Application de la révision et de la fusion des connaissances à l'adaptation et à la combinaison de cas

Jean Lieber

Application de la révision et de la fusion des connaissances à l'adaptation et à la combinaison de cas

Jean Lieber, équipe Orpailleur, LORIA UMR 7503 CNRS, INRIA, Universités de Nancy
BP 239 54 506 Vandœuvre-lès-Nancy (lieber@loria.fr)

Résumé

La théorie de la révision (ou révision des croyances) s'intéresse à la modification d'une base de connaissances par une autre base supposée correcte, mais pas nécessairement cohérente avec la première. Cette problématique de la modification est également étudiée dans le cadre du raisonnement à partir de cas, lors de la phase d'adaptation. Cet article pose la question des apports de la théorie de la révision à l'adaptation et donne une première réponse à cette question. Une extension de la théorie de la révision est celle de la fusion des connaissances ou comment construire une base de connaissances à partir de plusieurs sources de connaissances éventuellement contradictoires. Cet article pose également la question des apports de la fusion des connaissances à la combinaison de cas et y apporte une réponse préliminaire.

Mots clés : adaptation de cas, révision de connaissances, combinaison de cas, fusion des connaissances

1 Introduction

Lors de la phase d'adaptation du raisonnement à partir de cas (RÀPC [12]), deux questions interdépendantes se posent : (QA1) « Quels éléments du cas modifier ? » et (QA2) « Par quoi remplacer ces éléments ? » Ces questions rappellent d'autres questions, qui s'inscrivent dans la problématique de la révision (ou « révision des croyances »). L'idée de la révision est la suivante : étant donné deux bases de connaissances ψ (l'« ancienne base ») et μ (la « nouvelle »), on essaie de mettre en évidence une base de connaissances φ qui « contienne » les connaissances de μ et le plus possible de connaissances de ψ. Si ψ et μ sont cohérentes l'une avec l'autre, il suffit de prendre leur conjonction. Si ce n'est pas le cas, on peut chercher à modifier ψ en ψ' afin que ψ' soit cohérent avec μ (on prendra alors pour φ la conjonction de ψ' et de μ). Pour ce faire, se posent les questions suivantes : (QR1) « Quels éléments de ψ modifier ? » et (QR2) « Par quoi remplacer ces éléments ? », questions analogues à (QA1) et (QA2).

Or, la théorie de la révision [1] et les nombreux travaux théoriques qui ont suivi [10] ont apporté des réponses aux questions (QR1) et (QR2). La question qui se pose alors est de savoir si cette théorie peut être utilement adaptée aux questions de l'adaptation. Ce papier tente de donner des éléments de réponse à cette question. Une extension de la théorie de la révision est la théorie de la fusion. Dans le même esprit, ce papier cherche à voir si la théorie de la fusion peut être utile au RÀPC et, en particulier, à la problématique de la combinaison de cas.

Le papier est organisé de la façon suivante. La section 2 rappelle les notions de base sur le RÀPC et introduit les notations liées à ce mode de raisonnement. Après avoir rappelé les bases de la théorie de la révision (section 3), son utilisation pour l'adaptation à partir de cas est étudiée (section 4). La structure des sections 5 et 6 est obtenue en substituant « révision » par « fusion » et « adaptation » par « combinaison » dans les deux sections précédentes. La section 7 conclura cette étude et présentera quelques perspectives de recherches.

2 Rappels sur le RÀPC et notations

On se place dans un domaine d'application particulier pour lequel les notions de problème et de solution sont bien définies. Si `pb` est un problème (resp., `sol` est une solution) alors `pb` (resp., `sol`) est une expression d'un formalisme de représentation des connaissances qui représente un problème (resp., une solution) de ce domaine. Par ailleurs, on suppose qu'il existe une relation binaire liant un problème à une solution et dont la signification est « a pour solution ». Dans certaines applications du RÀPC, cette relation n'est qu'imparfaitement connue. En revanche, on dispose d'une base de cas (appelés cas sources), c'est-à-dire d'un ensemble de couples $\texttt{cas-srce} = (\texttt{srce}, \texttt{Sol}(\texttt{srce}))$ où $\texttt{srce}$ est un problème, $\texttt{Sol}(\texttt{srce})$ est une solution et $\texttt{srce}$ a pour solution $\texttt{Sol}(\texttt{srce})$. On note $\texttt{CD}$ la base de connaissances codant les connaissances du domaine.

Raisonner à partir de cas, c'est résoudre un problème, appelé problème cible et dénoté par $\texttt{cible}$, au moyen de la base de cas. Ce raisonnement est d'habitude constitué de deux grandes étapes : la remémoration, qui a pour objectif de sélectionner un cas source jugé similaire au problème cible, et l'adaptation qui a pour objectif de résoudre le problème cible en s'appuyant sur le cas source remémoré. Une variante du RÀPC consiste en la remémoration de plusieurs cas sources suivie d'une étape de combinaison de ces cas dans l'optique de la résolution du problème cible.

3 Révisions sur la théorie de la révision

Les bases de la théorie de la révision (ou de la « révision des croyances ») ont été formalisées indépendamment d'une logique particulière dans [1]. Cette théorie a été appliquée à différents formalismes, notamment à la logique propositionnelle [6] et le rappel présenté dans cette section se situe dans ce cadre formel[1].

3.1 Préliminaires (ça va être chaud)

Les formules propositionnelles sont supposées construites sur $\mathcal{V}$, un ensemble fini de variables propositionnelles. Une interprétation $\mathcal{I}$ est une fonction de $\mathcal{V}$ dans la paire $\{\texttt{vrai}, \texttt{faux}\}$. Si $a \in \mathcal{V}$, $\mathcal{I}(a)$ est aussi dénoté par $a^{\mathcal{I}}$. $\mathcal{I}$ est étendu à l'ensemble des formules de la manière usuelle ($(f \wedge g)^{\mathcal{I}} = \texttt{vrai}$ ssi $f^{\mathcal{I}} = \texttt{vrai}$ *et* $g^{\mathcal{I}} = \texttt{vrai}$, etc.). Un modèle d'une formule f est une interprétation $\mathcal{I}$ telle que $f^{\mathcal{I}} = \texttt{vrai}$. $\texttt{Mod}(f)$ dénote l'ensemble des modèles de f. f est satisfiable signifie que $\texttt{Mod}(f) \neq \emptyset$. f entraîne g (resp., f est équivalente à g) est dénoté par $f \vDash g$ (resp., $f \equiv g$) et signifie que $\texttt{Mod}(f) \subseteq \texttt{Mod}(g)$ (resp., que $\texttt{Mod}(f) = \texttt{Mod}(g)$), pour deux formules f et g. Finalement, $g \vDash_f h$ (resp., $g \equiv_f h$) signifie que g entraîne h (resp., g est équivalente à h) étant donné f : $f \wedge g \vDash h$ (resp., $f \wedge g \equiv f \wedge h$).

3.2 Postulats de Katsuno et Mendelzon

Soit $\circ$ un opérateur de révision. $\psi \circ \mu$ est une formule exprimant la révision de ψ par μ, selon l'opérateur $\circ$: ψ est l'« ancienne » base de connaissances (qui doit être révisée), μ est la nouvelle base de connaissances (qui contient les connaissances révisant l'ancienne). Les postulats qu'un opérateur de révision en logique propositionnelle doivent satisfaire sont :

(R1) $\psi \circ \mu \vDash \mu$ (l'opérateur de révision doit retenir toutes les connaissances de la base de connaissances μ) ;

(R2) Si $\psi \wedge \mu$ est satisfiable, alors $\psi \circ \mu \equiv \psi \wedge \mu$ (si la nouvelle base de connaissances n'est pas en contradiction avec l'ancienne, alors toutes les connaissances des deux bases doivent être gardées) ;

(R3) Si μ est satisfiable alors $\psi \circ \mu$ est également satisfiable ($\circ$ ne conduit pas à une base de connaissances insatisfiable, à moins que la nouvelle base de connaissances soit elle-même insatisfiable) ;

(R4) Si $\psi \equiv \psi'$ et $\mu \equiv \mu'$ alors $\psi \circ \mu \equiv \psi' \circ \mu'$ (l'opérateur de révision suit le principe de non pertinence de la syntaxe) ;

(R5) $(\psi \circ \mu) \wedge \phi \vDash \psi \circ (\mu \wedge \phi)$;

(R6) Si $(\psi \circ \mu) \wedge \phi$ est satisfiable alors $\psi \circ (\mu \wedge \phi) \vDash (\psi \circ \mu) \wedge \phi$.

[1] Le titre de cette section aurait dû être « Rappels sur la théorie de la révision », mais l'auteur de cet article est rigoureusement incapable de renoncer à un mauvais jeu de mots (et merveilles, vents et marées).

pour ψ, ψ', μ, μ' et ϕ, cinq formules propositionnelles. (R5) et (R6) sont moins faciles à comprendre que (R1) à (R4), mais sont expliquées dans [6]. Ces deux postulats sont liés avec l'idée selon laquelle un opérateur de révision est censé effectuer un changement minimal : $\psi \circ \mu$ garde « le plus possible » de ψ tout en étant cohérent avec μ.

3.3 Les opérateurs de révision s'appuyant sur une distance et l'opérateur de Dalal

Dans [6], une caractérisation et une étude bibliographique des opérateurs de révision en logique propositionnelle est présentée. Ce papier met en évidence une classe d'opérateurs de révision fondé chacun sur une distance entre interprétations. Soit dist une telle distance. Pour M_1 et M_2 deux ensembles d'interprétations et $\mathcal{J}$, une interprétation

$$\begin{aligned}\text{soit } \mathtt{dist}(M_1, \mathcal{J}) &= \min\{\mathtt{dist}(\mathcal{I}, \mathcal{J}) \mid \mathcal{I} \in M_1\} \\ \text{et } \mathtt{dist}(M_1, M_2) &= \min\{\mathtt{dist}(M_1, \mathcal{J}) \mid \mathcal{J} \in M_2\} \\ &= \min\{\mathtt{dist}(\mathcal{I}, \mathcal{J}) \mid \mathcal{I} \in M_1 \text{ and } \mathcal{J} \in M_2\}\end{aligned}$$

Soient à présent ψ et μ deux formules et $\Delta = \mathtt{dist}(\mathtt{Mod}(\psi), \mathtt{Mod}(\mu))$. Dans ce cas, l'opérateur de révision $\circ_{\mathtt{dist}}$ s'appuyant sur dist est défini par

$$\mathtt{Mod}(\psi \circ_{\mathtt{dist}} \mu) = \{\mathcal{J} \mid \mathcal{J} \in \mathtt{Mod}(\mu) \text{ et } \mathtt{dist}(\mathtt{Mod}(\psi), \mathcal{J}) = \Delta\} \tag{1}$$

Cette équation définit $\psi \circ_{\mathtt{dist}} \mu$ à l'équivalence entre formules près (puisque nous adhérons au principe de non pertinence de la syntaxe, c'est suffisant). La preuve que les postulats (R1) à (R6) sont vérifiés par $\circ_{\mathtt{dist}}$ est une application assez immédiate des définitions ci-dessus. Notons, en particulier, que (R2) peut être prouvé grâce à l'équivalence $\mathtt{dist}(\mathcal{I}, \mathcal{J}) = 0$ ssi $\mathcal{I} = \mathcal{J}$, pour deux interprétations $\mathcal{I}$ et $\mathcal{J}$.

L'intuition du changement minimal de ψ à $\psi \circ_{\mathtt{dist}} \mu$ est liée à la distance dist entre interprétations : $\psi \circ_{\mathtt{dist}} \mu$ est la base de connaissances dont les interprétations sont les interprétations de μ qui sont les plus proches de celles de ψ, selon dist.

Une autre intuition associée à $\circ_{\mathtt{dist}}$ s'appuie sur une définition équivalente et inspirée de [3]. Cette définition est comme suit. Tout d'abord, pour un réel $\delta \geqslant 0$, soit G^δ la fonction qui associe à une formule propositionnelle ψ construite sur un ensemble de variables $\mathcal{V}$ une autre formule $G^\delta(\psi)$ sur $\mathcal{V}$, telle que :

$$\mathtt{Mod}(G^\delta(\psi)) = \{\mathcal{I} \mid \mathcal{I} \text{: interprétation sur } \mathcal{V} \text{ et } \mathtt{dist}(\mathtt{Mod}(\psi), \mathcal{I}) \leqslant \delta\}$$

G^δ réalise une généralisation : $\psi \vDash G^\delta(\psi)$ pour toute formule ψ et tout réel $\delta \geqslant 0$. De plus, $G^0(\psi) \equiv \psi$. Finalement, si $0 \leqslant \delta \leqslant \varepsilon$, alors $G^\delta(\psi) \vDash G^\varepsilon(\psi)$. Pour ψ et μ, deux formules satisfiables sur $\mathcal{V}$, soit Δ la plus petite valeur δ telle que $G^\delta(\psi) \wedge \mu$ est satisfiable[2]. $\psi \circ_{\mathtt{dist}} \mu$ peut être défini par : $\psi \circ_{\mathtt{dist}} \mu = G^\Delta(\psi) \wedge \mu$. Si l'un au moins de ψ et μ est insatisfiable, alors $\psi \circ_{\mathtt{dist}} \mu \equiv \mu$. On peut prouver facilement que cette définition de $\circ_{\mathtt{dist}}$ est équivalente à celle donnée ci-dessus (si on considère que la syntaxe n'est pas pertinente). Alors $\psi \circ_{\mathtt{dist}} \mu$ peut être interprété comme suit : elle est obtenue en généralisant ψ de façon minimale (suivant l'échelle $(\{G^\delta(\psi)\}_\delta, \vDash)$) afin d'être cohérente avec μ, et ensuite, elle est spécialisée par conjonction avec μ.

L'opérateur de révision de Dalal $\circ_D$ [3] est un tel opérateur de révision. Il correspond à la distance de Hamming entre interprétations définie par : $\mathtt{dist}(\mathcal{I}, \mathcal{J})$ est le nombre de variables propositionnelles $a \in \mathcal{V}$ telles que $a^\mathcal{I} \neq a^\mathcal{J}$. C'est cet opérateur qui a été choisi dans les exemples de cet article.

4 Application de la révision des connaissances à l'adaptation des cas

Cette section propose d'abord une approche de l'adaptation s'appuyant sur un opérateur de révision : l'*adaptation conservatrice*. Puis, l'idée d'utiliser un opérateur de révision en complément d'un autre type d'adaptation est étudiée en deux temps.

[2]En fait, $\Delta = \mathtt{dist}(\mathtt{Mod}(\psi), \mathtt{Mod}(\mu))$ réalise ceci : $G^\Delta(\psi) \wedge \mu$ est satisfiable et si $\delta < \Delta$ alors $G^\delta(\psi) \wedge \mu$ est insatisfiable.

4.1 L'adaptation conservatrice

L'adaptation conservatrice a été formalisée dans [9] dans le cadre de la logique propositionnelle. Elle s'appuie sur le principe suivant : modifier *de façon minimale* le cas source pour être cohérent avec le problème cible (le cas source et le problème cible devant être interprétés dans le cadre des connaissances du domaine CD). Une modification minimale peut être formalisée par un opérateur de révision $\circ$: ainsi, si ψ représente le contexte de cas-srce (en conjonction avec CD) et μ représente le contexte de cible (toujours en conjonction avec CD), $\psi \circ \mu$ permettra d'inférer une solution Sol(cible) de cible. Par ailleurs, nous supposerons ici, pour simplifier, que l'ensemble $\mathcal{V}$ des variables propositionnelles est partitionné en $\{\mathcal{V}_{\mathtt{pb}}, \mathcal{V}_{\mathtt{sol}}\}$ où $\mathcal{V}_{\mathtt{pb}}$ (resp., $\mathcal{V}_{\mathtt{sol}}$) est l'ensemble des variables utilisées pour décrire des problèmes (resp., des solutions). Cette hypothèse permet, étant donné une formule $f \wedge g$ où les variables de f sont dans $\mathcal{V}_{\mathtt{pb}}$ et les variables de g, dans $\mathcal{V}_{\mathtt{sol}}$, de mettre en évidence le problème f et la solution g : ainsi, un cas source pourra s'écrire $\mathtt{srce} \wedge \mathtt{Sol}(\mathtt{srce})$.

On définit la $\circ$-adaptation conservatrice $\mathtt{AC}_\circ$ par :

$$\mathtt{AC}_\circ(\mathtt{CD}, \mathtt{cas\text{-}srce}, \mathtt{cible}) = (\mathtt{CD} \wedge \mathtt{srce} \wedge \mathtt{Sol}(\mathtt{srce})) \circ (\mathtt{CD} \wedge \mathtt{cible}) \equiv_{\mathtt{CD}} \mathtt{cible} \wedge \mathtt{Sol}(\mathtt{cible})$$

Des exemples d'adaptation conservatrices modélisant des adaptations effectuées par des experts dans le domaine de la cancérologie du sein sont décrits dans [9]. L'exemple ci-dessous a plus valeur d'illustration :

Exemple 1 *Aliénor veut offrir un cadeau à Clovis, son amoureux du moment. Elle se rappelle avoir offert à Salomon un vase bleu et un roman de P. G. Wodehouse. Sachant que les deux hommes se ressemblent (« De toute façon, je me connais, je ne sors qu'avec des mecs caractériels ayant des prénoms de rois. »), elle se dit dans un premier temps que réutiliser cette idée de cadeau est judicieux. Dans un deuxième temps, elle se fait la réflexion que Clovis, ne sachant pas lire, n'appréciera pas le roman. Elle se propose alors de le remplacer par une autre œuvre anglaise qui ne nécessite pas de savoir lire (elle choisit un disque de H. Purcell, rocker anglais du* $17^{\text{ème}}$ *siècle).*

Cet exemple peut être modélisé comme suit. Le problème « Quel cadeau pour Clovis ? » peut être modélisé par la formule :

$$\mathtt{cible} = \neg\mathtt{sait\text{-}lire} \wedge \mathtt{carac}$$

(carac : caractéristiques communes à Clovis et Salomon). Le problème « Quel cadeau pour Salomon ? » peut être modélisé par :

$$\mathtt{srce} = \mathtt{sait\text{-}lire} \wedge \mathtt{carac}$$

Le fait que le cadeau d'Aliénor à Salomon ait plu à ce dernier peut être modélisé par :

$$\mathtt{Sol}(\mathtt{srce}) = \mathtt{apprécie\text{-}vase\text{-}bleu} \wedge \mathtt{apprécie\text{-}roman\text{-}PGW}$$

Les connaissances du domaine utilisées par Aliénor sont :

$$\begin{aligned}\mathtt{CD} = \ & \mathtt{apprécie\text{-}roman} \Rightarrow \mathtt{sait\text{-}lire} \wedge \\ & \mathtt{apprécie\text{-}roman\text{-}PGW} \Rightarrow \mathtt{apprécie\text{-}roman} \wedge \mathtt{apprécie\text{-}œuvre\text{-}anglaise}\end{aligned}$$

L'adaptation conservatrice selon l'opérateur de révision de Dalal donne :

$$\begin{aligned}\mathtt{AC}_{\circ_{\mathrm{D}}}(\mathtt{CD}, \mathtt{cas\text{-}srce}, \mathtt{cible}) &\equiv_{\mathtt{CD}} \mathtt{cible} \wedge \mathtt{Sol}(\mathtt{cible}) \\ &\equiv_{\mathtt{CD}} \mathtt{cible} \wedge \mathtt{apprécie\text{-}vase\text{-}bleu} \\ &\qquad \wedge \mathtt{apprécie\text{-}œuvre\text{-}anglaise} \wedge \neg\mathtt{apprécie\text{-}roman}\end{aligned}$$

ce qui est cohérent avec le raisonnement d'Aliénor (il ne manque que l'étape de choix d'une œuvre d'art anglaise qui ne nécessite pas de savoir lire).

Épilogue : « Ah ben, tu t'es pas foulée, tu m'as presque offert le même cadeau qu'à Salomon. » Dispute. Séparation. Quelques mois plus tard, Aliénor fait la rencontre de Baudoin. C'est le coup de foudre.

Propriétés de l'adaptation conservatrice. Une $\circ_{\texttt{dist}}$-adaptation conservatrice effectue une adaptation par généralisation et spécialisation. Dans l'exemple ci-dessus, $\texttt{Sol}(\texttt{srce})$ est généralisé en supprimant le fait que l'amoureux d'Aliénor apprécie les livres et spécialisé par le contexte particulier de Clovis.

Les postulats (R1) à (R6) peuvent être reconsidérés dans le cadre de l'adaptation conservatrice. On dénotera dans cette section le résultat de l'adaptation conservatrice par $\texttt{CCAC}$ (connaissances sur la cible inférées par adaptation conservatrice) : $\texttt{CCAC} = \texttt{AC}_\circ(\texttt{CD}, \texttt{cas-srce}, \texttt{cible})$.

(R1) appliqué à l'adaptation conservatrice donne $\texttt{CCAC} \vDash \texttt{CD} \wedge \texttt{cible}$. Si cette assertion était violée, cela signifierait qu'il existe un modèle $\mathcal{I}$ de $\texttt{CCAC}$ tel que $\mathcal{I} \notin \texttt{Mod}(\texttt{CD} \wedge \texttt{cible}) = \texttt{Mod}(\texttt{CD}) \cap \texttt{Mod}(\texttt{cible})$, ce qui entrerait en contradiction :

– Soit avec la définition du problème cible (l'adaptation conservatrice donnerait alors un résultat incohérent avec le problème posé !) ;

– Soit avec les connaissances du domaine (qui doivent être respectées par ce mode d'adaptation).

Ainsi, le postulat (R1) empêche ces deux types de contradiction.

Supposons que $\texttt{srce} \wedge \texttt{Sol}(\texttt{srce}) \wedge \texttt{cible}$ soit consistant étant donné la base de connaissances $\texttt{CD}$. Alors, (R2) entraîne $\texttt{CCAC} \equiv \texttt{CD} \wedge \texttt{srce} \wedge \texttt{Sol}(\texttt{srce}) \wedge \texttt{cible}$. Donc, $\texttt{CCAC} \vDash \texttt{srce} \wedge \texttt{Sol}(\texttt{srce}) \wedge \texttt{cible}$: si $\texttt{cible}$ est consistant avec $\texttt{srce} \wedge \texttt{Sol}(\texttt{srce})$ dans $\texttt{CD}$, alors, on peut inférer de l'adaptation conservatrice que $\texttt{Sol}(\texttt{srce})$ résout $\texttt{cible}$. Cela est cohérent avec le principe de cette adaptation : $\texttt{Sol}(\texttt{cible})$ est obtenu en gardant de $\texttt{Sol}(\texttt{srce})$ le plus possible, et si l'affirmation « $\texttt{Sol}(\texttt{srce})$ résout $\texttt{cible}$ » n'est pas contradictoire avec $\texttt{CD}$, alors, l'adaptation conservatrice revient à une adaptation nulle.

(R3) donne : si $\texttt{CD} \wedge \texttt{cible}$ est satisfiable alors $\texttt{CCAC}$ est satisfiable. La satisfiabilité de $\texttt{CD} \wedge \texttt{cible}$ signifie que la spécification du problème cible ne contredit pas les connaissances du domaine. Ainsi, (R3) entraîne que dès que le problème cible est spécifié de façon cohérente avec les connaissances du domaine, l'adaptation conservatrice donne un résultat satisfiable.

(R4) signifie simplement que l'adaptation conservatrice suit le principe de non pertinence de la syntaxe.

La conjonction de (R5) et (R6) peut être reformulée en :

– Soit $(\psi \circ \mu) \wedge \phi$ est insatisfiable,

– Soit $(\psi \circ \mu) \wedge \phi \equiv \psi \circ (\mu \wedge \phi)$.

Ce qui s'applique à l'adaptation conservatrice comme suit :

– Soit $\texttt{CCAC} \wedge \phi$ est insatisfiable,

– Soit $\texttt{CCAC} \wedge \phi \equiv (\texttt{CD} \wedge \texttt{srce} \wedge \texttt{Sol}(\texttt{srce})) \circ (\texttt{CD} \wedge \texttt{cible} \wedge \phi)$.

Soit ϕ une formule représentant des connaissances additionnelles à propos du problème cible. Si ϕ est cohérente avec $\texttt{CCAC}$ alors la conjonction de (R5) et (R6) entraîne le fait qu'ajouter ϕ à $\texttt{cible}$ avant le processus d'adaptation conservatrice ou après donne le même résultat.

Une autre manière d'appréhender (R5) et (R6) est de s'appuyer sur l'article [6] qui dit que ces postulats traduisent le changement minimal, propriété qui est à la base de l'idée d'adaptation conservatrice.

4.2 Adaptation par substitutions simples et révision

L'adaptation conservatrice ne modifie que les éléments de $\texttt{Sol}(\texttt{srce})$ incohérents avec $\texttt{cible}$ étant donné $\texttt{CD}$. On peut également faire précéder l'opération de révision de substitutions de descripteurs $\texttt{d}_{\texttt{srce}}$ par des descripteurs $\texttt{d}_{\texttt{cible}}$ dans $\texttt{Sol}(\texttt{srce})$ où chaque $\texttt{d}_{\texttt{srce}}$ est un descripteur de $\texttt{srce}$ apparaissant également dans $\texttt{Sol}(\texttt{srce})$ et apparié à un descripteur $\texttt{d}_{\texttt{cible}}$ de $\texttt{cible}$. Pour reprendre l'exemple précédent, si le bleu est la couleur préférée de Salomon (Aliénor a un œil bleu) et le vert, celle de Clovis (Aliénor a les yeux vairons), Aliénor pourra choisir un vase vert pour Clovis (plutôt qu'un vase bleu).

Le célèbre exemple de l'adaptation de la recette du bœuf aux haricots verts en une recette du bœuf aux brocolis entre également dans ce cadre. Cette adaptation est effectuée par le système CHEF [5] qui est un planificateur à partir de cas dont le domaine d'application est la cuisine. Pour ce système, un problème $\mathtt{pb}$ est une recette représentée par un ensemble de buts et une solution de $\mathtt{pb}$ est une recette pour $\mathtt{pb}$, c'est-à-dire, un plan qui satisfait les buts de $\mathtt{pb}$. Considérons une version simplifiée de cet exemple :

Exemple 2 *Le problème cible est : « Comment préparer un sauté de bœuf aux brocolis ? » Le cas source est la recette du « Sauté de bœuf aux haricots verts ». Une première solution au problème cible est obtenue en substituant dans la recette source les haricots verts par les brocolis (en fait, dans* CHEF*, d'autres ajustements sont faits, en particulier, des modifications des temps de cuisson et l'ajout d'une étape de découpage en morceaux des brocolis). Puis, cette recette est testée, grâce à un simulateur utilisant des connaissances du domaine. Cette simulation conduit au fait que les brocolis sont détrempés en fin de préparation, ce qui n'est pas satisfaisant (les brocolis doivent être croquants). Cela s'explique par le fait que les brocolis sont cuits dans l'eau qui est produite par la cuisson du bœuf, le bœuf et les brocolis étant cuits ensemble, dans la même poêle. Finalement, ce plan est réparé en cuisant les brocolis séparément du bœuf.*

Cette adaptation peut être qualifiée d'approche par substitution et réparation et peut être exprimée grâce à un opérateur de révision, comme expliqué ci-dessous. L'exemple est formalisé en logique du premier ordre (LPO). Le cas source $(\mathtt{srce}, \mathtt{Sol}(\mathtt{srce}))$ correspondant à la recette du bœuf aux haricots verts peut être formalisé (de façon simplifiée) par :

$$\begin{aligned} \mathtt{srce} &= \mathtt{est\text{-}cuit}(\mathtt{b\oe uf}) \wedge \mathtt{est\text{-}cuit}(\mathtt{haricots}) \wedge \mathtt{recette\text{-}de\text{-}saut\acute{e}} \\ \mathtt{Sol}(\mathtt{srce}) &= \mathtt{cuire\text{-}ensemble}(\mathtt{b\oe uf}, \mathtt{haricots}) \end{aligned}$$

Le problème cible « Comment préparer un sauté de bœuf aux brocolis ? » peut être formalisé par :

$$\mathtt{cible} = \mathtt{est\text{-}cuit}(\mathtt{b\oe uf}) \wedge \mathtt{est\text{-}cuit}(\mathtt{brocolis}) \wedge \mathtt{recette\text{-}de\text{-}saut\acute{e}}$$

L'étape de substitution de cette adaptation consiste à trouver une substitution σ telle que $\sigma(\mathtt{srce}) \equiv \mathtt{cible}$ puis à proposer $\mathtt{Sol}_1(\mathtt{cible}) = \sigma(\mathtt{Sol}(\mathtt{srce}))$, première solution de $\mathtt{cible}$:

$$\begin{aligned} \sigma &= \{\mathtt{haricots}/\mathtt{brocolis}\} \\ \sigma(\mathtt{Sol}(\mathtt{srce})) &= \mathtt{cuire\text{-}ensemble}(\mathtt{b\oe uf}, \mathtt{brocolis}) \end{aligned}$$

Notons que la remémoration de cette recette ainsi que le choix de la substitution s'appuie sur des éléments de connaissances non considérés ici (en particulier, le fait que les brocolis et les haricots verts partagent la propriétés d'être des légumes verts). Le fait que $\sigma(\mathtt{Sol}(\mathtt{srce}))$ n'est pas une solution satisfaisante de $\mathtt{cible}$ est modélisé par $\mathtt{CD} \wedge \mathtt{cible} \wedge \sigma(\mathtt{Sol}(\mathtt{srce})) \vDash \mathtt{\acute{e}chec}$, où $\mathtt{CD}$ représente les connaissances du domaine suivantes :

$$\begin{aligned} \mathtt{CD} \quad = \quad & \forall x \forall y\ \mathtt{cuire\text{-}ensemble}(x, y) \Rightarrow \mathtt{cuire}(x) \wedge \mathtt{cuire}(y) \quad \wedge \\ & \forall x \forall y\ \mathtt{cuire\text{-}ensemble}(x, y) \wedge \mathtt{d\acute{e}gage\text{-}de\text{-}l'eau}(x) \Rightarrow \mathtt{cuit\text{-}dans\text{-}l'eau}(y) \quad \wedge \\ & \mathtt{cuire}(\mathtt{b\oe uf}) \Rightarrow \mathtt{d\acute{e}gage\text{-}de\text{-}l'eau}(\mathtt{b\oe uf}) \quad \wedge \\ & \mathtt{cuit\text{-}dans\text{-}l'eau}(\mathtt{brocolis}) \Rightarrow \mathtt{\acute{e}chec} \end{aligned}$$

La réparation de $\sigma(\mathtt{Sol}(\mathtt{srce}))$ peut être effectuée en considérant que c'est une solution qui peut être modifiée afin d'entraîner $\neg\mathtt{\acute{e}chec}$ tout en étant cohérente avec $\mathtt{cible}$. De plus, s'il est supposé que cette modification doit être faite de façon minimale, alors un opérateur de révision $\circ$ peut être utilisé pour calculer $f = (\mathtt{CD} \wedge \sigma(\mathtt{Sol}(\mathtt{srce}))) \circ (\mathtt{CD} \wedge \mathtt{cible} \wedge \neg\mathtt{\acute{e}chec})$. Techniquement, l'utilisation de $\circ_{\mathrm{D}}$ requiert que l'exemple soit traduit de LPO en logique propositionnelle. Cela peut être fait par (1) substitution des variables universellement quantifiées x et y par les constantes $\mathtt{b\oe uf}$ et $\mathtt{brocolis}$ et (2) substitution des atomes de LPO par des variables propositionnelles, p. ex., $\mathtt{cuire}(\mathtt{b\oe uf})$ en $\mathtt{cuire\text{-}b\oe uf}$ et $\mathtt{cuire\text{-}ensemble}(\mathtt{b\oe uf}, \mathtt{brocolis})$ par $\mathtt{cuire\text{-}ensemble\text{-}b\oe uf\text{-}brocolis}$. Puis, l'application de l'opérateur de révision de Dalal donne une formule qui, une fois traduite en LPO donne une formule f telle que :

$$\begin{aligned} f &\equiv_{\mathtt{CD}} \mathtt{cible} \wedge \mathtt{Sol}(\mathtt{cible}) \\ \text{avec } \mathtt{Sol}(\mathtt{cible}) &\equiv \mathtt{cuire}(\mathtt{b\oe uf}) \wedge \mathtt{cuire}(\mathtt{brocolis}) \wedge \\ & \qquad \neg\mathtt{cuire\text{-}ensemble}(\mathtt{b\oe uf}, \mathtt{brocolis}) \end{aligned}$$

Ce qui correspond bien à la solution consistant à cuire séparément le bœuf et les brocolis.

4.3 Adaptation par substitutions selon dépendances et révision

Une dépendance associée à un cas $(\mathtt{srce}, \mathtt{Sol}(\mathtt{srce}))$ indique comment varie un descripteur de $\mathtt{Sol}(\mathtt{srce})$ quand varie un descripteur de $\mathtt{srce}$ [11]. Une telle dépendance constitue une connaissance d'adaptation (locale au cas source), comme cela a été illustré dans l'algorithme d'adaptation décrit dans [4]. Une telle dépendance indique par quel descripteur $\mathtt{D}_{\mathtt{cible}}$ un descripteur $\mathtt{D}_{\mathtt{srce}}$ de la solution $\mathtt{Sol}(\mathtt{srce})$ doit être substitué quand une variation d'un descripteur $\mathtt{d}_{\mathtt{srce}}$ vers un descripteur $\mathtt{d}_{\mathtt{cible}}$ est observée du problème $\mathtt{srce}$ au problème $\mathtt{cible}$. Considérons l'exemple suivant :

Exemple 3 *Aliénor décide de rendre visite à Nabuchodonosor, son grand frère. Pour une raison qui lui appartient, elle estime devoir faire à la fille de celui-ci, Iphigénie (8 ans), un cadeau. Mais lequel ? Elle fouille sa mémoire et se rappelle avoir offert au fils de sa cousine Marie-Antoinette, qui s'appelle Abélard et avait alors 6 ans, un puzzle de 60 pièces avec un dessin de kangourou qui avait enthousiasmé ce gamin pourtant pénible (« Ah misère, celui-là, il lui arrivera des bricoles. Enfin, merci pour le cadeau : tant qu'il aura les mains occupées, il n'embêtera pas Héloïse, la fille des voisins. » avait soupiré Marie-Antoinette en se massant machinalement la nuque). Mais, d'une part, Iphigénie a deux ans de plus qu'Abélard, d'autre part, c'est une fille. Pour adapter cette idée de cadeau, Aliénor s'appuie sur deux de ses croyances[3] :*

- *« Tous les ans, les enfants sont capables de résoudre des puzzles de 15 pièces de plus. » Ce qu'Aliénor n'hésite pas à formuler (de façon quelque peu abusive) par :*

$$\frac{\partial \mathtt{nb\text{-}pièces\text{-}puzzle}}{\partial \mathtt{âge}} = 15 \; pièces/an$$

- *« Les filles sont plus malignes et patientes que les garçons : elles résolvent des puzzles de $n + 30$ pièces là où les garçons équivalents résolvent des puzzles de n pièces. » Ce qu'Aliénor n'hésite pas à formuler par :*

$$\frac{\partial \mathtt{nb\text{-}pièces\text{-}puzzle}}{\partial \mathtt{genre[masculin{\to}féminin]}} = 30 \text{ (dans une certaine unité)}$$

Aliénor estime alors qu'un puzzle de kangourou avec $60 + (8 - 6) \times 15 + 30 = 120$ pièces est une idée de cadeau pour Iphigénie. Elle s'empresse d'aller acheter un tel objet, quand elle se rappelle que sa nièce a une profonde aversion envers les animaux. Aliénor décide alors de lui offrir un puzzle de 120 pièces représentant un pantalon brun (elle a conservé les caractéristiques « a des poches » et « est brun » de cet animal).

Cette adaptation du cadeau $\mathtt{Sol}(\mathtt{srce})$ destiné à $\mathtt{srce} =$ Abélard en un cadeau $\mathtt{Sol}(\mathtt{cible})$ destiné à $\mathtt{cible} =$ Iphigénie peut être modélisé par une adaptation en deux temps :

- Substitutions selon les dépendances $\frac{\partial \mathtt{nb\text{-}pièces\text{-}puzzle}}{\partial x}$ $(x \in \{\mathtt{âge}, \mathtt{genre}\})$ qui fait passer en deux temps du nombre de pièces du puzzle pour Abélard à celui pour Iphigénie ;

- Révision par les connaissances concernant la zoophobie d'Iphigénie.

Notons que nous n'avons pas présenté une formalisation de ce problème : elle serait relativement simple mais assez fastidieuse.

Remarque : On pourrait être tenté, à la lecture de cette exemple, de considérer que les adaptations différentielles (i.e., les adaptations s'appuyant sur les dépendances) concernent les aspects numériques alors que les adaptations s'appuyant sur des opérateurs de révision concernent des aspects symboliques. Notre conviction (à travers d'autres exemples) est que ce n'est pas nécessairement le cas : une adaptation différentielle peut manipuler des symboles et des structures alors qu'une adaptation conservatrice peut manipuler des quantités numériques.

[3]Nous ne faisons pas ici de distinction entre croyances et connaissances.

5 Rappels sur la théorie de la fusion

Les articles [8] et [7] nous servent de base pour (notamment) la définition des opérateurs de fusion avec contraintes d'intégrité (*IC merging operators*) que nous reprenons ici. On appelle un profil de connaissances un multi-ensemble fini de bases de connaissances. $\Psi_1 \cup \Psi_2$ dénote l'union multi-ensemble des profils Ψ_1 et Ψ_2. Un opérateur de fusion $\triangle$ associe à une base de connaissances μ (représentant les « contraintes d'intégrité ») et un profil de connaissances Ψ, une base de connaissances $\triangle_\mu(\Psi)$. Intuitivement, $\triangle_\mu(\Psi)$ est obtenu en fusionnant les bases de connaissances de Ψ tout en restant cohérent avec μ.

Un tel opérateur de fusion doit vérifier un ensemble de postulats que nous rappelons ici à titre informatif (leur compréhension précise n'est pas nécessaire pour la suite de l'article) :

(IC0) $\triangle_\mu(\Psi) \models \mu$;

(IC1) Si μ est satisfiable, alors $\triangle_\mu(\Psi)$ est satisfiable ;

(IC2) Si la conjonction $\bigwedge \Psi$ des éléments de Ψ est consistante avec μ, alors $\triangle_\mu(\Psi) \equiv \bigwedge \Psi \wedge \mu$;

(IC3) Si $\Psi_1 \equiv \Psi_2$ (i.e., s'il existe une bijection Φ de Ψ_1 dans Ψ_2 telle que pour tout $\psi_1 \in \Psi_1$, $\psi_1 \equiv \Phi(\psi_1)$) et $\mu_1 \equiv \mu_2$ alors $\triangle_{\mu_1}(\Psi_1) \equiv \triangle_{\mu_2}(\Psi_2)$;

(IC4) Si $\varphi \models \mu$ et $\varphi' \models \mu$ alors $\triangle_\mu(\{\varphi, \varphi'\}) \wedge \varphi$ est consistant si et seulement si $\triangle_\mu(\{\varphi, \varphi'\}) \wedge \varphi'$ est consistant ;

(IC5) $\triangle_\mu(\Psi_1) \wedge \triangle_\mu(\Psi_2) \models \triangle_\mu(\Psi_1 \cup \Psi_2)$;

(IC6) Si $\triangle_\mu(\Psi_1) \wedge \triangle_\mu(\Psi_2)$ est consistant alors $\triangle_\mu(\Psi_1 \cup \Psi_2) \models \triangle_\mu(\Psi_1) \wedge \triangle_\mu(\Psi_2)$;

(IC7) $\triangle_{\mu_1}(\Psi) \wedge \mu_2 \models \triangle_{\mu_1 \wedge \mu_2}(\Psi)$;

(IC8) Si $\triangle_{\mu_1}(\Psi) \wedge \mu_2$ est consistant alors $\triangle_{\mu_1 \wedge \mu_2}(\Psi) \models \triangle_{\mu_1}(\Psi)$.

pour μ, μ_1 et μ_2 des bases de connaissances, φ et φ' des bases de connaissances supposées cohérentes, et Ψ, Ψ_1 et Ψ_2 des profils de connaissances.

La théorie de la fusion étend la théorie de la révision au sens où, si $\triangle$ est un opérateur de fusion alors $\circ$ défini par $\psi \circ \mu = \triangle_\mu(\{\psi\})$ est un opérateur de révision.

Par exemple, dans [8], est défini l'opérateur de fusion $\triangle^\Sigma$ qu'on peut définir comme suit, étant donné une distance `dist` entre interprétations. On définit la distance entre un profil de connaissance Ψ et une interprétation $\mathcal{J}$ par :

$$\mathtt{dist}(\Psi, \mathcal{J}) = \sum_{\psi \in \Psi} \mathtt{dist}(\mathtt{Mod}(\psi), \mathcal{J})$$

Les modèles de $\triangle^\Sigma_\mu(\Psi)$ sont les modèles $\mathcal{J}$ de μ qui minimisent $\mathtt{dist}(\Psi, \mathcal{J})$:

$$\mathtt{Mod}(\triangle^\Sigma_\mu(\Psi)) = \{\mathcal{J} \mid \mathcal{J} \in \mathtt{Mod}(\mu) \text{ et } \mathtt{dist}(\Psi, \mathcal{J}) = \min_{\mathcal{J}' \in \mathtt{Mod}\mu} \mathtt{dist}(\Psi, \mathcal{J}')\}$$

6 Application de la fusion des connaissances à la combinaison de cas

Un problème de combinaison de cas se pose de la façon suivante : étant donné un problème `cible` et un sous-ensemble $\{\mathtt{cas\text{-}srce}_1, \mathtt{cas\text{-}srce}_2, \ldots \mathtt{cas\text{-}srce}_p\}$ de la base de cas (obtenu par un processus de remémoration de plusieurs cas), quelle solution proposer pour `cible` par réutilisation des cas $\mathtt{cas\text{-}srce}_i$ ($i \in \{1, 2, \ldots p\}$) ? Le principe de cette combinaison est généralement le suivant : construire `Sol(cible)` en sélectionnant des informations des cas remémorés, pour obtenir une solution qui soit cohérente.

Une des approches de combinaison de cas est l'approche séquentielle : elle consiste d'abord à ordonner totalement les cas remémorés — par exemple, sur la base de la distance au problème cible — puis à utiliser une opération d'adaptation pour compléter pas à pas le problème cible (on peut aussi parler de l'approche mayonnaise de la combinaison : les cas sources sont incorporés l'un après l'autre dans la solution du problème cible). Supposons par exemple que l'adaptation choisie soit une $\circ$-adaptation conservatrice et que les cas sources soient indicés selon leur ordre : $\texttt{cas-srce}_i$ sera utilisé avant $\texttt{cas-srce}_{i+1}$ pour $i \in \{1, 2, \ldots p-1\}$. Dans ce cas, la combinaison de cas peut se faire de la façon suivante, où $\texttt{cas-cible}_i \equiv \texttt{cible} \land \texttt{Sol}_i(\texttt{cible})$ est obtenu après la $i^{\text{ème}}$ étape, $\texttt{cas-cible}_0 \equiv \texttt{cible}$ (et $\texttt{Sol}_0(\texttt{cible})$ est la solution vide, représentée par une tautologie quelconque) :

$$\begin{aligned}
\texttt{cas-cible}_1 &\leftarrow \texttt{AC}_\circ(\texttt{CD}, \texttt{cas-srce}_1, \texttt{cas-cible}_0)\\
\texttt{cas-cible}_2 &\leftarrow \texttt{AC}_\circ(\texttt{CD}, \texttt{cas-srce}_2, \texttt{cas-cible}_1)\\
&\ldots\\
\texttt{cas-cible}_p &\leftarrow \texttt{AC}_\circ(\texttt{CD}, \texttt{cas-srce}_{p-1}, \texttt{cas-cible}_{p-1})
\end{aligned}$$

Cette approche de la combinaison de cas par une séquence d'adaptations conservatrices a été (brièvement) étudiée dans [9].

Une autre approche, qui nous semble une généralisation de la précédente (mais cela reste à prouver) consiste à utiliser un opérateur de fusion $\triangle$. Plus précisément, on définit la $\triangle$-combinaison de cas par :

$$\begin{aligned}
&\texttt{CC}_\triangle(\texttt{CD}, \{\texttt{cas-srce}_1, \texttt{cas-srce}_2, \ldots \texttt{cas-srce}_p\}, \texttt{cible})\\
&= \triangle_{\texttt{CD}\land\texttt{cible}}(\{\texttt{CD} \land \texttt{cas-srce}_1, \texttt{CD} \land \texttt{cas-srce}_2, \ldots \texttt{CD} \land \texttt{cas-srce}_p\})\\
&\equiv_{\texttt{CD}} \texttt{cible} \land \texttt{Sol}(\texttt{cible})
\end{aligned}$$

L'exemple suivant montre un problème de combinaison de cas :

Exemple 4 *Le petit frère d'Aliénor, Charles, va avoir* 100 *ans. Toute la famille se tourne vers Aliénor pour lui poser la question rituelle : « Que lui offrir ? » Elle se souvient que parmi les cadeaux qu'on lui avait offert pour ses* 100 *ans, elle avait particulièrement apprécié un bouquet de tulipes bleues et un polar de Jean-Bernard Pouy,* Larchmütz 5632*. Elle se souvient également des* 100 *ans de Nabuchodonosor, son grand frère et de deux cadeaux qu'il avait apprécié : une boîte de chocolats à la bergamote et un polar de J.-B. Pouy,* La petite écuyère a cafté *(en abrégé : LPÉAC). Aliénor veut s'inspirer de ces deux expériences pour trouver des cadeaux qui plaisent à Charles, sachant par ailleurs que celui-ci n'aime ni les polars, ni la couleur bleue.*

Ce problème de combinaison de cas peut se formaliser comme suit :

$$\begin{aligned}
\texttt{cible} &= \lnot\texttt{apprécie-polar} \land \lnot\texttt{apprécie-bleu} \land \texttt{carac-famille} \land \texttt{homme}\\
\texttt{srce}_1 &= \texttt{carac-famille} \land \texttt{femme}\\
\texttt{Sol}(\texttt{srce}_1) &= \texttt{apprécie-tulipes-bleues} \land \texttt{apprécie-Larchmütz5632}\\
\texttt{srce}_2 &= \texttt{carac-famille} \land \texttt{homme}\\
\texttt{Sol}(\texttt{srce}_2) &= \texttt{apprécie-chocolats-à-la-bergamote} \land \texttt{apprécie-LPÉAC}
\end{aligned}$$

($\texttt{carac-famille}$ représentent les caractéristiques familiales commune à Aliénor et à ses deux frères). Les connaissances du domaine utilisées par Aliénor sont :

$$\begin{aligned}
\texttt{CD} = {} & \texttt{apprécie-tulipes-bleues} \Rightarrow (\texttt{apprécie-tulipes} \land \texttt{apprécie-bleu})\\
& \land (\texttt{apprécie-Larchmütz5632} \lor \texttt{apprécie-LPÉAC}) \Rightarrow (\texttt{apprécie-polar} \land \texttt{apprécie-roman-JB-Pouy})\\
& \land (\lnot\texttt{femme} \lor \lnot\texttt{homme})
\end{aligned}$$

Ce problème est résolu par $\triangle^\Sigma$-combinaison de la façon suivante (avec $\texttt{dist}$, la distance de Hamming entre interprétations) :

$$\begin{aligned}
&\texttt{CC}_{\triangle^\Sigma}(\texttt{CD}, \{\texttt{cas-srce}_1, \texttt{cas-srce}_2\}, \texttt{cible})\\
&= \triangle^\Sigma_{\texttt{CD}\land\texttt{cible}}(\{\texttt{CD} \land \texttt{srce}_1 \land \texttt{Sol}(\texttt{srce}_1), \texttt{CD} \land \texttt{srce}_2 \land \texttt{Sol}(\texttt{srce}_2)\})\\
&\equiv_{\texttt{CD}} \texttt{cible} \land \texttt{apprécie-tulipes} \land \lnot\texttt{apprécie-tulipes-bleues} \land\\
&\qquad \texttt{apprécie-chocolats-à-la-bergamote} \land \texttt{apprécie-roman-JB-Pouy} \land \lnot\texttt{apprécie-polar}
\end{aligned}$$

Et Aliénor conclut que Charles appréciera des tulipes si elles ne sont pas bleues, des chocolats à la bergamote et un roman non policier de J.-B. Pouy.

Épilogue : Forte de toutes ses expériences, Aliénor rédige un livre [2] et en offre un exemplaire à chacun de ses amis (sauf à Clovis[4]).

Notons que cet exemple donne le même résultat que la combinaison par séquence de $\circ_{\mathrm{D}}$-adaptations conservatrices, quel que soit l'ordre sur les deux cas sources remémorés. Dans [9], est présenté un exemple de combinaison séquentielle de deux cas sources pour lequel l'ordre des cas sources importe : le résultat $\mathtt{CSC}^{1;2}$ pour un ordre n'est pas équivalent au résultat $\mathtt{CSC}^{2;1}$ pour l'autre ordre. On peut montrer que, *pour cet exemple de [9]*, le résultat $\mathtt{CC}$ de la $\triangle^{\Sigma}$-combinaison est équivalente à la disjonction des combinaisons séquentielles pour les différents ordres : $\mathtt{CC} \equiv \mathtt{CSC}^{1;2} \vee \mathtt{CSC}^{2;1}$. C'est vrai aussi pour l'exemple 4 ci-dessus. Au-delà de ces deux exemples, est-ce toujours vrai ? C'est un des nombreux points qu'il reste à étudier.

7 Conclusion et perspectives

Au début de cet article ont été introduites deux questions qui se posent lors de l'adaptation d'un cas : (QA1) « Quels éléments du cas modifier ? » et (QA2) « Par quoi remplacer ces éléments ? » La première partie de cet article a consisté à proposer des pistes s'appuyant sur des opérateurs de révision. La première piste est l'adaptation conservatrice qui répond à (QA1) par : « Il faut supprimer les éléments qui sont incohérents avec le contexte du problème cible » et à (QA2) par : « Il faut les remplacer par des éléments à la fois cohérents avec ce qui est conservé par le contexte du cas source et avec le problème cible. » D'autres approches de l'adaptation répondent à ces questions. Une combinaison de l'adaptation conservatrice et d'une autre méthode d'adaptation (s'appuyant, par exemple, sur les dépendances) doit combiner les réponses à ces questions associées aux deux méthodes d'adaptation. C'est dans cet esprit que des exemples ont été présentés pour combiner adaptation par substitutions (simples ou selon dépendances) et adaptation conservatrice.

La problématique de la combinaison de plusieurs cas sources pour résoudre un problème cible — qui peut être considérée comme une extension de la problématique de l'adaptation — a été abordée sous l'angle de la théorie de la fusion des connaissances — qui est une extension de la théorie de la révision — à travers un exemple.

Ce travail n'en est qu'à ses débuts et doit se poursuivre de façons théoriques et pratiques.

Sur le plan théorique, la place et la portée de l'adaptation conservatrice restent à être étudiées soigneusement : quelles sont les propriétés de cette approche de l'adaptation (en fonction de l'opérateur de révision choisi) ? Elle ne recouvre très probablement pas toutes les approches d'adaptation, notamment pas celles qui s'appuient sur des dépendances ; l'étude des complémentarités des approches devrait donc s'avérer fructueuse. L'étude de l'utilisation d'opérateurs de fusion pour la combinaison de cas n'en est qu'à son balbutiement et doit se poursuivre.

Sur le plan pratique, en se limitant dans un premier temps à l'adaptation conservatrice, deux questions se posent. La première est liée au fait que l'adaptation conservatrice est gourmande en ressources : tout opérateur de révision respectant les postulats de Katsuno et Mendelzon est NP-difficile et nécessite donc une implantation optimisée. Cela entraîne aussi le fait qu'une telle adaptation peut se révéler trop coûteuse en terme de temps de calcul si le nombre de variables de $\mathcal{V}$ est important. Par conséquent, pour simplifier une adaptation conservatrice, il peut être utile de sélectionner les seules variables pertinentes pour cette adaptation. Une telle sélection pourrait se faire sur la base de dépendances (même qualitatives) entre variables de problèmes et variables de solutions. Ce point doit être examiné en détail.

L'autre question pratique est liée au formalisme. Si nous avons choisi la logique propositionnelle dans cet article, c'est parce que la révision est souvent étudiée dans ce cadre. En fait, rares sont les systèmes de RÀPC qui s'appuient sur ce formalisme. En revanche, les logiques de descriptions sont utilisées plus souvent en RÀPC. Une extension de l'adaptation conservatrice à ces formalismes est une autre direction de recherches :

[4]Une des personnes qui a relu cet article fait la remarque suivante : « Maintenant, on sait qu'Aliénor ne fait pas que sortir avec des caractériels, elle l'est elle-même... et rancunière par dessus tout ! » J'ai eu la mauvaise idée d'en parler à l'intéressée (Aliénor), qui a exigé que j'écrive ce droit de réponse : « Moi, caractérielle ? Vous avez la chance d'être anonyme, sinon, je ne vous aurais pas oublié(e), croyez-moi ! »

elle suppose soit l'implantation d'un opérateur de révision dans une logique de descriptions, soit l'interaction bien conçue entre deux formalismes.

Remerciements

L'auteur tient à remercier Pierre Marquis qui, il y a quelques années, lui a appris les bases de la théorie de la révision, a, plus récemment, suggéré des références intéressantes sur cette théorie et a fait des remarques intéressantes et constructives sur le rapport de recherche [9] (par exemple, l'idée d'utiliser un opérateur de fusion est de lui). Il tient également à remercier Sylvie Coste-Marquis qui lui a expliqué plusieurs points théoriques sur la fusion des connaissances. Il remercie également les relecteurs pour leurs remarques encourageantes et intéressantes. Enfin, il remercie sa fille qui, pour quelque raison mystérieuse, est à l'origine de ce travail.

Références

[1] Alchourrón (C. E.), Gärdenfors (P.) et Makinson (D.). – On the Logic of Theory Change: partial meet functions for contraction and revision. *Journal of Symbolic Logic*, vol. 50, 1985, pp. 510–530.

[2] Aliénor. – *Offrir des cadeaux à partir de cas : quelques expériences vécues*. – Éditions du kangourou masqué, 2007.

[3] Dalal (M.). – Investigations into a theory of knowledge base revision: Preliminary report. *In : AAAI*, pp. 475–479. – 1988.

[4] Fuchs (B.), Lieber (J.), Mille (A.) et Napoli (A.). – An Algorithm for Adaptation in Case-Based Reasoning. *In : Proceedings of the 14th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI-2000), Berlin, Germany*, pp. 45–49. – 2000.

[5] Hammond (K. J.). – Case-Based Planning: A Framework for Planning from Experience. *Cognitive Science*, vol. 14, n3, 1990, pp. 385–443.

[6] Katsuno (H.) et Mendelzon (A.). – Propositional knowledge base revision and minimal change. *Artificial Intelligence*, vol. 52, n3, 1991, pp. 263–294.

[7] Konieczny (S.), Lang (J.) et Marquis (P.). – DA^2 merging operators. *Artificial Intelligence*, vol. 157, n1-2, 2004, pp. 49–79.

[8] Konieczny (S.) et Pérez (R. Pino). – Merging information under constraints: a logical framework. *Journal of Logic and Computation*, vol. 12, n5, 2002, pp. 773–808.

[9] Lieber (J.). – *A Definition and a Formalization of Conservative Adaptation for Knowledge-Intensive Case-Based Reasoning – Application to Decision Support in Oncology (A Preliminary Report)*. – Rapport de recherche, LORIA, 2006.

[10] Plein d'auteurs. – De nombreux travaux sur la théorie de la révision, depuis 1985.

[11] Py (M.). – Un modèle conceptuel de raisonnement par analogie. *Revue d'intelligence artificielle*, vol. 8, 1994, pp. 63–99.

[12] Riesbeck (C. K.) et Schank (R. C.). – *Inside Case-Based Reasoning*. – Hillsdale, New Jersey, Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 1989.