

TRIZ : UNE AIDE A L'INNOVATION ENCORE MAL CONNUE DES PRATICIENS

Gwenola BERTOLUCI*, Marc LE COQ**, Robert CANONNE***, Yvon LE MEUR****

Résumé. – Dans un contexte économique hautement concurrentiel, la capacité des entreprises à innover est devenue un critère déterminant de leur développement mais aussi de leur survie. En conséquence, nous avons vu apparaître au cours de la dernière décennie différentes approches méthodologiques d'aide à la conception de produits. Parmi celles-ci, la méthode TRIZ fait l'objet d'un nombre croissant d'articles et de présentations. Cette méthode, d'origine russe, est aujourd'hui fortement implantée aux États-Unis, ainsi qu'au Japon, en Israël, en Suède et en Allemagne. L'aide qu'elle apporte aux concepteurs pour la recherche de solutions permet de réduire, de façon importante, les durées des cycles de conception. Aujourd'hui largement reconnue aux États-Unis, en particulier grâce à l'Innovation Assistée par Ordinateur (IAO) et au travers de logiciels tels que Tech Optimizer (TO) * ou Innovation Work Bench (IWB) †, elle demeure encore fort mal connue des industriels français. Persuadée de l'intérêt qu'elle présente, l'ENSAM a décidé de s'investir dans la compréhension et le développement de cette méthode, tant pour la mettre en oeuvre dans le cadre de projets menés par les élèves ingénieurs en entreprises que pour l'intégrer à son enseignement.

Mots-clés : TRIZ, innovation, méthodologie, organisation

* Professeur contractuel à l'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers

** Maître de conférences à l'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers

*** Professeur à l'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers

**** Professeur à l'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers

* TO est un logiciel commercialisé par la société Invention Machine.

† IWB est un logiciel commercialisé par la société Ideation International Inc.

1. Introduction

L'article qui suit se propose de présenter une synthèse sur TRIZ.

Dans une première partie, nous présenterons les fondements qui ont présidé à la création de TRIZ ainsi que la démarche qui met en œuvre les principaux outils utilisés par TRIZ et concourant à l'objectif de gain de temps de développement. Dans une seconde partie, nous relaterons, au travers d'un cas réel, une expérience industrielle.

Notre recherche porte actuellement sur les possibilités de transfert des concepts de résolution des problèmes d'innovation aux domaines de l'organisation et de la gestion de production ; nous présenterons quelques réflexions sur ce sujet dans la dernière partie de cet article.

2. Fondements et principes de la méthode TRIZ

2.1 *Objectifs ayant présidé à la création de TRIZ*

TRIZ, acronyme russe de « Théorie de Résolution de Problèmes Inventifs » est une méthode qui a été créée et développée par G. Altshuller à partir de 1946 [1,2]. L'objet de cette méthode est de proposer aux chercheurs et aux concepteurs une démarche créative permettant l'émergence de concepts de solutions à des problèmes inventifs. L'utilisation de cette démarche, et des outils associés, permet de rationaliser et d'étendre les domaines investigués pour identifier cette solution. Elle permet également de combattre ce qu'Altshuller a nommé l'inertie psychologique. Cette notion peut être définie comme une forme d'auto-limitation dans la recherche de solutions. En effet, notre tendance naturelle est de rechercher uniquement dans nos acquis — savoir, expériences — les solutions aux difficultés que nous rencontrons.

Or l'expérience de G. Altshuller l'avait amené à constater qu'en matière de créativité l'ensemble des outils proposés étaient destinés à rompre les barrières psychologiques inhérentes aux individus mais qu'aucun d'entre eux n'offrait la possibilité d'accroître leur potentiel créatif [4]. En somme, ces outils (types : Brainstorming, mots inducteurs...) permettent au chercheur, ou au groupe de projet, de tenter de recouvrir l'accès à l'ensemble de son savoir mais non de l'accroître.

Chargé par l'armée soviétique de l'évaluation des brevets déposés par ses compatriotes, G. Altshuller a fait les constatations suivantes :

- La majorité des problèmes traités est lié à l'émergence de contradictions technologiques au sein des systèmes, contradictions consécutives aux développements réalisés en vue d'améliorer ces produits [17,19].
- Les brevets déposés présentent des niveaux d'innovation différents.

Les contradictions constituent ce qu'Altshuller a nommé les problèmes inventifs. Un produit, un process ou une machine sont créés afin de permettre la réalisation d'une fonction de service. Pour cela, le système est constitué d'un certain nombre de fonctions techniques. Or

l'évolution du produit au cours du temps est obtenue par une amélioration hétérogène de ces fonctions techniques, ce qui donne lieu à des conflits : la somme des optimums locaux ne signifie pas nécessairement l'optimum global. D'où l'apparition de cette notion de contradiction technique qui est généralement traitée par l'acceptation d'un compromis. Globalement, on constate l'existence d'une contradiction technique lorsque l'amélioration d'une des fonctions (ou caractéristiques) du système entraîne la dégradation d'une autre de ses fonctions (caractéristiques).

Ainsi, l'accroissement du temps de fonctionnement d'une machine permet d'améliorer le retour sur investissement mais peut être en contradiction avec la nécessité d'en disposer pour en effectuer la maintenance normale : retours sur investissements ↗, maintenance ▼

Sur la base de ces premières constatations, Altshuller et son équipe ont mené une analyse systématique de brevets (aujourd'hui 2,5 millions d'entre eux ont été étudiés) qui leur a permis d'établir le bilan présenté dans le tableau 1.

Cette synthèse montre que le pourcentage de brevets relevant d'une réelle innovation est effectivement très faible. Les solutions appartenant aux niveaux 1 et 2 constituent simplement des modifications mineures apportées à des systèmes existants [15]. Ces solutions ne nécessitent pas, pour être imaginées, de faire appel à un savoir plus étendu que celui que possède les spécialistes du domaine dans lequel le problème se pose. A ce stade, en revanche, les outils de créativité déjà existants peuvent constituer une aide réelle.

	Importance de la solution obtenue	Connaissances requises	Répartition / 100 brevets
Niveau 1	Solution conventionnelle ou déjà connue dans la spécialité	Un individu	32%
Niveau 2	Petite invention s'inscrivant dans le même paradigme. Amélioration d'un système déjà existant.	Une entreprise	45%
Niveau 3	Réelle innovation technologique s'inscrivant toujours dans le domaine de compétence. Système existant.	Une industrie	18%
Niveau 4	Invention ayant recours à des connaissances extérieures. Recours à la science et non à la technologie.	La société	4%
Niveau 5	Découverte majeure grâce à une nouvelle science.	L'univers	1%

Tableau 1 : Classification des niveaux d'inventivité d'après les travaux de G. Altshuller

Le niveau 5 relève, lui, de la concrétisation technologique d'une découverte scientifique. Les brevets de cette catégorie sont, certes, très intéressants, mais ont uniquement pour origine une démarche de recherche scientifique ne concernant pas TRIZ.

En revanche, les brevets de niveaux 3 et 4 entrent dans le champ d'application défini par Altshuller. Us constituent de réelles innovations dans les domaines auxquels ils sont appliqués. Or la conception de telles solutions implique l'accès à des niveaux de connaissances étendues. En effet, l'analyse menée a montré que la majorité des concepts de solutions proposés dans ces cas étaient déjà connus mais appliqués dans des spécialités différentes [4,15]. De ce fait, la connaissance de ces concepts de solutions déjà existants aurait permis aux chercheurs des gains de temps considérables.

L'ensemble des outils et des notions fondamentales qui ont été développés par Altshuller a donc pour but de faciliter la recherche de voies de solutions de niveaux 3 et 4. Comme nous l'avons indiqué précédemment, il ne s'agit pas de faciliter un quelconque processus de recherche scientifique mais bien de permettre d'exploiter, le plus efficacement possible, des concepts de solutions déjà pressentis dans d'autres industries ou dans d'autres domaines scientifiques. Or, pour qu'un tel transfert puisse être effectué, il est impératif de parvenir à un niveau d'abstraction, tant pour la pose des problèmes que pour trouver leurs solutions, qui permette de s'affranchir aussi bien du vocabulaire que des particularismes technologiques propres à tout secteur industriel. L'idée poursuivie par Altshuller a été de permettre la création d'une démarche de ce type (figure 1).

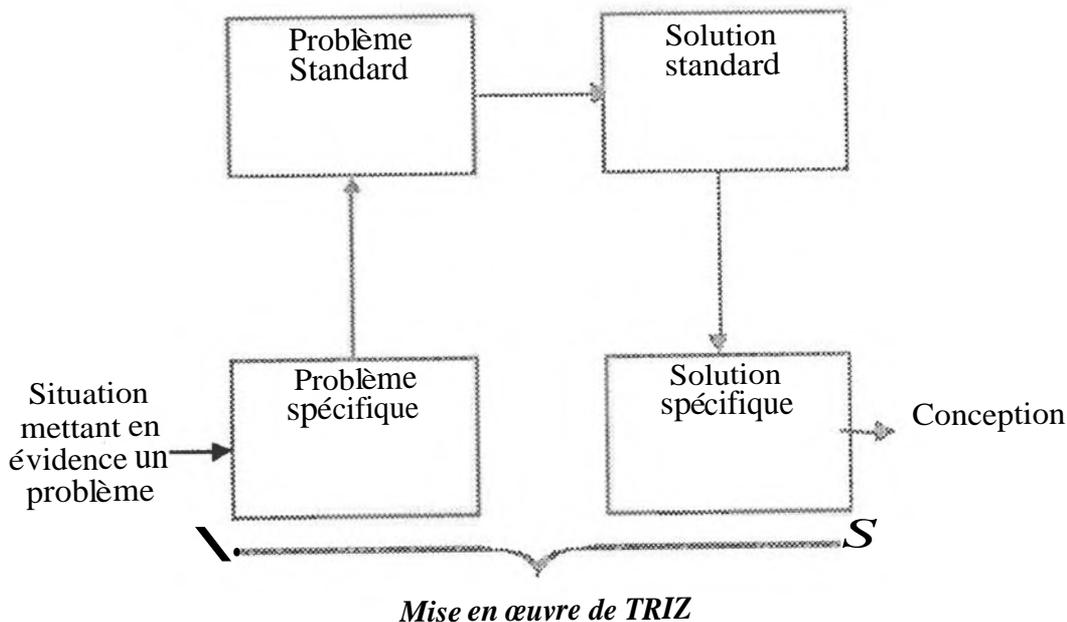


Figure 1 : Principe d'abstraction développé dans TRIZ

TRIZ a été créée, puis développée pour la résolution de problèmes techniques [4,15,20,21]; l'évolution de la méthode est d'ailleurs toujours d'actualité. Cependant, au cours des dix dernières années, le faisceau de ses domaines d'emploi s'est étendu. Ainsi, en Israël, son développement s'est poursuivi (sous le nom de Structured Inventive Thinking) dans le domaine du marketing et du design. En Suède et aux Etats-Unis, des travaux sont menés sur ses possibilités d'application au domaine du management.

Nous n'aborderons pas dans cet article ces nouveaux domaines d'application, mais nous tenterons d'explicitier le principe même de la méthode puis nous en présenterons un exemple d'application concrète.

2.2 *Notions fondamentales et choix des outils de TRIZ à employer*

Avant d'en venir à la formalisation de la démarche de mise en œuvre de TRIZ, il est nécessaire de rappeler quelques notions fondamentales sous-tendent cette méthode [4,5,8,16,18].

2.2.1 **Notions fondamentales**

- L'idéalité

L'idéalité d'un système est évaluée sur la base du ratio suivant :

$$\text{Idéalité} = (\text{Somme des effets utiles}) / (\text{somme des effets indésirables})$$

On regroupe sous l'appellation d' « effets utiles » l'ensemble des fonctions que le système doit remplir et qu'il réalise effectivement.

Les « effets indésirables » peuvent regrouper des notions aussi diverses que les coûts, le bruit, les émissions polluantes, l'espace occupé...

Cette notion d'idéalité n'est à prendre en compte que comme un indicateur. Il s'agit d'un moyen d'apprécier l'état d'évolution du système, qui peut également être employé afin de valider l'apport des solutions envisagées au terme de l'étude.

- Le Résultat Final Idéal

Le RFI est utilisé en vue d'énoncer l'état idéal à atteindre par le système en dehors de toutes les impossibilités empêchant dans la réalité d'atteindre cet état.

- Les ressources [5,6,7]^{*}

Dans la ligne de l'idéalité, l'objectif de la méthode TRIZ conduit à rechercher des solutions qui évitent de compliquer le système déjà existant. Pour ce faire, on recommande l'emploi des ressources déjà disponibles dans le système lui-même ou dans son environnement. Les premières

* La synthèse effectuée par les concepteurs de résultats obtenus en réponse aux questions relatives à ces notions permet de définir le RFI local, qui pour un même RFI original, conduira pour chaque situation à la définition d'un objectif adapté à l'environnement.

étapes de la résolution de problèmes incluent donc le recensement de ces ressources, à savoir : les composants présents, les énergies, les ressources fonctionnelles, le temps, l'espace...

- Les contradictions

Les contradictions techniques

Comme nous l'avons indiqué précédemment, on nomme une situation dans laquelle la recherche de l'amélioration d'un paramètre ou d'une fonction d'un système conduit à la dégradation d'une autre de ses caractéristiques.

Ex : Réduire la taille des lots de fabrication dans un atelier permet d'améliorer le mix produit afin de diminuer la durée des cycles de production mais entraîne une augmentation de la fréquence des changements d'outillages qui diminue la productivité des machines.

Les contradictions physiques

L'énoncé d'une contradiction physique est une reformulation du problème défini dans la contradiction technique. Dans ce cas, un élément, une fonction, est clairement identifié comme étant une des sources du problème. La contradiction physique met donc en évidence un élément devant présenter des caractéristiques antagonistes.

Ex : Les lots de fabrication doivent être de taille réduite afin que le temps de passage d'un poste à un autre soit court et la durée du cycle de production réduite. Mais ils doivent être de grande taille pour limiter le nombre de changements d'outillages qui pénalisent la productivité machine : les lots doivent être grands et petits.

2.2.2 La démarche

Quand on consulte aujourd'hui les publications, essentiellement anglo-saxonnes, réalisées sur TRIZ, il est particulièrement frappant de constater qu'aucune démarche n'est réellement et explicitement proposée. Pour notre part, nous considérons qu'ARIZ* constitue la seule formalisation de démarche disponible mais que le temps nécessaire à son application restreint son emploi [9, 18, 19, 20, 21].

On peut cependant discerner dans le mode d'utilisation des outils le principe, fondamental dans TRIZ, de l'abstraction, et cela quel que soit l'outil employé (Figure 1).

Comme nous l'avons déjà évoqué, l'application de ce principe conduit le concepteur à transformer le problème spécifique qu'il a à résoudre en un « problème standard ». Pour ce faire, le concepteur utilise ce que nous avons nommé les « outils de modélisation des problèmes ».

A l'issue de cette étape, et grâce au modèle qu'il aura réalisé, il lui est possible d'exploiter la seconde catégorie d'outils de TRIZ : les « outils de sélection des voies de solutions ». Ces derniers permettent d'identifier des « solutions standards ».

* ARIZ : Algorithme de résolution de problèmes

Enfin, les bases de données, documentaires ou informatisées, fournissent les moyens de documenter les principes scientifiques pouvant permettre la transformation de ces solutions conceptuelles en solutions spécifiques.

En fonction de la complexité du problème traité, mais également de la gamme de solutions que l'on souhaite obtenir, on peut choisir d'utiliser un ou plusieurs de ces outils. En effet, l'emploi de cette méthode peut être envisagé pour la résolution de problèmes de complexité variable. L'usage de certains de ces outils peut être relativement facile et rapide. C'est le cas, par exemple, du traitement de certaines contradictions techniques, lorsque le contexte et le problème sont parfaitement connus et définis et que l'on cherche simplement à améliorer un système déjà existant. D'autres, en revanche, méritent une approche plus longue et plus fouillée qui va nécessiter l'emploi d'une démarche plus systématique.

Le choix de l'outil à employer dépendra du niveau d'inventivité requis, ainsi que de l'étendue des bouleversements que l'on s'autorise sur le système existant. Ainsi certains spécialistes de TRIZ [19, 18] relient l'emploi des contradictions techniques à l'obtention de solutions de niveau 3 et la modélisation S-Field (cet outil sera explicité dans la suite de cet article) à des solutions de niveaux 3 et 4. L'emploi des Contradictions Physiques mènerait, selon eux, à des solutions de niveau 4. Cependant, la mise en œuvre des principes de séparation associés aux Contradictions Physiques ne peut pas, selon nous, être menée efficacement sans une phase préalable d'analyse poussée du problème, phase apparentée à la démarche préconisée dans ARIZ.

Pour notre part, nous estimons que l'utilisation aléatoire de l'un ou l'autre des outils dont dispose la méthode ne peut être satisfaisante, car, s'il y a bien une gradation des niveaux d'inventivité dans l'enchaînement du traitement des contradictions techniques, des modèles S-Field et des contradictions physiques, ce traitement nécessite un niveau d'analyse du problème chaque fois plus fin et cela est justement obtenu par l'enchaînement des outils. Ce n'est d'ailleurs ni plus, ni moins que ce que conduit à réaliser la mise en œuvre de l'algorithme ARIZ. Sur la base de cette hypothèse nous proposons une représentation de la démarche à employer pour la mise en œuvre de TRIZ telle qu'elle est présentée dans la figure n° 2.

Bien entendu, rien n'oblige à enchaîner la totalité des outils dès lors que les concepts de solutions déjà identifiés satisfont aux objectifs assignés au démarrage du projet.

2.3 *Mise en oeuvre d'une démarche systématique*

2.3.1 Descriptif et analyse du problème (Etape 1, Fig. 2)

C'est une phase de recherche de documents et d'éléments permettant de comprendre et de connaître tant le problème que son environnement :

Exemples de questions (issus de la méthodologie Ideation) :

- Quelles limites au système étudié ?

- A quel supersystème appartient-il ? De quels sous-systèmes est-il composé ?
- De quoi est constitué son environnement ?
- Quelle fonction de service doit-il permettre d'accomplir ?
- Quel est l'effet néfaste ou le problème subi ? Quand et comment cette dégradation est-elle apparue ?
- Quels sont les changements souhaités ? Que peut-on modifier et que ne peut-on pas modifier ?
- Quels indicateurs d'évaluation des solutions : grandeurs et valeurs associées ?
- Quelles sont les caractéristiques du projet en termes de délais, de coûts ?
- De quelles ressources (physiques, chimiques, temporelles, énergétiques, informationnelles) dispose-t-on au sein même du système ou dans son environnement ?

L'obtention et l'analyse de ces éléments permettent d'aboutir à la définition du Résultat Final Idéal local, qui constitue l'objectif à atteindre.

Dans l'exemple cité en 1.2.1, on pourra ainsi présenter comme RFI l'obtention d'un mode de gestion de l'atelier permettant d'obtenir une réactivité maximale pour satisfaire aux demandes des clients avec un taux d'engagement élevé des postes (suppression d'un surdimensionnement excessif).

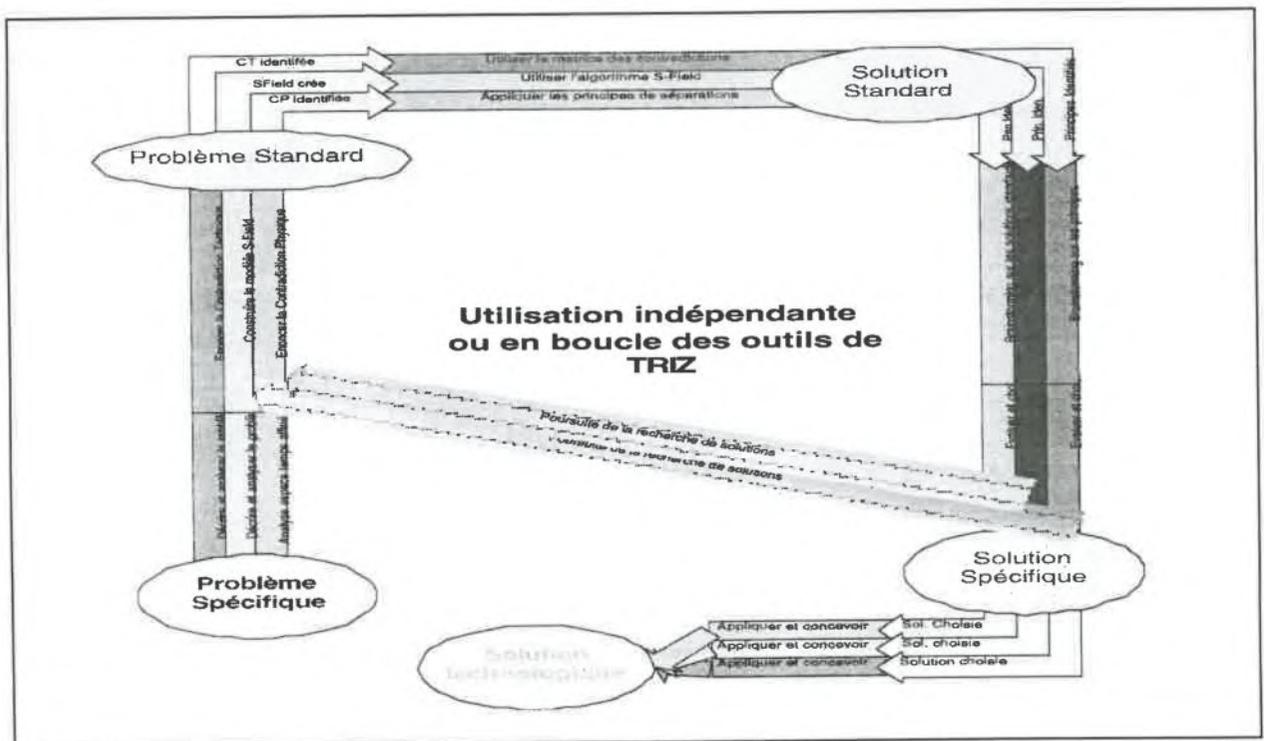


Figure 2 : Schématisation de la démarche d'utilisation des outils de TRIZ

2.3.2 Enoncé de la contradiction technique (Etape 2, Fig. 2)

La phase d'analyse menée précédemment permet dorénavant d'établir la nature de la contradiction technique qui interfère dans le système. Cet énoncé doit alors être rédigé comme nous avons pu le faire dans l'exemple présenté en 1.2.1. Cette étape étant franchie, il va s'agir d'identifier parmi 39 paramètres proposés par Altshuller ceux qui peuvent recouvrir le même sens que les paramètres en opposition dans la contradiction que nous avons à résoudre.

En effet, le travail réalisé sur les brevets a notamment consisté à rechercher les paramètres et les solutions récurrents, tous domaines confondus (mécanique, chimie...), employés dans les cas de problèmes inventifs [4, 19]. Le résultat de ce travail a été la sélection de 39 paramètres permettant de modéliser une contradiction technique, et de 40 principes dont l'application peut conduire à l'émergence de concepts de solutions. Une synthèse de ces informations a été effectuée sous la forme d'un tableau nommé matrice des contradictions.

Si nous revenons au cas que nous présentions pour illustrer de la notion de Contradiction Technique, nous pouvons, par exemple, retenir les paramètres suivants :

Paramètre amélioré – Réduction de la taille des lots :

- Paramètre N°3 : Dimension d'un objet mobile.
- Paramètre N°8 : Volume d'un objet mobile.

Paramètre dégradé – Productivité des postes de fabrication :

- Paramètre N°25 : Perte de temps
- Paramètre N°32 : Facilité de fabrication
- Paramètre N°33 : Facilité d'usage
- Paramètre N°35 : Adaptabilité
- Paramètre N°39 : Productivité

2.3.3 Utilisation de la matrice des contradictions (Etape 3, Fig. 2)

La matrice est composée, en ordonnée comme en abscisse, des 39 paramètres identifiés par Altshuller. Les cases se trouvant à l'intersection de ces colonnes et de ces lignes comportent de 0 à 4 références de principes. Au total, 40 principes ont été identifiés comme autant de concepts de solutions employés de façon récurrente dans l'ensemble des brevets analysés.

Ainsi, dans notre exemple, les paramètres retenus conduisent à l'identification de 14 principes ou solutions standard. Parmi celles - ci on peut citer à titre d'illustration :

Le principe 1 : Segmentation

- a) Diviser un objet en plusieurs parties indépendantes.
- b) Rendre un objet fractionnable.
- c) Augmenter le nombre de divisions (parties indépendantes) d'un objet.

Le principe 15 : Dynamiser

- a) Faire qu'un objet ou son environnement s'ajuste de façon optimale à chaque stade de l'opération.
- b) Diviser un objet en éléments qui peuvent changer de position les uns par rapport aux autres.
- c) Si un objet est immobile, le rendre mobile ou interchangeable.

Le principe 35 : Transformation des états physiques ou chimiques.

Changer l'état global, la distribution de densité, le degré de flexibilité ou la température d'un objet.

39 paramètres, caractéristiques de la fonction pénalisée

	...	25	...	32	...
1					
2					
3		15, 2, 29		}, 29, 17	
.../...					
8		35, 16			
9					
.../...					

Ex : principe 1 : segmentation

Figure 3 : Extrait de la matrice des contradictions

2.3.4 Brainstorming sur les solutions standard (Étape 4, Fig. 2)

Ces propositions, et les indications qui leur sont associées, ne constituent donc absolument pas des solutions clés en main mais servent de supports à la réflexion d'un individu ou d'un groupe. En fait, les solutions qui se construisent au cours de cette phase sont bien souvent une combinaison des idées qui surgissent. Ainsi, dans notre exemple on peut penser à un fractionnement des outillages permettant de préparer par avance une partie de ceux-ci afin de réduire les temps de changement. On peut également envisager de dynamiser le système en

modularisant et en automatisant ces changements d'outillages, ou en différenciant les tailles de lots de transport et de fabrication.

Du fait même que l'objectif de la méthode est de conduire à rechercher des solutions dans les domaines les plus divers, il est souvent nécessaire d'avoir accès à des principes scientifiques n'appartenant pas au savoir du groupe de projet ayant un problème technologique à résoudre. Ces données forment, en réalité, le contenu d'ouvrages scientifiques et encyclopédiques. La difficulté, hors du cadre de TRIZ, est de savoir comment accéder au principe ou au procédé que Ton souhaite mettre en œuvre. Dès le début de la synthèse menée pour TRIZ, un travail de compilation et de classement d'un grand nombre de ses principes a été réalisé par Altshuller et son équipe. Cette base de données, nommée Effets Scientifiques, recense donc les moyens permettant, par exemple, de détecter un champ magnétique, d'augmenter des paramètres physiques, chimiques, vibratoires... L'efficacité de ces bases de données et surtout de leur exploitation a été considérablement accrue par leur informatisation. Il est ainsi possible, pour une voie de solution envisagée d'identifier le type de procédé qui peut être mis en œuvre pour y parvenir, et d'évaluer l'importance des modifications à apporter au processus actuellement existant, ou l'ampleur des travaux de recherche et de développement qui seront nécessaires pour finaliser une solution technologique.

2.3.5 Evaluer et choisir (Etape 5, Fig. 2)

TRIZ ne propose aucun outil particulier pour effectuer une évaluation des voies de solutions identifiées. L'évaluation de chacune des solutions envisagées est à réaliser au regard du cahier des charges défini au démarrage de l'étude.

Si à ce stade une ou plusieurs solutions sont retenues, l'emploi de TRIZ peut s'arrêter là. Cela ne signifie pas bien sûr la fin du travail de conception car c'est dorénavant aux chercheurs et aux constructeurs de concrétiser la ou les solutions.

Si aucune solution satisfaisante n'est apparue ou si Ton souhaite poursuivre et étendre la gamme des propositions, il est alors possible d'utiliser la modélisation S-Field.

2.3.6 Construire le modèle S-Field (Etape 6, Fig.2)

Il s'agit d'une technique de modélisation des systèmes qui permet de schématiser tant des contradictions que des défaillances de ces systèmes (figure 4). Le principe en est simple : il s'agit de définir le problème au moyen de trois entités :

- L'élément agissant, actif : l'outil.
- L'élément subissant, passif : l'article.
- Le champ qui permet l'action de l'outil sur l'article.

2.3.7 Utilisation de l'algorithme de traitement (Etape 7, Fig. 2)

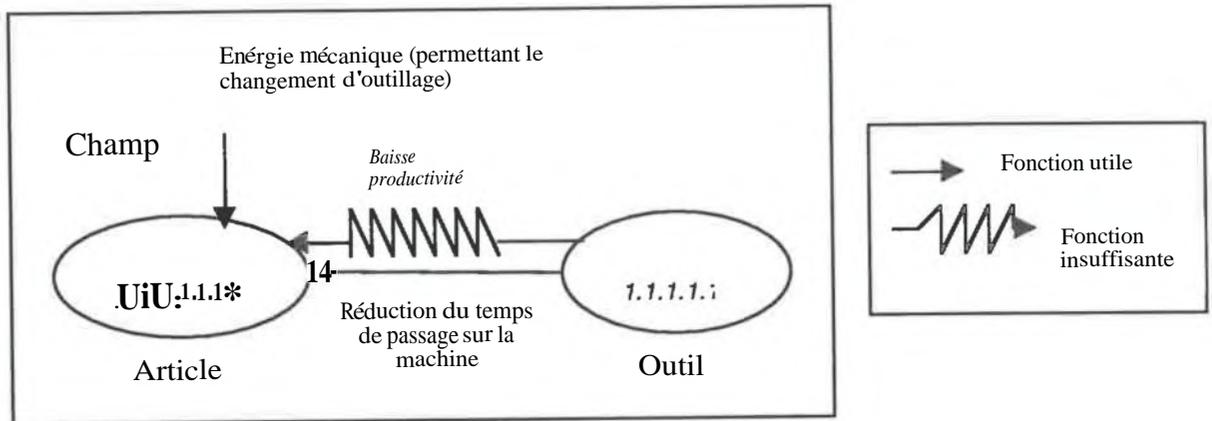


Figure 4 : Exemple de modélisation S-Field

La nature du lien existant entre les deux substances, ou la qualité de l'action du champ, peuvent varier. Une norme de représentation permet ainsi de faire apparaître l'existence d'une défaillance ou d'un effet nuisible. Cette modélisation est ensuite exploitée au moyen d'un algorithme, qui, suivant la configuration du modèle, va permettre d'orienter le chercheur vers différents concepts de solutions sélectionnés parmi 76 solutions standard.

Tout comme que les 40 principes de la table des contradictions, les 76 solutions standard sont le résultat de l'analyse qui a été menée sur les brevets. Ces solutions ont été regroupées en cinq catégories. La construction des modèles S-Field et l'emploi de l'algorithme de traitement permettent de sélectionner la catégorie dans laquelle des concepts de solutions peuvent être identifiés.

2.3.8 Brainstorming sur les idées (Etape 8, Fig. 2)

L'une des solutions standard issues de l'algorithme pour le traitement de notre cas consiste à éliminer les liens nuisibles en introduisant une substance intermédiaire.

Par rapport à notre problème d'organisation, on peut imaginer des solutions telles que :

- la création d'un système d'outillage intermédiaire se substituant aux adaptations machines lors des changements de séries.
- l'introduction d'une substance supplémentaire sous la forme de l'affectation de lots de pièces nécessitant des adaptations machines proches de celles déjà employées (technologie de groupes).

À l'issue de cette étape on aboutit aux phases similaires à celles qui ont été évoquées dans la boucle précédente du traitement des Contradictions Techniques : évaluation et choix des solutions (Etape 9, Fig. 2), puis, soit conception et application des solutions, soit poursuite de la recherche de solutions par le biais du traitement des Contradictions Physiques.

2.3.9 Analyse espace temps affinée (Etape 10, Fig. 2)

Afin de pouvoir mener à bien la résolution des contradictions physiques, il est essentiel de poursuivre et d'approfondir l'analyse du contexte dans lequel se pose le problème. Cela est effectué en redéfinissant l'espace temps du processus dans lequel surgit le problème :

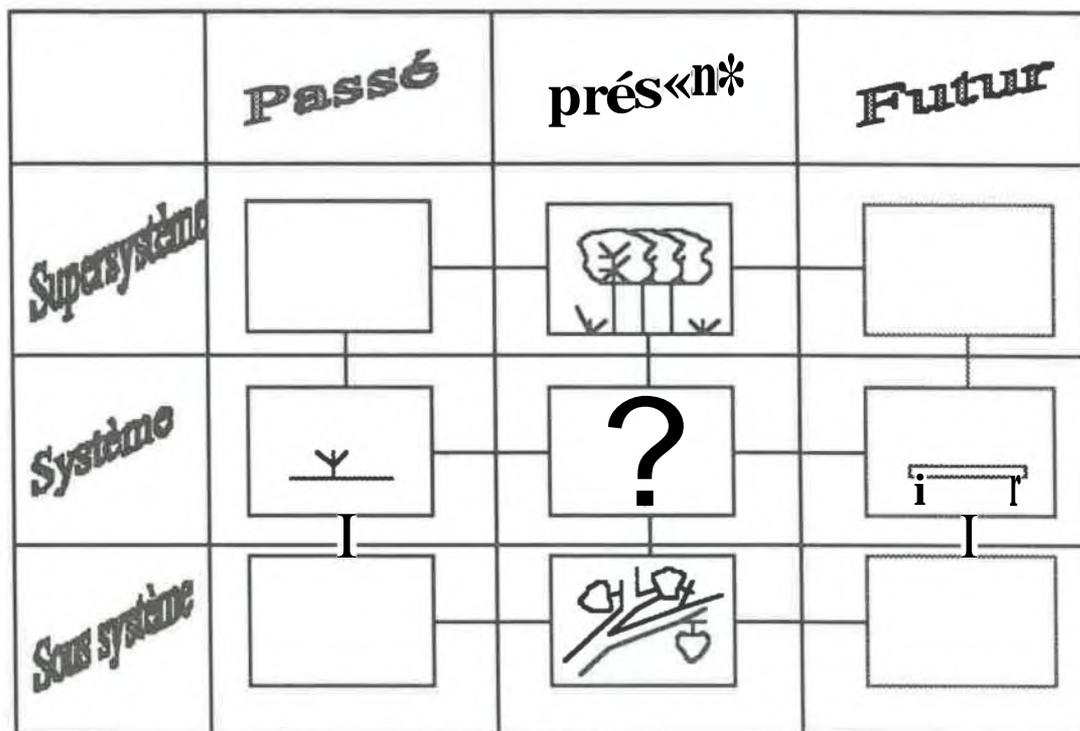


Figure 5 : Une vision élargie du problème grâce aux principes de séparation et aux changements de systèmes.

- De quelle durée dispose-t-on au sein du processus avant l'apparition du problème ? L'idée est de définir ainsi la ressource temps disponible en amont de l'apparition du conflit, soit pour empêcher cette apparition, soit pour neutraliser par avance ses effets.
- Redéfinir très précisément le lieu d'apparition du problème, si possible, en distinguant le lieu de la fonction utile et recherchée de celui de la fonction néfaste. Il s'agit alors d'identifier très précisément le lieu du système où se produit le conflit.
 - « Redéfinir les changements de systèmes [4, 6]. Le système dans lequel se pose le problème ne peut être considéré comme une entité isolée. Il fait lui-même partie d'un ensemble — un super système — et est composé d'éléments — des sous-systèmes. L'objectif du changement de système est d'examiner sur des plans différents le problème posé (figure 5). Une telle pratique participe de la lutte contre l'inertie psychologique. Dans ce contexte, les causes et les conséquences du problème peuvent être redéfinies et traitées sur un plan global avec une plus forte probabilité de succès.

L'objectif de ces outils est de conduire le concepteur à une vision plus «dynamique» de la situation dans laquelle émerge la Contradiction Physique. Un parallèle peut être établi avec la

systemique qui permet la prise en compte des phénomènes d'interaction et de la dimension temporelle.

2.3.10 Enoncer la contradiction physique (Etape 11, Fig. 2)

L'énoncé de la contradiction physique s'articule autour de l'identification d'un composant ou d'une fonction devant présenter des caractéristiques antagonistes. Une illustration de ce formalisme a déjà été évoquée dans cet article avec l'énoncé suivant :

Les lots de fabrication doivent être de taille réduite afin que le temps de passage d'un poste à un autre soit court et la durée du cycle de production réduite, mais ils doivent être de grande taille pour limiter le nombre de changements d'outillages qui pénalisent la productivité des machines.

2.3.11 Appliquer les principes de séparation (Etape 12, Fig. 2)

Ces principes, développés afin de résoudre les contradictions physiques, sont au nombre de quatre :

- la séparation dans l'espace
- la séparation dans le temps
- la séparation entre le système et ses éléments
- la séparation sous conditions

Ex : Un avion doit posséder un train d'atterrissage pour décoller ou atterrir mais la présence du train d'atterrissage au cours du vol diminue l'aérodynamisme.

La solution qui consiste à rétracter le train d'atterrissage illustre le principe de séparation dans le temps.

De la même façon que précédemment, un travail de Brainstorming (Etape 13, Fig. 2) est à réaliser sur la base de cette analyse pour en extraire des voies de solutions. Puis ces idées sont évaluées et des solutions choisies (Etape 14, Fig.2).

2.4 *Bilan*

La compréhension des fondements de la méthode TRIZ permet d'en apprécier l'intérêt. Les principes sur lesquels elle repose en font la richesse. Elle offre des possibilités dans un domaine jusque-là resté fort pauvre en méthodologies qui est celui de la création de concepts de solutions. En effet, au cours de la dernière décennie nous avons vu se multiplier des démarches de résolution de problèmes tant généralistes (PDCA ou autre...) que plus spécialisées (QFD, AV, AMDEC,...) qui offrent toutes l'opportunité de démarches analytiques et planifiées et qui conduisent notamment à une meilleure définition des objectifs à atteindre, à une réelle planification des moyens à mettre en œuvre pour y parvenir, ainsi qu'à une volonté d'analyse des résultats obtenus. En revanche, aucune (hormis Pahl and Beitz [14] mais dans un domaine restreint) n'offre de support concret pour la recherche de solutions. L'intégration de TRIZ dans ces démarches apparaît aujourd'hui comme un moyen de combler cette lacune.

3. Application à un cas industriel

3.1 *Problème à traiter*

Le cas traité ici concerne le surmoulage en polyuréthane d'éléments métalliques. L'emploi de ce matériau conduit inmanquablement à la formation de bavures à la surface du plan de joint du moule lors de l'injection. Ces bavures peuvent, bien sûr, être éliminées par la suite, mais elles sont à l'origine tant d'une perte de matière que de temps et donc d'un surcoût de production.

L'objectif poursuivi au travers de cette étude était d'identifier des concepts de solutions permettant d'éliminer cette bavure ou d'en faciliter la suppression.

3.2 *Traitement du problème*

A titre expérimental, ce travail a été effectué avec trois moyens différents.

Dans un premier temps, nous avons utilisé les outils de TRIZ tels que nous les avons définis précédemment dans une démarche que nous avons nommée TRIZ Classique. Dans un second temps, nous avons employé les deux logiciels Work Bench et Tech Optimizer qui s'appuient tous deux sur TRIZ pour proposer une démarche de résolution de problèmes « aménagée », mais de manière différente, par rapport à l'approche classique que nous avons présentée. Ces deux produits ont cependant, respectivement, pour créateurs initiaux des chercheurs ayant travaillé avec G. Altshuller avant de quitter Tex-URSS : V. TSOURIKOV pour le logiciel Tech Optimizer et B. ZLOTIN et A. ZUSMAN pour IWB.

Dans la partie qui suit, nous développerons plus particulièrement le travail réalisé avec les outils de TRIZ Classique que sont les Contradictions Techniques et les modèles S-Field.

3.2.1 **Formulation de la contradiction Technique (CT)**

La formulation de la CT a été énoncée de la manière suivante :

« Le bon remplissage de l'empreinte nécessite l'emploi d'un matériau d'une fluidité élevée ce qui génère l'apparition de bavures ».

Les caractéristiques retenues pour modéliser cette contradiction et les principes auxquels elles nous ont renvoyées sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Fonction améliorée : remplissage	Fonction dégradée : bavures	Principes extraits de la matrice par combinaison de ces caractéristiques
Forme	Quantité de substance	N°10 : Action anticipée
Tension, pression	Forme	N°14 : Sphéroïdité
	Tension, pression	N°15 : Dynamisation
	Pertes de substance	N°4 : Asymétrie
		N°37 : Expansion thermique
		N° 3 : Changement de qualité locale

Tableau 2: Caractéristiques et principes extraits de la matrice des contradictions

Nous ne pouvons développer ici toutes les propositions de solutions qui ont été conçues sur la base de ces principes. Nous ne présenterons donc, à titre d'exemple, que l'un de ces principes :

Exemple d'emploi du principe 10 : Action anticipée.

Erpjections :

a) *Prévoir tout ou une partie de l'action requise à l'avance.*

b) *Arranger les objets pour qu'ils puissent agir dans un temps ou une position convenable.*

Exemple :

- Sur les cutters, il y a plusieurs rainures qui permettent, en cassant la lame, d'obtenir un nouveau tranchant en bon état.

Exemples d'idées suscitées par le principe 10 :

- Créer un gradient thermique dans l'empreinte permettant de solidifier le PU avant qu'il n'accède au plan de joint ;
- Recouvrir le plan de joint d'un produit empêchant la prise du polyuréthane et permettant ainsi de faciliter son évacuation, dans la mesure où il serait à l'état liquide.
- Décrochement du plan de joint ;
- Créer un évidement pouvant piéger la bavure ;
- Utiliser un substrat sur les parties du moule où se forment les bavures permettant soit une accélération de la solidification du PU soit sa dégradation.

3.2.2 Modélisation S-Field

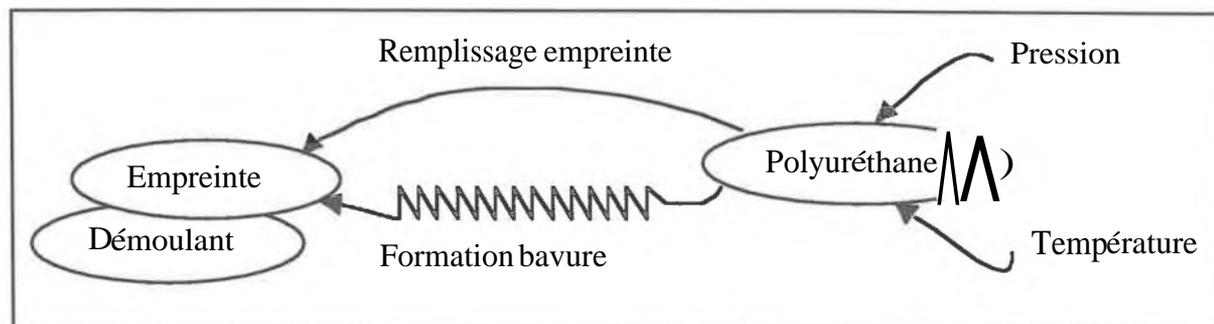


Figure 5 : Modélisation S-Field du problème

Propositions issues des solutions standards :

Éliminer les liens nuisibles en introduisant une substance intermédiaire.

- Utiliser une contre pression au niveau du plan de joint par l'intermédiaire d'un joint gonflable.
- Introduire un champ chimique au moyen d'un substrat déposé sur le plan de joint accélérant la prise du polyuréthane.

Éliminer le lien nuisible en introduisant S_1 (Empreinte) ou/et S_2 (Polyuréthane) modifiés.

- Modifier l'état de surface du plan de joint.

Contrer le lien nuisible en introduisant un champ F3.

- Introduire un champ de température locale accélérant la prise du polyuréthane au contact du plan de joint.
- Augmenter la pression de fermeture du moule.

A Tissue de la recherche menée avec TRIZ Classique, 16 concepts de solutions avaient été identifiés. L'utilisation ultérieure de IWB nous a permis d'en proposer 22 dont 8 n'étaient pas apparues dans la première étape. Enfin, l'emploi de T.O nous a conduits à l'obtention de 21 concepts dont 4 n'avaient pas été envisagés dans les deux expérimentations précédentes (Figure 6).

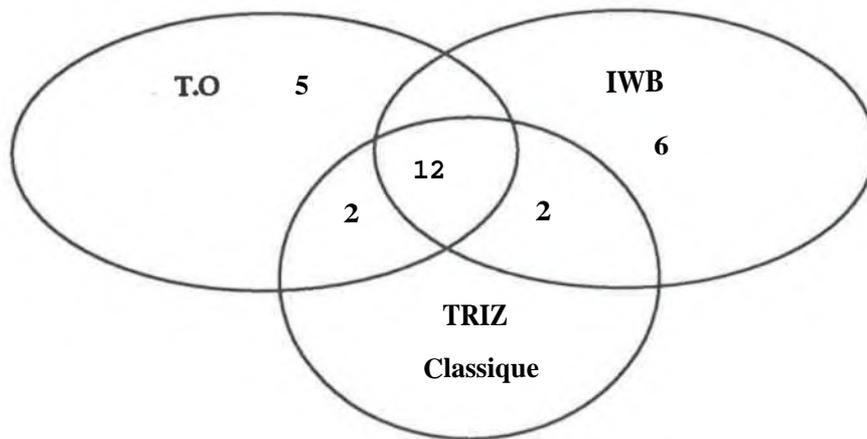


Figure 6 : Communautés de solutions

3.3 Bilan

En termes de propositions de solutions, les résultats de cette étude se sont avérés prometteurs puisque 29 solutions ont pu être proposées et que 6 d'entre elles ont été retenues pour expérimentation par l'entreprise. L'ensemble des solutions présentées ne peut être considéré comme appartenant à la même catégorie. En effet, l'analyse des moyens à mettre en œuvre pour les implémenter mène à considérer qu'elles peuvent être réparties suivant trois catégories. La première d'entre elles concerne des solutions qui peuvent être rapidement intégrées grâce à des modifications mineures sur des moyens de production existants. La seconde catégorie comprend des propositions engendrant, à terme, des modifications en profondeur des moyens de production et qui demandent, au préalable, une période de développement. Enfin, la troisième catégorie concerne des concepts de solutions entraînant une remise en cause en profondeur des principes scientifiques et technologiques employés jusque-là. La concrétisation de ces concepts ne peut être envisagée sans une phase préalable de R et D.

Il est intéressant de constater que les solutions appartenant à cette dernière catégorie ont été obtenues avec l'aide des logiciels. Ce phénomène peut s'expliquer par la richesse des bases de données scientifiques des logiciels qui permettent d'induire des concepts technologiques totalement différents de ceux qui étaient employés jusque-là.

4. Possibilités d'application de TRIZ au domaine du Génie Industriel

4.1 Les difficultés inhérentes à la résolution de problèmes d'organisation

Nous pouvons établir, en matière d'organisation des entreprises, un constat assez similaire à celui qui a été fait pour l'innovation. Nous disposons, pour résoudre les problèmes qui se posent dans l'entreprise de méthodes générales de résolution de problèmes (type PDCA) ainsi

que d'outils employés pour mener certaines étapes : analyse de l'existant, de planification ...(figure 7). Cependant, nous constatons une nouvelle fois, la pauvreté qui est la nôtre lorsque nous focalisons notre intérêt sur des outils d'aide à la génération de concepts de solutions.

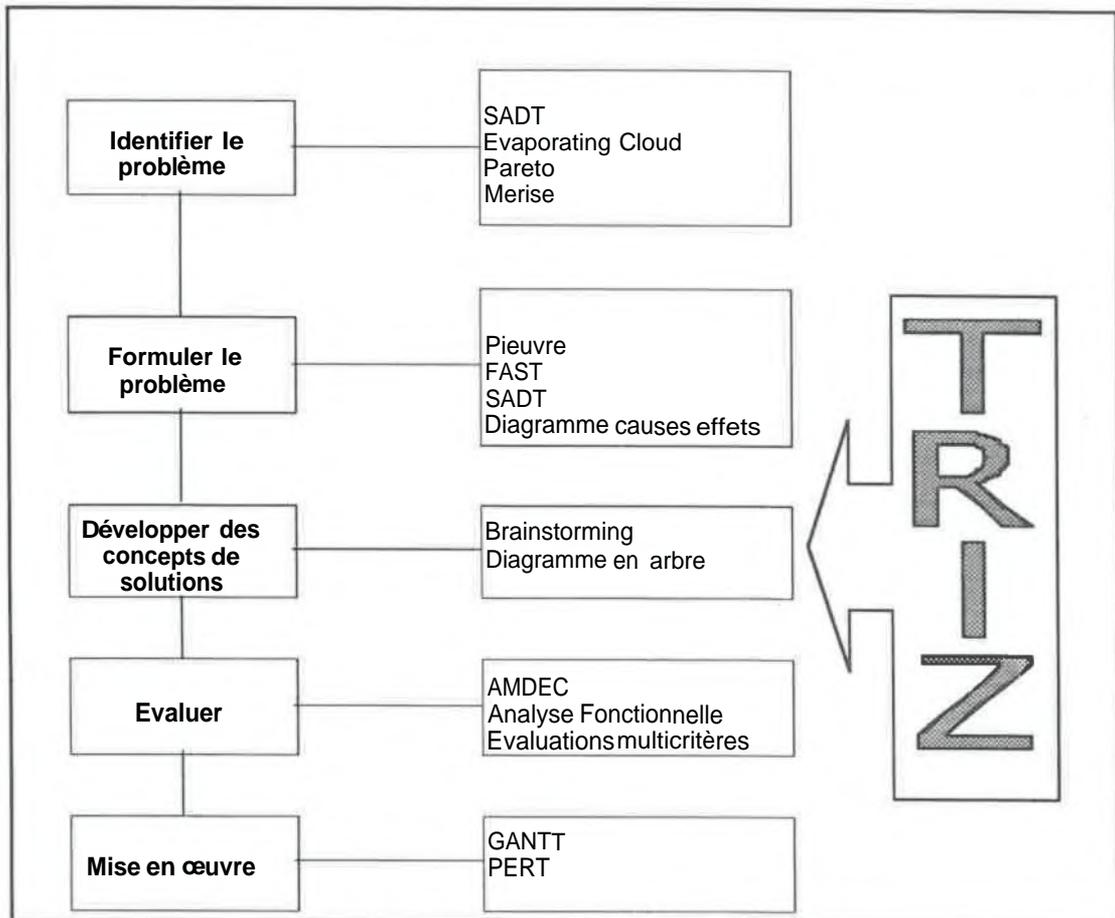


Figure 7 : Démarche générale de résolution de problèmes d'organisation et outils afférents

Dans le domaine spécifique de l'organisation, on peut tenter d'expliquer cette situation par la conjugaison de différents facteurs.

En premier lieu, force est d'admettre que la multiplicité des paramètres qui interviennent pour la définition d'une organisation conduit à démultiplier les cas de figure qui peuvent se présenter. Ainsi de nombreux auteurs se sont efforcés de définir des critères permettant d'aboutir à une classification des entreprises sans pour autant qu'une schématisation particulière ait pu faire l'objet d'un consensus général [8,11,13].

Les paramètres les plus couramment pris en compte dans ces cas sont, par exemple :

- le mode de production (fabrication de masse, de série, par lot, unitaire)

- le mode de gestion (fabrication à la commande, par reapprovisionnement de stock, sur prévisions)
- la place du processus dans l'obtention du produit final (fabrication de produits semi-finis, sous-traitance, de produits finis)
- le type de nomenclatures exploitées (convergente, divergente, en croix)

Parallèlement à ces facteurs qui déterminent la structure et son mode de gestion, d'autres auteurs ont privilégié la recherche de typologies des organisations déployées dans les entreprises. De la même façon que précédemment, cette organisation peut se décliner suivant différents critères [3,10] :

- la taille de l'entreprise
- sa maturité
- sa forme hiérarchique
- la structure de son système d'information
- l'incidence des structures informelles ...

Toutes ces caractéristiques constituent effectivement autant de facteurs qui, par leur combinaison, vont tendre à ce que chaque société représente un système unique et original. Aussi, on perçoit que, sous l'intitulé d'un même type de problème à résoudre — tel que la diminution du nombre de ruptures de service client par exemple — on puisse avoir à rechercher des solutions totalement différentes en fonction de l'environnement dans lequel on doit intervenir [14]. Face à la diversité des solutions à mettre en œuvre, il semblerait donc inadéquat de chercher à plaquer des solutions totalement prédéfinies sur des problèmes pourtant récurrents d'une entreprise à une autre. En revanche, l'intervention d'une méthode d'aide à la recherche de solutions qui permette la prise en compte des interactions dont elles sont le siège, et offre des pistes de réflexion au travers de principes inducteurs, apporterait une aide non négligeable aux cadres chargés de l'organisation. En effet, ces derniers ne disposent pas de méthode ou même d'outil qui, dans un contexte donné (comme la mise en œuvre du juste-à-temps par exemple), les guide sur les outils (KAISEN, POKA YOKE, SMED,...) qu'il leur faut implanter pour atteindre leurs objectifs dans le contexte de leur société.

4.2 *Perspectives*

Deux notions fondamentales de TRIZ permettent de concevoir son emploi dans le domaine organisationnel. En premier lieu, la représentation des problèmes à résoudre sous la forme de contradictions constitue un mode de réflexion innovant et adapté aux situations auxquelles sont confrontés les organisateurs. L'illustration de cette assertion peut se faire quotidiennement lorsque le responsable de la logistique recherche l'amélioration du taux de service client tout en réduisant le niveau des stocks. Par ailleurs, le principe d'abstraction qui a été développé dans TRIZ, tant au niveau de la définition du problème qu'au niveau des concepts inducteurs qui sont proposés, va permettre de s'extraire, dans un premier temps, des caractéristiques propres à chaque entreprise pour parvenir à la recherche de solutions. Une nouvelle fois, ces standards ne peuvent pas, et c'est bien le cas lors de l'emploi de TRIZ dans un contexte technologique, être considérés comme des solutions «clés en main » à appliquer directement en entreprise mais bien

comme des pistes de réflexion pouvant par la suite être déclinées suivant les spécificités à étudier.

5. Conclusion

L'arrivée de TRIZ parmi les outils à la disposition des concepteurs ne peut être considéré comme le simple ajout d'un nouvel outil à une palette déjà fournie. En effet, les objectifs qu'elle se propose d'atteindre et les moyens qu'elle fournit pour cela apportent un complément effectif et créatif.

Le cas industriel que nous avons présenté en est la démonstration puisque près de trente solutions non envisagées jusque-là ont pu être proposées sur un sujet ayant fait l'objet de recherches depuis deux ans.

En revanche, pour que le transfert de cette méthode au Génie Industriel puisse être envisagé, il s'avère nécessaire d'adapter au domaine organisationnel les outils de modélisation des problèmes, mais surtout les outils de la sélection pour la recherche de voies de solutions. En effet, nous estimons qu'il existe un réel besoin en matière de méthode d'aide à la décision quant au choix des outils à mettre en œuvre dans le cadre des processus de réorganisation des systèmes de production, et que TRIZ peut constituer au moins une réponse partielle à ce besoin.

6. Références

- ALTSHULLER Genrich. *And suddenly the inventor appeared*. 2ème édition. Worcester MA. : Technical Innovation Center, 1984.173 p.
- COURTOIS André, MARTIN C, PILLET M. *Gestion de Production*. 3ème édition. Paris : les Éditions d'Organisation, 1995. 375 pages
- DOMB Ellen. *TRIZ : An approach to systematic Innovation*. GOAL/QPC Research Committee, Research Report 1.1, 1997.
- Ideation TRIZ Methodology*, Ideation International Inc., 1995.
- IKOVENKO Sergei. *Advanced Training Workshop*. Session de formation des 24 et 25 mars 1999. Charenton
- LAFORCADE Jérôme. *Utilisation du logiciel Tech Optimizer*, session de formation des 18 et 19 mars 1999. Charenton.
- MANZANO Régis. *Modéliser pour prescrire : approche systémique de systèmes de production*. 193 pages.
- Thèse de Doctorat 3ème cycle : Génie Industriel : ENSAM Paris : 1998.
- MARCONI Janice. *ARIZ : The Algorithm for Inventive Problem Solving*. Page consultée en avril 1998. www.Triz-Journal.com, 1998.
- MINTZBERG Henry. *Structure et dynamique des organisations*. Paris : éd. Les Éditions d'Organisation, 1982.434 p.

- Organisation et management : structurer l'organisation / PROBST Gilbert, MERCIER Jean-Yves, BRUGGIMANN Olivier...et al. Tome 1. Clamecy : éd. Les Éditions d'Organisation, 1992. 172p. ISBN : 2-7081-1374-7.
- PAHL G., BEITZ W. Engineering Design, A Systematic Approach, 1996.
- Panorama de la gestion / BOYER André, HIRIGOYEN Gérard, THEPOT Jacques...et al. Paris : éd. Les Éditions d'Organisation, 1996. 289 p. ISBN : 2-7081-1963-X.
- PROBST J.B. Gilbert, ULRICH Hans. Pensée globale et management : résoudre les problèmes complexes. Clamecy : éd. Les Éditions d'Organisation, 1989. 314 pages. ISBN : 2-7081-1066-7.
- RANTANEN Kalevi. Levels of solutions. Page consultée le 15 juillet 1998. www.triz-journal.com/archives/97dec/dec-article4.htm.
- ROYZEN Zinovy. Product Improvement and development of new generation products using TRIZ. Dearborn, Mi. ASI Total Product Development Symposium. 1995.
- ROYZEN Zinovy. Solving contradictions in development of new generation products using TRIZ. Pomona, Ca. ASI Total Product Development Symposium. 1996.
- ROYZEN Zinovy. Algorithm for Inventive Problem Solving. Novi, MLNinth Symposium on Quality Function Deployment. 1997.
- TERNINKO John, ZUSMAN Alla, ZLOTIN Boris. Step by step: TRIZ: Creating Innovative Solution Concepts. 3ème édition. Nottingham. Responsible Management Inc. 1996. 228 p.
- ZLOTIN Boris, ZUSMAN Alla. Problems of ARIZ Enhancement, www.Triz-Journal.com, 1999
- ZLOTIN Boris, ZUSMAN Alla. Ariz on the move, www.Triz-Journal.com, 1999.