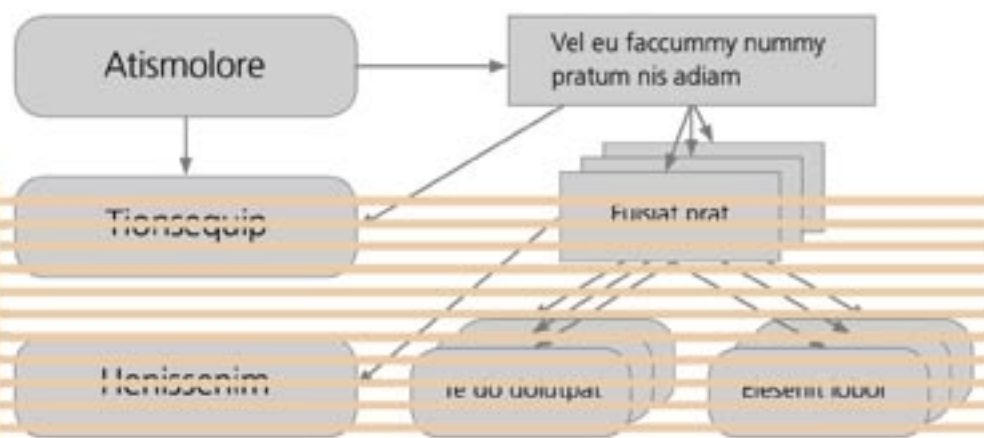


De la possibilité d'usage d'ontologies pour la gestion de contenus mathématiques

Luc-Olivier Pochon



De la possibilité d'usage d'ontologies pour la gestion de contenus mathématiques

Version 04.05

Luc-Olivier Pochon

IRDP
Faubourg de l'Hôpital 43
Case postale 556
CH-2002 Neuchâtel

Tél. (41) (0) 32 889 86 18
Fax (41) (0) 32 889 69 71

E-mail: documentation@irdp.ch
<http://www.irdp.ch>

Cette publication est également disponible sur le site IRDP:

<http://www.irdp.ch/>

Cette publication de l'IRDP est un document de travail. La diffusion de ce document est restreinte et toute reproduction, même partielle, ne peut se faire sans l'accord de son(ses) auteur(s).

Photo de couverture : Maurice Bettex – IRDP

TABLE DES MATIÈRES

Réseaux sémantiques et ontologies	5
Pour la réalisation d'une base de connaissances dans le domaine de l'enseignement des mathématiques	9
Une première ébauche	11
Annexe 1	
Architecture d'un système basé sur ontologie pour la formation des maîtres à l'enseignement des mathématiques	13
Annexe 2	
<i>OKBC Knowledge model</i> quelques termes de vocabulaire	15
Annexe 3	
Éléments pour classer les questions de test	16
Annexe 4	
But et éléments minima pour la création d'ontologie selon Gruber (1993b)	17
Bibliographie	19

Le but de ce document est de proposer une brève introduction aux ontologies et à leur usage possible dans l'organisation des contenus scolaires en vue de leur mise à disposition sur des supports informatiques (CD-Rom, réseaux). Le cas des mathématiques est plus spécialement concerné. Il sert de partie introductive à des spécialisations qui seront proposées ultérieurement selon l'intérêt suscité (référentiels divers : PECARO, HARMOS; mise à disposition de contenus multimédia pour l'enseignement; testothèque, etc.)

Une première partie présentera la notion d'ontologie dans son contexte général qui est celui des systèmes à base de connaissances.

La deuxième partie passera en revue divers projets d'utilisation des ontologies dans le cadre du e-learning avec une spécification pour l'enseignement des mathématiques.

La dernière partie réunira quelques travaux à propos de l'enseignement des mathématiques en Suisse romande, qui pourraient être directement exploités pour constituer une ontologie utilisable à de multiples fins dans la gestion de l'enseignement mathématique.

Réseaux sémantiques et ontologies

L'idée de réseau sémantique est attribuée à Quillian (1968) qui l'a utilisée primitivement pour modéliser le fonctionnement de la mémoire. Depuis lors, ce concept a été appliqué dans plusieurs domaines (Lindley, 2004). De façon très grossière, un réseau sémantique est un réseau dont les sommets sont des concepts et les arêtes des relations. Il y a donc plusieurs types d'arêtes. Par la suite, les relations peuvent encore posséder des propriétés (héritage, transitivité, symétrie, être elles-mêmes en relation, etc.).

L'exemple classique est celui de la classification des espèces animales où l'on observe un emboîtement des espèces avec héritage de caractéristiques communes (on sait qu'un canari possède des ailes par héritage de cette propriété de la famille des oiseaux dont les canaris font partie).

Par la suite, l'usage de cette notion de réseau sémantique qui rencontre la notion de frames, développée primitivement par Minsky (1974) pour modéliser le système de vision, a été étendu à la représentation des connaissances pour fournir une alternative à diverses autres techniques utilisées pour constituer des bases de connaissance (*Knowledge Based Systems - KBS*). Plusieurs langages ont implémenté cette notion, notamment FRL et KRL (Nilsson, 1980), dont sont issus plusieurs standards actuels.

Sowa (2002) fait le tour des utilisations actuelles de cette représentation des connaissances. Il propose les catégories d'utilisation suivantes: utilisation à but de définition (domaine des thésaurus), utilisation à but de représentation de fait (assertion) ou de raisonnement (implication), utilisation comme schéma d'exécution. Certaines utilisations sont hybrides. Il y ajoute la notion de réseau avec apprentissage.

Le premier type d'utilisation a pris un certain essor avec le développement d'outils (moteurs de recherche, techniques d'indexation, classifications, etc.) et de standards pour appréhender les informations sur le Web. Ce domaine de travaux est connu sous l'appellation de Semantic Web (Berners-Lee, Hendler, & Lassila, 2001). Ces travaux sont principalement menés sous l'étendard du terme ontologie.

John McCarthy et Patrick Hayes (1969) font une distinction entre la représentation déclarative des connaissances en mode logique (logique des prédicats et des quantificateurs) qu'ils appellent le niveau épistémologique et l'encodage plus procédural qu'ils appellent le niveau heuristique. Le niveau épistémologique est réservé à la connaissance liée aux objets et aux processus tandis que le niveau heuristique introduit les structures de données pour représenter les objets et programmes qui permettent de simuler les processus. C'est pour ce niveau épistémologique que McCarthy introduira le premier, selon Sowa¹, le terme de ontology (McCarthy, 1980).

¹ Selon une note de J.S Sowa trouvée en mars 2004 dans un forum de discussion: « I'm doing some work to go in the introduction of the FOIS proceedings and also for an article for AI Magazine. I'm trying to find the earliest reference to « ontology » in AI. The earliest I can find is McCarthy, 1980 - the circumscription article, then subsequently I find it in the Naive Physics work. Do you know of something earlier? »

Gruber (1993a) s'est attaché à redéfinir la notion dans le contexte actuel. Nous la reproduisons in extenso :

The word ontology seems to generate a lot of controversy in discussions about AI. It has a long history in philosophy, in which it refers to the subject of existence. It is also often confused with epistemology, which is about knowledge and knowing.

In the context of knowledge sharing, I use the term ontology to mean a specification of a conceptualization. That is, an ontology is a description (like a formal specification of a program) of the concepts and relationships that can exist for an agent or a community of agents. This definition is consistent with the usage of ontology as set-of-concept-definitions, but more general. And it is certainly a different sense of the word than its use in philosophy.

What is important is what an ontology is for. My colleagues and I have been designing ontologies for the purpose of enabling knowledge sharing and reuse. In that context, an ontology is a specification used for making ontological commitments. The formal definition of ontological commitment is given below. For pragmatic reasons, we choose to write an ontology as a set of definitions of formal vocabulary. Although this isn't the only way to specify a conceptualization, it has some nice properties for knowledge sharing among AI software (e.g., semantics independent of reader and context). Practically, an ontological commitment is an agreement to use a vocabulary (i.e., ask queries and make assertions) in a way that is consistent (but not complete) with respect to the theory specified by an ontology. We build agents that commit to ontologies. We design ontologies so we can share knowledge with and among these agents.

La définition rappelée ci-dessus montre que les travaux menés sous la bannière des ontologies ont principalement des soucis d'application pratique dans le partage et la réutilisation de connaissances. Il existe une véritable ingénierie des ontologies dont le travail de Gruber (1993b) (voir aussi annexe 4) est vraisemblablement un classique, dont on trouvera un exposé résumé en français par Psyché, Bourdeau & Mendès (2004).

Signalons aussi qu'un historique est proposé par Smith & Welty (2001). La page <http://www.cs.utexas.edu/users/mfkb/related.html> fournit également une liste presque exhaustive des projets et des groupes liés aux systèmes à base de connaissances et/ou aux ontologies. On voit donc que les notions d'ontologie, de base de connaissance (KB), de réseaux sémantiques se recouvrent. Elles correspondent surtout à des communautés et des usages distincts. Une ontologie a un sens plus restrictif que la notion de base de connaissances et concerne principalement les aspects classificatoires. Elle répond au premier type d'utilisation décrit par Sowa.

Lien avec les hypertextes

Tout projet nécessitant de représenter des données complexes interreliées finit par manipuler des notions apparentées à celles introduites de façon explicite dans le cadre des KBS. C'est le cas pour les bases de données relationnelles, la programmation par objets, etc. La théorie des hypertextes (pour des références historiques, voir Pochon, 1993) n'échappe pas à cette règle. Son intérêt et son apport spécifiques sont qu'elle prend également en compte des informations amorphes (les morceaux de textes qui constituent les nœuds du réseau). Ces informations peuvent également servir à alimenter le réseau sémantique qui les englobe (Favre & Pochon, à paraître; Carr, Bechhofer, Goble & Hall, 2001).

Les standards

Avec l'élargissement de l'usage, des standards émergent. On peut distinguer des standards conceptuels (qui correspondraient au niveau épistémologique de McCarthy) et les standards syntaxiques. Au plan conceptuel, le système le plus achevé est l'*Open Knowledge Base Connectivity-OKBC* maintenu à l'université de Stanford (Chaudhri, Farquhar, Fikes, Karp, & Rice, 1998) qui reprend largement le vocabulaire des *frames* de Minsky. Au plan syntaxique, ce standard repose sur *Knowledge Interchange Format - KIF²* et sur la syntaxe LISP. Le langage PROLOG³, notamment dans sa version objet (PDC, 2004), fournit également les notions prêtes à l'emploi sans compter que, en tant que langage déclaratif, il cohabite facilement avec le métalangage XML. Plusieurs projets l'utilisent comme langage cible (Corcho, Fernández-López, Gómez-Pérez & Vicente, s.d.; Pochon, 2000).

Par ailleurs, les versions basées sur XML, liées aux travaux concernant le Web sémantique foisonnent, des plus basiques aux plus complexes : RDF (*Resource Description Framework*), OIL (*Ontology Inference Layer*), DAML (*DARPA Agent Markup Language*), OWL (*Ontology Web Language*), SWRL (*Semantic Web Rule Language*).

Le système PROTÉGÉ, développé par l'institut *Stanford Medical Informatics* de l'Université de Stanford sous la forme d'un environnement open-source⁴, permet d'implémenter le standard OKBC dans la plupart des schémas XML proposés.

Il est également possible de gérer directement des ontologies sur Internet dans une syntaxe dépendant également de OKBC⁵.

Les usages

Il est fait un usage important des ontologies, le regard sur les standards le montre, au niveau du Web. Des travaux existent qui mettent en œuvre ces systèmes pour la génération de services généraux (Jin, Decker & Wiederhold, 2003), ou plus particuliers (Stuer, Meersman & De Bruyne, 2001). Ces usages nouveaux complètent les concepts, méthodes, outils et travaux réalisés dans le domaine de l'intelligence artificielle classique.

Les usages en e-learning

Les travaux concernant l'e-learning sont actuellement nombreux. Les travaux théoriques relèvent principalement de trois champs.

Le premier concerne les standards permettant d'indexer des objets pédagogiques. Les plus connus sont le LOM, SCORM, EML (Viéville & de la Passardière, 2003; Pernin, 2004; Koper & Manderveld, 2004; Johnson, 2003). Dans ce cadre, les ontologies ont un rôle naturel à jouer et plusieurs travaux s'y réfèrent (Crampes, Ranwez, Plantié & Vaudry, 2003; Qin & Finneran, s.d.).

Un deuxième champ apparenté concerne l'organisation des contenus (plan d'étude et supports de cours). De fait, ce domaine constitue la couche supérieure du cas précédent. Dans ce cas de méthodes

² <http://logic.stanford.edu/kif/kif.html>

³ malheureusement inconnu des chercheurs américains

⁴ Mozilla Public Licence

⁵ <http://www.ksl.stanford.edu/software/ontolingua/>

et des formats peuvent être spécifiques (Falquet, Guyot & Hurni, 2003). A nouveau, et de façon plus pratique, les ontologies offrent une base utile à l'image d'un travail réalisé à Taiwan qui propose une structure pour élaborer du matériel d'enseignement (Yang, Yu, Chen, Tsai, Lees & Shih, 2004).

Finalement, le troisième champ reprend le domaine classique des *Intelligent Tutoring Systems* - ITS. Les travaux de ce type n'ont pas encore été véritablement repris dans le cadre du e-learning bien que certains standards, notamment le LOM et SCORM (Viéville & de la Passardière, 2003; Pernin, 2004) puissent en partie recouvrir des aspects qui dépassent l'organisation des contenus pour s'attacher à des applications pédagogiques (l'organisation de séquences didactiques), voire même s'attaquer au difficile problème de la modélisation de l'étudiant (Peña de Carrillo, 2004). A nouveau, les travaux de ce domaine peuvent bénéficier des acquis plus pratiques apportés par les ontologies.

Mais la convergence entre les domaines du e-learning et celui des ontologies reste encore à analyser dans ce que l'on pourrait nommer la rencontre des préoccupations organisationnelles et pédagogiques, ce que Naeve, Nilsson & Palmér (2001) expriment par *e-learning in the semantic age*. Ces idées sont développées par plusieurs autres auteurs (Kolovski & Galletly, 2003) qui évoquent également l'idée d'ontologie de compétences (Woelk, s.d.).

Une typologie des applications des ontologies au domaine du e-learning est proposée par Psyché, Bourdeau & Mendès (2004).

Les usages en mathématiques

Les mathématiques ont toujours constitué un domaine privilégié pour tester des systèmes de classification. Notamment le travail historique de Michener (1976) propose une classification des mathématiques dans les structures à l'étude au laboratoire AI du MIT de l'époque. Plus récemment, Gruber & Gregory (1994) ont refait ce travail pour les mathématiques de l'ingénieur.

Les applications possibles dans ce domaine relèvent des trois types généraux mentionnés précédemment. 1) Organisation de type administratif (plan d'études, standard, etc.); 2) la mise à disposition de ressources didactiques (sur Internet, mais aussi sur CD-Rom) ou alors 3) servir à orienter l'étudiant, de manière plus ou moins intelligente, dans des systèmes d'enseignement assisté.

⁶ Par ce qui précède, le terme de base de connaissance (KB) semble mieux adapté ici dans la mesure où il permet de mieux rendre compte de la diversité du domaine. Cette KB est elle-même constituée de plusieurs (au moins trois) ontologies.

Pour la réalisation d'une base de connaissances dans le domaine de l'enseignement des mathématiques

La réalisation d'une telle base de connaissance ou ontologie⁶ qui serait distribuée sur le Web pourrait donc répondre à plusieurs besoins, notamment en regard des points 1) et 2) précédents.

- Permettre de gérer l'ensemble du curriculum de façon continue et être consultable avec différents niveaux de détail;
- servir à organiser et à mettre à disposition des éléments didactiques divers dont des situations-problèmes et leur analyse;
- gérer une testothèque en maintenant à jour l'état de performances et fournir des épreuves de référence ou de diagnostic calibrées selon diverses techniques (Auger & Seguin, 1986)

Dans une version élargie, elle autoriserait également la délivrance de cours ou de tests en ligne permettant même à plus long terme la construction de tests adaptatifs délivrés par ordinateur (Falmagne, Doignon & al). Une utilité particulière qui exploiterait la richesse de la base de connaissance est la formation des maîtres à l'enseignement des mathématiques dont une description est donnée en annexe 1.

Ce travail pourrait être étendu à d'autres domaines que les mathématiques.

Une première ébauche

Cette ébauche s'appuie sur un certain matériel déjà à disposition pour s'engager dans cette voie. L'annexe 2 fournit un minimum de vocabulaire qui sera librement utilisé ci-dessous.

La base de connaissance serait constituée de trois grandes parties, sous forme de trois classes abstraites : les contenus, la didactique, l'évaluation.

Les contenus

Par les travaux de réalisation des plans d'étude, l'expertise accumulée à propos des contenus est importante. Notamment les travaux du Groupe pour l'ajustement des programmes de mathématique (1987) et ceux menés dans le cadre des forum suisses (CDIP, 1988) fournissent des structures adaptées avec notamment les intentions, les composants des domaines, les listes de savoirs intégrés dans des progressions. Ces structures pourraient être alimentées et rafraîchies par des travaux plus récents notamment ceux liés à PECARO ou à HARMOS. Une adaptation de ce travail à des systèmes informatiques a déjà été réalisée dans le cadre des projets PROF'EXPERT (Pochon & von Siebenthal, 1994) et Ermitage (<http://www.projet-ermitage.org>).

La didactique

Cette classe regrouperait les activités proprement dites accompagnées de leur analyse didactique (analyse a priori, analyse des erreurs, etc.). Quelques frames devraient permettre de définir les objets de la didactique : analyse a priori, dévolution, pratique sociale de référence, etc. Un travail allant dans ce sens, qui pourrait servir de base de réflexion, est en cours de réalisation en collaboration avec la HEP-BEJUNE. Les analyses menées dans le cadre du Rallye Mathématique Transalpin sont également à valoriser dans ce cadre. Le CD-Rom du volet informatisé des moyens d'enseignement mathématique romands 7-8-9 fournit également un exemple de système informatisé s'appuyant sur un schéma général (Chastellain & Calame, 2004).

L'évaluation

Cette classe serait celle des items, de leurs regroupements, de leur analyse et des niveaux de réussite enregistrés. Les éléments qui pourraient être consultés comme point de départ seraient les classifications utilisées par le projet EVAPM⁷ (Bodin, 1993). Les travaux en vue de la réalisation d'une testothèque (voir notamment Margot, 1984) proposent également une analyse détaillée d'items (voir

⁷ Mis en place dans le cadre de l'APMEP, avec une équipe de recherche associée à l'INRP, l'observatoire EVAPM, créé en 1987, recueille et analyse, de façon continue, des informations sur les conditions d'enseignement et sur l'état des acquis des élèves. Les documents d'évaluation mis au point pour les études EVAPM constituent des outils précieux pour les enseignants. (<http://ctug48.univ-fcomte.fr/evapm>)

annexe 3). Une adaptation de ce travail à des systèmes informatiques a également déjà été réalisée dans le cadre du projet déjà cité (Pochon & von Siebenthal, 1994).

Du point de vue méthodologique, l'entreprise pourrait également profiter d'une collaboration avec des équipes locales.

Annexe 1

Architecture d'un système basé sur ontologie pour la formation des maîtres à l'enseignement des mathématiques

(repris et adapté d'une requête de Jean-François Perret & Luc-Olivier Pochon auprès du Campus virtuel suisse)

Objectif

Le but du système est de permettre à l'étudiant, futur enseignant, d'analyser des cas ou de résoudre un problème. Pour cela, des ressources sont à sa disposition en accès libre ou fournies par le système sous la forme de suggestions. Des traces pourront éventuellement servir à l'évaluation de la démarche. Mais le produit demandé à l'étudiant pourrait simplement consister en un compte-rendu de la démarche et d'une proposition d'analyse du cas.

Exemple de cas :

Un élève résout un problème de mathématique, la réponse donnée n'est pas celle attendue. Tâche de l'étudiant : trouver une explication à l'erreur. Le système d'aide proposera un certain nombre de pistes à explorer (aspect cognitif, sociocognitif, problème de lecture, etc.). Chacun des choix peut être lui-même subdivisé pour finalement aboutir à des éléments de théories, des exemples, etc.

Une autre tâche proposée serait d'analyser ou d'étayer une hypothèse proposée, ou de choisir la meilleure hypothèse explicative parmi plusieurs.

Ce système reprend un schéma de travaux déjà effectués de façon classique. Toutefois, dans le cas classique, le problème rencontré est la gestion des ressources, souvent éparpillées sur plusieurs supports. De plus, il est difficile de donner de façon individualisée un guide de travail à l'étudiant qui se contente souvent d'explorer une seule piste. La mise sous informatique devrait permettre un guidage plus soutenu et personnalisé, de garder des traces de la démarche suivie. Il permettra de rassembler de façon homogène des éléments d'information et facilitera leur mise à jour et leur enrichissement (y compris par les étudiants).

Organisation du système

Le système peut être décomposé en 3 parties :

- **Les énoncés de cas** : ils sont organisés en familles.
- **La base de données** : elle est constituée de fragments significatifs pouvant consister en textes explicatifs, en extraits d'articles, en séquences vidéo, etc. Chaque fragment est indexé selon

plusieurs critères: type, usage, théorie, etc. Cette base est organisée à l'aide de relations entre les concepts indexant les fragments. Ces relations permettent par exemple de retrouver des fragments d'informations concernant des démarches expérimentales à propos des interactions entre pairs dans le cadre d'une certaine théorie.

- **Le moteur didactique du système** : il s'agit d'un schéma d'analyse associé à chaque famille de cas. C'est grâce à ce schéma que l'étudiant pourra être assisté dans sa démarche.

L'interface

Elle sera divisée en plusieurs zones avec notamment un espace d'écriture, une zone contenant l'historique de la démarche et une zone permettant de d'interroger la base de données. L'ensemble, intégré dans un terminal de plateforme d'e-learning offrant éventuellement d'autres outils classiques, constituera un atelier de rédaction.

Aspects techniques

Le développement se fera en commençant par présenter quelques cas. Il sera dirigé par la pratique. Toutefois un certain nombre d'éléments théoriques seront pris en compte, un effort sera fait notamment en direction des standards :

- Utilisation de XML pour l'archivage des segments;
- Utilisation de schémas OWL ou apparentés pour la réalisation du réseau sémantique et des scripts de guidage;
- Intégration de l'interface dans une plateforme existante.

Deux références permettent de montrer la direction prise par l'élaboration de l'interface (Blondel & Beaufile, 2003), et par la modélisation du guidage (David, 2003). D'autres références se trouvent sur le site du projet Ermitage : <http://www.projet-ermitage.org> .

Annexe 2

OKBC Knowledge model quelques termes de vocabulaire

Ce modèle introduit tout d'abord les types primitifs suivants: nombres (entiers et décimaux), chaînes de caractères, symboles, listes, classes, les deux constantes logiques *vrai* et *faux*.

Les objets construits (structures de données) sont désignés par le nom de *frame*. Un *frame* est un symbole auquel est associé un ensemble de *slots*. Chaque *slot* établit une relation (qui peut être un *frame*) entre le *frame* et une valeur (qui peut être un *frame*). A chaque *slot* est associé un ensemble de *facets*. Une *facet* est une relation ternaire entre *frame*, *slot* et une valeur. *slot* et *facet* sont eux-mêmes des *frames*. Un *frame* peut aussi bien correspondre à une *valeur* qu'à une relation.

Les classes sont des ensembles d'objets. Les individus sont des objets qui ne sont pas des classes. On distingue les *frame-classes* et les *frame-individus*. La relation (donnée par un *slot*) *instance-of* permet de connaître les objets appartenant à une classe. Les notions de meta-classes, de sous-classes ou de sur-classes sont standard. Pour les classes, on distingue les *slots* et *facets propres* et les *slots* et *facets template* dont les valeurs sont héritées par les individus de la classe et les sous-classes de la classe. Classes abstraites (sans instance) et concrètes sont distinguées grâce au *slot* de nom *role*.

Annexe 3

Éléments pour classer les questions de test

(repris de Margot, 1984)

- Domaine (avec une certaine ramification)
- Consigne et tâche effective (avec une certaine ramification)
- Difficulté technique (grandeur des nombres, par exemple)
- Difficulté contextuelle (lecture, quantité d'information à prendre en compte)
- Présentation de l'énoncé (lecture, schéma, etc.)
- Manière de répondre (qcm, question ouverte, etc.)
- Cadre fonctionnel (référence scolaire, jeu, famille, etc.)

Annexe 4

But et éléments minima pour la création d'ontologie selon Gruber (1993b)

Abstract

Recent work in Artificial Intelligence is exploring the use of formal ontologies as a way of specifying content-specific agreements for the sharing and reuse of knowledge among software entities. We take an engineering perspective on the development of such ontologies. Formal ontologies are viewed as designed artifacts, formulated for specific purposes and evaluated against objective design criteria. We describe the role of ontologies in supporting knowledge sharing activities, and then present a set of criteria to guide the development of ontologies for these purposes. We show how these criteria are applied in case studies from the design of ontologies for engineering mathematics and bibliographic data. The rationale for selected design decisions in these ontologies is presented. Alternative representations are compared and evaluated against the general criteria. In particular, the case studies illustrate the notions of encoding bias and ontological overcommitment and suggest ways to avoid them in the design of ontologies for knowledge sharing.

Ontologies :

- To enable a machine to use the knowledge in some application.
- To enable multiple machines to share their knowledge.
- To help yourself understand some area of knowledge better.
- To help other people understand some area of knowledge.
- To help people reach a consensus in their understanding of some area of knowledge.

Before you use the editor to create an ontology, you first need to design your ontology. A few suggestions to help you with this process :

1. Write a few sentences describing your ontology. You should include the general subject area that you intend to cover with your ontology. You should also include any simplifying assumptions you are making.
2. Make a list of what you would like to state in your ontology.
3. Make a list of the concepts that you think should be included in your ontology.
4. Look for ontologies in the library of ontologies that may contain terms which you can use to develop your ontology.

5. Review and make modifications to your lists as needed throughout these steps.

For the example of creating an ontology of vehicles, we know :

- Our ontology will be a general ontology of vehicles which are typically bought and sold through the classified ads. This will include motorized as well as unmotorized vehicles.
- This ontology will need to be able to describe any feature of a car as it is typically described in classified ads.
- A partial list of some of the concepts needed for this ontology are : vehicles, automobiles, make, model, model year, and price.
- The product-ontology contains some terms such as list-price that will be useful for our ontology of vehicles.

Bibliographie

- Auger, R. & Seguin, S. (1986). Le modèle de Rasch et la paramétrisation d'une banque d'items et d'instruments de mesure. *Mesure et évaluation en éducation*, 9 (2/3), 59-98.
- Berners-Lee, T., Hendler, J. & Lassila, O. (2001). The semantic web. *Scientific American*, may 2001, 35-43.
- Blondel, F.-M. & Beaufile, A. (2003). La production de dossiers documentaires à partir d'emprunts d'information sur la toile - Caractéristiques et obstacles d'un apprentissage avec l'assistant ARI. *Actes du colloque Didapro*, <http://orion.inrp.fr/didapro/>
- Bodin, A. (1993). *Un observatoire du système d'enseignement des mathématiques: la situation de l'observatoire EVAPM*. IREM de Besançon.
- Carr, L., Bechhofer, S. Goble, C. & Hall, W. (2001). Conceptual Linking: Ontology-based Open Hypermedia. *WWW10*, may 2-5, 2001, Hong Kong.
- CDIP (1998). *Espaces de liberté - lignes directrices - point de convergences: l'enseignement des mathématiques durant la scolarité obligatoire*. Dossier 49. Berne: CDIP.
- Chastellain, M. & Calame, J.-A. (2004). Le multimédia au service de la formation des maîtres. In L.-O. Pochon & A. Maréchal (Eds), *Entre technique et pédagogie: La création de contenus multimédia pour l'enseignement et la formation*, 93-95. Neuchâtel & Lausanne: IRDP & LEP.
- Chaudhri, V.K., Farquhar, A., Fikes, R., Karp, P.D. & Rice, J.P. (1998). *Open Knowledge Base Connectivity 2.0.3*. AI Center of SRI International & KSL of Stanford University. (<http://www.ai.sri.com/~okbc/>)
- Corcho, O, Fernández-López, M., Gómez-Pérez, A. & Vicent,e O.(s.d.). *WebODE: an integrated workbench for ontology representation, reasoning and exchange*. Facultad de Informática . Universidad Politécnica de Madrid.
- Crapes, M., Ranwez, S., Plantié, M. & Vaudry, C. (2003). Qualités d'une indexation portée par XML et une ontologie au regard d'un standard. In E. Bruillard & B. de La Passardière, Ressources numériques, XML et éducation. *Sciences et techniques éducatives*, Hors série 2003, 105-134.
- David, J.-P. (2003). Modélisation et production d'objets pédagogiques. In E. Bruillard & B. de La Passardière, Ressources numériques, XML et éducation. *Sciences et techniques éducatives*, Hors série 2003, 69-104.
- Falmagne, J.-C., Cosyn, E., Doignon, J.-P. & Thiéry, N. (s.d.). *The assessment of knowledge in theory and in practice*. (Science_Behind_ALEKS.pdf sur <http://www.aleks.com/>)
- Groupe pour l'ajustement des programmes de mathématique (1987). *L'ajustement des programmes expérimentaux de mathématique en Suisse romande*. Neuchâtel: IRDP, Ouvertures 87.401
- Gruber, T.R. (1993a). A translation approach to portable ontologies. *Knowledge Acquisition*, 5(2),199-220.
- Gruber, T.R. (1993b). Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing (Revision : August 23). Stanford Knowledge Systems Laboratory. (paru dans: Guarino & Poli (Eds), *Formal Ontology in Conceptual Analysis and Knowledge Representation*. Kluwer)
- Gruber, T.R. & Gregory R (1994). An Ontology for Engineering Mathematics. In J. Doyle, P. Torasso, & E. Sandewall (Eds), *Fourth International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning*, Gustav Stresemann Institut, Bonn, Germany, Morgan Kaufmann.
- Falquet, G., Guyot, J. & Hurni, J.-P. (2003). Modèles et interfaces d'hyperlivres pour l'apprentissage collaboratif. In E. Bruillard & B. de La Passardière, Ressources numériques, XML et éducation. *Sciences et techniques éducatives*, Hors série 2003, 19-43.

- Favre, A. & Pochon, L.-O. (à paraître). *Hypertextes et théorie de l'information*. (des fragments sont consultables sous: <http://www.irdp.ch/thema/hptxt-info.htm>).
- Jin, Y., Decker, S. & Wiederhold, G. (2003). OntoWebber: Building Web Sites Using Semantic Web Technologies. *Twelfth International World Wide Web Conference*, 20-24 May 2003, Budabest.
- Johnson, L.F. (2003). *Elusive Vision: Challenges Impeding the Learning Object Economy*. New Media Consortium (June 2003). Macromedia White Paper
- Kolovski, V. & Galletly, J. (2003). Towards E-Learning via the Semantic Web. *International Conference on Computer Systems and Technologies - CompSysTech'2003*.
- Koper, R. & Manderveld, J. (2004). Educational Modelling Language. Modelling reusable, interoperable, rich and personalised units of learning. *British Journal of Educational Technology*.
- Lindley, C.A., Kumar, V.R., Irrgang, R. & Robertson, J.R. (révision 2004). *An evaluation of information retrieval methods and semantic network processing for automatic link generation in hypermedia systems*. <http://www.aset.org.au/confs/iims/1994/km/lindley.html> (consulté: 23 mars 2004)
- Margot, A. (1984). *Création d'une banque d'items de mathématique: du traitement documentaire des items à l'informatisation du système*. Neuchâtel: IRDP/D+M, 84.09.
- McCarthy, J. & Hayes, P. (1969). Some philosophical problems from the standpoint of artificial intelligence. In B. Meltzer & D. Michie (Eds), *Machine Learning 4*, Edinburgh University Press.
- McCarthy, J. (1980). Circumscription - A Form of Non-Monotonic Reasoning. *Artificial Intelligence*, 13, 27-39
- Michener, E.R. (1976). *The Structure of Mathematical Knowledge*. MIT-AI Laboratory, Memo 472.
- Minsky, M. (1974). *A Framework for Representing Knowledge*. MIT-AI Laboratory Memo 306. Reprinted in *The Psychology of Computer Vision*, P. Winston (Ed.), McGraw-Hill, 1975.
- Naeve, A., Nilsson, M. & Palmér, M. (2001). *E-learning in the semantic age*. Stockholm: Centre for User Oriented IT Design (CID), Department of Numerical Analysis and Computer Science, Royal Institute of Technology. Report CID-161.
- Naeve, A. (s.d.). *The Concept Browser: a new form of knowledge management tool*. Stockholm: Centre for User Oriented IT Design (CID), Department of Numerical Analysis and Computer Science, Royal Institute of Technology.
- Nilsson, N.J. (1980). *Principles of Artificial Intelligence*. Berlin: Springer Verlag.
- Peña de Carrillo, C. I. (2004). *Intelligent agents to improve adaptivity in a web-based learning environment*. Universitat de Girona.
- PDC (2004). *Visual Prolog 6.2*, final edition. Broendby: Prolog Development Center. <http://www.pdc.dk>
- Pernin, J.-P. (2004). A propos des objets pédagogiques. In L.-O. Pochon & A. Maréchal (Eds), *Entre technique et pédagogie: La création de contenus multimédia pour l'enseignement et la formation*, 33-46. Neuchâtel & Lausanne: IRDP & LEP.
- Pochon, L.-O. (1993). *Hypertextes pour apprendre*. Neuchâtel: IRDP, Recherches 93.104.
- Pochon, L.-O. & von Siebenthal, C. (1994). *Experts, contextes et événements: description du système Prof'Expert pour le programmeur*. Neuchâtel: ABORD. (<http://www.projet-ermitage.org/progdoc.pdf>)
- Pochon, L.-O. (2000). *Le projet Ermitage: définition d'un environnement hypertextuel d'apprentissage*. Neuchâtel: IRDP, 00.8
- Psyché, V., Bourdeau, J. & Mendès, O. (2004). Apport de l'ingénierie ontologique aux environnements de formation à distance. In R. Hotte & P. Leroux (Coord), *Technologies et formation à distance*. STICEF, Recueil 2003.
- Qin, J. & Finneran, C. (s.d). *Ontological Representation for Learning Objects*. School of Information Studies, Syracuse University.
- Quillian, M. R. (1968). Semantic memory. In M. Minsky, (Ed), *Semantic information processing*, 216-260. Cambridge, MA: MIT Press.
- Smith, B. & Welty, C. (2001). *Ontology: Towards a New Synthesis*. FOIS'01, October 17-19, 2001, Ogunquit, Maine, USA.
- Sowa, J. F. (2002). *Semantic Networks*, <http://www.jfsowa.com/pubs/semnet.htm>, révision août 2002. (consulté: 23 mars 2004)

- Stuer, P., Meersman, R. & De Bruyne, S. (2001). The HyperMuseum Theme Generator System: Ontology-based Internet support for the active use of digital museum data for teaching and presentation. In D. Bearman & J. Trant (Eds), *Museum and the web 2001: selectec Papers. Archives & Museum Informatic*.
- Viéville, C. & de la Passardière, B. (2003). Métadonnées pour les ressources éducatives et parcours de formation personnalisés. In E. Bruillard & B. de La Passardière, *Ressources numériques, XML et éducation. Sciences et techniques éducatives, Hors série 2003*, 135-155.
- Yang, J.-T., Yu, P.T., Chen, N.S., Tsai, C.Y., Lees, C.C. & Shih, T.K. (2004). *Using Ontology as Scaffolding for Authoring Teaching Material - A Case of Secondary School Mathematics Courses in Taiwan*. Center of General Education, National Kaohsiung Normal University (NKNU).
- Woelk, D. (s.d.). *e-Learning, Semantic Web Services and Competency Ontologies*. Elastic Knowledge Solutions.

