

Comparaison des modes de résolution de méthodes d'optimisation et d'invention

IVANA RASOVSKA¹, SEBASTIEN DUBOIS², ROLAND DE GUIO³

INSA DE STRASBOURG

24 boulevard de la Victoire, F-67000 Strasbourg

¹ivana.rasovska@insa-strasbourg.fr

²sebastien.dubois@insa-strasbourg.fr

³roland.deguio@insa-strasbourg.fr

Résumé – Dans la résolution des problèmes de conception, l'idée de proposer un modèle unifié de représentation des problèmes pour être utilisé à la fois par les approches d'optimisation et d'invention se révèle très prometteuse. Les deux approches sont en effet complémentaires et l'évolution des systèmes techniques passe par des phases successives d'optimisation et d'invention. Dans un article précédent, les parallèles entre les modèles de représentation des problèmes ont été établis. L'objectif de cet article est de présenter les différences et les complémentarités entre les modes de résolution de problèmes issus de l'optimisation et de l'invention. Cette analyse se fait à travers l'étude des mécanismes de changement de modèle de la résolution des problèmes par contraintes (CSP) et de la théorie de résolution des problèmes d'invention (TRIZ). Afin d'être en mesure de comparer les mécanismes de changement de modèle, les espaces de connaissances parcourus par ces changements de modèle seront décrits et comparés.

Abstract – In the domain of conception problem solving, the idea to propose a unified representation model of problems in order to be used by both optimisation and invention solving methods is well promising. These two approaches are actually complementary as the evolution of technical systems is due to successive stages of optimization and invention. In a previous article, the parallels between the models of problems' representation have been established. The purpose of this article is to present differences and complementarities between the problem solving methods from optimization and invention approaches. This analysis results from the study of mechanisms of model changes issued from Constraint Satisfaction Problem (CSP) and from theory of resolution for inventive problems (TRIZ). To be able to compare the mechanisms of model change, the knowledge space browsed by the model changes is described and compared.

Mots clés – TRIZ, CSP, méthodes de résolution des problèmes, espace des connaissances.

Keywords – TRIZ, CSP, problem solving methods, knowledge space.

1 INTRODUCTION

La résolution de problèmes occupe une place prépondérante dans les activités de conception (Bonnardel 2000; Gano 2000). Différentes méthodes et outils sont proposés pour formuler et résoudre les problèmes de conception. Parmi les différentes approches, une classification possible est de distinguer les méthodes d'optimisation de celles d'invention. « L'optimisation [...] consiste à trouver l'ensemble des valeurs des variables opératoires qui entraîne un état souhaité pour le système. » (Sado and Sado 2000). L'optimisation consiste à rechercher des valeurs pour un ensemble de variables fixé, une fois le problème modélisé, et sans remise en cause de ce modèle. Ces méthodes ont prouvé leur efficacité dans de nombreuses situations, mais ne permettent pas de résoudre l'ensemble des problèmes. Dans cet article, les problèmes qui ne peuvent être résolus par les méthodes d'optimisation seront considérés des problèmes d'invention.

Les méthodes sont variées et les manières de modéliser les problèmes le sont tout autant. Cela résulte du fait que les méthodes ont été développées de manière spécifique afin de répondre à des enjeux différents. Toutefois dans le cadre de la conception de systèmes techniques, il résulte que les problèmes sont abordés dans un premier temps sous l'angle de l'optimisation puis par une approche inventive s'il n'y a pas de solution satisfaisante identifiée. Actuellement il est donc nécessaire de passer d'un modèle de représentation des

problèmes spécifique à l'optimisation à un modèle spécifique aux méthodes d'invention. La question suivante se pose : est-il possible d'avoir un modèle unifié pour la résolution des problèmes d'optimisation et d'invention ?

La démarche de construction d'un tel modèle unifié est la suivante :

- l'analyse des différences entre les modèles et les outils de résolution de problèmes d'optimisation et ceux d'invention,
- l'analyse des différences entre les modes de résolution des problèmes par les outils d'optimisation et ceux d'invention.

Dans (Dubois et al. 2008), la description des similitudes et des différences entre les modèles de représentation de problèmes des CSP et de la TRIZ a été initiée. Elle sera poursuivie et renforcée ultérieurement.

Dans cet article les différences entre les modes de résolution des problèmes seront étudiées plus spécifiquement, en s'intéressant à nouveau aux outils des CSP, pour les approches d'optimisation, et à ceux de la TRIZ, pour l'invention. Le paragraphe 2 rappelle les conclusions sur la comparaison des modèles de représentation des problèmes. Le paragraphe 3 décrit les mécanismes de résolution des problèmes des CSP et le paragraphe 4 fait de même pour les mécanismes de résolution de la TRIZ. Le paragraphe 5 présente la comparaison des deux mécanismes de résolution des problèmes d'optimisation et d'invention. Les différences et les complémentarités des deux approches sont illustrées par

l'analyse des espaces de connaissances parcourus dans le paragraphe 6.

2 COMPARAISON DES MODELES DE REPRESENTATION DES PROBLEMES

Ce paragraphe reprend en synthèse les éléments présentés dans l'article (Dubois et al. 2008). Après avoir rappelé les modèles de représentation des problèmes des méthodes des CSP, puis ceux de la TRIZ, un tableau présentera les similitudes et les différences entre les deux modèles.

2.1 Modèles des CSP

Les méthodes de résolution des Problèmes de Satisfaction de Contraintes (CSP) sont considérées ici comme un outil de résolution des problèmes d'optimisation. L'approche CSP a des champs d'application très larges, comme le raisonnement temporel, les problèmes de planification ou les systèmes experts.

Les méthodes de résolution, dans les CSP,instancient les variables du problème par des valeurs satisfaisant les contraintes auxquelles le problème est soumis. La notion fondamentale dans l'approche CSP est celle de contrainte. Une contrainte est une relation entre un ensemble de variables, chacune prenant une valeur dans un domaine donné. La contrainte est une propriété qui doit être vérifiée ; elle restreint les valeurs possibles pouvant être prises par une variable. La plupart des méthodes de résolution des CSP sont basées sur les problèmes avec des contraintes unaires, i.e. qui portent sur une seule variable, ou binaires, qui portent sur deux variables. Cette restriction n'est pas limitative dans la mesure où chaque problème avec les contraintes n-aires peut être converti en problème avec les contraintes binaires (Bartak 2002). Dans cette optique, les domaines des variables peuvent être considérés dans notre cas comme une forme de contrainte unaire ; ils restreignent les valeurs que les variables peuvent prendre. Un modèle de problème de satisfaction de contraintes consiste en :

- un ensemble de variables $X=\{x_1,\dots,x_N\}$,
- pour chaque variable x_i , un ensemble D_i de valeurs possibles (son domaine),
- un ensemble de contraintes $C=\{c_1,\dots,c_k\}$ restreignant les valeurs pouvant être prises par les variables.

Une solution, en termes des CSP, est l'affectation d'une valeur de son domaine à chaque variable du problème, de sorte à ce que l'ensemble des contraintes soient satisfaites.

On dit qu'une affectation viole une contrainte lorsque toutes les variables d'une contrainte sont instanciées (ont une valeur associée) mais que la contrainte n'est pas satisfaite. Un problème est alors dit sans solution s'il n'existe aucune affectation totale (de toutes les variables) qui satisfait l'ensemble des contraintes (au moins une contrainte est violée). Ce problème est appelé « sur contraint » et peut évoquer les problèmes d'invention du fait que l'on ne trouve pas de solution au problème présenté par l'ensemble donné des variables, leurs domaines et les contraintes.

2.2 Modèles de la TRIZ

La TRIZ (acronyme russe pour Théorie de Résolution des Problèmes d'Invention) repose sur l'approche dialectique des problèmes (Altshuller 1988). Les axiomes de la TRIZ stipulent que l'évolution des systèmes techniques passe par l'identification puis la résolution de contradictions. Ces contradictions émanent de l'apparente impossibilité à satisfaire les besoins d'évolution dans un contexte spécifique donné.

La TRIZ propose différents niveaux de formulation des contradictions, dont seuls deux sont utiles à la résolution du problème : la contradiction technique et la contradiction physique. OTSM-TRIZ (Khomeenko et al. 2007) a été développé dans le but d'appliquer les axiomes de la TRIZ aux systèmes non techniques et propose en outre un système de contradiction qui lie les deux niveaux précédents de contradiction. La contradiction technique exprime l'opposition entre deux paramètres d'un système, et le fait que l'amélioration de l'un des paramètres entraîne la dégradation du second. La contradiction physique définit deux états contradictoires requis pour un seul et même paramètre. Le système de contradictions relie une contradiction physique à deux contradictions techniques, qui expriment pourquoi les deux états contradictoires sont requis. Les deux contradictions techniques sont complémentaires et correspondent à l'amélioration d'un premier paramètre qui entraîne la dégradation du second, et à sa réciproque, lorsque l'amélioration du second paramètre entraîne la dégradation du premier. Dans (Eltzer and De Guio 2007) les deux paramètres des contradictions techniques ont été nommés paramètres d'évaluation, car ils participent à la définition de l'objectif du problème à résoudre, tandis que le paramètre de la contradiction physique définit un moyen d'agir sur la situation, il est nommé paramètre d'action.

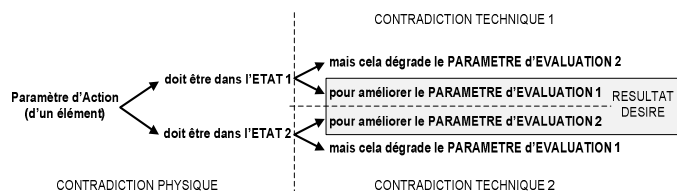


Figure 1. Système de contradictions

2.3 Synthèse

Les complémentarités et différences entre les modèles décrits précédemment vont être présentées ici. Les modèles de problèmes des CSP sont décrits par un ensemble de variables, qui peuvent représenter les paramètres physiques d'un système, et par les domaines des variables qui définissent les valeurs possibles de ces paramètres. Ensuite le modèle de problème CSP introduit un ensemble de contraintes portant sur ces variables et décrivant les relations entre les variables. Une contrainte peut ainsi décrire la relation entre les paramètres du système ; par exemple les conditions dans lesquelles ce système peut fonctionner. Une contrainte peut également décrire les objectifs du fonctionnement de ce système à l'aide d'une fonction objectif comme coût, efficacité etc.

Dans les modèles basés sur la TRIZ, deux types de paramètres sont définis (ceux d'évaluation et ceux d'action) ainsi qu'un ensemble de valeurs à satisfaire. Les paramètres d'évaluation et leurs valeurs requises définissent l'objectif de la résolution, tandis que les paramètres d'actions et leurs valeurs potentielles définissent différentes configurations possible du système.

Les paramètres dans les contradictions et les variables en CSP peuvent être appariés. La seule différence étant la distinction dans les approches basées sur la TRIZ des paramètres d'évaluation et d'action, qui n'existe pas en CSP. Cependant le paramètre d'évaluation peut se traduire dans CSP en définissant une contrainte unaire portant sur une variable représentant ce paramètre d'évaluation. La notion de contrainte binaire comme une relation entre deux variables dans CSP est proche de la notion de contradiction dans l'approche TRIZ du fait que le système des contradictions relie deux paramètres et évalue cette relation.

Tableau 1. synthèse

	TRIZ	CSP
Modélisation du système	Paramètres d'action Valeurs possibles des paramètres	Variables Domaines des variables (contraintes unaires)
	Lien entre contradiction physique et contradiction technique	Contraintes binaires
Objectif de la résolution	Paramètres d'évaluation et leurs valeurs requises	Variables Domaines des variables (contraintes unaires)

Dans la suite de l'article, sera considéré le problème décrit dans (Freuder and Wallace 1992) du choix de vêtements à coordonner. Il est demandé de choisir un pantalon, des chaussures et un tee-shirt. Les variables pour décrire le problème sont : la couleur du tee-shirt, la couleur du pantalon et le type de chaussures ; en considérant les domaines suivants (contraintes unaires) :

- domaine pour le tee-shirt : $T = \{\text{rouge, blanc}\}$
 - domaine pour le pantalon : $P = \{\text{bleu, jean, gris}\}$
 - domaine pour les chaussures : $C = \{\text{baskets, cuir}\}$
- Les contraintes binaires entre les variables sont :
- $C1 = C_{T,P} : \{(\text{rouge, gris}), (\text{blanc, bleu}), (\text{blanc, jean})\}$
 - $C2 = C_{C,P} : \{(\text{baskets, jean}), (\text{cuir, gris})\}$
 - $C3 = C_{T,C} : \{(\text{blanc, cuir})\}$

Le graphe des contraintes dans la figure 2 reprend l'ensemble des données du problème. Ce problème ne peut être résolu par les méthodes d'optimisation de base et doit donc être résolu par les méthodes CSP pour les problèmes sur-contraints ou par les méthodes pour les problèmes d'invention.

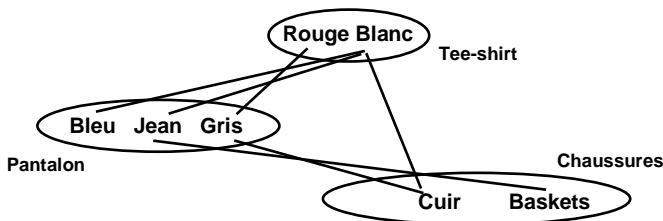


Figure 2. Graphe des contraintes du problème de sélection des vêtements

3 MODES DE RESOLUTION CSP

Il existe différents algorithmes qui permettent de rechercher une solution à un problème de satisfaction de contraintes. Le fait de résoudre un CSP peut signifier autre chose que simplement chercher une solution : en particulier il peut s'agir de chercher la « meilleure » solution selon un critère donné, ce qui est le cas des problèmes d'optimisation, de chercher juste une solution quelconque, ou éventuellement, de démontrer qu'il n'y a pas de solution. Deux types d'algorithmes sont reconnus :

- Les algorithmes complets parcourent tout l'espace de recherche du CSP et, à l'aide d'une fonction objectif, garantissent la qualité du résultat (méthodes « génère et teste », « simple retour arrière » - backtracking, « Branch and Bound » pour les problèmes d'optimisation).

- Les algorithmes incomplets cherchent le plus vite possible une affectation « acceptable » sans forcément parcourir tout l'espace de recherche et sans la preuve d'optimalité du résultat (techniques d'anticipation basées sur la consistance et la propagation des contraintes, méthodes stochastiques et heuristiques, techniques de recherche locale).

On appelle l'espace de recherche du CSP l'ensemble des affectations totales du problème sans vérification de la violation des contraintes. L'espace des solutions du CSP est ensuite l'ensemble des affectations totales qui satisfont les contraintes du problème.

S'il n'existe pas de telle affectation, le problème est considéré sur-contraint (sans solution). Cependant il peut être résolu par des méthodes spécifiques. Le principe commun à ces méthodes de résolution des problèmes sur-contraints est de rechercher une affectation minimisant le nombre des contraintes violées.

Les algorithmes stochastiques, par exemple, permettent de résoudre ce problème en maximisant le nombre des contraintes satisfaites comme Max-CSP dans (Freuder and Wallace 1992), ce qui revient à chercher la satisfaction partielle du CSP (Partial CSP).

D'autres méthodes se basent sur les hiérarchies des contraintes (Borning 1992) qui définissent les préférences entre les contraintes. Cela peut se traduire en affectant un poids à chaque contrainte et en cherchant à minimiser la somme des poids des contraintes violées, par exemple CSP valué dans (Schiex et al.1995), en affectant un poids entre 0 et 1 comme dans fuzzy CSP (Ruttkay 1994) ou en considérant la probabilité comme dans probabilistic CSP (Fargier and Lang (1993).

D'autres types des CSP existent également, notamment CSP basé sur les semi-anneaux (Semiring Based CSP) permettant de définir plus finement des préférences entre les contraintes (Bistarelli et al. 1996) ou la théorie de composition et d'incrémentement pour composer les solutions de différentes hiérarchies – Compositional theory (Jampel 1996).

Parmi ces méthodes, deux principes généraux se dégagent :

- définir et évaluer les préférences entre les contraintes et relâcher les contraintes dites faibles, ce principe est notamment utilisé dans les hiérarchies de contraintes ;
- relâcher le problème original en modifiant certaines contraintes de sorte que le nouveau problème puisse être résolu, principe des CSP partiels.

La hiérarchie des contraintes organise les contraintes suivant un ordre décroissant de préférence : contraintes nécessaires, contraintes fortes, moins fortes, ..., contraintes faibles. La solution est alors une affectation respectant cette hiérarchisation, de façon à ce que les contraintes nécessaires et fortes soient satisfaites, quitte à le faire au détriment des contraintes les plus faibles. La recherche de solutions se fait en élargissant l'espace de recherche par la non-considération des contraintes les plus faibles. La relaxation des contraintes se fait à l'aide d'un opérateur appelé « comparateur ». Cet opérateur permet de choisir entre les différentes solutions en relaxant les contraintes suivant les différentes hiérarchies. Le résumé détaillé des hiérarchies des contraintes et les différents algorithmes à utiliser est dans (Borning 1992).

L'application du principe des hiérarchies de contraintes à l'exemple (cf. figure 3) peut se faire en définissant les niveaux d'importance suivants :

- $C1 = C_{T,P}$: nécessaire
- $C2 = C_{C,P}$: forte
- $C3 = C_{T,C}$: faible

La violation de la contrainte C3 est négligée au profit de la satisfaction des contraintes C1 et C2 ce qui permet d'élargir

l'espace parcouru, et ainsi de considérer deux solutions à ce nouveau problème : la combinaison tee-shirt rouge, pantalon gris et chaussures de cuir et la combinaison tee-shirt blanc, pantalon jean et chaussures baskets.

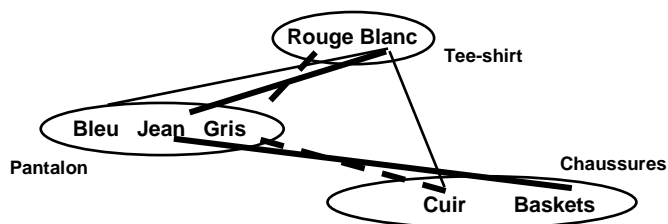


Figure 3. Solution graphique par la hiérarchie des contraintes

Le CSP partiel cherche à définir un nouveau problème, un problème alternatif soluble, le plus proche possible du problème initial. L'espace des problèmes est ordonné par la fonction « \leq » :

Soit $\text{sols}(P)$ un ensemble des solutions du problème P :

$P1 \leq P2$ si $\text{sols}(P1)$ est sur-ensemble de $\text{sols}(P2)$.

Quatre manières d'affaiblir le problème peuvent alors être définies :

- élargir le domaine d'une variable,
- élargir le domaine d'une contrainte,
- enlever une variable,
- enlever une contrainte.

L'espace des problèmes est ici parcouru à l'aide d'un « générateur » - opérateur qui permet d'évaluer quelle variable ou contrainte doit être enlevée de préférence. L'espace des solutions est trouvé en relaxant les variables ou les contraintes. L'application à l'exemple par l'agrandissement du domaine de la contrainte $C3$ (cf. figure 4) revient à considérer une nouvelle formulation de cette contrainte : $C3 = C_{T,C} : \{(\text{blanc, cuir}), (\text{blanc, baskets})\}$. Avec la nouvelle valeur de la contrainte $C3$ admise - tee-shirt blanc avec les baskets ; on a une solution t-shirt blanc, pantalon jean et chaussures baskets.

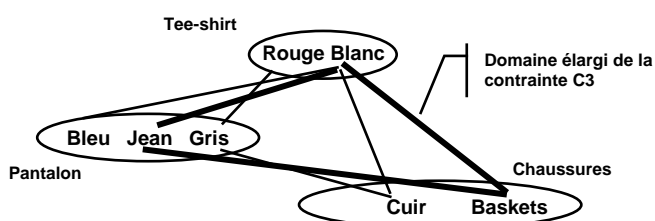


Figure 4. Solution graphique par le CSP partiel

4 MODES DE RESOLUTION TRIZ

La TRIZ propose différentes méthodes de résolution des problèmes - matrice des principes inventifs (Altshuller 1998), méthodes de séparation des contradictions physiques, standards inventifs (Salamatov 1999) - qui sont autant de mécanismes de changement de modèle dans le but de construire une représentation du problème qui satisfasse l'objectif. L'objectif de cette partie n'est pas de détailler chacun de ces mécanismes mais d'analyser l'espace des connaissances parcouru par les mécanismes de changement de modèle. Cela sera illustré par l'exploitation du cas de sélection des vêtements. La reformulation du problème par le système des contradictions peut aboutir à plusieurs systèmes de contradictions, dont un est proposé en figure 5.



Figure 5. Système de contradiction du problème de sélection des vêtements

Comme précisé précédemment, les règles de changement de modèles sont multiples, elles sont caractérisées par leur niveau de généralité et la typologie des problèmes pour lesquels elles sont applicables. Ces règles de changement de modèle s'adressent plus particulièrement à la résolution de problèmes techniques, toutefois afin d'illustrer les domaines de connaissances parcourus par le recours à ces règles, deux règles suffisamment génériques pour être appliquées à un problème non technique ont été choisies.

Les deux règles choisies sont issues, pour la première des méthodes de séparation des contradictions physiques et, pour la seconde, des standards inventifs. La première règle stipule que si les propriétés contradictoires ne sont pas requises dans la même zone opératoire, il est possible de résoudre le problème en séparant les propriétés contradictoires dans l'espace. Il est donc nécessaire d'avoir un tee-shirt qui soit rouge dans une partie de l'espace et blanc dans une autre partie de l'espace. Un tee-shirt rayé rouge et blanc peut être une solution au problème.

La seconde règle définit que si deux éléments génèrent une interaction néfaste et qu'il n'est pas nécessaire de préserver le contact entre les deux éléments, un troisième élément peut être introduit afin de contourner l'interaction néfaste. L'utilisation d'une ceinture rouge permettrait de relier un tee-shirt blanc à un pantalon gris.

Ces deux exemples sont triviaux, mais l'intérêt est d'analyser les mécanismes de changement de modèle utilisés. Le premier cas, le recours à un tee-shirt rayé, peut être traduit de deux manières différentes :

- l'élargissement du domaine du paramètre couleur avec l'introduction d'une nouvelle couleur : rayé blanc et rouge ;
- l'introduction d'un nouveau paramètre, l'uniformité du tee-shirt.

L'élargissement du domaine d'un paramètre correspond à l'élargissement du domaine d'une variable, présents dans les outils de résolution des CSP, et que l'on peut retrouver avec les mécanismes de changement de modèle de la TRIZ. En revanche, les outils des CSP ne permettent pas l'introduction d'un nouveau paramètre dans le modèle de problème.

Le second cas, le recours à une ceinture, revient également à l'introduction d'un nouveau paramètre. Comment interpréter ces changements de modèle ? L'analyse des modes de changement de modèle de la TRIZ, ainsi que ceux des méthodes des CSP est proposée dans la partie suivante.

5 COMPARAISON DES MODES DE RESOLUTION D'OPTIMISATION ET D'INVENTION

La comparaison des modes de résolution des problèmes sera introduite afin de définir les avantages et les inconvénients de chacune des approches de résolution des problèmes dans leur capacité à changer le modèle de représentation pendant la résolution du problème.

Le domaine de CSP est très formel, constitué par un modèle fixe de représentation. L'espace de recherche des solutions par les CSP est défini et parcouru par de nombreux algorithmes de résolution. Il existe également de nombreux systèmes de résolution automatisés, ainsi que des logiciels basés sur les

algorithmes. En revanche, l'approche CSP ne propose qu'une résolution partielle des problèmes, de par la relaxation des contraintes ou des variables. Cela peut être pertinent dans les domaines d'applications tels que la planification ou la conception, où les contraintes ne font pas partie de la description du fonctionnement du système. Dans ce cas les contraintes font partie des objectifs du système et ne décrivent pas les relations entre les paramètres (variables) du système. Le CSP ne permet pas d'introduire une nouvelle variable qui proposerait un nouveau point de vue sur le système et qui permettrait de le résoudre en respectant l'ensemble du cahier des charges initial. C'est-à-dire que le CSP ne permet pas de résoudre le problème initial mais un nouveau le plus proche possible de l'initial.

A l'inverse les méthodes et outils issus de la TRIZ sont destinés à résoudre le problème initial, c'est-à-dire qu'ils permettent de changer le modèle de représentation du problème, si cela est nécessaire. Cette approche fait la différence entre les paramètres d'action et d'évaluation et précise ainsi les objectifs qui ne peuvent être changés des contraintes qui peuvent être remises en cause. Les principes de résolution sont indépendants du domaine d'application. Malheureusement les approches de la TRIZ ne sont pas formalisées pour l'instant voire il manque des algorithmes permettant d'extraire et d'analyser les contradictions ainsi que des outils de résolution.

6 DEFINITION DES ESPACES DES PROBLEMES

Afin de comparer les modes de changement de modèle des méthodes de résolution issus de la TRIZ et des CSP, les espaces de connaissances parcourus vont être définis puis comparés. L'analyse des espaces parcourus a conduit à la définition de trois espaces (cf. figure 6) :

- L'espace du problème spécifique est défini par les variables (paramètres) du problème qui sont bornées par leur domaine Di. La dimension de cet espace est égale au nombre des variables définies dans le problème.
- L'espace des problèmes est défini par les variables (paramètres) du problème qui ne sont pas bornées par les domaines. La dimension de cet espace est toujours égale au nombre des variables.
- L'espace des solutions est défini par toutes les variables possibles, sa dimension est donc infinie.

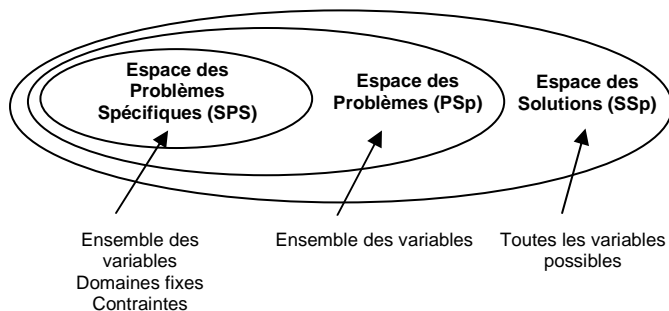


Figure 6. Partition des espaces de problèmes et de solutions

Les techniques des CSP partent du problème initial, qui définit un espace de problème spécifique (SPS1), et élargissent cet espace (en relâchant les contraintes et les variables) afin de redéfinir un nouvel espace de problème spécifique (SPS2), plus large, mais toujours compris dans un espace des problèmes (PSP) qui serait caractérisé par les variables décrivant le problème initial (cf. figure 7).

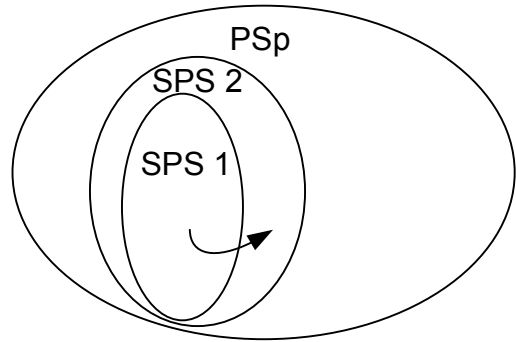


Figure 7. Espaces des problèmes spécifiques et espace des problèmes

Dans l'exemple, la résolution du problème issue du CSP est illustrée par l'opérateur permettant de passer du SPS 1 à SPS 2, ce qui correspond à la relaxation de la contrainte C3 ou à l'élargissement du domaine de cette même contrainte (cf. figure 8).

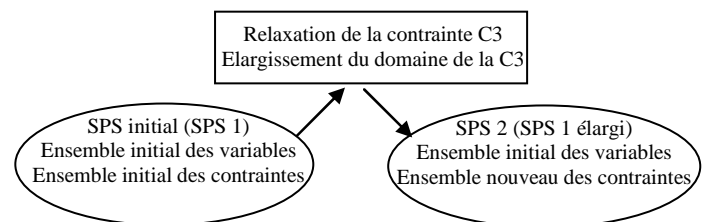


Figure 8. Illustration de l'opérateur CSP sur l'exemple

Dans le cas de la TRIZ et en reprenant les espaces introduits précédemment, l'ajout d'un nouveau paramètre revient à reconstruire un nouvel espace de problème spécifique (cf. figure 9), qui appartient à un nouvel espace des problèmes :

- l'espace du problème spécifique 2 (PSP2) défini par l'ensemble des paramètres initiaux, le nouveau paramètre et les domaines des paramètres
 - l'espace des problèmes 2 (SPS2) est défini par l'ensemble des paramètres initiaux et le nouveau paramètre.
- Ces nouveaux espaces appartiennent à un espace plus large qui peut être caractérisé par l'ensemble des paramètres possibles pour décrire le problème – l'espace des solutions.

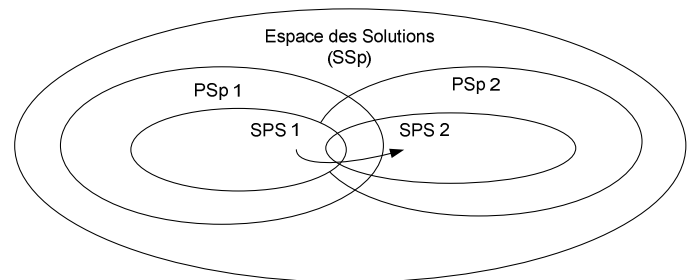


Figure 9. Espace des solutions et mécanismes inventifs de changement de modèle

Dans l'exemple, la résolution du problème par les méthodes de la TRIZ est décrite par l'opérateur d'introduction d'un nouveau paramètre, cf. figure 10.

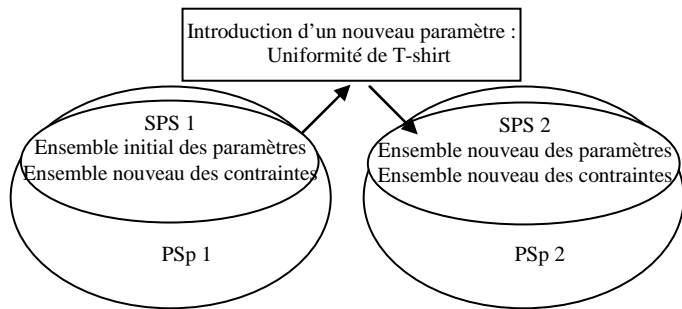


Figure 10. Illustration de l'opérateur TRIZ sur l'exemple

7 DE LA PARTITION DES ESPACES PAR LES METHODES VERS UN MODELE UNIFIE

En comparant les passages d'un espace à l'autre lors de la résolution du problème par les approches CSP et TRIZ, nous pouvons apparier les espaces aux différentes techniques de ces approches (cf. figure 11). Les méthodes d'optimisation des CSP parcourent uniquement l'espace des problèmes spécifiques en cherchant les solutions dans cet espace limité. Les méthodes de résolution des problèmes sur-contraints cherchent à trouver une solution lorsqu'aucune n'existe dans l'espace du problème spécifique. Le mécanisme proposé par les méthodes des CSP pour les problèmes sur-contraints permet de sortir de cet espace et de rechercher des solutions dans l'espace du problème. La limite d'une telle approche est de changer les données du problème original en prenant le risque de ne pas satisfaire l'ensemble initial des paramètres d'évaluation. Les méthodes de la TRIZ couvrent tout l'espace des solutions en permettant d'introduire des nouvelles variables lors de la résolution du problème.

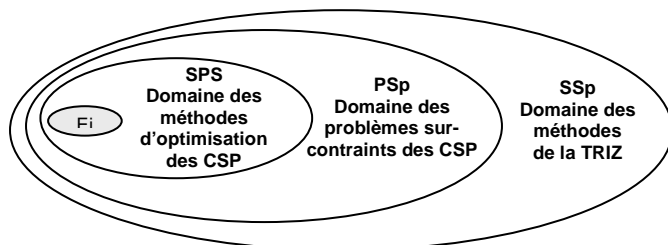


Figure 11. Partition de l'espace des connaissances par les méthodes

Cette partition de l'espace de recherche permet de mettre en évidence les différences mais également les complémentarités de ces deux approches. Tandis que les méthodes de la TRIZ permettent de considérer un nouvel espace des problèmes en ajoutant les paramètres concernés, les algorithmes des CSP proposent la bonne exploration de cet espace des problèmes. Le principe général des méthodes de résolution des problèmes sur-contraints dans le CSP est de relâcher les contraintes et les variables afin de pouvoir résoudre le problème qui ne peut pas être résolu par les méthodes classiques d'optimisation. Le problème actuel est donc changé en un problème moins contraignant ce qui ne mène pas toujours à la résolution du problème initial. Cependant les méthodes des CSP partiel introduisent les opérateurs qui permettent d'évaluer quelle variable ou contrainte doit être enlevée de préférence, limitant le risque énoncé. Les principes de la TRIZ remédient à cela en distinguant les paramètres d'action et d'évaluation qui permettent d'évaluer le « rôle » du paramètre dans la formulation et la résolution du problème. Ainsi la construction

d'un nouvel espace des problèmes peut être faite en conservant l'ensemble des paramètres d'évaluation et en ne modifiant que les paramètres d'action. L'espace défini par l'ensemble des paramètres d'évaluation (E_i sur la figure 11) est commun aux différents espaces des problèmes construits par les méthodes de la TRIZ. Contrairement aux principes de la TRIZ, les méthodes des CSP ne permettent pas d'introduire une nouvelle variable et donc ne permettent pas de réellement changer le modèle de représentation du problème.

Le modèle unifié pour les méthodes d'optimisation et d'invention devrait se baser sur les opérateurs de changement de modèle permettant de parcourir les différents espaces des problèmes dans l'espace des solutions. Les méthodes de résolution de la TRIZ peuvent servir de base afin de définir ce type d'opérateurs. Les méthodes de résolution des CSP peuvent fournir des algorithmes de recherche de solutions approuvés et automatisés.

8 CONCLUSION

L'objectif de cette étude est d'être capable de proposer un modèle de formulation de problème applicable à la fois pour les méthodes de d'optimisation et d'invention. Une première partie avait montré les parallèles entre les modes de représentation des problèmes issus des CSP et de la TRIZ. Cet article présente les spécificités en termes de connaissances manipulées entre les mécanismes de changement de modèle des CSP et de la TRIZ.

Il a été établi ici que les mécanismes de changement de modèle des CSP et de la TRIZ sont complémentaires, de par la nature des espaces de connaissances parcourus. En unifiant ces modèles de représentation, les principes de résolution des problèmes des deux approches pourraient se coupler et les mêmes méthodes pourraient être utilisées pour les problèmes d'optimisation et d'invention. Ce qui s'avère particulièrement intéressant car l'approche de la résolution des problèmes par les méthodes d'invention ne se fait que si les méthodes d'optimisation n'ont pas permis de résoudre le problème.

L'analyse des modes de résolution des approches des CSP et de la TRIZ révèle quelques possibilités pour la prochaine étape de proposition d'un modèle unifié de représentation des problèmes. Ce modèle unifié devrait se baser sur les opérateurs de changement de modèle permettant de parcourir les différents espaces des problèmes dans l'espace des solutions. Les méthodes de résolution de la TRIZ d'un côté, peuvent servir de principes de base afin de définir ce type d'opérateurs. De l'autre côté, les méthodes de résolution des CSP peuvent fournir des algorithmes de recherche de solutions approuvés et automatisés.

9 REFERENCES

- Altshuller, G. S. (1988) Creativity as an Exact Science, New York, Gordon and Breach.
- Altshuller, G. S. (1998) 40 principes : TRIZ Keys to Technical Innovation.
- Bartak, R., (2002) Modelling Soft Constraints: A Survey, Neural Network World, Vol. 12, Number 5, pp. 421-431.
- Bistarelli S., Fargier H., Montanari U., Rossi F., Schiex T. and Verfaillie G., (1996) Semiring-Based CSPs and Valued CSPs: Basic Properties and Comparison, pp. 111-150, in Jampel, Freuder, Maher (Eds.): Over-Constrained Systems, Lecture Notes in Computer Science
- Bonnardel, N., (2000) Towards understanding and supporting creativity in design: analogies in a constrained cognitive environment. Knowledge-Based Systems, 13, 505-513.

- Borning, A., Freeman-Benson, B. and Wilson, M., (1992) Constraint hierarchies, LISP and symbolic computation: An International Journal, 5, pp. 223-270.
- Dubois, S., Rasovska, I. and De Guio, R. (2008). Comparison of non solvable problem solving principles issued from CSP and TRIZ. Computer-Aided Innovation (CAI), Springer Boston. 277/2008.
- Eltzer, T. and De Guio, R. (2007). Constraint based modelling as a mean to link dialectical thinking and corporate data. Application to the Design of Experiments. 2nd IFIP Working Conference on Computer Aided Innovation, Brighton, USA, October 8-9, Springer.
- Fargier H. and Lang J., (1993) Uncertainty in constraint satisfaction problems: a probabilistic approach, in Proceedings of ECSQARU-93, pp. 97-104.
- Freuder, E. and Wallace, R., (1992) Partial Constraint Satisfaction. Artificial Intelligence, 58(1-3), 21-70.
- Gano, D. L. (2000) Effective Problem Solving : a new way of thinking, Apollo Associated Services, INC.
- Jampel M., (1996) A Compositional Theory of Constraint Hierarchies, pp. 189-206, in Jampel, Freuder, Maher (Eds.): Over-Constrained Systems, Lecture Notes in Computer Science.
- Khomenko, N., De Guio, R., Lelait, L. and Kaikov, I., (2007) A framework for OTSM-TRIZ-based computer support to be used in complex problem management. International Journal of Computer Applications in Technology, 30(1) spécial issue Trends in computer aided innovation), 88-104.
- Ruttkey Zs., (1994) Fuzzy Constraint Satisfaction in Proceedings of the 1st IEEE Conference on Evolutionary Computing, Orlando, p. 542-547.
- Sado, G. and Sado, M.-C. (2000) Les plans d'expériences. De l'expérimentation à l'assurance qualité, Paris, AFNOR.
- Salamatov, Y. P. (1999) TRIZ: The Right Solution at the Right Time, Hattem, The Netherlands, Insytec B. V.
- Schiex T., Fargier H. and Verfaillie G., (1995) Valued Constraint Satisfaction Problems: Hard and Easy Problems, in Proceedings of International Joint Conference on Artificial Intelligence, Montreal.