : pour rendre une partie du système contrôlable, il faut fournir la capacité de conductivité d'énergie entre la partie donnée et l'unité de contrôle.

Loi de coordination du rythme des composants d'un ST : une condition indispensable pour le fonctionnement correct d'un système, est la coordination du rythme de toutes ses parties (fréquence, vibrations, 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.

Remarque : la coordination du rythme peut également signifier une éventuelle discordance intentionnelle.

6.2.5.2 Les lois cinématiques

Loi d'augmentation du niveau de perfectionnement d'un ST : une direction générale d'évolution pour tout système technologique est définie par la loi d'augmentation du degré d'idéalité des systèmes techniques, c'est-à-dire, les systèmes tendent à se déplacer vers l'idéalité en améliorant leur performance de fonctionnement et en diminuant leur coût de production et d'opération.

Loi du développement inégal des parties d'un ST : les parties d'un système se développent d'une 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.

Loi de la transition du système vers un super – système : « un système tend à remplacer ses composants par des parties ayant un plus haut degré de liberté ». Après avoir épuisé ses possibilités de développement, un système se rattache à un super - système en tant qu'une de ses parties.

Alors, son développement futur se prolonge via le super – système. Il est possible de constater ici, un composant du cycle de vie d'un produit, où un système qui, après avoir épuisé les ressources d'une étape de son évolution ou de son développement, laisse la place à un autre système pour repartir sur une nouvelle courbe de croissance.

6.2.5.3 Les lois dynamiques

Loi de transition d'un macro - niveau vers un micro – niveau : les organes de travail évoluent d'abord d'un macro niveau vers un micro-niveau. Lorsque cette transition se réalise, différents types de champs d'énergie sont employés afin d'améliorer la performance ou d'augmenter la contrôlabilité du système. La transition vers le micro-niveau a lieu, lorsqu'un sous-système ou un de ses composants est remplacé par une substance ou un champ d'énergie capable d'effectuer la fonction utile requise par le système. De ce constat, à la place d'un objet, on trouve des molécules, des atomes, des ions, des électrons, etc. qui effectuent le travail.

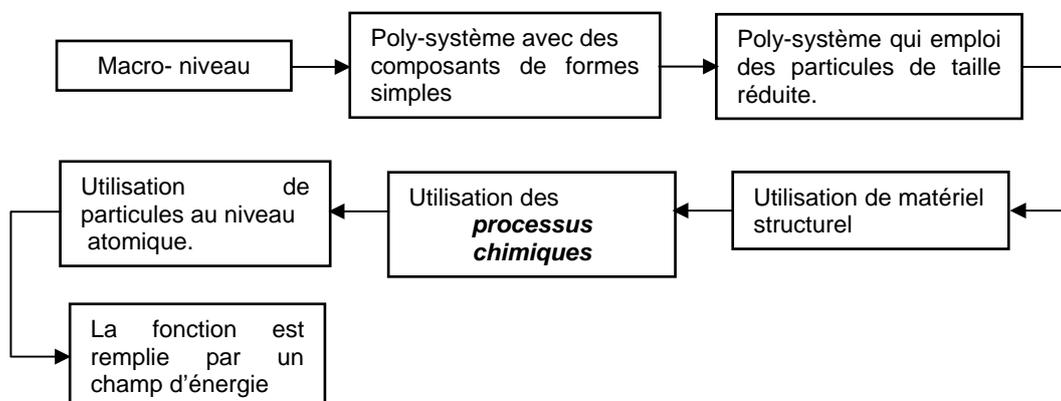


Figure 2.33 L'évolution d'un macro vers un micro niveau

Loi d'augmentation de la contrôlabilité d'un système technique : pour améliorer sa performance, un système technique rigide doit se transformer en un système dynamique et poursuivre la dynamisation de ses composants, afin devenir une structure flexible et plus adaptable au changement. Globalement, l'évolution du système tend ainsi vers une diminution de l'intervention humaine, avec dans l'ordre :

- 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

Exemple : la brosse à dents a comme fonction primaire utile l'élimination de la plaque dentaire, mais aussi, de nettoyer et éliminer les impuretés des dents. Les contraintes sont : ne pas abimer les dents et les gencives, tenir le manche, ne pas transporter les impuretés, utiliser du dentifrice et permettre le contrôle [N&P 04].

Le bloc fonctionnel de la brosse à dents est le suivant :

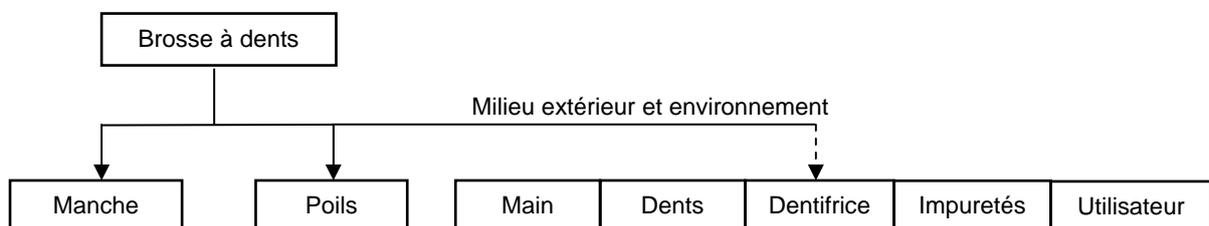


Figure 2.34 Bloc fonctionnel et environnement de la brosse à dents

Le bloc fonctionnel de la figure 2.34 permet d'identifier les quatre éléments essentiels énoncés par la loi 1 et également de définir le super-système, le système et les sous-systèmes.

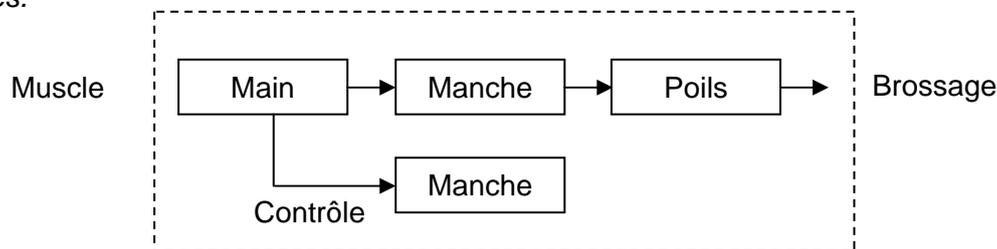


Figure 2.35 L'intégralité des parties du système de la brosse à dents

Super-système	La bouche
Système	Brosse à dents
Sous-systèmes	Le manche, les poils, la main, les dents, le dentifrice, l'eau, les impuretés, les gencives, la salive et l'utilisateur.

Tableau 2.12 L'approche systémique de TRIZ

Les auteurs proposent une évaluation de l'évolution suivie par la brosse à dents, celle-ci est schématisée dans la figure 2.36

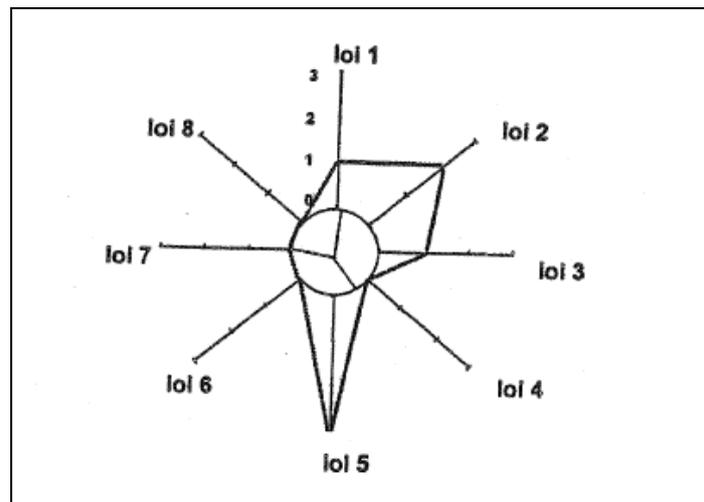


Figure 2.36 Évaluation selon les lois d'évolution

Le schéma de la figure 2.36 permet d'identifier sur quels axes d'évolution la brosse à dents peut continuer à évoluer. Plus spécifiquement, les lois 3, 6, 7 et 8 pourront être appliquées dans le futur développement de la brosse à dents. La loi 4 ou loi de l'augmentation du degré d'idéalité, est considérée comme une tendance générale.

Avant de présenter les tendances d'évolutions suivies, une analyse de l'approche multi-écrans est montrée sur la figure 2.34.

Une fois le système défini, la technique des 9 écrans est employée afin de développer l'imagination et de situer le système dans le temps selon l'approche systémique.

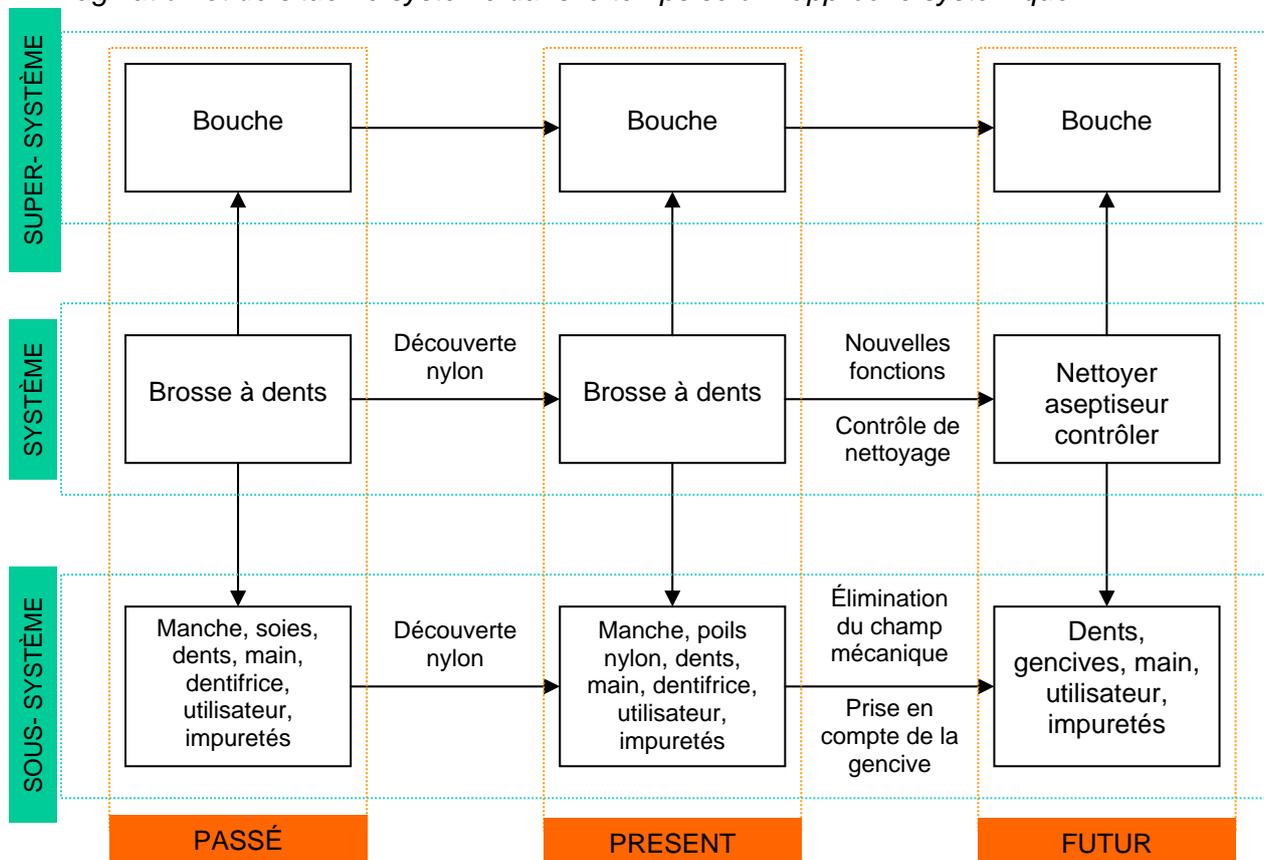


Figure 2.37 L'analyse du système avec l'approche multi-écrans

La figure suivante offre quelques exemples de l'évolution de la brosse à dents :

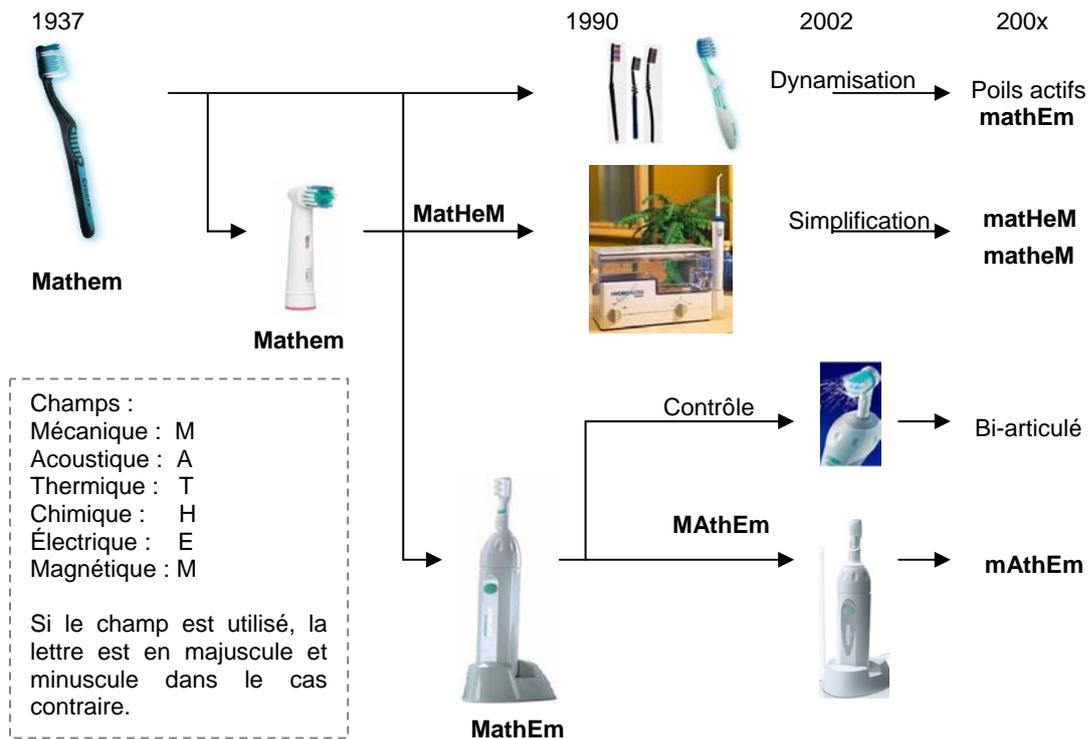


Figure 2.38 Quelques transitions dans l'évolution de la brosse à dents

Selon la loi 3 ou loi de coordination des rythmes, une condition indispensable pour le fonctionnement correct d'un système, est la coordination du rythme de toutes ses parties (fréquence, vibrations, périodicité). Cette tendance est abordée par la brosse à dents bi-articulée, qui réduit l'effort de brossage.

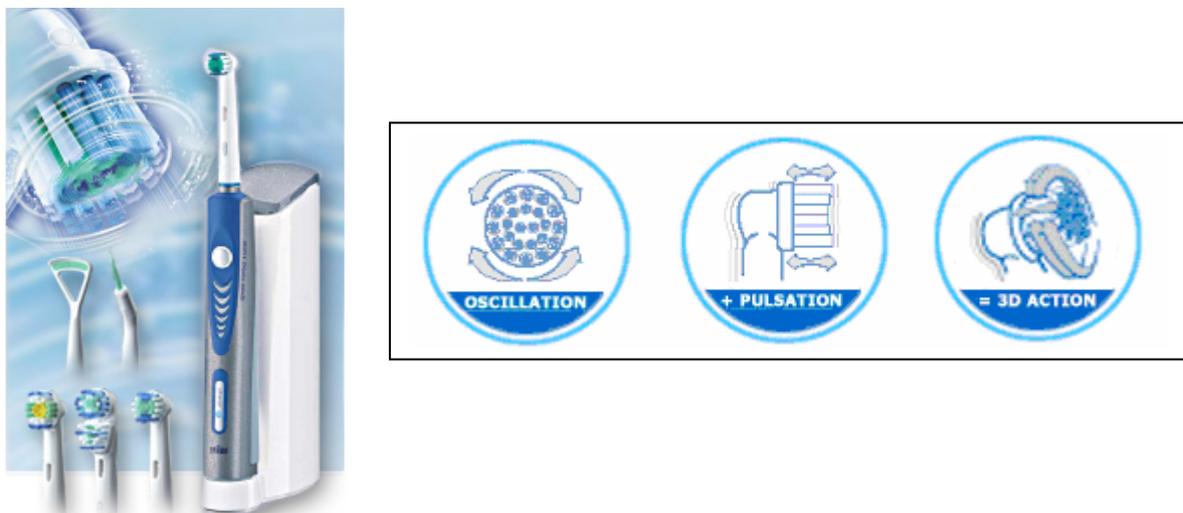


Figure 2.39 Brosse à dents bi-articulée (coordination des rythmes)

Concernant la loi 4 ou loi d'augmentation du degré d'idéalité, elle expose que les systèmes essaient d'améliorer leur performance en fonctionnement tout en diminuant leur coût de production et d'opération. Par exemple la brosse à dents IONIC, élimine la plaque dentaire par un effet d'ionisation. Les ions libérés se mélangent à la salive pour attirer des ions positifs (hydrogène) des acides de la plaque dentaire. Les acides sont ensuite neutralisés et

la plaque est désintégrée. Le dentifrice n'est pas nécessaire car l'eau (salive) est l'ingrédient actif.

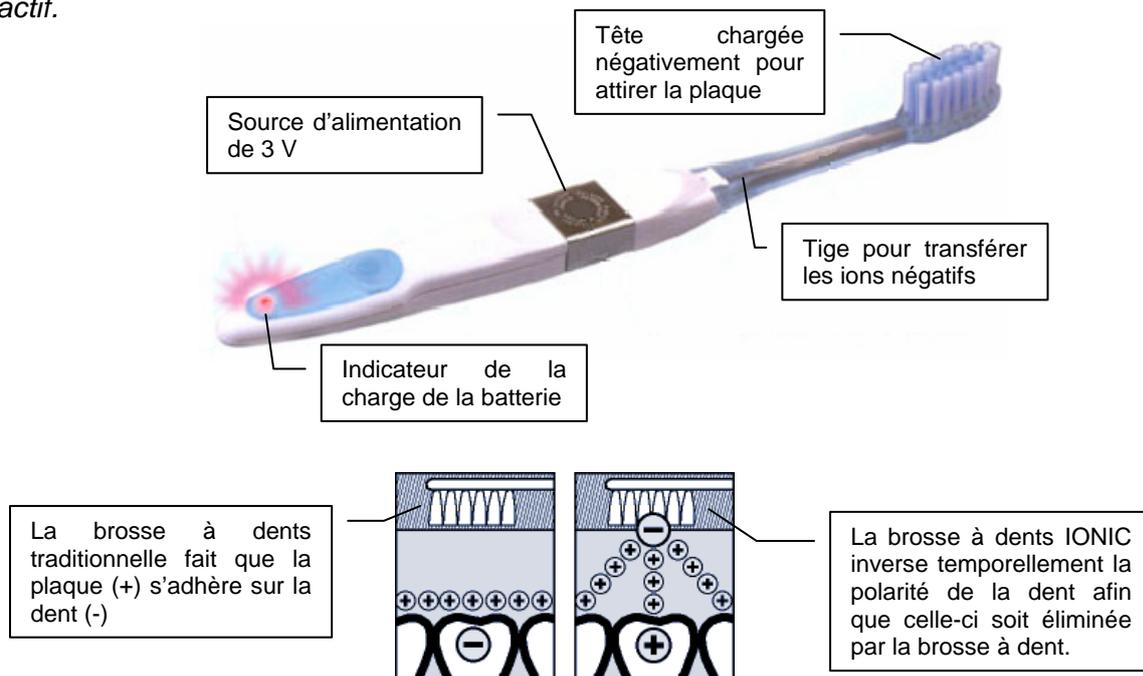


Figure 2.40 La brosse à dents IONIC (simplification d'un système)

Selon Nadeau [N&P 04], le système schématisé dans la figure 2.36 n'exploite pas toutes les ressources disponibles, spécialement les ressources énergétiques disponibles dans l'environnement. De ce fait, la brosse à dents SOLADEY (basée aussi sur l'effet d'ionisation) est une brosse hydromagnétique. Afin de fonctionner, elle doit être exposée à une source de lumière (une lumière fluorescente de salle de bain, une ampoule normale, la lumière du soleil). Puis une tige photo-sensitive en titane transforme la lumière en électrons chargés négativement (ions), ce qui produit le même effet que celui de la brosse à dents IONIC.

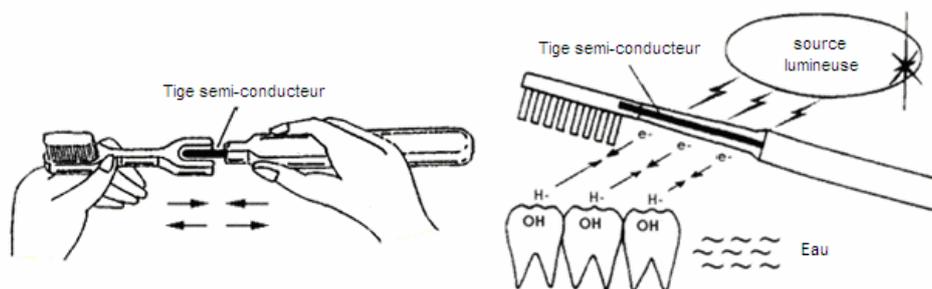


Figure 2.41 La brosse à dents SOLADEY (Utilisation des ressources disponibles dans l'environnement)

Un exemple de l'utilisation de la loi 6 ou de transition vers le super-système, arrive lorsqu'un système qui, après avoir épuisé les ressources d'une étape de son évolution ou de son développement, laisse la place à un autre système pour repartir sur une nouvelle courbe de croissance. Cette tendance est évidente dans l'exemple suivant :

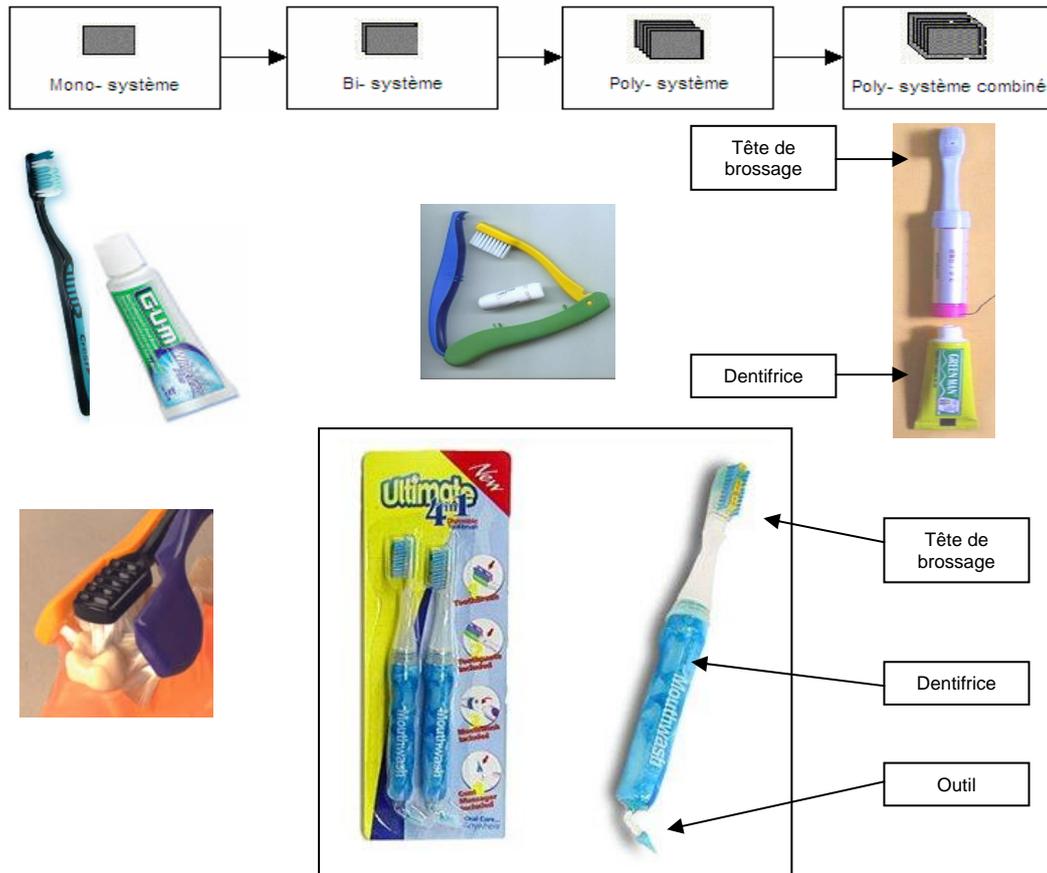


Figure 2.42 La transition de mono vers bi et poly système

La loi No. 7 ou loi de transition d'un macro niveau vers un micro niveau est observée dans la brosse à dents à ultrasons. Cette brosse à dents emploie un émetteur piézo-électrique placé dans la tête de brossage qui produit une fréquence entre 1,6 et 3 MHz qui élimine la plaque dentaire. Ainsi, l'effet d'élimination de la plaque dentaire n'est plus uniquement basé sur une action mécanique, mais également sur l'effet d'un champ d'énergie. L'ionisation présente dans les exemples 2.40 et 2.41 est aussi accomplie par un champ, donc la loi 7 est aussi utilisée.



Figure 2.43 La brosse à dents à ultrasons (transition vers le micro niveau)

La dynamisation ou Loi d'augmentation de la contrôlabilité est aussi présente dans la plupart des exemples exposés. Cette tendance souligne que les systèmes doivent se transformer en systèmes dynamiques, capables de s'adapter au changement. Cette tendance est visible lorsqu'un système change de mono vers un poly système. Par exemple, les poils de la brosse à dents sont remplacés par des lames et plus tard par des membranes. Ce passage est observé sur la figure suivante.

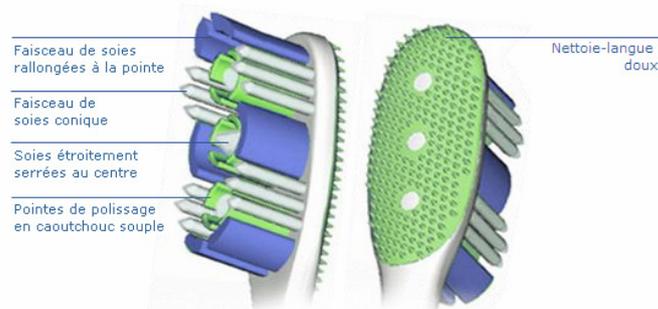


Figure 2.44 La dynamisation des poils de la brosse à dents vers de membranes

7. Conclusions

De nos jours, TRIZ est l'unique approche de résolution des problèmes qui possède un équilibre entre une phase psychologique et une phase technique de la créativité. Cette capacité permet d'aborder, depuis plusieurs perspectives, une énorme variété de problèmes inventifs et de focaliser les efforts créatifs vers une direction déjà vérifiée par le passé. Cela réduit considérablement l'espace de recherche de solution, ce qui se reflète, en une efficacité croissante lors de la résolution d'un problème. Cependant l'effort d'appropriation de la méthode est important, effort qui est justifié par la qualité des solutions qui peuvent être développées avec TRIZ.

Section 2A

La matrice de résolution des contradictions techniques

	Paramètre dégradé ↗ ↘ Paramètre amélioré	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	Volume d'un objet mobile	Volume d'un objet immobile	Vitesse	Force	Tension et pression	Forme	Stabilité	Resistance	Durée de l'action d'un objet mobile	Durée de l'action d'un objet immobile	Température	Brillance	Energie dépensée par l'objet mobile	Energie dépensée par l'objet immobile
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	Masse d'un objet mobile	+	-	15, 8, 29, 34	-	29, 17, 38, 34	-	29, 2, 40, 28	-	2, 8, 15, 38	8, 10, 18, 37	10, 36, 37, 40	10, 14, 35, 40	1, 35, 19, 39	28, 27, 18, 40	5, 34, 31, 35	-	6, 29, 4, 38	19, 1, 32	35, 12, 34, 31	-
2	Masse d'un objet immobile	-	+	-	10, 1, 29, 35	-	35, 30, 13, 2	-	5, 35, 14, 2	-	8, 10, 19, 35	13, 29, 10, 18	13, 10, 29, 14	26, 39, 1, 40	28, 2, 10, 27	-	2, 27, 19, 6	28, 19, 32, 22	19, 32, 35	-	18, 19, 28, 1
3	Longueur d'un objet mobile	8, 15, 29, 34	-	+	-	15, 17, 4	-	7, 17, 4, 35	-	13, 4, 8	17, 10, 4	1, 8, 35	1, 8, 10, 29	1, 8, 15, 34	8, 35, 29, 34	19	-	10, 15, 19	32	8, 35, 24	-
4	Longueur d'un objet immobile	-	35, 28, 40, 29	-	+	-	17, 7, 10, 40	-	35, 8, 2, 14	-	28, 10	1, 14, 35	13, 14, 15, 7	39, 37, 35	15, 14, 28, 26	-	1, 10, 35	3, 35, 38, 18	3, 25	-	-
5	Surface d'un objet mobile	2, 17, 29, 4	-	14, 15, 18, 4	-	+	-	7, 14, 17, 4	-	29, 30, 4, 34	19, 30, 36, 28	10, 15, 36, 28	5, 34, 29, 4	11, 2, 13, 39	3, 15, 40, 14	6, 3	-	2, 15, 16	15, 32, 19, 13	19, 32	-
6	Surface d'un objet immobile	-	30, 2, 14, 18	-	26, 7, 9, 39	-	+	-	-	-	1, 18, 35, 36	10, 15, 36, 37	2, 38	40	-	2, 10, 19, 30	35, 39, 38	-	-	-	-
7	Volume d'un objet mobile	2, 26, 29, 40	-	1, 7, 4, 35	-	1, 7, 4, 17	-	+	-	29, 4, 38, 34	15, 35, 36, 37	6, 35, 36, 37	1, 15, 29, 4	28, 10, 1, 39	9, 14, 15, 7	6, 35, 4	-	34, 39, 10, 18	2, 13, 10	35	-
8	Volume d'un objet immobile	-	35, 10, 19, 14	19, 14	35, 8, 2, 14	-	-	+	-	-	2, 18, 37	24, 35	7, 2, 35	34, 28, 35, 40	9, 14, 17, 15	-	35, 34, 38	35, 6, 4	-	-	-
9	Vitesse	2, 28, 13, 38	-	13, 14, 8	-	29, 30, 34	-	7, 29, 34	-	+	13, 28, 15, 19	6, 18, 38, 40	35, 15, 18, 34	28, 33, 1, 18	8, 3, 26, 14	3, 19, 35, 5	-	28, 30, 36, 2	10, 13, 19	8, 15, 35, 38	-
10	Force	8, 1, 37, 18	18, 13, 1, 28	17, 19, 9, 36	28, 10	19, 10, 15	1, 18, 36, 37	15, 9, 12, 37	2, 36, 18, 37	13, 28, 15, 12	-	18, 21, 11	10, 35, 40, 34	35, 10, 21	35, 10, 14, 27	19, 2	-	35, 10, 21	-	19, 17, 10	1, 16, 36, 37
11	Tension et pression	10, 36, 37, 40	13, 29, 10, 18	35, 10, 36	35, 1, 14, 16	10, 15, 36, 28	10, 15, 36, 28	6, 35, 10	35, 24	6, 35, 36	36, 35, 21	+	35, 4, 15, 10	35, 33, 2, 40	9, 18, 3, 40	19, 3, 27	-	35, 39, 19, 2	-	14, 24, 10, 37	-
12	Forme	8, 10, 29, 40	15, 10, 26, 3	29, 34, 5, 4	13, 14, 10, 7	5, 34, 4, 10	-	14, 4, 15, 22	7, 2, 35	35, 15, 34, 18	35, 10, 37, 40	34, 15, 10, 14	+	33, 1, 18, 4	30, 14, 9, 25	14, 26, 9, 25	22, 14, 19, 32	13, 15, 2, 6, 34, 14	32, 3, 27, 16	13, 19	27, 4, 29, 18
13	Stabilité	21, 35, 2, 39	26, 39, 1, 40	13, 15, 1, 28	37	2, 11, 13	39	28, 10, 19, 39	34, 28, 35, 40	33, 15, 28, 18	10, 35, 21, 16	2, 35, 40	22, 1, 18, 4	+	17, 9, 15	13, 27, 10, 35	39, 3, 35, 23	35, 1, 32	32, 3, 27, 16	13, 19	27, 4, 29, 18
14	Resistance	1, 8, 40, 15	40, 26, 27, 1	1, 15, 8, 35	15, 14, 28, 26	3, 34, 40, 29	9, 40, 28	10, 15, 14, 7	9, 14, 17, 15	8, 13, 26, 14	10, 3, 3, 14	10, 30, 18, 40	13, 17, 35	+	27, 3, 26	-	30, 10, 40	35, 19	19, 35, 10	35	-
15	Durée de l'action d'un objet mobile	19, 5, 34, 31	-	2, 19, 9	-	3, 17, 19	-	10, 2, 19, 30	-	3, 35, 5	19, 2, 16	19, 3, 27	14, 26, 28, 25	13, 3, 35	27, 3, 10	+	-	19, 35, 39	2, 19, 4, 35	28, 6, 35, 18	-
16	Durée de l'action d'un objet immobile	-	6, 27, 19, 16	-	1, 40, 35	-	-	-	35, 34, 38	-	-	-	39, 3, 35, 23	-	+	-	19, 18, 36, 40	-	-	-	-
17	Température	36, 22, 6, 38	22, 35, 32	15, 19, 9	15, 19, 9	3, 35, 39, 18	35, 38	34, 39, 40, 18	35, 6, 4	2, 28, 36, 30	35, 10, 3, 21	35, 39, 19, 2	14, 22, 19, 32	1, 35, 32	10, 30, 22, 40	19, 13, 39	19, 18, 36, 40	+	32, 30, 21, 16	19, 15, 3, 17	-
18	Brillance	19, 1, 32	2, 35, 32	19, 32, 16	-	19, 32, 26	-	2, 13, 10	-	10, 13, 19	26, 19, 6	-	32, 30	32, 3, 27	35, 19	2, 19, 6	-	32, 35, 19	+	32, 1, 19	32, 35, 1, 15
19	Energie dépensée par l'objet mobile	12, 18, 28, 31	-	12, 28	-	15, 19, 25	-	35, 13, 18	-	8, 35, 35	16, 26, 21, 2	23, 14, 25	12, 2, 29	19, 13, 17, 24	5, 19, 9, 35	28, 35, 6, 18	-	19, 24, 3, 14	2, 15, 19	+	-
20	Energie dépensée par l'objet immobile	-	19, 9, 6, 27	-	-	-	-	-	-	-	36, 37	-	27, 4, 29, 18	35	-	-	-	19, 2, 35, 32	-	+	-
21	Puissance	8, 36, 38, 31	19, 26, 17, 27	1, 10, 35, 37	-	19, 38	17, 32, 13, 38	35, 6, 38	30, 6, 25	15, 35, 2	26, 2, 36, 35	22, 10, 35	29, 14, 2, 40	35, 32, 15, 31	26, 10, 28	19, 35, 10, 38	16	2, 14, 17, 25	16, 6, 19	16, 6, 19, 37	
22	Gaspillage d'énergie	15, 6, 19, 28	19, 6, 18, 9	7, 2, 6, 13	6, 38, 7	15, 26, 17, 7, 30, 18	17, 7, 30, 18	7, 18, 23	7	16, 35, 38	36, 38	-	14, 2, 39, 6	26	-	-	19, 38, 7	1, 13, 32, 15	-	-	-
23	Gaspillage de substance	35, 6, 23, 40	35, 6, 22, 32	14, 29, 10, 39	10, 28, 24	35, 2, 10, 31	10, 18, 39, 31	1, 29, 30, 36	3, 39, 18, 31	10, 13, 28, 38	14, 15, 18, 40	3, 36, 37, 10	29, 35, 3, 5	2, 14, 30, 40	35, 28, 31, 40	28, 27, 3, 18	27, 16, 18, 38	21, 36, 39, 31	1, 6, 13	35, 18, 24, 5	28, 27, 12, 31
24	Perte d'information	10, 24, 35	10, 35, 5	1, 26	26	30, 26	30, 16	-	2, 22	26, 32	-	-	-	-	-	10	10	-	19	-	-
25	Perte de temps	10, 20, 37, 35	10, 20, 26, 5	15, 2, 29	30, 24, 14, 5	26, 4, 5, 16	10, 35, 17, 4	35, 16, 32, 18	-	-	10, 37, 36, 5	37, 36, 4	4, 10, 34, 17	35, 3, 22, 5	29, 3, 28, 18	20, 10, 10, 16	28, 20, 10, 16	35, 29, 21, 18	1, 19, 26, 17	35, 38, 19, 18	1
26	Quantité de substance	35, 6, 18, 31	27, 26, 18, 35	29, 14, 35, 18	-	15, 14, 29	2, 18, 40, 4	15, 20, 29	-	35, 29, 34, 28	35, 14, 3	10, 36, 14, 3	35, 14	15, 2, 17, 40	14, 35, 34, 10	3, 35, 10, 40	3, 35, 31	3, 17, 39	34, 29, 16, 18	3, 35, 31	-
27	Fiabilité / Fidélité	3, 8, 10, 40	3, 10, 8, 28	15, 9, 14, 4	15, 29, 28, 11	17, 10, 14, 16	32, 35, 40, 4	2, 35, 24	-	21, 35, 11, 28	8, 28, 10, 3	10, 24, 35, 19	35, 1, 16, 11	11, 28	2, 35, 3, 25	34, 27, 6, 40	3, 35, 10	11, 32, 13	21, 11, 27, 19	36, 23	-
28	Précision de la mesure	32, 35, 26, 28	28, 35, 25, 26	28, 26, 5, 16	32, 28, 3, 16	26, 28, 32, 3	26, 28, 32, 3	32, 13, 6	-	28, 13, 32, 24	32, 2	6, 28, 32	6, 28, 32	32, 35, 13	28, 6, 32	28, 6, 32	10, 26, 24	6, 19, 28, 24	6, 1, 32	3, 6, 32	-
29	Précision de l'usinage	28, 32, 13, 18	28, 35, 27, 9	10, 28, 29, 37	2, 32, 10	28, 33, 29, 32	2, 29, 18, 36	32, 23, 2	25, 10, 35	10, 28, 32	28, 19, 34, 36	3, 35	32, 30, 40	30, 18	3, 27, 40	-	-	19, 26	3, 32	32, 2	-
30	Facteurs nuisibles agissant sur l'objet	22, 21, 27, 39	2, 22, 13, 24	17, 1, 39, 4	1, 18	22, 1, 33, 28	27, 2, 39, 35	22, 23, 37, 35	34, 39, 19, 27	21, 22, 35, 28	34, 39, 39, 18	22, 2, 37	22, 1, 3, 35	35, 24, 30, 18	18, 35, 37, 1	22, 15, 33, 28	17, 1, 40, 33	22, 33, 35, 2	1, 19, 32, 13	1, 24, 6, 27	10, 2, 22, 37
31	Facteurs nuisibles générés par l'objet	19, 22, 15, 39	35, 22, 1, 39	17, 15, 16, 22	-	17, 2, 18, 39	22, 1, 40	17, 2, 40	30, 18, 35, 4	35, 28, 3, 23	35, 28, 1, 40	2, 33, 27, 18	35, 1	35, 40, 27, 39	15, 35, 22, 2	15, 22, 33, 31	21, 39, 16, 22	22, 35, 2, 24	19, 24, 39, 32	2, 35, 6	19, 22, 18
32	Facilité de fabrication/ Usinabilité	28, 29, 15, 16	1, 27, 36, 13	1, 29, 13, 17	15, 17, 27	13, 1, 26, 12	16, 40	13, 29, 1, 40	35	35, 13, 8, 1	35, 12	35, 19, 1, 37	1, 28, 13, 27	11, 13, 1	1, 3, 10, 32	27, 1, 4	35, 16	27, 26, 18	28, 24, 27, 1	28, 26, 27, 1	1, 4
33	Facilité d'utilisation	25, 2, 13, 15	6, 13, 1, 25	1, 17, 13, 12	-	1, 17, 13, 16	18, 16, 15, 39	1, 16, 35, 15	4, 18, 39, 31	18, 13, 34	28, 13, 35	2, 32, 12	15, 34, 29, 28	32, 35, 30	29, 3, 8, 25	1, 16, 25	26, 27, 13	13, 17, 1, 24	1, 13, 24	-	-
34	Aptitude à la réparation	2, 27, 35, 11	2, 27, 35, 11	1, 28, 10, 25	3, 18, 31	15, 13, 32	16, 25	35, 11	1	34, 9	1, 11, 10	13	1, 13, 2, 4	2, 35	11, 1, 2, 9	11, 29, 28, 27	1	4, 10	15, 1, 13	15, 1, 28, 16	-
35	Adaptabilité	1, 6, 15, 8	19, 15, 29, 16	35, 1, 29, 2	1, 35, 16	35, 30, 29, 7	15, 16	15, 35, 29	-	35, 10, 14	15, 17, 20	35, 16	15, 37, 1, 8	35, 30, 14	35, 3, 32, 6	13, 1, 35	2, 16	27, 2, 3, 35	6, 22, 26, 1	19, 35, 29, 13	-
36	Complexité du système	26, 30, 34, 36	2, 26, 35, 39	1, 19, 26, 24	26	14, 1, 13, 16	6, 36	34, 26, 6	1, 16	34, 10, 28	26, 16	19, 1, 35	29, 13, 28, 15	2, 22, 17, 19	2, 13, 28	10, 4, 28, 15	-	2, 17, 13	24, 17, 13	27, 2, 29, 28	-
37	Complexité de contrôle	27, 26, 28, 13	6, 13, 28, 1	16, 17, 26, 24	26	2, 13, 18, 17	2, 39, 30, 16	29, 1, 4, 16	2, 18, 26, 31	3, 4, 16, 35	30, 28, 40, 19	35, 36, 37, 32	11, 22, 1, 39	27, 3, 39, 30	15, 28	19, 29, 39, 25	25, 34, 6, 35	3, 27, 35, 16	2, 24, 26	35, 38	19, 35, 16
38	Degré d'automatisation	28, 26, 18, 35	28, 26, 35, 10	14, 13, 17, 28	23	17, 14, 13	-	35, 13, 16	-	28, 10	2, 35	13, 35	15, 32, 1, 13	18, 1	25, 13	6, 9	26, 2, 19, 28, 10	6, 32, 19	2, 32, 13		

Paramètre dégradé ↕ Paramètre amélioré	Energie dépensée par l'objet immobile	Puissance	Gaspillage d'énergie	Gaspillage de substance	Perte d'information	Perte de temps	Quantité de substance	Fiabilité / Fidélité	Précision de la mesure	Précision de l'usinage	Facteurs nuisibles agissant sur l'objet	Facteurs nuisibles générés par l'objet	Facilité de fabrication / Usinabilité	Facilité d'utilisation	Aptitude à la réparation	Adaptabilité	Complexité du système	Complexité de contrôle	Degré d'automatisation	Productivité	
		20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
1	Masse d'un objet mobile	-	12,36, 18,31	6,2,34, 19	5,35,3, 31	10,24, 35	10,35, 20,28	3,26, 18,31	1,3,11, 27	28,27, 35,26	28,35, 26,18	22,21, 18,27	22,35, 31,39	27,28, 1,36	35,3,2, 24	2,27, 28,11	29,5, 15,8	26,30, 36,34	28,29, 26,32	26,35, 18,19	35,3, 24,37
2	Masse d'un objet immobile	18,19, 28,1	15,19, 18,22	18,19, 28,15	5,8,13, 30	10,15, 35	10,20, 35,26	19,6, 18,26	10,28, 8,3	18,26, 28	10,1, 35,17	2,19, 22,37	35,22, 1,39	28,1,9	6,13,1, 32	2,27, 28,11	19,15, 26,39	1,10, 25,28	25,28, 17,15	2,26,35, 15,35	
3	Longueur d'un objet mobile	-	1,35	7,2,35, 39	4,29, 23,10	1,24	15,2,29	29,35	10,14, 29,40	28,32,4	10,28, 29,37	1,15, 17,24	17,15	1,29,17	15,29, 35,4	1,28,10	14,15, 1,16	1,19, 26,24	35,1, 26,24	17,24, 26,16	14,4, 28,29
4	Longueur d'un objet immobile	-	12,8	6,28	10,28, 24,35	24,26	30,29, 14	15,29, 28	15,29, 28	32,28,3	2,32,10	1,18	15,17, 27	2,25	3	1,35	1,26	26		30,14, 7,26	
5	Surface d'un objet mobile	-	19,10, 32,18	15,17, 30,26	10,35, 2,39	30,26	26,4	29,30, 6,13	29,9	26,28, 32,3	2,32	22,33, 28,1	17,2, 18,39	13,1, 26,24	15,17, 13,16	15,13, 10,1	15,30	14,1,13	2,36, 26,18	14,30, 28,23	10,26, 34,2
6	Surface d'un objet immobile	-	17,32	17,7,30	10,14, 18,39	30,16	10,35, 4,18	2,18, 40,4	32,35, 40,4	26,28, 32,3	2,29, 18,36	27,2, 39,35	22,1,40	40,16	16,4	16	15,16	1,18,36	2,35, 30,18	23	10,15, 17,7
7	Volume d'un objet mobile	-	35,6, 13,18	7,15, 13,16	36,39, 34,10	2,22	2,6,34, 10	29,30,7	14,1, 40,11	25,26, 28	25,28, 2,16	22,21, 27,35	17,2, 40,1	29,1,40	15,13, 30,12	10	15,29	26,1	29,26,4	35,34, 16,24	10,6,2, 34
8	Volume d'un objet immobile	-	30,6		10,39, 35,34		35,16, 32,18	35,3	2,35,16		35,10, 25	34,39, 19,27	30,18, 35,4	35			1,31	2,17,26		35,37, 10,2	
9	Vitesse	-	19,35, 19,35	14,20, 19,35	10,13, 28,38	13,26		10,19, 29,38	11,35, 27,28	28,32, 1,24	10,28, 32,25	1,28, 35,21	2,24, 35,21	35,13, 8,1	32,28, 13,12	34,2, 28,27	15,10, 26	10,28, 4,34	3,34, 27,16	10,18	
10	Force	1,16, 36,37	19,35, 18,37	14,15	8,35, 40,5		10,37, 36	14,29, 18,36	3,35, 13,21	35,10, 23,24	28,29, 37,36	1,35, 40,18	13,3, 36,24	15,37, 18,1	1,28,3, 25	15,1,11	15,17, 18,20	26,35, 10,18	36,37, 10,19	2,35, 3,28	3,28, 35,37
11	Tension et pression	-	10,35, 14	2,36,25	10,36, 3,37		37,36,4	10,14, 36	10,13, 19,35	6,28,25	3,35	22,2,37, 27,18	1,35,16	11	2	35	19,1,35	2,36,37	35,24	10,14, 35,37	
12	Forme	-	4,6,2	14	35,29, 3,5		14,10, 34,17	36,22	10,40, 16	28,32,1	32,30, 40	22,1,2, 35	35,1	1,32, 17,28	32,15, 26	2,13,1	1,15,29	16,29, 1,28	15,13, 39	15,1,32	17,26, 34,10
13	Stabilité	27,4, 29,18	32,35, 27,31	14,2, 39,6	2,14, 30,40		35,27	15,32, 35		13		35,24, 30,18	35,40, 27,39	35,19	32,35, 30	2,35, 10,16	35,30, 34,2	2,35, 22,26	35,22, 39,23	1,8,35	23,35, 40,3
14	Resistance	35	10,26, 35,28	35	35,28, 31,40		29,3, 28,10	29,10, 27	11,3	3,27,16	3,27	18,35, 37,1	15,35, 22,2	11,3, 10,32	32,40, 25,2	27,11,3	15,3,32	2,13, 25,28	27,3, 15,40	15	29,35, 10,14
15	Durée de l'action d'un objet mobile	-	19,10, 35,38		28,27, 3,18	10	20,10, 28,18	3,35, 10,40	11,2,13	3	3,27, 16,40	22,15, 33,28	21,39, 16,22	27,1,4	12,27	29,10, 27	1,35,13	10,4, 29,15	19,29, 39,35	6,10	35,17, 14,19
16	Durée de l'action d'un objet immobile	-	16		27,16, 18,38	10	28,20, 10,16	3,35,31	34,27, 6,40	10,26, 24		17,1, 40,33	22	35,10	1	1	2	25,34, 6,35	3,27, 35,31	1	20,10, 16,38
17	Température	-	2,14, 17,25	21,17, 35,38	21,36, 29,31		35,28, 21,18	3,17, 30,39	19,35, 3,10	32,19, 24	24	22,33, 35,2	22,35, 2,24	26,27	26,27	4,10,16	2,18,27	2,17,16	3,27, 35,31	26,2, 19,16	15,28, 35
18	Brillance	32,35, 1,15	32	13,16, 1,6	13,1	1,6	19,1, 26,17	1,19	11,15, 32	3,32	15,19	35,19, 32,39	19,35, 28,26	28,26, 19	15,17, 13,16	15,1,19	6,32,13	32,15	2,26,10	2,25,16	
19	Energie dépensée par l'objet mobile	-	6,19, 37,18	12,22, 15,24	35,24, 18,5		35,38, 19,18	34,23, 16,18	19,21, 11,27	3,1,32		1,35,6, 27	2,35,6	28,26, 30	19,35	1,15, 17,28	15,17, 13,16	2,29, 27,28	35,38	32,2	12,28, 35
20	Energie dépensée par l'objet immobile	+			28,27, 18,31			3,35,31	10,36, 23			10,2, 22,37	19,22, 18	1,4					19,35, 16,25		1,6
21	Puissance	-	+	10,35, 38	28,27, 18,38	10,19	35,20, 10,6	4,34,19	19,24, 26,31	32,15,2	32,2	19,22, 31,2	2,35,18	26,10, 34	26,35, 34	35,2, 10,34	19,17, 34	20,19, 30,39	19,35, 19,16	28,2,17	28,35, 34
22	Gaspillage d'énergie	-	3,38	+	35,27, 2,37	19,10	10,18, 32,7	7,18,25	11,10, 35	32		21,22, 35,2	21,35, 2,22		35,32,1	2,19		7,23	35,3, 15,23	2	28,10, 29,35
23	Gaspillage de substance	28,27, 12,31	28,27, 18,38	35,27, 2,31	+		15,18, 35,10	6,3,10, 24	10,29, 39,35	16,34, 31,28	35,10, 24,31	33,22, 30,40	10,1, 34,29	15,34, 33	32,28, 2,24	2,35, 34,27	15,10,2	35,10, 28,24	35,18, 10,13	35,10, 18	28,35, 10,23
24	Perte d'information	-	10,19	19,10		+	24,26, 28,32	24,28, 35	10,28, 23			22,10,1	10,21, 22	32	27,22				35,33	35	13,23, 15
25	Perte de temps	1	35,20, 10,6	10,5, 18,32	35,18, 10,39	24,26, 28,32	+	35,38, 18,16	10,30,4	24,34, 28,32	24,26, 28,18	35,18, 34	35,22, 18,39	35,28, 34,4	4,28, 10,34	32,1,10	35,28	6,29	18,28, 32,10	24,28, 35,30	
26	Quantité de substance	3,35,31	35	7,18,25	6,3,10, 24	24,28, 35	35,38, 18,16	+	18,3, 28,40	13,2,28	33,30	35,33, 29,31	3,35, 40,39	29,1, 35,27	35,29, 25,10	2,32, 10,25	15,3,29	3,13, 27,10	3,27, 29,18	8,35	13,29, 3,27
27	Fiabilité / Fidélité	36,23	21,11, 26,31	10,11, 35	10,35, 29,39	10,28	10,30,4	21,28, 40,3	+	32,3, 11,23	11,32,1	27,35, 2,40	35,2, 40,26		27,17, 40	1,11	13,35, 8,24	13,35,1	27,40, 27,40	11,13, 27	1,35, 29,38
28	Précision de la mesure	-	3,6,32	26,32, 27	10,16, 31,28		24,34, 28,32	2,6,32	5,11,1, 23	+		28,24, 22,26	3,33, 39,10	6,35, 25,18	1,13, 17,34	1,32, 13,11	13,35,2	27,35, 10,34	26,24, 32,28	28,2, 10,34	10,34, 28,32
29	Précision de l'usinage	-	32,2	13,32,2	35,31, 10,24		32,26, 28,18	32,30	11,32,1		+	26,28, 10,36	4,17, 34,26		1,32, 35,23	25,10		26,2,18		26,28, 18,23	10,18, 32,39
30	Facteurs nuisibles agissant sur l'objet	10,2, 22,37	19,22, 31,2	21,22, 35,2	33,22, 19,40	22,10,2	35,18, 34	35,33, 29,31	27,24, 2,40	28,33, 23,26	26,28, 10,18	+		24,35,2	2,25, 28,39	35,10,2	35,11, 22,31	22,19, 29,40	22,19, 29,40	33,3,34	22,35, 13,24
31	Facteurs nuisibles générés par l'objet	19,22, 18	2,35,18	21,35,2, 22	10,1,34	10,21, 29	1,22	3,24, 39,1	24,2, 40,39	3,33,26	4,17, 34,26	+					19,1,31	2,21, 27,1	2	22,35, 18,39	
32	Facilité de fabrication / Usinabilité	1,4	27,1, 12,24	19,35	15,34, 33	32,24, 18,16	35,28, 34,4	1,24		1,35, 12,18		24,2		+	2,5,13, 16	35,1, 11,9	2,13,15	27,26,1	6,28, 11,1	8,28,1	35,1, 10,28
33	Facilité d'utilisation	-	35,34, 2,10	2,19,13	28,32, 2,24	4,10, 27,22	4,28, 10,34	12,35	17,27, 8,40	25,13, 2,34	1,32, 35,23	2,25, 28,39		2,5,12	+	12,26, 1,32	15,34, 1,16	32,26, 12,17	1,34, 12,3	15,1,28	
34	Aptitude à la réparation	-	15,10, 32,2	15,1, 32,19	2,35, 34,27		32,1, 10,25	2,28, 10,25	11,10, 1,16	10,2,13	25,10	35,10, 2,16	1,35, 11,10	1,35, 26,15	1,12, 26,15	+	7,1,4, 16	35,1, 13,11	34,35, 7,13	1,32,10	
35	Adaptabilité	-	19,1,29	18,15,1	15,10, 2,13		35,28	3,35,15	35,13, 8,24	35,5,1, 10		35,11, 32,31	1,13,31	1,13,31	15,34, 1,16	1,16,7, 4	+	15,29, 37,28	1	27,34, 35	35,28, 6,37
36	Complexité du système	-	20,19, 30,34	10,35, 13,2	35,10, 28,29		6,29	13,3, 27,10	13,35,1	2,26, 10,34	26,24, 32	22,19, 29,40	19,1	27,26, 1,13	27,9, 26,24	1,13	29,15, 28,37	+	15,10, 37,28	15,1,24	12,17, 28
37	Complexité de contrôle	19,35, 16	18,1, 16,10	35,3, 15,19	1,18, 10,24	35,33, 27,22	18,28, 32,9	3,27, 29,18	27,40, 28,8	26,24, 32,28	22,19, 29,28	2,21	5,28, 11,29	2,5	12,26	1,15	15,10, 37,28	+	34,21	35,18	
38	Degré d'automatisation	-	28,2,27	23,28	35,10, 18,5	35,33	24,28, 35,30	35,13	11,27, 32	28,26, 10,34	28,26, 18,23	2,33	2	1,26,13	1,12, 34,3	1,35,13	27,4,1, 35	15,24, 10	34,27, 25	+	5,12, 35,26
39	Productivité	1	35,20, 10	28,10, 29,35	28,10, 35,23	13,15, 23		35,38	1,35, 10,38	1,10, 34,28	18,10, 32,1	22,35, 13,24	35,22, 18,39	35,28, 2,24	1,28,7, 10	1,32, 10,25	1,35, 28,37	12,17, 28,24	35,18, 27,2	5,12, 35,26	+

Annexe 2B

Les 40 principes

Les paragraphes suivants décrivent les 40 principes avec quelques exemples d'utilisation.

1. La segmentation

- a) Diviser un objet en pièces indépendantes
 - Différents objectifs focaux pour un appareil photo.
 - Utiliser le WBS : Work Breakdown Structure pour un projet (PERT/Gant).
- b) Réaliser un objet démontable
 - Le système de connexions d'un ordinateur est conçu afin d'éliminer la possibilité d'erreur dans l'assemblage.
 - Le montage et démontage des pneus d'une bicyclette.
- c) Accroître le degré de fragmentation ou segmentation du système ou objet
 - L'utilisation de 16 ou 24 valves dans les moteurs de combustion interne à la place des 8.

2. L'extraction

- a) Extraire un élément ou une propriété nuisible d'un objet
 - Mettre le compresseur d'air conditionné à l'extérieur de la pièce pour diminuer le bruit.
 - Utiliser des fibres optiques ou des conduits légers, afin de séparer la source lumineuse (qui est aussi une source de chaleur), de la zone où la lumière est nécessaire.
- b) Isoler l'élément ou la propriété utile d'un objet
 - Utiliser l'aboïement d'un chien dans une alarme, sans le chien.

3. La qualité locale

- a) Passer d'une structure homogène d'un objet (ou de l'environnement ou d'une action extérieure) vers une structure hétérogène.
 - Prendre en compte les variations extrêmes des conditions atmosphériques, lors de la conception des systèmes qui auront de fonctionner à l'extérieur et sans protection.
- b) Placer chaque partie fonctionnelle de l'objet dans les conditions de fonctionnement appropriées.
 - L'ensemble contenant un congélateur et le réfrigérateur dans le même système.
- c) Modifier les parties d'un produit de façon qu'elles puissent accomplir des fonctions supplémentaires ou amener chaque partie de l'objet à remplir une fonction utile différente.
 - Le couteau Suisse.
 - Les rasoirs avec un compartiment pour la crème à raser.

4. L'asymétrie

- a) Remplacer la forme symétrique d'un objet par une forme asymétrique
 - Cuves asymétriques ou axes asymétriques pour améliorer le mélange : transport de ciment, mélangeurs.
 - La prise électrique des appareils américains.
- b) Si un objet est déjà asymétrique augmenter le degré d'asymétrie,
 - Connexions spéciales de forme complexe, afin d'assurer un assemblage sécurisé.

5. La combinaison / consolidation

- a) Combiner des objets identiques ou similaires afin d'accomplir des opérations parallèles
 - Les réseaux informatiques actuels, l'Internet et les intranets.
 - Les cartouches d'imprimante multi - couleurs.
- b) Synchroniser des opérations contiguës ou parallèles lorsque la simultanéité est possible
 - Cellules de production.

- Analyse de plusieurs paramètres en même temps lors d'une analyse de sang.

6. L'universalité

- a) Augmenter le nombre de fonctions d'une partie de l'objet de façon à éliminer le besoin d'autres parties ou objet.
 - Siège de sécurité d'enfant pour la voiture, transformable en poussette.
 - L'appareil photo numérique qui peut être employé comme webcam
 - La photocopieuse avec des fonctions d'imprimante, de scanner, de fax, etc.

7. Le placement interne (poupées russes)

- a) Placer un objet dans un autre
 - Un stylo avec deux couleurs différentes.
- b) Placer plusieurs objets dans un autre
 - Tables extensibles avec un compartiment pour ranger les chaises.
- c) Faire passer une partie dans la cavité d'une autre
 - Antenne radio télescopique, lentilles de zoom, mécanisme de rétraction des ceintures de sécurité.

8. Le contreponds

- a) Compenser le poids d'un objet en le combinant avec un autre possédant une force de levage.
 - Utiliser un ballon d'hélium pour porter un panneau publicitaire.
- b) Compenser la masse d'un objet en le faisant interagir avec son environnement (par exemple, en utilisant une force aérodynamique, hydrodynamique, possibilité de flotter, etc.)
 - Les générateurs de vortex améliorent la performance des ailes des avions.
 - Le train Maglev utilise la répulsion magnétique afin de réduire la friction.

9. L'anti-action préliminaire

- a) Si l'action à exécuter présente à la fois des effets utiles et néfastes, lui adjoindre une ou des action(s) inverse(s) afin de limiter les effets néfastes
 - Lors de la transmission d'un signal à la télévision ou à la radio, la distorsion possible est compensée avant la transmission.
- b) Réaliser une action à l'avance dans le but de créer des effets neutralisant les effets nocifs connus d'une action.
 - Utiliser un cache pour protéger une partie d'un objet lorsqu'il est peint.
 - Un plongeur doit passer quelque temps dans une chambre de décompression, avant de ressortir.

10. L'action préliminaire

- a) Exécuter à l'avance l'action requise (soit totalement ou partiellement)
 - Stérilisation de l'ensemble des instruments nécessaires à une intervention chirurgicale.
 - Le système SMED appliqué à la maintenance des machines.
- b) Pré-positionner idéalement les objets de façon à ce qu'ils entrent en action efficacement et sans perte de temps.
 - Production just-in-time.
 - Emploi de barrières pour éviter l'exposition indésirable aux rayons X.

11. La compensation

- a) Compenser le manque de fiabilité de l'objet par des mesures préventives.
 - Airbag dans une voiture, les batteries de secours, le parachute de secours, etc.

12. L'équipotentialité

- a) Modifier les conditions d'un travail de manière telle que, le besoin de soulever ou baisser un objet disparaisse.
- Les systèmes poka-yoke de production.
 - La configuration des écluses dans un canal.

13. L'inversion

- a) Au lieu d'une action dictée par les spécifications du problème, effectuer une action opposée.
- Afin de tester l'herméticité d'une valve, faire varier la pression à l'extérieur de la valve, plutôt qu'à l'intérieur.
- b) Faire que les parties fixes soient mobiles et inversement
- Un vélo d'appartement.
- c) Faire tourner autour de l'objet, le mettre à l'envers
- Vider les containers de grain en les faisant tourner.
 - Le lavage des bouteilles en les retournant et en injectant de l'eau sur pression.

14. La sphéricité

- a) Remplacer des parties ou formes rectilignes par des curvilignes, des surfaces planes par des surfaces sphériques.
- En architecture l'utilisation d'arches et dômes pour améliorer la résistance.
- b) Utiliser des rouleaux, des billes, des spirales, des dômes.
- La vis d'Archimède.
 - Utilisation de billes dans les stylos pour gérer l'arrivée d'encre.
- c) Remplacer une translation par une rotation ; utiliser la force centrifuge.
- Faire tourner une pièce après l'avoir peinte, pour éliminer l'excès de peinture.

15. Le degré de dynamisme / la mobilité

- a) Rendre un objet (ou son environnement) automatiquement ajusté pour une performance optimale à chaque phase de l'opération.
- Selle remplie de gel pour s'adapter à chaque utilisateur.
 - La « personnalisation » d'une voiture, de chaussures de sport, de sac à dos, etc.
- b) Diviser un objet en plusieurs éléments mobiles les uns par rapport aux autres.
- Le caméscope numérique avec des objectifs interchangeables et un écran mobile.
- c) Si un objet (ou un procédé) est fixe, le rendre adaptable ou mobile.
- Un graveur externe, un disque dur externe, etc.
- d) Augmenter le degré de mobilité
- Un peu de sable disposé à l'intérieur d'un pneu, pour le rendre auto-équilibré.

16. Les actions partielles ou excessives

- a) S'il est difficile d'obtenir un effet à 100% par une méthode, appliquer cette méthode « partiellement » ou « à l'excès » peut simplifier considérablement le problème.
- Lors de l'application d'une couche de peinture anticorrosive, il y a très fréquemment un surplus sur la pièce métallique, cet excès est plus tard éliminé par centrifugation.

17. Le changement de dimension

- a) Déplacer un objet dans un espace bidimensionnel ou tridimensionnel.
- L'escalier en spirale utilise moins de surface au sol.
- b) Utiliser un objet avec plusieurs compartiments au lieu d'un seul afin de développer plus d'activités concourantes dans le temps.
- Minichaîne avec un compartiment pour plusieurs CD.
- c) Incliner ou réorienter un objet pour qu'il repose sur l'un de ses côtés.
- Stockage vertical de bois.
 - Transport voitures en position inclinée, pour optimiser l'espace.
- d) Utiliser une autre face.

- Assemblage des composants électroniques des deux côtés de la même carte électronique.
- e) Utiliser des flux optiques dirigés sur une surface voisine ou sur la face inverse de la surface donnée.
 - Conception d'antennes paraboliques, systèmes d'illumination avec la lumière du soleil.

18. La vibration mécanique

- a) Faire qu'un objet oscille ou vibre.
 - La perceuse / marteau facilite la perforation d'un mur.
- b) Si l'oscillation existe, accroître sa fréquence (même au-delà de l'ultra son).
 - Le nettoyage ultrasonique.
 - Détection non destructive d'une fissure par le biais des ultrasons.
- c) Utiliser la fréquence de résonance d'un objet.
 - Destruction des calculs dans le rein ou dans la vésicule biliaire.
- d) Utiliser des vibrations piézo-électriques au lieu de mécanique.
 - Oscillations du cristal de quartz dans les réveils.
- e) Combiner l'utilisation des vibrations ultrasoniques et des champs magnétiques.
 - Le mélange d'alliage dans un four.
 - Sono chimie.

19. L'action périodique

- a) Remplacer une action continue par une action périodique ou pulsative.
 - La lumière intermittente d'une bicyclette rend le cycliste plus visible aux conducteurs.
- b) Si l'action est déjà périodique, modifier sa fréquence ou son amplitude.
 - Transformation du son émis par une sirène par des sons dont l'amplitude et la fréquence varient.
- c) Utiliser les pauses entre les impulsions pour accomplir une autre action.
 - L'imprimante Inkjet fait le nettoyage de la tête de l'imprimante entre chaque passage de la pièce.

20. La continuité de l'action utile

- a) Privilégier une action continue (sans pauses), où toutes les parties d'un objet agissent à plein régime.
 - Le moteur auto ajustable, vérifie et ajuste ses paramètres d'opération afin de garantir une efficacité maximale.
 - Le stimulateur cardiaque
- b) Éliminer toutes les actions ou travaux inutiles ou intermittents.
 - Dans une imprimante, réaliser l'impression sur l'aller et le retour.
- c) Remplacer les mouvements en arrière-et-avant par des mouvements de rotation.
- d) Dans une imprimante, réaliser l'impression sur l'aller et le retour.
 - Souris d'ordinateur

21. Le changement de vitesse

- a) Conduire un processus ou certaines phases du processus à grande vitesse afin d'éviter des actions nocives.
 - Couper le plastique plus rapidement que la propagation de la chaleur, afin d'éviter la déformation.
 - Le flash d'un appareil photo.

22. La transformation d'un moins en plus (transformation d'un effet négatif en positif)

- a) Utiliser des facteurs néfastes (en particulier les effets néfastes de l'environnement) pour obtenir un effet positif.
 - Utiliser la chaleur produite par d'autres machines pour générer de l'énergie électrique.
 - Recycler les déchets en les utilisant comme matière première d'un autre processus.

- b) Annuler l'effet d'un facteur néfaste en le combinant avec un autre facteur néfaste.
 - Utiliser les radiations gamma, pour détecter les émissions des positrons des explosifs.
- c) Accroître un effet néfaste jusqu'à ce qu'il ne soit plus nuisible.
 - Créer une barrière de feu afin d'arrêter un incendie.
 - Afin de simuler ou d'éliminer certaines marques rouges sur le visage, un pigment vert est injecté sous la peau.

23. La rétroaction

- a) Introduire la rétroaction pour améliorer un processus ou une action
 - L'emploi d'un thermostat pour contrôler la température d'une machine à café, un fer à repasser, etc.
 - Le contrôle statistique d'un processus, permet de modifier les paramètres d'opération d'un processus, selon un ensemble de mesures prises sur un échantillon d'articles fabriqués.
- b) S'il existe déjà la rétroaction, modifier son amplitude ou son impact.
 - Changer la sensibilité d'un thermostat.
 - Utiliser la combinaison des algorithmes de commande proportionnelle, intégrale ou dérivée.

24. L'intermédiaire

- a) Utiliser un objet ou un procédé intermédiaire pour transférer ou réaliser une action.
 - Afin d'améliorer la fluidité du pétrole ou de ses dérivés, un liquide « améliorateur de flux », est ajouté et qui en plus, préserve les conduites de la corrosion.
- b) Joindre temporairement à un objet, un autre qui peut être facilement enlevé.
 - L'introduction des catalyseurs dans un processus chimique.

25. Le self-service

- a) Faire en sorte que l'objet se suffise à lui-même en effectuant des fonctions auxiliaires utiles (la réparation, une autre action, etc.).
 - Lampe halogène régénérant le filament lors de son utilisation (re-déposition du matériau évaporé).
- b) Réutiliser les résidus énergétiques et les déchets.
 - Utiliser la chaleur d'un processus pour produire de l'énergie.
 - Utiliser les déchets végétaux comme compost.

26. La copie

- a) Utiliser des copies simplifiées et bons marchés, plutôt qu'un objet complexe, cher, fragile ou inconmode.
 - Bijoux d'imitation, la réalité virtuelle, la simulation de processus.
- b) Remplacer un objet, un processus, un système ou ensemble d'objets par une copie optique (qui peut être réduite ou amplifiée).
 - La surveillance spatiale à partir de photographies prises par des satellites.
 - L'échographie pour évaluer la santé du fœtus au lieu d'un test réel.
- c) Si les copies optiques sont déjà utilisées, utiliser les copies infrarouges ou ultraviolettes.
 - Prendre des images en infrarouges pour détecter des sources de chaleur dans un système d'alarme

27. L'éphémère économique ou lieu de la longévité coûteuse

- a) Remplacer un objet cher par un ensemble d'autres objets bon marché, en renonçant à certaines de ses qualités (comme la durée de l'action par exemple).
 - Les nouveaux DVD jetables, qui offrent une durée de fonctionnement d'environ 8 heures.
 - Presque tous les outils ou mécanismes jetables.

28. La reconception

- a) Remplacer un système mécanique pour un système sensoriel (optique, acoustique, goût, olfactif).
 - Les alarmes qui annoncent l'arrivée d'un client dans un magasin.
 - Introduire une odeur désagréable dans un gaz pour faciliter sa détection.
- b) Utiliser les champs électriques, magnétiques et électromagnétiques pour interagir avec l'objet.
 - Pour mélanger deux poudres, charger l'une positivement et l'autre négativement.
 - Un séparateur électrostatique de particules dans un flux d'air.
- c) Remplacer un champ statique par un champ mobile, un champ fixe pour un autre changeant dans le temps et finalement, les champs aléatoires par des champs structurés.
 - La production des images par la résonance magnétique.
- d) Utiliser les champs en conjonction avec des particules activées par ces champs (par exemple, ferromagnétiques).
 - L'application d'un effet magnétique (nommé en anglais magneto-rheological effect), qui permet de changer la viscosité d'un fluide, en utilisant des particules ferromagnétiques et champs magnétiques variables.

29. Le système hydraulique et pneumatique

- a) Remplacer les parties solides d'un objet par un gaz ou un liquide, afin que ses parties puissent utiliser un principe pneumatique ou hydraulique. Par exemple, objets gonflables (à air ou eau), à coussin d'air, hydrostatique ou hydro-réactif.
 - L'hovercraft.
 - L'airbag dans une voiture.
 - Le stockage d'énergie due à la décélération d'un véhicule, dans un système hydraulique, puis utiliser cette énergie pour accélérer.

30. La membrane flexible et les films minces

- a) Utiliser des membranes flexibles et des films minces au lieu de structures tridimensionnelles.
 - Les fenêtres de sécurité dans les banques, la voiture contiennent une couche d'un film en plastique, pour éviter la fragmentation lors d'un impact.
 - L'emploi de membranes minces pour couvrir les piscines et terrains de tennis.
- b) Isoler un objet de son environnement, en utilisant des membranes flexibles et des films minces.
 - Mettre sur la surface d'un fluide, une membrane mince pour réduire la quantité de liquide évaporé ou afin de diminuer le risque de pollution.

31. Le matériau poreux

- a) Rendre un objet poreux ou lui adjoindre des éléments poreux.
 - Percer des trous dans une structure pour l'alléger.
 - Dans certains systèmes hydrauliques, l'huile est pompée à travers d'un disque poreux, qui fait fonction de valve.
- b) Si l'objet est déjà poreux, remplir les pores d'une substance ou d'une fonction utile.
 - Stocker l'hydrogène dans les pores d'un objet en palladium.

32. Le changement de couleur

- a) Modifier la couleur d'un objet ou de son environnement extérieur.
 - Les thermomètres jetables qui changent de couleur selon le degré de température.
 - La cuillère en plastique pour les bébés, qui change sa couleur si la nourriture est trop chaude.
- b) Modifier le degré de transparence d'un objet ou de son environnement extérieur.
 - Les lunettes photo sensibles.

- c) Afin d'améliorer la visibilité d'un objet, ajouter une substance luminescente, ou un aditif coloré.
 - Aditifs fluorescents lors d'une spectroscopie à UV.
 - Emploi de couleurs opposées pour augmenter la visibilité.
- d) Modifier les propriétés d'émission d'un objet sujet à des émissions calorifiques.
 - Utilisation des panneaux réflecteurs paraboliques pour augmenter la récupération d'énergie.

33. L'homogénéité

- a) Faire interagir les objets avec un objet annexe de même matière (ou d'une matière ayant des propriétés identiques)
 - Fabriquer le container avec le même matériau que le contenu, afin de réduire les réactions chimiques.

34. Le rejet et la régénération

- a) Éliminer un objet ou composant d'un système (par dissolution, évaporation etc.) lorsque celui-ci, a assuré sa fonction ou le modifier au cours de fonctionnement.
 - Emballages biodégradables.
 - Lors du lancement d'une fusée, certains de ses composants sont immergés dans une mousse, afin de réduire la possibilité d'une panne à cause d'un impact ou de la vibration, puis la mousse disparaît dans l'espace.
- b) Inversement, récupérer les éléments consommables de l'objet au cours du fonctionnement.
 - Lampe halogène régénérant le filament lors de son utilisation (re-déposition du matériau évaporé).

35. La modification des paramètres

- a) Transformer l'état physique d'un objet (gaz, liquide, solide).
 - Transporter un gaz sous forme liquide pour réduire le volume.
- b) Changer la concentration ou la consistance.
 - Savon liquide plus concentré que le savon traditionnel.
- c) Changer le degré de flexibilité.
 - Vulcaniser le caoutchouc pour modifier sa flexibilité et sa dureté.
- d) Changer la température (la pression, le volume, etc.)
 - Faire monter la température au-dessus du point de Curie pour transformer une substance ferromagnétique en une substance paramagnétique.
- e) Modifier la pression
 - Le changement de la pression intérieure dans une voiture, est utilisé comme alarme.
- f) Changement d'autres paramètres

36. L'utilisation des changements de phase

- a) Utiliser les phénomènes associés aux transitions de phase (changement de volume, perte ou absorption de chaleur, etc.).
 - La super-conductivité.
 - Augmentation du volume de l'eau lorsqu'elle gèle.

37. L'expansion thermique

- a) Utiliser la dilatation ou la contraction thermique des matériaux.
 - La dilatation est le principe de fonctionnement de l'interrupteur thermique.
- b) Si l'expansion thermique est déjà utilisée, utiliser des matériaux divers avec des coefficients d'expansion thermique différents.
 - Le principe de base du thermostat.

38. Oxydation

- a) Remplacer de l'air normal par de l'air enrichi en oxygène.

- Diminuer les effets de l'asthme en mettant le malade sous une atmosphère riche en oxygène.
- b)** Remplacer l'air enrichi en oxygène par de l'oxygène pur.
 - L'emploi d'oxygène pur dans les équipes de oxy –acétylène, permet de générer une très haute température.
- c)** Exposer l'air ou l'oxygène à des radiations ionisantes.
 - Utiliser de l'air ionisé lors de la stérilisation de la nourriture.
- d)** Utiliser l'oxygène ionisé.
 - Ioniser l'air pour capturer les polluants dans un appareil de purification de l'air.
- e)** Remplacer l'oxygène ionisé par de l'ozone.
 - Utilisation de l'ozone dans un processus de purification de l'eau.

39. L'environnement inerte

- a)** Remplacer un environnement normal par un environnement inerte.
 - Prévenir la dégradation d'un filament d'une ampoule, en utilisant une atmosphère d'argon.
 - L'emballage de certains médicaments, doit être fait sous vide.
- b)** Ajouter des pièces neutres ou des additifs inertes à un objet.
 - Le combustible des avions de guerre, contient des additifs pour réduire le risque d'incendie.

40. Les matériaux composites

- a)** Remplacer un matériau homogène par un matériau composite.
 - Les bicyclettes de compétition, sont fabriquées avec des fibres de carbone qui sont plus légères, résistantes et flexibles que les métaux traditionnellement employés dans la fabrication ancienne.

Source : [C&D 00], [OXF 04], [T&D 97], [COL 02].

Annexe 2C

Les 39 Paramètres

Avant de faire une description concise de chaque paramètre, il convient de faire la différence entre un objet mobile et un immobile [DOM 98B].

Remarque : les descriptions présentées ci-dessous font référence à la matrice traditionnelle.

Objets mobiles : sont des objets qui peuvent facilement changer de position dans l'espace, soit par eux-mêmes, soit par l'influence de forces externes.

Objets immobiles : sont des objets qui ne changent pas leur position dans l'espace, ni par eux-mêmes, ni sous la présence de forces externes. Par contre, il faut considérer les conditions sous lesquelles l'objet est employé.

1. Masse d'un objet mobile

La masse de l'objet dans le champ gravitationnel. C'est la force que le corps exerce sur son support, ou sur ses axes de suspension.

2. Masse d'un objet immobile

La masse de l'objet dans le champ gravitationnel. C'est la force que le corps exerce sur son support, sur ses axes ou sur la surface sur laquelle il repose.

3. Longueur d'un objet mobile

Toute dimension linéaire, non nécessairement la plus longue, peut être considérée comme une longueur.

4. Longueur d'un objet immobile

Même définition que pour le paramètre 3.

5. Surface d'un objet mobile

C'est un segment d'un plan géométrique généré par une ligne. La fraction de la surface occupée par l'objet ou la mesure chiffrée de la surface.

6. Surface d'un objet immobile

Même définition que pour le paramètre 5.

7. Volume d'un objet mobile

C'est la mesure de l'espace occupé par un objet : longueur x largeur x hauteur pour un objet rectangulaire, hauteur x surface pour un cylindre, etc.

8. Volume d'un objet immobile

Même définition que pour le paramètre 7.

9. Vitesse

Le taux d'accroissement ou de diminution d'un processus ou de son action dans le temps (le rapport entre la mesure de l'accroissement ou de la diminution et le temps écoulé).

10. Force

La force mesure l'interaction entre les systèmes. Dans la physique newtonienne la force est égale au produit entre la masse par l'accélération. Dans le contexte de TRIZ, la force correspond à une interaction, avec le but de modifier les conditions existantes d'un objet.

11. Tension ou pression

C'est le quotient d'une force par l'aire de la surface sur laquelle elle s'exerce (aussi la tension).

12. Forme

La forme représente le contour externe et l'apparence d'un système.

13. Stabilité d'un objet

Intégrité d'un système. Les relations entre les différents composants qui constituent le système. En résumé augmenter le degré d'entropie fait diminuer la stabilité.

14. Résistance

Le degré d'opposition qu'un objet peut offrir au changement, sous l'effet de différentes forces. Capacité de déformation. Résistance à la rupture.

15. Durée de l'action d'un objet mobile

C'est le temps durant lequel l'objet peut exécuter une certaine action. Temps de service d'un système ou objet. Le temps moyen de service entre deux défaillances, représente la mesure de la durée de l'action.

16. Durée de l'action d'un objet immobile

Même définition que pour le paramètre 15.

17. Température

Les conditions thermiques d'un objet ou d'un système, elles recouvrent différents paramètres thermiques qui affectent le changement de la température.

18. Brilliance

Flux de lumière par unité de surface ainsi que toutes autres caractéristiques telles que sa brillance, la qualité de la lumière, etc.

19. Énergie dépensée par l'objet mobile

C'est la mesure de la capacité de l'objet pour réaliser un travail. En mécanique classique, l'énergie est le produit de la force par la distance. Cela inclut l'utilisation de l'énergie fournie par le super système (comme l'énergie électrique ou la chaleur).

20. Énergie dépensée par l'objet immobile

Même définition que pour le paramètre 19.

21. Puissance

C'est le rapport entre le travail exécuté et le temps nécessaire à son exécution. Le taux de consommation d'énergie lors de la réalisation d'un travail.

22. Gaspillage d'énergie

C'est l'énergie qui ne contribue pas à la réalisation du travail. Réduire le gaspillage d'énergie requiert souvent, des techniques différentes pour améliorer son utilisation, c'est pour cette raison ce point est différent au point 19.

23. Gaspillage de substance

C'est la perte de matériaux ou substances, ou parties ou sous-systèmes du système. Cette perte peut être partielle ou totale, temporelle ou définitive.

24. Perte d'information

C'est la perte de données ou d'accès aux données à l'intérieur du système ou par le système. Cette perte peut être partielle ou totale, temporelle ou définitive, inclut des données sensorielles comme l'odeur, la texture, etc.

25. Perte de temps

Le temps est la durée d'une activité. Améliorer la perte de temps, signifie réduire le temps employé pour réaliser l'activité ou plus communément, la réduction des temps de cycles.

26. Quantité de Substance

C'est le nombre ou la quantité de matière du système, de substances, de parties ou de sous-systèmes, qui peuvent être changés totalement ou partiellement, de façon permanente ou temporaire.

27. Fiabilité

C'est la capacité d'un système à effectuer ses fonctions, avec un certain degré voulu de performance et sous conditions voulues.

28. Précision de la mesure

C'est la proximité entre la valeur mesurée et la valeur réelle d'une propriété du système. Réduire l'erreur dans la mesure améliore l'exactitude globale de la mesure.

29. Précision de l'usinage

C'est la précision avec laquelle les caractéristiques actuelles d'un système ou d'un objet, remplissent certains réquisits ou caractéristiques exigés.

30. Facteurs nuisibles agissant sur l'objet

Sensibilité d'un système aux effets nocifs extérieurs.

31. Facteurs nuisibles générés par l'objet

Un effet nocif diminue l'efficacité ou la qualité du fonctionnement d'un objet ou du système. Ces effets nocifs, sont générés par l'objet ou le système de manière intrinsèque à sa mise en opération.

32. Facilité de fabrication (Usinabilité)

C'est le degré de facilité ou d'effort nécessaire lors de la fabrication d'un objet ou système.

33. Facilité d'utilisation

Un processus est dit « difficile » s'il nécessite d'un grand nombre d'employés, sa séquence d'opération est composée d'un grand nombre d'étapes, a besoin d'outils ou de capacités spécifiques, etc.

Un processus simple, facile d'utilisation génère plus de profit qu'un système complexe car les résultats désirés s'obtiennent plus facilement.

34. Aptitude à la réparation

Une caractéristique de la qualité d'un système ou objet qui vise la simplicité, la facilité d'utilisation et la réduction du temps nécessaire de réparation d'un défaut ou d'une défaillance.

35. Adaptabilité

C'est la capacité de réponse d'un objet ou d'un système aux changements externes. C'est aussi la performance d'un système, lors de son utilisation sous des circonstances et des contextes variables.

36. Complexité du système

C'est le nombre et la diversité des éléments qui constituent un système. L'utilisateur peut être un élément du système qui augmente la complexité. La difficulté à contrôler ou maîtriser le système, est une mesure de sa complexité.

37. Complexité de contrôle

Mesurer ou surveiller des systèmes complexes, coûteux, ou des systèmes où, il y a une interrelation complexe entre ses composants, est une tâche difficile ; caractérisée par la difficulté à détecter ou/et mesurer différentes variables. L'augmentation du coût lors de la mesure de certaines variables, est un signe révélateur de la difficulté de mesurer.

39. Degré d'automatisation

Le degré d'automatisation représente la capacité d'un système ou d'un objet à accomplir sa fonction sans l'intervention humaine. Le niveau le plus bas correspond aux outils utilisés manuellement. Dans le niveau intermédiaire on trouve les outils programmables, mais ils ont besoin d'une surveillance constante et d'une reprogrammation très fréquente. Le niveau le plus haut correspond aux machines qui comparent ses paramètres opératoires, se réajustent si c'est nécessaire, s'auto-surveillent et s'autocontrôlent sans aucune intervention humaine.

39. Productivité

C'est le nombre de fonctions ou d'opérations accomplies par un système par unité de temps. Le temps unitaire par fonction ou opération, le temps final par unité ou le coût par unité fabriquée.

Brevets utilisés

Brevets utilisés

[MAN 04B]

Brevet	Nom du système	Paramètre à améliorer	Paramètre dégradé	Contradiction identifiée dans la base
US6680961	Anneaux de guidance pour un laser	25	31	1158
US6686564	Appareil de préparation de nourriture avec déclenchement intelligent	31	15	1425
US6685962	Appareil pour le contrôle du dosage d'un médicament	12	5	522, 531
US6677073	Tissu de fibres sans ondulations	6	41	275
US6616091	Tambour rebobineur	15	35	692
US6669134	Système de guidage	41	15	1895
US6664520	Siège thermique	22	13	1000
US6700055	Concentrateur solaire auto ajustable	17	3	755
US6666666	Dispositif multi-chambre de déplacement positif de fluides	7	5	287
US6682757	Titration dosage TDD	24	34	1114
US6626874	Aiguille avec couche d'anticoagulant à l'intérieur.	31	48	1457
US6654340	OFDM différentiel avec de multiples antennes réceptrices	47	44	2206
US6674744	Transport de données point-to-point sur internet	14	31	641
US6663994	Cellule de combustible à base de mousse de graphite	24	6	1087
US6593017	Matériau de stockage d'hydrogène	2	6	52
US6587770	Méthode pour estimer le	48	40	2249

	poids			
US6701944	Système de dosage de détergent	7	5	287
US6703005	Production d'un produit déodorant	44	22	2043
US6661345	Système de monitoring et d'alarme	38	32	1771
US6706773	Processus de fabrication de mousse	25	41	1168
US6708115	Indicateur de vitesse pour véhicule	48	45	2254
US6708080	Appareil de dosage des produits agricoles	25	47	1174
US6706077	Teinture pour les cheveux	13	41	604
US6695476	Sac avec poignées extensibles	34	10	1561
US6695341	Système de protection contre les impacts	38	5	1744
US6683126	Surface anti-humidité	25	45, 21	1172, 1149
US6662574	Système de refroidissement de fluides à haute vitesse	13	22	585
US6661967	Vaporisateur à température variable	25	22	1150
US6699013	Ventilateur (systèmes de refroidissement)	24	32	1112
US6732497	Machine emballeuse de cigarettes	14	33, 29	643, 639
US6677258	Breathable composite Sheet	25	31	1158
US6657021	Tuyère ajustable	10	19	441
US6729842	Joint hermétique anti-frottement	31	36	1445
US6729136	Métal liquide unité production d'azote	30	16	1379
US6730379	Semelle de chaussures	32	25	1482
US6731772	Housse d'écouteurs	19	32	877
US6730879	Four auto nettoyant	18	13	812

US6730913	Système de vision nocturne	23	4	1038
US6725493	Brosse à dents	24	5	1086
US6725490	Brosse à dents	24	45	1125
US6727211	Barre à multi facettes	39	14	1800
US6727403	Article absorbent	13	4	568
US6726947	Cafetière adaptable	32	41	1497
US6726761	High temperature emissivity paint	23	22	1056
US6726052	Réservoir pliant pour le transport de fluides	21	10	950
US6727618	Bearingless switched reluctance motor	15	21	678
US6728289	Structures micro-optiques	41	9	1889
US6727517	Circuit intégré 3D	4	41	181
US6733766	Substance pour l'hygiène personnelle	32	21	1478
US6733452	Méthode d'imagerie à ultrasons	29	32	1347
US6735985	Méthode pour tordre une fibre	11	6	476
US6718972	Compteur de dosages	10	9	441
US6729351	Valve d'un compteur	48	10	2219
US6732716	Valve d'un compteur	30	12	1375
US6684781	Imprimante	42	32	1959
US6728594	Système de contrôle pour la manufacture de cigarettes	42	40	1967
US6684917	Compteur volumétrique pour quantités réduites de poudre	48	10	2219
US6699434	Valve d'un compteur	45	10	2078
US6673994	Baguette de tambour avec structure micro cellulaire	20	2	895
US6719293	Joint résistante à la corrosion	21	22	961

US6734404	Éléments chauffants à basse émission magnétique	22	31	1017
US6720362	Perforated Foams	29	20	1336
US6734512	Servocommande électrostatique	15	42	699
US6739132	micro-servocommande thermique	3	41	134
US6734000	Support de silicone nanoporeux	41	10	1890
US6740094	Servocommande en polymère avec mémoire	10	9	432
US6732808	Extincteur	12	45	561
US6740250	Inhibiteur de feu	38	30	1769
US6741314	Display LCD	6	4	239
US6741816	Méthode de reproduction de tonalités	42	22, 40	1949, 1967
US6723148		41	24	1904
US6741767	Relais optique-piézoélectrique	9	18	393
US6716485		38	41, 2	1779, 1741
US6715716	Siege économique pour avion	32	8	1465
US6718752	Tuyère d'éjection d'un jet	29	27	1343
US6712346	Ressort de compression hélicoïdal	15	7	665
US6736419	Système de suspension	21	15	955
US6675734		21	1	941
US6726213	Joint bidirectionnelle giratoire	25	32	1159
US6700384	système de détection de fuites	38	47	1785
US6703748	Moteur DC sans balai et compresseur de refroidissement	41	4	1884
US6727018	Batterie avec revêtement	17	38	789
US6735818	Aspirateur	41	20	1900

US6740281	Articles en 3D avec une longueur indéfinie	41	9	1889
US6740752	Procédure d'obtention d'une particule de chitosan	12	21	537
US6652524	Fixateur	32	15	1472
US6706043	Système de fixation des os	13	31	594
US6736820	Vis pour les os	4	3	144
US6744848	Système d'images en 3D	47	9	2171
US6744976	Système pour la production d'un flux d'air chaud	22	8	995
US6743841	Matériau composite résistant à la chaleur	22	10	997
US6743932	Polymérisation catalytique	21	41	980
US6744371	Détecteur d'humidité	47	6	2168
US6744038	Méthode de séparation de particules	47	8	2170
US6743936	Matériaux composites à base de nanoparticules	21	20	960
US6745201	Navigation poly vectoriel	47	11	2173
US6744209	Four à micro-ondes	18	29	827
US6742351	Machine pour fabriquer de la glace	12	24	540
US6674774	Conducteur laser	29	17	1333
US6675030	Système de surveillance du glucose	48	32	2241

Index

A		Étapes du RàPC	86
Altshuller	13, 20, 24, 34, 35, 39, 40, 41, 42, 44, 46, 47, 48, 49, 69, 90, 93, 101, 107, 140, 144, 164, 165, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 177, 180, 186, 187, 192, 193, 207, 208, 209, 214, 217, 221, 222, 223	Extériorisation	61
amélioration	8	F	
Apprentissage dans TRIZ-RàPC	105	Fondements du RàPC	81
approche combinée TRIZ-RàPC	98	G	
Approche combinée TRIZ-RàPC	97	Gestion des connaissances	63
Approche de la théorie TRIZ	24	I	
approches de la créativité	22	Idéalité	39
ARIZ	49	Impact de l'innovation sur le marché	10
Avantages de la théorie TRIZ	91	Inertie Psychologique	40
Avantages du RàPC	87	information	55
Avantages et limites de la synergie TRIZ-RàPC	106	innovation	8, 9
C		Innovation et la gestion des connaissances	75
Capitalisation des connaissances	63	Innovation incrémentale	12
Case-Based Reasoning	70	Innovation radicale	11
Chain – linked Model	17	innovation technologique	9
Classification de l'innovation	35	Intériorisation	62
classifications de l'innovation	10	Invention	10
Combinaison	62	Inventivité	35
CommonKADS	66	K	
Comparaison entre les deux approches	91	kaizen	8
Concept de la contradiction	41	Knowledge Management	63
Conception	27	L	
Concepts de base de TRIZ	39	Limites de la théorie TRIZ	91
Concepts de base du RàPC	85	Limites du RàPC	89
Connaissance	55	Lois cinématiques	47
Connaissance	54	Lois d'évolution	44
Connaissance explicite	57	Lois dynamiques	47
Connaissance tacite	57	Lois statiques	46
Connaissance tacite et explicite	56	M	
Connaissances comme source de l'innovation	19	Matrice de résolution des contradictions techniques	93
Connaissances dans l'entreprise	58	Matrice des contradictions dans la mémoire de cas	98
Contradiction administrative	42	Matrice des contradictions techniques	94
Contradiction physique	42	Mémoire à base de cas	70
Contradiction technique	42	Mémoire d'entreprise	65
Convergence dans TRIZ	38	Mémorisation dans l'approche TRIZ-RàPC	105
création de connaissances	19	Méthodes de capitalisation des connaissances	65
Création de connaissances	58	MKSM	68
Créativité	9, 37	Modèle	16
Créativité dans le processus d'innovation	20	Modèle Science – Push	15
Cycle du RàPC	86	Modèle « Coupling »	16
CYGMA	69	Modèle d'Osborn	22
D		Modèle de Triple Helix	19
Découverte	10	Modèle d'innovation de cinquième génération	18
définitions	9	Modèle d'innovation de quatrième génération	17
Degré de nouveauté	13	Modèle générique de l'innovation	15
donnée	55	Modèle Osborn – Parnes	22
E		modèle Science - Push	16
effets chimiques	39		
effets géométriques	39		
effets physiques	39		

Modèle TRIZ-RàPC	102	Raisonnement analogique	82
Modèle Wallas	22	RàPC	70
Modèles du processus d'innovation	15	Représentation d'un cas	100
N		Résolution d'un problème	36
Nature de l'innovation	10	Résolution des problèmes de TRIZ	36
O		Ressources	42
Objectifs de TRIZ	34	Résultat Idéal Final	39
Ontologies	69	REX	67
Origines de TRIZ	34	RIF	40
Outils analytiques de TRIZ	48	S	
Outils de TRIZ basés sur la connaissance	49	Similarité des cas	103
Outils de TRIZ dans la synergie	90	Socialisation	59
P		Sources de TRIZ	34
Paramètres génériques	95	Synergie TRIZ-RàPC	79
Pensée latérale	23	Systématisation de l'innovation	20
Postulats des lois d'évolution	45	système(s) national d'innovation	19
Principes Inventifs	94, 95	Systems integrations and Networking Model	18
Processus convergent	37	T	
Processus d'ARIZ	50	Techniques pour diriger la créativité	25
processus de conception	29	TGAO	84
Processus de résolution	35	Théorie de la mémoire dynamique	81
Processus divergent	37	Théorie TRIZ	24
Q		TRIZ acronyme russe	34
QFD+TRIZ+ROBUST DESING	29	U	
R		Utilisation de la MRC	95
Raisonnement à Partir de Cas	81	V	
		Vision de Wertheimer et Vinacke	23
