

# OntoKADS : une ontologie générale de la résolution de problèmes

Sabine Bruaux<sup>1</sup>, Gilles Kassel<sup>1</sup>, Gilles Morel<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>LaRIA, Université de Picardie Jules Verne, 33 rue Saint-Leu, 80039 Amiens Cedex 1,

{sabine.bruaux, gilles.kassel}@u-picardie.fr

<sup>2</sup>CETMEF, Ministère de l'Équipement et de l'Environnement, Compiègne,

Gilles.Morel@equipment.gouv.fr

## Résumé

Les travaux que nous menons visent à définir une approche centrée-ontologie pour la construction de modèles d'expertise de la méthode CommonKADS. Cette approche, nommée OntoKADS, repose sur une ontologie générale de la résolution de problèmes, distinguant deux niveaux de conceptualisation : à un premier niveau « objet », un ensemble de concepts rendent compte de classes de raisonnements et d'entités d'un domaine manipulées par ces raisonnements ; à un niveau « méta », correspondant au niveau des primitives de modélisation de CommonKADS, un second ensemble de concepts rendent compte de classes de modèles de raisonnements. Dans cet article, nous focalisons notre présentation d'OntoKADS sur l'ontologie et plus particulièrement sur les rôles, cette primitive située à l'interface des connaissances du domaine et de raisonnement, et dont le statut ontologique a fait l'objet de nombreux débats. Nous proposons tout d'abord un cadre ontologique cohérent et global, permettant de rendre compte de cette primitive. Nous montrons ensuite comment la nouvelle caractérisation obtenue pour cette primitive permet de définir de nouvelles règles pour la construction de modèles d'expertise.

**Mots clés :** Modèles de résolution de problèmes, rôles, CommonKADS, Ontologies générales (core ontologies), Ontologies de méta-propriétés, DOLCE.

## 1 Introduction

Depuis la fin des années 90, la construction d'ontologies explicites a été considérée comme une voie prometteuse pour améliorer le processus d'ingénierie des connaissances : l'élaboration d'ontologies de domaines, de tâches et de méthodes, tôt dans la construction des modèles de résolution de problèmes, a été recommandée [25]. Dans le même temps, cependant, certains composants de ces modèles – en particulier les rôles – semblaient devoir être exclus d'un traitement ontologique [26]. Ce composant, appelé *Knowledge role* dans la méthode CommonKADS [24], et situé à l'interface entre les connaissances du domaine et de raisonnement, est investi d'une mission importante [23] : il

doit permettre la spécification de méthodes de résolution de problèmes en des termes indépendants du domaine, pour faciliter la réutilisation de ces méthodes *génériques*. Encore aujourd'hui, son statut – extra ontologique – ne semble guère avoir évolué. En effet, les méthodes préconisant l'utilisation d'ontologies ont toutes recours à un artifice syntaxique – des *règles de transformation* pour PROTÉGÉ, des *ponts* pour UPML – pour associer connaissances du domaine et de raisonnement [7].

Dans cet article, nous revenons sur ce présupposé. Nous montrons que des avancées récentes, notamment dans le domaine des ontologies formelles, permettent de rendre compte de ce composant sur un plan sémantique, dans un cadre ontologique cohérent.

Dans des travaux précédents [16], nous avons suggéré de distinguer deux catégories de rôles : des rôles joués par des *objets* (ou instances de *concepts*) (ex : *Physician*, *Student*) et des rôles joués par des *concepts* (ex : *Hypothesis*, *Sign*). Ayant assimilé ces derniers aux rôles de connaissances de la méthode CommonKADS, nous leur avons donné le statut de *méta-propriété*, rejoignant une proposition de Guarino, de faire apparaître le concept de *rôle* dans une ontologie d'universels [14]. En 1999, cependant, nous n'étions pas capables de proposer un cadre ontologique cohérent pour rendre compte des modèles d'expertise de la méthode CommonKADS dans leur globalité.

Aujourd'hui, c'est à une telle tâche que nous nous attelons avec la méthode OntoKADS [5]. OntoKADS bénéficie de divers efforts et avancées récents pour : i) clarifier la notion de *rôle* sur un plan ontologique [22][24][19] ; ii) définir, au moyen d'une axiomatique logique riche, une ontologie de haut niveau comme DOLCE, dont les principes de structuration sont explicites [18] ; iii) intégrer dans une ontologie des représentations mentales, des entités *réifiées* comme des *Propositions* [10] ou des *Descriptions* [13] ; iv) définir une ontologie de *méta-propriétés* reposant sur un ensemble de primitives clairement identifiées (*rigidité*, *dépendance*, *identité*) [14]. Nous disposons de fait d'un outillage ontologique à la fois nécessaire et suffisant pour faire une telle proposition.

Dans la suite de l'article, nous présentons tout d'abord une vue d'ensemble de la méthode OntoKADS. Nous nous focalisons ensuite sur l'ontologie générale, ou de « base »

(core ontology), de la résolution de problème exploitée par la méthode, et présentons plus particulièrement la partie de cette ontologie concernant les rôles.

## 2 Vue d'ensemble d'OntoKADS

Notre proposition [5] consiste en une méthode – nommée OntoKADS – assimilant la construction de modèles d'expertise en grande partie à la construction d'ontologies. La méthode comporte deux principales étapes (cf. FIG. 1).

Lors d'une première étape, l'ingénieur de la connaissance élabore une ontologie d'application orientée résolution de problèmes. Une telle ontologie contient l'ensemble des concepts utiles à une application, avec des concepts d'objets spécifiques à un domaine (ex : carburateur, batterie) et des concepts de raisonnements spécifiques à une tâche réalisée dans ce domaine (ex : évaluer une hypothèse de panne d'un carburateur, déterminer la cause d'un niveau de batterie faible). L'ingénieur de la connaissance étiquette également les concepts de l'ontologie au moyen de méta-concepts correspondant aux primitives de CommonKADS (ex : concept du domaine, rôle, tâche). Une telle pratique d'étiquetage est analogue à celle préconisée par la méthode OntoClean [15]. Pour cette première étape, l'ingénieur de la connaissance réutilise, à titre de ressource, une ontologie – nommée également OntoKADS – composée de deux principales sous-ontologies :

- Une sous-ontologie générale de raisonnements, lui permettant de définir, par spécialisations, les raisonnements spécifiques et les objets du domaine de l'application. Cette sous-ontologie étend elle-même l'ontologie de haut niveau DOLCE (Descriptive Ontology for Linguistic and Cognitive Engineering) [18]<sup>1</sup>.
- Une sous-ontologie, à un niveau « méta », de modèles de raisonnements, lui permettant de définir, par spécialisations, des rôles, tâches et méthodes de tâche spécifiques. Cette sous-ontologie étend elle-même l'ontologie I&DA (Information and Discourse Acts) [10] proposant une sous-ontologie d'objets mentaux intégrée à DOLCE.

Un module logiciel (cf. FIG. 1) traduit automatiquement cette ontologie *étiquetée* en trois sous-composants d'un modèle d'expertise (proche de) CommonKADS [23] : un modèle du domaine, un modèle d'inférence et un modèle de la tâche. Cette traduction consiste principalement en des extractions et des réorganisations de représentations.

Lors d'une seconde étape, l'ingénieur de la connaissance spécifie en complément les « structures de contrôle » (algorithmes) des méthodes de résolution associées aux tâches qu'il/elle a identifiées.

Un environnement logiciel supportant la méthode est en cours de développement (nous revenons en partie conclusion sur les choix logiciels effectués). Dans la suite de l'article, nous focalisons notre présentation d'OntoKADS

sur la description du contenu de l'ontologie. Nous présentons tout d'abord, en section 3, les bases sur lesquelles l'ontologie OntoKADS étend l'ontologie de haut niveau DOLCE.

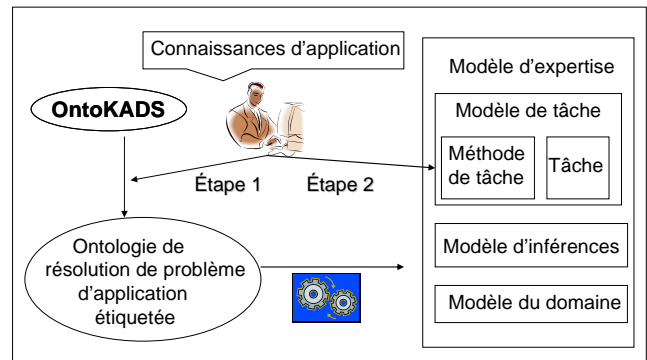


FIG. 1 - Principales étapes de la méthode OntoKADS

## 3 Cadre ontologique de référence<sup>2</sup>

### 3.1 DOLCE

Le domaine de DOLCE [18], i.e. l'ensemble des entités classées par les concepts de l'ontologie (appelé ensemble de *Particulars*<sup>3</sup>), est partitionné en quatre sous-domaines. Pour les besoins de cet article, nous considérons seulement deux d'entre eux (FIG. 2) :

- Les *Endurants*. Ce sont des entités qui « sont dans le temps » et dont toutes les parties sont présentes dès lors que l'entité est présente (les objets, les substances mais également les idées). Parmi les *Endurants* sont distingués les *Physical Objects* et les *Non-Physical Objects*, suivant que ces objets ont, ou non, une localisation physique directe.
- Les *Perdurants*. Ce sont des entités qui « occupent dans le temps » et qui ne sont que partiellement présentes à chaque instant de leur présence (les événements, les états). Parmi les *Perdurants* sont distingués les *Events* et les *Statives*, selon un principe de « cumulativité » : la somme méreologique de deux instances d'un *Stative*, par exemple « être assis », est encore une instance du même type, ce qui n'est pas le cas pour la somme de deux instances d'*Events*, par exemple les conférences IC 2005 et IC 2006. Les *Events* atomiques, ou *Achievements* (ex : atteindre le sommet d'une montagne), sont ensuite distingués des *Events* non atomiques, ou *Accomplishments* (ex : la conférence IC 2006).

La principale relation entre *Endurants* et *Perdurants* est celle de *participation* tenant pour : « x (nécessairement un *Endurant*) participe à y (nécessairement un *Perdurant*) au temps t ». Par exemple, les *co-auteurs* de cet article, des

*Endurants*, ont participé à l'écriture de l'article, un *Perdurant*.

Concernant plus particulièrement le domaine de la connaissance, intéressant directement OntoKADS, DOLCE comporte plusieurs concepts liés à la notion d'*intentionnalité*. L'engagement de DOLCE en la matière correspond à un point de vue que l'on peut considérer comme consensuel, en IA comme en IC :

- Une connaissance est la capacité d'une entité à réaliser une *Action*, i.e. à produire des changements dans un monde. La notion de *capacité* (ou de *compétence*) implique que la connaissance est d'ordre idéal, et qu'elle ne coïncide avec aucune des *Actions* réalisées : la connaissance relève d'un monde mental, autrement dit de *Mental Objects*, qui sont des objets non physiques « privés » pour l'entité, c'est-à-dire propres à l'entité, tandis que l'*Action* est un *Perdurant* (FIG. 2).
- Cette connaissance ou capacité est incarnée dans une entité, l'*Agentive*, conférant à cette entité la possibilité de répéter des *Actions*. L'*Agentive* participe temporairement à ces *Actions* en tant qu'*Agent* : le concept *Agent* désigne un rôle joué par un *Agentive* vis-à-vis d'une *Action* – l'*Agent* réalise l'*Action* – et le temps de cette *Action*.

Le concept *Agent* recouvre à la fois la notion d'*agent intentionnel* [6], i.e. d'un agent dirigé par un but, et la notion d'*agent rationnel* [20], i.e. d'un agent mettant en œuvre les moyens adaptés pour atteindre les buts qu'il s'est fixé. La caractérisation abstraite de ce concept s'applique à des entités (des *Agentives*) possédant des caractéristiques très diverses : un être humain, un robot ou un système à base de connaissances (des *Agentive Physical Objects*), une organisation (un *Agentive Social Object*)<sup>4</sup>.

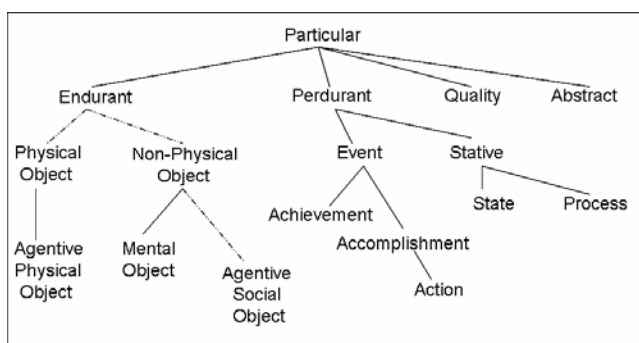


FIG 2. - Extrait de l'ontologie DOLCE

### 3.2 I&DA

L'ontologie I&DA [9, chap. 4][10] a été élaborée au LARIA, en tant qu'extension de DOLCE, pour modéliser les *documents* et leur *contenu*. L'apport de I&DA pour OntoKADS peut être aisément saisi, si l'on considère que :

- Les documents permettent à des *Agents* raisonnateurs d'échanger des informations.
- Les contenus de documents, résultats d'une interprétation par un *Agent*, relèvent du monde mental de l'*Agent* et peuvent donc être utilisés comme des objets de raisonnements.

I&DA propose de distinguer trois catégories principales d'entités (FIG. 3) :

- Le *Document*. Un *Document* correspond à un support portant une inscription sémiotique de connaissance (ex : un texte imprimé ou lu). Le *Document*, comme l'inscription, sont des objets matériels situés dans le monde physique<sup>5</sup>. L'inscription est en outre un objet « intentionnel » renvoyant à d'autres objets, et jouant ainsi le rôle de signifiant.
- L'*Expression*. Une *Expression* correspond au signifié de la forme matérialisée par (dans) l'inscription. Cette nouvelle forme repose sur un code de communication qui la structure et permet son interprétation. Un exemple d'*Expression* est le *Texte*, système d'unités signifiantes (mots et phrases) structuré selon des règles définies par une langue.
- La *Conceptualisation*. Une *Conceptualisation* correspond à un signifié d'une *Expression* ou, inversement, peut être exprimée sous forme d'*Expression*. Fonctionnellement, deux *Conceptualisations* sont distinguées : la *Proposition*, comme lieu de vérité, et le *Concept*, comme lieu de référence ou de classement d'entités.

I&DA distingue ainsi deux catégories générales de *Mental Objects* (cf. FIG. 3) : l'une (l'*Expression*) dépend d'un code de communication, l'autre (la *Conceptualisation*) en est indépendante. Ceci revient à considérer qu'une même *Conceptualisation* peut être exprimée, au moyen de différents codes de communication, par différentes *Expressions* et, également, qu'une même *Expression* peut être réalisée par différentes inscriptions matérielles, sollicitant éventuellement des sens différents de la part du récepteur (inscription sonore, visuelle, tactile).

Concernant les *Conceptualisations*, la notion de *Proposition* est à prendre dans un sens large de « description »<sup>6</sup>, ce qui permet de lui faire jouer le rôle du contenu de n'importe quel document, et explique la diversité de concepts subsumés par le concept *Proposition* : *Model*, *Evidence*, *Hypothesis*, *Message*. Ajoutons, un point qui se révèle important pour OntoKADS, qu'une *Proposition* « utilise » ou « a pour sujet » des *Concepts*. Ces dernières relations sont définies comme des spécialisations de la relation *has for proper part* de DOLCE, montrant l'homogénéité des *Propositions* et des *Concepts*. Précisons également que ces dernières notions reviennent à introduire

un niveau méta dans l'ontologie. Le (méta)-concept *Concept* classe en effet des concepts !

I&DA introduit finalement un couple de signifiants - signifiés spécialisés dans la communication d'informations entre *Agents* : le *Discourse*, assimilé à l'énoncé, et son contenu, le *Message*. Le *Message* est une *Proposition*, résultat d'un acte de discours, ou énonciation, par exemple : informer de quelque chose (pour l'*Information*) ou se plaindre de quelque chose (pour la *Complaint*).

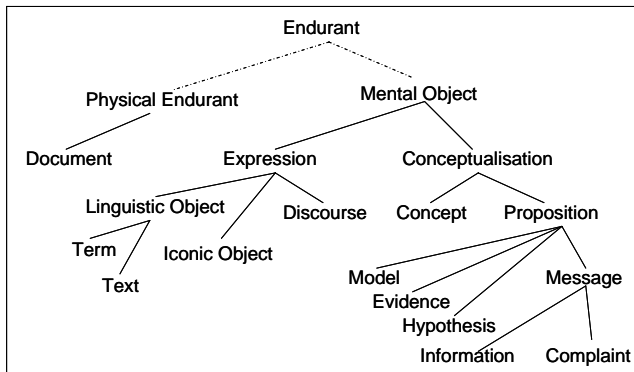


FIG. 3 - Haut niveau de l'ontologie I&DA

### 3.3 Modélisation des « rôles »

Dans ce paragraphe, nous ne présentons pas de partie de la conceptualisation d'OntoKADS, mais le principe général retenu pour modéliser des concepts comme *Student*, appelés « rôles relationnels » ou, simplement, « rôles ».

Suivant la pratique la plus répandue en modélisation conceptuelle et modélisation objet [24], nous considérons ces concepts comme :

- *Anti-rigides* et dynamiques. Ainsi, si tout *Student* est une *Person*, une *Person* n'est que contingemment un *Student*. Autrement dit, cette propriété n'est pas nécessaire pour une *Person*.
- *Relationnellement dépendants*. Ainsi, être un *Student* nécessite l'existence d'une *University* dans laquelle est inscrit le *Student*.

Comme l'ont montré Guarino et Welty [14], de telles caractérisations peuvent être formellement définies au moyen de méta-propriétés. Pour les besoins d'OntoKADS, nous considérons trois méta-propriétés définies par ces auteurs<sup>7</sup> :

- Un *Role* est un concept *anti-rigide* et *extérieurement dépendant*.
- Un *Formal Role* est un *Role* ne portant pas de *critère d'identité*. Un tel *Role* (ex : *Being enrolled in a University*) ne mentionne pas le type de l'entité jouant le rôle relationnel.
- Un *Material Role* est un rôle portant un *critère d'identité*. Un tel *Role* (ex : *Student*) encapsule le rôle relationnel et le type d'entité jouant le rôle.

Suivant ces principes de modélisation (cf. FIG. 4), un *Material Role* est défini au moyen de deux liens de subsumption.

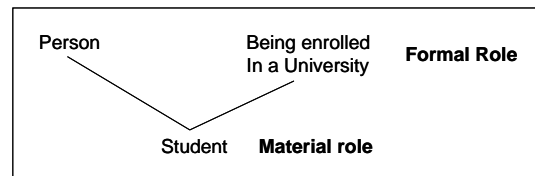


FIG. 4 – Définition d'un *Material Role* à partir d'un *Formal Role*

## 4 Raisonnements et leurs modèles

Dans cette section, nous poursuivons l'exposé d'une théorie des connaissances permettant de rendre compte de la notion de *tâche* et, plus généralement, de la notion de *modèle de connaissances* de CommonKADS. L'analyse ontologique que nous conduisons distingue nettement deux niveaux : i) le niveau des raisonnements et des entités d'un domaine manipulés par ces raisonnements (4.1) ; ii) le niveau des *tâches*, *méthodes de tâche*, *Inférences* et *buts*, c'est-à-dire celui des *descriptions* ou *modèles* de raisonnements (4.2).

### 4.1 Ontologie d'Actions

Revenons à la notion de connaissance. Considérant que toute connaissance est connaissance de « quelque chose », d'un « objet », on peut schématiquement distinguer deux catégories de connaissances suivant la nature des objets (physiques ou mentaux) sur lesquels elles portent [2] :

- La connaissance *pratique*, ou savoir-faire, porte sur des objets *physiques* et permet d'agir sur le monde physique (ex : enfoncer un clou, faire du vélo).
- La connaissance *théorique*, ou savoir-penser, porte sur des objets *théoriques* (des *Mental Objects*) et permet d'agir sur le monde mental (ex : calculer, décider).

Cette distinction sur les connaissances revient à distinguer deux catégories d'*Actions* réalisées par un *Agent* (FIG. 5) : transformer le monde physique (*Doing*) versus transformer son monde mental (*Reasoning*). À noter que cette distinction repose toutefois sur une hypothèse, à savoir que les *Actions* sont définies par rapport à leur résultat « final ». Ainsi, pour un *Reasoning* comme un calcul, rien n'empêche l'*Agent* calculateur de s'aider d'une feuille et d'un crayon, ce *Reasoning* s'accompagnant dès lors de *Doings* « intermédiaires »<sup>8</sup>. Inversement, un *Doing* peut être précédé d'un *Reasoning* consistant à prévoir l'*Action*, en élaborant un plan et en prévoyant les effets du *Doing* (voir justement sur ce point le §4.2).

Dans OntoKADS, suivant en cela une taxinomie de tâches proposée par CommonKADS, deux catégories de *Reasonings* sont distinguées. Les *Analytic Reasonings* prennent en entrée des données concernant une entité (un objet, un système) et produisent en sortie une nouvelle caractérisation de l'entité. Les objets manipulés, en entrée comme en sortie, sont des descriptions ou modèles d'entités (et non les entités elles-mêmes), autrement dit des *Conceptualisations*. On passe ainsi d'un modèle à un autre modèle. Des exemples de tels raisonnements sont : diagnostiquer, évaluer (une hypothèse par exemple), classer. Les *Synthetic Reasonings* prennent en entrée des contraintes devant être satisfaites par une entité (n'existant pas encore) et produisent en sortie une description de cette entité. Des exemples de tels raisonnements sont : concevoir, modéliser, planifier. Dans tous les cas, la transformation concerne bien des *Mental Objects*.

Les *Reasonings* réalisés par un *Agent* (être humain ou système à base de connaissances) peuvent nécessiter que ce dernier interagisse avec un autre *Agent*, ne serait-ce que pour échanger des informations. Ces échanges d'informations, ou *Communications*, passant par la transmission d'objets physiques, des *Documents*, nous les assimilons à des *Doings* (FIG. 5). Les modèles d'expertise de commonKAD font usage de quatre types de *Communications* repris dans OntoKADS : obtenir (une information), présenter, recevoir et fournir.

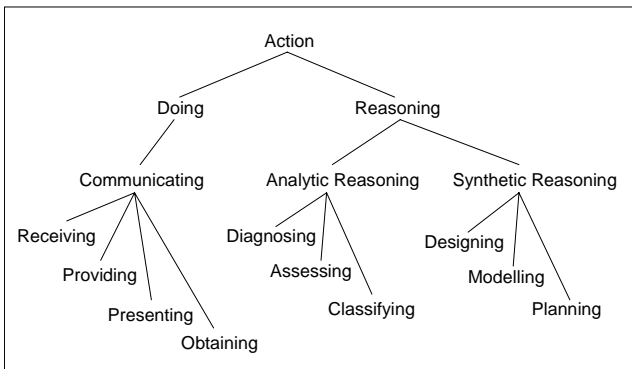


FIG. 5 – Ontologie des Actions d'OntoKADS

## 4.2 Ontologie de modèles d'Actions

Pour rendre compte du statut ontologique des primitives de modélisation de CommonKADS, nous en venons à nous intéresser, non plus aux raisonnements, mais à leur *description*. Deux statuts peuvent être attribués à ces descriptions : un statut cognitif, assimilant un *modèle* de raisonnement à la description qu'élabore un *Agent* des raisonnements qu'il conduit, une telle description participant de la planification de ces raisonnements [21] ; un statut artefactuel, assimilant un modèle de raisonnement à une description manipulée par un ingénieur de la connaissance et ayant pour fonction de guider l'acquisition de connaissances. Très clairement, le modèle d'expertise artefactuel de

CommonKADS, en mettant en avant les notions de *but* et de *méthode de résolution* est d'inspiration cognitive. Pour élaborer OntoKADS, notre démarche a consisté justement à partir d'une théorie de la connaissance pour définir un modèle de raisonnements. Le modèle résultat repose sur des concepts proches des primitives de modélisation de CommonKADS.

La notion d'*Agent*, comme il a été rappelé plus haut avec les notions d'*agent intentionnel* et *rationnel*, suppose la capacité à planifier des *Actions*, et à être ainsi dirigé par des *buts*. Nous assimilons cette notion de *but* à une représentation visée d'une transformation du monde (physique ou mental), autrement dit à une *Conceptualisation*. Cette acception est compatible avec la primitive *Goal* de CommonKADS, qui correspond à la description d'une *Action*, donc d'une transformation d'un monde. Pour compléter la caractérisation de cette notion, ajoutons que le *Goal* et l'*Action* sont deux entités distinctes admettant des temporalités et des modes d'existence distincts : le *Goal* précède l'*Action* et peut exister sans que l'*Action* soit réalisée ultérieurement, entraînant dans ce dernier cas la non existence de l'état visé du monde (à noter que l'*Action* peut également échouer).

Un autre objet théorique lié au *but* est la *méthode* ou *plan*, constituant un moyen pour atteindre le but visé. Dans CommonKADS, une méthode correspond à la décomposition d'un but en sous-buts. Plus exactement, CommonKADS suppose l'existence de *méthodes de résolution de problèmes* correspondant à des structures d'inférences générales permettant de réaliser des classes de raisonnements diverses. L'*Agent* (point de vue cognitif) ou l'ingénieur cognitif (point de vue artefactuel) sélectionne et adapte une méthode en fonction d'un but visé, aboutissant à une *méthode de tâche* (une description réunissant un but et une méthode de décomposition du but en sous-buts). OntoKADS reprend cette notion de *Task Method* (FIG. 6). Suivant qu'une *Task Method* est associée, ou non, à une description de raisonnement (*Reasoning Model*), les *Tasks* et les *Inferences* sont ensuite distinguées.

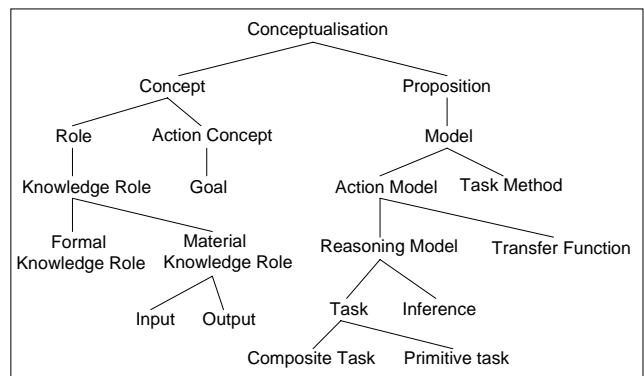


FIG. 6 - Ontologie des modèles d'Actions d'OntoKADS

La FIG. 7 présente un exemple de description d'Action. Il s'agit, en l'occurrence, d'une *Primitive Task*. Les champs relevant du niveau description de l'Action apparaissent en caractères gras. Ces champs classent différents concepts : un concept d'Action (*Car diagnosis*) et des concepts d'entités participant à ces Actions (ex : *Complaint about [Visible car state]*). En section 5, nous précisons la nature ontologique de ces entités.

<p><b>Primitive Task</b>  <b>Goal:</b> Car diagnosis  <b>Knowledge Roles:</b>  <b>Input:</b> Complaint to diagnose about [Visible car state]  <b>Output:</b> Diagnosis hypothesis about [Abnormal car behaviour]</p>
--

FIG. 7 – Tâche primitive de diagnostic de voiture

## 5 Rôles de connaissance

Dans cette section, nous poursuivons la présentation d'OntoKADS en nous focalisant plus particulièrement sur la partie de l'ontologie rendant compte des rôles de connaissances de CommonKADS, cette primitive de modélisation située à l'interface des tâches et des concepts du domaine. Continuant à distinguer dans notre analyse les deux niveaux de conceptualisation, « objet » et « méta », nous montrons comment OntoKADS permet de répondre aux questions suivantes : quelle est la nature ontologique des entités participant aux Reasonings ? Comment ces entités participent-elles à ces Reasonings ? Comment caractériser, en termes de méta-propriétés, les concepts représentant ces modes de participation ? À titre d'illustration, nous utilisons comme exemple un raisonnement de diagnostic d'une panne de voiture, correspondant à l'exemple pédagogique traité dans le livre de référence sur CommonKADS [23, chap. 5].

### 5.1 Nature des entités participantes

En caractérisant la notion de Reasoning en §4.1, nous avons précisé la nature ontologique des entités participant à ces Actions, en tant que données et résultats : ce sont des Conceptualisations, autrement dit des Concepts, ou bien des Propositions ayant pour sujet (relation : *has for subject*) des Concepts. Une telle identité paraît à la fois pertinente et suffisamment générale pour rendre compte du sens d'expressions, apparaissant en données de tâches dans les modèles d'expertise CommonKADS, aussi diverses que : « empty fuel tank », « empty fuel tank hypothesis », « low battery level complaint » ou « car model ».

Ce statut de Conceptualisation clarifie le lien existant entre les entités participant aux Reasonings, qui sont des Mental Objects, et les entités du monde physique auxquelles ces Mental Objects font référence : les entités du monde physique ne participent qu'indirectement aux Reasonings, c'est-à-dire qu'en tant qu'ils sont classés par un Concept. Ainsi, l'expression « empty fuel tank » peut-elle être assi-

milée, soit au Concept d'une classe d'états, soit à une Assertion, c'est-à-dire à une Proposition considérée comme vraie pour un Agent et ayant pour Subject ce Concept.

Un intérêt de cette interprétation est d'obtenir une modélisation conforme à la signature de la relation de participation de DOLCE : une Conceptualisation étant un Endurant, c'est bien un Endurant qui participe au Perdurant-Reasoning. Il convient de noter également que le Concept, qu'il soit isolé ou bien qu'il joue le rôle de Subject, peut être quelconque et correspondre au Concept d'un objet physique, d'un état d'un objet, d'un processus ou d'un comportement impliquant un objet. Ces derniers Perdurants peuvent – qui plus est – être classés selon un mode de perception par un Agent (ex : visible, invisible, observé, observable) ou bien suivant un caractère de normalité (ex : physiologique, pathologique).

La remarque précédente éclaire la généralité du cadre de modélisation. Pour élargir sa portée, ajoutons qu'une Proposition peut être le résultat de Reasonings particuliers ou bien de Communications, lorsqu'il s'agit d'un Message transmis entre Agents. Les expressions « empty fuel tank hypothesis » et « low battery level complaint » peuvent ainsi être assimilées à une Proposition résultant respectivement d'un raisonnement hypothétique et d'un acte de discours consistant à « se plaindre de quelque chose ».

Toujours pour souligner la généralité de ce cadre de modélisation, notons enfin qu'un modèle, par exemple un Car Model, peut être assimilé à une Proposition. Cette catégorie recouvre aussi bien des modèles de connaissances exploités par des Reasonings que des modèles mathématiques utilisés pour simuler le comportement de systèmes.

### 5.2 Rôles de participation

Pour général qu'il soit, le cadre esquissé jusqu'à présent demeure incomplet, car il ne permet pas de rendre compte d'expressions comme : « hypothesis to assess », « complaint to cover » ou encore « diagnosis hypothesis ». De telles expressions, utiles pour nommer des rôles de connaissances, au sens de CommonKADS, en entrées et sorties de tâches, font référence en effet à des manières pour des Conceptualisations de participer à des Reasonings, en tant que données ou résultats. Ce domaine des « modes de participation » est couvert par un composant spécifique d'OntoKADS, une sous-ontologie de « rôles de participation ».

De tels rôles, appelés également « rôles casuels » ou « rôles thématiques » dans la littérature, sont définis en OntoKADS comme spécialisant le concept Endurant. En effet, l'axiomatisation de DOLCE assimile les notions d'Endurant et de Participant<sup>9</sup>. Dès lors, des manières de participer ou des rôles de participation spécialisés sont définis en OntoKADS en introduisant des relations spécialisant la relation de participation de DOLCE.

La FIG. 8 présente quelques rôles de participation, notamment les rôles Patient et Determinant subsumant direc-

tement le concept *Endurant*. Les rôles *Data* et *Result* sont définis, à la fois en tant que *Patients* (ils ne contrôlent pas directement la réalisation d'une *Action*, en étant une cause première de l'*Action*, comme un *Determinant*) et en tant que *Conceptualisations* (ceci contraint ces rôles à n'être joués que par des *Conceptualisations*). Dès lors (cf. FIG. 8), le rôle *Data* subsume des concepts comme *Hypothesis To Assess* ou *Complaint To Cover* et le rôle *Result* des concepts comme *Diagnosis Hypothesis* ou *Calibrated Model*. À cette taxinomie de rôle de participants correspond une taxinomie de *Perdurants* : les rôles *Patient* et *Determinant* correspondent à une participation à un *Perdurant* quelconque, les rôles *Data* et *Result*, à une participation à une *Action*, et enfin les derniers rôles de participation pré cités subsumant *Data* et *Result*, à une participation à des *Reasoning* spécifiques (*Assessing*, *Diagnosing*, *Calibrating*).

### 5.3 La primitive de modélisation Knowledge Role

Dans notre modélisation des *Reasonings* jusqu'à présent nous avons pris soin de caractériser séparément, d'une part, la nature des entités participantes (§5.1) et, d'autre part, la nature des rôles de participation (§5.2). Ce faisant, nous sommes restés à un niveau « objet » de modélisation en complétant la définition des *Reasonings*, introduite en §4.1. Dans cette section, nous abordons le niveau « méta » des modèles de raisonnements (*Reasoning Models*), que nous complétons en introduisant le concept de « rôle de connaissance » (*Knowledge Role*), pour reprendre le nom de la primitive de CommonKADS.

À cette fin, nous reprenons l'ontologie de méta-propriétés de Guarino et Welty [14], notamment les méta-concepts : *Role*, *Formal Role* et *Material Role* (cf. §3.3). Par analogie avec ces concepts, en les particulierisant (en les spécialisant) avec les entités du domaine d'OntoKADS, en l'occurrence les entités participant à des *Reasonings*, nous définissons trois notions de *Knowledge Roles*. La FIG. 8 illustre graphiquement l'étiquetage de concepts au moyen de ces méta-propriétés.

- Un *Knowledge Role* est un *Role* contraint à être joué par une *Conceptualisation* et à dépendre d'une *Action*, un *Reasoning* ou une *Communication*. Parmi les *Knowledge Roles* sont distingués les *Formal Knowledge Roles* et les *Material Knowledge Roles*.
- Un *Formal Knowledge Role* est un *Knowledge Role* ne portant pas de critère d'identité. Les concepts *Data* et *Result*, et plus spécifiquement des concepts comme *Covering Data* et *Diagnosis Result*, en sont des exemples. Ces rôles peuvent être joués par des *Concepts* ou des *Propositions* qui sont des *Conceptualisations* portant des critères d'identité très divers.

- Un *Material Knowledge Role* est un *Knowledge Role* portant un critère d'identité. Les concepts *Complaint To Cover* et *Diagnosis Hypothesis* en sont des exemples. Ils sont chacun subsumés (cf. FIG. 8) par un *Formal Knowledge Role* (resp. *Covering Data*, *Diagnosis Result*) et par un type (*Complaint*, *Hypothesis*) apportant un critère d'identité.

Finalement, le cadre de modélisation des entités participant aux *Reasonings* auquel nous parvenons peut se résumer ainsi :

- Les concepts *Knowledge Role*, *Formal Knowledge Role* et *Material Knowledge Role*, rendant compte de la primitive de rôle de connaissances de CommonKADS, sont considérés dans OntoKADS comme des méta-concepts, i.e. des concepts classant temporairement d'autres concepts. Ils sont dès lors définis comme subsumant le (méta)-concept *Concept* (cf. FIG. 6). En tant que *Concepts*, ce sont des composants de *Reasoning Models* (tout comme le méta-concept *Goal*).
- Ces méta-concepts classent des rôles de participation à des *Reasonings*. Les *Inputs* et les *Outputs*, des méta-concepts spécialisant le concept *Formal Knowledge Role* (cf. FIG. 6), classent respectivement des *Data* et des *Results*.
- Ces *Data* et *Results* sont joués par des *Conceptualisations*, des *Concepts* ou bien des *Propositions* ayant pour sujet des *Concepts*.
- Ces derniers *Concepts* classent les objets du domaine, leurs composants, les états et processus dans lesquels ces objets interviennent.

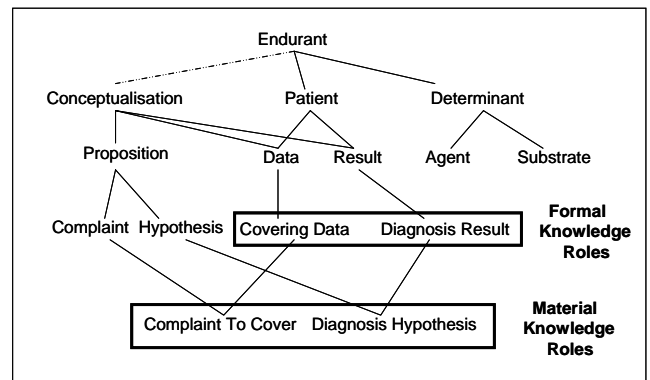


FIG. 8 - Étiquetage de participants par des Knowledge Roles

## 6 Discussion

L'ontologie générale de la résolution de problèmes d'OntoKADS induit une démarche de modélisation des connaissances sensiblement différente de celle proposée par CommonKADS. Schématiquement, OntoKADS

conduit à spécifier plus complètement les engagements ontologiques pour les entités conceptuelles structurant un modèle d'expertise avant de « mettre en primitives » ces entités. Ainsi, à un premier niveau de conceptualisation appelé niveau « objet », il est nécessaire de définir les *Reasonings* et les entités participant à ces *Reasonings* : objets physiques, états de ces objets, comportement de ces objets, processus dans lesquels sont impliqués ces objets.

Le cadre de modélisation proposé par OntoKADS pour les *Reasonings* et les *Reasoning Models* apporte un éclairage nouveau sur la primitive *rôle de connaissance* de CommonKADS. Les catégories « abstraites » habituellement choisies pour les rôles de connaissances dans les modèles CommonKADS correspondent dans OntoKADS à des catégories de *Concepts* et de *Propositions*. Ces catégories relevant du domaine des représentations, ceci explique que les termes désignant les rôles de connaissances puissent être indépendants du domaine d'application.

OntoKADS substitue aux rôles de connaissances de CommonKADS, mal définis sur le plan sémantique, des *Material Knowledge Roles* dont la définition repose sur un cadre rigoureux (ces concepts doivent notamment vérifier certaines méta-propriétés). Ce cadre fournit au modélisateur des règles lui permettant de caractériser ces rôles, en le contraignant à répondre aux questions suivantes :

- Quel type de représentation participe (ex : message, modèle, contrainte, hypothèse) ? Le cas échéant, quel est le sujet de la représentation (ex : plainte portant sur un état de la voiture, modèle du mauvais comportement de la voiture, hypothèse portant sur un dysfonctionnement de la voiture) ?
- S'agit-il d'une *Data* ou d'un *Result*, et de quel *Reasoning* (ex : plainte à couvrir, hypothèse de diagnostic) ? Le cas échéant, si la *Proposition* porte sur un sujet particulier, nous pouvons avoir des concepts plus complexes (ex : plainte à couvrir portant sur un état de la voiture, hypothèse de diagnostic portant sur un dysfonctionnement de la voiture). À noter également qu'un résultat d'un *Reasoning* peut jouer le rôle de donnée d'un autre *Reasoning* (ex : hypothèse de diagnostic à évaluer). Ces derniers exemples illustrent la diversité des *Material Knowledge Roles*.

L'application de ces règles conduit ainsi à des modèles d'expertise différents de ceux obtenus avec la méthode CommonKADS. Notre travail se poursuit actuellement par une comparaison de ces modèles en prenant des exemples de tâches et de méthodes génériques décrites dans la littérature.

## 7 Travaux liés

Un aspect critique pour OntoKADS est l'investigation menée dans le domaine des objets théoriques participant

aux *Reasonings* ou permettant leur description (*Reasoning Models*), objets que nous avons assimilés avec I&DA [9][10] à des *Concepts* et des *Propositions* définis comme des *Mental Objects* (au sens de DOLCE). D'autres travaux ontologiques, menés notamment au LOA (ISTC-CNR, Trento, Italie), ont également abordé l'étude de ce domaine, en poursuivant des objectifs proches :

- Modéliser les *états mentaux* d'agents (ex : croyances, désirs, intentions) et leurs liens avec les *Mental Objects* de DOLCE pour l'ontologie COM (Computational Ontology of Mind) [8].
- Modéliser des entités *réifiées* (ex : théories, normes, lois, contraintes), pour l'ontologie DnS (Descriptions and Situations) [13] et deux de ses extensions, dans le domaine biomédical [11] et le domaine des tâches et plans avec l'ontologie DDPO (DOLCE+DnS Plan Ontology) [12].

Le domaine de l'ontologie COM [8] est composé de deux sous-domaines disjoints : i) celui des *mental states*, qui inclut des *mental attitudes* comme des *beliefs*, *desires* et *intentions*. Ces attitudes portent sur des *Mental Objects* qui « participent » (au sens de DOLCE) à ces attitudes ; ii) celui des *Mental Objects*, partitionné en *percepts*, représentations directes du monde physique, et en *computed objects*, résultats de processus cognitifs. Parmi ces *computed objects* figurent des *computed beliefs*, des *computed desires* et des *computed intentions*.

L'ontologie COM apparaît en tout point complémentaire d'OntoKADS. D'un côté, il apparaît que les *Concepts* et *Propositions* d'OntoKADS peuvent être définis comme des *computed objects*, dans la mesure où ils résultent de processus de pensée. D'un autre côté, on peut poser que les *computed desires* de COM correspondent aux *Goals* d'OntoKADS, soulignant que ces *Goals* participent à des états mentaux, actuellement non pris en compte dans OntoKADS. Sur ces bases, une fusion de COM et d'OntoKADS paraît possible, pour compléter OntoKADS.

L'ontologie DnS [13] et son extension aux *information objects* (toutes deux incluses dans DOLCE-Lite+ [18, chap. 15]) paraissent pour leur part couvrir le même domaine que I&DA, en effectuant les rapprochements suivants : les *théories réifiées* ou *s-descriptions* de DnS correspondent aux *Propositions* de I&DA, les *concepts réifiés* ou *c-descriptions* aux *Concepts* et les *information objects* aux *Expressions*. Les *s-descriptions*, à l'instar des *Propositions*, subsument en effet des entités aussi diverses que des contraintes, des modèles, des diagnostics, et sont exprimés par des *information objects*. Pour autant des différences existent, comme le montre une application récente de DnS pour construire une ontologie biomédicale de base [11].

Des *c-descriptions* appelés *paramètres* réifient des contraintes sur des *régions* (au sens de DOLCE). Par exemple, selon DnS, les paramètres *fever* et *critical systolic blood pressure* « sélectionnent » respectivement une

sous-région de *body temperature* et une sous-région de *blood pressure*. Dans OntoKADS, au contraire, de tels concepts sont assimilés à des concepts d'états ou de processus (des *Perdurants*). Ces concepts peuvent dès lors jouer le rôle de *Sign* en permettant d'évoquer d'autres concepts [16]. Ainsi, le méta-concept *Concept* d'OntoKADS ne subsume pas - à l'instar de *c-description* - les concepts *Fever* ou *CriticalSystolicBloodPressure* mais le concept *Sign* représentant un rôle joué par un *Concept* lors d'un *Raisonnement* (selon nos définitions, le concept *Sign* est un *Formal Knowledge Role*). Les concepts *c-description* de DnS et *Concept* d'OntoKADS sont donc différents.

L'ontologie DDPO [12] étend pour sa part DnS en l'ouvrant aux *plans*, *goals* et *tasks*, c'est-à-dire à des entités relevant du domaine des *Reasoning Models* d'OntoKADS. Les définitions fournies pour ces notions conduisent à les rapprocher respectivement des concepts *Task Method*, *Goal* et *Task* d'OntoKADS. La sous-ontologie de *tasks* de DDPO contient des notions comme *complex task*, *sequential task*, *hybrid task* et *loop task*, que l'on peut rapprocher de la sous-ontologie de *Tasks* d'OntoKADS et qui rendent compte de diverses structures de contrôle de ces *Tasks*. À noter toutefois que le concept *task* de DDPO est subsumé par le concept *c-description* (alors qu'en OntoKADS *Task* est subsumé par *Proposition*) et, à l'inverse, que le concept *goal* est subsumé par *s-description* en DDPO alors qu'en OntoKADS *Goal* est subsumé par *Concept*. Ces différences, combinées à des différences de sens portant sur les entités subsumantes (entre *c-description* et *Concept*, d'une part, *s-description* et *Proposition*, d'autre part), empêchent à ce jour d'établir des comparaisons plus fines<sup>10</sup>.

Ces comparaisons montrent que des investigations ontologiques dans le domaine des objets de connaissances sont en cours, mais qu'elles demeurent aujourd'hui parcellaires et, comme on vient de le voir, non consensuelles. L'étude de ce domaine reste donc à ce jour une question de recherche largement ouverte.

## 8 Conclusion

Dans cet article, nous avons posé les bases d'une approche radicalement centrée-ontologie pour la construction de modèles d'expertise, en focalisant notre présentation sur l'ontologie générale de la résolution de problème exploitée par la méthode. L'ontologie distingue nettement deux niveaux de conceptualisation, schématiquement le niveau des raisonnements et celui des modèles de raisonnements, ce dernier coïncidant avec le niveau des primitives de modélisation de CommonKADS. L'analyse ontologique menée repose sur l'introduction à un niveau méta d'entités réifiées et la possibilité donnée à ces entités de jouer des rôles dans des raisonnements. Cette analyse nous a conduits à préciser le sens de certaines primitives de CommonKADS, notamment le sens des *rôles de connaissances*, avec pour consé-

quence, d'un part, de produire des modèles d'expertise plus complets sur un plan sémantique et, d'autre part, de fournir à l'ingénieur de la connaissance de nouvelles règles pour élaborer de tels modèles.

Nos travaux de définition d'OntoKADS se poursuivent actuellement dans deux directions. Des développements de l'ontologie sont en cours, notamment pour intégrer les notions de *méthodes* et *tâches génériques*. En parallèle, la conception d'un environnement logiciel supportant la méthode se poursuit. Cet environnement est défini comme une extension de la plate-forme de construction d'ontologie TERMINAE [1] et comporte un module d'aide à la modélisation d'ontologies semi-informelles [4] supportant la méthode OntoSpec définie au LaRIA [17].

## Notes

<sup>1</sup> Cette ontologie a été choisie principalement en raison de ses propriétés rappelées en introduction, mais aussi car elle intègre une catégorie d'objets mentaux qui s'avère importante pour rendre compte des connaissances de résolution de problèmes. Signalons enfin que DOLCE fait l'objet de nombreux travaux d'extension en cours, référencés sur le site : <http://www.loa-cnr.it/DOLCE.html>.

<sup>2</sup> L'ensemble des ontologies référencées dans l'article et composant OntoKADS ont été spécifiées au moyen du langage semi-informel de la méthode OntoSpec [17]. Pour des raisons de place dans l'article, nous n'en présentons que des vues partielles graphiques. Le lecteur intéressé par le détail du contenu de ces ontologies pourra les éditer sur le site : <http://www.laria.u-picardie.fr/IC/site/-OntoSpec->.

<sup>3</sup> Toutes les ontologies présentées dans l'article n'existent qu'en version anglaise. Pour éviter tout risque d'une mauvaise traduction, nous ferons usage des libellés anglais attachés aux concepts de ces différentes ontologies.

<sup>4</sup> Récemment [3], le concept « plus fort » de *Cognitive Agentive* a été proposé pour désigner un *Agentive* possédant des méta-connaissances. Dans OntoKADS, afin de conserver une conceptualisation la plus simple possible, seul le concept *Agentive* est considéré mais celui-ci est pris au sens du concept *Cognitive Agentive*.

<sup>5</sup> Cette définition permet de rendre compte de documents très divers, allant de la feuille de papier sur laquelle est imprimée une forme matérialisée par de l'encre, à l'air ambiant portant une onde sonore matérialisant des sons perçus par l'ouïe. Cette diversité explique que le concept *Document* d'OntoKADS soit considéré, de façon générale, comme un *Physical Endurant*.

<sup>6</sup> Nous revenons en section 7 sur cette conception en positionnant I&DA par rapport à l'ontologie de *Descriptions* et de *Situations* (DnS) [13].

<sup>7</sup> Pour des raisons de place, nous ne pouvons rappeler ici la définition formelle de ces notions. Le lecteur est donc prié de se reporter à [14].

<sup>8</sup> Intuitivement, ces *Doings* intermédiaires dépendent d'un contexte particulier de réalisation du *Reasoning* et ainsi de la méthode retenue pour cette réalisation : suivant le contexte, des *Doings* différents sont susceptibles d'être réalisés. On en déduit qu'ils ne sont pas essentiels pour le *Reasoning* et qu'ils ne participent donc pas de sa définition.

<sup>9</sup> Selon les axiomes de DOLCE :  $Ad33 (PC(x,y,t) \rightarrow ED(x) \wedge PD(y) \wedge T(t))$  et  $Ad35 (ED(x) \rightarrow \exists y,t(PC(x,y,t)))$ , seuls les *Endurants* (ED) participent (PC) à des *Perdurants* (PD) et, par ailleurs, tout *Endurant* participe nécessairement à un *Perdurant*.

<sup>10</sup> À noter, pour être complet, une différence de portée affichée entre les deux ontologies : conceptualiser des plans sociaux ou cognitifs généraux pour DDPO, conceptualiser des tâches et méthodes implantables dans un Système à Base de Connaissances pour OntoKADS. On peut en déduire que le domaine d'OntoKADS est inclus dans celui de DDPO.

## Références

- [1] N. Aussenac-Gilles, B. Biébow et S. Szulman. Revisiting ontology design: a methodology based on corpus analysis. R. Dieng and O. Corby (eds.), *Knowledge Engineering and Knowledge Management: Methods, Models and Tools, Proceedings of the 12th International Conference EKAW'2000*, Springer-Verlag, LNAI 1937, pages 172-188.
- [2] B. Bachimont. Arts et sciences du numérique : Ingénierie des connaissances et critique de la raison computationnelle. Habilitation à diriger des recherches, Université de Technologie de Compiègne, janvier 2004.
- [3] E. Bottazzi, C. Catenacci, A. Gangemi et J. Lehmann. From Collective Intentionality to Intentional Collectives: an Ontological Perspective. *Cognitive Systems Research, Special Issue on Collective Intentionality*, Elsevier, 2006. À paraître.
- [4] S. Bruaux. Introduction d'un éditeur de fiches de modélisation dans TERMINAE. Rapport technique du projet ATONANT, septembre 2005.
- [5] S. Bruaux, G. Kassel et G. Morel. An ontological approach to the construction of problem-solving models. P. Clark and G. Schreiber (eds), *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Knowledge Capture (K-CAP 2005)*, ACM, poster-paper, pages 181-182, October 2005. Une version longue est publiée comme Rapport de Recherche du LaRIA 2005-03. Disponible à l'adresse <<http://hal.ccsd.cnrs.fr/ccsd-00005019>>.
- [6] C. Castelfranchi. Modelling social action for AI agents. *Artificial Intelligence*, 109:157-182, 1998.
- [7] M. Crubézy et M. Musen. Ontologies in Support of Problem Solving. S. Staab and R. Studer (eds.), *Handbook on Ontologies*, Springer Verlag, pages 321-341, 2004.
- [8] R. Ferrario et A. Oltramari. Towards a Computational Ontology of Mind. A.C. Varzi and L. Vieu (eds.), *Formal Ontology in Information Systems, Proceedings of the International Conference FOIS 2004*, IOS Press Amsterdam, pages 287-297, November 2004.
- [9] J.-Y. Fortier. Vers une gestion des connaissances au niveau des informations. Thèse de Doctorat de l'Université de Picardie Jules Verne, octobre 2005.
- [10] J.-Y. Fortier et G. Kassel. Managing Knowledge at the Information Level: an Ontological Approach. *Proceedings of the ECAI'2004 Workshop on Knowledge Management and Organizational Memories*, Valencia (Spain), pages 39-45, 2004.
- [11] A. Gangemi, C. Catenacci et M. Battaglia. Inflammation Ontology Design Pattern: an exercise in building a core biomedical ontology with Descriptions and Situations. D.M. Pisanelli (ed.), *Ontologies in Medicine*, IOS Press, Amsterdam, Berlin, 2004, pages 64-80.
- [12] A. Gangemi, S. Borgo, C. Catenacci et J. Lehmann. Task Taxonomies for Knowledge Content. METOKIS Deliverable DO7, Final Report (vr. 2.0, 04-05-2005).
- [13] A. Gangemi et P. Mika. Understanding the Semantic Web through Descriptions and Situations. R. Meersman *et al.* (eds), *Proceedings of the International Conference on Ontologies, Databases and Applications of Semantics (ODBASE 2003)*, Catania (Italy), 2003.
- [14] N. Guarino et C. Welty. A formal Ontology of Properties. R. Dieng and O. Corby (eds.), *Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Conference on Knowledge Engineering and Knowledge Management: EKAW2000*, Lecture Notes on Computer Science, Springer Verlag, 2000, pages 97-112.
- [15] N. Guarino et C. Welty. An Overview of OntoClean. In S. Staab and R. Studer (eds.), *Handbook on Ontologies*, Springer Verlag, pages 151-171, 2004.
- [16] G. Kassel. PHYSICIAN is a role played by an object, whereas SIGN is a role played by a concept. *Proceedings of the IJCAI'99 Workshop on Ontologies and Problem-Solving Methods: Lessons Learned and Future Trends*, Stockholm (Sweden), pages 6-1-6-9, 1999. Disponible à <<http://CEUR-WS.org/Vol-18/>>.
- [17] G. Kassel. Integration of the DOLCE top-level ontology into the OntoSpec methodology. Rapport de Recherche du LaRIA 2005-08. Disponible à <<http://hal.ccsd.cnrs.fr/ccsd-00012203>>.
- [18] C. Masolo, S. Borgo, A. Gangemi, N. Guarino, A. Oltramari et L. Schneider. The WonderWeb Library of Foundational Ontologies and the DOLCE ontology. WonderWeb Deliverable D18, Final Report (vr. 1.0, 31-12-2003).
- [19] C. Masolo, L. Vieu, E. Bottazzi, C. Catenacci, R. Ferrario, A. Gangemi et N. Guarino. Social Roles and their Descriptions. D. Dubois, C. Welty and M.-A. Williams (eds.), *Proceedings of the Ninth International Conference on the Principles of Knowledge Representation and Reasoning*, Whistler, BC, Canada, pages 267-277, 2004.
- [20] A. Newell. *Unified Theories of Cognition*. Harvard University Press, Cambridge, Ma, 1990.
- [21] D. Rajpathak et E. Motta. An Ontological Formalization of the Planning Task. A.C. Varzi and L. Vieu (eds.), *Formal Ontology in Information Systems, Proceedings of the International Conference FOIS 2004*, IOS Press Amsterdam, pages 305-316, November 2004.
- [22] C. Reynaud, N. Aussenac-Gilles, P. Tchounikine et F. Trichet. The Notion of Role in Conceptual Modeling. *Proceedings of the 10<sup>th</sup> European Knowledge Acquisition Workshop: EKAW'97*, San Feliu de Guixolls, Bonn: Springer Verlag, p. 221-236, 1997.
- [23] G. Schreiber, H. Akkermans, A. Anjewierden, R. de Hoog, N. Shadbolt, W. Van de Velde et B.J. Wielinga, *Knowledge Engineering and Management: The CommonKADS Methodology*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, England, 2000.
- [24] F. Steimann. On the representation of roles in object-oriented and conceptual modelling. *Data and Knowledge Engineering*, 35:83-106, 2000.
- [25] G. Van Heijst, A. Th. Schreiber et B.J. Wielinga. Using explicit ontologies in KBS development. *International Journal of Human-Computer Studies*, 46:183-292, 1997.
- [26] G. Van Heijst, A. Th. Schreiber et B.J. Wieling. Roles are not classes: a reply to Nicola Guarino. *International Journal of Human-Computer Studies*, 46:311-318, 1997.