Apport de l'ingénierie ontologique aux environnements de formation à distance

Valéry Psyché, Olavo Mendes, Jacqueline Bourdeau

▶ **To cite this version:**

Valéry Psyché, Olavo Mendes, Jacqueline Bourdeau. Apport de l'ingénierie ontologique aux environnements de formation à distance. STICEF (Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation), 2003, 10, pp.89-126. hal-00190669

HAL Id: hal-00190669

https://telearn.hal.science/hal-00190669

Submitted on 23 Nov 2007

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.

Apport de l'ingénierie ontologique aux environnements de formation à distance

Contribution of Ontological Engineering to Distance Learning Environments

Valéry Psyché [1] — Olavo Mendes [1,2] — Jacqueline Bourdeau [1]

[1]*Centre de recherche LICEF, Télé-université*
4750 Henri-Julien, Montréal (Québec) H2T 3E4, Canada
{vpsyche, omendes, bourdeau}@licef.teluq.uquebec.ca

[2]*Département de Communication - Université Fédérale à Paraiba - Brésil*

RÉSUMÉ. Cet article explore le potentiel de l'ontologie et de l'ingénierie ontologique pour augmenter l'intelligence dans les environnements de formation à distance, ainsi que dans la conception de ces environnements. Il contient une introduction à l'ontologie avec ses origines dans la philosophie occidentale, une discussion des relations entre l'intelligence artificielle et l'ingénierie ontologique, suivie d'une description des méthodologies et des outils d'ingénierie ontologique. Plusieurs pistes d'exploitation du potentiel des ontologies pour les environnements de formation à distance sont explorées.

ABSTRACT. How is Ontology relevant to Distance Education? This article claims that ontology and ontological engineering have a potential to increase intelligence both in the learning environments for distance education, and in the process of designing them. An introduction to the origins of the concept of ontology in western philosophy is presented, as well as a discussion on the relationships between artificial intelligence and ontological engineering, followed by a description of methodologies and tools for ontological engineering.

MOTS-CLES. ontologie, ingénierie ontologique, formation à distance,

KEYWORDS. ontology, ontological engineering, distance education

1. Introduction

L'ingénierie ontologique[1] est devenu un thème récurrent dans les milieux de recherche du domaine des Environnements Interactifs pour l'Apprentissage Humain (EIAH). L'ingénierie des connaissances de type ontologique serait une piste de travail à privilégier pour l'analyse, la conception, et le développement d'environnements interactifs d'apprentissage à distance. Qu'en est-il du potentiel d'une telle approche pour ces environnements, et quelle réflexion peut être menée sur ce thème? L'article qui suit se veut une tentative d'éclairer un aspect de ce questionnement, soit l'apport potentiel de l'ingénierie ontologique pour la conception d'environnements interactifs de formation à distance (FAD).

Le numéro thématique précédent de la revue se penchait sur le rôle du langage XML dans la conception des ressources numériques en éducation, soit les documents à finalité pédagogique. Si XML doit jouer un rôle important pour la création des documents (micro-design), des questions se posent au sujet des terminologies et des systèmes de classification qui serviront à l'indexation et au repérage de ces documents, pour l'exploitation ou le partage de ces documents (Wiley D., 2000), et l'ontologie est au rendez-vous pour répondre à ces questions. Toutefois, au-delà de cette considération, c'est une réflexion fondamentale qui est appelée par un processus d'ingénierie ontologique, puisque la représentation de l'*existant* contraint à définir sans ambiguïté possible les concepts et les liens qu'ils entretiennent entre eux. Si des auteurs tels Nilsson, Palmer, et Naeve (Nilsson M., Palmer M. et Naeve A., 2002) sont arrivés à la conclusion d'une nécessité de modélisation conceptuelle pour l'exploitation du Web sémantique aux fins du téléapprentissage, cet article rejoint l'idée d'une telle modélisation, en proposant toutefois une approche spécifique, celle de l'ingénierie ontologique (IO).

Le texte qui suit présente un historique de l'ontologie, expose les fondements de l'ingénierie ontologique ainsi que ses liens avec l'intelligence artificielle (IA), et propose des pistes d'exploitation de l'ontologie pour des environnements de formation à distance.

2. Perspective historique sur l'ontologie

Historiquement, l'ingénierie ontologique a émergé de l'ingénierie des connaissances. Cette dernière a longtemps été considérée comme le domaine de prédilection du développement d'expertise en conception de systèmes à base de connaissances. Malgré le fait que l'ingénierie des connaissances ait contribué à accroître cette expertise en l'organisant dans une perspective computationnelle, certains membres de la communauté de l'intelligence artificielle dont nous faisons partie ont éprouvé le besoin de passer à une ingénierie s'appuyant plus solidement sur des fondements théoriques et méthodologiques, afin d'améliorer la conception

[1] Un terme introduit par Mizoguchi pour la première fois dans (Mizoguchi R., 1998).

des systèmes intelligents : l'ingénierie ontologique (IO) permet de spécifier la conceptualisation d'un système, c'est-à-dire, de lui fournir une représentation formelle des connaissances qu'il doit acquérir, sous la forme de connaissances déclaratives exploitables par un agent. Ainsi, l'exploitation par un mécanisme d'inférence, d'une représentation de type déclarative telle que l'ontologie, tout en suivant les règles d'inférence définie dans cette ontologie, est la source de l'intelligence de système, par exemple un environnement de formation à distance.

L'ingénierie de connaissances a ainsi donné naissance à l'ingénierie ontologique, où l'ontologie est l'objet clé sur lequel il faut se pencher. La nécessité d'une ontologie et d'une ingénierie ontologique des systèmes à base de connaissances commence à être comprise et acceptée par la communauté. Fonder l'ingénierie ontologique exige que l'on puisse en définir l'objet et en défendre la spécificité méthodologique. Or, si personne ne conteste que l'objet de l'ingénierie ontologique soit l'ontologie, la définition explicite et la délimitation précise de ce concept soulève un questionnement qui est tout à la fois d'ordre philosophique, épistémologique, cognitif et technique. La prochaine section introduit la notion d'ontologie ainsi que sa genèse dans l'histoire de la philosophie occidentale.

2.1 Origine de l'ontologie

L'Ontologie est un terme philosophique qui signifie *être* - du grec ancien *ôn, onton*, participe présent de *einai* - et *discours*, *étude*, *science* - de *logos* - (*Encyclopaedia Universalis*, 2000). En d'autres termes, l'Ontologie serait la *Science ou théorie de l'être* Bien que ce soient les Grecs qui aient inventé cette science, ils ne l'avaient pas appelé Ontologie, le terme étant beaucoup plus récent (XVIIe siècle) que la discipline qu'il désigne (*Encyclopaedia Universalis*, 2000). La discipline elle-même a évolué en se rapprochant des sciences cognitives et de l'IA, il y a seulement une vingtaine d'années.

Dans les écrits scientifiques contemporains, le terme ontologie recouvre deux usages dont le premier appartient à la philosophie classique et le second plus récent, aux autres sciences cognitives. De ce fait, la convention veut que la notation *Ontologie* (avec un *O majuscule*) soit attribuée au domaine issu de la philosophie et *ontologie* aux autres.

Pris dans son sens le plus large, le terme ontologie est plus ou moins synonyme de : *théorie ou conception du réel*. Dans cette acception, très large, la recherche ontologique n'est nullement quelque chose dont la philosophie aurait le monopole, comme nous le verrons par la suite dans l'historique de l'ontologie en intelligence artificielle.

Dans la section 2, nous nous intéressons à son sens philosophique, le plus étroit et le plus théorique, où l'Ontologie est définie comme la *théorie de l'être en tant qu'être*.

2.2 Fondement métaphysique : La science de l'être

Dans la philosophie classique, l'Ontologie correspond à ce qu'Aristote appelait la Philosophie première, *protè philosopha*, c'est-à-dire la *science de l'être en tant qu'être*, par opposition aux philosophies secondes qui s'intéressaient, elles, à l'étude des manifestations de l'être (les *étants*) (Graf Bihan, 1996). D'après, le constat fondamental d'Aristote, influencé par Parménide, *l'étant* se dit de multiples façons.

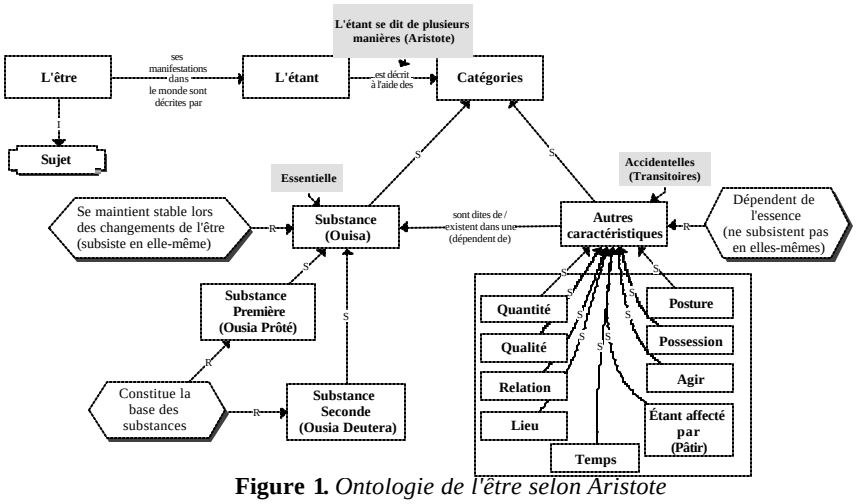


Figure 1. *Ontologie de l'être selon Aristote*

Les catégories constituent les différentes descriptions associées aux manifestations de l'être dans le monde, traduites par des propositions. Aristote a ramené l'ensemble des formes possibles de manifestations de l'être à dix catégories : 1) Substance ; 2) Quantité ; 3) Qualité (quels attributs); 4) Relation (plus x que, etc.) ; 5) Lieu (où); 6) Temps (quand); 7) Posture (positionné comment) ; 8) Possession (avec quoi); 9) Action (en faisant quoi); 10) Pâtir (subissant/étant affecté par). Parmi les dix catégories, la substance a une importance prépondérante car : 1) elle constitue l'essence (*ousia prôté*) sans quoi une entité ne peut pas subsister, et qui par le fait même, individualise et différencie une entité par rapport à toutes les autres ; 2) elle assure une structure qui demeure stable (*ousia deutera*) à travers les changements continuels du monde. Ainsi, il est possible de reconnaître un être (un certain individu par exemple), comme étant en essence le même, en dépit des changements qu'il subit dans toutes les autres propriétés (les catégories dites accidentelles ou transitoires) au fil du temps, modifiant par exemple son apparence/qualité (nourrisson, enfant, adulte, vieillard), sa posture, ses actions, ses possessions, etc. La figure 1 (modélisée à l'aide du langage MOT[2]) résume cette

[2] MOT est un langage pour la modélisation informelle qui permet de décrire différents types de modèles (hiérarchie de classes, modèles procéduraux, théories, arbres de décision, structures de contrôle, processus et méthodes). Le langage permet d'intégrer dans un même

ontologie de l'être selon Aristote.

2.3. Fondements épistémologiques

Le terme Ontologie aurait été introduit sous sa forme latine au XVIIe siècle par Goclenius (Rudolph Göckel, dans *Lexicon philosophicum*, 1613-1615) pour désigner la science de l'être en général. Il correspond par conséquent à cette recherche sur l'être en tant qu'être (*on hè on*, en grec ancien) qu'Aristote avait assignée, parmi d'autres objets propres, à la philosophie première, appelée par la suite, métaphysique. (*Encyclopaedia Universalis*, 2000).

Par la suite, Johann Clauberg attribue la même signification au terme dans ses œuvres *Metaphysica* (1646) et *Ontosophie sive ontologia* (1656), où il l'emploie pour faire référence à une sorte de métaphysique générale qui aurait pour objet les caractéristiques essentielles communes à tous les êtres, à savoir : substance, existence, essence, etc. (Auroux. Weil, 1984); Graf et Bihan, 1996; Lalande, 1960). Selon Clauberg dans son œuvre *Metaphysica* (cité dans Lalande, 1960) : « *Le nom seul est nouveau ; quant à cette science, elle existait déjà chez les scolastiques avec la même définition: on appelait Transcendentia ces déterminations communes à tous les êtres* ».

La diffusion du terme est due à l'*Ontologia* de Christian Wolff (Wolff C., 1729), qui, dans le concept scolaire de métaphysique, rangeait l'Ontologie en tant que métaphysique générale, puisqu'elle traitait de l'être en général, et la distinguait des trois sciences métaphysiques spéciales (*metaphysica specialis*) que sont la psychologie rationnelle (l'être de l'*âme intellective*), la cosmologie rationnelle (l'être du *monde*) et la théologie rationnelle (l'être de *Dieu*), chacune traitant d'une région déterminée de l'être.

La différence entre la conception wolffienne de l'être et la conception classique dépend selon Couturat (Couturat L., 1903), de ses prémisses leibniziennes (Leibniz, 1646-1716), qui veulent que le possible précède le réel, si bien que l'être est défini comme, *ce qui veut exister*, soit qu'il existe effectivement, soit qu'il n'existe pas, l'existence apparaissant comme le *complément de la possibilité*.

Les principes suprêmes de l'Ontologie sont le principe de non-contradiction et le principe leibnizien de raison suffisante. Les déterminations internes de l'être sont ses attributs essentiels. Pour le reste, l'Ontologie étudie une série de couples conceptuels, comme quantité et qualité, nécessité et contingence, simplicité et composition, finitude et infinitude, identité et diversité, cause et effet, etc.

Kant a conçu son *analytique transcendantale* - première partie de la logique transcendantale, dans la Critique de la raison pure (Kant E., 1781) - d'une telle manière qu'elle put prendre la place de la vieille Ontologie. Hegel (Hegel, 1770-

---

modèle (sur plusieurs niveaux) des connaissances factuelles, procédurales et de contrôle (sous la forme de principes et de liens de régulation) (Paquette, 1996).

1831) procéda de manière analogue avec la logique qu'il identifie à la métaphysique, lorsqu'il affirme dans l'un des textes introductifs à la Science de la logique : « *la logique objective prend […] la place de la métaphysique d'autrefois* » (Hegel G. W. F., 1812).

C'est dans le cadre du développement de la phénoménologie que le terme d'Ontologie a recommencé à investir le discours philosophique : d'abord Husserl, dont le projet de phénoménologie pure le conduit à parler d'ontologies régionales ou sciences idéales de genres d'être qui empiriquement sont l'objet de plusieurs sciences (par exemple, l'ontologie régionale de la nature physique, etc.), puis Heidegger et Hartmann. L'école existentialiste, avec Sartre, développera ensuite sa propre vision de l'Ontologie.

Dans la philosophie analytique, l'Ontologie a été étroitement liée à la logique et à la philosophie du langage. Selon Quine, les engagements ontologiques du discours (plus exactement d'une théorie scientifique) ne sont pas tant déterminés pas ses assertions d'existence que par le type de variables sur lesquelles le langage admet la quantification : ainsi, une position nominaliste – pour qui il n'existe que des individus – admettra seulement la quantification sur des variables individuelles (et non pas, par exemple, sur des variables prédicatives).

L'Ontologie est donc déterminée par la sémantique de son langage, et coïncide de fait avec les aspects généraux de cette sémantique. Un courant significatif de la philosophie analytique poursuit la construction d'une ontologie formelle, c'est-à-dire d'une théorie formelle des modes d'être. La construction d'une telle théorie coïncide avec la définition d'une sémantique pour un langage logique, dans laquelle peuvent trouver place les types d'entités que la théorie admet (par exemple, des individus, ou bien des individus et des classes, ou bien des propriétés, etc.), et où sont définies les relations entre les différents types d'entités.

Une telle ontologie formelle implique de soumettre à une re-formulation dans le langage logique toutes les théories traditionnelles de l'être substantiel (idéalités mathématiques, réalités phénoménales des sciences naturelles, etc.). Cela constitue une réduction des ontologies des théories de la substance à l'ontologie fondamentale proposée.

La section suivante présente l'appropriation des ontologies par les chercheurs contemporains en IA.

3. Vision contemporaine en intelligence artificielle

Dans les milieux de l'intelligence artificielle, il semblerait que l'ontologie ait été abordée pour la première fois par John McCarthy qui reconnut le recoupement entre le travail fait en Ontologie philosophique et l'activité de construire des théories logiques de systèmes d'intelligence artificielle. McCarthy affirmait déjà en 1980 que les concepteurs de systèmes intelligents fondés sur la logique devaient d'abord énumérer tout ce qui existe, en construisant une ontologie de notre monde.

Cette vision de McCarthy, inspirée par les lectures de Quine, fut reprise par Patrick Hayes, en 1985 dans son travail sur la *Physique Naïve*. La signification du terme a évolué, et pendant que les champs de l'ingénierie des connaissances, de la modélisation conceptuelle, et de la modélisation du domaine commençaient à converger, la signification du terme a fait de même.

Au début des années 1990, l'usage du terme était déjà bien répandu dans chacun des sous-domaines de l'intelligence artificielle. Neeches et ses collègues (Neeches R., 1991), ont présenté leur vision en ces termes : « *An ontology defines the basic terms and relations to define extensions to the vocabulary* ».

En 1993, Gruber propose sa définition : « *An ontology is an explicit specification of a conceptualizatio* »(Gruber T., 1993), qui est jusqu'à présent la définition plus citée dans les écrits en intelligence artificielle. Depuis la définition de Gruber, beaucoup de définitions de l'ontologie ont été proposées dans la littérature.

En 1997, Borst (Borst W. N., 1997) modifia légèrement la définition de Gruber en énonçant que : « *Une ontologie est définie comme étant une spécification formelle d'une conceptualisation partagée* ».

Ces deux définitions ont été expliquées par Studer et ses collègues (Studer *et al.*, 1998) comme suit : *Conceptualisation* réfère à un modèle abstrait d'un phénomène dans le monde, en ayant identifié les concepts appropriés à ce phénomène. *Explicite* signifie que le type de concepts utilisés et les contraintes liées à leur usage sont définis explicitement. *Formel* réfère au fait que l'ontologie doit être traduite en langage interprétable par une machine. *Partagé* réfère au fait qu'une ontologie capture la connaissance consensuelle, c'est-à-dire non réservée à quelques individus, mais partagée par un groupe ou une communauté.

En 1995, Guarino et Giaretta (Guarino N. & Giaretta P., 1995) ont choisi sept définitions dont ils ont fourni des interprétations syntaxiques et sémantiques. D'après Gomez-Perez (Gomez-Perez A., 1999), des auteurs ont également fourni une définition fondée sur la méthodologie qu'ils ont utilisée pour construire leur ontologie. Pour Swartout et ses collègues (Swartout B., Patil R., Knight K. et Russ T., 1997), par exemple ; « *an ontology is a hierarchically structured set of terms for describing a domain that can be used as a skeletal foundation for a knowledge base* ». Dans le même ordre d'idées, Bernaras et ses collègues (Bernaras A., Laresgoiti I. et Corera J., 1996), proposent la définition suivante : « *an ontology provides the means for describing explicitly the conceptualization behind the knowledge base* ».

Les approches associées à ces définitions sont explicitées par la suite dans notre section sur les méthodologies de l'ingénierie ontologique.

4. Composantes d'une ontologie

Les connaissances traduites par une ontologie sont à véhiculer à l'aide des éléments suivants (Gómez-Pérez, 1999): 1) *Concepts* ; 2) *Relations* ; 3) *Fonctions* ; 4) *Axiomes*; 5) *Instances*.

– Les **concepts**, aussi appelés termes ou classes de l'ontologie, correspondent aux abstractions *pertinentes* d'un segment de la réalité (le domaine du problème), retenues en fonction des objectifs qu'on se donne et de l'application envisagée pour l'ontologie. Selon (Gomez-Perez A., 1999) ces concepts peuvent être classifiés selon plusieurs dimensions : 1) *niveau d'abstraction* (concrets ou abstraits) ; 2) *atomicité* (élémentaires ou composés) ; 3) *niveau de* réalité (réels ou fictifs).

– Les **relations** traduisent les associations (pertinentes) existant entre les concepts présents dans le segment analysé de la réalité. Ces relations incluent les associations suivantes: 1) Sous-classe-de (généralisation – spécialisation) ; 2) Partie-de (agrégation ou composition) ; 3) Associée-à ; 4) Instance-de, etc. Ces relations nous permettent d'apercevoir la structuration et l'interrelation des concepts, les uns par rapport aux autres**.** Les **fonctions** constituent des cas particuliers de relations, dans laquelle un élément de la relation, le nième (extrant) est défini en fonction des n-1 éléments précédents (intrants).

– Les **axiomes** constituent des assertions, acceptées comme vraies, à propos des abstractions du domaine traduites par l'ontologie.

– Les **instances** constituent la définition extensionnelle de l'ontologie ; ces objets véhiculent les connaissances (statiques, factuelles) à propos du domaine du problème.

5. Dimensions de classification

Les ontologies peuvent être classifiées selon plusieurs dimensions. Parmi celles-ci, nous en examinerons quatre : 1) Objet de conceptualisation ; 2) Niveau de détail; 3) Niveau de complétude; 4) Niveau de formalisme de représentation. Ces dimensions de classification sont illustrées à la figure 2 et le détail de chacune des quatre dimensions est montré en annexe.

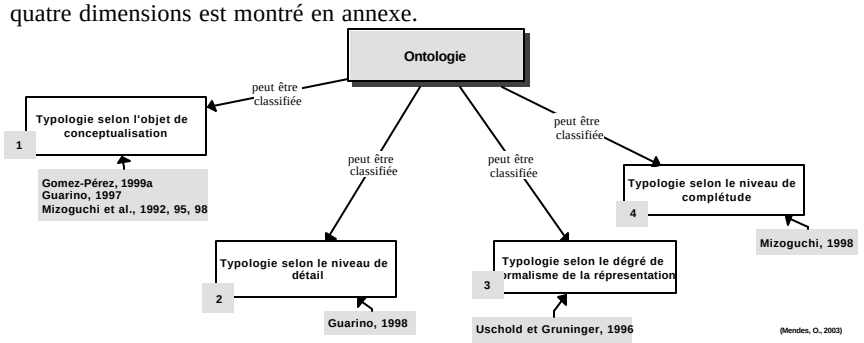


Figure 2. *Typologies d'ontologies selon quatre dimensions de classification*

5.1 Typologie selon l'objet de conceptualisation

Les ontologies classifiées selon leur objet de conceptualisation par (Gomez-Perez A., 1999; Guarino N., 1997b; Mizoguchi R., 1998; Mizoguchi R. & Ikeda M., 1996; Van Heijst G., Schreiber A. et Wielinga B. J., 1997; Vanwelkenhuysen J. & Mizoguchi R., 1994, 1995; Wielinga B. & Schreiber A., 1993), le sont de la façon suivante : 1) Représentation des connaissances; 2) Supérieure/ Haut niveau; 3) Générique ; 4) Domaine ; 5) Tâche; 6) Application.

– **Ontologie de représentation des connaissances** (Gomez-Pérez A., 1999a; Van Heijst G. et al., 1997) : ce type d'ontologies regroupe les concepts (primitives de représentation) impliqués dans la formalisation des connaissances. Un exemple est l'*ontologie de Frame* qui intègre les primitives de représentation des langages à base de *frames* : classes, instances, facettes, propriétés/*slots*, relations, restrictions, valeurs permises, etc.

– **Ontologie supérieure ou de Haut niveau** (Guarino N., 1997a; Sowa J., 1995a, 1995b). Cette ontologie est une ontologie générale. Son sujet est l'étude des catégories des choses qui existent dans le monde, soit les concepts de haute abstraction tels que: les entités, les événements, les états, les processus, les actions, le temps, l'espace, les relations, les propriétés. L'ontologie de haut de niveau est fondée sur : la théorie de l'identité, la méréologie (*theory of whole and parts role*) et la théorie de la dépendance. Guarino et Sowa ont poursuivi chacun indépendamment des recherches sur la théorie de l'ontologie. Tous deux intègrent les fondements philosophiques comme étant des principes à suivre pour concevoir l'ontologie de haut niveau ou supérieure. Sowa introduit deux concepts importants, *Continuant* et *Occurrent*, et obtient douze catégories supérieures en combinant sept propriétés primitives. L'ontologie supérieure de Guarino consiste en deux mondes : une ontologie des *Particuliers* (choses qui existent dans le monde) et une ontologie des *Universels* comprenant les concepts nécessaires à décrire les Particuliers. La conformité aux principes de l'ontologie supérieure a son importance, lorsque le but est de standardiser la conception des ontologies.

– **Ontologie Générique** (Gomez-Perez A., 1999; Gomez-Pérez A., 1999a; Van Heijst G. et al., 1997). Cette ontologie aussi appelée, **méta-ontologies** ou ***core ontologies***, véhicule des connaissances génériques moins abstraites que celles véhiculées par l'ontologie de haut niveau, mais assez générales néanmoins pour être réutilisées à travers différents domaines. Elle peut adresser des connaissances factuelles (*Generic domain ontoloy*) ou encore des connaissances visant à résoudre des problèmes génériques (connaissances procédurales) appartenant à ou réutilisables à travers différents domaines (*Generic task ontoloy*). Deux exemples de ce type d'ontologies sont : 1) l'ontologie méréologique (Borst, 1997) contenant des relations, *Partie-de* et 2) l'ontologie topologique contenant des relations, *Associé-à*.

– **Ontologie du Domaine** (Mizoguchi R., Kozaki K., Sano T. et Kitamura Y., 2000). Cette ontologie régit un ensemble de vocabulaires et de concepts qui décrit

un domaine d'application ou monde cible. Elle permet de créer des modèles d'objets du monde cible. L'ontologie du domaine est une méta-description d'une représentation des connaissances, c'est-à-dire une sorte de méta-modèle de connaissance dont les concepts et propriétés sont de type déclaratif. La plupart des ontologies existantes sont des ontologies du domaine. Selon Mizoguchi, l'ontologie du domaine caractérise la connaissance du domaine où la tâche est réalisée. Dans le contexte de la formation à distance, un domaine serait par exemple : le téléapprentissage.

– **Ontologie de Tâches** (Mizoguchi R. et al., 2000)**.** Ce type d'ontologies est utilisé pour conceptualiser des tâches spécifiques dans les systèmes, telles que les tâches de diagnostic, de planification, de conception, de configuration, de tutorat, soit tout ce qui concerne la résolution de problèmes. Elle régit un ensemble de vocabulaires et de concepts qui décrit une structure de résolution des problèmes inhérente aux tâches et indépendante du domaine. Selon Mizoguchi, (Mizoguchi R. et al., 2000), l'ontologie de tâche caractérise l'architecture computationnelle d'un système à base de connaissances qui réalise une tâche. Deux exemples d'utilisation de l'ontologie de tâche dans le domaine de l'éducation sont les suivants : 1) l'ontologie de formation par ordinateur - *Computer Based Training Ontology* (Jin L. et al., 1999) - qui régit un ensemble de concepts spécifiques à un système d'apprentissage inhérent à des ontologies de tâche ; et 2) l'ontologie des objectifs d'apprentissage - *Learning Goal Ontology* (Inaba A., Supnithi T., Ikeda M., Mizoguchi R. et Toyoda J., 2000) - qui décrit les rôles des apprenants et des agents dans le cadre d'un apprentissage collaboratif.

– **Ontologie d'Application.** Cette ontologie est la plus spécifique. Les concepts dans l'ontologie d'application correspondent souvent aux rôles joués par les entités du domaine tout en exécutant une certaine activité (Maedche A., 2002).

5.2. Niveau de détail de l'ontologie

Par rapport au **niveau de détail** utilisé lors de la conceptualisation de l'ontologie en fonction de l'objectif opérationnel envisagé pour l'ontologie, deux catégories au moins peuvent être identifiées : 1) **Granularité fine** : correspondant à des ontologies très détaillées, possédant ainsi un vocabulaire plus riche capable d'assurer une description détaillée des concepts pertinents d'un domaine ou d'une tâche. Ce niveau de granularité peut s'avérer utile lorsqu'il s'agit d'établir un consensus entre les agents qui l'utiliseront; 2) **Granularité large** : correspondant à un vocabulaire moins détaillé comme par exemple dans les scénarios d'utilisation spécifiques où les utilisateurs sont déjà préalablement d'accord à propos d'une conceptualisation sous-jacente (Fürst F., 2002; Guarino N., 1997b). Les ontologies de haut niveau possèdent une granularité large, compte tenu que les concepts qu'elles traduisent sont normalement raffinés subséquemment dans d'autres ontologies de domaine ou d'application (Furst, 2002).

5.3. Typologie selon le niveau de complétude

Le niveau de complétude a été abordé par (Mizoguchi R., 1998) et (Bachimont B., 2000). À titre d'exemple, nous décrivons la typologie de (Bachimont B., 2000). Ce dernier propose la classification sur trois niveaux suivante :

– **Niveau 1 - Sémantique** : Tous les concepts (caractérisés par un terme/libellé) doivent respecter les quatre principes différentiels : 1) Communauté avec l'ancêtre; 2) Différence (spécification) par rapport à l'ancêtre; 2) Communauté avec les concepts frères (situés au même niveau); 4) Différence par rapport aux concepts frères (sinon il n'aurait pas lieu de le définir). Ces principes correspondent à l'**engagement sémantique** qui assure que chaque concept aura un sens univoque et non contextuel associé. Deux concepts sémantiques sont identiques si l'interprétation du terme/libellé à travers les quatre principes différentiels aboutit à un sens équivalent.

– **Niveau 2 - Référentiel** : Outre les caractéristiques énoncées au niveau précédent, les concepts référentiels (ou formels) se caractérisent par un terme/libellé dont la sémantique est définie par une extension d'objets. L'**engagement ontologique** spécifie les objets du domaine qui peuvent être associés au concept, conformément à sa signification formelle. Deux concepts formels seront identiques s'ils possèdent la même extension (ex : les concepts *d'étoile du matin* et *d'étoile du soir* associés à Vénus).

– **Niveau 3 - Opérationnel** : Outre les caractéristiques énoncées au niveau précédent, les concepts du niveau opérationnel ou computationnel sont caractérisés par les opérations qu'il est possible de leur appliquer pour générer des inférences (**engagement computationnel**). Deux concepts opérationnels sont identiques s'ils possèdent le même potentiel d'inférence.

5.4. Typologie selon le niveau du formalisme

Par rapport au **niveau du formalisme de représentation** du langage utilisé pour rendre l'ontologie opérationnelle, (Uschold M. & Gruninger M., 1996b) proposent une classification comprenant quatre **catégories** : 1) **Informelles :** ontologies opérationnelles dans un langage naturel (sémantique ouverte) ; 2) **Semi-informelles :** utilisation d'un langage naturel structuré et limité ; 3) **Semi-formelles :** langage artificiel défini formellement; 4) **Formelles** : utilisation d'un langage artificiel contenant une sémantique formelle, ainsi que des théorèmes et des preuves des propriétés telles la robustesse et l'exhaustivité (Gómez-Pérez, 1999).

Selon Studer, « *il y a différents types d'ontologie et chaque type remplit un rôle différent dans le processus de construction du modèle du domaine* ». (Studer R., Benjamins R. et Fensel D., 1998). La section suivante aborde les fondements de ce processus.

6. Fondements de l'ingénierie ontologique

Le processus de construction d'ontologies, appelé ingénierie ontologique, peut être décrit selon les principes qui le gouvernent, et les méthodologies et les outils qui le soutiennent.

6.1. Principes

Il existe un ensemble de critères et de principes qui ont fait leurs preuves dans le développement des ontologies et qui peuvent être résumés comme suit :

– **Clarté et Objectivité** (Gruber T., 1993) : L'ontologie doit fournir la signification des termes définis en fournissant des définitions objectives ainsi qu'une documentation en langage naturel.

– **Complétude** (Gruber T., 1993) : Une définition exprimée par des conditions nécessaires et suffisantes est préférée à une définition partielle (définie seulement par une condition nécessaire et suffisante).

– **Cohérence** (Gruber T., 1993) : Une ontologie cohérente doit permettre des inférences conformes à ces définitions.

–**Extensibilité monotonique maximale** (Gruber T., 1993) : De nouveaux termes généraux et spécialisés devraient être inclus dans l'ontologie d'une façon qui n'exige pas la révision des définitions existantes.

– **Engagements ontologiques minimaux** (Gruber T., 1993) : Ce principe invite à faire aussi peu de réclamations que possible au sujet du monde représenté. L'ontologie devrait spécifier le moins possible la signification de ses termes, donnant aux parties qui s'engagent dans cette ontologie la liberté de spécialiser et d'instancier l'ontologie comme elles le désirent.

– **Principe de distinction ontologique** (Borgo S., Guarino N. et Masolo C., 1996) : les classes dans une ontologie devraient être disjointes. Le critère utilisé pour isoler le noyau de propriétés considérées comme invariables pour une instance d'une classe est appelé le critère d'*Identité.*

– **Modularité** (Bernaras A. et al., 1996) : Ce principe vise à minimiser les couplages entre les modules.

– **Diversification des hiérarchies** (Arpirez J., Gomez-Perez A., Lozano A. et Pinto S., 1998) : Ce principe est adopté pour augmenter la puissance fournie par les mécanismes d'héritage multiple[3]. Si suffisamment de connaissances sont représentées dans l'ontologie et que suffisamment de différentes classifications de critères sont utilisées, il est plus facile d'ajouter de nouveaux concepts (puisqu'ils peuvent être facilement spécifiés à partir des concepts et des classifications de critères pré-existants) et de les faire hériter de propriétés de différents points de vue.

[3] Certains chercheurs comme Mizoguchi *et al.*, sont opposés à l'idée d'héritage multiple en ingénierie ontologique.

– **Distance sémantique minimale** (Arpirez *et al.*, 1998). Il s'agit de la distance minimale entre les concepts enfants de mêmes parents. Les concepts similaires sont groupés et représentés comme des sous-classes d'une classe, et devraient être définis en utilisant les mêmes primitives, considérant que les concepts qui sont moins similaires sont représentés plus loin dans la hiérarchie.

– **Normaliser les noms** (Arpirez *et al.*, 1998). Ce principe indique qu'il est préférable de normaliser les noms aussi autant que possible.

Cet ensemble de critères et de processus est généralement accepté pour guider le processus d'ingénierie ontologique.

6.2. Méthodes d'ingénierie ontologique

Le processus de construction d'une ontologie est un processus complexe, impliquant plusieurs intervenants dans les différentes phases du processus. La gestion de cette complexité exige la mise en place de processus de gestion, afin de contrôler les coûts et le risque, et d'assurer la qualité tout au long du processus de construction.

À l'heure actuelle, il n'existe pas encore de consensus à propos des meilleures pratiques à adopter lors du processus de construction ou même des normes techniques régissant le processus de développement des ontologies, bien que certaines contributions dans cette direction soient déjà disponibles dans les écrits (Fernandez-Lopez M., Gomez-Perez A. et Juristo N., 1997; Gruninger M. & Fox M.S., 1994, 1995; Lenat D. B. & Guha R. V., 1990); (Mizoguchi R., 1998; Staab S., Studer R., Schnurr H. P. et Sure Y., 2001) ;(Uschold M. & King M., 1995).

Une recension des écrits (Mendes O., 2003) a permis de dénombrer un total de trente trois méthodologies de développement d'ontologies existantes à l'heure actuelle. Une méthodologie étant considérée comme ensemble de principes de construction systématiquement reliés, appliqués avec succès par un auteur dans la construction d'ontologies.

Les méthodologies recensées permettent la construction d'ontologies 1) à partir du début, 2) par intégration ou fusion avec d'autres ontologies, 3) par re-ingénierie, 4) par construction collaborative, ainsi que 5) par l'évaluation des ontologies construites. Afin de mieux comprendre comment ces différentes méthodologies s'intègrent et parfois se complètent à l'intérieur d'un cycle de vie de construction, d'évaluation et de maintenance des ontologies, nous proposons le cadre référentiel montré à la figure 3 qui permettra une analyse comparative des méthodologies recensées :

Les méthodologies recensées peuvent être analysées selon plusieurs critères ou dimensions (OntoWeb, 2001), l'un d'entre eux étant le type du processus de construction:

– Construction de nouvelles ontologies à partir de zéro;
– Ré-ingénierie d'ontologies;

– Fusion ou intégration d'ontologies;
– Construction collaborative d'ontologies.

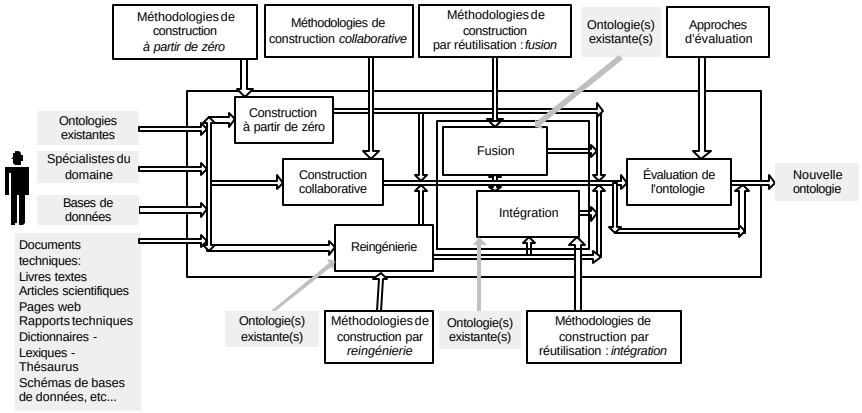


Figure 3. *Cadre d'analyse des méthodologies recensées*

Ces méthodologies d'ingénierie peuvent être associées à des approches pour l'évaluation des ontologies construites. Les méthodes d'ingénierie ontologique identifiées dans les écrits sont listées dans le tableau 1. Pour une analyse plus détaillée du le sujet, il faut se référer à (Mendes, à paraître en 2004):

Tableau 1. *Méthodologies d'ingénierie ontologique*

Méthodologies d'ingénierie ontologique
(KA)2 (Decker *et al.*, 1999)
Approche unifiée (Uschold et Gruninger, 1995)
CO4 (Euzenat, 1995) Cyc (Lenat et Guha, 1990)
Enterprise (Uschold et King, 1995)
FCA-merge (Stumme *et al.*, 2001)
IDEF 5 (KSBI)
Method for Reengineering (Gómez Peréz et Rojas, 1999)
Méthodologie (Nuy et McGuiness, 2001)
Méthodologie de re-ingénierie (Fernandez-Lopéz et Gómez Peréz, 1999)
Methontology (Fernandez-Lopéz et Gómez Peréz, 1997)
Modèle en V (Stevens, 2001)
On-To-Knowledge (Staab *et al.*, 2001)
Projet KACTUS (Bernaras *et al.* 1996)
PROMPT (Noy et Musen., 2000)
SENSUS (Swartout *et al.*, 1997)
TOVE - Toronto Virtual Enterprise (Gruninger et Fox, 1996)
Approche collaborative (Holsapple *et al.*, 2002)
Common KADS & KACTUS (Mars *et al.* 94) (Wielinga *et al.*, 1994)
Infosleuth (Hwang, 1999)
KRAFT (Jones, 1998)

Méthodologies d'ingénierie ontologique
Menelas (Bouad et al., 1994)
Mikrokosmos (Mahesh, 1996)
Onions - Ontologic Integation of Naive Sources (Gangemi *et al.*, 1996)
Ontobroker (Ashish, 1997)
Ontolingua (Farquhar *et al.*, 1995)
PhysSys (Borst *et al.*, 1996)
Plinius (Mars *et al.*, 1994)
SISM (Arens *et al.*, 1997)

Aux méthodologies sont généralement associés des outils de modélisation, qui sont présentés dans la sous-section suivante.

6.3. Environnements et outils de modélisation

Un ensemble d'environnements d'ingénierie ontologique ont été développés afin de systématiser l'ingénierie des ontologies. Selon Gómez-Pérez (Gomez-Perez A., 2000), les plus connus sont : Ontolingua (Farqhuar A., Fikes R. et Rice J., 1996), Ontosaurus (Swartout B. et al., 1997), ODE (Blazquez M., Fernandez M., Garcia-Pinar J. M. et Gomez-Perez A., 1998), Protégé Win (maintenant connu sous le nom de Protégé 2000) (Musen M. A., Tu S. W., Eriksson H., Gennari J. H. et Puerta A. R., 1993; Noy N. F., Fergerson R. W. et Musen M. A., 2000) et enfin, Tadzebao et WebOnto (Domingue J., 1998). Ces outils font l'objet d'une étude comparative des outils d'ingénierie ontologique proposée par l'équipe WonderTools [4] de l'Université d'Amsterdam (Duineveld A. J., Stoter R., Weiden M. R., Kenepa B. et Benjamins V. R., 1999). D'autres outils non compris dans l'étude, mais recensés dans (Psyché V., 2003) méritent d'être cités : HOZO (Mizoguchi R. et al., 2000), KAON (anciennement connu sous le nom de OntoEdit) (Maedche A., 2002) (Maedche A., Motik B., Stojanovic L., Studer R. et Volz R., 2003) et OILEd (Bechhofer, Horrocks, Goble et Stevens, 2001) :

– **KAON** (*Karlsuhe Ontology and Semantic Web*) est un environnement *open source* modulaire, basé dans Java, destiné à la conception, au développement et à la gestion d'ontologies. L'environnement intègre les modules suivants : API, Query, Serveurs (d'ontologie et d'application), Générateur de portails web (basés sur les ontologies), Éditeur d'ontologie (construction et maintenance).

– **HOZO** du MizLab de l'Université d'Osaka; Hozo est un environnement composé d'un éditeur et d'un serveur d'ontologies. L'éditeur est développé en applets Java afin de pouvoir fonctionner comme un client via l'Internet. Hozo gère les ontologies et ses instances pour chaque programmeur. Chacun peut lire et copier toutes les ontologies et les instances présentes dans Hozo, mais ne peut pas modifier celles développées par d'autres. La vérification de la consistance d'une instance se

[4] *WonderTools* est un acronyme pour *Web-based ONtology DEscriptions and Research of its TOOLS.*

fait en utilisant les axiomes définis dans l'ontologie. Hozo gère l'exportation des ontologies et modèles en format XML, RDF, DAML+OIL.

– **ODE** du laboratoire d'Intelligence Artificielle de l'Université de Madrid. Les principaux avantages de ODE (*Ontology Design Environment*) sont le module de conceptualisation pour construire des ontologies et le module pour construire des modèles conceptuels *ad hoc*.

– **Ontolingua** de l'Université Stanford; Le serveur Ontolingua est le plus connu des environnements de construction d'ontologies en langage Ontolingua. Il consiste en un ensemble d'outils et de services qui supportent la construction en coopération d'ontologies, entre des groupes séparés géographiquement.

– **OntoSaurus** de l'*Information Science Institute* de l'Université de *Southern California*. Ontosaurus consiste en un serveur utilisant LOOM comme langage de représentation des connaissances, et en un serveur de navigation créant dynamiquement des pages HTML qui affichent la hiérarchie de l'ontologie; le serveur utilise des formulaires HTML pour permettre à l'usager d'éditer l'ontologie. Des traducteurs du LOOM en Ontolingua, KIF, KRSS et C^{++}, ont été développés.

– **OILEd** de l'*Information Management Group* de l'Université de Manchester développé par Sean Bechhofer et Gary Ng se veut un éditeur freeware d'ontologies, destiné à supporter le développement d'ontologies de petit et moyenne tailles, basées sur le standard DAML+OIL. OILEd n'est pas un environnement de développement d'ontologies offrant des fonctionnalités supportant le cycle complet de conceptualisation et opérationnalisation.

– **Protégé-2000** du département d'Informatique Médicale de l'Université Stanford; Protégé-2000 successeur de ProtégéWin, est un outil, une plateforme et une librairie d'ontologies, qui permettent : 1) de construire une ontologie du domaine, 2) de personnaliser des formulaires d'acquisition de connaissances et 3) de transférer la connaissance du domaine.

– **WebOnto** du *Knowledge Media Institute* de l'*Open University*; WebOnto et Tadzebao sont des outils complémentaires. Tadzebao permet aux ingénieurs des connaissances de tenir des discussions sur les ontologies, en mode synchrone et asynchrone. WebOnto supporte la navigation collaborative, la création et l'édition d'ontologies sur le Web.

Pour conclure, nous rappelons que dans l'ensemble les outils de l'ingénierie ontologique ont mûri considérablement au cours des demières années, mais qu'ils doivent encore s'enrichir de certaines caractéristiques propres à l'ontologie et à la collaboration.

L'ingénierie ontologique possède un potentiel de systématisation et d'explicitation des connaissances. Comment ce potentiel peut-il se concrétiser pour les environnements de formation à distance ? Nous abordons ce sujet dans la section suivante.

7. Rôles de l'ontologie pour les environnements de formation à distance

Le rôle de l'informatique cognitive dans la conception des environnements de formation à distance n'est plus à démontrer (Paquette, 2002), et les équipes de recherche poursuivent leurs efforts dans le but d'augmenter ou d'enrichir l'intelligence dans ces environnements, ainsi que la qualité du processus de conception-développement. Quel serait l'apport spécifique de l'IO qu'aucune autre méthode d'ingénierie n'ait apporté à ce jour ?

De façon générale, l'apport spécifique de l'IO pour ces environnements serait la représentation formelle de connaissances déclaratives, couplée à un mécanisme d'inférence exploitable par ces environnements. La richesse de l'apport de l'IO est cependant plus complexe, et comprend les éléments suivants : *connaissances déclaratives, intégrité, consensus, orientation par l'usage, compatibilité dans les systèmes multiagents, sémantique riche, interopérabilité, requêtes en direct (run-time)*.

Une ontologie contient une base de *connaissances déclaratives*, rendues explicites par un exercice approfondi d'analyse conceptuelle. Les méthodes de représentation pratiquées dans le domaine des EIAH tendent à intégrer connaissances déclaratives, procédurales et conditionnelles de façon souvent inextricable.

Cette base de connaissances déclaratives conserve son *intégrité* quelle que soit l'exploitation qui en est faite, ce qui n'est pas le cas lorsque les types de connaissances sont regroupés, comme on le retrouve dans les EIAH.

La construction d'une ontologie se fait par la voie d'un *consensus*, et représente ainsi la compréhension partagée a priori d'un groupe ou d'une communauté, au lieu, comme c'est le cas dans la plupart des systèmes, de reposer sur une signification donnée par quelques individus ou par une autorité, à laquelle tous doivent s'ajuster.

La définition de l'ontologie est *orientée par l'usage*, tel que l'entendent un groupe ou une communauté, afin de servir directement leurs besoins, et se distingue ainsi d'un système qui, au mieux, peut être pensé en fonction des usagers, mais sans que cet usage guide directement et explicitement la conception du système.

Une ontologie permet une *compatibilité dans les systèmes multiagents*, en *fournissant un référentiel commun aux agents* qui peuvent ainsi l'exploiter de différentes façons sans altérer son intégrité.

Dans la perspective du Web sémantique, qui est en voie de devenir une assise pour les environnements de formation à distance, l'IO offre de façon spécifique une *sémantique riche*, mieux que toute autre méthode de représentation des connaissances connue.

L'IO est également le type d'ingénierie qui se positionne le mieux pour permettre *l'interopérabilité* réclamée par le Web sémantique, à des fins d'opération

des systèmes de formation à distance ainsi que de partage au sein de ces systèmes et entre eux.

L'ontologie offre une meilleure performance puisqu'elle supporte une interaction en direct lors des requêtes (*queries*) d'information par les usagers, à l'inverse d'autres structures de représentation de connaissances (comme les schémas décrivant les données stockées dans une base de données), qui sont utilisées elles, plutôt en mode différé.

Ces caractéristiques mettent en relief la spécificité et l'originalité de l'apport de l'IO pour augmenter l'intelligence dans les environnements de FAD, leur conception et leur opération.

Dans cette section, Nous soulignerons deux contextes particuliers à la formation à distance, où l'ingénierie ontologique peut s'avérer utile :

1) L'exploitation des environnements de conception par des concepteurs ;

2) L'utilisation des EIAH (environnement interactif d'apprentissage humain) par des apprenants.

7.1. Besoins pour les environnements de formation à distance

Parmi les besoins identifiés pour augmenter l'intelligence dans les environnements de formation à distance, il est possible d'identifier les quatre besoins suivants qui induisent le recours à l'ontologie.

1) Besoin d'une représentation formelle : une caractéristique de la formation à distance est d'exiger un design pédagogique complet, et complètement explicite (Bourdeau J. & Bates A., 1997); la méthode de design pédagogique MISA développée au Centre de recherche LICEF, avec ses 30 processus et ses 150 tâches, en est sans doute l'expression la plus accomplie (Paquette G., 2001a). Tant pour le téléapprentissage que pour la formation à distance, un environnement de conception-développement fondé sur les connaissances constitue le soutien à la conception et au développement d'environnements d'apprentissage ; la problématique des environnements de conception intelligents pour la conception d'environnements d'apprentissage intelligents (Nkambou R., Frasson C. et Gauthier G., 2002) correspond à celle des environnements de formation à distance (Moore M. & Kearsley G., 1996).

2) Besoin de partager la connaissance : La question du partage se pose de façon particulière en formation à distance, précisément en raison du design pédagogique exhaustif, et de la médiatisation pédagogique intensive. Les acteurs (apprenants, concepteurs, tuteurs, gestionnaires) qui interagissent tant avec les environnements de conception qu'avec les environnements d'apprentissage se trouvent face au besoin ou au défi de partager des *choses* du monde dans lequel ils évoluent ensemble : idées, vision, activités, objets, outils. Que le partage signifie la répartition, la mise en commun ou l'échange, il requiert dans tous les cas, une systématisation des

connaissances où ces choses sont spécifiées et structurées afin que le partage puisse se réaliser. L'ingénierie ontologique se présente comme une approche permettant le partage et la réutilisation (*share and reuse*).

3) Besoin d'une assistance pour la conception de cours : Concevoir un cours exige beaucoup de travail et pourtant, il est en général conçu à partir de zéro. Peu d'objets pédagogiques sont réutilisables et les cours existants sont difficilement comparables. Une étude sur les systèmes de formation (Hayashi Y., Jin L., Seta K., Ikeda M. et Mizoguchi R., 1999) a montré que les systèmes d'assistance à la conception de cours auraient tout à gagner à se doter des fonctionnalités suivantes :

a) Fournir aux concepteurs des primitives conviviales afin qu'ils puissent décrire leurs propres idées
b) Donner des conseils pertinents, basés sur les principes de l'ingénierie pédagogique
c) Montrer le comportement dynamique des systèmes de formation à un niveau conceptuel afin qu'ils puissent examiner leur validité.

Pour répondre aux besoins des concepteurs, une assistance intelligente basée sur l'ontologie serait la clé. Des efforts (Bourdeau J. & Mizoguchi R., 2002; Ikeda M., 1997; Jin L. et al., 1999; Murray T., 1996, 1999; Murray T. Blessing S. et Ainsworth S., 2003; Nkambou R., 1996; Nkambou R. Frasson C. et Gauthier G., 2003; Psyché V., Mizoguchi R. et Bourdeau B., 2003) ont été orientés vers la conception d'outils répondant aux exigences indiquées ci-dessus.

4) Besoin d'indexer des objets pédagogiques : Une indexation des objets pédagogiques riches sémantiquement est nécessaire pour faire face à la diversité des tâches du concepteur (Kabel S.C., Wielinga B.J. et Hoog R. (de), 1999).

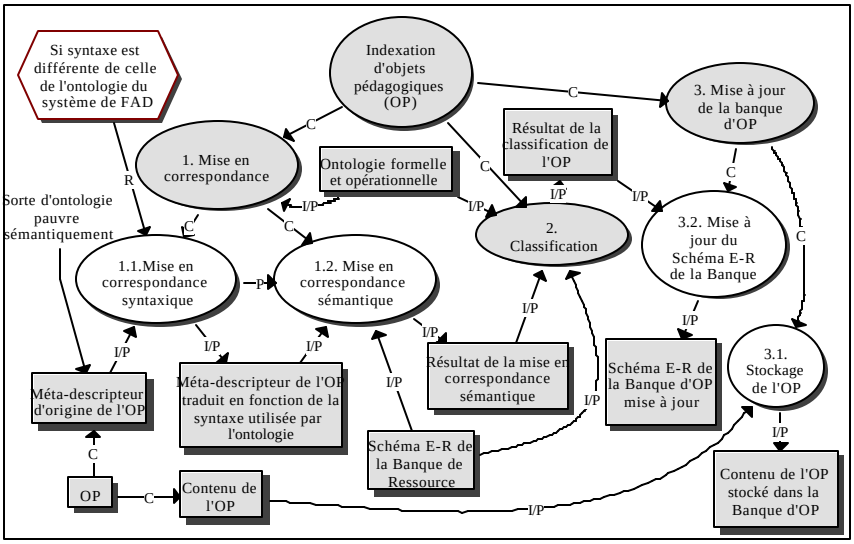


Figure 4. *Illustration du processus d'indexation d'objets pédagogiques*

le processus d'indexation intervient dans plusieurs tâches propres à la formation à distance, par exemple le repérage, le référencement, la composition dynamique d'objets pédagogiques à différents niveaux de granularité (cours, leçons, scénarios pédagogiques, webographie[5], …).

De même ce processus intervient lors la réalisation des tâches assignées à l'apprenant ou utiles à la consolidation de son apprentissage. La figure 4 illustre comment l'ontologie peut contribuer à une indexation sémantiquement riche.

Nous avons présenté brièvement quelques-uns des besoins d'augmenter l'intelligence dans les environnements de FAD (représentation explicite, partage d'objets pédagogiques, assistance aux concepteurs, repérage d'objets pédagogiques), auxquels l'ingénierie ontologique pourrait apporter une contribution. Dans cette optique, une analyse des usages vient compléter celle des besoins.

7.2. Anticipation des usages

L'ontologie est toujours construite en fonction de son usage anticipé sous forme de but, le contexte d'exploitation étant dans ce cas, la formation à distance. Il faut donc spécifier son usage anticipé avant d'entamer tout processus d'ingénierie.

Plusieurs chercheurs tels que (Gruninger M. & Lee J. , 2002), (Russ T., Valente A., MacGregor R. et Swartout W., 1999), (Uschold M. & Gruninger M., 1996a) et (Bourdeau J. & Mizoguchi R., 2002; Mizoguchi R. & Bourdeau J., 2000; Psyché V. et al., 2003), se sont intéressés aux buts d'exploitation de l'ontologie. Nous les avons répertoriés[6] de façon non exhaustive et regroupés sous trois pôles d'usage : 1) *Communication et interopérabilité* ; 2) *Inférence computationnelle* et 3) *Systèmes d'information* :

Le premier pôle, *communication et interopérabilité* contient lui-même les sous-classes suivantes :

A. **Entre les personnes** : une ontologie informelle mais cohérente (définie sans ambiguïté) serait suffisante (Uschold et Grüninger, 1996; Uschold et Jasper, 1999; Gómez-Pérez, 2002; Grüninger et Lee, 2002 ; Bourdeau et Mizoguchi, 2002 ; Mizoguchi et Bourdeau, 2000). La communication se fait en partageant entre les humains la connaissance qui a été accumulée dans les réseaux de formation à distance (Mizoguchi et Bourdeau, 2000).

B. **Entre les personnes et les systèmes** : une ontologie cohérente (définie sans ambiguïté) dotée d'un degré de formalité semi-formel ou rigoureusement formel (Uschold et Grüninger, 1996; Uschold et Jasper, 1999; Gómez-Pérez, 2002;

[5] La webographie est le résultat de l'agrégation d'un ensemble d'hyperliens. Par exemple l'environnement Explor@2 du centre de recherche LICEF de la TELUQ offre cette fonctionnalité aux apprenants. http://explora2.licef.teluq.uquebec.ca/demo/

[6] Dans la recension des usages du pôle « système d'information » nous avons sélectionné ceux qui nous semblaient pertinents au système de formation à distance.

Grüninger et Lee, 2002). La communication se fait en partageant cette connaissance avec les systèmes (Mizoguchi et Bourdeau, 2000).

C. **Entre les systèmes (interopérabilité)** : l'ontologie, assurerait la traduction entre les différentes méthodes de modélisation, paradigmes, langages et systèmes. Le degré de formalité requis serait rigoureusement formel (Uschold et Grüninger, 1996; Uschold et Jasper, 1999; Gómez-Pérez, 2002; Grüninger et Lee, 2002). La communication se fait en mettant en oeuvre cette connaissance pour soutenir la conception des systèmes de conception de formation (Mizoguchi et Bourdeau, 2000).

Le deuxième pôle, *inférence computationnelle* (Grüninger et Lee, 2002) : il s'agit de la représentation et de la manipulation interne de plans et d'information pour la planification, pour l'analyse de structures internes, algorithmes, intrants et extrants des systèmes informatiques de façon théorique et conceptuelle.

Le troisième pôle, *systèmes de formation à distance* (Uschold et Grüninger, 1996; Uschold et Jasper, 1999; Gómez-Pérez, 2002). Ce pôle peut se décomposer selon les sous-classes suivantes :

A. **Réutilisation et partage d'objets pédagogiques**. Dans la construction de nouveaux systèmes de conception en assemblant des objets pédagogiques déjà construits et disponibles, l'ontologie assurerait la base pour un encodage formel des entités, attributs, leurs interrelations dans le domaine d'intérêt. Cette représentation formelle serait réutilisable par d'autres systèmes, au moyen d'une traduction automatique (ou partageable). Dans le cas du partage d'objets pédagogiques : lorsque le but est l'utilisation d'objets par plusieurs systèmes différents l'ontologie permet la mise en correspondance des contenus sémantiques des objets.

B. **Repérage d'objets pédagogiques** : l'ontologie est utilisée comme méta descripteur afin de décrire le contenu sémantique associé aux objets ;

C. **Acquisition de connaissances** : l'utilisation d'ontologies contribue à augmenter la vitesse et la fiabilité du processus d'acquisition de connaissances lors de la construction d'un système de conception de cours. Organisation dobjets pédagogiques : structuration ou gestion de banque d'objets (ressources) sur un domaine;

D. **Fiabilité** : l'ontologie permet la réalisation de tests de consistance automatiques ou semi-automatiques sur les objets qu'elle décrit.

E. **Spécification d'une conceptualisation** : l'ontologie peut être utilisée pour définir les spécifications (domaine, tâche, application) pour un système de formation.

F. **Maintenance d'objets pédagogiques :** l'ontologie peut contribuer à rendre le processus de maintenance des objets qu'elle décrit, plus efficace.

Il existe une relation dialectique entre ces trois pôles d'usage, leur mise en relation étant vitale pour le domaine de la formation à distance. En effet, des usages tels que la communication, l'interopérabilité, le partage, la réutilisation et l'organisation *intelligente* des objets pédagogiques dus à l'exploitation des ontologies, ne apparaît non seulement désirable mais nécessaire pour l'avenir de la FAD. L'ontologie pourrait ainsi trouver une pertinence directement relative aux environnements de formation à distance, à leur conception et leur utilisation.

7.3. Exemples de positionnement de l'ontologie

Maintenant que les buts d'exploitation de l'ontologie ont été spécifiés, nous allons les illustrer dans le contexte de la formation à distance, suivant les deux axes qui ont été définis précédemment (section 7.1.), à savoir : 1) Ontologie pour l'exploitation des environnements de conception, 2) Ontologie pour l'exploitation des EIAH (environnement interactif d'apprentissage humain) par des apprenants.

7.3.1. Exemples extraits des écrits scientifiques

Nous proposons dans un premier temps, quelques exemples tirés de la littérature, où l'exploitation d'ontologies a permis d'obtenir de l'intelligence dans des systèmes de formation à distance.

– Dans le **projet de repérage et de visualisation du model de l'apprenant** de (Apted T., Kay J., Lum A. et Uther J., 2003), un outil de repérage et de visualisation, ***VIUM***, a été conçu pour permet à l'usager de sélectionner un concept central sur l'écran. Une ontologie est utilisée pour s'assurer que les concepts les plus proches sémantiquement sont visibles. Cette sélection de concepts rendus visibles est une partie essentielle de la visualisation qui assiste les apprenants dans l'exploration de domaines comprenant des centaines de concepts. La tâche particulière ici, est de montrer à un usager ce qu'une ontologie computationnelle nous permet d'inférer à partir d'informations comme l'évaluation de l'apprenant sur sa propre connaissance.

– Dans le **projet IMAT** de (Desmoulins C. & Grandbastien M., 2002), une ontologie est utilisée pour l'indexation des briques de documents à des fins de composition dynamique de documents dépendamment des contextes d'utilisation : 1) technique, 2) médiatique, 3) domaine, 4) ou pédagogique. L'ontologie pédagogique qu'ils utilisent permet d'attribuer des rôles aux briques ainsi que des attributs qualitatifs et des contraintes d'organisation des briques dans le document final.

– Dans le **projet de développement de l'environnement de conception de cours, *SmartTrainer*** de (Hayashi Y. et al., 1999), le rôle de l'ontologie est de gérer la communication entre les agents à l'intérieur de l'environnement. En effet, *SmartTrainer* possède une architecture multiagents. Les concepts, les relations et notamment les axiomes de l'ontologie, fournissent le vocabulaire nécessaire à la formulation des messages et requêtes. Par exemple, des messages appropriés sont produits si des contraintes d'ordre sémantiques ne sont pas respectées.

L'environnement possède également des fonctionnalités de contrôle et de maintenance des changements des instances de l'ontologie. Cette gestion est rendue possible grâce aux axiomes de l'ontologie.

– Dans le **projet de développement d'environnements pour favoriser l'apprentissage collaboratif** de (Inaba A., 2000, 2001), les travaux portent sur la construction d'une ontologie pour représenter les concepts communs des théories d'apprentissage collaboratif. Plusieurs théories démontrent les avantages de l'apprentissage collaboratif (i.e., l'apprentissage par l'observation, l'apprentissage autorégulateur, la cognition distribuée, la théorie de flexibilité cognitive, la théorie socioculturelle, etc.). En sélectionnant une théorie parmi celles-ci et en formant un groupe d'apprenants, on peut s'attendre à un apprentissage collaboratif efficace s'appuyant sur cette théorie. De plus, selon Inaba, les environnements d'apprentissage collaboratif doivent être conçus en fonction de ces théories, c'est-à-dire qu'ils doivent contenir une ontologie du domaine de l'apprentissage collaboratif. Un système contenant d'une telle ontologie fournit des fonctionnalités de médiation de l'apprentissage aux apprenants, leur permettant de cette façon de construire leur connaissance.

– Dans le **projet de développement de l' environnement de conception de cours , *EON*** de (Murray T., 1996, 1999), les ontologies de EON décrivent le contenu et les stratégies pédagogiques, les modèles de l'apprenant et la conception d'interfaces. Ce dernier point mérite d'être discuté : dans EON, Murray propose une approche de méta – système de conception. En effet, bien que EON soit un système de conception de cours, il peut aussi être vu comme étant un système de développement de système de conception de cours, pour effectuer des tâches spécifiques à conception d'un cours (à buts spéciaux). Le rôle de l'ontologie est de soutenir la tâche des concepteurs dans son ensemble, c'est-à-dire pour des tâches orientées, vers la pédagogie (ontologie de la matière enseignée), vers l'apprentissage (ontologie du modèle de l'apprenant) ou vers la conception d'interfaces de cours (ontologie de conception).

– Dans le **projet de développement de l'environnement de conception de curriculum *CREAM* et de tutorat *CREAM-Tool*** de (Nkambou R., 1996; Nkambou R., Frasson C. et Gauthier G., 1998; Nkambou R. et al., 2002; Nkambou R., Gauthier R. et Frasson C., 1996; Nkambou R. Frasson C. et Gauthier G., 2003), un environnement de type tuteur pour la génération automatique de curriculum – *CREAM* - et de cours - *CREAM-tools* - a été conçu. Quatre ontologies constituent la base du curriculum. Elles sont construites à partir d'alphabets (Klausmeier, etc.), de vocabulaires d'évaluation (Merrill, Winograd, etc.), de taxonomies (Gagné, Bloom, etc.) et d'un ensemble de concepts (capacités, objectifs, ressources, liens) reliés entre eux (relation d'analogie, de généralisation, d'agrégation, de déviation, de pré-requis, de prétexte, de constitution, de similarité, d'abstraction, de cas particulier, d'utilisation et d'auxiliariat). Les ontologies de CREAM-Tool (une ontologie de capacités, une ontologie d'objectifs, une ontologie de ressources et une ontologie de liens) servent à décrire un module de capacités d'apprentissage, un module

d'objectifs d'apprentissage, un module de ressources didactiques et des liens de couplage entre les trois modules précédents.

– Dans le **projet de développement du système conseiller** de (Paquette G. & Tchounikine P., 2002), une ontologie de tâche sert à identifier et à définir les composants de la tâche de conseil considérée et les notions qui vont être prises en compte dans le système. La tâche considérée étant : 1) soit celle de l'apprenant qui suit une formation via un environnement d'apprentissage diffusé sur le Web, 2) soit celle d'un concepteur qui construit une cours à l'aide d'un système conseiller accessible par le Web.

– Dans le **projet DIVA-BCTA** (Paquette G., 2001b; Paquette G. et al., 2002; Paquette G. et al., 2003), les objectifs sont : 1) de créer une base de connaissances sur le téléapprentissage par le développement d'une ontologie du domaine, et 2) de regrouper l'expertise sur le téléapprentissage dans des objets pédagogiques référencés en fonction de cette ontologie. Le rôle de cette ontologie du domaine y est de servir de système d'indexation et de classification aux objets pédagogiques. Par ailleurs, une ontologie de tâche permet de définir différents cas ou scénarios d'utilisation de ces objets, identifiés grâce à leur référencement en fonction de l'ontologie du domaine. Le rôle de cette ontologie de tâche y est de fournir des réponses aux requêtes des utilisateurs de la base.

– Dans le **projet de composition dynamique de documents pédagogiques** de (Ranwez S. & Crampes M., 2003), une ontologie est utilisée pour repérer des briques d'information pertinente. Le contenu des briques est validé grâce à l'ontologie du domaine. Ainsi, la vérification de la pertinence consiste à associer à chaque brique un ou plusieurs fragments significatifs de cette ontologie, traduisant la sémantique contenue dans la brique. Le repérage d'information est réalisé en fonction d'objectifs spécifiés par un apprenant. Parallèlement, l'ontologie est utilisée pour organiser les briques dont le contenu est pertinent par rapport aux attentes d'un apprenant et pour organiser ces briques d'information. Les auteurs du projet ont testé deux méthodes différentes : l'une en fonction de grammaires formelles, et l'autre par association de deux ontologies (du domaine et pédagogique). Celle ayant démontré le plus de souplesse est l'ingénierie ontologique. Il est a noté que cette ingénierie a été appliquée dans deux projets : ***KARINA*** **et** ***SIBYL***.

7.3.2. Synthèse des usages de l'ontologie

Le tableau synthèse présenté ci-dessous (tableau 2) résume le rôle de l'ontologie en fonction de ses buts et de ses contextes d'utilisation, dans les projets répertoriés et décrits plus haut.

Tableau 2. *Mise en relation des usages de l'ontologie et des projets*

		Pôles d'utilisation des ontologies							
	Projets	1	2	3					
				A	B	C	D	E	F
C1	Ontologie des capacités, objectifs et ressources pour un ITS, **CREAM-Tools**, Nkambou (Canada)	✓	✓		✓			✓	
C1	Ontologie du modèle de l'apprenant pour la visualisation, Apted et Kay (Australie)		✓		✓				
C1	Ontologie de l'apprentissage collaboratif pour la médiation, Inaba (Japon)	✓						✓	
C1	Ontologie pédagogique pour la composition dynamique d'OP, **SIBYL** et **KARINA**, Ranwez (France)		✓	✓	✓	✓		✓	✓
C1	Ontologies syntaxique et pédagogique pour indexation de briques d'OP, **IMAT**, Desmoulins (France)		✓	✓	✓				
C1	Ontologie pour un système multi-agents, **SmartTrainer**, Hayashi (Japon)	✓	✓				✓		✓
C1	Ontologie d'un système conseiller, Paquette et Tchounikine (Canada & France)	✓	✓					✓	
C1	Ontologie pour une base de connaissance et un banque d'OP interopérables, **DIVA – BCTA**, équipe DIVA (Canada)	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
C1	Ontologie à but spéciaux, **EON,** Murray (USA)	✓	✓					✓	
C2	Ontologie du modèle de l'apprenant pour la visualisation, Apted & Kay (Australie)		✓		✓				
C2	Ontologie de l'apprentissage collaboratif pour la médiation, Inaba (Japon) Ontologies syntaxique et pédagogique pour indexation de briques d'OP, **IMAT**, Desmoulins (France)	✓		✓ ✓	 ✓				
C2	Ontologie d'un système conseiller, Paquette et Tchounikine (Canada & France)	✓	✓						
C2	Ontologie pour une base de connaissances et un banque d'OP interopérables, **DIVA – BCTA**, équipe CIRTA (Canada)	✓		✓	✓	✓		✓	

Légende :

Contextes d'utilisation

[C1] : Exploitation des environnements de conception par des concepteurs ;
[C2] : Exploitation des EIAH par des apprenants.

Buts d'utilisation

[1]: **Communication** entre personnes/organisations/systèmes informatiques (interopérabilité)
[2]: **Inférence computationnelle**
[3]: **Ingénierie de systèmes de formation à distance**
[3A]: Partage et réutilisation ; **[3B]**: Repérage d'informations
[3C] : Acquisition et organisation de connaissances
[3D] : Fiabilité ; [**3E]**: Spécification ; **[3F]**: Maintenance

La pertinence de l'ingénierie ontologique s'applique pour la formation à distance : tant aux tâches d'assistance à la conception, qu'aux tâches d'assistance à l'apprentissage.

Dans le premier contexte, l'accès direct des concepteurs aux connaissances déclaratives viendrait : soutenir leurs processus de décision, et potentiellement enrichir ou améliorer les choix qu'ils font dans leur design d'environnements d'apprentissage intelligents.

Dans le deuxième contexte, l'accès pour les apprenants à ces mêmes connaissances déclaratives viendrait consolider leur processus d'apprentissage : soit directement par navigation et visualisation de l'ontologie, soit indirectement par le biais de tâches d'apprentissage assignées.

La diversité des quelques exemples précédemment cités de l'IO pour les environnements de FAD, indique la pertinence et justifie une forte convergence des efforts dans la direction de l'ingénierie ontologique.

8. Conclusion

L'ontologie et l'ingénierie ontologique possèdent un potentiel riche et multiple pour les domaines de la formation à distance. L'enracinement du concept d'ontologie dans la philosophie et dans l'histoire de la philosophie lui donne une sémantique forte et diversifiée. L'appropriation du concept d'ontologie par le monde de l'ingénierie des connaissances a donné lieu à l'émergence d'une multiplicité de méthodes et d'outils, qui devraient se stabiliser et se raffiner progressivement.

L'apport de l'IO pour les environnements de FAD est unique puisqu'elle fournit une représentation formelle de connaissances déclaratives, couplée à un mécanisme d'inférence exploitable par ces environnements. Il comprend les éléments suivants : *connaissances déclaratives, intégrité, consensus, orientation par l'usage, compatibilité dans les systèmes multiagents, sémantique riche, interopérabilité, requêtes en direct (run-time)*. La base de *connaissances déclaratives* conserve son *intégrité* quelle que soit l'exploitation qui en est faite ; la construction d'une ontologie par *consensus* assure la compréhension partagée a priori ; la définition *orientée par l'usage* garanti l'adéquation aux besoins ; l'ontologie offre une *compatibilité avec un système multiagents* ; l'IO permet une *sémantique riche*, telle que le requiert le Web sémantique ; elle permet également *l'interopérabilité* requisepour le partage ; elle assure une meilleure performance en permettant l'utilisation des connaissances qu'elle représente en mode direct (*run-time*).

En conclusion, l'exploitation de l'ontologie et de l'ingénierie ontologique aux fins des environnements de FAD devrait servir les visées d'intelligence tant dans les environnements d'apprentissage que dans la conception de ces environnements, c'est-à-dire pour les environnements de conception. Ainsi, c'est non seulement l'utilisation par des humains, mais aussi par des machines, qui permettrait le

déploiement de la puissance d'une ontologie (Mizoguchi R. & Bourdeau J., 2002). Pour l'humain, l'ontologie lui donne accès à des concepts et à des théories, en les reliant à des objets pédagogiques; pour la machine, l'ontologie lui fournit une base de connaissances déclaratives stable et consistante, à partir de laquelle raisonner et offrir des services intelligents. Enfin, c'est la qualité du processus de conception qui devrait s'en trouver améliorée, grâce à la systématisation des connaissances et à la vérification de consistance que permet l'ontologie.

Remerciements

La rédaction de cet article a été rendue possible partiellement grâce au soutien financier du Réseau canadien de centres d'excellence en téléapprentissage, et de Valorisation Recherche Québec et du centre de recherche LICEF – TÉLUQ.

9. Bibliographie

Apted T., Kay J., Lum A. et Uther J. (2003). Visualisation of Learning Ontologies. In Hoppe H.U. & Verdejo M.F. & Kay J. (Eds.), *Proc. AIED2003* (pp. 359-361).

Arpirez J., Gomez-Perez A., Lozano A. et Pinto S. (1998). *(ONTO)2Agent: An ontology-based WWW broker to select ontologies.* Paper presented at the Workshop on Applications of Ontologies and PSMs, Brighton, England.

Auroux. Weil. (1984). *Nouveau vocabulaire des études philosophiques* (Hachette ed.). Paris: Hachette.

Bachimont B. (2000). Engagement sémantique et engagement ontologique : conception et réalisation d'ontologies en ingénierie des connaissances. In Z. M. Charlet J., Kassel G., Bourgault D., (Ed.), *Ingénierie des connaissances. Évolution Récentes et nouveaux défis* (pp. 305-323). Paris: Eyrolles.

Bechhofer, S., Horrocks, I., Goble, C. et Stevens, R. (2001). *OilEd: a Reason-able Ontology Editor for the Semantic Web.* Paper presented at the Proceedings of KI2001, Joint German/Austrian conference on Artificial Intelligence,, Vienna. Springer-Verlag.

Bernaras A., Laresgoiti I. et Corera J. (1996). *Building and Reusing Ontologies for Electrical Network Applications.* Paper presented at the Proc. of the 12th ECAI96.

Blazquez M., Fernandez M., Garcia-Pinar J. M. et Gomez-Perez A. (1998). *Building Ontologies at the Knowledge Level using the Ontology Design Environment.* Paper presented at the Proc. of the 11th KAW, Banff, Canada.

Borgo S., Guarino N. et Masolo C. (1996). *Stratified Ontologies: the case of physical objects.* Paper presented at the ECAI96. Workshop on Ontological Engineering, Budapest.

Borst W. N. (1997). *Construction of Engineering Ontologies.* Center for Telematica and Information Technology, University of Tweenty, Enschede, NL.

Bourdeau J. et Bates A. (1997). Instructional Design for Distance Learning. In Dijsktra S. & Seel N. & Schott F. & Tennyson R. (Eds.), *Instructional Design: International Perspectives: Solving Instructional Design Problems* (pp. pp.369-397). Mahwah, NJ: Lawrence Earlbaum Ass.

Bourdeau J. et Mizoguchi R. (2002). Collaborative Ontological Engineering of Instructional Design Knowledge for an ITS Authoring Environment. In Cerri S. & Gouardères G. & Paraguaçu F. (Eds.), *Intelligent Tutoring Systems* (pp. 399-409): Springer, Heidelberg.

Couturat L. (1903). *Opuscules et fragments inédits de Leibniz*. Paris.

Desmoulins C. et Grandbastien M. (2002). Ontologies pour la conception de manuels de formation à partir de documents techniques. *STE, 9*(3-4), 291-340.

Domingue J. (1998). *Tadzebao and WebOnto: Discussing, Browsing, and Editing Ontologies on the Web.* Paper presented at the 11th Workshop on Knowledge Acquisition, Modeling and Management, KAW'98, Banff, Canada.

Duineveld A. J., Stoter R., Weiden M. R., Kenepa B. et Benjamins V. R. (1999). WonderTools? A comparative study of ontological engineering tools.

Encyclopaedia Universalis. (2000). *Dictionnaire de la philosophie*. Paris: A. Michel, Encyclopaedia Universalisc2000.

Farqhuar A., Fikes R. et Rice J. (1996). *The Ontolingua Server: Tool for Collaborative Ontology Construction.* Paper presented at the Proc. of the 10th Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems Workshop, Alberta, Canada.

Fernandez-Lopez M., Gomez-Perez A. et Juristo N. (1997). *Methontology: From Ontological Art Toward Ontological Engineering.* Paper presented at the Spring Symposium Series on Ontological Engineering. AAAI97, Stanford, USA.

Fürst F. (2002). *L'ingénierie Ontologique* (02-07). Nantes: Institut de Recherche en Informatique de Nantes.

Gomez-Perez A. (1999). Ontological Engineering: A state of the art. *Expert Update, 2*(3), 33-43.

Gomez-Perez A. (2000). *Ontological Ingineering: A state of the art*. Madrid: Facultad de Informatica, Universidad Politecnica de Madrid.

Gomez-Pérez A. (1999a). *Tutorial on Ontological Engineering.* Paper presented at the Proc. IJCAI99.

Graf Bihan. (1996). *Lexique de philosophie* (Éditions du Seuil ed.). Paris: Éditions du Seuil.

Gruber T. (1993). A Translation Approach to Portable Ontology Specifications. *Knowledge Acquisition, 5*(2), 199-220.

Gruninger M. et Fox M.S. (1994). *The Role of Competency Questions in Enterprise Engineering.* Paper presented at the IFIP WG 5.7 Workshop on Benchmarking. Theory and Practice, Trondheim, Norway.

Gruninger M. et Fox M.S. (1995). *Methodology for the Design and Evaluation of Ontologies.* Paper presented at the Proceedings of the Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing, IJCAI-95 Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing, Montreal.

Gruninger M. et Lee J. . (2002). Ontology Applications and Design. *Communication of the ACM, 45*(2), 39-41.

Guarino N. (1997a). Some organizing principles for a unified top-level ontology. *AAAI Spring Symposium on Ontological Engineering*, 57-63.

Guarino N. (1997b). Understanding, building and using ontologies. *International J. Human-Computer Studies, 46*, 293-310.

Guarino N. et Giaretta P. (1995). Ontologies and Knowledge Bases: Towards a Terminological Clarification. In Mars N. J. I. (Ed.), *Towards Very Large Knowledge Bases: Knowledge Building and Knowledge Sharing* (pp. 25-32). Amsterdam: IOS Press.

Hayashi Y., Jin L., Seta K., Ikeda M. et Mizoguchi R. (1999). *A Multiple View Authoring Tool for Modeling Training Materials* (AI Technical Report 99-05). Osaka: Osaka University.

Hegel G. W. F. (1812). *Science de la Logique. Premier tome, premier livre : L'Être* (P.-J. L. e. G. Jarczyk, Trans. 1812 ed.). Paris: Aubier Montaigne.

Ikeda M., S. K., Kakusho O., Mizoguchi R. (1997). Task Ontology: Ontology for building conceptual problem solving models.

Inaba A. (2000). *How Can We Form Effective Collaborative LearnningGroups:Theoretical justification of "Opportunistic Group Formation" with ontological engineering.* Paper presented at the ITS, Montreal, Canada.

Inaba A. (2001). *An Instructional Design Support Environment for CSCL: Fundamental Concepts and Design Patterns.* Paper presented at the AIED, San Antonio, USA.

Inaba A., Supnithi T., Ikeda M., Mizoguchi R. et Toyoda J. (2000). An Overview of " Learning Goal Ontology. *Proc. of ECAI2000 Workshop on Analysis and Modelling of CollaborativeLearning Interactions*, 23-30.

Jin L., Ch en W., Hayashi Y., Ikeda M., Mizoguchi R., Takaoka Y. et Ohta M. (1999). *An Ontology-Aware Authoring Tool - Functionalstructure and guidance generation.* Paper presented at the AIED1999, Le Mans, France.

Kabel S.C., Wielinga B.J. et Hoog R. (de). (1999). *Ontologies for indexing Technical Manuals for Instruction.* Paper presented at the AIED, Le Mans, France.

Kant E. (1781). *Critique de la raison pure* (A. Renaut, Trans. 2e édition ed.). Paris: coll. Garnier-Flammarion.

Lenat D. B. et Guha R. V. (1990). *Building large knowledge-based systems*: Addison-Wesley Publishing Company, Inc.

Maedche A. (2002). *Ontology Learning for the Semantic Web.* Boston: Kluwer Academic Publishers.

Maedche A., Motik B., Stojanovic L., Studer R. et Volz R. (2003). Ontologies for Enterprise Knowledge Management. *IEEE Intelligent Systems, Volume 18*(2), 26-33.

Mendes O. (2003). *État de l'art sur les méthodologies d'ingénierie ontologique.* Montréal, Québec, Canada: Centre de recherche LICEF. En préparation, 86 pages.

Mizoguchi R. (1998, June, 1998). *A Step Towards Ontological Engineering.* Paper presented at the 12th National Conference on AI of JSAI.

Mizoguchi R. et Bourdeau J. (2000). Using Ontological Engineering to Overcome Common AI-ED Problems. *International Journal of Artificial Intelligence and Education, vol.11* (Special Issue on AIED 2010), 107-121.

Mizoguchi R. et Bourdeau J. (2002). *Theory-Aware Authoring Environment : Ontological Engineering Approach.* Paper presented at the Proc. of the ICCE Workshop on Concepts and Ontologies in Web-based Educational Systems, Technische Universiteit Eindhoven.

Mizoguchi R. et Ikeda M. (1996). *Towards Ontological Engineering* (AI-TR-96-1,). Osaka: ISIR, Osaka University.

Mizoguchi R., Kozaki K., Sano T.et Kitamura Y. (2000). Construction and Deployment of a Plant Ontology. *The 12th International Conference, EKAW2000,* (Lecture Notes in Artificial Intelligence 1937), pp.113-128.

Moore M. et Kearsley G. (1996). Distance Education : A Systems Vie. *Wadsworth Publ. NY.*

Murray T. (1996). *Special Purpose Ontologies and the Representation of Pedagogical Knowledge.* Paper presented at the ICLS 96.

Murray T. (1999). Authoring Intelligent Tutoring Systems: An analysis of the state of the art. *International J. of Artificial Intelligence in Education, 10*, 98-129.

Murray T. Blessing S. et Ainsworth S. (Ed.). (2003). *Authoring Tools for Advanced Technology Learning Environments: Toward cost-effective adaptive, interactive, and intelligent educational software*. Dordrecht, Hardbound: Kluwer Academic Publishers.

Musen M. A., Tu S. W., Eriksson H., Gennari J. H. et Puerta A. R. (1993). *PROTEGE-II: An Environment for Reusable Problem-Solving Methods and Domain Ontologies.* Paper presented at the International Joint Conference on Artificial Intelligence, Chambery, Savoie, France.

Neeches R., F. R. E., Finin T., Gruber T. R., Senator T., and Swartout W. R. (1991, 1991). Enabling technology for knowledge sharing. *AI Magazine, 12*, 35-56.

Nilsson M., Palmer M. et Naeve A. (2002). Semantic Web Metadata for e-Learning : Some Architectural Guidelines.

Nkambou R. (1996). *Modélisation des connaissances de la matière dans un système tutoriel intelligent : modèles, outils et applications.* Unpublished Doctorat,, UdM, Montréal, Canada.

Nkambou R., Frasson C. et Gauthier G. (1998). A new approache to ITS-curriculum and course authoring : the autoring environement. *Computers & Education, 31*, 105 - 130.

Nkambou R., Frasson C. et Gauthier G. (2002). Cream-Tools: an authoring environment for knowledge engineering in intelligent tutoring systems. In B. S. a. A. S. Murray T. (Ed.), *Authoring Tools for Advanced Technology Learning Environments : Toward cost-effective adaptative, interactive, and intelligent educational software*: Kluwer Academic Publishers.

Nkambou R., Gauthier R. et Frasson C. (1996). *CREAM-tools: An authoring environment for curriculum and course building in an ITS.* Paper presented at the Proc. of the 3d Int'l Conf. on CAL & Inst'l Sc. & Eng, NY: Springer-Verlag.

Nkambou R. Frasson C. et Gauthier G. (2003). CREAM-Tools : An Authoring Environment for Knowledge Engineering in Intelligent Tutoring Systems. In Murray T. Blessing S. et Ainsworth S. (Ed.), *Authoring Tools for Advanced Technology Learning Environments: Toward cost-effective adaptive, interactive, and intelligent educational software*: Kluwer Academic Publishers.

Noy N. F., Fergerson R. W. et Musen M. A. (2000). *The knowledge model of Protege-2000: Combining interoperability and flexibility.* Paper presented at the 2th International Conference on Knowledge Engineering and Knowledge Management (EKAW'2000), Juan-les-Pins, France.

Paquette, G. (2002). *L'ingénierie pédagogique : pour construire l'apprentissage en réseau*. Québec: Presses de l'Université du Québec.

Paquette G. (2001a). Telelearning Systems Engineering - Towards a New ISD Model. *Jl of Structural Learning and Intelligent Systems, vol. 14*(No. 4), pp. 319-154.

Paquette G. (2001b). Telelearning Systems Engineering -Towards a New ISD Model. *Jl of Structural Learning and Intelligent Systems, 14*(4), 319-154.

Paquette G., Basque J., Bourdeau J., Dufresne A., Henri F., Léonard M. et Lundgren-Cayrol K. (2002). *Construction d'une base de connaissances et de ressources sur le téléapprentissage.* Paper presented at the Acfas.

Paquette G., Bourdeau J., Henri F., Basque J., Léonard M. et Maina M. (2003). Construction d'une base de connaissances et d'une banque de ressources pour le domaine du téléapprentissage. *STICEF*.

Paquette G. et Tchounikine P. (2002). Contribution à l'ingénierie des systèmes conseillers : une approche méthodologique fondée sur l'analyse du modèle de la tâche. *STE, 9/2002* (3-4), 409-435.

Psyché V. (2003). *État de l'art sur l'ontologie - application au téléapprentissage*. Rapport technique, Montréal: Télé-université, Centre de recherche LICEF.

Psyché V., Mizoguchi R. et Bourdeau B. (2003). Ontology Development at the Conceptual Level for Theory-Aware ITS Authoring Systems. *Proc. of AIED03*.

Ranwez S. et Crampes M. (2003). Instanciation d'ontologies pondérées et calcul de rôles pédagogiques - Principe et mise en oeuvre. *STE-9/2002*, 341-370.

Russ T., Valente A., MacGregor R. et Swartout W. (1999). *Experiences in Trading Off Ontology Usability and Reusability.* Paper presented at the Twelfth Banff Knowledge Acquisition for Knowledge-based Systems Workshop, Alberta, Canada.

Sowa J. (1995a). Distinction, combination, and constraints. *Proc. IJCAI95 Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing.*

Sowa J. (1995b). Top-level ontological categories. *International Journal of Human and Computer Studies, 43*, 669-685.

Staab S., Studer R., Schnurr H. P. et Sure Y. (2001). Knowledge Processes and Ontologies. *IEEE Intelligent Systems, January-February*, 26-34.

Studer R., Benjamins R. et Fensel D. (1998). Knowledge Engineering: Principles and Methods. *Data Knowledge Engineering*.

Swartout B., Patil R., Knight K. et Russ T. (1997). Towards Distributed Use of Large-Scale Ontologies. *Spring Symposium Series on Ontological Engineering*, pp.138-148.

Uschold M. et Gruninger M. (1996a). Ontologies: Principles, Methods and Applications. *Knowledge Engineering Review, 11* (2).

Uschold M. et Gruninger M. (1996b). Ontologies: Principles, Methos and Applications. *J. of Knowledge Engineering Review, 11* (2).

Uschold M. et King M. (1995). *Towards a Methodology for Building Ontologies.* Paper presented at the Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing.

Van Heijst G., Schreiber A. et Wielinga B. J. (1997). Using Explicit Ontologies in KBS Development. *International Journal of Human and Computer Studies /Knowledge Acquisition, 46*(2/3), 183-292.

Vanwelkenhuysen J. et Mizoguchi R. (1994). *Maintaining the workplace context in a knowledge level analysis,*. Paper presented at the Proc. of JKAW'94, Hatoyama, Japan.

Vanwelkenhuysen J. et Mizoguchi R. (1995). *Workplace-Adapted Behaviors: Lessons Learned for Knowledge Reuse.* Paper presented at the KB&KS '95.

Wielinga B. et Schreiber A. (1993). *Reusable and sharable knowledge bases: A European perspective.* Paper presented at the KB & KS'93, Tokyo.

Wiley D. (2000). The Instructional Use of Learning Objects. *AECT*.

Wolff C. (1729). *Philosophia Prima sive Ontologia*.Unpublished manuscript.

Valéry Psyché

Valéry Psyché est doctorante en Informatique Cognitive à l'UQAM et agente de recherche au centre LICEF de la Télé-université. Elle s'intéresse à l'application de l'ingénierie ontologique aux systèmes tuteurs intelligents, tout particulièrement pour faciliter la tâche de l'auteur lors de la conception de ses cours. Parallèlement, elle participe à plusieurs projets du LICEF notamment : au projet visant à la création d' une ontologie pour la base de connaissances sur le téléapprentissage dans le cadre du projet DIVA ; et au projet visant à la création d'un éditeur d'ontologie, dans le cadre du réseau de recherche LORNET.

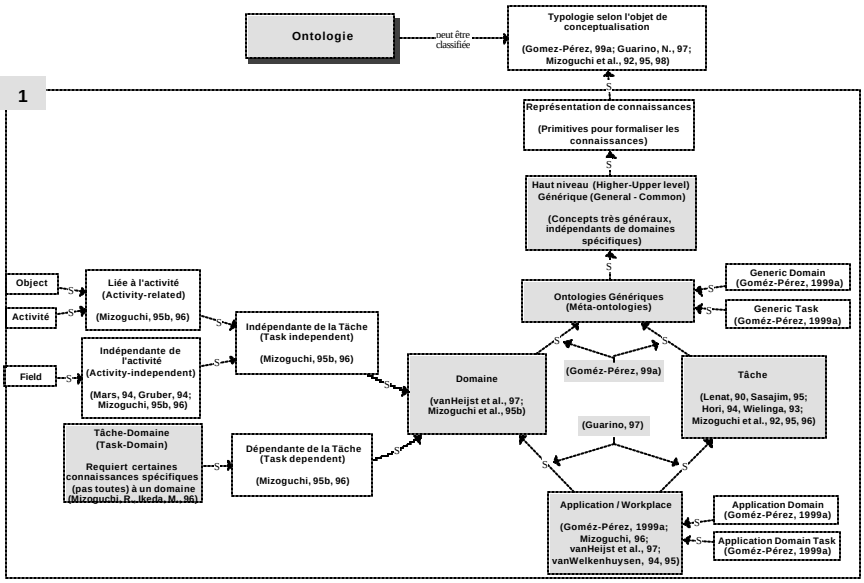
Olavo Mendes

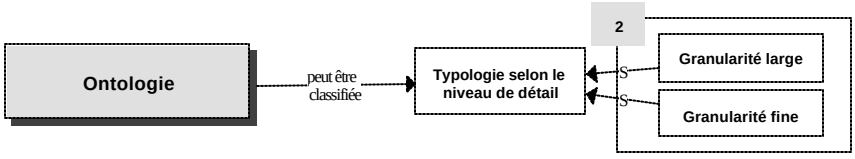
Olavo Mendes est doctorant en informatique cognitive à UQAM (Université du Québec à Montréal). Il est professeur au Département de Communication de la UFPB (Brésil), détient une maîtrise en Informatique de Gestion (UQAM) et s'intéresse aux aspects philosophiques et psychologiques (cognitifs et sociaux/communicationnels, sous-jacents à la conception et au développement des ontologies.

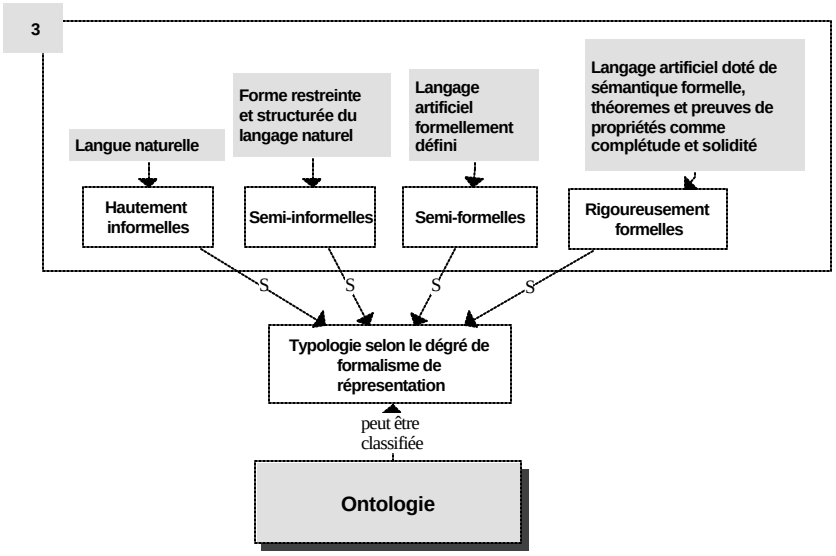
Jacqueline Bourdeau

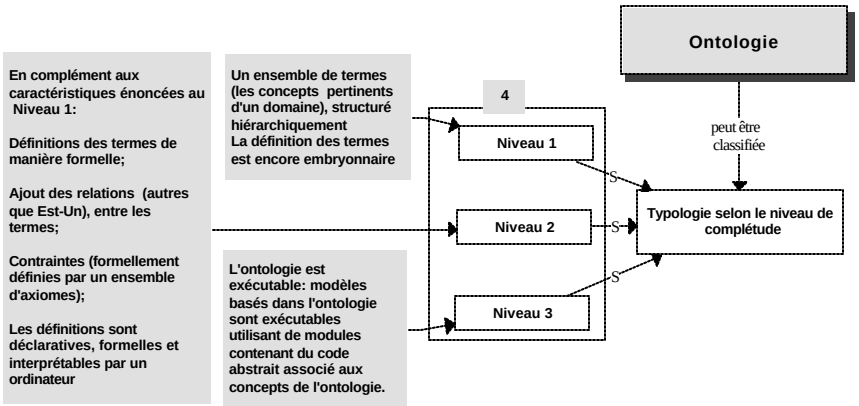
Jacqueline Bourdeau, PhD en Technologie éducationnelle, professeure à Télé-université et à l'Université du Québec à Chicoutimi, s'intéresse aux applications de l'intelligence artificielle en éducation, parmi lesquelles l'ingénierie ontologique. Elle a exploré la représentation des connaissances théoriques dans un système-auteur intelligent, et cherche à relier cette représentation avec des fonctionnalités d'un environnement interactif de formation. Elle est actuellement directrice du Centre de recherche LICEF de la Télé-université.

Annexe


1
Ontologie
peut être classifiée
Typologie selon l'objet de conceptualisation
(Gomez-Pérez, 99a; Guarino, N., 97; Mizoguchi et al., 92, 95, 98)
Représentation de connaissances
(Primitives pour formaliser les connaissances)
Haut niveau (Higher-Upper level)
Générique (General - Common)
(Concepts très généraux, indépendants de domaines spécifiques)
Ontologies Génériques (Méta-ontologies)
Generic Domain (Goméz-Pérez, 1999a)
Generic Task (Goméz-Pérez, 1999a)
(Goméz-Pérez, 99a)
Object
Activité
Field
Liée à l'activité (Activity-related)
(Mizoguchi, 95b, 96)
Indépendante de l'activité (Activity-independent)
(Mars, 94, Gruber, 94; Mizoguchi, 95b, 96)
Indépendante de la Tâche (Task independent)
(Mizoguchi, 95b, 96)
Tâche-Domaine (Task-Domain)
Requiert certaines connaissances spécifiques (pas toutes) à un domaine (Mizoguchi, R., Ikeda, M., 96)
Dépendante de la Tâche (Task dependent)
(Mizoguchi, 95b, 96)
Domaine
(vanHeijst et al., 97; Mizoguchi et al., 95b)
Tâche
(Lenat, 90, Sasajim, 95; Hori, 94, Wielinga, 93; Mizoguchi et al., 92, 95, 96)
(Guarino, 97)
Application / Workplace
(Goméz-Pérez, 1999a; Mizoguchi, 96; vanHeijst et al., 97; vanWelkenhuysen, 94, 95)
Application Domain (Goméz-Pérez, 1999a)
Application Domain Task (Goméz-Pérez, 1999a)


2
Ontologie
peut être classifiée
Typologie selon le niveau de détail
Granularité large
Granularité fine


3
Langue naturelle
Forme restreinte et structurée du langage naturel
Langage artificiel formellement défini
Langage artificiel doté de sémantique formelle, théoremes et preuves de propriétés comme complétude et solidité
Hautement informelles
Semi-informelles
Semi-formelles
Rigoureusement formelles
S
S
S
S
Typologie selon le dégré de formalisme de répresentation
peut être classifiée
Ontologie


Ontologie
En complément aux caractéristiques énoncées au Niveau 1:
Définitions des termes de manière formelle;
Ajout des relations (autres que Est-Un), entre les termes;
Contraintes (formellement définies par un ensemble d'axiomes);
Les définitions sont déclaratives, formelles et interprétables par un ordinateur
Un ensemble de termes (les concepts pertinents d'un domaine), structuré hiérarchiquement
La définition des termes est encore embryonnaire
L'ontologie est exécutable: modèles basés dans l'ontologie sont exécutables utilisant de modules contenant du code abstrait associé aux concepts de l'ontologie.
4
Niveau 1
Niveau 2
Niveau 3
S
S
S
peut être classifiée
Typologie selon le niveau de complétude