



Note de recherche

État de l'art sur l'ontologie et application de l'ingénierie ontologique au
domaine du téléapprentissage

Projet DIVA-BCTA

Visant à la construction d'une base de connaissances sur le téléapprentissage

Valéry Psyché
Doctorante en informatique cognitive
Assistante de recherche

Juin 2003

LICEF03NR1

Toute reproduction, par quelque procédé que ce soit, est interdite sans l'autorisation du titulaire des droits. Une telle autorisation peut être obtenue en communication avec le LICEF, 4750, av. Henri-Julien, Montréal, H2T 3E4.

Télécopieur : (514) 843-2151

© 2003, Valéry Psyché

ISBN 2-7624-4513-2

Dépôt légal, 1^{er} trimestre, 2004

Bibliothèque nationale du Canada

Bibliothèque nationale du Québec

RÉSUMÉ / ABSTRACT

Résumé : Ce rapport présente un état de l'art sur l'ontologie. 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. Une partie pratique vient compléter le rapport. Nous y présentons nos premiers résultats concernant l'applicabilité de l'ingénierie ontologique au domaine du téléapprentissage, dans le cadre du projet DIVA.

Abstract: *This report presents a state of the art about the ontology. 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. A last part is dedicated to the applicability of ontology engineering to the e-learning domain, in the context of the DIVA project.*

MOTS CLÉS / KEYWORDS

Mots-clés : Ontologie, ingénierie ontologique éditeurs ontologiques, application au téléapprentissage, sciences cognitives, intelligence artificielle, représentation et modélisation des connaissances

Keywords : *Ontology, ontology engineering, ontology editor, application to elearning, cognitive sciences, artificial intelligence, knowledge representation and modeling*

BIOGRAPHIE

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.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ / ABSTRACT	i
MOTS CLÉS / KEYWORDS	i
BIOGRAPHIE	i
LISTE DES FIGURES	v
LISTE DES TABLEAUX	v
LISTE DES ACRONYMES	v
MISE EN CONTEXTE	1
1. Description et orientation du projet DIVA	2
1.1. Description du projet DIVA – TA	2
1.2. Description du projet DIVA-BCTA	3
2. Problématique et objectifs de recherche	4
3. Présentation du rapport	4
5. Crédits et remerciements	5
PARTIE I	7
HISTORIQUE DE L'ONTOLOGIE EN SCIENCES COGNITIVES	7
I.1. Introduction	8
I.2. Origine de l'ontologie	8
I.3. Fondement philosophique	9
I.3.1. Métaphysique générale versus particulière	9
I.4. De la philosophie analytique à l'Intelligence Artificielle	11
I.5. L'ontologie en Intelligence Artificielle	11
I.5.1. Vision et définitions de l'ontologie	12
I.5.2. Définitions fondées sur l'ingénierie ontologique	13

I.6. Conclusion	14
PARTIE II	16
NOTIONS D'ONTOLOGIE	16
II.1. Introduction	17
II.2. Notions de base.....	17
II.2.1. Composantes de l'ontologie	17
II.2.2. Typologie des ontologies	18
II.2.3. Ontologie Supérieure.....	19
II.3. L'ontologie : un mécanisme de représentation des connaissances	20
II.3.1. Objectifs de la représentation des connaissances.....	20
II.3.2. Engagements ontologiques	21
II.3.3. Niveaux de représentation des connaissances.....	21
II.3.4. Formalismes de représentation des connaissances	23
II.4. Conclusion	24
II.4.1. Quelques rôles de l'ontologie.....	24
II.4.2. Réflexion sur les enjeux et perspectives de l'ontologie	24
PARTIE III	26
FONDEMENTS DE L'INGÉNIERIE ONTOLOGIQUE	26
III.1. Introduction	27
III.2. Principes de l'ingénierie ontologique	27
III.3. Méthodes d'ingénierie ontologique.....	28
III.3.1. Aperçu du standard IEEE 1074-1995	29
III.3.2. Méthodes les plus connues	29
III.3.3. Critères pour la classification des méthodes	32
III.3.4. Classification des méthodes précédentes	33

III.4. Environnements et outils d'ingénierie ontologique	36
III.4.1. Définition de critères d'évaluation	37
III.5. Conclusion	42
III.5.1. Rôles de l'ingénierie ontologique	42
III.5.2. Réflexion, enjeux et perspectives	42
PARTIE IV	44
APPLICATION : ONTOLOGIE DU TELEAPPRENTISSAGE	44
IV.1. Résultats préliminaires	45
IV.1.1. Ingénierie ontologique au niveau 1	45
IV.1.2. Un processus itératif d'ingénierie	46
IV.1.3. Descriptif des éléments de la méthodologie	46
IV.2. Poursuite du travail	48
IV.3. Questions de recherche	48
RÉFÉRENCES	50
ANNEXES	56
Annexe A - Récapitulatif des méthodes d'ingénierie et d'évaluation des ontologies	57
Annexe B – processus de définition des besoins (Cahier des charges)	59

LISTE DES FIGURES

Figure 1. <i>Description du projet DIVA - TA</i>	2
Figure 2. <i>Une typologie des ontologies</i>	18
Figure 3. <i>Un processus d'ingénierie ontologique</i>	30
Figure 4. <i>Une partie de la hiérarchie de concepts du téléapprentissage</i>	47
Figure 5. <i>Une partie de l'ontologie centrale du téléapprentissage</i>	47
Figure 6. <i>Un exemple de relation entre concepts primitifs du télé-apprentissage</i>	48

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. <i>Classification des méthodes les plus connues</i>	35
Tableau 2. <i>L'évaluation des environnements d'ingénierie ontologique</i>	39
Tableau 3. <i>L'évaluation des environnements d'ingénierie ontologique</i>	40
Tableau 4. <i>Méthodologies et approches de construction et d'évaluation d'ontologies</i>	57

LISTE DES ACRONYMES

BCTA : Base de Connaissances sur le Télé-Apprentissage

CIRTA : Centre Interuniversitaire de Recherche sur le Télé-Apprentissage

DIVA : Développement Intégration et éValuation des technologies de formation et d'Apprentissage

IA : Intelligence Artificielle

IO : Ingénierie Ontologique

ISIR : Institut de la Recherche Scientifique et Industrielle

LICEF : Laboratoire en Informatique Cognitive et Environnements de Formation

LORNET : Learning Objects Repositories Network

SBC : **S**ystèmes à **B**ase de **C**onnaissances

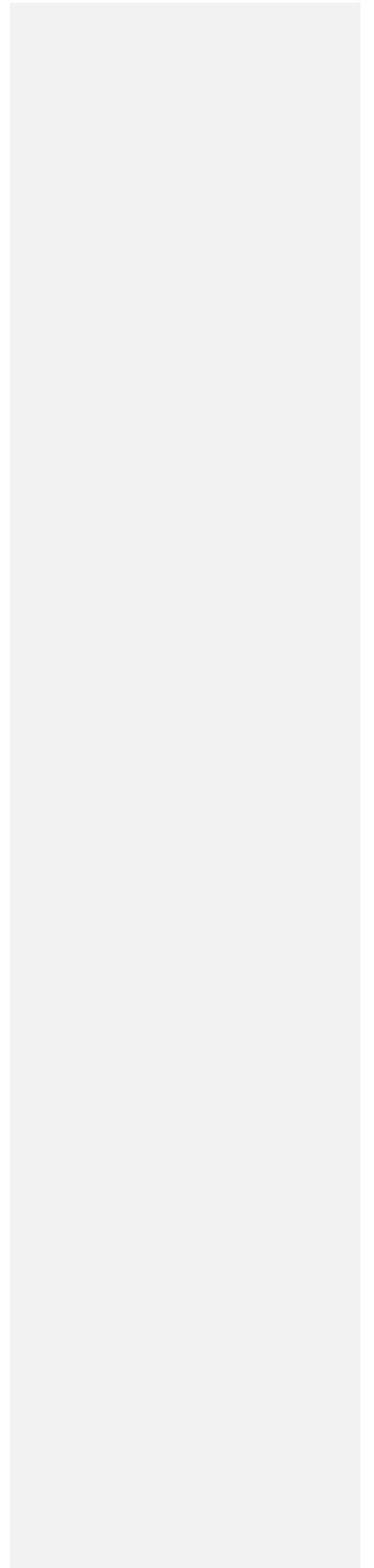
TA : **T**élé-**A**pprentissage

TELUQ : **T**élé-**U**niversité

UQAM : **U**niversité du **Q**uébec à **M**ontréal

VRQ : **V**alorisation-**R**echerche **Q**uébec

MISE EN CONTEXTE



1. Description et orientation du projet DIVA²

Le projet, Développement Intégration et éValuation des technologies de formation et d'Apprentissage (DIVA), financé par Valorisation-Recherche Québec (VRQ³), est issu du regroupement de quatre grandes organisations québécoises de recherche et de développement dans le domaine des technologies de formation et d'apprentissage en réseau :

1. Le Centre Interuniversitaire de Recherche sur le Télé-Apprentissage (LICEF/CIRTA⁴);
2. Le Groupe de Recherche Interuniversitaire en Tutoriels Intelligents (GRITI⁵);
3. Le Groupe sur les Technologies de Formation et d'Apprentissage (GTFA⁶) de Technopole-Montréal;
4. Le Centre for the Study of Learning and Performance (CSLP⁷).

Les chercheurs de ces quatre organisations constituent une synergie de recherche de haut calibre et travaillent de façon coordonnée dans la recherche et le développement de modèles, de méthodes et d'outils de formation à l'aide des technologies de l'information et de la communication.

Le projet DIVA est un projet qui s'étend sur quatre ans (2001-2005) et qui vise l'amélioration des méthodes de formation, se conformant ainsi aux objectifs visés par les orientations de la politique scientifique du Gouvernement du Québec. Il se divise en quatre volets gérés par chaque organisation précédemment citée. Le volet qui nous préoccupe est le volet 1, géré par le LICEF/CIRTA.

1.1. Description du projet DIVA – TA



Figure 1. Description du projet DIVA - TA

² Cette description est extraite littéralement du site web du projet DIVA : <http://www.larim.polymtl.ca/diva/>

³ <http://www.vrq.qc.ca/indexf.html>

⁴ <http://www.liceftel.uq.quebec.ca/fr/index.htm>

⁵ <http://www.iro.umontreal.ca/labs/GRITI/>

⁶ <http://www.larim.polymtl.ca/diva/gtfa.htm>

⁷ <http://doe.concordia.ca/csulp/>

Comme le montre la figure 1, le projet DIVA – volet téléapprentissage (TA) est divisé en trois sous-projets :

1. Processus de qualité des environnements de TA : l'objectif est de découvrir des critères et des principes favorisant la qualité du téléapprentissage à l'école, au collège, à l'université et dans les organisations et entreprises. Cette recherche consiste à soumettre les environnements de téléapprentissage à un processus expérimental d'observation, d'analyse des données recueillies en laboratoire, puis de modélisation cognitive des utilisateurs, des ressources et de leurs interactions, et enfin, de validation en grandeur réelle sur des postes distants en réseau.
2. Développement d'une banque de ressources inter opérables (BRI) : la construction d'une banque de ressources inter opérables pour le Québec est une entreprise essentielle et urgente. Cette banque de ressources permettra de regrouper des documents multimédias et interactifs, des composantes de télé-laboratoires, des outils de conception et de gestion des apprentissages, des outils de traitement de l'information et de production de travaux, des outils de communication synchrones ou asynchrones et des outils d'assistance adaptative à l'apprentissage.
3. Construction d'une base de connaissances sur le téléapprentissage (BCTA) : voir section suivante (section 1.2).

Après avoir présenté brièvement les deux premiers sous-projets, nous nous attarderons sur le troisième dans le cadre duquel se situe ce rapport technique.

1.2. Description du projet DIVA-BCTA

Le volet Base de connaissances sur le Télé-Apprentissage (BCTA) consiste à créer une base de connaissances sur le TA qui se veut évolutive. Cette base regroupera progressivement, de façon structurée les connaissances produites par les chercheurs du Centre Inter-universitaire de Recherche sur le Télé-Apprentissage (CIRTA) et d'autres groupes. Pour la constituer, il s'agira, entre autres, de colliger l'expertise et les connaissances sur le téléapprentissage qui existent déjà ou qui sont développées dans d'autres projets, d'analyser les besoins des usagers potentiels et de construire les services d'accès à la base pour rendre les services voulus – réponse à une requête (Paquette G. et al., 2003).

Cette base de connaissances sera consolidée et enrichie de collaborations scientifiques avec des groupes ou centres de recherche internationaux. Les activités de télé-apprentissage proposées s'appuieront sur des inventaires de résultats scientifiques, des synthèses méthodologiques et des communications de résultats qui seront structurés en fonction de la structure de la base de connaissances. Celle-ci sera synthétisée et son existence sera largement diffusée sur Internet au moyen d'études, de rapports et de démonstrations, afin de répondre aux besoins des membres de la communauté des chercheurs, des enseignants praticiens et des étudiants.

2. Problématique et objectifs de recherche

Les connaissances reliées au TA sont encore éparses, ce qui représente une des principales difficultés rencontrées par les usagers du TA qui veulent s'initier au domaine, élaborer ou utiliser des environnements de TA ou encore faire de la recherche dans le domaine. La construction d'une BCTA, veut participer à la formalisation du domaine et permettre aux usagers du TA de gérer le développement de leurs connaissances et de leurs compétences. La construction d'un tel instrument soulève trois problématiques principales :

1. L'inscription de la BCTA dans les différents usages du TA et dans les activités qui permettent ces usages;
2. Le développement d'une ontologie du TA;
3. Les liens entre la base de connaissances et les autres types d'instruments (ressources documentaires, logiciels, environnements, etc.) qui sont nécessaires aux activités reliées au domaine du TA.

Nous nous intéressons ici à la deuxième problématique. En effet, Les orientations à donner à la conception de la BCTA ont amené l'équipe du projet à explorer le lien entre la modélisation de connaissances et les ontologies.

Plusieurs questions sont à l'étude. On tente de cerner les questions et les enjeux épistémologiques reliés au développement de l'ontologie. On s'interroge sur les courants théoriques, philosophiques ou idéologiques qui sous-tendent les ontologies et leur utilisation dans un système informatique. En effet, il semble qu'une certaine approche considérerait les connaissances et les ontologies qui en découlent comme des faits, alors qu'une autre approche envisagerait les ontologies comme des représentations subjectives des connaissances.

Afin de répondre à ces questions, il est devenu nécessaire de présenter les fondements théoriques sur lesquels repose le travail de construction de la base de connaissances. C'est dans ce contexte que ce rapport technique a été élaboré.

3. Présentation du rapport

Ce rapport est divisé en quatre grandes parties : I) Historique de l'ontologie, II) Notions d'ontologie, III) Fondements de l'ingénierie ontologique, et IV) Ontologie du téléapprentissage. Les trois premières parties forment l'état de l'art sur l'ontologie. La quatrième concerne l'application de la théorie à la pratique (travaux en cours). Deux annexes viennent compléter le rapport.

En d'autres termes, nous proposons un historique de l'ontologie en sciences cognitives, en suggérant quelques raisons de l'émergence et de la croissance rapide de l'ontologie en intelligence artificielle. Puis, nous précisons la notion d'ontologie. Ensuite, nous présentons les principes, les méthodes et les outils de l'ingénierie ontologique. Suite à l'énumération des principes d'ingénierie ontologique, nous explorons notamment les travaux sur les méthodes d'ingénierie ontologique de : 1) (Uschold M. & King M., 1995); 2) (Gruninger M. & Fox M.S., 1995); 3) (Bernaras A.,

Laresgoiti I., & Corera J., 1996); et de 4) (Fernandez M., Gomez-Perez A., & Juristo N., 1997; Fernandez-Lopez M., Gomez-Perez A., Pazos A., & Pazos J., 1999; Gomez-Perez A., 1996, 1998). Par la suite, nous effectuons un survol des environnements de développement d'ontologies existants tels que : *Protégé2000* et *Ontolingua* de l'Université Stanford, *ODE* du laboratoire d'IA de l'Université de Madrid ou *WebOnto* d'*Open University*. En partant des critères d'évaluation du logiciel de (Kabel S. C., 1997), nous définissons des critères de type ontologique pour évaluer ces environnements de développement.

Pour finir, nous présentons nos premiers résultats concernant la construction d'une ontologie : nous appliquons l'ingénierie ontologique au domaine du téléapprentissage, dans le cadre du projet DIVA.

En annexe, nous proposons un bilan des méthodologies d'ingénierie ontologique existantes, ainsi qu'une méthodologie simplifiée d'ingénierie ontologique, basée sur l'article *Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology* (Noy N. F. & McGuinness D. L., 2000).

Durant le déroulement du projet, nous nous sommes attardée sur les questions suivantes :

- Quelles sont les origines de l'ontologie ?
- Qu'est-ce que l'ontologie ?
- A quoi sert-elle ? Pourquoi s'en sert-on ?
- Quel est le rôle joué par l'ontologie en représentation des connaissances ?
- Existe-t-il une typologie des ontologies ?
- Quels sont les types d'ontologie connus jusqu'à présent ?
- Quelles sont les applications de l'ontologie ?
- Quels sont les fondements de l'ingénierie ontologique ?
- L'étude de l'ingénierie ontologique nécessite-t-elle des principes et des méthodes propres ? Et si oui, quelle est sa spécificité méthodologique ?
- Quels sont les outils logiciels qui permettent à la construction et la maintenance des ontologies ?
- Quel est l'impact de l'ingénierie ontologique sur les systèmes à base de connaissances ?

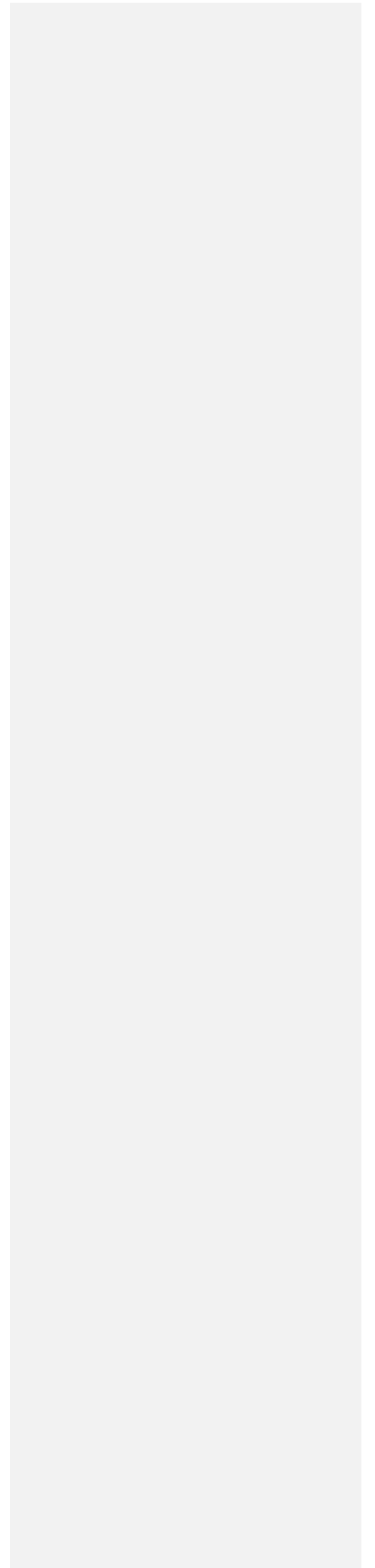
Ce rapport traite en grande partie de ces questions.

5. Crédits et remerciements

- A Jacqueline Bourdeau, ma co-directrice de recherche et directrice du LICEF (Laboratoire en Informatique **Cognitive** et Environnements de Formation ; <http://www.liceftelug.quebec.ca/fr/index.htm>) ; responsable de l'équipe de recherche sur les ontologies du projet DIVA-BCTA et responsable du projet DIVA-Qualité de service (processus de qualité des environnements de TA) ;

- A France Henri, directrice scientifique du LICEF, responsable du projet DIVA-BCTA et plus précisément de l'équipe de recherche sur les usages de la BCTA ;
- A Gilbert Paquette, directeur du CIRTA et responsable de l'ensemble du projet DIVA sur le télé-apprentissage ;
- A Riichiro Mizoguchi, directeur de l'ISIR (Institut de la Recherche Scientifique et Industrielle ; <http://www.ei.sanken.osaka-u.ac.jp/>) de l'université d'Osaka, et chercheur invité au LICEF ayant accepté de nous faire partager sa grande expérience du domaine de l'ontologie;
- Roger Nkambou, professeur à l'UQAM au département d'informatique mon directeur de recherche et membre du CIRTA
- A toute l'équipe du projet DIVA
- Au centre de recherche CIRTA
- Au fond Valorisation-Recherche Québec (VRQ) pour le financement du projet

PARTIE I
HISTORIQUE DE L'ONTOLOGIE EN SCIENCES
COGNITIVES



I.1. Introduction

Le développement de systèmes à base de connaissances (SBC) participe à la solution de l'ingénierie des connaissances pour la gestion des connaissances dans les organisations. Ces SBC doivent permettre de sauvegarder la connaissance, le savoir, le savoir-faire et les compétences à la fois individuelles et collectives, développés au sein d'une organisation. Au cœur de la conception d'un SBC se trouve la représentation et la modélisation de la connaissance, qui consiste à transformer les connaissances pour permettre leur conceptualisation, puis leur « opérationnalisation ».

Dans ce contexte, l'ontologie a récemment atteint sa maturité en devenant un puissant outil conceptuel pour la modélisation de connaissances. L'ontologie offre une structure cohérente sur laquelle construire une base de connaissances, et une référence partagée par les membres d'une communauté pour s'orienter. Ainsi l'ontologie se présente sous la forme d'un vocabulaire conceptuel consensuel d'un domaine donné avec lequel on peut décrire ce domaine et communiquer au sujet de ce domaine.

Cette partie a pour but de présenter l'ontologie d'un point de vue historique en partant de son origine philosophique jusqu'à une vision plus contemporaine en intelligence artificielle (IA).

I.2. 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). Autrement dit, l'Ontologie serait-elle 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 vers une voie imprévisible, il y a seulement une vingtaine d'années.

Dans la littérature contemporaine, 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 terme issu de la philosophie et « ontologie » (avec un « o » minuscule) aux autres usages.

Pris dans son sens usage 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.

Pour l'instant, nous nous intéressons à son sens traditionnel le plus étroit et le plus théorique, où l'ontologie est définie comme la « théorie de l'existence », fondé sur un système particulier de catégories prenant en compte une certaine vision du monde.

I.3. Fondement philosophique

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 êtres ou « *étants* » (Graf et Bihan, (Graf Bihan, 1996); Durozoi et Roussel, (Durozoi Roussel, 1997)).

D'après (Encyclopaedia Universalis, 2000), le constat fondamental d'Aristote est que l'être (ou l'étant) se dit de multiples façons. Pour s'en rendre compte, il faut considérer le verbe « être » et les manières dont il relie le prédicat au sujet. L'interprétation logique de la relation établie par le verbe « être » entre ces deux termes des propositions permet de dégager les quatre « sens » fondamentaux de l'être qui sont : les catégories, l'essence ou l'accident, le vrai ou le faux et l'acte ou la puissance. Parmi ces dimensions, ce sont : l'essence, le vrai et l'acte, qui relèvent de l'être au sens le plus propre du terme. Quant au premier « sens », les catégories, elles sont au nombre de dix : 1) la substance, 2) la qualité, 3) la quantité, 4) la relation, 5) le lieu, 6) le temps, 7) la posture, 8) la possession, 9) l'action, et 10) la passion. Les trois autres « sens » peuvent se comprendre de la façon suivante :

– **L'être comme l'essence ou l'accident** : dans « Socrate est un homme », « est » exprime l'essence, alors que dans « Socrate est assis », « est » exprime l'accident », car être assis n'est pas une propriété essentielle de Socrate;

– **L'être sous l'angle du vrai ou du faux** : ce qui est faux ne relève pas de l'être, au même sens que ce qui est vrai, car seul le vrai relève de l'être à proprement parler;

– **L'être comme « être en puissance » ou « être en acte »** : par exemple, le gland est en un sens un chêne, mais, seulement en puissance, tandis que le chêne l'est effectivement, c'est à dire en acte.

Les successeurs d'Aristote ont appelé *Métaphysiques* les traités contenant cette théorie, voulant signifier à la fois que ces traités succèdent aux traités sur la nature (ou *Physiques*), et que leur objet transcende celui de la nature (Encyclopaedia Universalis, 2000).

I.3.1. Métaphysique générale versus particulière

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. (Dictionnaire de la philosophie).

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 et Weil (Auroux. Weil, 1984); Graf et Bihan, 1996; Lalande, 1960). Clauberg s'exprime ainsi dans son œuvre *Metaphysica* (1646) (cité dans Lalande, 1960) : « Le nom

seulement est nouveau, quant à cette science, elle existait déjà chez les scolastiques⁸ 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 (École J., 1961; Wolff C., 1729), qui, dans le concept métaphysique, rangeait l'Ontologie en tant que « métaphysique générale », puisqu'elle traitait de l'être en général, et la distinguait des trois sciences « métaphysiques particulières » ou *métaphysica specialis*, que sont la psychologie rationnelle (l'être de l'âme), 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 en fait de ses prémisses leibniziennes (Leibniz, 1646-1716) (Couturat L, 1903), qui veulent que le possible précède le réel. Si bien que l'être est défini comme « ce qui veut exister », c'est-à-dire, 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 la « contradiction » de Aristote et le principe leibnizien de la « raison suffisante ». Selon Leibniz, nos raisonnements sont fondés sur ces deux grands principes, qui peuvent être résumés de la façon suivante :

– Principe de contradiction (ou principe d'identité) de Aristote : Aucun objet ne peut à la fois posséder et ne pas posséder une même propriété ;

– Principe de « raison suffisante » : Aucun fait ne saurait se trouver vrai, ou existant, aucune énonciation véritable, sans qu'il y ait une raison suffisante, pour qu'il en soit ainsi et non pas autrement »

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, 1770-1831) 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 phénoménologie⁹ que le terme d'Ontologie a recommencé à investir le discours philosophique : d'abord Edmund

⁸ Au Moyen-Âge (V^e - XV^e siècle), la scolastique est un système d'enseignement (...) visant à former le raisonnement par la pratique de la discussion syllogistique (Office québécois de la langue française).

⁹ La phénoménologie recherche dans l'expérience vécue l'essence même du phénomène. (...) elle estime possible de dégager un invariant qui donne au phénomène sa signification. (...) elle prend pour base de réflexion les objets tels qu'on les perçoit, et n'entreprend pas de les modifier de façon systématique pour

Husserl (1859-1938), 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 notamment, Martin Heidegger (1889-1976) et Jean-paul Sartre (1905-1980) de l'école existentialiste¹⁰ développent leur propre vision de l'Ontologie.

I.4. De la philosophie analytique à l'Intelligence Artificielle

Dans la philosophie analytique, l'Ontologie a été étroitement liée à la logique et à la philosophie du langage.

Selon Quine (Quine W. V. O., 1969), les engagements ontologiques d'une théorie scientifique ne sont pas tant déterminés par ses assertions d'existence que par le type de variables sur lesquelles le langage admet la quantification. L'Ontologie est donc déterminée par la sémantique du langage, et coïncide de ce 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 de l'être. La construction d'une telle théorie coïncide avec la définition d'une sémantique pour un langage logique, dans laquelle les types d'entités que la théorie admet peuvent trouver place (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 (idéalisés mathématiques, réalités phénoménales des sciences naturelles, etc.). Cela constitue une réduction des Ontologies des théories de la substance à l'Ontologie fondamentale proposée.

I.5. L'ontologie en Intelligence Artificielle

Actuellement, il n'existe aucune définition de l'ontologie qui soit unanimement acceptée par la communauté scientifique, mais plutôt un ensemble de définitions très souvent citées dans la littérature spécialisée. C'est pourquoi nous avons choisi de présenter une vision de l'ontologie en intelligence artificielle, sous la forme d'une suite chronologique et logique des définitions les plus référencées.

mieux les observer et les comprendre. En psychologie, elle appartient à l'école subjective : la psychologie de la Gestalt relève de cette catégorie. Les behavioristes la qualifient de « mentaliste ». (Office québécois de la langue française)

¹⁰ L'existentialisme est un mouvement inspiré de la phénoménologie, initié par le philosophe danois Kierkegaard, auquel sont principalement associés les noms de Heidegger, Sartre, de Beauvoir et Camus. Centré sur l'absurdité de l'existence et postulant que « l'homme existe avant d'être », ce mouvement est opposé à la philosophie cartésienne et aux systèmes basés sur la raison et les idées.

I.5.1. Vision et définitions de l'ontologie

Dans les milieux de l'intelligence artificielle, il semblerait que l'ontologie ait été abordée pour la première fois par 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 (McCarthy J., 1980) affirmait déjà en 1980 que les concepteurs de systèmes intelligents fondés sur la logique devaient d'abord « énumérer tout de qui existe, en construisant une ontologie de notre monde ».

Cette vision de McCarthy (McCarthy J., 1980), inspirée par les lectures de Quine (Quine W. V. O., 1969), fut reprise par Patrick Hayes (Hayes P. J., 1985), en 1985 dans son travail sur les « Naive Physics ». La signification du terme a évolué, et pendant que les champs de l'ingénierie des connaissances et de la modélisation cognitive 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 plusieurs 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 conceptualization » (Gruber T., 1993), qui est jusqu'à présent la définition plus citée dans la littérature 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 (Gruber, 1993) en énonçant que « les ontologies sont définies 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 machine. « Partagé » réfère au fait qu'une ontologie capture la connaissance consensuelle, c'est-à-dire non réservée à quelques individus, mais acceptée par un groupe.

En 1995, Guarino et Guiaretta (Guarino N. & Giaretta P., 1995) ont choisi sept définitions dont ils ont fourni des interprétations syntaxiques et sémantiques. Ils en arrivent aux conclusions que :

– Une ontologie peut-être vue comme un ensemble de termes, de notions, permettant de rendre compte de l'ensemble des objets reconnus comme existant dans le domaine étudié. En restreignant le sens des termes du domaine, elle rend possible, pour les humains et les machines, de collaborer en s'assurant que tous font les mêmes distinctions et utilisent les même termes avec le même sens (Guarino N. & Giaretta P., 1995).

– L'ontologie est « une théorie logique qui rend compte partiellement mais explicitement d'une conceptualisation », la conceptualisation étant définie comme « une structure sémantique intensionnelle qui capture les règles implicites contraignant la

structure d'un bout de réalité ». L'ontologie est une représentation explicite partielle parce qu'elle se concentre sur les aspects de la conceptualisation nécessaires au bon fonctionnement du système. (Guarino N. & Giaretta P., 1995). Pour Guarino, le terme « conceptualisation » concerne des objets intensionnels, c'est-à-dire des notions, et non des objets extensionnels.

Dans la communauté scientifique francophone, des définitions récentes sont venues compléter la vision.

En 2000, Boaud, Bachimont, Charlet, Zweigenbaum, Biébow, Szulman proposent la définition suivante : Une ontologie concerne principalement l'intention des concepts. [...] L'intention d'un concept correspond au sens de ce concept (Boaud J., Bachimont D., Charlet J., & Zweigenbaum P., 1995) dans (Perpette S., 2000)), elle représente un ensemble invariant de règles permettant, quelle que soit la situation, de reconnaître les objets constituant la réalisation ou l'extension du concept ((Biébow M. & Szulman S., 1999) dans (Perpette S., 2000)).

En 2002, Paquette (Paquette G., 2002) appelle « ontologie » une théorie concernant les types d'objets qui existent indépendamment de tout agent extérieur les connaissant. Ainsi, l'ontologie en tant que discipline philosophique étudie ces théories de l'existence. L'intelligence artificielle a adopté le terme « ontologie » en lui donnant le sens plus restreint de « document définissant de façon formelle des termes et des relations entre ces termes ».

I.5.2. Définitions fondées sur l'ingénierie ontologique

D'après Gomez-Perez (Gomez-Perez A., 1999), des auteurs ont également fourni une définition de l'ontologie fondée sur la méthodologie qu'ils ont utilisée pour construire leur ontologie. Ainsi, des indications sur leur méthodologie apparaissent dans leur définition de l'ontologie.

Pour Swartout et ses collègues (Swartout B., Patil R., Knight K., & 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 proposent la définition suivante ; « an ontology provides the means for describing explicitly the conceptualization behind the knowledge base » (Bernaras A. et al., 1996).

Selon Mizoguchi, la communauté d'ingénierie des connaissances définit l'ontologie comme étant « a system of primitive vocabulary/concepts used for building artificial systems » (Mizoguchi R., 1993). Ainsi, une ontologie ne doit pas couvrir l'ensemble des concepts existant dans un domaine, mais doit rendre compte des concepts primitifs (essentiels) d'un domaine.

Selon Bachimont dans (Boaud J. et al., 1995), construire une ontologie revient à s'intéresser aux propriétés essentielles des objets et non aux propriétés que ces objets peuvent avoir dans telle ou telle situation.

Pour Paquette (Paquette G. et al., 2002), la construction d'une ontologie revient à construire une théorie d'un domaine de connaissances. L'ontologie étant une forme

particulière de modèle de connaissances, on peut appliquer les processus de base de la modélisation cognitive.

Cette multitude de définitions semblent converger quant à ce que l'on entend par ontologie, mais semblent diverger quant à la façon de la concevoir et surtout de l'appliquer.

I.6. Conclusion

L'ontologie en tant que science, a fait beaucoup chemin depuis l'antiquité. Après avoir été un objet d'étude pour les philosophes durant des siècles, la communauté de l'intelligence artificielle s'en est emparée au moment où les sciences cognitives telles que nous les connaissons actuellement émergeaient. L'ontologie a maintenant sa place dans plusieurs domaines des sciences cognitives. On peut constater quelques recoupements intéressants en fonction du domaine. Ainsi :

– L'approche linguistique pour le traitement de la langue naturelle, voudrait que l'on discute de « vocabulaire » et de « lexiques », ainsi que de la signification de chacun de leurs termes. Par contre on s'intéresse moins aux concepts en arrière de ces termes, ce qui peut se comprendre puisque les linguistes utilisent surtout les ontologies pour créer des thésaurus. Leurs intérêts de recherche portent surtout sur la construction semi-automatique d'ontologies.

– L'approche d'ingénierie des connaissances, dans un contexte de résolution de problèmes, a tendance à voir les concepts, les axiomes et les actions – composantes exécutables - comprises dans l'ontologie comme des blocs de construction de connaissance. Notamment, la notion de concept a une importance primordiale lors de la construction d'une base de connaissances, l'intérêt principal étant de construire des bases de connaissances réutilisables et partageables, à partir d'ontologies du domaine et d'ontologies de tâches, pour obtenir des modèles de connaissances.

– L'approche philosophique pour la modélisation philosophique du monde préfère se concentrer sur le modèle supérieur universel conçu pour régir les ontologies. On se questionne beaucoup à propos de l'existence et des relations entre les entités et les instances. Les ontologies supérieures (*Upper ontology*) les plus connues sont ; celle de Sowa¹¹ et celle de Guarino¹², qui sont les précurseurs en la matière.

– Pour le Web sémantique¹³, l'ontologie est utilisée pour créer des ensembles d'étiquettes inter opérables, de type méta-données. Ici, les axiomes ou règles jouent un rôle très important. Les ontologies utilisées, dites *Light-Weight Ontology*, sont similaires à des bases de connaissances ou à des thésaurus.

¹¹ Site de J. F. Sowa : <http://www.ifsowa.com/>

Ontologie de haut niveau de J. F. Sowa <http://users.bestweb.net/~sowa/ontology/toplevel.htm>

¹² Site de recherche de N. Guarino : <http://www.ladseb.pd.cnr.it/infor/people/Guarino.html>

¹³ Site officiel du Web sémantique : <http://www.w3.org/2001/sw/>

Chaque approche a des justifications raisonnables suivant l'usage que l'on veut faire de l'ontologie. Ceci rend impossible et inutile l'aboutissement à un consensus. On peut tout de même sortir quelques idées sur lesquelles tous semblent être d'accord :

– Une ontologie concerne principalement l'intention des termes, c'est-à-dire leur signification. Les travaux de Aristote, puis de Frege G. (fin du 19^e siècle) et de Peirce C. S. (1960) sur l'interaction entre les termes (ou symboles), les pensées et les choses sont à l'origine du modèle triadique de la signification sur lequel repose la définition structurelle de l'ontologie (Psyché V., 2003).

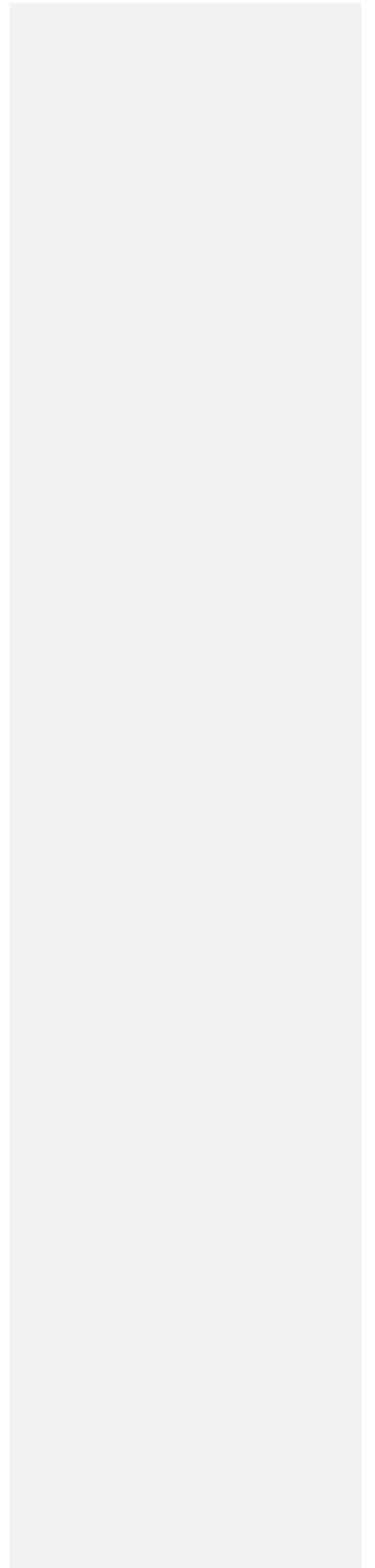
– Seuls les concepts « primitifs » devraient figurer dans l'ontologie. Nous parlons ici, non pas des primitives du domaine (démarche non réaliste), mais des primitives nécessaires à la représentation du problème à résoudre et des connaissances s'y rapportant (Bachimont B., 2000).

– Une conceptualisation est un système/théorie différentiel d'intentions. Un système différentiel permet d'explicitier en fonctions des voisins les identités et différences qui définissent un noeud dans un arbre ontologique.

– Une même conceptualisation peut donner naissance à plusieurs ontologies. Une ontologie sera d'autant plus facilement réutilisable qu'elle aura été conçue de manière systématique, c'est-à-dire avec un niveau de granularité [de description] suffisant pour représenter l'objet de la conceptualisation de chaque application.

Pour bien comprendre ces idées, il convient d'aborder les notions de base de l'ontologie, ce que nous ferons dans la partie suivante.

PARTIE II
NOTIONS D'ONTOLOGIE



II.1. Introduction

Nous abordons ici, les principales composantes d'une ontologie, puis les différents types d'ontologie et plus particulièrement l'ontologie supérieure. Ensuite, nous présenterons le puissant mécanisme de représentation des connaissances qu'est l'ontologie, notamment nous parlerons de ses niveaux de connaissances et de ses formalismes de représentation. Nous concluons en faisant une synthèse sur le rôle, les enjeux et les perspectives de l'ontologie en ingénierie des connaissances.

II.2. Notions de base

II.2.1. Composantes de l'ontologie

Structurellement, une ontologie est constituée de cinq types de composantes : 1) les concepts ou classes, 2) les relations (incluant les propriétés et les rôles), 3) les fonctions (incluant les propriétés et les rôles), 4) les règles ou axiomes et 5) les modèles ou instances.

– **Les concepts** : Le vocabulaire de représentation est formé par les termes qui définissent l'ensemble de concepts pertinents décrivant le domaine. Ces concepts décrivent les connaissances à propos d'un certain domaine qui, prises dans leur ensemble, constituent le corpus de connaissances (*body of knowledge*) d'un certain domaine. De plus, ces concepts peuvent être « primitifs » ou complexes (ces derniers résultants d'une structuration des concepts « primitifs » selon des règles bien définies), abstraits ou concrets, réelle ou fictif. Selon (Gomez-Perez A., 1999), un concept pourrait aussi être une description de tâche, de fonction, d'action, de stratégie, de raisonnement, de processus, etc.

– **Les relations** représentent un type d'interaction entre les concepts d'un domaine. Elles sont formellement définies comme étant tout sous-ensemble d'un produit de n ensembles, c'est-à-dire : $R : C_1 * C_2 * \dots * C_n$ (Gomez-Perez A., 1999). Les relations entre les concepts sont essentiellement du type *généralisation-spécialisation*. Toutefois, d'autres types de relations peuvent aussi être présents, véhiculant ainsi une sémantique plus riche pour décrire un domaine : *composition*, *dépendance*, *disjonction*, etc. Par exemple les relations « *est-un* », « *sousconcept-de* », « *connecté-à* » sont binaires.

Les concepts et leurs relations sont structurés dans des hiérarchies. Un exemple simple serait une hiérarchie, spécifiant les concepts reliés par des relations du type « généralisation – spécialisation » (Gruber, 1994).

– **Les fonctions** sont des cas particuliers de relations dans lesquelles le $n^{ième}$ élément de la relation est unique pour les $n-1$ éléments précédents (Gomez-Perez A., 1999). Formellement, les fonctions sont définies telles que : $F : C_1 * C_2 * \dots * C_{n-1} \rightarrow C_n$. Par exemple, « *mère-de* » et « *carré* » sont des fonctions binaires. Tandis que, « *prix-de voiture-usagée* » qui calcule le prix d'une voiture de seconde main en fonction du modèle de voiture, de la date de fabrication et du nombre de kilomètres est une fonction tertiaire.

– **Les règles** permettent de combiner les concepts afin de former un vocabulaire (Neches, 1991). Plus précisément, les règles sont utilisées pour modéliser des phrases qui sont toujours vraies (Gomez-Perez A., 1999).

– **Les modèles** sont utilisés pour représenter les concepts. Une ontologie associée à un ensemble de modèles de concepts constitue une base de connaissances. En réalité, la frontière entre la fin de l'ontologie et le début de la base de connaissances n'est pas toujours facile à cerner.

II.2.2. Typologie des ontologies

Dépendamment des domaines et des approches de recherche, diverses typologies d'ontologies sont apparues. Les typologies (ou système de classification) jouent un rôle important. Elles permettent de spécifier quel type d'ontologies peut être utilisé dans tel type d'application. Diverses typologies d'ontologies ont été développées (Guarino N., 1998; Jasper R. & Uschold M., 1999; Van Heijst G., 1995).

Une typologie qui utilise comme critère, la quantité et le type de structures de la conceptualisation a été introduit par (Van Heijst G., 1995). Il fait la distinction entre les ontologies terminologiques, d'information et de modélisation des connaissances.

La typologie introduite par (Guarino N., 1998) utilise comme critère, la conceptualisation. C'est peut-être la typologie la plus connue. Il suggère comme l'illustre la figure 1 extraite de (Maedche A., 2002), de développer diverses ontologies en fonction de leur niveau de généralité.



Figure 2. Une typologie des ontologies

Les quatre types d'ontologies : l'ontologie supérieure, l'ontologie du domaine, l'ontologie de tâche et l'ontologie d'application, suggérées par cette typologie peuvent être définies comme suit :

– **L'ontologie supérieure ou de haut niveau** (*Upper or Top-level Ontology*) est une ontologie générale, qui concerne 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, etc. L'ontologie de *haut niveau* est basée sur la « théorie de l'identité », la méréologie (*theory of whole and parts role*) et la « théorie de la dépendance ».

– **L'ontologie de domaine** (*Domain Ontology*) régit un ensemble de vocabulaires et de concepts qui décrit un domaine d'application ou monde cible ou « monde d'intérêt » (*world of interest*). 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, (Mizoguchi R., Kozaki K., Sano T., & Kitamura Y., 2000), l'ontologie du domaine caractérise la connaissance du domaine où la tâche est réalisée. Par un domaine, nous sous-entendons un domaine d'application tel que : la médecine, l'éducation, un milieu manufacturier, un milieu entrepreneurial, etc.

– **L'ontologie de tâche** (*Task Ontology*) est utilisée pour gérer des tâches spécifiques dans les systèmes, telles que les tâches de diagnostic, de planification, de conception, de configuration, de tutorat, etc., en fait tout ce qui concerne la résolution de problèmes. Elle régit un ensemble de vocabulaires et de concepts qui décrivent 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. L'ontologie de la tâche est très bien décrite dans (Ikeda M., Seta K., Kakusho O., & Mizoguchi R., 1998). Voici deux exemples d'utilisation de l'ontologie de tâche dans le domaine de l'éducation :

1. L'ontologie de formation par ordinateur (*Computer Based Training Ontology*). Elle régit un ensemble de concepts spécifiques à un environnement d'apprentissage. (Jin, 1999)
2. L'ontologie des objectifs d'apprentissage (*Learning Goal Ontology*). Elle décrit les rôles des apprenants et des agents dans le cadre d'un apprentissage en collaboration. (Inaba A., 2000)

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

De tous ces types d'ontologies, l'ontologie supérieure est celle qui peut contribuer au développement des autres. Son type singulier mérite d'être explicité davantage.

II.2.3. Ontologie Supérieure

Guarino et Sowa ont poursuivi indépendamment des recherches sur la théorie de l'ontologie. Tous deux partagent l'approche philosophique. Tous deux intègrent les fondements philosophiques comme étant des principes à suivre pour concevoir l'ontologie de haut niveau ou ontologie supérieure.

Selon Sowa, le sujet de l'ontologie est l'étude des catégories de choses qui existent dans le monde. Il réfère à une ontologie, comme étant un catalogue décrivant : 1) toutes les choses qui constituent le monde, 2) la manière dont ces choses sont mises en relation et, 3) la manière dont cette mise en relation fonctionne. Sowa introduit deux concepts importants, le *continuant* et l'*occurrent*, et obtient douze catégories supérieures en combinant sept propriétés primitives (Sowa J., 1995).

L'ontologie supérieure de Guarino incorpore plus intensivement des considérations philosophiques. Elle est constituée de deux mondes : une ontologie des « particuliers » (*particulars*) tels que les choses qui existent dans le monde, et une ontologie des « universels » (*universals*) qui comprend les concepts dont nous avons besoin quand nous décrivons les particuliers (Guarino N., 1997).

Nombreux sont les chercheurs qui ont une attitude négative face à l'ontologie supérieure sous laquelle il est requis en principe de mettre leur ontologie. Cependant, lorsqu'on construit une ontologie pour un système à base de connaissances à grande échelle, la validité de la base de connaissances est justifiée par la grande quantité de tâches à gérer, ce qui signifie que l'ontologie doit montrer sa capacité à généraliser la tâche plutôt qu'à la spécifier. De ce fait, la conformité aux principes de l'ontologie supérieure a son importance, si notre but est de standardiser la conception des ontologies.

II.3. L'ontologie : un mécanisme de représentation des connaissances

Les ontologies sont au cœur des systèmes de représentation des connaissances d'un domaine. En l'absence d'une ontologie, il serait impossible de bâtir un vocabulaire représentatif, complet et cohérent pour représenter les connaissances d'un certain domaine.

II.3.1. Objectifs de la représentation des connaissances

Selon l'encyclopédie des sciences cognitives du MIT (Wilson R. A. & Keil F. C., 1999), la représentation des connaissances réfère au sujet général de : « Comment l'information peut-elle être encodée de façon appropriée et utilisée dans les modèles computationnels de la cognition ? ». C'est un large champ lié à la logique, l'informatique, la psychologie cognitive, la linguistique, et d'autres domaines des sciences cognitives. La plupart des travaux en représentation des connaissances sont motivés par des préoccupations d'ingénierie et ignorent généralement les solutions purement philosophiques, pour privilégier celles issues de champs connexes tels que : l'analyse des représentations mentales ; le raisonnement déductif et le « langage de la pensée » ; la philosophie du langage et la logique philosophique.

Généralement, en représentation des connaissances, les travaux qui se concentrent aussi bien sur le formalisme de représentation que sur l'information qui doit y être encodée, sont regroupés sous l'appellation : ingénierie des connaissances (IC). L'ingénierie des connaissances peut être définie comme une branche de l'ingénierie qui analyse la connaissance à propos d'un sujet et la transforme en une forme « *computationnelle* » (calculable) pour atteindre un but donné.

Malgré le fait que beaucoup de systèmes d'intelligence artificielle utilisent une représentation des connaissances ad hoc, beaucoup des travaux en représentation des connaissances sont motivés par : 1) le besoin d'une représentation uniforme ; et 2) l'intuition que, parce que l'intelligence humaine peut rapidement parvenir à des conclusions appropriées, la représentation des connaissances devrait chercher des cadres conceptuels dans lesquelles ces conclusions ont de courtes dérivations. L'intégrité philosophique de ce cadre supposée, est moins importante que son efficacité pratique ;

par exemple, Hobbes (Hobbes J. 1985) recommande un principe de proximité ontologique en représentation des connaissances.

II.3.2. Engagements ontologiques

À la question épistémologique, « *In what terms should I think about the world?* », (Quine W., 1960) (thèse reprise par (Davis R. Shrobe H. and Szolovits P., 1993)) a répondu : *La représentation des connaissances est un ensemble d'engagements ontologiques.*

Selon Quine, si toutes les représentations sont des approximations imparfaites de la réalité, chaque approximation se concentrant sur certaines choses et ignorant les autres, en sélectionnant n'importe quelle représentation, nous prenons inévitablement un ensemble de décisions à propos de : « Comment voir le monde ? » ; et de « Quoi voir dans le monde ? ». Ainsi, sélectionner une représentation signifie faire un ensemble d'engagements ontologiques.

Nous pouvons associer aux engagements ontologiques, la métaphore « des lunettes qui nous permettent de voir, mettant certaines parties du monde en évidence au risque de brouiller d'autres parties ». Leur effet de mise au point/brouillage n'est pas un effet secondaire accidentel dû au choix de la représentation de connaissances, mais plutôt un effet essentiel dû aux inévitables imperfections des représentations. Ainsi, une sélection judicieuse d'engagements ontologiques nous fournit l'opportunité de centrer notre attention sur des aspects du monde que nous croyons être pertinents. L'effet de mise au point est une partie essentielle de ce que la représentation des connaissances offre parce que la complexité du monde naturel est écrasante (Davis R., Shrobe H., & Szolovits P., 1993).

Selon Davis et ses collègues, nous et nos machines raisonnantes avons besoin de conseils pour décider des parties du monde qui doivent retenir notre attention et de celles qui peuvent être ignorées. Les lunettes fournies par la représentation peuvent fournir ces conseils : en nous disant quoi et comment voir, elles nous permettent de faire face à ce qui aurait été sinon d'une intenable complexité. Ainsi, l'engagement ontologique que nous faisons en sélectionnant une ontologie peut être l'une de ses contributions les plus importantes.

II.3.3. Niveaux de représentation des connaissances

Une ontologie se caractérise par trois niveaux de représentation des connaissances : 1) concepts et hiérarchies; 2) définitions formelles; 3) implantation en code exécutable. L'appellation des niveaux et leur interprétation peuvent varier dépendamment des auteurs.

Ainsi, on retrouve dans la littérature les appellations de : niveau 1 (Mizoguchi R., 1998), niveau conceptuel, sémantique ou interprétatif ou encore ontologie différentielle (Bachimont B., 2000) pour nommer le premier niveau ; niveau 2 (Mizoguchi R., 1998), niveau axiomatique, formel ou référentiel ou encore ontologie référentielle (Bachimont B., 2000) pour nommer le deuxième niveau ; niveau 3 (Mizoguchi R., 1998), niveau fonctionnel, matériel, opérationnel ou *computationnel* ou encore ontologie computationnelle (Bachimont B., 2000) pour nommer le troisième niveau. De plus les

niveaux de représentation des connaissances ont été principalement abordés par (Mizoguchi R., 1998) et (Bachimont B., 2000). Nous le résumons dans ce qui suit (voir aussi (Psyché V., Mendes O., & Bourdeau B., 2003)).

Mizoguchi (1998) propose la classification sur trois niveaux suivante, très axée sur le processus d'ingénierie ontologique :

– **Le niveau 1** est spécifié en faisant abstraction de toute contrainte informatique et sert donc de support à l'acquisition des connaissances. Il est une collection structurée de termes. La tâche fondamentale dans la construction d'une ontologie est l'articulation du monde d'intérêt, c'est-à-dire l'extraction des concepts et leur identification dans des hiérarchies de type « *is-a* ». Cette étape est indispensable pour que l'on puisse parler d'ontologie. Des exemples typiques d'ontologies à ce niveau sont les hiérarchies de sujets, trouvées dans les moteurs de recherche et les « étiquette » (*tags*) utilisés pour la description des méta-données. À ce stade, la modélisation étant informelle, une spécification en langage naturel complétée de graphiques est acceptable et des définitions minimales des concepts sont faites.

– **Le niveau 2** est formalisé au moyen d'un langage de représentation lisible par une machine. En plus des définitions du niveau 1, des définitions formelles sont ajoutées pour empêcher des interprétations inattendues des concepts. De même, les relations ou contraintes nécessaires sont également traduites en langage machine, pour former un ensemble d'axiomes. A ce stade, les relations sont plus riches que celles du niveau précédent. Les définitions sont déclaratives et formelles pour permettre aux ordinateurs de les interpréter. L'interprétation d'une ontologie à ce niveau permet aux ordinateurs de répondre aux questions sur les modèles construits à partir de l'ontologie. La plupart des efforts de construction de l'ontologie aboutissent à ce niveau.

– **Le niveau 3** est encodé au moyen d'un langage de programmation et la spécification obtenue est exécutable. L'ontologie est exécutable dans le sens où les modèles construits à partir de l'ontologie fonctionnent en utilisant des modules fournis par quelques-uns des codes abstraits associés aux concepts dans l'ontologie. Ainsi, elle peut répondre à des questions à propos de la performance du temps d'exécution des modèles. Des exemples typiques sont trouvés dans les ontologies de tâches ((Mizoguchi R. & al., 1995) ; (Breuker J. & de Velde W.V., 1994) ; (Seta K. & al., 1997) ; (Chandrasekaran B., Josephson J. R., & Benjamins R., 1998)).

D'autre part, (Bachimont B., 2000) propose la classification sur trois niveaux suivante, très axée sur la construction de la signification :

– **Niveau sémantique ou interprétatif** : Il s'agit de créer une structure arborescente - une hiérarchie - reliant par des liens de type « *is-a* » des concepts. Dans cet arbre, la signification d'un nœud se définit par un jeu de différences sémantiques entretenues avec ses voisins. Les différences sémantiques entre nœuds sont explicitées par des principes de différenciation exprimés en langue naturelle (Bachimont B., 1996). C'est la détermination de sa place dans la structure globale de l'arbre ontologique et la lecture des principes de différenciation (engagement sémantique) qui permettent l'interprétation de la signification du concept – un nœud pourvu d'un terme/libellé linguistique (en langue naturelle) – et non l'interprétation des

termes en tant qu'instances linguistiques reconnues comme c'est le cas dans un dictionnaire. Deux concepts sémantiques sont identiques si l'interprétation du libellé à travers les principes différentiels aboutit, pour chaque concept, à un sens équivalent.

– **Niveau formel ou référentiel** : Dans ce cadre, les notions portées par l'ontologie ne sont plus considérées comme des concepts linguistiques, mais comme des concepts formels d'un langage de représentation des connaissances. Ils servent donc de base non plus à une interprétation humaine de type linguistique mais à un calcul contrôlé par une sémantique formelle. Les concepts formels se caractérisent par un libellé dont la sémantique se définit par une extension d'objets. Chaque concept formel est défini par un engagement ontologique qui spécifie quels objets doivent exister dans le domaine pour utiliser le concept conformément à sa signification formelle. Deux concepts sont identiques s'ils possèdent toujours la même extension.

– **Niveau opérationnel ou computationnel** : les concepts opérationnels ou *computationnels* sont caractérisés par les opérations qu'il est possible de leur appliquer pour générer des inférences (engagement computationnel) : ces opérations confèrent aux concepts une sémantique dans le système effectif construit. Deux concepts opérationnels sont identiques s'ils possèdent le même potentiel d'inférence.

Malgré les points de vue différents sur les niveaux de représentation, nous pouvons résumer que : l'ontologie de niveau 1 est un ensemble de concepts et de relations simples (telles que « *is-a* ») organisés dans des hiérarchies ; l'ontologie de niveau 2 est l'ontologie de niveau 1 à laquelle s'ajoute un ensemble d'axiomes ; et l'ontologie de niveau 3 est l'ontologie de niveau 2 à laquelle s'ajoute un ensemble d'actions (fonctions).

II.3.4. Formalismes de représentation des connaissances

Les formalismes de la représentation des connaissances ont besoin d'une syntaxe précise, d'une sémantique, et d'une procédure d'inférence computationnelle. Les caractéristiques des formalismes relèvent d'une notation pour une programmation orientée objet. La plupart peuvent être considérées comme des variations syntaxiques sur des sous-ensembles de la *logique du premier ordre*, parfois étendue pour permettre l'*inférence probabiliste bayésienne*, le *raisonnement flou*, et autres façons d'exprimer des informations partielles ou incertaines et des degrés de confiance.

Plus récemment, un intérêt considérable s'est développé pour les représentations schématiques qui sont censés représenter, en étant directement semblables au sujet étant représenté (Glasgow J. Narayan N. H. and Chandrasekharan B., 1995). Ceux-ci sont parfois considérés comme des modèles plausibles d'imagerie mentale. Lévesque et Brachman (Levesque H. J. & Brachman R. J., 1985) précisent qu'un ensemble de propositions de base avec une hypothèse de « monde clos » a beaucoup des propriétés fonctionnelles d'une image mentale.

Des applications commerciales utilisent la représentation des connaissances comme une extension de la technologie des bases de données, où la « connaissance » est vue comme un réservoir d'informations utiles plutôt que comme le soutien à un modèle de l'activité cognitive. Ici, la planification des actions n'est souvent pas nécessaire, et

l'ontologie fixée pour une application particulière – par exemple, la conception de cours ou le diagnostic médical – devient prédominante. Le contenu de l'ontologie peut souvent être pensé en tant que connaissances en langage naturel ou en tant que lignes de code de programmation, dépendamment du but que l'on désire atteindre ; une école de pensée en représentation des connaissances voit cette distinction comme essentiellement non significative.

L'usage commercial des bases de connaissances a créé un besoin pour des standards ou un formalisme d'échange pour permettre l'interopérabilité. Ceci inclut le *Knowledge Interchange Format* ou *KIF* - un mélange de *théorie du premier ordre* et de *LISP* (Genesereth M. and Fikes R. E., 1992) - et les *graphes conceptuels*, une notation graphique inspirée de C. S. Peirce (Sowa J., 1997). Il y a surtout un intérêt considérable et grandissant, à compiler des ontologies standard pour des concepts communément utilisés tel que : l'interaction entre enseignants et apprenants ou un scénario pédagogique.

Les ontologies peuvent être écrites dans une variété de formalismes, l'information essentielle n'étant pas la forme de ce formalisme mais le contenu, c'est-à-dire, l'ensemble des « choses » offertes comme moyens de penser le monde.

II.4. Conclusion

II.4.1. Quelques rôles de l'ontologie

L'ontologie a plusieurs impacts positifs sur le système qu'elle aide à construire. En voici une liste non exhaustive :

- Fournir un vocabulaire pouvant comparer et évaluer les systèmes existants [...] (Ikeda M., 1997).
- Formaliser les tâches [...] (Ikeda M., 1997).
- Indiquer le contexte d'application pour faciliter la mise en place de la connaissance du domaine (Ikeda M., 1997).
- Fournir des composantes réutilisables pour la conception et le développement des Systèmes [...] (Ikeda M., 1997).
- Normaliser le protocole de communication parmi les agents composant les systèmes.

II.4.2. Réflexion sur les enjeux et perspectives de l'ontologie

Comme nous l'avons mentionné précédemment, une ontologie est une description des concepts pertinents à un certain domaine, « acceptés à l'intérieur d'un certain groupe ou d'une communauté », ainsi que leurs relations entre eux. De plus, elle contribue au partage et à la réutilisation des connaissances, car elles traduisent la structure conceptuelle intrinsèque d'un domaine de connaissances (Chandrasekaran et al, 1999).

Il est important de souligner l'aspect « consensus » à propos des conceptualisations partagées, car celui-ci influencera de façon déterminante le niveau de partage et de réutilisation de connaissances que l'ontologie rendra possible. Ceci nous amène à prendre conscience de l'ampleur de la tâche de conceptualisation qui doit obligatoirement converger vers un consensus. Nous posons les questions suivantes :

– Comment mettre toute une communauté de personnes d'accord sur un ensemble de concepts ?

– Comment représenter des concepts qui peuvent être interprétés différemment par les membres de la communauté ? L'enjeu est de taille.

– De même, Quelle est la hiérarchie de concepts la plus objective ?

D'autres questionnements doivent être abordés. Par exemple, la question de la granularité :

– Jusqu'à quelle profondeur doit-on aller dans la hiérarchisation des concepts ?

– Ainsi, peut-on extraire partiellement l'ontologie pour créer des modèles de connaissances à granularité variable, en fonction des besoins et des utilisateurs ?

Il y a également la question de la lisibilité de l'ontologie :

– Quelle est la capacité des utilisateurs à lire et comprendre une ontologie qui ne serait pas représentée en langage naturel ?

Au niveau de la réutilisation :

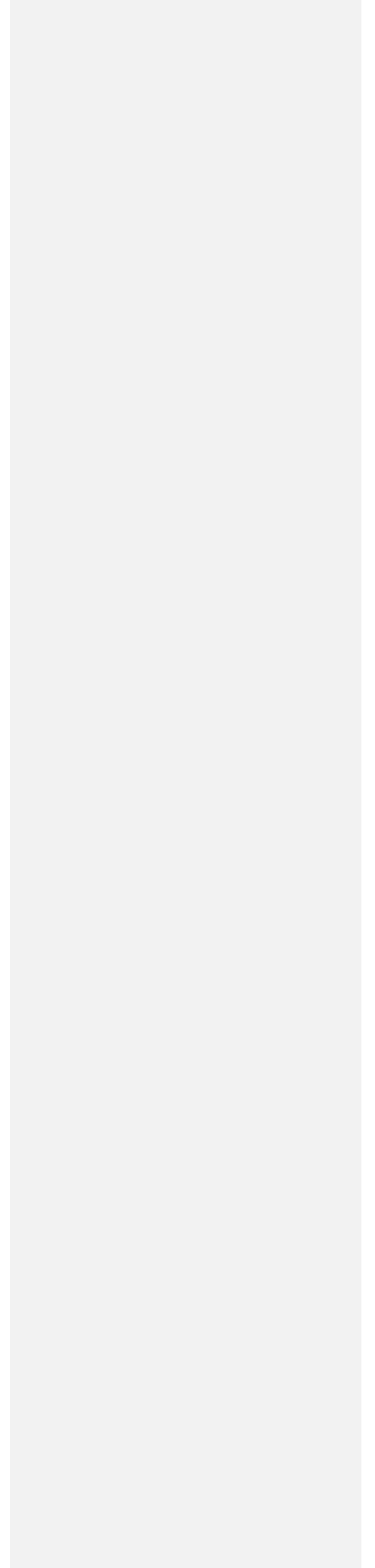
– Peut-on aller jusqu'à la « banalité » ? C'est-à-dire, quelle est la capacité de l'ontologie à s'intégrer à des contextes très variés et très contrastés ?

Une fois ces questions réglées, il faudra bien partager la connaissance pour la modéliser avec les systèmes.

– Comment allons-nous procéder ?

Les fondements de l'ingénierie ontologique que nous aborderons dans la prochaine partie pourront peut-être nous apporter quelques réponses.

PARTIE III
FONDEMENTS DE L'INGENIERIE ONTOLOGIQUE



III.1. Introduction

L'ingénierie ontologique est une branche de l'ingénierie des connaissances qui utilise l'Ontologie pour construire des ontologies (Guarino N., 1995)

L'ingénierie ontologique (IO) (Mizoguchi, 1996, 1997) pourrait être le successeur de l'ingénierie de connaissances (IC), ce sous-domaine de l'intelligence artificielle (IA). L'ingénierie de connaissances, qui comprend les processus de représentation et de modélisation des connaissances, a longtemps été considérée comme le domaine-clé du développement de systèmes experts, maintenant plus connus sous le nom de systèmes à base de connaissances (SBC). Malgré le fait que l'ingénierie de connaissances ait contribué à accroître cette expertise en l'organisant dans une perspective computationnelle, certains membres de la communauté de l'intelligence artificielle ont éprouvé le besoin de passer à une ingénierie basée sur des fondements plus philosophiques et théoriques, afin de concevoir des systèmes intelligents.

L'ingénierie de connaissances traditionnelle a ainsi évolué vers l'ingénierie ontologique qui est fondée sur des principes et des méthodes que nous allons présenter dans cette partie. Pour finir nous ferons un survol des environnements et outils d'ingénierie ontologique les plus connus.

III.2. Principes de l'ingénierie ontologique

Il existe un ensemble de critères et de principes qui ont fait leurs preuves dans le développement des ontologies :

- **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.

- **Perfection** (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) : Pour permettre des inférences conformes aux définitions.

- **Maximiser l'extensibilité monotone** (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) : Faire le moins possible d'affirmations, au sujet du monde en train d'être modélisé. L'ontologie devrait spécifier le moins possible la signification de ses termes, donnant ainsi aux parties qui s'engagent dans cette ontologie la liberté de la spécialiser et de l'*instancier* comme elles le désirent.

- **Principe de distinction ontologique** (Borgo S., Guarino N., & Masolo C., 1996) : les concepts dans une ontologie devraient être disjointes. Le principe utilisé pour isoler le noyau de propriétés considérées comme invariables pour une instance d'un concept est appelé le principe d'identité (voir I.3.1.).

– **Modularité** (Bernaras A. et al., 1996) : Pour minimiser les couplages entre les modules.

– **Diversification des hiérarchies pour augmenter la puissance fournie par les mécanismes d'héritage multiple**¹⁴ (Arpirez J., Gomez-Perez A., Lozano A., & Pinto S., 1998) : Si suffisamment de connaissances sont représentées dans l'ontologie et que suffisamment de différentes classifications de critères sont utilisées, il est plus facile d'entrer de nouveaux concepts (puisque'ils peuvent être facilement spécifiés à partir des concepts et des classifications de critères préexistants) et de les faire hériter de propriétés de différents points de vue.

– **Minimiser la distance sémantique entre les concepts enfants de même parents** (Arpirez J. et al., 1998). Les concepts similaires sont groupés et représentés comme des sous-concepts d'un concept, 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 termes chaque fois que c'est possible** (Arpirez J. et al., 1998).

III.3. Méthodes d'ingénierie ontologique

La meilleure méthode est celle qui nous permet d'atteindre nos buts (Mizoguchi R., 1998).

Selon (Mendes O., 2003) le processus de construction d'une ontologie est assez 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.

Pour ce faire, il est fort utile d'employer des méthodes de développement pour assister le processus de construction des ontologies. Néanmoins, le degré de maturité des processus de développement d'ontologies n'a pas encore atteint celui de l'ingénierie des connaissances et encore moins le niveau atteint par le génie logiciel.

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 la littérature (Mizoguchi R., 1998; Uschold M. & Gruninger M., 1996).

Une revue de littérature (Mendes O., 2003) a permis de dénombrer un total de 31 méthodes et approches de développement d'ontologies existantes à l'heure actuelle. Les méthodologies recensées permettent principalement de 1) construire des ontologies : a) en partant de zéro (*from scratch*), b) par intégration ou fusion avec d'autres ontologies, c) par ré-ingénierie ; et 2) d'évaluer des ontologies : a) au moment de leur construction, puis b) au moment de leur maintenance.

¹⁴ Certains chercheurs comme Mizoguchi et al., sont opposés à l'idée d'héritage multiple en ingénierie ontologique.

L'avenir dira lesquelles réussiront le test du temps et si l'une d'entre elles s'imposera comme un standard de facto, à défaut d'une méthode unifiée comme proposition pour un standard officiel.

III.3.1. Aperçu du standard IEEE 1074-1995

En attendant la création d'une méthode standard de développement ontologique, il convient de consulter le standard de IEEE 1074-1995 qui décrit le processus de développement logiciel. Même si l'ontologie n'est pas considérée comme étant un logiciel, elle s'y apparente suffisamment pour que l'on puisse la catégoriser dans la famille des produits logiciels (Fernandez M., 1999).

De ce fait et étant donné le peu de consensus concernant les méthodes d'ingénierie ontologique, le standard IEEE 1074-1995 est une donnée dont il faut tenir compte au moment de choisir une méthode de développement. Ce standard se compose de quatre processus :

- 1. Modèle de cycle de vie du logiciel** : identification et sélection d'un cycle de vie
- 2. Gestion de projet** : initiation du projet, monitorat et contrôle du projet, gestion de la qualité du logiciel, etc.
- 3. Processus orienté-développement du logiciel**
 - 3.1. Processus de pré-développement**
 - 3.2. Processus de développement** : processus qui doivent être réalisés pour construire un produit logiciel
 - **Processus de conditions**
 - **Processus de conception** : développement d'une représentation qui correspond aux conditions
 - **Processus de mise en place** : transformation en langage de programmation
 - 3.3. Processus de post-développement** : installation, aide technique, maintenance et retrait du produit logiciel
- 4. Processus intégral** : vérification, validation, gestion de la configuration du logiciel, développement de la documentation, formation.

III.3.2. Méthodes les plus connues

Dans cette section, nous présentons les méthodes les plus connues d'ingénierie ontologique.

– La **méthode de Paquette**, (Paquette G. et al., 2002) est composée des cinq processus de base de la modélisation cognitive : 1) Identification des composantes de

l'ontologie, à savoir les concepts, les relations, les axiomes qui devront figurer dans le modèle, et construire une ontologie initiale ; 2) Priorité aux connaissances de l'ontologie initiale pour lesquelles on construit l'ontologie ; 3) Décomposition de l'ontologie en niveaux par des sous-modèles, notamment les taxonomies de base regroupant les principaux concepts, ainsi que les relations et les axiomes ; 4) Co-référencement des connaissances s'il y a plusieurs domaines ou types de concepts qui doivent être associés ; 5) Validation et documentation de l'ontologie.

– La **méthode de Staab** (Staab S., Studer R., Schnurr H. P., & Sure Y., 2001) se fait en cinq étapes à peu près similaires. La première étape porte sur l'identification du problème à résoudre, et est proposée comme suit : 1) Étude de faisabilité avec a) identification du problème, b) étude d'opportunité, c) choix de la cible de l'ontologie ; Alors que les quatre dernières portent sur le développement de l'ontologie : 2) Conceptualisation avec a) spécification des requis, b) analyse des sources d'information, c) création d'une ontologie initiale ; 3) Raffinement avec a) extraction des concepts auprès des experts, b) développement de la taxonomie de base, c) conceptualisation et formalisation, d) ajout de relations et axiomes ; 4) Évaluation avec a) révision et extension fondées sur les rétroactions, b) analyse des utilisations de l'ontologie, c) analyse des questions de compétence de l'ontologie ; Et pour finir 5) Maintenance de l'ontologie. La figure 2, extraite de (Staab S. et al., 2001) et traduite par (Paquette G. et al., 2002; Staab S. et al., 2001), présente ce processus d'ingénierie ontologique.

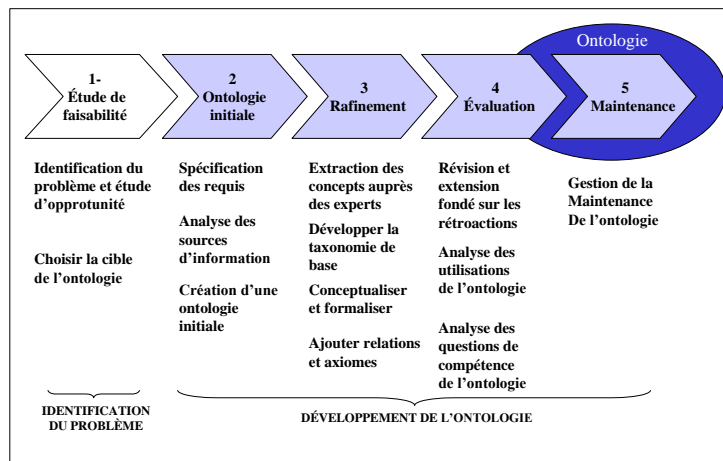


Figure 3. Un processus d'ingénierie ontologique

– La **méthode de Mizoguchi** (Mizoguchi R., 1998; Staab S. et al., 2001) nous offre une approche de développement d'ontologies en six étapes : 1) analyser les connaissances que l'on prend pour acquis (passer de l'implicite à l'explicite) ; 2) découvrir les hypothèses cachées ; 3) formuler et formaliser les concepts fondamentaux ; 4) formuler et formaliser les relations ; 5) conceptualiser le processus du système lui-même ; 6) formuler et formaliser le système.

– La **méthode de Uschold et King** (Uschold M. & King M., 1995) est basée sur l'expérience du développement de *Enterprise Ontology*, qui est une ontologie pour les processus de modélisation d'une entreprise. La méthodologie se présente comme suit : 1) identification du but et de la portée de l'ontologie ; 2) construction de l'ontologie comprenant : a) capture de l'ontologie, b) programmation et c) intégration des ontologies existantes ; 3) évaluation de l'ontologie ; 4) Documentation de l'ontologie. L'application *Enterprise Toolset* a été créée en suivant cette méthode.

– La **méthode de Grüninger et Fox** (Grüniger M. & Fox M.S., 1995) est basée sur l'expérience du développement de *TOVE (Toronto Virtual Enterprise) project Ontology*, qui est une ontologie dans le domaine de la modélisation des activités et des processus d'affaire. La méthodologie se compose de 6 étapes : 1) capturer les scénarios motivants; 2) formuler les questions de compétence, de façon informelle; 3) spécification de la terminologie de l'ontologie en langage naturel : a) obtenir une terminologie informelle, b) spécification d'une terminologie formelle; 4) formuler les questions de compétence, de façon formelle, en utilisant la terminologie de l'ontologie; 5) spécification des axiomes et des définitions pour les termes de l'ontologie en langage naturel ; 6) établir des conditions pour caractériser la complétude de l'ontologie.

– La **méthode KACTUS** est conditionnée par le développement d'applications. Par conséquent, chaque fois qu'une application est construite, l'ontologie qui représente la connaissance requise pour l'application est construite. Les applications qui ont été créées sont dans le domaine du diagnostic d'erreur dans les réseaux électriques. Cette ontologie peut-être développée en réutilisant d'autres ontologies et peut aussi être intégrée dans de futures ontologies (Bernaras A. et al., 1996; The KACTUS Booklet version 1.0. , 1996). La méthode comprend principalement trois étapes : 1) spécification de l'application ; 2) design préliminaire basé sur les catégories ontologiques de haut-niveau, appropriées ; 3) raffinement et structuration de l'ontologie.

– La **méthode METHONTOLOGIE** (Gomez-Perez A., 1996) permet la construction d'ontologies en ingénierie des connaissances. Elle a été proposée pour la construction d'ontologies par la FIPA (*Foundation for Intelligent Physical Agent*), qui favorise l'interopérabilité entre les systèmes multi-agents. La méthode comprend deux étapes : 1) identification du processus de développement de l'ontologie avec a) activités de gestion de projet, b) activités orienté-développement, et c) activités d'aide ; 2) cycle de vie de l'ontologie basé sur des prototypes évolutifs. Plusieurs ontologies ont été créées à partir de cette méthode dont les plus connues sont : 1) *CHEMICALS*, qui contient des connaissances dans le domaine de la chimie ; Et 2) *(KA)²*, qui contient des connaissances (scientifiques, sujets de recherche, projets, universités, etc.) à propos de la communauté scientifique dans le domaine de l'acquisition des connaissances. De là, les trois principales applications créées sont : 1) *(Onto)2Agent*, 2) *Chemical OntoAgent*, et 3) *Ontogeneration*.

– La **méthode SENSUS** (Swartout B. et al., 1997) est appliquée à la linguistique (traitement du langage naturel) et a été développée pour fournir une structure conceptuelle pour le développement des traducteurs (machine). Les ontologies créées à partir de cette méthode sont du domaine de la planification des campagnes militaires

d'aviation et incluent des ontologies sur les armes, sur les systèmes en général, sur le carburant, etc. Sur la base de *SENSUS*, des applications à base de connaissances pour le domaine de la planification de campagnes d'aviation ont été développées. Ceci inclut un outil, le « *Strategy Development Assistant* » qui fournit de l'aide pour le développement de plans intelligents et guidés.

Les méthodologies de (Uschold M. & King M., 1995), (Gruninger M. & Fox M.S., 1995), (Bernaras A. et al., 1996) et de (Fernandez M. et al., 1997; Fernandez-Lopez M. et al., 1999; Gomez-Perez A., 1996, 1998) ont fait l'objet vers la fin des années 90¹⁵, d'une étude permettant d'analyser les méthodologies de l'ingénierie ontologique. Les critères d'analyse ayant servis à l'étude seront présentés dans la section suivante. (Fernandez Lopez M., 1999).

III.3.3. Critères pour la classification des méthodes

Ces critères sont au nombre de dix. Les cinq premiers montrent les points généraux des méthodes, tandis que les cinq suivants montrent la maturité de chaque méthodologie.

– **Héritage de l'ingénierie des connaissances (C1)** : Considère l'influence de l'ingénierie des connaissances traditionnelle sur la méthodologie en question.

– **Détail de la méthodologie (C2)** : Considère si les activités et techniques proposées par la méthodologie sont bien spécifiées.

– **Recommandations pour la formalisation de la connaissance (C3)** : Considère le formalisme ou les formalismes proposés pour représenter la connaissance (logique, *frames*, etc.).

– **Stratégies pour construire des ontologies (C4)** : Discussion le choix de stratégies pour développer des ontologies :

1. Dépendante de l'application : l'ontologie est construite sur les bases d'une base de connaissances, au moyen d'un processus d'abstraction.
2. Semi-dépendante de l'application : divers scénarios possibles de l'utilisation de l'ontologie sont identifiés à l'étape des spécifications.
3. Indépendante de l'application : Le processus est complètement indépendant des utilisations pour lesquelles l'ontologie sera mise dans les systèmes à base de connaissance, les agents, etc.

– **Stratégies pour identifier les concepts (C5)** : Les stratégies possibles sont : du plus concret au plus abstrait (*Bottom-Up*), du plus abstrait au plus concret (*Top-Down*) ou du plus approprié au plus abstrait et plus concret (*Middle-Out*).

– **Cycle de vie recommandé (C6)** : Analyse si la méthodologie propose implicitement ou explicitement un cycle de vie.

¹⁵ A titre de comparaison seulement, cette analyse est prise en compte dans la grille de classification des méthodes les plus connues, présentée dans la section III.3.4.

– **Différences entre la méthodologie et IEEE 1074-1995¹⁶** (C7) : Discute des processus et activités proposés par le standard IEEE 1074-1995 qui ne sont pas mentionnés dans la méthodologie.

– **Techniques recommandées** (C8) : Spécifie si des techniques particulières sont proposées pour réaliser les différentes activités dont la méthodologie est composée.

– **Quelles ontologies ont été développées en utilisant la méthodologie**, et quels systèmes ont été construits en utilisant ces ontologies (C9) : Les ontologies et les systèmes développés seront listés et légèrement détaillés.

– **Construction collaborative et distributive** (C10) : Dans quelle mesure les méthodologies permettent à différents groupes, à différents endroits de travailler ensemble pour construire des ontologies. (Jusqu'ici, aucune publication n'a mentionné en quoi elle contribue à cet égard).

III.3.4. Classification des méthodes précédentes

Pour finir et compte tenu de ce qui a déjà été dit, nous proposons un tableau récapitulatif de la classification des méthodes précédemment citées (voir tableau 1), en fonction des critères tirés de (Fernandez M., 1999). D'autres critères viennent compléter la classification.

¹⁶ Voir section III.2.1.

Méthodes analysées	Héritage de l'ingénierie des connaissances	Niveau de détail de la méthode	Formalisme de représentation	Stratégie d'ingénierie ontologique	Stratégie d'identification des concepts	Cycle de vie	Différences par rapport à IEEE 1074-1995	Techniques pour réaliser les activités	Ontologies et/ou outils développés	Construction collaborative et distributive	Domaine modélisé
Paquette (2002)	Grand, systèmes à base de conn.	Inconnu	XML, RDF(s)	Semi dépendante de l'application	Inconnu	Inconnu	Inconnu	Inconnu	Onto TA (en cours) / MOT	Pas documenté	Télé-apprentissage
Staab (2001)	Inconnu	Moyen	XML	Semi dépendante de l'application	Inconnu	Inconnu	Inconnu	Inconnu	Text-To-Onto, OntoEditor	Pas documenté	Inconnu
Mizoguchi (1998)	Grand, systèmes à base de conn.	Très peu	LISP, XML, RDF(s), MDB, DAML+OIL	Indépendante de l'application	Pas spécifié	Aucun	Inconnu	Inconnu	Oil Plant / HOZO	Pas documenté	Plusieurs Usines
SENSUS (Swartout, 1997)	Aucun, coupe avec la tradition	Moyen	Réseaux sémantiques	Semi dépendante de l'application	Pas spécifié	Doit être détaillé	Processus de pré-développement et activités manquants	Inconnu	Strategy Development Assistant	Pas documenté	Plusieurs domaines
METHONTOLOGY (Gomez, 1996)	Grand, systèmes à base de conn.	Beaucoup	Liberté du choix	Indépendante de l'application	Middle-out	Prototype en évolution	Processus et activités manquants	Quelques activités manques	(KA)2, (Onto)2Agent, Ontogeneration	Pas documenté	Plusieurs domaines
KACTUS (Bernaras, 1996)	Grand, systèmes à base de conn.	Très peu	Aucun en particulier	Dépendante de l'application	Top-down	Aucun	Processus et activités manquants	Inconnu	Ontology for diagnostic of faults	Pas documenté	Electrical Network
Grüniger & Fox (1995)	Petit, systèmes à base de conn.	Peu	Logique	Semi dépendante de l'application	Middle-out	Doit être détaillé	Processus et activités manquants	Inconnu	TOVE, Enterprise Design Workbench	Pas documenté	Enterprise
Uschold & King (1995)	Partiel, systèmes à base de conn.	Très peu	Aucun en particulier	Indépendante de l'application	Middle-out	Aucun	Processus et activités manquants	Inconnu	Enterprise Ontology, Enterprise Toolset	Pas documenté	Entreprise

Tableau 1. *Classification des méthodes les plus connues*

III.4. Environnements et outils d'ingénierie ontologique

Un ensemble d'environnements de modélisation ontologique ont été développés afin de systématiser l'ingénierie des ontologies. Selon Gómez-Pérez (Gomez-Perez A., 2000), les plus connus sont : *Ontolingua* (Farquhar A., Fikes R., & Rice J., 1996), *Ontosaurus* (Swartout B. et al., 1997), *ODE* (Blazquez M., Fernandez M., Garcia-Pinar J. M., & Gomez-Perez A., 1998), (Fernandez M., Gomez-Perez A., Pazos J., & Pazos A., 1999) 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*¹⁷ de l'Université d'Amsterdam (Duineveld A. J., Stoter R., Weiden M. R., Kenepa B., & Benjamins V. R., 1999). D'autres outils commencent à prendre de l'importance : Protégé-2000 (Eriksson H., Ferguson R., Shahar Y., & Musen M. A., 1999), *Hozo* (Mizoguchi R. et al.), et *MOT* (Paquette et al.). Certains outils non compris dans l'analyse actuelle sont décrits dans (Psyché V., Mendes O. et al., 2003). Dans notre présentation des outils, nous comptons nous attarder sur les deux derniers mentionnés pour les présenter plus en détail :

– **HOZO**, du MizLab de l'Université d'Osaka; Hozo est un environnement composé d'une interface graphique, d'un éditeur d'ontologie et d'un serveur d'ontologies et de modèles, dans une architecture client-serveur. Il est développé en Java, et l'éditeur est développé en applets Java afin de pouvoir fonctionner comme un client via l'Internet. Hozo gère les ontologies et les modèles pour chaque usager. Chacun peut lire et copier toutes les ontologies et les modèles présents dans Hozo, mais ne peut pas modifier ceux développés par d'autres. Les modèles sont construits en choisissant et en « instanciant » des concepts de l'ontologie, puis en connectant les instances. La vérification de la consistance du modèle se fait en utilisant les axiomes définis dans l'ontologie, puis le modèle est prêt à être utilisé par d'autres agents (humains, programmes). Le modèle construit est disponible en format LISP, Text, XML/DTD, RDF, DAML+OIL qui peut être interprété par une machine. Hozo gère l'exportation des ontologies et modèles en format XML, RDF, DAML+OIL.

– **MOT** (Modélisation par Objets typés), du Centre de recherche LICEF de la Télé Université du Québec : MOT est un outil de construction et de représentations graphiques servant à exprimer sous forme de modèles, les connaissances de divers champs de savoir. Ces modèles rendent compte de façon dynamique d'un ensemble de connaissances, pouvant être nombreuses et complexes d'un domaine particulier et des liens qui existent entre ces connaissances. MOT est doté de fonctionnalités d'édition graphique sophistiquées. Il permet de créer avec aisance des graphes représentant les divers types de connaissances et de liens, faisant ressortir la nature et la structure du domaine visé par un système d'apprentissage. De plus, il permet d'associer des modèles aux connaissances et de déployer les modèles sur autant de niveaux que nécessaires, de filtrer un modèle pour ne retenir que certains types de connaissances ou de liens, de créer automatiquement des modèles du voisinage d'une connaissance en y regroupant toutes les connaissances à une

¹⁷ WonderTools est un acronyme pour : Web-based Ontology DEscriptions and Research of its TOOLS.

certaines distances d'une connaissance donnée et, finalement d'associer à une connaissance des documents de tous types appliquant la norme OLE tels les traitements de textes, les présentateurs de diapositives, les fureteurs Web, les tableurs et les bases de données. Cet outil a été développé pour un environnement informatique Windows. Les notions théoriques (types de modèles, de connaissances, de liens etc.), sont décrites dans la Technique de modélisation des connaissances associée à la méthode MISA (Méthode d'ingénierie de systèmes d'apprentissage) développée aussi au LICEF.

– **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'utilisateur d'éditer l'ontologie. Des traducteurs du LOOM en Ontolingua, KIF, KRSS et C++, ont été développés.

– **Protégé-2000**, du département d'Informatique Médicale de l'université Stanford; Protégé-2000 successeur de ProtégéWin, est un outil, une plate-forme 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 l'exploration collaborative, la création et l'édition d'ontologies sur le Web.

III.4.1. Définition de critères d'évaluation

En partant des critères d'évaluation du logiciel (Kabel S. C., 1997), nous avons défini des critères de nature ontologique pour évaluer ces environnements de développement. Nous les avons utilisés pour évaluer trois des sept environnements précédents. Ces environnements ont été sélectionnés pour leur potentiel à rencontrer les critères ontologiques définis par nous et parce qu'ils présentent un intérêt pour la construction d'ontologies selon les vues du projet DIVA-BCTA.

L'évaluation des environnements se fait en trois volets : le volet Général, le volet Ontologie et le volet Coopératif, que nous avons présenté dans le tableau 2 ci-après. La

dimension générale traite des questions d'ergonomie du système et de son interface personne-machine. La dimension ontologique traite des fonctionnalités liées à la construction de l'ontologie en accord avec les principes et les contraintes qu'une telle démarche impose, ainsi que du niveau d'aide offert par l'environnement. La dimension collaborative traite des fonctionnalités qu'offre l'environnement pour favoriser le travail en équipe et même à distance.

Tableau 2. L'évaluation des environnements d'ingénierie ontologique

Critères d'évaluation	OE	Protégé 2000	MOT
1. Général			
1.1 Clarté de l'interface	+	+	+
1.2.1 Consistance de l'interface	0	+	+
1.2.2 Consistance avec le GUI de l'OS	-	+	+
1.3 Vitesse de mise à jour	+	+	+
1.4 Vue d'ensemble	+	+	+
1.5 Signification des commandes	+	+	+
1.6 Identification des modifications	0	0	+
1.7 Stabilité	-	+	+
1.8 Installation locale	OUI	OUI	OUI
1.9 Système d'aide	N/A	+	+
2. Ontologie			
2.1 Héritage multiple	NON	OUI	oui (représenter l'héritage multiple) / non (contrôler)
2.2 Décomposition	+	-	+
2.3.1 Vérification de la consistance	+	+	externe - incomplète
2.3.2 Niveau de vérification	OUI	0	externe - incomplète
2.4 Exemples d'ontologies	+	+	A/S
2.5 Réutilisation d'ontologies	A/S	+	+
2.6 Aide ontologique	N/A	+	-
2.7 Représentation graphique	+	-	+
2.8 Langage de représentation	ontology-oriented	frame-oriented	generic model oriented
2.9 Présence du concept de "rôle"	+	-	+

Mis en forme

Mis en forme

2.10 Modèle conforme à l'ontologie	+	-	Fact system = Ont. Model
3. Coopération			
3.1 Édition synchrone	NON	-	NON
3.2 Lecture seulement d'ontologies	A/S	-	NON
3.3 Navigation en lecture seulement	A/S	N/A	lecture et modification
3.4 Reconnaissance des modifications	A/S	-	Nécessite marquage
3.5.1 Facilité d'exportation de l'ontologie	+	-	+
3.5.2. Facilité d'exportation du modèle	+	-	+
3.6 Facilité d'importation	-	-	N/A
3.7 Possibilité d'annotation	OUI	+	OUI
3.8 Accessibilité via un serveur web	OUI	OUI	OUI
3.9 Dépendance multiple entre ontologies	A/S	NON	NON
3.9.1 Par héritage	A/S	NON	NON
3.9.2 Par référence	A/S	NON	NON
3.10 Modification par dépendance	A/S	NON	OUI

Légende : (+) pour bien, (0) pour raisonnable, (-) pour pas bien,
(?) pour ignoré, (A/S) pour *available soon* et (N/A) pour *non available*

Les quatre autres environnements de développement qui vont être présentés par la suite, ont fait l'objet d'une évaluation traditionnelle selon (Kabel S. C., 1997). Cette évaluation a été effectuée par une équipe de chercheurs du département de Sciences Sociales Informatiques de l'université d'Amsterdam¹⁸. Elle est présentée à titre indicatif seulement et pour rendre compte du manque de critères pour l'évaluation des fonctionnalités ontologiques de ces environnements. Cela laisse supposer qu'à l'époque (1999) de cette évaluation, la communauté scientifique n'avait peut-être pas encore reconnu la distinction fondamentale qui existe entre les environnements de développement de type ontologique, et les autres environnements de conception de modèles de connaissance. Le résultat de l'étude est présenté dans le tableau 3 ci-dessous :

Tableau 3. *L'évaluation des environnements d'ingénierie ontologique*

¹⁸ WonderTools website: <http://www.swi.psy.uva.nl/wondertools/>

Critères d'évaluation	Ontolingua	WebOnto	OntoSaurus	ODE
1. Général				
1.1 Clarté de l'interface	-	+	-	-
1.2 Consistance de l'interface	+	+	+	+
1.3 Vitesse de mise à jour	-	0	-	+
1.4 Vue d'ensemble	0	+	+	-
1.5 Signification des commandes	+	+	+	0
1.6 Identification des modifications	0	0	0	0
1.7 Stabilité	+	+	+	-
1.8 Installation locale	NON	NON	OUI/NON	OUI
1.9 Système d'aide	+	-	+	-
2. Ontologie				
2.1 Héritage multiple	OUI	OUI	OUI	OUI
2.2 Décomposition	+	+	+	+
2.3.1 Vérification de la consistance	+	+	+	+
2.3.2 Niveau de vérification	?	0	?	+
2.4 Exemples d'ontologies	+	+	+	0
2.5 Réutilisation d'ontologies	+	+	+	-
2.6 Aide ontologique	+	+	+	+
2.7 Représentation graphique	-	-	-	+
3. Coopération				
3.1 Édition synchrone	+	+	+	-
3.2 Lecture seulement d'ontologies	+	+	+	-
3.3 Navigation en lecture seulement	+	+	+	N/A
3.4 Reconnaissance des modifications	-	-	-	-

Mis en forme

3.5 Facilité d'exportation	+	-	+	0
3.6 Facilité d'importation	+	-	+	+

Légende : (+) pour bien, (0) pour raisonnable, (-) pour pas bien,
(?) pour ignoré, (A/S) pour *available soon* et (N/A) pour *non available*

Mis à part le manque évident de fonctionnalités « ontologiques » avancées de la plupart des environnements d'édition ontologique, notamment en matière de gestion de la consistance et de la lisibilité de l'ontologie, on constate que l'autre problématique de taille concerne la quasi-inexistence de fonctionnalités pour la construction collaborative d'ontologies. Ce sont deux problèmes pour lesquels les concepteurs d'outils devraient apporter des solutions.

III.5. Conclusion

III.5.1. Rôles de l'ingénierie ontologique

L'ingénierie ontologique des systèmes à base de connaissances offre plusieurs avantages dont les principaux sont énumérés ci-après :

1. Partager les connaissances ; partager entre les humains la connaissance qui a été accumulée jusqu'à présent et partager cette connaissance avec les systèmes artificiels. En effet, il faut faire en sorte que les humains et les systèmes se comprennent. Ceci rejoint le mouvement du web sémantique, qui veut que les systèmes servent de médiateurs entre les humains.
2. Permettre la réutilisation ; assurer la réutilisation des ontologies et des connaissances déjà existantes. Cette qualité justifie l'investissement que l'ingénierie ontologique a nécessité. Le vocabulaire de l'ontologie doit être le plus standard possible et l'expression sémantique la plus partagée.
3. Permettre l'interopérabilité.
4. Simplifier la conception ; mettre en place la connaissance partagée pour soutenir la conception des systèmes.
5. Ajouter des fonctionnalités intelligentes ; les outils devraient avoir la connaissance à propos du modèle.

III.5.2. Réflexion, enjeux et perspectives

Pour finir, parlons de quelques problématiques liées à l'ingénierie ontologique. On peut se questionner, par exemple, sur les modes d'alimentation possibles de l'ontologie. En effet, les utilisateurs (expert en ingénierie ontologique, concepteur de cours, formateurs, chercheurs...) de l'ontologie ne sont pas forcément des experts en informatique ni familiers avec les éditeurs d'ontologie. Il y a lieu d'élaborer des

processus pour faire le pont entre eux et les informaticiens afin d'alimenter efficacement l'ontologie.

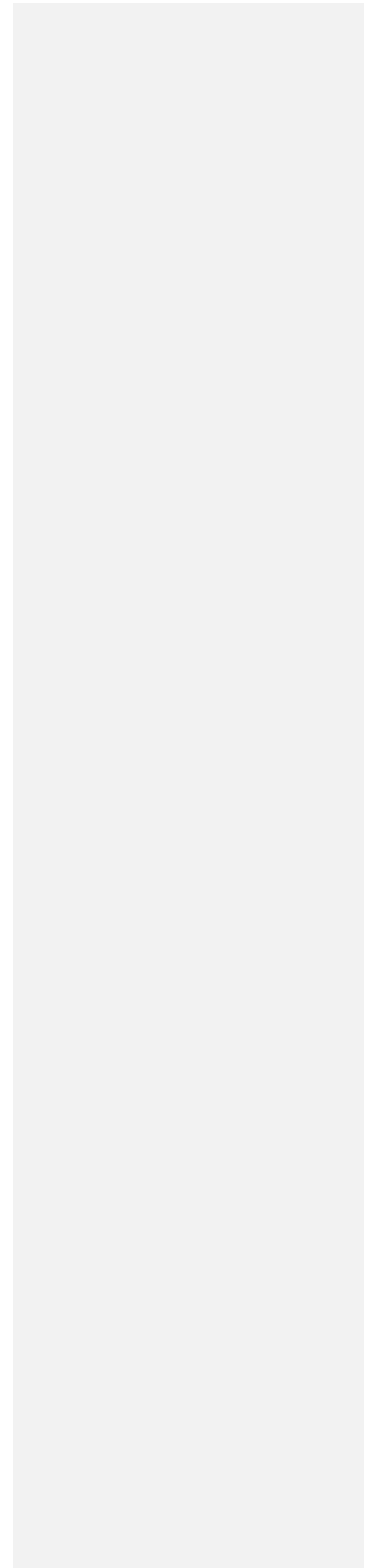
De même, une question d'interopérabilité se présente. Pourra-t-on implanter aisément une plate-forme de développement ontologique « standard » dans un système à base de connaissances déjà existant ? Et cette plate-forme pourra-t-elle offrir les fonctions tant attendues pour faciliter la consistance, la lisibilité et la collaboration tout au long du processus d'ingénierie ? Notamment, la lisibilité pourra-t-elle être améliorée par des outils de représentation textuelle ou graphique ?

Nous avons posé ci-dessus quelques-uns des grands défis à l'ingénierie ontologique. Nous pensons qu'il n'existe pas de réponse toute faite car chaque projet d'ingénierie est différent. Nous sommes conscients qu'une bonne ingénierie doit être planifiée. Selon Mizoguchi et Bourdeau, un plan de route devrait être dressé pour permettre de relever les défis de l'ingénierie ontologique. (Mizoguchi R. & Bourdeau J., 1999, 2000).

PARTIE IV

**APPLICATION : ONTOLOGIE DU
TELEAPPRENTISSAGE**

(RÉSULTATS PRÉLIMINAIRES
ET
QUESTIONS DE RECHERCHE)



IV.1. Résultats préliminaires

Cette section présente une première tentative de modéliser le domaine du téléapprentissage. Elle s'inscrit dans un projet visant à concevoir un système à base de connaissances et une banque de ressources en téléapprentissage (projet DIVA du CIRTA). Le rôle de l'ontologie y est tant de modéliser le domaine du téléapprentissage, de servir de système d'indexation et de classification aux ressources (objets) pédagogiques, que de fournir des réponses aux requêtes des utilisateurs de la base (Bourdeau J., Paquette G., & Psyché V., 2003; Paquette G. et al., 2002; Paquette G. et al., 2003). La méthodologie de développement inclut des cas d'utilisation qui permettent de spécifier le but de l'ontologie et ainsi d'orienter son développement. Ces cas d'utilisation sont extraits du Campus Virtuel (Paquette G., Ricciardi-Rigault C., Aubin C., & Paquin C., 1996). D'autres cas d'utilisation et des questions de compétences seront définis par la suite à partir d'une étude d'usage de la BCTA.

Le développement de l'ontologie s'appuie sur la définition du téléapprentissage adoptée par le Centre Interuniversitaire de Recherche en Télé-Apprentissage (CIRTA), ainsi que des catégories du Campus virtuel du LICEF (Paquette G., 2001; Paquette G. et al., 2003; Paquette G. et al., 1996). Nous pouvons dire qu'en quelque sorte, cette définition constitue notre engagement ontologique, c'est-à-dire, notre vision du téléapprentissage et l'engagement que nous prenons de représenter ce domaine conformément aux idées énoncées dans la définition.

Le CIRTA définit le téléapprentissage en deux temps. Premièrement, le téléapprentissage est situé comme domaine : « Le terme téléapprentissage est utilisé ici dans son sens le plus large et fait référence aux systèmes de formation fondés sur les sciences cognitives, les théories de l'apprentissage, les technologies de l'information et de la communication, dont les réseaux informatiques. ». Dans un deuxième temps, les composantes essentielles du télé-apprentissage sont énoncées : « On définit le téléapprentissage comme un processus d'acquisition d'informations, de construction de connaissances et de développement de savoir-faire et d'habiletés, qui se réalise dans un environnement informatisé supporté par des réseaux, par l'intermédiaire d'interactions avec le système ou d'échanges interpersonnels répartis dans le temps et l'espace » (www.cirta.org).

Ces deux temps d'une définition sont repris, spécifiés et structurés dans l'ontologie. Pour la compléter, on y inscrit les catégories du Campus virtuel, soit les acteurs (concepteurs, apprenants, tuteurs, gestionnaires), ressources (pédagogiques, médiatiques, logistiques), et les opérations (conception, apprentissage, tutorat, gestion).

IV.1.1. Ingénierie ontologique au niveau 1

La méthode d'ingénierie ontologique que nous avons utilisée, est basée sur celle du MizLab (Mizoguchi R., 1998). Ce centre de recherche rattaché au département des systèmes de connaissance de l'Institut de la Recherche Scientifique et Industrielle (ISIR) à l'Université d'Osaka au Japon, est reconnu pour son expertise en ingénierie ontologique. Cette méthode suggère trois niveaux (voir section II.3.3) d'ingénierie

ontologique que l'on peut identifier comme étant : 1) le niveau conceptuel, 2) le niveau formel, et 3) le niveau opérationnel. Tout au long du processus d'ingénierie ontologique, nous avons enrichi la méthode d'éléments ad hoc. Nous présentons dans cette section, le niveau conceptuel; les niveaux 2 et 3 feront l'objet d'un autre rapport.

L'ingénierie au niveau 1 est la phase d'articulation du domaine d'intérêt. Ses grandes lignes, proposées par Mizoguchi (Mizoguchi R., 1998), sont les suivantes: 1) étudier entièrement le domaine que vous voulez représenter, même ses aspects les plus évidents, 2) découvrir les hypothèses cachées, 3) formuler et formaliser les concepts fondamentaux et 4) formuler et formaliser les relations entre ces concepts.

IV.1.2. Un processus itératif d'ingénierie

En partant des hypothèses (Noy N. F. & McGuinness D. L., 2000), nous avons entamé le processus itératif d'ingénierie au niveau 1. D'un point de vue pratique, ce processus itératif se résume de la façon suivante : 1) organisation d'une collection de termes sur le téléapprentissage; 2) l'obtention de concepts; 3) l'identification des hiérarchies « is-a » classifiant ces concepts; 4) l'établissement de définitions de ces concepts; 5) la description de petites relations afin d'empêcher toute interprétation inattendue des concepts du téléapprentissage. Le processus prend fin lorsque l'on estime avoir atteint un niveau de granularité suffisant.

IV.1.3. Descriptif des éléments de la méthodologie

Les concepts primitifs retenus pour cette ontologie apparaissent dans une hiérarchie (arbre ontologique) présentée à la figure 3.

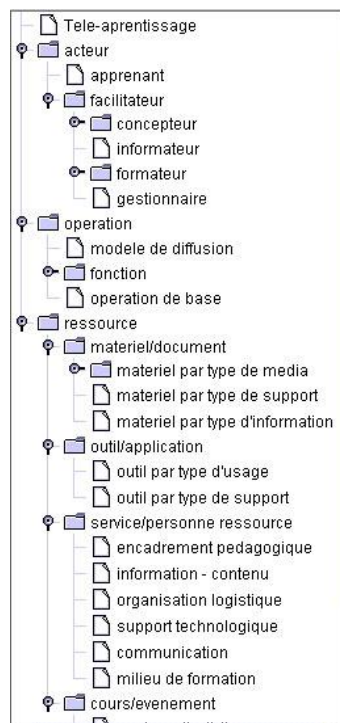


Figure 4. Une partie de la hiérarchie de concepts du téléapprentissage

Cette hiérarchie de type « is-a » doit mettre en présence tout ce qui existe dans le téléapprentissage. On y retrouve les taxonomies d'acteurs, d'opérations et de ressources, que nous avons déjà identifiées comme étant des primitives au même titre que le concept du téléapprentissage lui-même.

La hiérarchie « is-a » est une hiérarchie qui, en lecture « top-down », va des concepts les plus abstraits ou généraux, aux concepts les plus concrets ou spécifiques. Ainsi, dans la hiérarchie des acteurs, « acteurs » est un concept plus général que « facilitateurs », qui lui-même est plus général que « concepteurs » ou « formateurs ». Un exemple de concept très spécifique serait « médiateurs ».

La hiérarchie « is-a » apparaît à la figure 4, sous une autre forme, celle d'une proposition graphique de l'ontologie primitive (non raffinée) du téléapprentissage. Dans cette fenêtre, on voit également apparaître un autre type de hiérarchie entre concepts.

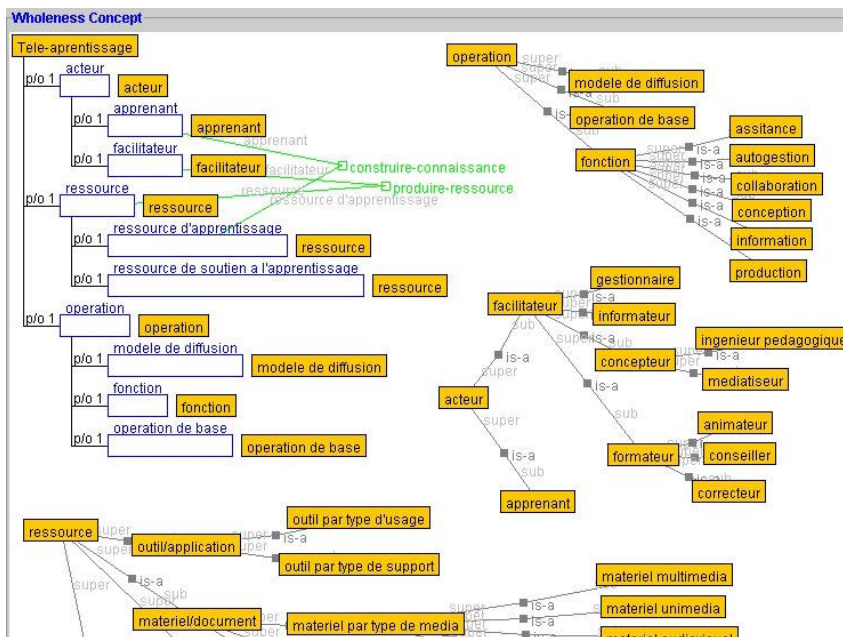


Figure 5. Une partie de l'ontologie centrale du téléapprentissage

Il s'agit de celle qui exprime la relation « part-of » (ou « p/o » sur la figure 4) entre un concept et ses parties ou composants. Les parties d'un même concept sont aussi des concepts, qui co-existent dans un contexte donné pour donner une signification au concept entier. Autrement dit, les composants présentes dans ce type de hiérarchie, sont toutes nécessaires à la définition du concept entier dont elles dépendent. D'après Kosaki, (Kozaki K., Kitamura Y., Ikeda M., & Mizoguchi R., 2001), ceci doit se traduire dans un modèle (instance) de l'ontologie par le fait que, lorsqu'une instance d'un concept entier est créée, alors une instance de chacune de ses parties doit être générée automatiquement.

Dans le cadre du projet DIVA, nous utilisons la relation « part-of » pour signifier que tout processus fondamental de téléapprentissage doit comprendre un ou plusieurs acteurs, une ou plusieurs ressources et une ou plusieurs opérations, chacun de ces concepts nécessitant également un certain nombre de composantes pour pouvoir exister dans le contexte du téléapprentissage. Nous exprimons de cette façon les conditions nécessaires et suffisantes, de l'existence de toute entité dans le monde d'intérêt.

Nous venons de décrire les deux types de relations primordiales existant entre les concepts d'une ontologie, à savoir la relation « is-a » et la relation « part-of ». D'autres types de relations peuvent être créés entre deux concepts. Par exemple, dans le contexte du téléapprentissage nous avons créé une relation intitulée « construire-connaissance ». La figure 5, illustre cette relation qui est une relation de type « participate-in » (ou « p/i » dans la figure 5), entre le sous-concept « apprenant » du concept « acteur » et le sous-concept « ressource d'apprentissage » du concept « ressource ». Cette relation exprime la participation d'un apprenant et d'une ressource d'apprentissage dans l'opération de construction d'une connaissance.



Figure 6. Un exemple de relation entre concepts primitifs du télé-apprentissage

IV.2. Poursuite du travail

Nous avons posé les bases de l'ingénierie ontologique du téléapprentissage. Elle a été réalisée selon la méthode proposée par Mizoguchi et al. (Mizoguchi R. et al., 2000), avec l'éditeur Hozo qui prend en charge la vérification de la consistance. Un travail similaire a été entamé dans (Psyché V., Mizoguchi R., & Bourdeau B., 2003). Le résultat obtenu est une hiérarchie regroupant une collection de concepts primitifs, avec leurs définitions, leurs propriétés, leurs relations (voir figures 3, 4 et 5), et constitue ainsi une ontologie centrale (ou *core*), une représentation du monde du téléapprentissage. Ce résultat demande à être validé et complété.

Pour ce faire nous prévoyons, en suivant la proposition de (Bourdeau J. et al., 2003; Paquette G. et al., 2003) d'appliquer un processus d'ingénierie ontologique complet soit : 1) Compléter le travail entamé au niveau conceptuel (niveau 1) ; puis 2) Poursuivre le processus d'ingénierie au niveau formel (niveau 2) et au niveau opérationnel (niveau 3), et pour finir 3) Documenter entre autre, la démarche d'ingénierie. De façon plus détaillée, les principales étapes que nous entreprendrons sont les suivantes :

- 1) Niveau conceptuel : a) Développer l'ontologie du domaine du TA, jusqu'à ce qu'elle atteigne un niveau de granularité acceptable pour le CIRTA (de l'ordre quelques centaines de concepts) ; b) Alimenter le développement de l'ontologie en fonction des travaux de l'équipe de recherche sur les usages (énoncé des besoins, cas/scénarios d'utilisation, questionnaires de compétence) ; c) raffiner cette ontologie

(développement de relations non taxonomiques, prise en compte des standards LOM, IMS, CANCORE, ...) jusqu'à complétude ; d) Construire une ontologie de la tâche. Ce travail sera fait à partir des modèles de tâches des acteurs en TA et des modèles de contextes de tâches en TA fournis par l'équipe de recherche sur les usages, tout en tenant compte des travaux de l'équipe de recherche sur IMS-LD.

- 2) Niveau formel : a) Formaliser les ontologies ; b) Définir un format de méta-données basé sur les standards du Web sémantique (XML, DAML, ...). Niveau opérationnel : c) Élaborer une méthode d'implantation et d'exploitation des ontologies du domaine et de la tâche dans un système à base de connaissances (SBC) ; d) Construire une maquette (spécifications d'un prototype) pour l'exploitation des ontologies dans un SBC.
- 3) Documentation de la démarche à chaque niveau : a) Décrire le processus d'ingénierie ontologique ; et b) prendre des notes pour la spécification d'un éditeur d'ontologies.

La poursuite du travail de recherche d'un point de vue globale c'est-à-dire dans le contexte du projet DIVA-BCTA dans son ensemble concerne principalement : 1) l'arrimage de l'ontologie du domaine et de l'ontologie de la tâche à la banque et au gestionnaire de ressources déjà existants dans plate-forme Explor@2 du centre LICEF, 2) la création d'un agent de recherche « informé » des ontologies du domaine et de la tâche pour effectuer des recherches dans la BCTA.

IV.3. Questions de recherche

Tout au long de ce rapport, nous avons présenté nos résultats préliminaires. Nous poursuivons la phase de construction jusqu'au niveau 3 et anticipons celle de maintenance de l'ontologie. Ce qui nous amène à formuler quelques questions de recherche suivantes :

- Devrions-nous utiliser un système de requêtes (*queries*) à l'ontologie pour la valider au niveau 2 ?
- Comment allons nous évaluer la faisabilité de l'ingénierie ontologique jusqu'à l'implantation du niveau 3 ?
- Concrètement, que peut vraiment apporter l'ingénierie ontologique aux SBC et précisément aux systèmes de formation ?

RÉFÉRENCES

- Arpirez J., Gomez-Perez A., Lozano A., & 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. (1996). *Herméneutique matérielle et artéfacture : des machines qui pensent aux machines qui donnent à penser. Critique du formalisme en intelligence artificielle*. Unpublished thèse de doctorat, École polytechnique, Paris.
- 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.
- Bernaras A., Laresgoiti I., & Corera J. (1996). *Building and Reusing Ontologies for Electrical Network Applications*. Paper presented at the Proc. of the 12th ECAI96.
- Biébow M., & Szulman S. (1999). *TERMINAE: A linguistics-based tool for the building of a domain ontology*. Paper presented at the EKAW.
- Blazquez M., Fernandez M., Garcia-Pinar J. M., & 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.
- Boaud J., Bachimont D., Charlet J., & Zweigenbaum P. (1995). *Methodological principles for structuring an ontology*. Paper presented at the IJCAI95 Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing, Montréal, Canada.
- Borgo S., Guarino N., & 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., Paquette G., & Psyché V. (2003). *Vers une ontologie et une base de connaissances en télé-apprentissage*. Paper presented at the ACFAS 2003, Rimouski, Canada.
- Breuker J., & de Velde W.V. (1994). *The Common KADS Library for Expertise Modelling*. Amsterdam: IOS Press.

- Chandrasekaran B., Josephson J. R., & Benjamins R. (1998). *Ontology of tasks and methods*. Paper presented at the ECAI Workshop.
- Couturat L. (1903). *Opuscles et fragments inédits de Leibniz*. Paris.
- Davis R., Shrobe H., & Szolovits P. (1993). What Is a Knowledge Representation? *AI Magazine*.
- Davis R. Shrobe H. and Szolovits P. (1993). What is a knowledge representation ? *AI Magazine*, 14:1, 17-33.
- 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., & Benjamins V. R. (1999). WonderTools? A comparative study of ontological engineering tools.
- Durozoi Roussel. (1997). *Dictionnaire de philosophie*. France: Fernand Nathan.
- École J. (1961). La Philosophia prima sive Ontologia de Christian Wolff: Histoire, doctrine et méthode. *Giornale di metafisica*, 1, 114-125.
- Encyclopaedia Universalis. (2000). *Dictionnaire de la philosophie*. Paris: A. Michel, Encyclopaedia Universalisc2000.
- Eriksson H., Ferguson R., Shahar Y., & Musen M. A. (1999). *Automatic Generation of Ontology Editors*. Paper presented at the KAW99.
- Farquhar A., Fikes R., & 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. (1999). *Overview of Methodologies for Building Ontologies*. Madrid: Laboratorio de Inteligencia Artificial, Facultad de Informatica, Universidad Politecnica de Madrid.
- Fernandez M. (1999). Overview of Methodologies for Building Ontologies.
- Fernandez M., Gomez-Perez A., & Juristo N. (1997). *Methontology: From Ontological Art Toward Ontological Engineering*. Paper presented at the Spring Symposium Series on Ontological Engineering. AAAI97, Stanford, USA.
- Fernandez M., Gomez-Perez A., Pazos J., & Pazos A. (1999). Building a Chemical Ontology Specifications. *IEEE Intelligent Systems*, January-February, 37-46.

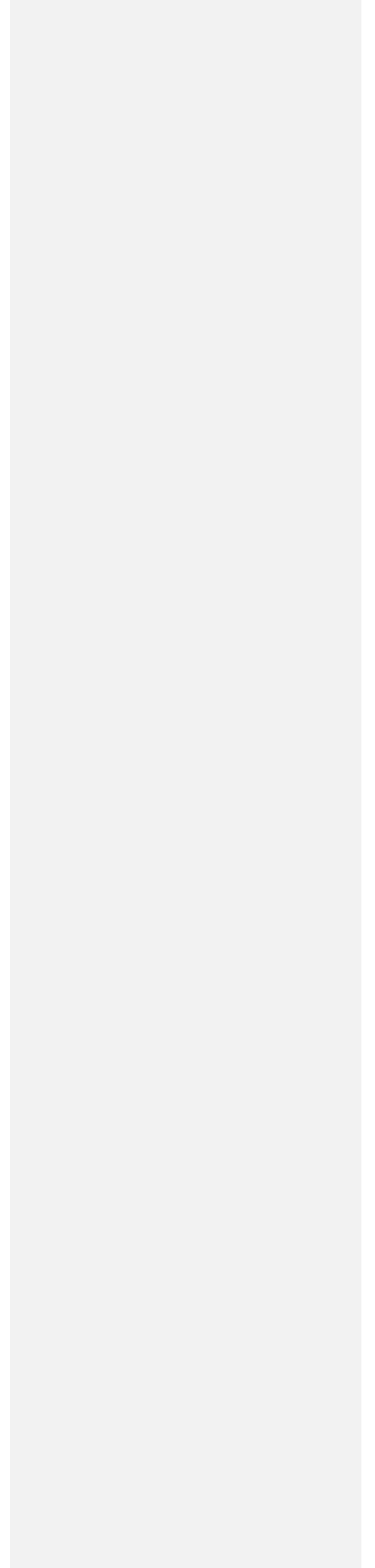
- Fernandez-Lopez M., Gomez-Perez A., Pazos A., & Pazos J. (1999). Building a Chemical Ontology Using Methontology and the Ontology Design Environment. *IEEE Intelligent Systems & their applications, January-February*, 37-46.
- Genesereth M. and Fikes R. E. (1992). *Knowledge Interchange Format Reference Manual* (Logic Group 92-1). Stanford: Stanford University.
- Glasgow J. Narayan N. H. and Chandrasekharan B. (Ed.). (1995). *Diagrammatic Reasoning: Cognitive and Computational Perspectives*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Gomez-Perez A. (1996). A Framework to Verify Knowledge Sharing Technology. *Expert Systems with Application, 11*(4), 519-529.
- Gomez-Perez A. (1998). Knowledge Sharing and Reuse. In Liebowitz J. (Ed.), *Handbook of Expert Systems*: CRC.
- Gomez-Perez A. (1999). Ontological Engineering: A state of the art. *Expert Update, 2*(3), 33-43.
- Gomez-Perez A. (2000). *Ontological Engineering: A state of the art*. Madrid: Facultad de Informatica, Universidad Politecnica de Madrid.
- 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., & 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.
- Guarino N. (1997). Some organizing principles for a unified top-level ontology. *AAAI Spring Symposium on Ontological Engineering, 57-63*.
- Guarino N. (1998). *Formal Ontology and Information Systems*. Paper presented at the FOIS 1998, Trento, Italy.
- Guarino N., & 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.
- Hayes P. J. (1985). The Second Naive Physics Manifesto. In in Hobbs J. & Moore R. (Eds.), *Formal Theories of the Commonsense World* (pp. p. 1-36). Norwood: Ablex.
- 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., Seta K., Kakusho O., & Mizoguchi R. (1998). *Task Ontology: Ontology for building conceptual problem solving models*. Paper presented at the 13th European Conference on Artificial Intelligence ECAI'98,, Brighton, England.
- Ikeda M., S. K., Mizoguchi R.,. (1997). *Task Ontology Makes It Easier To Use Authoring Tools*. Paper presented at the Proc. of IJCAI 97, Nagoya, Japan.
- Inaba A. (2000). *How Can We Form Effective Collaborative Learning Groups:Theoretical justification of "Opportunistic Group Formation" with ontological engineering*. Paper presented at the ITS, Montreal, Canada.
- Jasper R., & Uschold M. (1999). *A Framework for Understanding and Classifying Ontology Applications*. Paper presented at the KAW 1999, Banff, Canada.
- Kabel S. C. (1997). *System evaluation framework*. Unpublished Master's thesis, University of Amsterdam, Amsterdam.
- Kant E. (1781). *Critique de la raison pure* (A. Renaut, Trans. 2e édition ed.). Paris: coll. Garnier-Flammarion.
- Kozaki K., Kitamura Y., Ikeda M., & Mizoguchi R. (2001). Development of an environment for building ontologies which is based on a fundamental consideration of relationship and role,.
- Levesque H. J., & Brachman R. J. (1985). A fundamental trade off in knowledge representation and reasoning (Revised Version). In Brachman R. J. & Levesque H. J. (Eds.), *Readings in Knowledge Representation* (pp. 41-70). Los Altos, USA,: Kaufmann.
- Maedche A. (2002). *Ontology Learning for the Semantic Web*. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- McCarthy J. (1980). Circumscription - A Form of Non-Monotonic Reasoning. *Artificial Intelligence*, 5(13), 27-39.
- 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. (1993). *Knowledge Acquisition and Ontology*. Paper presented at the KB&KS93, Tokyo.
- Mizoguchi R. (1998, June, 1998). *A Step Towards Ontological Engineering*. Paper presented at the 12th National Conference on AI of JSAI.
- Mizoguchi R., & al. (1995). *Task ontology for reuse of problem sloving knowledge*. Paper presented at the KB&KS95, Enshede, The Netherland.

- Mizoguchi R., & Bourdeau J. (1999). *Ontology-aware systems in AI-ED research: AI Technical Report 99-04*, I.S.I.R., Osaka University, Japon.
- Mizoguchi R., & 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., Kozaki K., Sano T., & Kitamura Y. (2000). Construction and Deployment of a Plant Ontology. *The 12th International Conference, EKAW2000*,(Lecture Notes in Artificial Intelligence 1937), pp.113-128.
- Noy N. F., & McGuinness D. L. (2000). *Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology*.
- Paquette G. (2001). Telelearning Systems Engineering - Towards a New ISD Model. *Jl of Structural Learning and Intelligent Systems*, vol. 14(No. 4), pp. 319-154.
- Paquette G. (2002). *Modélisation des connaissances et des compétences, pour concevoir et apprendre*. Montréal, Québec, Canada: Presses de l'Université du Québec.
- Paquette G., Basque J., Bourdeau J., Dufresne A., Henri F., Léonard M., & 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., & Maina M. (2003). Construction d'une base de connaissances et d'une banque de ressources pour le domaine du téléapprentissage. *STICEF*.
- Paquette G., Ricciardi-Rigault C., Aubin C., & Paquin C. (1996). *Définition du Campus Virtuel : Objectifs, méthodes, outils et principes de développement*. Montréal, Canada: Centre de recherche LICEF, de la TELUQ.
- Perpette S. (2000). *Définition d'une méthode de construction d'ontologies : application à la gestion des connaissances d'une équipe de recherche*. Amiens, France: Université de Picardie Jules Verne, Laboratoire de Recherche en Informatique d'Amiens, équipe Ingénierie des Connaissances.
- Psyché V. (2003). *Construction de la signification en représentation des connaissances, Examen de prédoctoral, volet cognitif*. Montréal, Canada.
- Psyché V., Mendes O., & Bourdeau B. (2003). Apport de l'ingénierie ontologique aux environnements de formation à distance (soumis). *STICEF*.

- Psyché V., Mizoguchi R., & Bourdeau B. (2003). *Ontology Development at the Conceptual Level for Theory-Aware ITS Authoring Systems*. Paper presented at the AIED03, Sydney, Australie.
- Quine W. (1960). *Word and object*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Quine W. V. O. (1969). *Ontological Relativity, and Other Essays*. New York: Columbia University Press.
- Seta K., & al. (1997). *Capturing a Conceptual Model for End-user Programming -Task Ontology as a Static User Model*. Paper presented at the Proc of UM.
- Sowa J. (1995). Distinction, combination, and constraints. *Proc. IJCAI95 Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing*.
- Sowa J. (1997). *Knowledge Representation: Logical, Philosophical and Computational Foundation*. Boston, MA, USA: PWS Publishing Company.
- Staab S., Studer R., Schnurr H. P., & Sure Y. (2001). Knowledge Processes and Ontologies. *IEEE Intelligent Systems, January-February*, 26-34.
- Stevens R., Goble C. A., & Bechhofer S. (2000). Ontology-based Knowledge Representation for Bioinformatics. *Briefings in Bioinformatics*, 1(4), 398-414.
- Swartout B., Patil R., Knight K., & T., R. (1997). Towards Distributed Use of Large-Scale Ontologies. *Spring Symposium Series on Ontological Engineering*, pp.138-148.
- The KACTUS Booklet version 1.0. . (1996). *Esprit Project 8145* [web].
<http://www.swi.psy.uva.nl/projects/NewKACTUS/Reports.html>, Bernaras and al.
 Retrieved, from the World Wide Web:
<http://www.swi.psy.uva.nl/projects/NewKACTUS/Reports.html>
- Uschold M., & Gruninger M. (1996). Ontologies: Principles, Methods and Applications. *J. of Knowledge Engineering Review*, 11(2).
- Uschold M., & King M. (1995). *Towards a Methodology for Building Ontologies*. Paper presented at the Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing.
- Van Heijst G. (1995). *The Role of Ontologies in Knowledge Engineering*. Unpublished Ph. D., Universiteit van Amsterdam, Amsterdam.
- Wilson R. A., & Keil F. C. (Eds.). (1999). *The MIT Encyclopedia of the Cognitive Sciences (MITECS)*. Cambridge, MA: Bradford Books.
- Wolff C. (1729). *Philosophia Prima sive Ontologia*. Unpublished manuscript.

ANNEXES



Annexe A - Récapitulatif des méthodes d'ingénierie et d'évaluation des ontologies

Ce récapitulatif des 31 méthodes connues à ce jour est extrait de (Mendes O., 2003) et présenté dans le tableau 4 ci-dessous :

Tableau 4. *Méthodologies et approches de construction et d'évaluation d'ontologies*

Méthodologies et approches de développement d'ontologies
(KA)2 (Decker et al., 99)
Approche unifiée (Uschold & Gruninger, 95)
CO4 (Euzenat, 95)
Cyc (Lenat et Guha, 90)
Enterprise (Uschold M. & King M., 1995)
FCA-merge (Stumme et al., 2001)
IDEF 5 (KSBI)
Method for Reengineering (Gómez Pérez et Rojas, 99)
Méthodologie (Nuy & McGuinness, 2001)
Méthodologie de re-ingénierie (Fernandez M. et al., 1999)
Methontology (Fernandez M. et al., 1997)
Modèle en V (Stevens R., Goble C. A., & Bechhofer S., 2000)
On-To-Knowledge (Staab et al., 2001)
Projet KACTUS (Bernaras A. et al., 1996)
PROMPT (Noy et Musen., 2000)
SENSUS (Swartout et al., 97)
TOVE - Toronto Virtual Enterprise (Gruninger & Fox, 96)
Approche collaborative (Holsapple et al., 2002)
Common KADS & KACTUS (Mars et al. 94) (Wielinga et al., 94)
Infosleuth (Hwang, 99)
KRAFT (Jones, 98)

Menelas (Bouad et al., 94)
Mikrokosmos (Mahesh, 96)
Onions - Ontologic Integation of Naive Sources (Gangemi et al., 96)
Ontobroker (Ashish, 97)
Ontolingua (Farquhar et al., 95)
Phssys (Borst et al., 96)
Plinius (Mars et al., 94)
SISM (Arens et al., 97)
Méthodologies pour l'évaluation d'ontologies
Ontology Evaluation (Welty et Guarino, 2001)
Ontoclean (Gomez Pérez et al., 99)

Annexe B – processus de définition des besoins (Cahier des charges)

Le processus suivant est basé sur (Noy N. F. & McGuinness D. L., 2000).

B.1. Déterminer le domaine et la portée de l'ontologie

Afin de définir le domaine et la portée de l'ontologie, il est recommandé de répondre à un certain nombre de questions de base. Voici quelques exemples de questions/réponses qui ont été posés :

- Quel est le domaine qui sera couvert par l'ontologie ? Par exemple :
 - Le domaine est la représentation du télé-apprentissage.
- Pourquoi va-t-on utiliser l'ontologie ? Par exemple :
 - Pour donner de l'information sur les applications du télé-apprentissage
- Pour quel type de questions, l'information comprise dans l'ontologie devrait-elle fournir des réponses ? Par exemple :
 - L'ontologie doit donner de l'information sur : types d'environnement de TA, modes d'apprentissage. conditions de l'apprentissage, types d'acteurs, types d'opérations du TA, types de ressources du TA...
- Qui utilisera et mettra à jour l'ontologie ? Par exemple :
 - Les gestionnaires de projets d'élaboration de systèmes, les concepteurs, les équipes intervenant dans le processus du TA, etc.
 - Utiliser : Si les administrateurs s'en servent pour mettre en place des cours à distance, il faut inclure des infos sur les bonnes et mauvaises combinaisons opérations-systèmes.
 - Mettre à jour : Si les experts décrivent le domaine dans 1 langage \neq de celui des utilisateurs de l'ontologie, \Rightarrow prévoir une table d'équivalence entre les deux.

Les réponses à ses questions peuvent changer durant le processus de conception de l'ontologie en autant qu'elles restent orientées vers le but principal de la construction de l'ontologie, fixé en début de développement. Donc, les objectifs ou buts secondaires peuvent évoluer en cours de développement.

B.2. Questions de compétence (Gruninger M. & Fox M.S., 1995)

Une façon de déterminer la portée de l'ontologie est d'établir une liste de questions à laquelle la base de connaissances basée sur l'ontologie devrait être capable de répondre. Ces questions serviront de test par la suite, pour vérifier, par exemple : si que l'ontologie contient assez de connaissances pour répondre à ces questions, si les réponses nécessitent un niveau particulier de détails, etc. Dans le domaine du TA, les questions de compétences pourraient être les suivantes :

- Quels sont les processus d'ingénierie du TA?

- Comment animer un forum ?
- Y a-t-il des références bibliographiques sur le TA ?
- Quelles sont les problématiques de recherche en TA ?
- Où puis-je télécharger des versions d’essai d’outils pour réaliser une évaluation ... ?
- Puis-je voir des exemples d’environnements de TA ?

B.3. Considérer la réutilisation d’ontologies existantes

Il existe des bibliothèques d’ontologies réutilisables. En voici quelques exemples :

- Gene Ontology Consortium : <http://www.geneontology.org/>
- Ontolingua ontology library : <http://www.ksl.stanford.edu/software/ontolingua/>
- DAML ontology library : <http://www.daml.org/ontologies/>

B.4. Énumérer les termes importants dans l’ontologie

Il est important d’énumérer une liste de termes, que l’on veut expliquer à un utilisateur ou sur lesquels on veut faire un rapport. Cette liste de termes doit être écrite sans se soucier de savoir si les concepts reliés à ces termes vont se superposer ou si les termes sont du type « class » ou « slot ». À titre d’exemple, quelques questions/réponses :

- Quels sont les termes dont nous voulons parler ? Par exemple :
 - outils du TA, environnements de TA, contenu de formation en TA, pratique du TA, conseils, forum, téléchargement, échanges, communauté, modes de communication, etc.
- Quelles sont les propriétés de ces termes ?
 - Modes de communication : synchrone, asynchrone.
 - Communautés : virtuelle, de pratique, d’acteurs.
- Qu’aimerions-nous dire au sujet de ces termes ?

B.5. Choisir une approche de développement des hiérarchies de concepts

Il existe trois approches dans le développement d’une hiérarchie de concepts (Ushold M. & Gruninger M., 1996). Les stratégies possibles sont : 1) du plus abstrait au plus concret (*top-down*), 2) du plus concret au plus abstrait (*bottom-up*) et 3) du plus approprié au plus abstrait et plus concret (*middle-out*).

– L’approche **Top-down** : Cette approche consiste à définir le concept le plus général (la racine de l’arborescence), puis à descendre dans la hiérarchie jusqu’au concept le plus spécifique.

– L’approche **Bottom-up** : Cette approche consiste à définir le concept le plus spécifique (les feuilles de l’arborescence), puis à remonter vers le concept le plus général.

– L’approche **Middle-out** : Cette approche est une combinaison des deux précédentes. On définit le concept le plus saillant, puis on généralise et on spécifie de façon appropriée. *The **combo approach** is often the easiest for many ontology developers, since the **concepts “in the middle”** tend to be the most **descriptive** concepts in the domain* (Rosch 1978).

L’approche utilisée dépend fortement de la vision qu’ont les concepteurs du domaine qu’ils modélisent. Quelle que soit l’approche, il est suggéré de toujours commencer par définir les concepts.