



# Raisonnement à partir de cas décentralisé pour le Web sémantique

Mathieu d'Aquin

## ► To cite this version:

Mathieu d'Aquin. Raisonnement à partir de cas décentralisé pour le Web sémantique. 14e Atelier de Raisonnement à Partir de Cas, Mar 2006, Besançon, France. inria-00001253

**HAL Id: inria-00001253**

**<https://hal.inria.fr/inria-00001253>**

Submitted on 13 Apr 2006

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

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

# Raisonnement à partir de cas décentralisé pour le Web sémantique

Mathieu d'Aquin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> LORIA - INRIA Lorraine, UMR 7503

Campus scientifique - BP 239

54506 Vandœuvre-lès-Nancy

daquin@loria.fr

---

**RÉSUMÉ** : Le raisonnement à partir de cas décentralisé est un mécanisme de raisonnement dont l'objectif est de répondre au besoin en raisonnement par adaptation dans un environnement où co-existent de multiples points de vue sur les connaissances. Dans cette approche, les connaissances du domaine et les connaissances d'adaptation sont représentées au sein d'ontologies contextualisées dans le langage C-OWL. Un contexte en C-OWL est utilisé pour représenter un point de vue particulier, contenant les connaissances utiles à la résolution d'un problème vu selon ce point de vue. Les contextes en C-OWL sont reliés par des relations sémantiques qui permettent au RÀPC se focalisant sur un point de vue particulier de réutiliser et de partager des connaissances à propos du problème à résoudre et des solutions déjà trouvées dans d'autres points de vue.

**MOTS-CLÉS** : Web sémantique, points de vue, OWL, C-OWL

---

## 1. Introduction

Le Web sémantique repose sur la représentation formelle des connaissances diffusées sur le Web afin de permettre l'utilisation de mécanismes de raisonnements automatiques pour l'accès à ces connaissances. OWL (*Web Ontology Language* [Bechhofer *et al.*, 2004]), le principal formalisme de représentation des connaissances employé pour cela, a été conçu pour l'utilisation de raisonnements déductifs, tels que la classification et l'instanciation. Le *raisonnement à partir de cas* (RÀPC) est un paradigme de raisonnement pour la résolution de problèmes qui repose sur l'adaptation des solutions de problèmes déjà résolus, stockés dans une *base de cas*, pour résoudre de nouveaux problèmes. Cet article s'intéresse à la mise en œuvre du RÀPC dans l'infrastructure du Web sémantique. On cherchera en effet à montrer comment les technologies telles que OWL peuvent être étendues pour le RÀPC, apportant ainsi au Web sémantique un mode de raisonnement relevant non plus de la déduction, mais de l'analogie.

Le processus de RÀPC repose sur trois types de connaissances : les connaissances du domaine, les connaissances d'adaptation et les cas. Dans des domaines complexes et multi-disciplinaires, comme peut l'être par exemple la cancérologie, co-existent généralement, plusieurs façons de considérer ces éléments de connaissances et plusieurs façons de les utiliser : de multiples points de vue. En particulier dans le cadre du RÀPC, un chirurgien cherchant à établir un traitement chirurgical ne considérera pas comme étant similaires les mêmes patients qu'un radiothérapeute s'intéressant à établir une radiothérapie. Ainsi, nous nous intéressons dans cet article à exploiter ces multiples points de vue et les relations qui les lient pour le RÀPC. Les connaissances utiles

au RÀPC sont pour cela représentées au sein d'*ontologies contextualisées* dans le langage C-OWL. C-OWL permet en effet la mise en œuvre de contextes, c'est-à-dire d'ontologies locales représentant chacune un point de vue sur le domaine, et de les relier par des appariements. Sur la base d'une représentation multi-points de vue en C-OWL, nous proposons alors un mécanisme de RÀPC *décentralisé*. Dans cette optique, chaque contexte contient les connaissances de domaine, les connaissances d'adaptation et les cas utiles à la résolution d'un problème selon un point de vue particulier. Différents processus de raisonnements peuvent alors être mis en œuvre, chacun se focalisant sur un seul point de vue, et les appariements entre contextes sont utilisés pour la combinaison des points de vue, permettant aux différents processus de RÀPC de collaborer. On s'attachera à montrer comment ce mécanisme de RÀPC décentralisé apporte un mode de raisonnement adapté à l'environnement distribué et hétérogène du Web sémantique.

Notre principale motivation pour la mise en œuvre du RÀPC décentralisé provient d'une application en cancérologie, le système KASIMIR, présentée dans la section suivante. Dans la section 3, l'intégration du RÀPC dans les technologies du Web sémantique est abordée. Une introduction au langage C-OWL suit en section 4. La section 3 détaille les modèles de connaissances et de raisonnements sur lesquels repose le RÀPC décentralisé et comment la résolution de problèmes est mise en œuvre par la combinaison de multiples points de vue représentés en C-OWL. Finalement, un exemple d'application du RÀPC décentralisé est présenté en section 6.

## 2. Motivation : adaptation et multiples points de vue en cancérologie

La cancérologie est un domaine complexe où différentes disciplines (la chimiothérapie, la chirurgie, la radiothérapie, etc.) sont impliquées dans différentes phases de la prise en charge d'un patient. Dans la plupart des cas, la décision à prendre peut être établie par application d'un *référentiel*, c'est-à-dire d'un protocole de décision dédié à une localisation cancéreuse particulière (par exemple le cancer du sein). Un référentiel est conçu pour synthétiser les connaissances actuelles en médecine (selon les principes de la médecine factuelle ou *Evidence Based Medicine* en anglais) et pour prendre en compte les cas les plus courants. Il ne permet ainsi pas de couvrir toutes les situations : pour les patients qui sortent du cadre du référentiel, pour cause de contre-indication par exemple, les décisions sont prises lors d'une RCP (réunion de concertation pluri-disciplinaire). Ces réunions regroupent des experts des différentes disciplines de la cancérologie et ont pour objectif d'adapter les recommandations du référentiel aux cas particuliers pour lesquels il ne fournit pas de réponse satisfaisante. Lors de ces réunions, chaque expert, de chaque discipline, apporte sa propre part à la solution et collabore avec les autres experts dans l'établissement d'une recommandation globale. En d'autres termes, chaque discipline apporte son propre point de vue sur la prise en charge du patient et s'appuie pour cela sur son propre point de vue sur les connaissances du domaine, en relation avec les autres points de vue que constituent les autres disciplines. C'est pour cette raison que nous nous intéressons à la construction d'un mécanisme de RÀPC décentralisé, exploitant une représentation multi-points de vue des connaissances médicales afin d'être intégré à un système d'aide à la décision pour l'adaptation des référentiels dans le cadre multidisciplinaire de la cancérologie.

## 3. Raisonnement à partir de cas avec OWL

Un cas est un couple, noté  $(pb, Sol(pb))$ , associant un problème  $pb$  à sa solution  $Sol(pb)$ . Le RÀPC consiste à résoudre un problème cible, noté  $cible$ , en adaptant la solution  $Sol(source)$

d'un problème source de la base de cas, considéré comme similaire à cible. Pour cela, le mécanisme de RÀPC repose essentiellement sur deux opérations : la remémoration et l'adaptation. La remémoration consiste à extraire de la base de cas un problème source similaire à cible et l'adaptation consiste à modifier la solution  $Sol(source)$  du problème source remémoré pour construire une solution  $Sol(cible)$  au problème cible. Outre les cas de la base de cas, les opérations de remémoration et d'adaptation reposent sur deux types de connaissances : les connaissances du domaine et les connaissances d'adaptation. Les connaissances du domaine définissent les notions relatives au domaine d'application, en particulier utiles à la description des cas. Les ontologies ayant pour rôle de modéliser ce type de connaissances au sein du Web sémantique, le mécanisme de RÀPC développé ici manipule des connaissances du domaine contenues dans des ontologies en OWL. Ce que nous appelons connaissances d'adaptation correspond aux connaissances relatives à la similarité entre problèmes et à l'adaptation des solutions. Pour la représentation de ce type de connaissances, nous nous appuyons sur le modèle des reformulations [Melis *et al.*, 1998].

### 3.1. Une brève introduction à OWL

OWL est le formalisme standard pour la représentation des ontologies pour le Web sémantique. Une ontologie en OWL contient les définitions des classes, des propriétés et des individus du domaine concerné. Un *individu* correspond à un objet. Une propriété dénote une relation binaire entre objets. Une classe représente un ensemble d'objets. Formellement, la sémantique d'une ontologie en OWL s'exprime selon une interprétation  $\mathcal{I} = (\Delta^{\mathcal{I}}, \cdot^{\mathcal{I}})$ , où  $\Delta^{\mathcal{I}}$  est un ensemble non vide appelé domaine d'interprétation et  $\cdot^{\mathcal{I}}$  est une fonction d'interprétation. Cette fonction associe une classe  $C$  à un sous-ensemble  $C^{\mathcal{I}}$  du domaine d'interprétation  $\Delta^{\mathcal{I}}$ , une propriété  $p$  à une sous-ensemble  $p^{\mathcal{I}}$  de  $\Delta^{\mathcal{I}} \times \Delta^{\mathcal{I}}$ , et un individu  $a$  à un élément  $a^{\mathcal{I}}$  de  $\Delta^{\mathcal{I}}$ .

Une ontologie  $O$  en OWL est un ensemble d'axiomes et d'assertions. Les classes sont introduites par des axiomes de la forme<sup>1</sup>  $C \sqsubseteq D$ , avec  $C$  et  $D$  deux classes. On dit que  $\mathcal{I}$  satisfait  $C \sqsubseteq D$  si  $C^{\mathcal{I}} \subseteq D^{\mathcal{I}}$ .  $C \equiv D$  est une notation pour  $C \sqsubseteq D$  et  $D \sqsubseteq C$ . Les *assertions* sont utilisées pour introduire les individus. Les deux formes possibles d'assertions sont  $C(a)$  et  $p(a, b)$ ,  $C$  étant une classe,  $a$  et  $b$  deux individus, et  $p$  une propriété.  $\mathcal{I}$  satisfait  $C(a)$  si  $a^{\mathcal{I}} \in C^{\mathcal{I}}$  et  $p(a, b)$  si  $(a^{\mathcal{I}}, b^{\mathcal{I}}) \in p^{\mathcal{I}}$ .  $\mathcal{I}$  est un modèle pour  $O$  si elle satisfait tous les axiomes et assertions de  $O$ .

La syntaxe d'OWL contient un ensemble de constructeurs permettant de décrire des classes complexes, comme la conjonction de classes ( $C \sqcap D$ ), interprétée comme une intersection ( $C^{\mathcal{I}} \cap D^{\mathcal{I}}$ ), ou le quantificateur existentiel ( $\exists p.C$ ), qui représente l'ensemble  $(\exists p.C)^{\mathcal{I}}$  des objets en relation par  $p$  avec au moins un élément de  $C^{\mathcal{I}}$ . La syntaxe et la sémantique de l'ensemble des constructeurs d'OWL se trouvent décrites dans [Bechhofer *et al.*, 2004].

### 3.2. Reformulations pour la représentation des connaissances d'adaptation

Le modèle des reformulations a été à l'origine développé pour la comparaison et l'adaptation de structures complexes. Une *reformulation* est définie comme une unité élémentaire pour la modélisation des connaissances d'adaptation [Melis *et al.*, 1998]. Elle est notée sous la forme d'un couple  $(r, \mathcal{A}_r)$  où  $r$  est une *relation entre problèmes* et  $\mathcal{A}_r$ , une *fonction d'adaptation de solutions*. Une telle reformulation s'interprète comme une règle indiquant que si deux problèmes  $pb_1$  et  $pb_2$  sont en relation par  $r$  (noté  $pb_1 \ r \ pb_2$ ), alors la solution  $Sol(pb_1)$  de  $pb_1$  peut être adaptée par  $\mathcal{A}_r$  en une solution  $Sol(pb_2)$  de  $pb_2$ .

<sup>1</sup>Dans cet article nous utilisons une syntaxe de logiques de descriptions pour les expressions en OWL.

Dans le modèle des reformulations, la remémoration consiste à établir une séquence de relations entre problèmes  $r_i$ , formant ce qui est appelé un *chemin de similarité* et reliant un problème source de la base de cas, au problème cible à résoudre :

$$\text{source } r_1 \text{ pb}_1 r_2 \text{ pb}_2 \dots \text{pb}_{q-1} r_q \text{ cible}$$

avec  $\text{pb}_i$  des problèmes intermédiaires, c'est-à-dire des problèmes introduits pour les besoins du raisonnement. Chacune des relations entre problèmes  $r_i$  qui composent un chemin de similarité est reliée par une reformulation à une fonction d'adaptation  $\mathcal{A}_{r_i}$ . L'adaptation consiste donc à suivre le chemin de similarité pour construire ce qui est appelé un *chemin d'adaptation*, appliquant les fonctions d'adaptation  $\mathcal{A}_{r_i}$  à chaque étape comme montré à la figure 1.

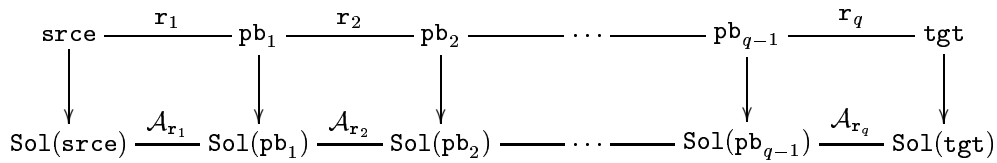


FIG. 1 – Un chemin de similarité entre source et cible (première ligne) et le chemin d'adaptation correspondant (deuxième ligne).

### 3.3. RàPC avec OWL

Afin d'appliquer le mécanisme de RàPC sur des éléments diffusés au sein du Web sémantique, il est nécessaire de disposer d'un modèle des notions utiles au RàPC en OWL (une « ontologie du RàPC »). Nous présentons ici les grandes lignes de ce modèle, formalisé en OWL dans [d'Aquin, 2005], à partir de sa version en RDF(S) décrite dans [d'Aquin, 2003].

Les problèmes et les solutions sont représentés par des individus, instances des classes *Problème* et *Solution*. Le lien entre un problème  $\text{pb}$  et sa solution  $\text{Sol}(\text{pb})$  est mis en œuvre au travers d'une propriété *aPourSolution*. Des axiomes sont utilisés pour relier les classes *Problème* et *Solution* aux classes de l'ontologie du domaine. Par exemple, dans notre application pour le traitement du cancer du sein, les axiomes *Patient*  $\sqsubseteq$  *Problème* et *Traitement*  $\sqsubseteq$  *Solution* font correspondre les notions de patient et de traitement du domaine d'application, aux notions de problème et de solution manipulées par le RàPC. De plus, la propriété *aPourSolution* est utilisée pour relier les patients aux traitements qui leur sont recommandés. Les relations  $r$  entre problèmes, les fonctions d'adaptation  $\mathcal{A}_r$  et les reformulations sont aussi formalisées en OWL [d'Aquin, 2005].

Ayant représenté les connaissances utiles au RàPC en OWL, les mécanismes de raisonnements associés à ce langage peuvent être utilisés pour le RàPC. En particulier, la subsumption permet de construire une hiérarchie de classes, utile à l'indexation de la base de cas. La classification d'individus (où instanciation) permet quant à elle de retrouver de quelles classes un individu est instance. Nous l'appliquons dans le cadre de la remémoration afin de trouver un index de problème source (une classe de l'ontologie) dont le problème cible est instance.

## 4. Une introduction à C-OWL

### 4.1. C-OWL : ontologies contextualisées

C-OWL est une extension de OWL pour la représentation d'*ontologies contextualisées* (ou contextuelles) [Bouquet *et al.*, 2004]. Les ontologies contextualisées sont des représentations locales, appelées contextes, en relation avec d'autres contextes au travers d'appariements. En C-OWL, les connaissances sont contenues dans un ensemble de contextes, appelé *espace de contextes*. Chaque contexte  $O_i$  de cet espace est une ontologie en OWL, possédant son propre langage et sa propre interprétation. Les appariements sont exprimés sous la forme de passerelles. Une *passerelle* entre  $O_i$  and  $O_j$  permet de déclarer une correspondance entre les éléments de connaissances de ces deux contextes. Sur la base de ces correspondances, une partie des connaissances contenues dans  $O_i$  peut être interprétée et réutilisée dans  $O_j$ . Formellement, un espace de contextes contient un ensemble de contextes  $\{O_i\}_{i \in I}$ ,  $I$  étant un ensemble d'index de contextes. Les index de  $I$  sont utilisés pour préfixer les expressions en OWL, associant ainsi chaque expression au contexte auquel elle appartient. Par exemple,  $i:C$ ,  $i:\exists p.C$ ,  $i:a$ ,  $i:C \sqsubseteq D$  et  $i:C(a)$  sont des exemples d'expressions du contexte  $O_i$ .

La sémantique d'un espace de contextes s'exprime selon une *interprétation distribuée*  $\mathfrak{I}$ , contenant une interprétation locale  $\mathcal{I}_i$  pour chaque  $i \in I$ . Chaque  $\mathcal{I}_i$  est composée d'un domaine d'interprétation local  $\Delta^{\mathcal{I}_i}$  et d'une fonction d'interprétation locale  $\cdot^{\mathcal{I}_i}$ . Un contexte est interprété selon l'interprétation local correspondante, i.e.  $\mathfrak{I}$  satisfait un axiome ou une assertion de  $O_i$  si  $\mathcal{I}_i$  satisfait cet axiome ou cette assertion.

Un appariement  $\mathcal{M}_{ij}$  est un ensemble de passerelles de  $O_i$  vers  $O_j$ . Différents types de passerelles, entre classes, propriétés ou individus, peuvent être déclarés. Nous ne nous intéressons ici qu'à certaines d'entre elles. Une passerelle *dedans* est une passerelle de la forme  $i:C \xrightarrow{\sqsubseteq} j:D$ , ou  $i:C$  et  $j:D$  sont des classes, respectivement de  $O_i$  et  $O_j$ . Cette passerelle signifie que la classe  $i:C$  de  $O_i$  est considérée, du point de vue de  $O_j$ , comme plus spécifique que la classe  $j:D$  [Serafini et Tamilin, 2005]. La passerelle *dessus*  $i:C \xrightarrow{\supseteq} j:D$  signifie que  $O_j$  considère la classe  $i:C$  comme plus générale que  $j:D$ .

Formellement, l'interprétation distribuée  $\mathfrak{I}$  d'un espace de contextes est associée à un ensemble de *relations de domaine*. Une relation de domaine  $r_{ij} \subseteq \Delta^{\mathcal{I}_i} \times \Delta^{\mathcal{I}_j}$  établi, pour tout objet de  $\Delta^{\mathcal{I}_i}$ , l'objet de  $\Delta^{\mathcal{I}_j}$  auquel il correspond. La notation  $r_{ij}(C^{\mathcal{I}_i})$  dénote l'interprétation de la classe  $i:C$  de  $O_i$  telle qu'elle est considérée dans le domaine d'interprétation de  $O_j$ . Ainsi, la sémantique d'une passerelle est donnée selon une relation de domaine :  $\mathfrak{I}$  satisfait  $i:C \xrightarrow{\sqsubseteq} j:D$  si  $r_{ij}(C^{\mathcal{I}_i}) \subseteq D^{\mathcal{I}_j}$  et  $\mathfrak{I}$  satisfait  $i:C \xrightarrow{\supseteq} j:D$  si  $r_{ij}(C^{\mathcal{I}_i}) \supseteq D^{\mathcal{I}_j}$ .

Une autre forme de passerelle est utilisée ici pour spécifier une correspondance entre individus.  $i:a \xrightarrow{=} j:b$  signifie que l'individu  $i:a$  de  $O_i$  correspond à l'individu  $j:b$  de  $O_j$ . Formellement,  $\mathfrak{I}$  satisfait  $i:a \xrightarrow{=} j:b$  si  $r_{ij}(a^{\mathcal{I}_i}) = b^{\mathcal{I}_j}$ .

### 4.2. Raisonnement global avec C-OWL

En complément des inférences associées à OWL, mises en œuvre localement dans chaque contexte, C-OWL permet l'exploitation de mécanismes de *raisonnements globaux*, s'appuyant sur les passerelles [Serafini et Tamilin, 2005]. Ainsi, le calcul de la *subsumption globale* repose

sur ce qui est appelé le *principe de propagation de la subsomption* :

Si l'appariement  $M_{ij}$  entre  $O_i$  et  $O_j$  contient  $i:A \xrightarrow{\exists} j:C$  et  $i:B \xrightarrow{\sqsubseteq} j:D$  alors  
 $\mathcal{J}$  satisfait  $i:A \sqsubseteq B$  implique que  $\mathcal{J}$  satisfasse  $j:C \sqsubseteq D$   
 (si  $\mathcal{J} \models i:A \sqsubseteq B$  alors  $\mathcal{J} \models j:C \sqsubseteq D$ )

En d'autres termes, la subsomption dans un contexte  $O_j$  peut être déduite de la subsomption dans un contexte  $O_i$  et de passerelles de  $O_i$  à  $O_j$ . De la même façon, l'*instanciation globale* repose sur un principe de *propagation de l'instanciation*, fortement inspiré du principe de propagation de la subsomption :

Si l'appariement  $M_{ij}$  entre  $O_i$  et  $O_j$  contient  $i:C \xrightarrow{\sqsubseteq} j:D$  et  $i:a \xrightarrow{\equiv} j:b$  alors  
 $\mathcal{J}$  satisfait  $i:C(a)$  implique que  $\mathcal{J}$  satisfasse  $j:D(b)$   
 (si  $\mathcal{J} \models i:C(a)$  alors  $\mathcal{J} \models j:D(b)$ )

En d'autres termes, il est possible de déduire qu'un individu est instance d'une classe dans un contexte en s'appuyant sur l'instanciation dans un autre contexte et sur les passerelles.

## 5. RÀPC décentralisé avec C-OWL

L'intégration des points de vue dans le processus de RÀPC a d'abord été étudiée dans le cadre de la représentation des connaissances par objets [d'Aquin *et al.*, 2004]. Ces travaux ont ensuite été repris sur la base du langage C-OWL, celui-ci étant naturellement intégré aux technologies du Web sémantique [d'Aquin *et al.*, 2005].

### 5.1. Principe général

Les contextes de C-OWL sont utilisés ici pour représenter les différents points de vue intervenant dans le raisonnement. Chaque contexte contient les connaissances (du domaine, d'adaptation et les cas) utiles à la résolution d'un problème local, c'est-à-dire relevant d'un certain point de vue. Ainsi, le problème cible à résoudre est représenté par un ensemble  $\{i:cible\}_i$  d'individus correspondant aux problèmes locaux, avec autant de problèmes locaux  $i:cible$  qu'il y a de points de vue (contextes)  $O_i$  à considérer. De plus, afin d'exprimer le fait que ces problèmes locaux correspondent à différentes vues sur un seul et même problème, des passerelles  $i:cible \xrightarrow{\equiv} j:cible$  sont déclarées pour chaque couple de contextes  $(O_i, O_j)$  présents au sein de cet espace de contextes (avec  $i \neq j$ ).

Le mécanisme de RÀPC permettant de résoudre un problème cible représenté par un ensemble de problèmes locaux est conçu comme un processus *décentralisé* : il est à la fois *local* à chaque point de vue et *collaboratif*, dans le sens où il repose sur le partage de connaissances entre points de vue. Il s'inspire de l'*intelligence artificielle décentralisée* telle qu'elle est décrite dans [Demazeau et Müller, 1989] et se distingue de mécanismes de RÀPC *distribués*, comme celui de [Nagendra Prasad *et al.*, 1996], par le fait que chaque « agent » possède ses propres buts et ses propres connaissances. La sémantique de C-OWL s'appuyant sur des interprétations locales, elle est particulièrement bien adaptée puisqu'elle ne contraint pas à ce que les contextes soient cohérents entre eux, mais seulement à ce que chaque contexte soit cohérent localement. La notion de conflit entre points de vue n'est ainsi pas présente au sein du RÀPC décentralisé, expliquant par là l'absence de mécanisme de contrôle global. Le RÀPC décentralisé est

fondé sur deux opérations principales, appliquées indépendamment dans chaque contexte  $O_i$  de l'espace de contextes :

- (a) *Le RÀPC local* qui correspond au processus de RÀPC habituel appliqué sur les connaissances locales au point de vue considéré (représentées par le contexte  $O_i$ ) dans le but de construire une solution locale  $i:\text{Sol}(\text{cible})$  au problème local  $i:\text{cible}$ .
- (b) *La complétion du cas cible* qui correspond à la part collaborative du RÀPC décentralisé. Il s'agit ici de compléter les informations connues sur le cas cible local, concernant le problème  $i:\text{cible}$  ou sa solution  $i:\text{Sol}(\text{cible})$ , en faisant appel aux connaissances et aux inférences dans d'autres points de vue grâce aux passerelles.

Ces deux opérations sont appliquées dans chaque contexte tant que de nouvelles inférences peuvent être réalisées. La solution correspond finalement à l'ensemble  $\{i:\text{Sol}(\text{cible})\}_i$  des solutions locales, construites à la fois selon les connaissances locales à chaque point de vue et par la combinaison des points de vue au travers des passerelles.

## 5.2. RÀPC local à un point de vue

Un contexte  $O_i$  contient les connaissances utiles à la résolution d'un problème local  $i:\text{cible}$ , afin d'établir une solution local  $i:\text{Sol}(\text{cible})$ . Il est donc considéré ici qu'un problème vu selon un certain point de vue est résolu par ce même point de vue sur la solution. Dans un contexte  $O_i$ , les cas sources sont représentés par des couples  $i:(\text{source}, \text{Sol}(\text{source}))$ , liant un problème source local  $i:\text{source}$  à sa solution locale  $i:\text{Sol}(\text{source})$ . Selon ce même principe, les reformulations sont elles aussi considérées comme des connaissances locales, décrites sous la forme  $i:(r, \mathcal{A}_r)$  et liant des relations  $i:r$  entre problèmes à des fonctions d'adaptation  $i:\mathcal{A}_r$ .

Un contexte  $O_i$  en C-OWL correspond à une ontologie et contient ainsi une hiérarchie de classes pouvant être utilisées pour indexer les cas sources de la base de cas. Un index  $i:\text{idx}(\text{srce})$  correspond à une abstraction d'un problème source  $i:\text{source}$ , ne retenant que les informations pertinentes selon le point de vue de  $O_i$ , c'est-à-dire celles amenant à la solution  $i:\text{Sol}(\text{source})$ . Ainsi, une solution  $i:\text{Sol}(\text{source})$  d'un problème source peut être utilisée pour résoudre un problème  $i:\text{cible}$  si  $i:\text{cible}$  est reconnu comme étant une instance de la classe  $i:\text{idx}(\text{srce})$ , index de  $i:\text{source}$ . Selon ce principe, le mécanisme d'instanciation est utilisé lors de la phase de remémoration du processus de RÀPC local à un contexte  $O_i$  afin de retrouver un index de problème source à réutiliser. Plus précisément, il s'agit de construire un chemin de similarité liant un problème  $i:\text{pb}_0$ , instance de la classe index  $i:\text{idx}(\text{srce})$  d'un problème  $i:\text{source}$ , au problème  $i:\text{cible}$ . Ce chemin de similarité est alors composé de relations  $i:r_k$  de  $O_i$  :

$$i:\text{source} \xrightarrow{\text{isa}} i:\text{idx}(\text{srce}) \xleftarrow{\text{isa}} i:\text{pb}_0 \ i:r_1 \ \text{pb}_1 \ \dots \ \text{pb}_{q-1} \ i:r_q \ i:\text{cible}$$

où  $\xrightarrow{\text{isa}}$  signifie « est une instance de ». Sur la base de ce chemin de similarité, la phase d'adaptation du processus de RÀPC local à  $O_i$  a pour charge de construire un chemin d'adaptation liant  $i:\text{Sol}(\text{source})$  à  $i:\text{Sol}(\text{cible})$  et composé de fonctions d'adaptation locales  $i:\mathcal{A}_{r_k}$ . Celles-ci sont issues des reformulations  $i:(r_k, \mathcal{A}_{r_k})$  qui constituent les connaissances d'adaptation propres à  $O_i$ . Le RÀPC local est ainsi « contenu » dans un point de vue particulier, s'appuyant sur ses propres connaissances pour construire son point de vue sur la solution.

## 5.3. Combinaison des points de vue selon les passerelles

Les passerelles correspondent à des relations sémantiques entre des éléments de connaissances décrits dans différents contextes. Dans le cadre du RÀPC décentralisé, elles permettent de re-



présenter l'influence d'un point de vue sur un autre. Nous montrons ci-dessous, au travers d'un exemple, comment les passerelles sont utilisées conjointement au RÀPC local pour combiner les points de vue. Il s'agit, sur la base du raisonnement global en C-OWL, de compléter la description du problème  $1:cible$  et de sa solution  $1:Sol(cible)$  dans un contexte  $O_i$ , en fonction des inférences réalisées dans d'autres contextes.

Pour cet exemple, nous considérons trois contextes appelés  $O_1$ ,  $O_2$  et  $O_3$ . L'expression  $1:I1 \equiv \text{Problème} \sqcap \exists p1.C1$  représente un problème source dans le contexte  $O_1$  et l'axiome  $1:I1 \sqsubseteq \exists a\text{PourSolution}.S1$  permet d'associer à toute instance de la classe de problème  $1:I1$  une instance de la classe de solution  $1:S1$ . De la même manière, les deux problèmes sources  $2:I2$  et  $3:I3$  sont respectivement définis dans  $O_2$  et  $O_3$  (voir première et deuxième lignes de la figure 2). Comme indiqué dans la section 5.1, le problème cible est représenté par trois instances locales de la classe *Problème* (cinquième ligne de la figure 2) et ces instances sont reliées par des passerelles d'équivalence, afin de préciser qu'il s'agit de trois points de vue différents sur le même problème global (troisième ligne de la figure 2). Des passerelles entre certaines classes des différents contextes ont de plus été déclarées (quatrième ligne de la figure 2), permettant ainsi le partage de connaissances entre points de vue. Finalement, la description du problème cible est réalisée au travers d'un ensemble d'assertions (cinquième, sixième et septième lignes de la figure 2).

	$O_1$	$O_2$	$O_3$
1	$I1 \equiv \text{Problème} \sqcap \exists p1.C1$	$I2 \equiv \text{Problème} \sqcap \exists p21.C21 \sqcap \exists p22.C22$	$I3 \equiv \text{Problème} \sqcap \exists p3.C3$
2	$I1 \sqsubseteq \exists a\text{PourSolution}.S1$	$I2 \sqsubseteq \exists a\text{PourSolution}.S21$	$I3 \sqsubseteq \exists a\text{PourSolution}.S31$
3	$2:cible \stackrel{\equiv}{\rightarrow} 1:cible$	$1:cible \stackrel{\equiv}{\rightarrow} 2:cible$	$2:cible \stackrel{\equiv}{\rightarrow} 3:cible$
4	$2:\exists p21.C21 \stackrel{\sqsubseteq}{\rightarrow} 1:\exists p1.C1$	$1:\exists a\text{PourSolution}.S1 \stackrel{\sqsubseteq}{\rightarrow} 2:\exists p23.C23$	$2:\exists a\text{PourSolution}.S22 \stackrel{\sqsubseteq}{\rightarrow} 3:\exists a\text{PourSolution}.S32$
5	<i>Problème</i> (cible)	<i>Problème</i> (cible)	<i>Problème</i> (cible)
6		$C21(a)$	
7		$p21(cible, a)$	
8		$Dz1. \exists p21.C21(cible)$	
9	$Dz2. \exists p1.C1(cible)$		
10	$Dz3. \exists a\text{PourSolution}.S1(cible)$	$Dz4. \exists p23.C23(cible)$	
11		$Dz5. \exists a\text{PourSolution}.S22(cible)$	$Dz6. \exists a\text{PourSolution}.S32(cible)$

FIG. 2 – Un exemple de RÀPC décentralisé. Les première et deuxième lignes introduisent des problèmes sources. Les troisième et quatrième lignes définissent des appariements associés aux contextes. De la cinquième à la septième ligne sont décrites des assertions concernant le problème cible. Les différentes étapes du RÀPC décentralisé sur cet exemple sont finalement décrites entre la huitième et la onzième ligne.

Les différentes étapes du processus de RÀPC décentralisé, décrites entre la huitième et la onzième ligne de la figure 2, sont détaillées ci-dessous. Comme point de départ des trois processus de RÀPC locaux, les problèmes  $1:cible$ ,  $2:cible$  et  $3:cible$  sont d'abord instanciés dans leurs contextes respectifs.

- Dz1. Dans le contexte  $O_2$ ,  $2:cible$  est reconnu comme une instance de la classe  $2:\exists p21.C21$ .
- Dz2. Les deux passerelles  $2:\exists p21.C21 \stackrel{\sqsubseteq}{\rightarrow} 1:\exists p1.C1$  et  $2:cible \stackrel{\equiv}{\rightarrow} 1:cible$  permettent de compléter la description de  $1:cible$  en fonction des connaissances contenues dans  $O_2$  concernant  $2:cible$ .  $1:cible$  est alors reconnu comme une instance de la classe  $1:\exists p1.C1$  et donc de la classe  $1:I1$ .
- Dz3. Au travers de l'axiome  $1:I1 \sqsubseteq \exists a\text{PourSolution}.S1$ , une solution, instance de la classe

1:S1, est associée au problème 1:cible. Celui-ci est alors considéré comme une instance de la classe 1:∃aPourSolution.S1.

- Dz4. La description du problème 2:cible dans  $O_2$  peut être complétée selon les deux passerelles 1:∃aPourSolution.S1  $\xrightarrow{\sqsubseteq}$  2:∃p23.C23 et 1:cible  $\xrightarrow{\equiv}$  2:cible. L'individu 2:cible est ainsi reconnu comme une instance de la classe 2:∃p23.C23.
- Dz5. Comme expliqué plus bas, le processus de RÀPC local au contexte  $O_2$  est alors en mesure de construire une solution au problème 2:cible, sous la forme d'une instance de 2:S22. 2:cible peut ainsi être reconnu comme une instance de 2:∃aPourSolution.S22.
- Dz6. Finalement dans  $O_3$ , il est inféré que 3:cible est une instance de 3:∃aPourSolution.S32 sur la base des passerelles 2:∃aPourSolution.S22  $\xrightarrow{\sqsubseteq}$  3:∃aPourSolution.S32 et 2:cible  $\xrightarrow{\equiv}$  3:cible.

La solution du problème cible représenté par les trois problèmes locaux 1:cible, 2:cible et 3:cible correspond ainsi à la combinaison de trois solutions locales, représentées par trois instances, respectivement de 1:S1, 2:S22 et 3:S32.,

Parmi l'ensemble des étapes de ce processus, les étapes Dz3. et Dz5. se distinguent comme relevant du RÀPC *local*, s'appuyant sur les connaissances définies dans le contexte considéré (respectivement  $O_1$  et  $O_2$ ) pour établir une solution au problème local. Les étapes Dz2., Dz4. et Dz6. sont quant à elles des étapes de *complétion du cas cible*, reposant sur les passerelles pour inférer des connaissances dans le contexte local, selon les connaissances contenues dans d'autres contextes.

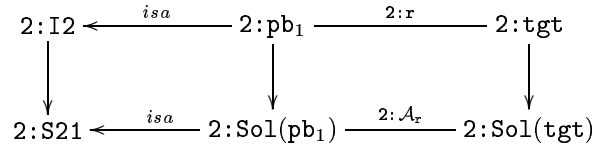


FIG. 3 – Le chemin de similarité et le chemin d'adaptation du RÀPC local à  $O_2$ .

*Détails du processus de RÀPC local Dz5.* Afin d'établir par adaptation une solution pour le problème 2:cible le processus de RÀPC local à  $O_2$  (étape Dz5.) s'appuie sur une reformulation de la forme 2:(r,  $\mathcal{A}_r$ ) (voir figure 3). À ce moment du processus de RÀPC décentralisé, 2:cible a été reconnu comme une instance de la classe 2:Problème  $\sqcap \exists p21.C21 \sqcap \exists p23.C23$ . Durant la phase de remémoration, la relation 2:r entre problèmes amène à la création d'un problème intermédiaire 2:pb<sub>0</sub> à partir de 1:cible. La relation 2:r est telle que la différence entre 2:pb<sub>0</sub> et 2:cible tient dans le fait que le premier est une instance de 2:∃p22.C22 alors que le second est une instance de 2:∃p23.C23. 2:pb<sub>0</sub> peut ainsi être reconnu comme une instance de la classe 2:Problème  $\sqcap \exists p21.C21 \sqcap \exists p22.C22$ , et donc de 2:I2. Sur la base de l'axiome problème-solution 2:I2  $\sqsubseteq \exists aPourSolution.S21$  défini dans  $O_2$ , 2:pb<sub>0</sub> est alors associé à une solution 2:Sol(pb<sub>0</sub>), instance de 2:S21. La fonction d'adaptation 2: $\mathcal{A}_r$  est utilisée dans le chemin d'adaptation pour construire une solution 2:Sol(cible) au problème 2:cible, à partir de la solution 2:Sol(pb<sub>0</sub>) de 2:pb<sub>0</sub>. Cette fonction est telle que la différence entre ces deux individus tient dans le fait que 2:Sol(pb<sub>0</sub>) est une instance de 2:S21, alors que 2:Sol(cible) est une instance de 2:S22. La solution du problème local 2:cible est ainsi une instance 2:Sol(cible) de la classe 2:S22.

## 6. Exemple d'application dans le cadre du traitement du cancer du sein

Nous présentons maintenant un exemple qui conserve la même structure et s'appuie sur les mêmes inférences que celui détaillé dans la section précédente (voir figure 2), les éléments de connaissances utilisés étant simplement remplacés par d'autres, provenant du domaine du traitement du cancer du sein. La base de cas et les connaissances du domaine sont ainsi contenus dans une représentation en C-OWL du référentiel pour le traitement du cancer du sein. Trois contextes,  $O_{cna}$ ,  $O_{chir}$  et  $O_{radio}$ , sont considérés, afin de représenter les trois points de vue respectivement de la chimiothérapie néo-adjuvante, de la chirurgie et de la radiothérapie. Ceux-ci correspondent aux contextes  $O_1$ ,  $O_2$  et  $O_3$  de l'exemple précédent. La représentation du référentiel dans un contexte  $O_i$  peut être vue comme un ensemble d'axiomes de la forme  $i:P \sqsubseteq \exists a \text{PourSolution}.T$ , où  $i:P$  est une classe de patients, sous-classe de  $i:\text{Patient}$ , et  $i:T$  est une classe de traitements, sous-classe de  $i:\text{Traitement}$ . Par exemple, dans  $O_{cna}$ , les patients ayant une tumeur de taille inférieure à 4 cm doivent être traités par des cures de chimiothérapie néo-adjuvante. Ainsi, l'axiome  $1:I1 \sqsubseteq a \text{PourSolution}.S1$  de l'exemple de la figure 2 devient :

$$cna:\text{Patient} \sqcap \exists \text{tailleTumeur}.inf4 \sqsubseteq \exists a \text{PourSolution}.ChimioNéoAdjuvante$$

avec  $inf4$  le type des réels inférieurs à 4. De la même façon,  $O_{chir}$  contient l'axiome

$$chir:\text{Patient} \sqcap \exists a \text{Tumeur}.(\exists \text{taille}.supe4) \sqcap \ni \text{chimioNéoAdjuvante}.true \sqsubseteq \exists a \text{PourSolution}.MastectomieDePatey$$

signifiant que pour les patients ayant une tumeur d'au moins 4 cm ( $supe4$  étant le type des réels supérieurs ou égaux à 4) et pour qui une chimiothérapie néo-adjuvante doit être appliquée, une mastectomie de Patey, c'est-à-dire une ablation totale du sein associée à un curage axillaire complet, est recommandée. Dans  $O_{radio}$ , l'axiome

$$radio:\text{Patient} \sqcap \ni \text{envahissementGanglionnaire}.true \sqsubseteq \exists a \text{PourSolution}.RadioCMI$$

indique que pour les patients ayant des ganglions infectés, une irradiation de la chaîne mammaire interne est recommandée.

Les passerelles entre classes indiquées dans la figure 2 peuvent ainsi être traduites dans les trois contextes  $O_{cna}$ ,  $O_{chir}$  et  $O_{radio}$  de la façon suivante :

$$[p1] chir:\exists a \text{Tumeur}.(\exists \text{taille}.inf4) \xrightarrow{\sqsubseteq} cna:\exists \text{tailleTumeur}.inf4$$

$$[p2] cna:\exists a \text{PourSolution}.ChimioNéoAdjuvante \xrightarrow{\sqsubseteq} chir:\ni \text{chimioNéoAdjuvante}.true$$

$$[p3] chir:\exists a \text{PourSolution}.MastectomieTotale \xrightarrow{\sqsubseteq} radio:\exists a \text{PourSolution}.RadioParoi$$

La première passerelle ([p1]) permet à  $O_{chir}$  de partager les connaissances concernant les tailles de tumeur des patients avec  $O_{cna}$ . La description du problème en chirurgie peut être complétée selon la solution trouvée en chimiothérapie néo-adjuvante sur la base de la deuxième passerelle ([p2]). La troisième passerelle ([p3]) exprime le fait que, quand une ablation totale est recommandée en chirurgie, une irradiation de la paroi de la zone extraite doit être effectuée.

De plus, dans le contexte  $O_{chir}$ , des connaissances d'adaptation sont déclarées sous la forme d'une reformulation  $chir:(r, \mathcal{A}_r)$ . La relation  $chir:r$  entre problèmes s'applique entre une instance de  $chir:\text{Patient}$  ayant une tumeur de petite taille (inférieure à 4 cm), mais couvrant une part importante du sein (plus de 60%), et une instance de  $chir:\text{Patient}$  ayant une tumeur de taille importante (4 cm et plus). En d'autres termes, un patient ayant une petite tumeur dans un sein peu volumineux est considéré, *pour la chirurgie*, comme similaire à un patient ayant une

tumeur de grande taille. L'application de la fonction d'adaptation  $\text{chir}:\mathcal{A}_r$  consiste à enlever le curage d'une mastectomie de Patey, c'est-à-dire à la remplacer par une mastectomie totale.

Dans cet exemple, nous considérons un problème cible représenté par trois problèmes locaux :  $\text{cna:cible}$ ,  $\text{chir:cible}$  et  $\text{radio:cible}$ . Ceux-ci sont reliés par des passerelles d'équivalence ( $\overset{\equiv}{\rightarrow}$ ) comme indiqué à la section 5.1. Chacun de ces individus locaux est une instance de la classe *Patient* (et donc aussi de la classe *Problème*), c'est-à-dire que les assertions  $\text{cna:Patient(cible)}$ ,  $\text{chir:Patient(cible)}$  et  $\text{radio:Patient(cible)}$  sont réalisées au sein de  $O_{\text{cna}}$ ,  $O_{\text{chir}}$  et  $O_{\text{radio}}$  respectivement. De plus,  $\text{chir:cible}$  est décrit comme représentant un patient ayant une petite tumeur couvrant une grande partie du sein, c'est-à-dire que  $O_{\text{chir}}$  contient l'assertion  $\text{chir}:\exists\text{aTumeur}.\left(\exists\text{taille.inf4} \sqcap \exists\text{couvre.supe60}\right)(\text{cible})$ , avec *supe60* le type des réels supérieurs ou égaux à 60.

Suivant l'ensemble des « renommages » indiqués, la résolution de ce problème cible suit les six étapes décrites à la section précédente. L'information concernant la taille de la tumeur est dans un premier temps partagée entre les contextes  $O_{\text{chir}}$  et  $O_{\text{cna}}$ , grâce à la passerelle [p1]. Une chimiothérapie néo-adjuvante est alors recommandée pour le patient représenté par  $\text{cna:cible}$ , selon les connaissances contenues dans  $O_{\text{cna}}$ . La passerelle [p2] permet alors de compléter la description du problème local  $\text{chir:cible}$ , en fonction de la solution établie en chimiothérapie néo-adjuvante. Dans  $O_{\text{chir}}$ , la reformulation  $\text{chir}:(r, \mathcal{A}_r)$  est alors appliquée dans un processus de RÀPC local, considérant  $\text{chir:cible}$  comme similaire à un patient ayant une tumeur de grande taille. Selon l'axiome problème-solution contenu dans  $O_{\text{chir}}$ , la solution pour ce type de patients correspond à une mastectomie de Patey. Cette solution est ainsi remplacée par une mastectomie totale, selon la fonction d'adaptation  $\text{chir}:\mathcal{A}_r$ , pour devenir une solution de  $\text{chir:cible}$ . Finalement, la solution établie pour la chirurgie, la mastectomie totale, permet d'appliquer la passerelle [p3] afin d'établir une solution en radiothérapie.

Un point intéressant de cet exemple est que le problème cible est considéré de façons différentes, selon trois points de vue différents. En particulier, il est vu comme un patient ayant une petite tumeur pour la chimiothérapie néo-adjuvante ( $O_{\text{cna}}$ ) et comme un patient ayant une tumeur de grande taille pour la chirurgie ( $O_{\text{chir}}$ ).

## 7. Conclusion

Dans cet article, un mécanisme de RÀPC qui exploite des connaissances décentralisées représentées par des ontologies contextualisées dans le langage C-OWL a été proposé. Certains systèmes s'appuient sur plusieurs vues sur les cas pour la remémoration de plusieurs cas locaux. Généralement, un cas unique et global est construit à partir de ces cas locaux. Par exemple, dans [Arcos et Lopez de Mántaras, 1997] un choix est fait entre des cas remémorés sur la base de différentes représentations, appelées perspectives. Dans [Nagendra Prasad *et al.*, 1996], plusieurs agents sélectionnent chacun un cas de la base de cas, ces cas étant ensuite assemblés en un cas global par négociation entre les agents. Nous nous intéressons ici au problème du raisonnement par adaptation dans l'environnement multi-ontologies du Web sémantique. Le processus de RÀPC décentralisé tire avantage de la distribution des connaissances au sein de multiples contextes et de relations sémantiques entre ces contextes pour la résolution de problèmes. Notre motivation pour la mise en œuvre du RÀPC décentralisé provient d'une application dans le domaine multi-disciplinaire de la cancérologie. Il a en particulier été utilisé dans le cadre du traitement du cancer du sein. Dans cette application, différentes disciplines comme la chirurgie, la radiothérapie ou la chimiothérapie, correspondent à plusieurs points de vue, pris en consi-

dération et combinés pour la résolution du problème. Un point de vue est implémenté comme un contexte en C-OWL et la sémantique des appariements entre contextes est utilisée pour la collaboration entre points de vue.

Le travail présenté ici concerne uniquement le raisonnement multi-points de vue. De nombreuses problématiques liées à la mise en œuvre d'un système de RÀPC décentralisé n'ont ainsi pas été abordées. En effet, la construction des passerelles (manuellement ou par alignement d'ontologies), l'évolution des points de vue, l'ajout de nouveaux points de vue ou l'évaluation vis-à-vis du domaine d'application (la cancérologie) sont autant de points évoqués dans [d'Aquin, 2005] et qu'il sera utile d'approfondir. À ce titre, les mécanismes de raisonnements décentralisés présentés ici peuvent être considérés comme une première brique dans la construction d'un environnement de gestion multi-points de vue des connaissances.

## 8. Références

- [Arcos et Lopez de Mántaras, 1997] J. L. Arcos et R. Lopez de Mántaras. Perspectives : a declarative bias mechanism for case retrieval. Dans *Proc. of the International Conference on Case-Based Reasoning, ICCBR'97*, rédacteurs D. B. Leake et E. Plaza, pages 279–290. Springer, 1997.
- [Bechhofer *et al.*, 2004] S. Bechhofer, F. van Harmelen, J. Hendler, I. Horrocks, D.L. McGuinness, P.F. Patel-Schneider, et L. Andrea Stein. OWL Web Ontology Language Reference. W3C Recommendation, February 2004.
- [Bouquet *et al.*, 2004] P. Bouquet, F. Giunchiglia, F. van Harmelen, L. Serafini, et H. Stuckenschmidt. Contextualizing Ontologies. *Journal of Web Semantics*, 1(4) :1–19, 2004.
- [d'Aquin *et al.*, 2004] M. d'Aquin, J. Lieber, et A. Napoli. Représentation de points de vue pour le raisonnement à partir de cas. Dans *Actes de la conférence Langages et Modèles à Objets, LMO'04*, rédacteurs J. Euzenat et B. Carré, volume 10 de *Revue des sciences et technologies de l'information - série L'objet*, pages 245–258. Lavoisier, 2004.
- [d'Aquin *et al.*, 2005] M. d'Aquin, J. Lieber, et A. Napoli. Decentralized Case-Based Reasoning for the Semantic Web. Dans *Proc. of International Semantic Web Conference, ISWC 2005*, volume 3729 de *Lecture Notes in Computer Science*, pages 142–155. Springer, 2005.
- [d'Aquin, 2003] M. d'Aquin. Un modèle de connaissances en RDF(S) pour raisonner à partir de cas sur le Web sémantique. Dans *Actes de l'atelier raisonnement à partir de cas, RàPC'03, plate-forme AFIA*, rédacteur J. Lieber, 2003.
- [d'Aquin, 2005] M. d'Aquin. *Un portail sémantique pour la gestion des connaissances en cancérologie*. Thèse d'université, Université Henri Poincaré - Nancy 1, décembre 2005.
- [Demazeau et Müller, 1989] Y. Demazeau et J.-P. Müller. Decentralized Artificial Intelligence. Dans *Decentralized A.I. – Proc. of the First European Workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi-Agent World*, rédacteurs Y. Demazeau et J.-P. Müller, pages 3–13. North-Holland, 1989.
- [Melis *et al.*, 1998] E. Melis, J. Lieber, et A. Napoli. Reformulation in Case-Based Reasoning. Dans *Proc. of the European Workshop on Case-Based Reasoning, EWCBR'98*, rédacteurs B. Smyth et P. Cunningham, pages 172–183. Springer, 1998.
- [Nagendra Prasad *et al.*, 1996] M.V. Nagendra Prasad, V.R. Lesser, et S.E. Lander. Retrieval and Reasoning in Distributed Case Bases. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 7(1) :74–87, 1996.
- [Serafini et Tamilin, 2005] L. Serafini et A. Tamilin. DRAGO : Distributed reasoning architecture for the semantic web. Dans *Proc. of the Second European Semantic Web Conference (ESWC'05)*, rédacteurs A. Gomez-Perez et J. Euzenat, volume 3532 de *Lecture Notes in Computer Science*, pages 361–376. Springer, May 2005.