

Une Ontologie pour l'Acquisition et l'Exploitation des Connaissances en Conception Inventive

François Rousselot*, Cecilia Zanni-Merk*, Denis Cavallucci*

*LGECO – INSA de Strasbourg, 24 bd de la Victoire, 67084 Strasbourg Cedex, France
{francois.rousselot, cecilia.zanni-merk, denis.cavallucci}@insa-strasbourg.fr

Résumé. L'acquisition des connaissances en vue de résoudre des problèmes concernant l'évolution des artefacts, comme elle se doit d'être pratiquée en conception inventive, a des caractéristiques spécifiques. Elle nécessite la sélection de certaines des connaissances qui peuvent induire des évolutions, elle amène à reformuler le problème initial afin de construire un modèle abstrait de l'artefact concerné. La méthode de conception inventive induite par la théorie de la Résolution des Problèmes Inventifs (aussi connue sous l'acronyme TRIZ) n'a pas encore fait l'objet d'une véritable formalisation. Nous proposons ici une ontologie des notions principales des concepts liés à l'acquisition des connaissances dans ce cadre. Cette ontologie, outre la clarification des notions en jeu, est utilisée comme support d'un environnement informatique d'aide à la mise en œuvre d'une méthode pour acquérir les connaissances et formuler les problèmes.

1 Introduction

Les méthodologies de conception, et plus particulièrement la méthode de conception inventive que nous étudions ici, induisent d'une part un processus spécifique d'acquisition, d'autre part la gestion de types de connaissances particulières.

Dans cet article, nous montrons les spécificités de ces connaissances et de leur acquisition. Nous nous intéressons, en effet, à la modélisation d'une méthode issue de la TRIZ afin d'assister les démarches créatives et d'innovation. La TRIZ a été élaborée en ex-URSS et est de plus en plus utilisée dans le monde pour déposer des brevets,

Il s'agit d'une théorie de l'évolution des artefacts qui voit le processus de l'invention comme étant soit la résolution d'un problème causé par une certaine insatisfaction (il faut donc améliorer l'artefact) soit un problème nouveau: le premier d'une lignée comme le définit Simondon (1958). La TRIZ propose une démarche systématique qui s'appuie sur un certain nombre d'outils conceptuels et d'heuristiques qui guident l'utilisateur vers des concepts génériques de solutions possibles au problème posé.

Le créateur de cette méthode a synthétisé les connaissances qu'il a trouvées dans des dizaines de milliers de brevets. Il en a conclu que, très souvent, différents brevets déposés dans des domaines différents résolvaient le même problème abstrait. Il a donc proposé dans un premier temps, une méthode de résolution qui aide à s'abstraire des connaissances propres

au domaine pour formuler un problème générique (au niveau abstrait, hors domaine) et ainsi favoriser la recherche de solutions éventuelles dans d'autres domaines. Dans un deuxième temps, il a explicité un nombre important de couples « problèmes abstraits – solutions abstraites » réutilisables. Ces dernières se situant à un niveau abstrait sont des pistes de solutions indépendantes du domaine qu'il reste à évaluer et à adapter au domaine visé.

La TRIZ est intéressante pour l'ingénierie des connaissances à plus d'un titre.

D'une part, bien que très peu formalisée, son application consiste à construire un **modèle** abstrait en utilisant des connaissances et des heuristiques d'aide à la construction du modèle et d'aide à la résolution du problème. La construction de ce modèle prend en compte le plus grand nombre possible de points de vue sur les évolutions possibles et les synthétise. La construction de ce modèle n'est pas directe et passe obligatoirement par un certain nombre de reformulations ou de changements de points de vue. Des heuristiques spécifiques provoquent les reformulations et les changements de points de vue. Le modèle de base construit, dit « modèle systémique », décrit à un niveau très abstrait les composants essentiels d'un système technique.

D'autre part, la TRIZ repose sur la synthèse de contradictions à résoudre, en effet, certaines contradictions plus ou moins explicites conditionnent l'évolution du système, elles apparaissent comme des obstacles à son évolution.

Notre intérêt pour cette méthode vient du type des heuristiques utilisées (informelles pour l'instant) très proches de celles de certains systèmes de l'Intelligence Artificielle : Eurisko (Lenat, 1983) et Maciste (Pitrat, 1995), par exemple. Il tient aussi au fait que la méthode intègre des outils facilitant la résolution de problèmes nouveaux en s'appuyant ou non sur des connaissances capitalisées.

Nous travaillons actuellement à la formalisation des notions de la TRIZ et des raisonnements mis en œuvre, afin de les rendre plus compréhensibles, plus facilement transmissibles et afin d'apporter une aide logicielle facilitant son application.

Nous voulons pouvoir comparer la TRIZ aux méthodes connues de résolution de problèmes, décrire formellement son fonctionnement afin de le rapprocher des méthodes de résolution de problèmes d'intelligence artificielle existantes: le raisonnement à partir de cas, la classification heuristique et également pouvoir la faire cohabiter avec des méthodes numériques plus générales (Guenebaut et al, 2006). Simultanément, notre but est de rendre possible son emploi systématique dans un objectif de capitalisation des connaissances de conception à différents niveaux d'abstraction et au niveau domaine¹.

La TRIZ comporte deux phases principales: la phase d'acquisition et de reformulation du problème et des connaissances liées à celui-ci, puis la phase de résolution. Nous ne nous intéresserons ici qu'à la phase d'acquisition.

Dans la section 2, nous présentons les principes généraux de TRIZ et les notions essentielles.

Les sections 3 et 4 sont consacrées à l'ontologie, nous décrivons le cadre ontologique de nos travaux et nous présentons l'ontologie et sa caractérisation formelle. Une première proposition d'ontologie des notions principales de la TRIZ a déjà été effectuée par Dubois et

¹ Le rôle qu'aura joué le fondateur de la TRIZ (Genrich Altshuller) aujourd'hui disparu est si lourd et l'organisation des communautés portant l'évolution potentielle de la TRIZ si confuses, qu'il est pratiquement impossible pour l'heure, de rajouter officiellement des connaissances dans les bases de connaissances de TRIZ. D'ailleurs toute évolution intentée depuis n'a jamais reçu une légitimité importante.

al (2007) pour permettre de spécifier un programme de reformulation dans le cas d'un problème. Nous la complétons ici, en la rattachant à DOLCE et en proposant une formalisation plus poussée.

Dans la section 5, nous présentons le modèle d'un problème réel et la problématique de la gestion et de l'exploitation des connaissances collectées.

Enfin, dans la section 6 nous présentons nos conclusions et perspectives de travaux futurs.

2 La philosophie sous-jacente à la TRIZ et la modélisation

2.1 La TRIZ

La TRIZ se concentre sur la création d'un modèle systémique à partir de la situation réelle. La construction du modèle du problème consiste à instancier un modèle TRIZ en repérant parmi les éléments physiques constitutifs du système ceux qui jouent certains rôles essentiels. Ce modèle et cette façon de faire poussent les participants au projet de conception à bien distinguer les rôles des différents éléments sans se laisser influencer par leurs connaissances du domaine. Cet outil permet également de se mettre d'accord sur une formulation unique et neutre si plusieurs experts de différents métiers participent à la conception et de noter certains paramètres susceptibles d'intervenir dans la suite.

Une fois le modèle systémique établi, l'expert TRIZ a plusieurs possibilités : soit se concentrer sur la partie du modèle la plus cruciale, formée par un triplet "outil" "produit" "relation entre le produit et l'outil" ce qui débouche généralement sur un modèle dit "**modèle substances-champ**", soit se concentrer sur la résolution d'une **contradiction** particulière: selon le cas la TRIZ met à sa disposition différentes sources de connaissances:

Une fois le modèle choisi, la résolution est guidée en utilisant des connaissances, telles que les « Solutions Standard » ou la « Base des Effets Physiques, Chimiques et Géométriques ». Nous avons proposé ailleurs (Zanni et Rousselot, 2006) une description du modèle CommonKADS décrivant les inférences mises en œuvre pour effectuer cette résolution. Un autre article (Rousselot et al, 2006) montre comment nous avons modélisé le processus de résolution et explicité dans le formalisme CommonKads les inférences et les sources de connaissances mises en œuvre, il situe TRIZ par rapport aux modèles de connaissance génériques de CommonKADS.

2.2 Principaux concepts de la TRIZ et outils d'analyse

Nous donnons ici un aperçu des deux notions principales de TRIZ essentielles à la compréhension de la suite. Une description complète des connaissances et des outils conceptuels proposés par TRIZ dépasserait le cadre de cet article. Le lecteur intéressé est invité à consulter nos articles déjà cités ou la bibliographie de base (Althshuller, 1984, 2000).

2.2.1 Les contradictions

La méthode fournit des directives aux concepteurs afin qu'ils construisent un modèle de l'artefact où apparaissent les contradictions qui conditionnent son évolution. L'explicitation

des contradictions n'est pas automatique, car elle nécessite, comme pour la construction de tout modèle, une interprétation du monde réel.

La difficulté est de formuler correctement ces contradictions, car elles ne sont généralement pas complètement explicitées.

La contradiction revêt une importance particulière dans la formulation du problème, car elle permet d'explicitier et de mieux comprendre la nature exacte du problème, aussi l'effort doit-il porter sur l'identification de la (ou des) contradiction(s) inhérente(s) à tout problème.

La notion de contradiction est le concept clé de la dialectique. Une contradiction consiste en deux aspects simultanément dépendants l'un de l'autre et s'opposant mutuellement.

Une contradiction traduit le fait que, lorsque la valeur d'un paramètre augmente pour procurer un effet positif, la valeur d'un autre paramètre change dans un sens qui résulte en un effet négatif. Tout artefact complexe recèle un certain nombre de contradictions plus ou moins importantes. Il s'agit de déterminer la contradiction qui a le plus d'importance, du point de vue de l'utilisateur. C'est la contradiction "principale" qui caractérise le phénomène, celle dont il faut étudier l'évolution dans le temps.

En effet, l'étude des contradictions peut fournir une aide pour prévoir les changements et les voies d'évolution pour le futur (Kucharavy et De Guio, 2008). La description des contradictions et des liens qu'elles entretiennent décrit les connaissances sur le problème du point de vue de son évolution possible.

Pour la TRIZ, toute description d'un problème d'évolution va consister à identifier la contradiction principale, la résolution viendra ensuite. La façon la plus naturelle de résoudre une contradiction est la recherche d'un compromis (cas d'une optimisation), mais TRIZ fournit des indications, pour permettre un saut qualitatif et imaginer une solution **inventive**, faisant intervenir un procédé nouveau, sans compromis.

2.2.2 Les multi-écrans

Parmi les outils qui permettent d'appréhender l'aspect évolution systémique, un des plus importants est celui des multi-écrans. Il permet de placer le modèle du système dans une double perspective temporelle (passé, présent, futur) et structurelle, en le considérant comme une partie d'un système plus grand appelé sur-système et en considérant ses décompositions possibles en sous-systèmes.

L'approche multi-écrans amène à dessiner une matrice 3x3 où chaque case est un écran, qui représente sur trois lignes, du haut en bas, les évolutions du sur-système et des sous-systèmes. Sur les colonnes, de gauche à droite, on représente les évolutions dans le temps. On renseigne chaque case de manière informelle: on fait figurer les éléments entrant dans la composition² du système et les paramètres semblant intéressants.

2.2.3 Le modèle TRIZ

Lors d'interventions d'experts TRIZ, un modèle systémique spécifique est utilisé, il s'agit d'un diagramme de type fonctionnel. Il exprime les interactions (échange d'énergie ou action, les champs) qui existent entre des entités (les substances). Un système doit comporter au

² On ne recueille pas la structure physique du système en termes de composition (relation partie-tout), mais une structure induite par les fonctions et les sous-fonctions du système en rapport avec le besoin de l'utilisateur.

moins quatre éléments : un moteur qui transforme de l'énergie de l'environnement en énergie utile au système, une transmission qui transmet l'énergie du moteur vers l'organe de travail, un actionneur qui réalise physiquement la fonction du système et un organe de contrôle qui permet l'adaptation fonctionnelle du système. Pour bien fonctionner, ce système doit répondre à un certain nombre de conditions décrites dans les lois d'évolution, par exemple, il doit être complet³. Il doit également disposer d'une source d'énergie et résulter en un produit ou objet.

2.2.4 Les lois d'évolution

Altshuller s'est intéressé à formaliser les invariants dans les évolutions suivies par les systèmes techniques. La connaissance de ces invariants permet de concevoir des systèmes respectant un sens cohérent d'évolution; elle permet aussi d'assister l'anticipation des évolutions et de l'apparition des problèmes. Il a synthétisé un ensemble de lois: les lois statiques qui définissent la durée de vie d'un système fonctionnel ; les lois cinématiques qui définissent le passage d'un système d'une génération à une autre ; les lois dynamiques qui permettent d'orienter l'évolution dans une direction plutôt qu'une autre.

Les lois d'évolutions sont une notion importante dans la TRIZ , car elles servent de critère à la sélection des contradictions à examiner: seules les contradictions qui font obstacles à une loi d'évolutions sont à conserver.

2.2.5 L'idéalité

L'outil appelé Résultat Idéal Final ou RIF exprime le résultat idéal vers lequel on devrait tendre ; « Idéal » car ce serait un résultat pour lequel toutes les fonctions utiles seraient assurées et tous les inconvénients éliminés. Par exemple, si on cherche à améliorer une tondeuse à gazon afin qu'elle fasse moins de bruit, on peut s'intéresser au résultat final : une solution idéale serait que l'herbe ne pousse pas (par exemple en utilisant des gazons génétiquement modifiés ...).

2.2.6 Le modèle substances-champ

Pour modéliser la structure physique du système qui cause la contradiction, la modélisation substances-champ est utilisée. L'idée sur laquelle repose cet outil de modélisation est que toute partie d'un système technique peut être représentée comme un ensemble de substances qui le composent et des interactions (champs) entre ces substances. Le problème est alors modélisé sous la forme d'une interaction indésirable, insuffisante ou manquante entre deux composantes. La structure physique qui contient l'interaction indésirable ou manquante doit être transformée en une structure où l'interaction désirée est obtenue, cette transformation conduit à la solution. Les « Solutions Standard » sont les règles qui indiquent le(s) motif(s) à utiliser pour transformer un modèle substances-champ en vue de sa résolution.

³ Tous les éléments: moteur, transmission, etc. doivent être présents. C'est la loi d'intégralité.

3 L'Ontologie Développée

Une ontologie est un outil de représentation des connaissances qui sert à fournir des ressources conceptuelles aux systèmes à base de connaissances (SBC). Une ontologie recense et définit l'ensemble des objets reconnus comme existant dans le domaine.

Notre ontologie formalise les principaux concepts de la conception inventive. Acquérir les connaissances et formuler un problème spécifique consisteront alors à peupler cette ontologie. Les concepts de notre ontologie sont présentés dans les diagrammes UML (Rumbach et al, 2004) des Figures 1 à 5.

Nous utiliserons la notation suivante :

- Les concepts sont représentés par des rectangles.
- Des liens simples représentent les associations, qui indiquent l'existence d'une relation logique entre deux classes. Une association peut avoir un nom et inclure une multiplicité. Les associations bidirectionnelles sont représentées par un trait simple et les associations unidirectionnelles par une flèche simple.
- Une agrégation est une association qui représente une relation d'inclusion structurelle ou comportementale d'un élément dans un ensemble. Graphiquement, on ajoute un losange vide du côté de l'agrégat. La destruction de l'objet composite n'implique pas nécessairement la destruction de ses composants.
- La composition, également appelée agrégation composite, décrit une contenance structurelle entre instances. Ainsi, la destruction de l'objet composite implique la destruction de ses composants. Graphiquement, on ajoute un losange plein du côté de l'agrégat
- La généralisation décrit une relation entre une classe générale (classe de base ou classe parent) et une classe spécialisée (sous-classe). La classe spécialisée est intégralement cohérente avec la classe de base, mais comporte des informations supplémentaires (attributs, opérations, associations). Le symbole utilisé pour la relation d'héritage ou de généralisation est une flèche avec un trait plein dont la pointe est un triangle fermé désignant le cas le plus général

L'ontologie permet aujourd'hui de conserver l'historique de différentes applications, de les étudier, de les comparer et permettra dans le futur d'améliorer la méthodologie d'acquisition.

La mise au point de l'ontologie a été effectuée après consultations et discussions avec des experts TRIZ, elle était nécessaire pour préciser formellement la sémantique du domaine. Il a fallu d'abord définir un langage commun entre les experts. Les façons d'effectuer l'acquisition et d'en rendre compte étaient très différentes selon l'expert. L'ontologie résulte de la définition des termes communs, elle spécifie la représentation des différentes connaissances en jeu. Elle donne la possibilité de créer une base de connaissances spécifique à l'application.

La méthode de recueil et de construction n'a pas été basée sur des méthodes formelles. Des entretiens avec trois experts TRIZ ont été menés pendant cinq mois. Six séances d'une heure et demie avec chacun des experts et trois séances de deux heures avec les trois experts ont été nécessaires pour arriver à des modèles consensuels.

Pour construire l'ontologie, nous avons fixé le vocabulaire utilisé par les experts TRIZ dans la phase d'acquisition des connaissances préalable à la résolution d'un problème, nous avons isolé les concepts, les prédicats et les relations, les attributs des classes et avons précisé la signification de chaque terme intervenant dans le processus d'acquisition.

3.1 Cadre ontologique de nos travaux

L'application des ontologies fondationnelles (foundational ontologies)⁴ comme base pour ce développement nous a semblé un choix judicieux pour pouvoir profiter des caractéristiques de justification et organisation formelle de ce type d'ontologies.

Seules quelques ontologies fondamentales ont été développées à un niveau satisfaisant dans la littérature, en particulier DOLCE (the Descriptive Ontology for Linguistic and Cognitive Engineering) (Masolo et al, 2003), GFO (the General Formal Ontology) (Heller et Herre, 2003), OCHRE (the Object-Centered High-level Reference Ontology) (Masolo et al, 2003), SUMO (the Suggested Upper Merged Ontology) (Niles et Pease, 2001) and BFO (the Basic Formal Ontology) (Masolo et al, 2003).

Comme les ontologies fondationnelles sont des systèmes complexes, deux éléments cruciaux doivent être pris en compte pour en choisir une : l'ontologie doit fournir un ensemble de distinctions conceptuelles riche (au moins, par rapport au domaine de l'application) et toutes les caractéristiques dont on a besoin doivent être clairement caractérisées (ou caractérisables). Nous avons choisi de travailler avec DOLCE parce que cette ontologie fournit un certain nombre de concepts de haut niveau utiles à notre application. DOLCE distingue entre les objets (comme les substances) et les événements, et fournit aussi des définitions concernant les caractéristiques d'objets : attribut, valeur, qualité.

L'ontologie présentée ici est l'ontologie noyau (Gangemi et al, 2001) de la méthode TRIZ, elle tend à spécifier les notions de bases qui jusqu'alors étaient informelles, elle assure que les experts aient une compréhension commune et précise de ces dites notions et elle assure également que les notions complémentaires soient cohérentes. Cette ontologie sera complétée, lorsqu'on lui adjoindra les notions qui existent plus ou moins explicitement dans les autres sources de connaissances disponibles.

3.2 La sous-ontologie du modèle TRIZ du système

La Fig. 1 montre la sous-ontologie du modèle TRIZ du système.

Un des principes fondamentaux de la TRIZ est de placer l'objet technique de l'étude au cœur de sa problématique d'évolution. Une première approche consiste donc à identifier cette notion de Système Technique (*TRIZ System Model*) objet de l'étude au travers d'une définition classique de la systémique « ensemble d'éléments qui, de par leur association, possèdent une fonction supplémentaire à la simple addition de leurs fonctions respectives ». Dans la TRIZ, cette association passe par l'identification des principaux constituants d'un système : L'élément Moteur (*Engine*) censé recevoir l'énergie et la transmettre à l'élément Travail (*Work*) par l'intermédiaire d'un élément Transmission (*Transmission*). Au moins un de ces trois éléments se doit d'être contrôlable par un quatrième élément, le Contrôleur (*Control*) qui par ses capacités d'auto-ajustement, permettra à la Fonction Principale du Système (*Main Useful Function*) ainsi identifiée d'être effective.

⁴ Les concepts définis par ce type d'ontologie sont considérés comme génériques à travers tous les champs d'applications. Connues aussi sous le nom d'ontologies génériques, de haut niveau ou ontologies supérieures, elles définissent les concepts les plus généraux et les primitives qui les relient (Gangemi et al, 2001).

Nous sommes donc en présence d'une relation entre un « Outil » (dont l'identification des composantes fera un système technique) agissant sur un Objet (*Product*) par le biais de sa Fonction Principale Utile.

La tâche d'identification du modèle et des ses constituants permet de se positionner par rapport à la loi d'intégralité: la première des 8 lois d'évolution des systèmes techniques selon la TRIZ (Althshuller, 1984, 2000), qui dit que tous les éléments doivent être présents. L'intégralité des parties est donc une condition indispensable à la suite d'une étude.

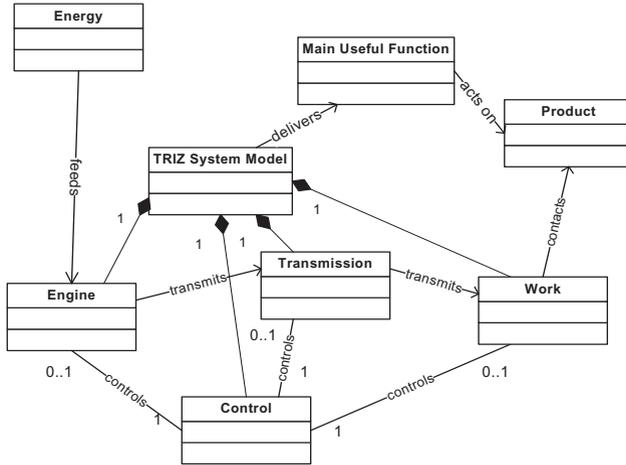


FIG. 1 – La sous-ontologie du modèle TRIZ du système

3.3 La sous-ontologie des ressources

La Fig. 2 décrit la sous-ontologie des ressources.

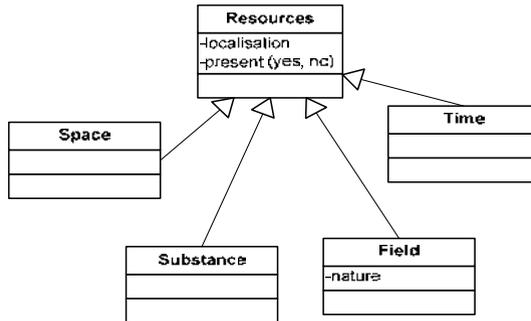


FIG. 2 – La sous-ontologie des ressources

Un des axiomes de la TRIZ (l'axiome des conditions spécifiques) précise que tout système technique sujet à un problème lié à son évolution doit, durant le processus de résolution de ce problème, réduire l'espace de recherche de la solution par la synthèse organisée des éléments dont il dispose dans son environnement.

Il convient donc dans une étude de faire l'inventaire des "ressources" dont le système étudié dispose, pour pouvoir les utiliser lors de sa résolution ou pendant l'élaboration des modèles de solution potentiels.

Ces ressources ont été catégorisées en 4 familles, les ressources « d'espace » ou *Space* (des lieux, des zones, des espaces libres,...) ; les ressources de « substances » ou *Substance* (tout élément physique dans l'environnement ou à l'intérieur du système étudié) ; les ressources de « champs » ou *Field* (tout champ physique accessible de l'environnement, mécanique, thermique, chimique, électrique ou magnétique) ; les ressources « temporelles » ou *Time* (instants, intervalles de temps entre actions,...).

3.4 La sous-ontologie des modèles substances-champ

La Fig. 3 montre la sous-ontologie des modèles substances-champ.

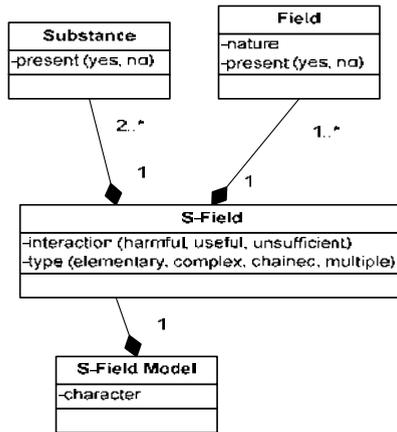


FIG. 3 – La sous-ontologie des modèles substances-champ

La nécessité d'observer un système technique de façon « atomique » pour mieux s'abstraire de l'inertie imposée par nos perceptions morphologiques et fonctionnelles de l'objet, a poussé les fondateurs de la TRIZ à élaborer un mode de modélisation appelé «Substances-Champ » (*S-Field* dans notre ontologie) quelques fois encore appelé « vépole ».

Cette façon de modéliser part de l'hypothèse de la TRIZ que l'association physique la plus élémentaire doit comporter au moins deux « substances » (des systèmes, des solides, des liquides, des gaz) l'une « outil » et l'autre « objet » ; ainsi qu'un « champ » physique représentatif de l'action de l'outil vers l'objet. Un certain nombre de problèmes formulés en termes de « Substances-Champ » ont déjà été résolus en utilisant des principes physiques, ils

sont capitalisés dans les bases de connaissances TRIZ, ils vont fournir des pistes sérieuses à explorer pour résoudre le problème.

Cette modélisation simple (*S-Field* élémentaire) a évolué pour prendre en compte des situations particulières ou plus complexes. Cela a donné lieu à l'apparition de différents types de *S-Fields*, complexe, en chaîne, composé ...

3.5 La sous-ontologie des contradictions et paramètres

La Fig. 4 montre la sous-ontologie des contradictions et paramètres.

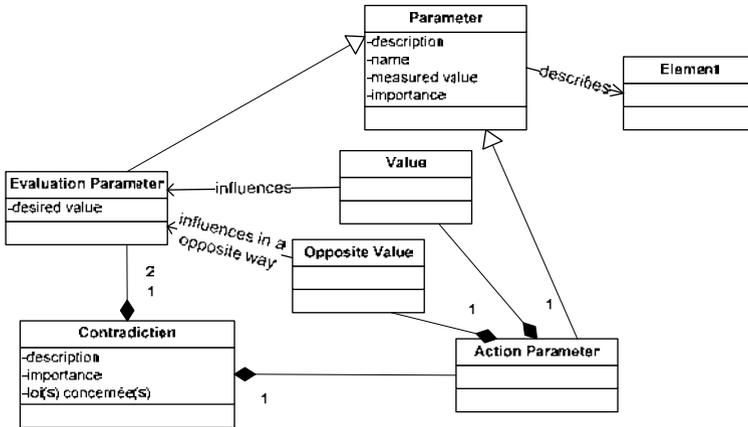


FIG. 4 – La sous-ontologie des contradictions et paramètres

La contradiction (*Contradiction*) est fondamentale. Tout problème, dans sa formulation selon la TRIZ, peut se réduire à la formulation d'une contradiction. Les contradictions sont définies grâce à 3 concepts: « élément », « paramètre », « valeur ».

- Les Eléments (*Element*) sont des constituants d'un système. Dans les textes, ils s'expriment souvent par des groupes nominaux, la plupart du temps compléments d'objet d'un verbe d'action (par exemple : dans « le marteau enfonce le clou » marteau est un élément)

La nature des éléments peut à tout moment changer en fonction de la description qui en est donnée. Ainsi le marteau enfonce le clou peut devenir, avec le point de vue d'un autre expert « l'enclume enfonce le clou ». Dans ce cas, enclume est un élément. Pour un troisième expert, « l'homme enfonce le clou », etc.... Il est important, lorsque des situations identiques sont décrites avec des points de vues différents, d'organiser le consensus en forçant la reformulation au sens de la physique et de la décomposition systémique qui aura été préalablement faite.

- Les paramètres (*Parameter*) qualifient les éléments en leur attribuant une spécificité qui, associée à l'élément, traduit une connaissance explicite du domaine observé. Ils s'expriment souvent par des noms ou des adverbes. Leurs expressions sont

multiples, parfois contradictoires lorsque exprimées par des experts différents. On les range dans deux catégories distinctes:

- Les Paramètres d'Action (*Action Parameter* ou PA), vis-à-vis desquels le concepteur a un pouvoir de modification (le concepteur peut faire le choix de concevoir une enclume de gros volume ou de petit volume, dans ce cas, volume est un PA).
- Les Paramètres d'Évaluation (*Evaluation Parameter* ou PE), dont la nature réside dans la capacité à évaluer l'aspect positif résultant d'un choix du concepteur. Concevoir une enclume à masse importante permet d'augurer une bonne aisance d'enfonçage; dans ce cas, "aisance d'enfonçage" est un PE).
- Les valeurs (Value et Opposite Value) sont principalement des adjectifs employés pour qualifier un paramètre (le volume de l'enclume doit être important ; dans ce cas, "important" est une valeur). Notons que l'aspect fondamental de la notion de contradiction réside dans l'opposition des valeurs et dans le fait qu'il faut expliciter deux valeurs opposées. Si V dans un état entraîne des aspects positifs, alors il est indispensable pour aboutir à une contradiction d'investiguer l'opposé⁵ de V ($\neg V$) pour mettre en évidence et avérer les aspects contradictoires de l'analyse. Ainsi, une enclume de volume important entraîne une "aisance d'enfonçage" et une enclume de volume faible entraîne une "aisance de manipulation" (dans ce cas, "important" est une valeur et "faible" est la valeur opposée).

Enfin une dernière étape pour mettre en évidence la notion de contradiction est de vérifier la réversibilité des affirmations. Est-ce qu'une masse d'enclume importante entraînera invariablement une mauvaise aisance de manipulation? Est-ce qu'une masse faible entraînera invariablement une mauvaise aisance d'enfonçage ? Si la réponse est oui dans les deux cas, la contradiction peut-être consignée, elle est une modélisation partielle des connaissances associées à la description des problèmes liés à l'évolution du marteau.

3.6 Les liens entre les sous-ontologies

La Fig. 5 montre les liens entre les sous-ontologies, en donnant une vision complète de toute l'ontologie développée.

Les liens importants à prendre en compte sont :

- Les classes *Substance* et *Field* sont réutilisées dans la sous-ontologie des modèles substances champ et dans la sous-ontologie des ressources.
- Une composition de *Substances* forme un *Element*.
- *Energy* dans le modèle TRIZ du système est une sous-classe de *Field*.
- *Product* et *Work* dans le modèle TRIZ du système sont des sous-classes de *Substance*.
- *Work* joue le rôle de la substance 1 et *Product* joue le rôle de la substance 2 dans un *S-Field*.

⁵ Son antonyme au sens de la linguistique.

Acquisition et exploitation des connaissances pour la conception inventive

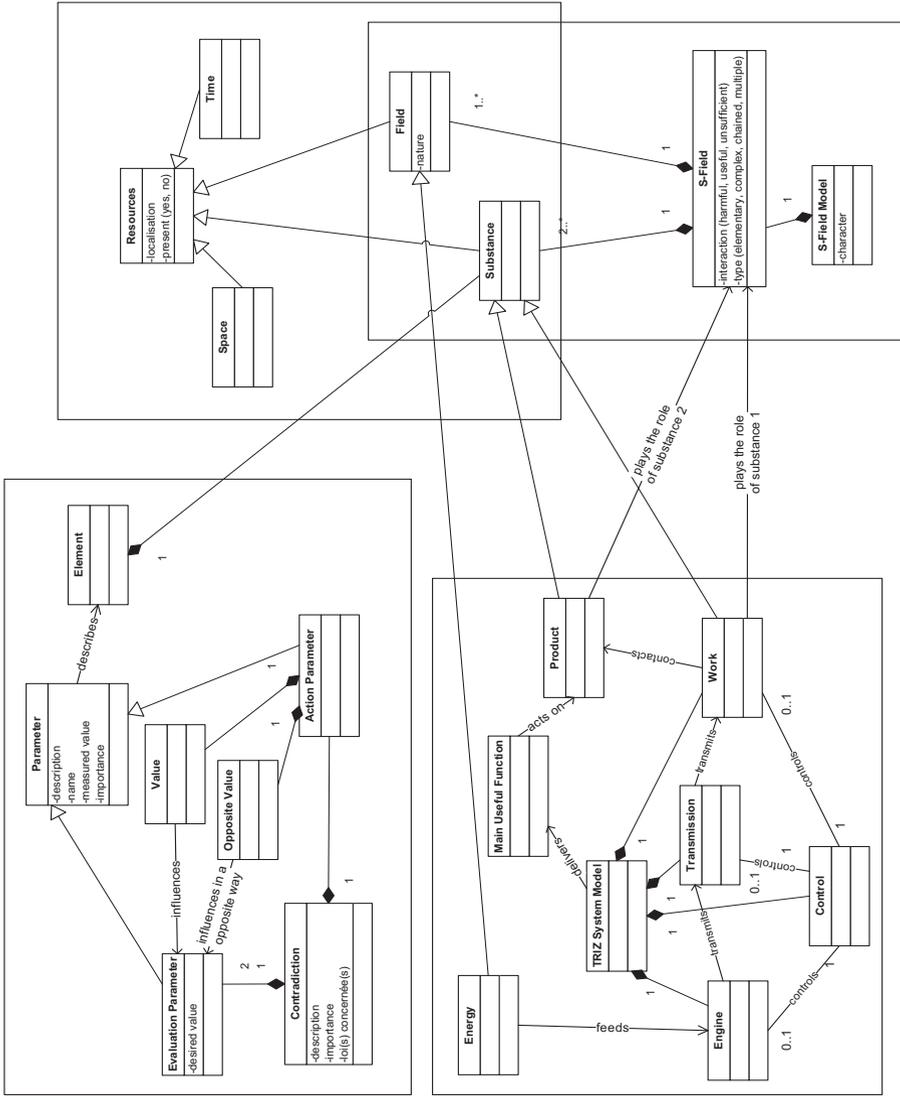


FIG. 5 – L'ontologie complète

4 Caractérisation formelle

Comme nous l'avons précisé dans la section 2, nous avons choisi DOLCE (Masolo et al, 2003) comme ontologie fondationnelle avec laquelle nous essayerons d'aligner la nôtre.

Nous donnons par la suite une description informelle et partielle des prédicats principaux de DOLCE qui capturent les concepts de notre ontologie. Le lecteur intéressé à la caractérisation formelle de ces prédicats peut se référer à la bibliographie pertinente (Gangemi et al, 2002 ; Masolo et al, 2003).

- Les *Particulars* (PT(x)) : Ils représentent l'ensemble des entités classées par les concepts de DOLCE, ou en d'autres mots, ils représentent le domaine de DOLCE.
- Les *Endurants* (ED(x)) : Ce sont des entités qui « existent dans le temps » et dont toutes les parties sont présentes dès lors que l'entité est présente (les objets, les substances, mais aussi les idées).
- Les *Physical Endurants* (PED(x)) : Ce sont des *Endurants* qui ont une localisation physique directe.
- Les *Mental Objects* (MOB(x)) : Ce sont des *Non-Physical Objects* qui ne sont pas génériquement dépendants d'une communauté d'agents. Une expérience privée est, par exemple, un Mental Object.
- Les *Qualities* (Q(x)) : Elle peuvent être considérées comme les qualités basiques d'objets qui peuvent être perçues ou mesurées, telles que les formes, les couleurs, les tailles, les parfums, et aussi les poids, les longueurs, les charges électriques ...

L'intégration de notre ontologie dans DOLCE va consister à définir pour le(s) concept(s) de plus haut niveau de chaque sous-ontologie quel(s) concept(s) de DOLCE le subsume.

- Pour la sous-ontologie du Modèle TRIZ du système, le concept de plus haut niveau est *TRIZ System Model*.
- Pour la sous-ontologie des Ressources, le concept *Resource*
- Pour la sous-ontologie des modèles Substances-Champ, le concept *S-Field Model*.
- Pour la sous-ontologie des Contradictions et des Paramètres, plus complexe, nous considérerons les concepts de plus hauts niveaux *Parameter* et *Contradiction*

Un modèle TRIZ du système est un *Endurant*, dans le sens où il s'agit d'un objet réel composite qui a une certaine durée d'existence, un système technique construit par l'homme.

$$TRIZ_System_Model(x) \Rightarrow ED(x)$$

Un modèle TRIZ du système est composé d'un moteur, d'une transmission, d'un contrôle et d'un travail. Le contrôle est censé contrôler, au moins, une des autres trois composantes.

$$\begin{aligned}
 TRIZ_System_Model(x) &\Rightarrow \exists m, c, t, w / x = (m, c, t, w) \wedge Engine(m) \wedge \\
 &\quad Control(c) \wedge Transmission(t) \wedge Work(w) \\
 Control(c) &\Rightarrow \exists m / Engine(m) \wedge Controls(c, m) \vee \\
 &\quad \exists t / Transmission(t) \wedge Controls(c, t) \vee \\
 &\quad \exists w / Work(w) \wedge Controls(c, w)
 \end{aligned}$$

Aussi, un modèle TRIZ du système entraîne des relations avec le produit, la fonction principale utile et l'énergie. L'énergie qui alimente le moteur circule entre la transmission et le moteur aussi.

Acquisition et exploitation des connaissances pour la conception inventive

$TRIZ_System_Model(x) \Rightarrow \exists f, Main_Useful_Function(f) \wedge Delivers(x, f)$
 $Main_Useful_Function(f) \Rightarrow \exists p, Produit(p) \wedge Acts_on(f, p)$
 $Energy(e) \Rightarrow \exists m, Engine(m) \wedge Feeds(e, m)$
 $Engine(m) \Rightarrow \exists p, Product(p) \wedge Contacts(m, p)$
 $Engine(m) \Rightarrow \exists t, Transmission(t) \wedge Transmits(m, t)$
 $Transmission(t) \Rightarrow \exists w, Work(w) \wedge Transmits(t, w)$

Une ressource est un *Particular*. En effet, une ressource peut être tout objet, élément physique, événement, temps, endroit, etc. L'espace, le temps, les substances et les champs sont des ressources.

$Resource(x) \Rightarrow PT(x)$
 $Space(x) \Rightarrow Resource(x)$
 $Time(x) \Rightarrow Resource(x)$
 $Substance(x) \Rightarrow Resource(x)$
 $Field(x) \Rightarrow Resource(x)$

Un *S-Field Model* est un *Physical Endurant*, parce qu'il s'agit d'un objet réel composite qui a une certaine durée d'existence, c'est une représentation physique du problème réel.

$S-Field_Model(x) \Rightarrow PED(x)$

Un *S-Field Model* est une composition de *S-Fields*. Chacun d'entre eux est composé de, au moins, deux substances et d'un champ.

$S-Field_Model(s) \Rightarrow \exists v1, \dots, vn / s = (v1, \dots, vn) \wedge S-Field(v1), \dots, S-Field(vn)$
 $S-Field(v) \Rightarrow \exists ! s1, s2, f / v = (s1, s2, f) \wedge Substance(s1) \wedge Substance(s2) \wedge Field(f)$

Il existe aussi des relations entre les objets et les éléments travail et les modèles substances-champ

$S-Field(s) \Rightarrow \exists x / Work(w) \wedge plays_the_role_of_substance_1(w, s)$
 $S-Field(s) \Rightarrow \exists p / Product(p) \wedge plays_the_role_of_substance_2(p, s)$

Une contradiction est un *Mental Object* avec des relations avec des *Physical Endurants*.

$Contradiction(x) \Rightarrow MOB(x)$
 $Parameter(x) \Rightarrow PED(x)$

Les paramètres d'action et d'évaluation sont des paramètres. Un paramètre d'action est composé d'une valeur et de sa valeur opposée. Il existe des relations entre ces valeurs et les paramètres d'évaluation.

$Evaluation_Parameter(x) \Rightarrow Parameter(x)$
 $Action_Parameter(x) \Rightarrow Parameter(x)$
 $Action_Parameter(x) \Rightarrow \exists a / x = (a, -a) \wedge Value(a) \wedge Opposite-Value(-a)$
 $Value(v) \Rightarrow \exists p / Evaluation_Parameter(p) \wedge Influences(v, p) \wedge Influences_in_an_opposite_way(-v, p)$

Un élément décrit par un paramètre est composé d'un ensemble de substances.

$Parameter(p) \Rightarrow \exists e / Element(e) \wedge Describes(p, e)$

$$\begin{aligned} \text{Element } (e) &\Rightarrow \exists s1, \dots, sn / \text{Substance } (s1) \wedge \dots \wedge \text{Substance } (sn) \wedge \\ &e = (s1, \dots, sn) \end{aligned}$$

5 Un exemple d'application : le cas des palmes

Nous présentons ici un exemple d'application, illustrant très simplement la démarche d'acquisition des connaissances et le choix des instances pour peupler l'ontologie présentée dans la section 4. Bien que cela dépasse le cadre de l'acquisition des connaissances, nous présentons, à la fin de la section, une piste de résolution du problème posé.

5.1 Le problème

Une référence produit existante dans une société fabricant des palmes haut de gamme se trouve de plus en plus aux prises à la concurrence (palmes moins chères sur le marché). La baisse des ventes est significative. Parmi plusieurs stratégies possibles, la décision est prise de se placer dans une logique d'innovation et de proposer un produit réellement inventif se démarquant de la concurrence.

5.2 Le choix des instances

L'acquisition des connaissances débute avec le choix des concepts Outil⁶ et Objet (*Product*), comme précisé dans la sous-section 3.2. Dans notre cas, la Palme (objet de l'étude) représente l'Outil: la palme pousse l'eau. La Fig. 6 montre les instances choisies pour le modèle à cette étape⁷.

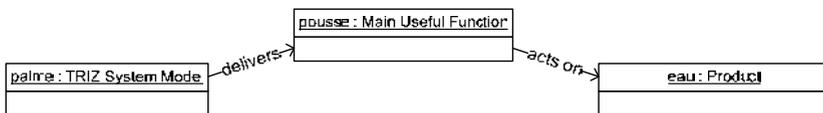


FIG. 6 – Modélisation Outil – Objet

Une fois l'Objet isolé de son contexte, il faut le décomposer en éléments destinés à exprimer les différents rôles conduisant à la réalisation de la Fonction Principale Utile. Il convient donc d'identifier les 4 éléments qui le constituent ainsi que l'énergie qui l'alimente (Fig. 7).

⁶ Les experts TRIZ utilisent indistinctement les concepts « Outil » et « Système Technique ». En effet, l'outil devient un système technique quand on construit son modèle.

⁷ Nous avons choisi de représenter les instances dans des diagrammes d'objets « à l'UML »

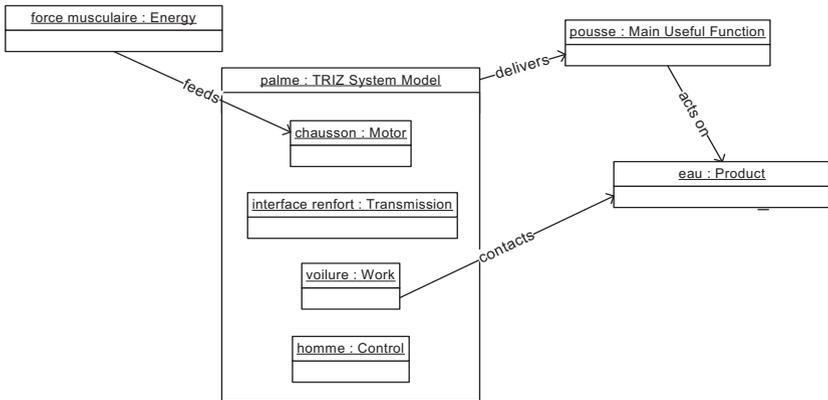


FIG. 7 – Utilisation de la Loi d'Intégralité des Systèmes Techniques

Différentes aides conceptuelles, comme le schéma multi-écrans selon Althshuller (1984, 2000), permettent de compléter l'acquisition des connaissances, par la collecte des paramètres potentiellement importants pour la résolution du problème. Ceux qui sont finalement retenus sont présentés⁸ dans la Fig. 8.

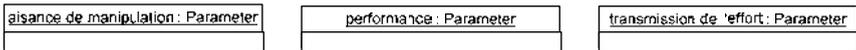


FIG. 8 – Paramètres retenus

La collecte des paramètres représentatifs des évolutions du système réalisée lors de la dernière étape doit maintenant être travaillée de manière à formuler les contradictions présentes dans le système et bloquant son évolution. Pour ce faire, on va mettre en évidence les relations entre les paramètres. Ce sera également l'occasion de reformuler certains d'entre eux. On décide également de leur statut: si ce sont des paramètres d'action ou d'évaluation. On en élicite éventuellement de nouveaux, on les regroupe en cas de redondance ou encore on en décompose certains s'ils semblent génériques.

Le diagramme suivant (Fig. 9) décrit les influences positives (respectivement négatives) des paramètres d'action sur les paramètres d'évaluations sur lesquels ils agissent, avec une sémantique du type « Si ... alors ... ».

⁸ Le processus de sélection peut être assez long et nécessiter des discussions entre différents spécialistes, les outils conceptuels de la TRIZ aident à trouver un consensus.

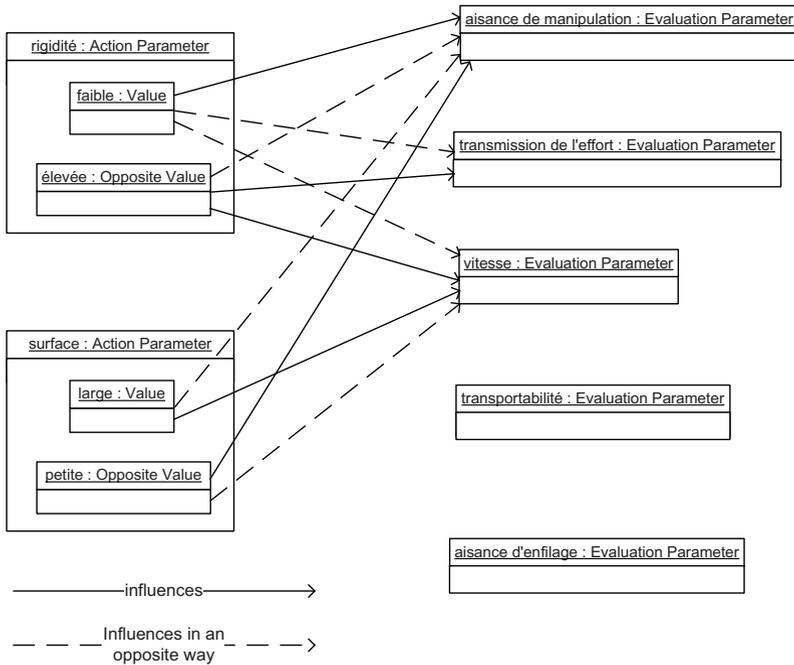


FIG. 9 – Paramètres d'action et d'évaluation

Les relations d'influence étant analysées, il est alors possible d'extraire des contradictions : pour chaque paramètre d'action PA_i , on forme autant de couples (PA_i, PE_j) qu'il y a de PE influencés par PA_i , par exemple, [Rigidité, Aisance de manipulation] ou [Rigidité, Transmission d'effort]. Les contradictions résultent de la synthèse de ces couples, avec un paramètre d'action et deux paramètres d'évaluation (influencés de façon opposée par le paramètre d'action).

La Fig. 10 présente les contradictions synthétisées. Cette synthèse (c'est à dire, l'ajout des instances du concept « Contradiction ») peut être faite de façon automatique.

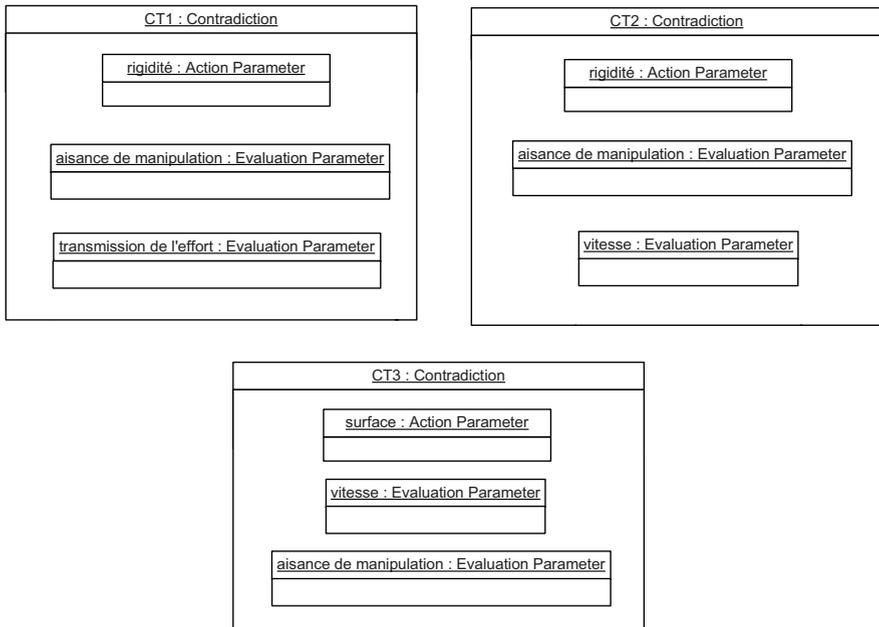


FIG. 10 – Les contradictions synthétisées

5.3 La solution

La dernière étape de la sous-section 5.2 finalise le processus d'acquisition des connaissances. Dans notre cas, les contradictions formulées vont permettre d'induire un processus de résolution qui débute par le choix de la contradiction à traiter. Ce choix peut se faire de diverses manières comme par exemple en pondérant les constituants des contradictions et en rangeant les contradictions du domaine exploré par ordre d'importance.

Dans notre cas, on va traiter la contradiction CT1 et satisfaire les deux PE (aisance de manipulation et transmission de l'effort) en utilisant les bases de connaissance de la TRIZ, en particulier, les principes et les méthodes suivantes :

- P29 : Système hydraulique ou pneumatique : a) Remplacer les parties solides d'un objet par du gaz ou du liquide, notamment par des parties gonflables, pouvant être remplies d'eau, hydrostatiques et hydro réactives, coussin d'air...
- P30 : Membrane flexible et film de faible épaisseur : a) Remplacer les parties solides d'un objet par des membranes flexibles et des films de faible épaisseur.
- M8 : Usage de la ressource de champ (effort mécanique de la jambe), il doit induire le passage de Rigide à Flexible. Nous nous posons la question sur l'opportunité de l'usage d'une substance qui, sous l'effet d'un champ mécanique, permet de faire varier sa rigidité. On trouve alors une réponse en

physique: les propriétés rhéoépaississantes. Certains fluides dilatants ont une viscosité apparente qui croît quand la contrainte de cisaillement augmente. On observe ce type de comportement, par exemple, avec des solutions aqueuses d'amidon ou avec du sable et du quartz dans l'eau.

La résultante de ces éléments apparaît être la construction d'une voilure souple quadrillée de nervures tubulaires remplies d'un fluide rhéoépaississant (Fig. 11).

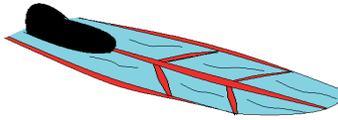


FIG. 11 - Concept Inventif résolvant la CTI

6 Conclusions

Le contexte particulier d'acquisition des connaissances étudié ici privilégie les connaissances orientées changement. Le processus d'acquisition est dirigé par des connaissances et des heuristiques TRIZ qui parfois génèrent de légères modifications du modèle et qui peuvent parfois amener à un changement de point de vue radical et donc à un bouleversement du modèle. Les changements de points de vues sont en effet féconds pour découvrir de nouvelles idées, selon Visser (2006). Précisons que notre approche ontologique concerne les concepts de la TRIZ, elle ne contraint ni ne fige les points de vue lors de la conception.

L'étude de plusieurs applications de la TRIZ (et d'OTSM-TRIZ) nous a permis de constater que le processus d'acquisition des connaissances effectué par les experts TRIZ est fort différent de ceux qui sont habituellement à l'œuvre en Ingénierie des Connaissances.

Alors que, dans la communauté des ontologies, lorsqu'on veut modéliser les connaissances d'un domaine, on fait l'hypothèse que le modèle doit refléter la réalité (Guarino 1994), les entités du domaine perçues comme des entités réelles stables dans le temps et possédant des caractéristiques intrinsèques, dans les méthodes basées sur la dialectique, les entités intéressantes à repérer sont essentiellement les paramètres de certains⁹ éléments du système considéré qui génèrent des contradictions, lorsqu'on les modifie dans un sens ou dans un autre.

Dans ce contexte, l'expert qui recueille les connaissances se focalise donc dans un premier temps sur un nombre restreint de paramètres et assez peu sur les éléments caractérisés par ces paramètres. Le processus d'acquisition est **partiel** : il n'est pas question de donner un modèle complet et détaillé des connaissances du domaine, mais seulement d'y décrire les connaissances susceptibles d'évolution dans le futur et leurs influences mutuelles. Le processus d'acquisition est **dynamique**, le point de vue sur le problème des participants à l'application pouvant changer.

⁹ On ne retient que les éléments ayant un rapport avec une fonction ou une sous-fonction relevée dans le système, intéressante par rapport aux besoins de l'utilisateur.

Nous avons réalisé un prototype logiciel nommé KAID (Knowledge Acquisition for Inventive Design) (Zanni et al, 2008) qui s'appuie sur l'ontologie. La formalisation des notions fondamentales de la TRIZ était un préalable à la réalisation d'un logiciel permettant d'assister l'application de la méthode. Les réactions positives de plusieurs utilisateurs qui ont utilisé le logiciel constituent pour nous une première évaluation de la cohérence et de la qualité de l'ontologie. Conscients que celle-ci ne reflète qu'un consensus au sein de notre laboratoire, nous la soumettons actuellement à discussion dans un Wiki accessible aux chercheurs.¹⁰

Nous avons présenté ici pour des raisons de place une problématique simplifiée où le problème consiste en un nombre restreint de contradictions, l'ontologie complète comporte des notions supplémentaires.

En effet, certains praticiens de la TRIZ travaillent depuis un certain temps à la définition d'un élargissement de la méthode initiale pour traiter des problèmes plus complexes et des problèmes qui dépassent le simple champ disciplinaire des sciences pour l'ingénieur. Cette théorie étendue, appelée OTSM-TRIZ (Cavallucci et Khomenko, 2006 ; Khomenko et Ashtiani, 2007), a pour vocation d'aborder les problèmes mettant en jeu un nombre considérable (>100) de paramètres, de contradictions et d'interactions et concernant des domaines autres que les domaines techniques: informatique, problèmes organisationnels etc. L'ontologie complète inclut donc les concepts liés à OTSM-TRIZ.

Pour gérer de gros ensembles de contradictions, on est amené à construire et à manipuler plusieurs réseaux qui permettent de visualiser les **problèmes** en jeu et les **solutions partielles** existantes, les **paramètres** et leurs influences mutuelles, puis le **réseau des contradictions**. Le **réseau d'influence des paramètres**, qui décrit les influences qu'ils ont les uns sur les autres, est le reflet des connaissances et des évolutions possibles du domaine.

L'explicitation des réseaux est, en général, un processus pluridisciplinaire, faisant intervenir plusieurs spécialistes de domaines différents. C'est aussi un processus long et sujet à de fréquentes itérations qui est facilité par l'utilisation du logiciel réalisé.

Le prototype KAID assiste donc les experts dans les différentes phases de l'acquisition: construction du modèle, extraction des contradictions, manipulations des différents graphes, il permet également de vérifier la cohérence et la complétude des contradictions. Il permet la construction collaborative d'un modèle commun. Il permet de mettre en œuvre tous les concepts présentés ici, il aide à visualiser les différents modèles. Dans les problèmes complexes, les contradictions sont nombreuses et interdépendantes. Disposer de méthodes et d'outils favorisant la recherche de la contradiction clé devient une nécessité.

Références

- Altshuller G. (2000). *The innovation algorithm: TRIZ, systematic innovation and technical creativity*. Translated from russian by Shulyak L. and Rodman S.
- Altshuller G. (1984). *Creativity as an Exact Science*. Gordon and Breach Scientific Publishers, New York.

¹⁰ <https://scriabine.insa-strasbourg.fr:8443/webprotege/WebProtege.html>

- Cavallucci D. and Khomenko N. (2006). *From TRIZ to OTSM-TRIZ: Addressing complexity challenges in inventive design*. International Journal of Product Development, 4. N°1-2, 2006.
- Dubois S., Lutz P., Rousselot F. and Vieux, G. (2007). *A model for problems' representation at various generic levels to assist inventive design*. International Journal of Computer Applications in Technology 30, pp 105-112, 2007
- Gangemi A., Guarino N., Masolo C. Oltramari A., Schneider, L. (2002). *Sweetening Ontologies with DOLCE*, Proceedings of the 13th International Conference on Knowledge Engineering and Knowledge Management. Ontologies and the Semantic Web, pp 166-181.
- Gangemi N., Guarino N., Masolo C. Oltramari A. (2001). *Understanding Top-Level Ontological Distinctions*. Workshop on Ontologies and Information Sharing, IJCAI 2001.
- Guarino N. (1994) *The Ontological Level*. Dans Casati R., Smith B. and White G. (eds.), Philosophy and the Cognitive Science. Holder-Pivhler-Tempsky, Vienna, pp. 443-456.
- Guenebaut A., Barth M., De Guio R. (2006). *Towards A Reference Model For Problem-Solving In Manufacturing System Design*. 12th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing., St-Etienne, France. 17-19 May 2006.
- Heller B., Herre H. (2003). *Ontological Categories in GOL*. Axiomathes, Volume 14, Numbers 1-3, January 2003 , pp. 57-76(20)
- Khomenko N., Ashtiani M., (2007). *Classical TRIZ and OTSM as a scientific theoretical background for non-typical problem solving instruments*. World Conference TRIZ Future 2007; Frankfurt, Germany.
- Kucharavy, D. and De Guio, R. (2008). *Technological forecasting and assessment of barriers for emerging technologies*. Proceedings of IAMOT 2008, pp. 20.
- Lenat D. B. (1983). *Eurisko : A program which learns new heuristics and domain concepts*. Artificial Intelligence, 21 :691-697.
- Masolo C., Borgo S., Gangemi A., Guarino N., Oltramari A., Schneider L. (2003). *The WonderWeb Library of Foundational ontologies and the DOLCE ontology*. WonderWeb Deliverable D18, final report (vr. 1.0, 31-12-2003).
- Niles I., Pease A. (2001). *Towards a Standard Upper Ontology*. Proceedings of FOIS 2001, pp. 57-7.
- Pitrat J. (1995). *MACISTE, a Reflexive System*. Dans IJCAI 95, Workshop on Reflection and Meta-level Architecture and their Application in Artificial Intelligence.
- Rousselot F., Zanni C. (2006). *La Conception Innovante : synthèse de systèmes ou résolution de problèmes?*. Proceedings de IC2006 - 17e journées francophones d'Ingénierie des connaissances.
- Rumbach, J., Jacobson, I., Booch, G. (2004) *The Unified Modelling Language Reference Manual (2nd edition)*. Addison Wesley Professional.

Simondon G. (1958). *Du mode d'existence des objets techniques*. Paris, Aubier, 1958 (rééd. 1989), ISBN 2-7007-3414-9.

Visser W. (2006). *The Cognitive Artefacts of Designing*. LEA Publishers 280 p ISBN/ISSN 0-8058-5511-4.

Zanni C., F. Rousselot F. (2006). *Towards the Formalization of Innovating Design: The TRIZ example*. Proceedings de KES2006- 10th International Conference on Knowledge-Based & Intelligent Information & Engineering Systems.

Zanni C., Rousselot F., Cavallucci D. (2008). *KAID: A tool for conducting the use of inventive design in leading complex studies*. Proceedings de SKIMA 08, Kathmandu, Nepal.

Summary

Knowledge acquisition to solve problems concerning artefact evolution, still called inventive design, has a certain quantity of specific characteristics. Certain pieces of knowledge that may induce evolutions are selected; the initial problem is reformulated to build an abstract model of the considered artefact.

The inventive design method that we study here, called TRIZ, has not been formalized yet. Therefore, we propose an ontology whose main notions support a software environment for knowledge acquisition and problem formulation. The acquired knowledge is, evidently, reusable for future applications.