

La Conception Innovante: Synthèse de systèmes ou résolution de problèmes ?

François Rousselot, Cécilia Zanni

► **To cite this version:**

François Rousselot, Cécilia Zanni. La Conception Innovante: Synthèse de systèmes ou résolution de problèmes?. Mounira Harzallah, Jean Charlet, Nathalie Aussenac-Gilles. IC - 17èmes Journées francophones d'Ingénierie des Connaissances, Jun 2006, Nantes, France. pp.121-130, 2006. <hal-01026259>

HAL Id: hal-01026259

<https://hal.inria.fr/hal-01026259>

Submitted on 21 Jul 2014

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

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

La Conception Innovante : Synthèse de systèmes ou résolution de problèmes ?

François Rousselot, Cecilia Zanni

LGeCo - INSA Strasbourg
24 Bd de la Victoire - 67087 Strasbourg - France
{francois.rousselot, cecilia.zanni}@insa-strasbourg.fr

Résumé

TRIZ est une méthode de résolution de problèmes inventifs, initialement développée en ex Union Soviétique et qui commence à se diffuser largement. C'est une méthode non formalisée qui utilise des connaissances capitalisées à partir de milliers de brevets, qui synthétisent en quelque sorte, les problèmes abstraits résolus par ces brevets et qui leur associe des solutions abstraites. La méthode telle quelle, apparaît fermée, en ce sens qu'on ne voit absolument pas comment rajouter des nouvelles connaissances. Il importe d'arriver à une meilleure description de la méthode elle-même et des connaissances mises en oeuvre.

Notre équipe pluridisciplinaire au LGeCo est concernée par le développement et la numérisation des méthodes de résolution de problèmes pour la conception inventive, selon plusieurs axes, comme par exemple, la définition de glossaires de concepts pouvant être utilisés dans différents contextes de résolution de problèmes d'une entreprise et la standardisation dans la manière de décrire un processus de résolution de problèmes avec TRIZ pour capitaliser les connaissances.

La mise en oeuvre de la méthode, comme on va le voir, comporte une phase importante qui sert à préciser la formulation du problème et à recenser dans l'environnement du système toutes les ressources possibles. Telles qu'elles sont fournies actuellement, les connaissances ne sont guère contextuelles et doivent être examinées pratiquement de façon exhaustive à chaque pas.

Un outil logiciel d'aide à la gestion de la création du modèle devrait permettre d'intégrer les connaissances sur les ressources existantes et absentes pour sélectionner uniquement les connaissances applicables dans ce contexte, cela amènerait une grande simplification dans la recherche des solutions. Avec le but de développer un tel logiciel, cet article décrit nos premiers pas dans ce sens-là, en présentant une modélisation CommonKADS du raisonnement de formulation du problème avec TRIZ.

Mots-clés : Ingénierie des connaissances, Conception Innovante.

1 Introduction

L'essor des méthodes et outils de la théorie de résolution de problèmes inventifs, connue sous l'acronyme de TRIZ, a été plusieurs années associé, et ce avec un relatif succès, aux activités de conception, en particulier de conception inventive.

Mais aujourd'hui, cela ne suffit plus. La problématique actuelle devient de favoriser et d'accompagner une utilisation de la TRIZ dans les domaines de la conception innovante, et donc, dans les entreprises dans sa globalité.

D'un point de vue stratégique, la connaissance, la maîtrise de la TRIZ et de son impact possible dans une entreprise, permettent de transformer l'utilisateur en prescripteur. C'est cette dernière approche, souvent implicite, qui tente d'émerger actuellement et que nous proposons de faciliter à travers de la formalisation des notions TRIZ, pour clarifier son fonctionnement, apporter éventuellement une (ou des) aide(s) logicielle(s) et rendre possible son emploi systématique pour faciliter la capitalisation des connaissances de conception et des connaissances domaine.

TRIZ est une méthode intéressante du point de vue de l'intelligence artificielle. Elle procure à son utilisateur, en effet, un certain nombre de connaissances de nature heuristique qui le dirigent dans la recherche d'une solution. La conception semble induire une recherche combinatoire, la méthode TRIZ permet de réduire fortement l'espace de recherche (8; 6).

Les différentes sources de connaissances se situent à différents niveaux d'abstraction. En ce qui concerne le raisonnement, il est très peu formalisé et les connaissances utilisées sont peu explicites quand elles le sont. Les méta-connaissances utilisées pour raisonner ressemblent aux méta-connaissances de certains systèmes de l'intelligence artificielle comme EURISKO (10).

Il est assez difficile d'évaluer réellement ce qu'est TRIZ par rapport à une méthode d'IA. En effet, il n'existe pas d'ontologie des concepts de la TRIZ et il est difficile de relier formellement les différentes sources de connaissances utilisées par la méthode. Un travail qui décrit les liens entre ces connaissances, a déjà été réalisé (11), il montre qu'elles sont fortement redondantes et inhomogènes.

La construction d'une ontologie des concepts de la TRIZ est nécessaire si on veut clarifier les connaissances et le raisonnement utilisé même si celui-ci doit être souvent mené par l'homme. Une première ontologie permettant de décrire les modèles principaux de la TRIZ a déjà été réalisée (6). Il importe maintenant d'avoir une vue plus précise sur les mécanismes de raisonnement mis en jeu, sur les différentes sources de connaissance et sur les tâches automatisables ou non.

Nous sommes en effet persuadés que l'échec des implémentations informatiques existantes¹ tient au fait qu'elles ne modélisent aucun raisonnement et le laissent totalement à la charge de l'utilisateur.

Nous avons donc décidé d'étudier TRIZ dans le cadre de la modélisation CommonKADS (13) afin de mieux décrire son fonctionnement et d'avoir une idée plus précise sur les éléments de la méthode. CommonKADS sépare connaissances, inférences et tâches, une analyse fine de TRIZ en ces termes éclaircira notablement les mécanismes mis en jeu et les rôles respectifs des différentes connaissances.

La section 2 de cet article donne quelques notions sur la TRIZ et la section 3 présente notre description dans le cadre de CommonKADS². Finalement, la section 4 expose nos conclusions et perspectives.

2 Notions de TRIZ

2.1 Concepts de base

TRIZ concerne deux notions essentielles : la notion d'idéalité et la notion de contradiction. Sa méthode organise une démarche quasi algorithmique qui dirige le processus de résolution s'appuyant sur des sources de connaissances appelés outils TRIZ que nous présenterons dans la suite.

L'Idéalité L'outil utilisé appelé *Résultat Idéal Final* ou *RIF* exprime le résultat idéal vers lequel doit tendre le concepteur. Le résultat ultime idéal serait celui pour lequel toutes les fonctions utiles sont assurées et tous les inconvénients éliminés. Un système idéal est un système idéalisé et virtuel, remplissant la fonction désirée. Imaginer le système idéal amène à intensifier les contradictions.

Les Contradictions et la Fonction Principale Utile Une invention est la résolution d'une contradiction (1). L'identification, la formulation, puis la levée des contradictions est la voie principale -mais non unique- de la résolution du

¹Elles mettent avant tout en scène l'utilisation des bases de connaissance de la TRIZ, jouant le rôle de bases de données.

²Nous allons nous intéresser ici à la résolution de problèmes simples où la formulation du problème initial peut se ramener à une contradiction unique. Dans le cas général, la formulation conduit à construire un réseau de contradictions qu'il faut simplifier pour se concentrer sur la ou les deux contradictions les plus importantes en regard avec la situation du problème (4).

problème posé. On retrouve là la logique du matérialisme dialectique, dans laquelle 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 compromis entre les deux. Les solutions seront alors efficaces et inventives. La dialectique apparaît comme une des principales bases de la théorie. Deux types de contradictions sont distingués :

- *Contradiction technique* : c'est un type de contradiction où l'amélioration d'une caractéristique utile A conduit à la dégradation d'une autre caractéristique, elle aussi utile, B (et réciproquement). Les contradictions techniques sont résolues en utilisant deux outils TRIZ : "la Matrice de Résolution" et "les 40 Principes Inventifs".
- *Contradiction physique* : c'est un type de contradiction où une caractéristique d'élément d'un système doit présenter deux valeurs contradictoires à la fois - forte et faible, dur et mou, lisse et rugueux... Les contradictions physiques sont résolues en utilisant des autres outils TRIZ comme "les 11 Méthodes de Séparation" ou les "76 Solutions Standards".

Les contradictions importantes pour la résolution sont bien entendu celles qui gênent la réalisation de la fonction principale utile du système.

2.2 Démarche de résolution des problèmes d'innovation

Le processus de conceptualisation qui est à la base de la méthode est souvent présenté ainsi (Figure 1) :

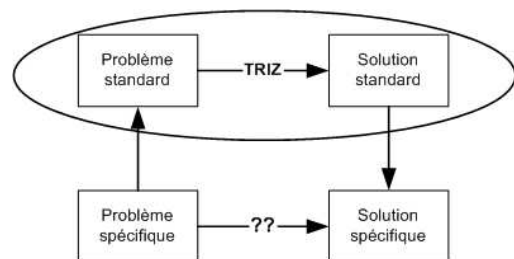


FIG. 1 – Conceptualisation mis en oeuvre avec TRIZ

A partir du problème spécifique, il s'agit dans un premier temps de formuler un problème au niveau abstrait : "standard" ou général, puis d'utiliser les outils TRIZ pour déterminer les solutions génériques, et enfin d'interpréter ces solutions génériques pour en tirer des solutions spécifiques.

A ces trois étapes classiques, il convient toutefois d'ajouter des étapes qui, sans être propres à TRIZ, sont utilisées dans les faits : une étape amont d'identification du problème à traiter, et une étape aval d'évaluation (5).

Identification du Problème Cette phase importante n'est pas à proprement parler une étape de TRIZ, mais elle est

systématiquement présente car indispensable. Elle pourra prendre des formes différentes : une présentation du produit, de ses fonctionnalités, du contexte général etc.

Deux types d'outils TRIZ peuvent également être utilisés à ce stade avec l'objectif de positionner le système technique par rapport à son histoire et à son évolution : "les Lois d'Evolution" et "la Technique des 9 Ecrans". Ces outils poussent à regarder le problème sous un jour nouveau et permettent souvent que par ce simple fait des solutions émergent. Ainsi, si un produit a déjà fait l'objet d'un certain nombre de brevets pour résoudre une contradiction donnée, les lois d'évolutions disent que, toute poursuite dans cette voie sera coûteuse et peu bénéfique et qu'il est temps d'envisager un saut technologique possible uniquement si on reconsidère le problème, par exemple, dans le contexte de son super-système, système dont il est une partie.

Formulation du Problème Dans un premier temps, le problème général sera analysé, et un, voire des, problème(s) spécifique(s) portant sur des contradictions seront extraits pour la suite.

Lors d'interventions d'experts TRIZ, nous avons vu une modélisation du problème complet sous forme d'un diagramme de type fonctionnel. Il exprime les interactions (échange d'énergie ou action, les champs) entre des entités (les substances). Cet outil construit avec les experts techniques porteurs du problème est certainement un moyen rapide pour l'expert TRIZ de localiser et de se focaliser sur les problèmes élémentaires à traiter, qui deviendront autant de problèmes spécifiques TRIZ.

Notons que ce modèle définit de façon très abstraite les rôles que doivent jouer les différents éléments d'un système, ainsi, par exemple, le concept *substance* peut être instancié aussi bien par une substance physique que par un humain, une institution, un fichier de données numérisées, etc.

Avant de poursuivre avec des outils propres à TRIZ, il faudra, dans tous les cas, extraire ou choisir les problèmes élémentaires à partir du problème général. TRIZ est une méthode de résolution de problèmes non-standards, avec une notion de "problème minimum". Pour les problèmes complexes (au sens d'un nombre de composants en interaction important), rien n'est dit dans la littérature sur le sujet, sauf peut être sur l'élagage ("pruning", en anglais). La modélisation des problèmes complexes est abordée dans une méthode en cours de développement appelée OTSM-TRIZ (9; 7).

Les contradictions ayant déjà été exposées, nous donnons ici comme complément un bref aperçu du modèle "vépole" (encore appelé "modèle substance champ"). C'est le sous-modèle de base du modèle TRIZ. Il permet de se focaliser sur la partie cruciale du problème où réside la contradiction et d'appliquer les outils TRIZ appelés Standards. Une substance (S1) "agit" sur une substance (S2) par l'intermédiaire d'un champ (F). Toute "défaillance" de ce système - action utile manquante ou insuffisante, existence d'une action né-

fastes, nécessité d'améliorer le système... - est mise en évidence pour l'application de "règles de transformation" : "les 76 Solutions Standards". Ceux-ci se présentent sous forme de règles informelles de la forme "SI-ALORS".

Outre la pertinence des outils, l'efficacité de la méthode tient probablement beaucoup au regard nouveau porté sur le problème, et au haut degré d'abstraction qu'on s'impose pour modéliser.

Développement de Concepts Génériques par l'Utilisation des Outils TRIZ A partir des "modèles de problèmes", l'application des outils de TRIZ va conduire à des "modèles de solutions" d'une façon presque mécanique. Chaque outil peut apporter des idées nouvelles pouvant déboucher sur des concepts innovants.

Les outils à utiliser pour cette transformation sont :

- Les 76 Solutions Standards ;
- Les 40 Principes Inventifs (et la matrice associée) ;
- Les 11 Méthodes de Séparation ;
- Les 8 Lois d'Evolution Technologique ;

Interprétation des Solutions Génériques Les "modèles de solutions" sont génériques, et elles doivent être interprétées pour chaque problème particulier. Deux types d'interprétations de natures différentes sont à mentionner :

1. La première est l'interprétation presque "naturelle" d'un concept générique, qui agit souvent comme "inducteur" d'une idée.
2. Le deuxième type d'interprétation a été développé par G. Altshuller, le créateur de la TRIZ, et son équipe dans ce but : lorsque le noeud du problème devient la réponse à une question du type "je sais ce qu'il faudrait faire, mais je ne sais pas comment le faire", il est fait appel à une base de données orientant vers la connaissance des *effets physiques* ("la Matrice d'Effets Physiques, Chimiques et Géométriques") susceptibles de fournir une réponse au problème posé. Elle contient des connaissances sous la forme "pour résoudre ce type de problème essayer ces méthodes dans l'ordre" (les méthodes TRIZ se situent elles aussi à un niveau abstrait).

Evaluation des Solutions TRIZ n'offre pas pour cette phase d'outil formalisé. La méthode utilise la notion de "Résultat Ultime Idéal" qui permet d'évaluer la pertinence du côté innovant aux yeux des critères de TRIZ. Cette notion exprime plus l'"élégance" de la solution que sa pertinence pour un cas industriel donné. Il reste à évaluer la pertinence de la solution par rapport au contexte réel : client, entreprise, ..., avec des spécialistes du marketing et de la fabrication.

2.3 Les modèles et les concepts

Le modèle TRIZ d'un problème se décrit comme un Système Technique, qui réunit un ensemble d'éléments pré-définis. Un système doit comporter au moins 4 éléments : un moteur, une transmission, un outil (ou actionneur) et un organe de contrôle. Pour fonctionner, ce système doit répondre à un certain nombre de conditions décrites dans les lois d'évolution.

Toute substance (y compris les déchets) présente dans un système ou dans son environnement proche et qui a la capacité fonctionnelle ou technologique de contribuer à une fonction, est une ressource. Une ressource peut être : une réserve d'énergie, la gravitation, l'air, du temps libre, de l'information, ...

Dans la suite quand nous ferons référence au modèle TRIZ nous entendrons l'ensemble des éléments suivants : le système, les éléments et le rôle de chaque élément dans le système, l'ensemble des ressources initialement détectés et enfin la fonction principale utile.

La Figure 2 montre l'organisation des modèles TRIZ. Le modèle "Système" concerne les éléments mis en oeuvre pour que le système effectue sa *Fonction Principale Utile* : ce qui est attendu par l'utilisateur. Le "Vépole" est la partie du modèle sur laquelle la majorité des raisonnements sont possibles.

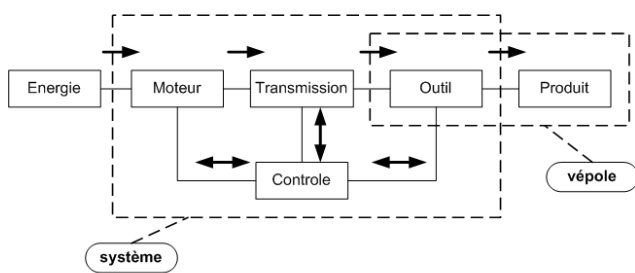


FIG. 2 – Les Modèles TRIZ

3 Le Modèle CommonKADS de la TRIZ

CommonKADS (13) envisage le développement des Systèmes à Base de Connaissances comme une série d'activités de modélisation. Cette méthodologie propose des directives pour construire un Modèle Conceptuel, et distingue ce modèle du Modèle Fonctionnel et du Modèle de Conception de l'Ingénierie Logicielle classique. Ce Modèle Conceptuel est construit d'une façon indépendante de l'implémentation et constitue, alors, un vrai Modèle de Spécification.

Le Modèle Conceptuel est censé contenir toute la connaissance et peut être validée par le "client". Il se trouve au niveau connaissance ("knowledge level") (12).

La connaissance contenue dans le Modèle Conceptuel est décrite selon un modèle à trois couches (13) :

- La *couche domaine* explique en détail les types, les structures et les rôles de la connaissance dans la résolution des problèmes.
- La *couche inférence* décrit les fonctions cognitives. Chaque fonction cognitive primitive de cette couche constitue une étape d'inférence du raisonnement global. Une étape d'inférence décrit l'usage d'un sous-ensemble de la connaissance contenue dans la couche domaine. Une activation appropriée de ces étapes d'inférence produira alors un élément de la solution du problème.
- La *couche tâche* permet d'identifier les buts de l'application, en décomposant le problème en tâches permettant de le résoudre. Les connaissances sur la tâche décrivent les buts et les stratégies employées pour atteindre les buts.

3.1 La couche domaine

TRIZ contient plusieurs sources de connaissances qui servent en permanence à différents endroits de la résolution. La Figure 3 montre la relation entre les différentes sources de connaissances (et méta-connaissances) de la TRIZ et les différentes étapes de résolution d'un problème.

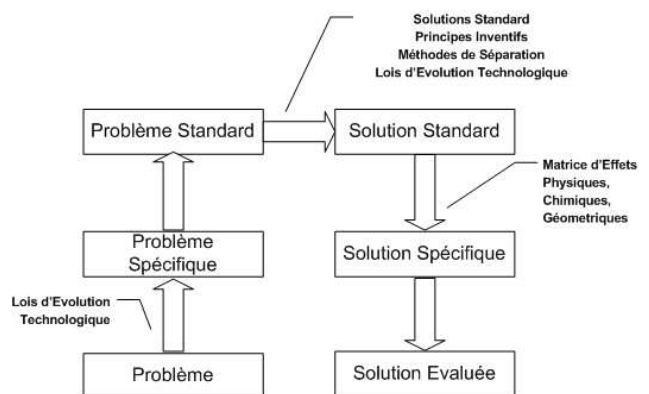


FIG. 3 – Les sources de connaissances et de méta-connaissances

Les Méta-Connaissances Une méta-connaissance est une connaissance portant sur des connaissances. Nous pouvons identifier quatre sources de méta-connaissances connectées de manière implicite : les Lois d'Évolution, les Principes Inventifs, les Méthodes de Séparation et les Solutions Standards.

Les Lois d'Évolution Elles concernent les connaissances nécessaires à la bonne formulation du problème : elles permettent de le situer dans le temps par rapport à ses

évolutions récentes et également dans l'espace. Les 8 lois d'évolution sont (3) :

1. Loi d'intégralité des parties du système ;
2. Loi de la conductibilité de l'énergie ;
3. Loi de coordination du rythme des parties du système ;
4. Loi d'accroissement de l'idéal ;
5. Loi de développement inégal des parties d'un système technique ;
6. Loi de transition du système vers un super-système ;
7. Loi de transition du macroniveau vers le microniveau ;
8. Loi d'augmentation du rôle du modèle champ substance, ou accroissement du dynamisme et de la contrôlabilité.

Les Principes Inventifs Ils servent à établir la stratégie de construction du modèle, c'est à dire, la priorité, l'ordre dans lequel collecter les éléments du modèle. A partir de brevets d'invention étudiés, Altshuller a dégagé et listé 40 principes inventifs. Certains autres sont implicites. Par exemple, le principe "*Il faut chercher des ressources dans le système existant et sinon dans son environnement immédiat*" est énoncé de manière informelle et non répertorié dans les principes inventifs.

Il a relevé également une liste de 39 paramètres souvent générateurs de conflits qui a donné naissance à la matrice de résolution des conflits technologiques. Cette matrice 39x39 intègre les 39 paramètres de conception, ceux-ci sont données en abscisse et en ordonnée, on trouve dans les cases à l'intersection, une liste de principes d'innovation (identifiés par leurs numéros) donnant des pistes de recherche de solution, ou selon la terminologie TRIZ des "concepts de solutions". Les paramètres et les principes peuvent être trouvés dans (1; 4). La Figure 4 présente la matrice de résolution de conflits technologiques.

	1	2	3	4 à 38	39
1	Masse d'un objet mobile				
2	Masse d'un objet fixe				
3	Longueur d'un objet mobile	8,15, 29,34			
4 à 38				
39	Productivité	35,26, 24,37			

FIG. 4 – Matrice de résolution de conflits technologiques

Exemple La résistance d'un container doit être augmentée mais ceci entraîne une augmentation

du poids. On utilise alors la table des contradictions où les lignes correspondent aux paramètres à améliorer, ici la résistance mécanique, et les colonnes aux paramètres qui se dégradent, ici le poids du container. Au croisement ligne, colonne, la table nous donne les principes généraux à appliquer à notre problème en cours, soit pour notre exemple : 1 - la segmentation ; 26 - utiliser une copie ; 27 - utiliser des objets à courte durée de vie bon marché ; 40 - utiliser des composites.

La simplicité d'utilisation de la matrice de résolution en a fait l'outil le plus répandu dans les environnements informatiques mettant en scène TRIZ.

Les Méthodes de Séparation Afin de résoudre une contradiction physique, on utilise des méthodes de séparation. Elles sont au nombre de 11 (1), entre autres, nous trouvons :

- séparation des modalités contradictoires dans l'espace ;
- séparation dans le temps ;
- transition vers le "microniveau" (changement d'échelle par l'utilisation de substances à un état physique plus "dissocié" : poudre, liquide, gaz...);
- ...

Exemple Dans le cas du container, le paramètre qui contrôle la résistance et le poids est l'épaisseur de la paroi. L'augmentation de l'épaisseur fait augmenter la résistance mais également le poids. L'épaisseur doit donc être à la fois forte et faible. Il est alors recommandé d'utiliser les principes de séparation dans l'espace, le temps etc. L'épaisseur peut par exemple être augmentée uniquement dans les endroits où la résistance mécanique doit être renforcée et diminuée ailleurs (séparation dans l'espace).

Les Solutions Standards Elles concernent les vépoles, ce sont des connaissances déclaratives proches dans la forme de règles de systèmes experts ³. Beaucoup d'entre elles font référence à des transformations à faire sur le modèle, soit en le complétant, soit en recherchant une nouvelle ressource, soit en incitant à changer de point de vue. Comme leur nom l'indique, elles sont destinées à résoudre les problèmes standards concernant les anomalies des modèles vépoles, par exemple si un vépole est incomplet ou non fonctionnel : un élément (substance1, substance2 ou interaction de substance1 et substance2) est manquant ou son fonctionnement (interaction) est défaillant.

Les 76 solutions standard sont groupées en 5 classes : Construction et destruction des systèmes vépoles, Evolution des systèmes vépoles, Transition vers un super-système et

³Mais les prémisses sont peu claires, vu le vocabulaire de la TRIZ non rigoureusement défini, et font souvent appel à des actions à faire par un humain.

au microniveau, Standards pour les systèmes de détection et de mesure, Standards d'application des standards⁴.

Quelques exemples :

- *Standard 1-2-2* : Si dans un vépole les actions utiles et nuisibles se produisent en même temps entre deux substances et s'il n'est pas obligatoire de garder le contact direct entre elles; et que l'utilisation de substances étrangères est interdite ou inutile, alors on résout le problème en introduisant une troisième substance qui est une modification des deux premières.
- *Standard 2-3-1* : Dans les systèmes vépoles la fréquence de l'action du champ doit être accordée (ou désaccordée sciemment) avec la fréquence propre à l'objet (ou à l'instrument).
- *Standard 3-1-1* : On peut accroître l'efficacité d'un système (à toute étape de son évolution) en réunissant le système avec un autre système (ou systèmes) en bi- ou poly-système plus complexe.
- *Standard 4-1-2* : S'il on a un problème de mesure ou de détection, alors il est utile de remplacer les opérations directes avec l'objet par des opérations avec sa copie ou sa photo.
- *Standard 5-2-1* : S'il faut introduire un champ dans un système vépole, il faut, tout d'abord, utiliser tous les champs qui s'y trouvent déjà, dont les porteurs sont les substances contenues dans le système.

Exemple La production du cuivre pur se fait par électrolyse. Pendant le stockage, l'électrolyte resté dans les pores de la surface s'évapore et engendre des points d'oxydation. L'opération de rinçage avant stockage est donc insuffisante.

Notre vépole :

- Substance1 = Electrolyte
- Substance2 = Eau
- Champ (mécanique) = Procédé de rinçage

Recommandations (l'une ou l'autre) :

1. ajouter un champ pour intensifier l'action mécanique du champ existant - ultrasons, champ thermique, champ chimique, champ magnétique ;
2. introduire une substance S3 qui est une modification de S2 : par l'intermédiaire d'un champ thermique, transformer l'eau en vapeur sous pression qui délogera l'électrolyte des pores.

Les Connaissances A part les connaissances du domaine nécessaires pour développer les modèles vépoles et les contradictions techniques et physiques, les connaissances propres à TRIZ sont les effets physiques, chimiques et géométriques.

⁴Aide à l'introduction de substances ou champs pour construire, transformer et détruire les vépoles.

La Matrice des Effets Physiques, Chimiques et Géométriques Alors que les Standards, les Principes et les Méthodes pour l'élimination des contradictions ne produisent pas de recommandations indiquant quelles substances ou quels champs physiques employer, cette matrice fournit les relations entre les fonctions techniques et les phénomènes naturels connus.

Exemple Au lieu d'une conception mécanique complexe pour le déplacement précis d'un objet sur une distance courte, il est possible d'appliquer l'effet "dilatation thermique" pour contrôler le déplacement : mis en application par exemple pour résoudre un problème d'aération automatique d'une serre où on utilise la dilatation d'un bilame qui se dilate sous l'effet de la chaleur du soleil.

Chaque phénomène naturel dans la matrice est identifié avec un groupe de fonctions techniques diverses qui pourraient être réalisées sur la base de ce phénomène-là.

L'organisation de ces pointeurs vers les effets physiques, chimiques ou géométriques est visible dans la Figure 5.

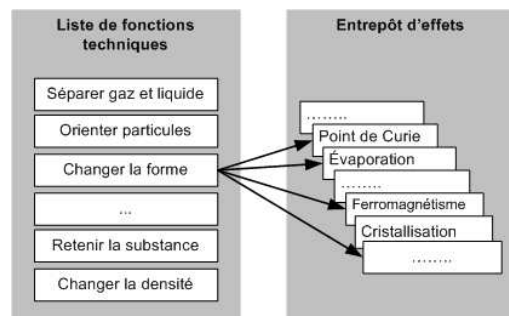


FIG. 5 – Pointeurs vers les effets physiques, chimiques et géométriques

3.2 La couche inférence

La Figure 6 montre la structure d'inférence du mécanisme de raisonnement de TRIZ pour la résolution de problèmes. Ce mécanisme de raisonnement est fortement basé sur ARIZ (3; 4), qui est un outil additionnel de résolution de problèmes d'innovation. Ceci est une procédure systématique pour résoudre manuellement les problèmes sans contradictions évidentes⁵. Pour ARIZ, Invention Machine propose les logiciels TechOptimizer et la version actuelle GoldFire Innovator, mais ceux-ci n'implémentent pas réellement la démarche, ils permettent simplement d'accompagner un concepteur dans la résolution d'un problème déjà

⁵ARIZ comporte une dernière étape de mise à jour des bases de connaissances de TRIZ pour la meilleure utilisation de la méthode de part de l'utilisateur. Nous ne l'avons pas considéré ici car cette étape n'ajoute rien à la solution trouvée dans les étapes précédentes.

bien cerné au travers d'une liste préétablie et issue de l'interprétation d'un graphe fonctionnel.

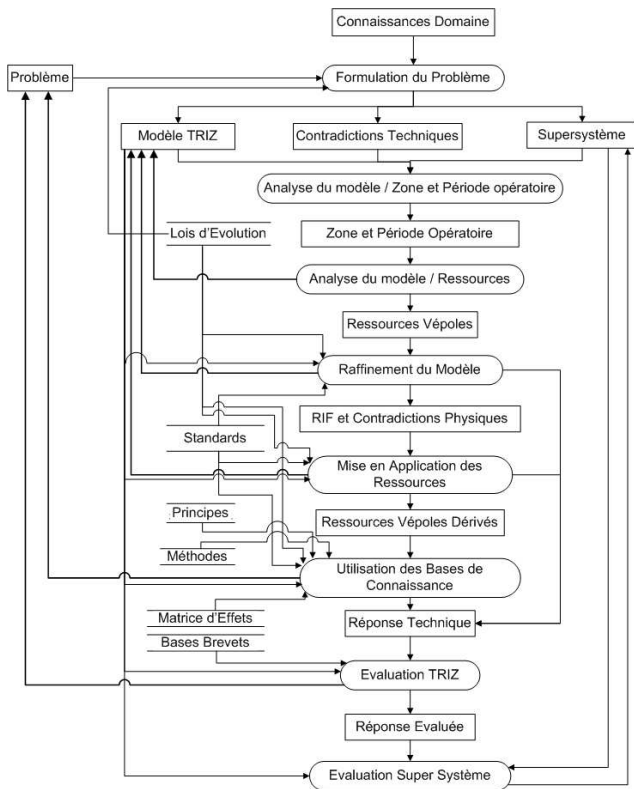


FIG. 6 – Mécanisme de raisonnement de TRIZ pour la résolution de problèmes

Cette structure d'inférence comporte huit inférences que nous décrivons dans les paragraphes suivants. La place manque pour les agrémenter d'exemples aussi seront-elles décrites sans commentaires.

Formulation du Problème

Rôles d'Entrée :

- Problème : Problème informel, objet de la démarche TRIZ.
- Lois d'Évolution
- Connaissances Domaine : du domaine du problème à résoudre.

Rôles de Sortie :

- Modèle TRIZ : Comporte le Système, les Eléments du Système et leurs Rôles, la Fonction Principale Utile, le Résultat à Atteindre et les Ressources⁶ initialement identifiées.
- Contradictions Techniques : Interactions dans le système qui consistent en ce que : a) une action utile produit en même temps une action néfaste ; et b) l'introduction d'une action utile ou l'élimination d'une action néfaste génère la dégradation de tout ou partie du système.

– Super-système : Système dont le système à l'étude est une partie.

Description : L'objectif principal de cette inférence est de passer d'une situation d'innovation floue à un modèle clairement construit et considérablement simplifié où la contradiction clé est identifiée.

Analyse du modèle / Zone et Période Opératoire

Rôles d'Entrée :

- Modèle TRIZ : Voir paragraphe précédent.
- Contradictions Techniques : Voir paragraphe précédent.
- Super-système : Voir paragraphe précédent.

Rôles de Sortie :

- Zone et Période Opératoire : Zone de l'espace et intervalle de temps à l'intérieur desquels survient le conflit défini dans le modèle du problème

Description : L'objectif est de déterminer précisément quand et où se situe la contradiction.

Analyse du modèle / Ressources

Rôles d'Entrée :

- Zone et Période Opératoire : Voir paragraphe précédent.

Rôles de Sortie :

- Ressources Vépoles : Ce sont des substances et des champs déjà présents ou pouvant être facilement obtenus en fonction des données du problème.
- Modèle TRIZ : Voir paragraphes précédents, éventuellement modifié par l'apport de ressources nouvelles.

Description : L'objectif est de lister les ressources présentes utilisées pour la résolution du problème : les ressources de substances et de champs. Cette inférence peut introduire une modification dans le Modèle TRIZ, car on découvre peut-être de nouvelles ressources.

Raffinement du Modèle

Rôles d'Entrée :

- Ressources Vépoles : Voir paragraphe précédent.
- Modèle TRIZ : Voir paragraphe précédent.
- Standards
- Lois d'Évolution

Rôles de Sortie :

- RIF et Contradictions Physiques : Résultat Idéal Final et les contradictions physiques qui interdisent son obtention.
- Modèle TRIZ : Eventuellement modifié.
- Réponse Technique : Résultat de la solution du problème dans cette étape obtenue au moyen des Standards.

⁶Des substances et des champs déjà présents dans le système.

Description : L'objectif est de formuler l'idée du RIF et de définir également la Contradiction Physique interdisant son obtention. Il n'est pas toujours possible d'arriver à une situation idéale, cependant, le RIF oriente vers une réponse pertinente. Cette inférence peut introduire, aussi, de nouvelles données dans le Modèle TRIZ. Si une solution est obtenue à l'aide des Standards, cette inférence produit une Réponse Technique.

Mise en Application des Ressources

Rôles d'Entrée :

- RIF et Contradictions Physiques : Voir paragraphe précédent.
- Modèle TRIZ : Voir paragraphes précédents.
- Standards
- Lois d'Evolution

Rôles de Sortie :

- Modèle TRIZ : Eventuellement modifié.
- Ressources Vépoles Dérivés : peuvent être obtenues presque gratuitement au moyen de modifications insignifiantes des Ressources Vépoles déjà identifiées dans le Système.
- Réponse Technique : Résultat de la solution du problème dans cette étape au moyen des Standards.

Description : L'objectif est d'augmenter méthodiquement les Ressources Vépoles déjà identifiées dans le Système. Nous pouvons obtenir une modification du Modèle TRIZ, ou une Réponse Technique si le problème peut être résolu par moyen des Standards. Cette inférence induit aussi une reformulation du problème initial vers une réponse fondée sur l'utilisation de lois physiques.

Utilisation des Bases de Connaissance

Rôles d'Entrée :

- Modèle TRIZ : Voir paragraphe précédent.
- Ressources Vépoles Dérivés : Voir paragraphe précédent.
- Standards
- Principes
- Méthodes
- Matrice d'Effets
- Lois d'Evolution

Rôles de Sortie :

- Réponse Technique : Voir paragraphe précédent.
- Problème : Eventuellement reformulé.

Description : L'objectif est d'utiliser l'expérience concentrée dans les bases de connaissances de TRIZ. A ce stade, le problème est déjà considérablement clarifié, sa résolution directe à l'aide des bases de connaissances devient possible. Si la résolution n'est pas possible, il faut reformuler le problème initial, et vérifier qu'il ne s'agit pas de plusieurs problèmes différents. Si une réponse physique est possible, cette inférence donne une réponse technique, avec le procédé associé pour l'implémentation de celle-ci.

Evaluation TRIZ

Rôles d'Entrée :

- Réponse Technique : Voir paragraphe précédent.
- Modèle TRIZ : Voir paragraphe précédent.
- Bases de Brevets : Ce rôle permet de vérifier la réelle nouveauté de la réponse obtenue.

Rôles de Sortie :

- Réponse Evaluée : Solution retenue pour le problème initial.
- Problème : Eventuellement reformulé.

Description : Cette inférence analyse la réponse trouvée selon différents critères propres à TRIZ, satisfaction du RIF, élimination des Contradictions Physiques, ... Si l'évaluation n'est pas satisfaisante, il faut reformuler le Problème initial.

Evaluation Super Système

Rôles d'Entrée :

- Réponse Evaluée : Voir paragraphe précédent.
- Modèle TRIZ : Voir paragraphe précédent.
- Super-système : Voir paragraphe précédent.

Rôles de Sortie :

- Super-système : Eventuellement modifié.

Description : Le but est de spécifier ce qu'il est nécessaire de modifier dans le super-système qui contient le système modifié, en évaluant les nouvelles propriétés et les propriétés différentes que le système et le super-système possèdent.

3.3 La couche tâche

Comme décrit dans la section 2, la première phase de TRIZ consiste à s'élever dans les niveaux d'abstraction de façon à construire une représentation du problème en terme des concepts principaux de la méthode, c'est à dire, à faire apparaître le système, son environnement, les ressources du système, des contradictions et les éléments du système qui vont jouer un certain rôle dans la résolution : énergie, moteur, transmission, outil, produit, contrôle et sa fonction principale utile.

Cette phase de construction est plus complexe qu'il n'y paraît, elle est contrôlée par une méta-connaissance explicite répertoriée dans les "Principes" : la complétude du système et sa capacité à transmettre de l'énergie. Dans cette phase, si un élément semble manquer, on utilise l'heuristique implicite (le principe d'économie) qui fait de chercher dans les ressources les plus proches possibles du système un élément qui pourrait jouer le rôle manquant.

Simultanément, cette phase induit une étude approfondie de la fonction principale utile. Les lois d'évolution peuvent éventuellement provoquer une reformulation du système. En effet, l'utilisateur a souvent une mauvaise idée de la fonction intéressante que doit procurer son système, la formuler de façon plus précise est une nécessité. Dans certains cas, donc, on peut être amené à changer de point de vue sur le système et à considérer plutôt un super-système ou un sous-système du système initial. Ce changement de point

de vue revient le plus souvent à changer le rôle des éléments dans le modèle.

En résumé, la stratégie de la tâche de construction du modèle TRIZ consiste à se concentrer d'abord sur les ressources gratuites, puis sur les ressources à faible coût, en examinant, au fur et à mesure, si l'une d'elles peut jouer un rôle amenant une solution. Dans cette recherche itérative, on complète, affine et spécialise le modèle initial. Si on bute sur une impasse, on peut être amené à modifier le modèle TRIZ initial, soit en rajoutant des éléments soit en choisissant carrément un autre système (super-système ou sous-système). Cette stratégie induit une recherche quasiment procédurale, nous verrons plus loin comment il est possible de la rendre plus souple.

La deuxième phase de l'application de la méthode va conduire à puiser dans les sources de connaissances TRIZ qui capitalisent la connaissance des experts sur les solutions (abstraites) qui résolvent généralement les problèmes abstraits. Plusieurs possibilités existent si le modèle construit à la phase précédente est un modèle basé sur des contradictions organisationnelles, physiques ou techniques ou si on se focalise sur le (ou les) vépole(s) du système.

La méthode TRIZ va donc consister à enchaîner deux tâches : la tâche de construction du modèle et la tâche de résolution de la contradiction.

Notons que les différentes sources de connaissances sont utilisées dans les deux tâches (sauf la matrice des effets qui n'est utilisé que dans la phase de résolution).

Toutes ces sources se situent à des niveaux d'abstractions relativement élevés et sont, donc, indépendantes d'un domaine particulier.

La Figure 7 montre l'enchaînement des tâches identifiées avec le diagramme d'activités modélisant la stratégie de contrôle des inférences décrites dans la section 3.2.

4 Conclusions

Cet article présente une modélisation CommonKADS de la méthode de résolution de problèmes inventifs (TRIZ). Cette étude a été menée avec le but de répondre à la question du titre : Est-ce que la conception innovante fait de la synthèse de systèmes ou seulement de la résolution de problèmes ?

CommonKADS classe les méthodes de conception dans la catégorie méthodes de synthèse ("system synthesis"). Or, TRIZ n'est pas une méthode de synthèse, en tout cas pas globalement. En effet, si on examine le fonctionnement de la méthode, on y distingue :

- une phase de formulation qui consiste à construire le modèle initial ("system synthesis"), et
- une phase de résolution qui donne des solutions qui, elle, est plutôt une méthode d'analyse au sens de Com-

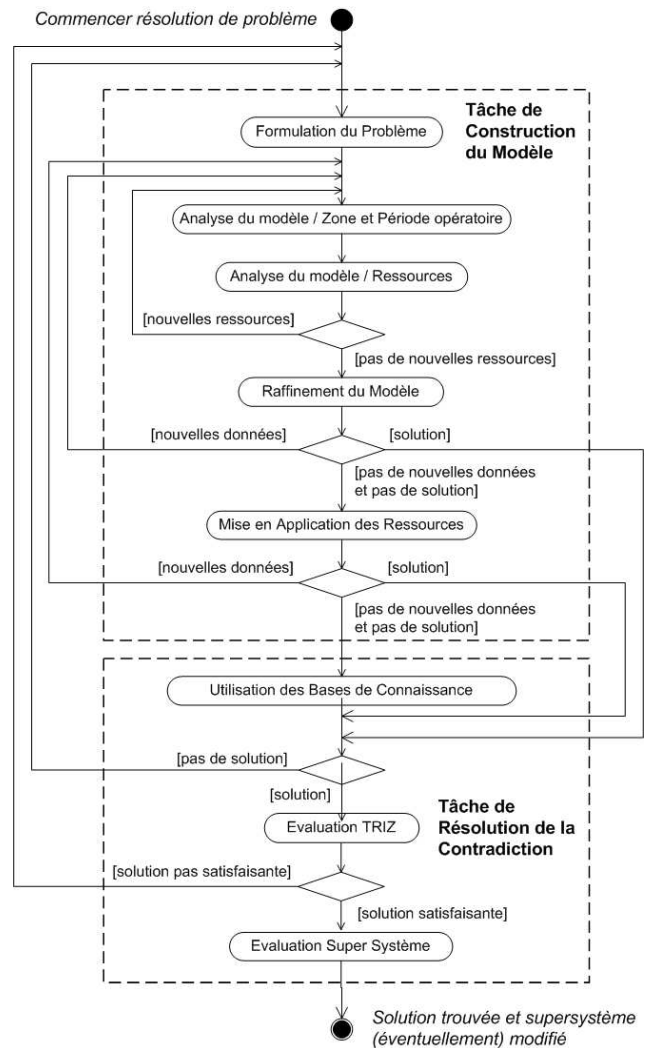


FIG. 7 – Stratégie de contrôle des inférences

monKADS ("system analysis").

Nous sommes en mesure d'affirmer maintenant que TRIZ est une méthode complexe, impossible à placer dans la classification de CommonKADS. TRIZ fait de la synthèse de systèmes et de la résolution de problèmes.

La modélisation qui a été présentée ici a l'intérêt de clarifier les inférences en jeu et le rôle des différentes sources de connaissances fournies par TRIZ. Au début de ce travail, il nous aurait été impossible de détailler les inférences et les sources de connaissances en jeu. La construction de ce modèle nous a conduits souvent à consulter les experts TRIZ et des enseignants⁷ de la méthode pour préciser quelles connaissances sont utilisées et où. Le manque de formalisa-

⁷TRIZ est enseigné dans un master à l'INSA et beaucoup d'élèves ingénieurs sont formés à la méthode et résolvent des problèmes dans les entreprises au cours de leur stage de PFE (projet de fin d'étude). Les experts TRIZ appliquent la méthode dans les entreprises et forment également des ingénieurs des entreprises comme par exemple à PSA.

tion de la méthode et la non normalisation des termes sont des freins très sérieux à la compréhension. La clarification obtenue est indéniable.

Cette clarification va apporter une amélioration certaine quant à la diffusion de la méthode et à son enseignement.

Maintenant, nous pouvons concevoir un outil logiciel d'aide à la gestion de la création du modèle TRIZ qui permettra d'intégrer les connaissances sur les ressources existantes et absentes afin de sélectionner uniquement les connaissances applicables dans ce contexte, pour faciliter la recherche des solutions.

Nous pouvons aussi maintenant aborder avec plus de clarté le travail de formalisation et de clarification de la terminologie et de l'ontologie TRIZ. Les discussions avec les experts nous ont bien fait sentir combien les liens entre les bases de connaissances étaient denses et peu explicites. Il nous faut maintenant les expliciter pour préciser tous les concepts qui entrent en jeu et tous les liens qu'ils entretiennent.

D'autre part, les concepts mis en jeu sont très abstraits (par exemple, une substance peut être un humain), on ne voit pas très bien à partir de quel moment les connaissances présupposent l'existence d'items qui ont des caractéristiques particulières comme des substances matérielles et des champs particuliers. Il importe donc de dégager de TRIZ la couche générique qui devrait permettre de résoudre des problèmes humains ou immatériels (par exemple, en informatique) de la couche spécifique qui s'attaque aux problèmes techniques qui est très renseignée.

Suite à cette étude, nous avons entrepris la réorganisation des différentes sources de connaissances. En effet, à l'heure actuelle, elles se présentent sans que le contexte de leur application ne soit précisé. En détaillant la hiérarchie des concepts en jeu, on pourra prendre en compte le contexte de façon automatique⁸ et éviter, par exemple, de conseiller une segmentation d'un objet qui n'est pas décomposable.

Modéliser le raisonnement n'est pas à l'ordre du jour tant que tout ce travail n'est pas réalisé. Alors, nous pourrions réaliser un système capable de capitaliser des nouvelles connaissances en vue de leur réemploi.

Références

- [1] G. Altsthuller. *TRIZ The innovation algorithm ; systematic innovation and technical creativity*. Technical Innovation Center Inc., Worcester, MA, 1999.
- [2] Alexis Bultey. *Modélisation du domaine de la TRIZ à l'aide des logiques de description*. Mémoire DEA - LGeCo - INSA Strasbourg, 2004.
- [3] D. Cavallucci. *Contribution à la conception de nouveaux systèmes mécaniques par intégration méthodologique*. PhD thesis, Université Louis Pasteur, Strasbourg, France, 1999.
- [4] Denis Cavallucci, Nikolai Khomenko et Roland De Guio. Tutorial of inventive problem solving theory. In Shanghai Jiao Tong University, éditeur, *Proceedings of 15th International CIRP Design Seminar*, Shanghai, China, 2005.
- [5] Denis Choulier et George Draghici. TRIZ : une approche de résolution des problèmes d'innovation dans la conception de produits. *Modélisation de la connaissance pour la conception et la fabrication intégrées*, pages 31 – 58, 2000. ISBN 973-585-216-0.
- [6] Sébastien Dubois. *Contribution à la formulation de problèmes de conception de systèmes techniques*. PhD thesis, Université Louis Pasteur, Strasbourg, France, 2004.
- [7] Sebastien Dubois, Nikolai Khomenko, Philippe Lutz et Roland De Guio. Problem formulation - a key step in the process of resolution of inventive problem. In *Proceedings of World Conference "TRIZ Future 2001"*, Bath, UK, Nov 7-9, 2001.
- [8] Nathalie Gartiser, Dmitry Kucharavy et Philippe Lutz. Le processus convergent de la TRIZ : Une démarche économiquement efficace de recherche de solutions en conception. In *Colloque IPI*, 2002.
- [9] Nikolai Khomenko. OTSM-TRIZ : General theory of strong thinking. <http://www.triz.minsk.by/le/prs/kho.htm>, 1999.
- [10] Douglas B. Lenat. Eurisko : A program which learns new heuristics and domain concepts. *Artificial Intelligence*, 21 :691–697, 1983.
- [11] Sebastien Muller. *Vers une méta-structure des bases de connaissances de la TRIZ*. Mémoire DEA - LGeCo - INSA Strasbourg, 2004.
- [12] Allen Newell. The knowledge level. *Artificial Intelligence*, 18 :87–127, 1982.
- [13] G. Schreiber, H. Hakkerms, A. Anjewierden, R. de Hoog, N. Shadbolt, W. Van de Velde et B. Wielinga. *Knowledge engineering and management - The CommonKADS methodology*. MIT Press, 2000.

⁸Une implémentation concernant les différents types de vépoles et leurs solutions associées est en cours (2).