



HAL
open science

Composition Automatique de Documents Hypermédia Adaptatifs à partir d'Ontologies et de Requêtes Intentionnelles de l'Utilisateur

Sylvie Chabert-Ranwez

► **To cite this version:**

Sylvie Chabert-Ranwez. Composition Automatique de Documents Hypermédia Adaptatifs à partir d'Ontologies et de Requêtes Intentionnelles de l'Utilisateur. Education. Université Montpellier II - Sciences et Techniques du Languedoc, 2000. Français. NNT: . edutice-00000381

HAL Id: edutice-00000381

<https://theses.hal.science/edutice-00000381>

Submitted on 3 Mar 2004

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

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

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

NUMERO D'IDENTIFICATION

ACADEMIE DE MONTPELLIER

UNIVERSITE DE MONTPELLIER II
SCIENCES ET TECHNIQUES DU LANGUEDOC

THESE

Pour obtenir le grade de
Docteur de l'Université Montpellier II

Discipline : Informatique
Formation Doctorale : Informatique
Ecole Doctorale : Information, Structures, Systèmes

**Composition Automatique de
Documents Hypermédia Adaptatifs
à partir d'Ontologies et
de Requêtes Intentionnelles de l'Utilisateur**

Par

Sylvie Chabert-Ranwez

Soutenue le 21 décembre 2000 devant le jury composé de :

Mme Violaine PRINCE,	Professeur, Université Montpellier II,	Présidente
Mme Cécile ROISIN,	Maître de conférences, Université de Grenoble II,	Rapporteur
M. Michel CRAMPES,	Maître assistant, Ecole des Mines d'Alès,	Encadrant
M. Guy GOUARDERES,	Professeur, Université de Pau,	Rapporteur
M. Torsten LEIDIG,	Diplom-Informatiker, SAP, Corporate Research, Karlsruhe,	Examineur
M. Marc NANARD,	Professeur, Conservatoire National des Arts et Métiers,	Directeur de thèse

*A Vincent et Mathilde,
A Thécla*

Je souhaite remercier ici...

Les personnes qui m'ont encadrée au cours de ces trois années.

Torsten Leidig qui a accompagné mes premiers pas dans le monde de la recherche, a fait preuve de patience lors de mon apprentissage de la langue de Goethe et m'a fait aimer l'Allemagne.

Michel Crampes qui m'a initié à toutes les dimensions de la profession d'enseignant-chercheur. Il n'a pas hésité à m'impliquer dans l'organisation d'ateliers lors de conférences internationales, dans la mise en place de projets et a élargi mes horizons par les discussions fructueuses que nous avons partagées. Je le remercie tout particulièrement pour le précieux réconfort que m'ont procuré sa confiance, sa disponibilité, sa bonne humeur et... son amitié.

Que tous deux trouvent ici l'expression de toute ma gratitude.

Les personnes qui m'ont fait l'honneur de participer au jury de cette thèse.

Cécile Roisin et Guy Gouardères qui ont accepté la charge de rapporteur et dont les remarques enrichissantes ont contribué à améliorer ce mémoire.

Marc Nanard qui, dans sa charge de directeur de thèse, a su tout mettre en œuvre pour que ma soutenance se déroule dans les meilleures conditions. Je remercie également Mourad Oussalah, mon directeur de thèse durant les deux premières années, qui m'a orienté vers la recherche et a favorisé le bon déroulement de mon DEA.

Merci à Violaine Prince qui a accepté d'être examinateur. Malgré son absence dans ce jury due à des contraintes administratives, je remercie Serge Garlatti dont j'ai pu apprécier les qualités scientifiques lors de plusieurs conférences auxquelles nous avons participé et avec qui la collaboration à toujours été fructueuse.

Les dirigeants et le personnel des laboratoires dans lesquels j'ai été accueillie.

Janine Magnier, directrice du LGI2P, qui m'a fait confiance, entre autres pour des tâches d'enseignement. Lutz Heuser et Joachim Schaper, directeurs de la CEC-Karlsruhe qui m'ont acceptée au sein de leurs équipes de recherche.

J'adresse un merci tout particulier à l'ensemble du personnel de ces laboratoires ; enseignants, chercheurs ou étudiants, ils ont contribué à ce que mon travail se déroule dans une atmosphère des plus agréables. Merci enfin aux assistantes administratives de ces deux laboratoires et du LIRMM qui m'ont aidée dans la réalisation de démarches administratives fastidieuses.

Les personnes qui ont coopéré à la rédaction de ce mémoire.

David Genest dont j'ai pu apprécier les qualités de programmeur pour son interface de graphes conceptuels. Jacky qui a apporté un éclairage nouveau sur mes travaux et dont j'apprécie la rigueur scientifique. Christophe pour sa relecture enrichissante et ses encouragements. Françoise pour la touche finale...

Que tous quatre soient également remerciés pour... leur humour.

Les amis qui ont partagé avec moi les moments de doute et les moments d'espoir.

Merci à Valérie pour les pauses thé, le chocolat, sa bonne humeur, son soutien et les moments de forte complicité que nous avons partagé. Je remercie les personnes qui ont partagé mon bureau et ont été témoins au jour le jour des évolutions de mon travail. Je remercie aussi particulièrement tous mes 'aînés' qui, par leurs conseils, m'ont fait profiter de leur expérience.

Du fond du cœur je remercie mes parents. Aucun mot n'est assez fort pour leur exprimer la reconnaissance sincère que je leur porte pour la richesse de leurs enseignements. Merci à Jean-François et à Bernard qui m'ont aidé à grandir et merci à toute ma famille.

Enfin un grand merci à Vincent et à Mathilde pour leur patience et leur tendresse. Vers eux va tout mon amour...

Table des Matières

Abréviations.....	13
Glossaire	15
INTRODUCTION GÉNÉRALE	17
Contexte de l'étude	17
Objectifs et approche	18
Structure de la thèse	20
<i>Partie I : chapitres I à III</i>	<i>20</i>
<i>Partie II : chapitres IV à VII.....</i>	<i>20</i>
Synthèse de l'introduction.....	21
PARTIE I : PROBLÉMATIQUE ET CONCEPTS : ÉTAT DE L'ART.....	23
Chapitre 1 : Des outils pédagogiques et de leur évolution technologique	25
1.1 Les systèmes d'Enseignement Assisté par Ordinateur et leur évolution	27
1.1.1 Les outils d'EAO traditionnels.....	27
1.1.2 Les limites de l'EAO traditionnel et les nouveaux besoins suscités par l'Internet	28
1.1.3 Systèmes Educatifs Intelligents / Interactifs - SEI.....	29
<i>1.1.3.1 L'adaptation du parcours : support à la navigation</i>	<i>31</i>
<i>1.1.3.2 L'adaptation du contenu.....</i>	<i>33</i>
<i>1.1.3.3 L'apport de la modélisation de la connaissance pédagogique dans les SEI</i>	<i>34</i>
1.2 Les Systèmes Auteur.....	36
1.2.1 Environnements pour la génération d'hypertextes	36
1.2.2 Environnements Auteurs pour les matériaux pédagogiques	37
1.3 La modélisation de l'utilisateur dans les SEI.....	38
1.3.1 Le modèle par recouvrement : overlay	38
1.3.2 Le modèle Buggy	39
Conclusion	40
Chapitre 2 : Les documents, la structure narrative et les documents virtuels.....	43
2.1 A propos de structure documentaire.....	44
2.1.1 La structure dans les documents traditionnels.....	44
2.1.2 La structure dans les documents hypermédia.....	45
2.2 Les documents virtuels.....	47
2.3 La composition automatique de documents multimédia	48
2.3.1 De l'ordre pour générer du sens	50
2.3.2 De l'importance des liens narratifs.....	51
2.4 L'indexation pour les documents électroniques.....	51
2.4.1 Des ontologies pour la sémantique dans l'indexation.....	53
2.4.2 Nouveaux standards et indexation sur l'Internet.....	54
2.4.2.1 XML.....	54
2.4.2.2 RDF - RDFS.....	55
2.4.2.3 Indexation et Internet.....	56
2.4.3 Indexation des documents pédagogiques.....	57
2.5 L'importance de la présentation des informations	58
Conclusion	58
Chapitre 3 : Les ontologies dans le domaine informatique : un pas vers l'échange standard de données ?	61
3.1 Les ontologies : principes et définitions	62
3.1.1 Principes d'une ontologie	62
3.1.2 Définitions	63

3.2 Le rôle des ontologies.....	65
3.2.1 Modularité et réutilisabilité des connaissances.....	65
3.2.2 Communication	65
3.2.3 Les ontologies dans les systèmes éducatifs	66
3.3 Différentes méthodologies de conception des ontologies	68
3.4 Les langages et formalismes utilisés pour représenter des ontologies	69
3.5 Les applications utilisant des ontologies.....	71
3.6 Structures conceptuelles : de l'ontologie au raisonnement	72
3.6.1 Structures Conceptuelles.....	72
3.6.2 Graphes Conceptuels (GC)	73
3.6.3 Théorie des graphes et logique floue	74
Conclusion.....	75

PARTIE II : DU BESOIN DE LA CONSTRUCTION DE DOCUMENTS ADAPTATIFS STRUCTURÉS À L'APPLICATION DE STRATÉGIES DURANT CETTE CONSTRUCTION *MÉTHODOLOGIE ET APPLICATIONS*..... 77

Chapitre 4 : De l'évocation conceptuelle au document réel : le document virtuel..... 79

4.1 L'évocation conceptuelle.....	80
4.1.1 Principe de l'évocation conceptuelle	80
4.1.2 Exprimer une idée dans une Brique d'Information (BI).....	81
4.1.3 La notion de distance sémantique.....	82
4.1.4 Une méthode de calcul de la proximité sémantique.....	84
4.2 Les documents virtuels : de la définition à l'utilisation	86
4.2.1 Généralités et définitions	86
4.2.2 Un exemple de document virtuel personnalisable : le document hypertexte.....	87
4.2.3 Le document conceptuel	88
4.3 Propriétés des documents virtuels	88
4.3.1 Propriétés dues à l'origine des briques d'information	88
4.3.1.1 <i>Homogénéité</i>	88
4.3.1.2 <i>Hétérogénéité</i>	89
4.3.2 Propriétés dues à la nature des méthodes de composition.....	90
4.4 La composition de documents réels à partir de documents virtuels.....	90
4.4.1 Composition, composition automatique et auto-composition.....	90
4.4.2 Recherche d'information.....	91
4.4.2.1 <i>L'importance de la qualification dans la sélection</i>	91
4.4.2.2 <i>La sélection guidée par les ontologies</i>	92
4.4.2.3 <i>L'influence des pré-requis</i>	93
4.4.3 Filtrage.....	94
4.4.3.1 <i>Filtrage par les contraintes temporelles</i>	94
4.4.3.2 <i>Filtrage par les contraintes sémantiques</i>	95
4.4.4 Organisation	96
4.4.4.1 <i>Les facteurs intervenant dans l'organisation</i>	96
4.4.4.2 <i>Les grammaires formelles</i>	96
4.4.5 Assemblage.....	99
Conclusion.....	99

Chapitre 5 : Modélisation de la connaissance : les ontologies pour décrire le domaine et les connaissances narratives et pédagogiques 101

5.1 La modélisation de la connaissance : pourquoi opter pour les ontologies ?.....	102
5.1.1 Un formalisme pour représenter les ontologies : les Graphes Conceptuels.....	102
5.1.2 Evaluation de documents grâce aux ontologies	104
5.2 Ontologie Pédagogique - OP.....	106
5.2.1 Présentation générale de l'OP : la hiérarchie de concepts.....	106
5.2.1.1 <i>Information</i>	107
5.2.1.2 <i>Rôle pédagogique (instruction) pour aider le transfert de connaissance</i>	107
5.2.1.3 <i>Modélisation de l'apprenant</i>	108
5.2.1.4 <i>Fonctionnalités du système / aide à la navigation</i>	108

5.2.1.5 Objectifs pédagogiques.....	108
5.2.1.6 Média.....	108
5.2.2 Les Relations de l'OP	109
5.2.2.1 Définition d'un objectif pédagogique.....	109
5.2.2.2 Définition d'un contre-exemple.....	109
5.2.2.3 Autres définitions.....	110
5.2.3 Modélisations des stratégies pédagogiques.....	110
5.2.3.1 Règles générales.....	111
5.2.3.2 Règles spécifiques à un type de stratégie	111
5.3 Ontologie du Domaine - OD.....	112
5.3.1 Hiérarchie de concepts de l'OD.....	113
5.3.2 Définitions et relations sur les concepts de l'OD.....	113
5.4 Qualification Sémantique des BI	114
5.4.1 Principes et qualités d'une qualification.....	114
5.4.2 Position par rapport à XML et RDF	115
5.4.3 La qualification des BI dans deux applications différentes.....	116
5.4.3.1 La qualification dans le projet Sibyl.....	116
5.4.3.2 La qualification dans le projet Karina.....	117
Conclusion	120
Chapitre 6 : Principes d'une composition basée sur l'association d'ontologies.....	121
6.1 Une approche de la composition : le projet Karina	122
6.1.1 Présentation générale du projet	123
6.1.2 La recherche d'information dans Karina	123
6.1.3 Le filtrage dans Karina	123
6.1.4 La méthode d'organisation dans Karina.....	124
6.1.5 L'assemblage et la présentation dans Karina.....	124
6.1.6 Limites de l'approche Karina	124
6.2 Le prototype Sibyl.....	125
6.2.1 Présentation générale du projet	126
6.2.2 La recherche d'information dans Sibyl	127
6.2.3 Le filtrage dans Sibyl.....	129
6.2.4 La méthode d'organisation dans Sibyl	129
6.2.5 L'assemblage et la présentation dans Sibyl	130
6.2.6 Synthèse sur la navigation guidée par les ontologies et limites.....	131
6.3 Récapitulation.....	133
Conclusion	134
Chapitre 7 : Du flou pour le calcul dynamique des rôles pédagogiques	135
7.1 Des rôles au sein d'une narration : définition et attribution	136
7.1.1 Définitions des rôles pédagogiques.....	137
7.1.1.1 Définitions trouvées dans la littérature.....	137
7.1.1.2 Notre définition : des rôles pour susciter l'action de l'apprenant.....	138
7.1.2 Comment attribuer dynamiquement des rôles aux BI ?	139
7.1.2.1 Propositions données dans la littérature.....	139
7.1.2.2 Des rôles en fonction des propriétés ontologiques	139
7.2 Formalisation de certains rôles pédagogiques.....	140
7.2.1 Formalisation de l'analogie/homologie	140
7.2.2 Formalisation de cas particuliers : exemple et illustration	141
7.3 Principe de l'instanciation d'ontologies pondérées	142
7.3.1 L'influence de la pondération dans la recherche d'information	142
7.3.2 Le choix de la théorie des sous-ensembles flous	142
7.3.3 Le niveau de détail dans les ontologies.....	143
7.3.4 Différentes fonctions pour l'automatisation de la pondération	144
7.3.4.1 Fonction cloche	144
7.3.4.2 Quantification de la fonction cloche.....	147
7.3.4.3 Fonction demi-cloche.....	148

7.3.4.4 <i>Cas particulier : le document fortement illustré</i>	148
7.4 De l'instanciation d'ontologies à l'attribution de rôles pédagogiques.....	149
7.5 Intérêt de cette méthodologie dans les projets présentés.....	150
7.5.1 Intégration dans le projet Karina	150
7.5.2 Intégration dans le prototype Sibyl	150
7.6 Avantages et limites de notre approche	151
Conclusion.....	152
CONCLUSION GÉNÉRALE	155
Perspectives	157
ANNEXE A : Ontologie pédagogique.....	161
A.1 Hiérarchie de concepts de l'ontologie pédagogique.....	161
A.2 Quelques définitions de l'ontologie pédagogique	167
ANNEXE B : Ontologie du domaine - les sonates	169
B.1 Hiérarchie de concepts de l'ontologie des sonates	169
B.2 Quelques définitions de l'ontologie des sonates.....	171
BIBLIOGRAPHIE.....	175

Table des Figures

Figure 1.1 : Différents types d'adaptation possibles dans les documents hypermédia selon Brusilovsky.....	31
Figure 1.2 : Schéma synoptique de la structure de base d'un SEI	41
Figure 2.3 : Principe de création de documents réels à partir de documents virtuels.....	48
Figure 2.4-a : Format de description des ressources Figure 2.4-b : Exemple de descriptions imbriquées.....	56
Figure 3.5 : Différents types d'ontologie selon leur degré de dépendance vis à vis d'une tâche particulière ou d'un point de vue.	64
Figure 3.6-a : Traduction d'un GC en CGIF Figure 3.6-b : Traduction d'un GC en KIF	71
Figure 4.7 : Principe du calcul de la distance sémantique entre concepts $distance(C_1, C_2) = 1 + 2 = 3$	83
Figure 4.8 : Principe de calcul de distance sémantique entre deux graphes conceptuels.....	83
Figure 4.9 : Exemple de projection de CSV sur une ontologie.....	96
Figure 4.10 : Exemple de structure de document suivant une approche ascendante.....	98
Figure 5.11 : Plusieurs représentations de la phrase "Le pianiste Pierre interprète Bach"	103
Figure 5.12 : Représentation générale d'un objectif pédagogique.....	109
Figure 5.13 : Modélisation d'un contre-exemple.....	110
Figure 5.14 : Autres exemples de définitions de l'OP	110
Figure 5.15 : Exemple de règle générale "une introduction d'un sujet précède toute instruction concernant le même sujet"	111
Figure 5.16 : Exemple d'une règle utilisée en stratégie descendante "l'explication précède l'exemple"	112
Figure 5.17 : Exemple de règle utilisé dans une stratégie ascendante "l'exemple précède l'explication"	112
Figure 5.18 : Hiérarchie simplifiée des concepts du domaine des sonates	113
Figure 5.19 : Modélisation de la structure d'une sonate	114
Figure 5.20 : Modélisation de la structure d'une Exposition	114
Figure 5.21 : Notations équivalentes en XML.....	116
Figure 5.22 : La qualification dans le projet Sibyl.....	116
Figure 5.23 : Premier élément de la DTD Karina	117
Figure 5.24 : Structure de la description de l'élément segment.....	118
Figure 5.25 : Structure de l'élément phrase-kldp	118
Figure 5.26 : structure générale d'une qualification	119
Figure 5.27 : Interface de l'outil de qualification du projet Karina	120
Figure 6.28 : Interface du projet Karina.....	125
Figure 6.29 : Architecture générale du prototype Sibyl	126
Figure 6.30 : Fenêtre pour la qualification des briques d'information.....	127
Figure 6.31 : Environnement auteur du prototype Sibyl	128
Figure 6.32 : Représentation du fonctionnement de l'étape d'ordonnancement	130
Figure 6.33 : Interface du prototype Sibyl.....	131
Figure 6.34 : Présentation du principe général du fonctionnement du prototype Sibyl.....	132
Figure 7.35 : Représentation de la hiérarchie de concepts du domaine des sonates en fonction du degré de détail des concepts	143
Figure 7.36 : Répartition des poids sur les concepts de l'ontologie instance avec comme intention le concept sonate	145
Figure 7.37 : Sélection en profondeur en fonction de la requête	146
Figure 7.38 : Cas où plusieurs concepts sont mentionnés	146
Figure 7.39 : Répartition des poids après une quantification en élevant au carré.....	147
Figure 7.40 : Répartition des poids suivant une demi-cloche ouverte à gauche	148
Figure 7.41 : Répartition des poids suivant deux demi-cloches.....	149

Table des Tableaux

Tableau 1.1 : Tableau synoptique des grandes familles de Systèmes d'EAO	29
Tableau 5.2 : Tableau synoptique de l'évaluation des propriétés d'un document en utilisant une ontologie du domaine.....	105
Tableau 6.3 : Tableau comparatif des deux approches Sibyl et Karina.....	133
Tableau 7.4: Rôles pédagogiques et actions attendues de l'apprenant	138

Abréviations

Les abréviations présentées ci-dessous sont celles qui sont utilisées dans cette thèse. On y trouve celles utilisées couramment dans le milieu informatique et plus particulièrement sur l'Internet, mais également des abréviations que nous introduisons au cours de la thèse par soucis d'allègement du discours.

Remarque : les sigles provenant d'une notation anglaise ne sont pas différenciés car les sigles anglophones sont souvent utilisés indifféremment dans la littérature francophone ou anglophone.

BI :	Brique d'Information
CSS :	Cascading Style Sheets
CSV :	Conceptual State Vector
DC :	Document Conceptuel
DR :	Document Réel
DTD :	Document Type Definition
DV :	Document Virtuel
DVP :	Document Virtuel Personnalisable
EAO :	Enseignement Assisté par Ordinateur
EIAO :	Enseignement Interactif / Intelligent Assisté par ordinateur
GC :	Graphe Conceptuel
HTML :	HyperText Markup Language
IMS :	Instructional Management System
ITS :	Intelligent Tutoring System
SEI :	Système d'Enseignement Interactif - Intelligent
STI :	Système Tutoriel Intelligent
OD :	Ontologie du Domaine
OP :	Ontologie Pédagogique
PCC :	Paire Conjonctive Conceptuelle
RDF/S :	Ressource Description Framework/Schema
W3C :	World Wide Web Consortium
XML :	eXtensible Markup Language

Glossaire

Le glossaire qui suit récapitule les principales définitions des mots ou expressions que nous utilisons dans cette thèse. Il permet d'éviter la confusion avec d'autres définitions de ces mêmes mots ou expressions employées dans des domaines ou des champs d'application différents.

Adaptabilité : Capacité d'un document ou d'une interface à être modifiée par l'utilisateur.

Adaptation : Qualité regroupant l'adaptabilité et l'adaptativité pour un document ou une interface.

Adaptativité : Capacité d'un document ou d'une interface à se modifier automatiquement en fonction du contexte et des attentes de l'utilisateur.

Brique d'Information : Fragment de document, disponible sous (au moins) un média, caractérisé par un modèle conceptuel et pouvant être inséré dans un document réel. Ces briques peuvent être composites, c'est-à-dire subdivisées en plusieurs sous-briques, sous réserve que les briques ainsi obtenues aient un modèle conceptuel consistant.

Composition : Structuration d'un ensemble d'éléments, appelés briques d'information, réalisée pour un être humain avec l'objectif de faire émerger une plus grande valeur sémantique de cet ensemble d'éléments. Cette finalité peut être d'ordre informatif, pédagogique, esthétique, ludique ou argumentatif ; elle peut aussi être une combinaison de tous ces aspects.

Document Conceptuel : Document virtuel dont les briques d'information peuvent avoir plusieurs formats. La composition adaptative est assurée par un moteur qui sélectionne et filtre les BI par leur sémantique et les organise de façon à respecter certaines contraintes narratives en tenant compte d'un modèle utilisateur.

Document Réel : Document dont on peut prendre connaissance en l'état, i.e. sans traitement particulier avant son appropriation par le lecteur. C'est une suite de briques d'information ordonnées de façon à former un message cohérent, dans le respect de contraintes imposées par la définition du domaine dont traite le document et/ou par les exigences de l'utilisateur.

Document Source : Documents à partir desquels les BI sont extraites pour former de nouveaux documents.

Document Virtuel : Ensemble de briques d'information, non ordonné a priori, associé avec des outils ou des techniques permettant la création de documents réels à partir de cet ensemble de briques. Si les méthodes de composition d'un document réel permettent une adaptation de ce dernier à un lecteur donné, le document virtuel est alors qualifié de personnalisable (DVP).

Hyperonyme : Terme dont le sens inclut le sens d'autres termes qui sont ses hyponymes. ex : Siègne est un des hyperonymes de fauteuil (Petit Larousse, 1998).

Hypertexte : L'hypertexte est un document informatisé composé de nœuds reliés entre eux par des liens. La nature de ces nœuds peut être aussi bien textuelle, que visuelle, sonore ou encore audiovisuelle, on parle alors plutôt d'hypermédia dans la mesure où sur un même support se rencontrent plusieurs types de médias (Yan Claeysen - cours de DEA Information et Communication¹).

¹ Définition 1 donnée à <http://home.nordnet.fr/~yclaeysen/>

Hyponyme : Terme dont le sens est inclus dans le sens d'un autre qui est son hyperonyme. ex : Goélette est un des hyponymes de voilier (Petit Larousse, 1998).

Méronymie : Qualité d'un lien qui unit une entité avec d'autres entités qui sont ses composantes. ex : les doigts et la main sont reliés par une relation de méronymie.

Ontologie : une ontologie est une description formelle d'entités et leurs propriétés, relations, contraintes, comportement [Grüniger et al., 1995].

Paire Conjonctive Conceptuelle (PCC) : Une PCC est une représentation sous forme de graphe conceptuel simplifié du triplet (s,p,o) 's' étant un sujet, 'p' un prédicat et 'o' l'objet du prédicat. Elle est composée d'un concept source et d'un concept destination reliés par une relation. Sa forme est la suivante : [Concept source] - (Relation) - [Concept destination]. Par exemple pour exprimer qu'un mouvement est une partie d'une sonate on peut écrire : [Sonate] - (partie de) - [Mouvement].

Personnalisé : Adapté par le système à l'utilisateur.

Personnalisable : Qui peut être modifié pour satisfaire l'utilisateur.

Qualification : Action de mise en relation d'un document électronique avec une description de ses caractéristiques sémantiques ou physiques

Rôle pédagogique : Attribut associé à une brique d'information et qui traduit sa capacité à susciter un certain comportement chez l'apprenant. Equivalent anglais : affordance.

Introduction générale

Les travaux de recherche qui sont présentés dans cette thèse ont été menés au sein du Laboratoire de Génie Informatique et d'Ingénierie de Production (LGI2P²), laboratoire de recherche de l'Ecole des Mines d'Alès, situé sur le site EERIE de Nîmes. Cependant, durant la période de septembre 1997 à octobre 1998 j'ai été accueillie au sein du laboratoire de recherche de *DIGITAL Equipment*³ (centre appartenant à SAP à l'heure actuelle) à Karlsruhe (Allemagne) dans le cadre d'une collaboration entre les deux laboratoires.

Contexte de l'étude

Les rétrospectives sur le siècle écoulé font état de plusieurs révolutions technologiques. A notre sens, ce sont les *nouveaux modes de communication* qui bouleversent le plus nos habitudes. A l'image du téléphone (1876), de la radiodiffusion (1900), de la télévision (années 1930) ou de l'informatique, l'Internet⁴ (INTERconnected NETworks - 1983) modifie nos relations avec nos contemporains. Un ensemble d'outils et de services qui lui sont rattachés permettent un accès nouveau à l'information et une grande diffusion de cette information.

L'influence économique et l'impact de l'Internet sur le particulier ne sont plus à démontrer. Le nombre de sites, tant au niveau national qu'international, a décuplé ces deux dernières années. Ce chiffre évolue à une telle vitesse qu'il est difficile d'en avoir une idée précise pour cette fin d'année 2000. La base de Excite référence 50 millions⁵ de sites mondiaux et Altavista⁶ en référence 350 millions. Le nombre d'entreprises qui offrent directement leurs services sur le réseau des réseaux a également augmenté de façon considérable. Les connaissances accessibles par les sites Internet concernent des domaines aussi divers que les actualités, l'éducation, la maison, les loisirs, la famille, la culture, l'entreprise, le shopping, la science, la santé, le tourisme⁷, etc. Une telle diversité, aussi prometteuse soit-elle, présente certains inconvénients, dont un particulièrement important : la recherche d'information est souvent fastidieuse. Plusieurs organismes mettent à la disposition des Internautes des moteurs de recherches qui facilitent et automatisent en grande partie la recherche d'information : Altavista, Yahoo, Excite, Lycos. Pourtant ces outils, même s'ils sont en perpétuelle évolution, ne sont pas aussi efficaces et conviviaux que le voudrait l'utilisateur et il faut à ce dernier une certaine habitude avant de tirer profit de façon efficace des connaissances accessibles sur l'Internet. Pour pallier ce manque d'efficacité, ces connaissances doivent être indexées et caractérisées de façon à ce que les moteurs de recherche augmentent leurs performances et y associent un traitement des données retrouvées de façon à offrir une présentation structurée de ces données. La nécessité de disposer de méta-données est ainsi mise en évidence.

Afin que les documents retrouvés soient structurés et organisés dans le respect des règles d'énonciation familières aux utilisateurs, des techniques et méthodes permettant une meilleure

² LGI2P, EMA/Site EERIE, Parc scientifique G.Besse, F-30 035 Nîmes cedex 1

³ Digital Equipment GmbH, CEC Karlsruhe, Vincenz-Prießnitz Str 1, D-76 131 Karlsruhe

⁴ Histoire de l'Internet à l'adresse <http://callisto.si.usherb.ca/~92846096/aecad/cours3.html#naiss>

⁵ Excite-France : http://www.lu.excite.ro/info/how_to/

⁶ <http://solutions.altavista.com/products/iss-overview.html>

⁷ Extraits des rubriques proposées par Yahoo, Altavista et Excite.

structuration des documents hypermédia doivent être mises en place. Ces techniques pourront ensuite être intégrées dans des systèmes adaptatifs.

Durant la décennie écoulée, un grand nombre d'études ont été menées sur la mise en forme adaptative⁸ de documents sur l'Internet. Les résultats sont des documents hypertextes qui ont encore trop souvent une structure figée. De plus les structures hypertextes favorisent certains phénomènes de digression ou de perte dans l'hyperespace qui peuvent perturber certains utilisateurs. Elles constituent néanmoins le support de tout document sur l'Internet et ne doivent pas être remplacées mais utilisées différemment. A leur caractéristique de souplesse, d'efficacité et de facilité d'utilisation il faut adjoindre des aides personnalisées à la navigation et des techniques d'adaptation à l'utilisateur.

C'est ce double besoin de structure documentaire et d'adaptation qui a motivé nos travaux de recherche. Notre apport concerne essentiellement la composition narrative dans les documents hypermédia et la création dynamique de documents structurés.

Objectifs et approche

Le champ d'application de ces travaux concerne les documents pédagogiques. Ce choix a été fait car, dans ce domaine plus qu'ailleurs, la structuration des documents et l'utilisation de stratégies d'énonciation influent sur la quantité d'information transmise au récepteur⁹. Des contraintes fortes sont imposées lors de la composition de documents pédagogiques. Ces contraintes sont de deux ordres. D'une part les techniques et méthodes inspirées de la pédagogie classique contraignent la structure et l'organisation des informations transmises dans un cours. D'autre part la nécessité de la validité des informations transmises par rapport à un domaine particulier impose des contraintes de cohérence.

La composition dans le cas général

Certaines difficultés de navigation dans les documents hypertextes sont inhérentes à la nature même de ces derniers. D'aucuns parlent de perte dans l'hyperespace, mais les termes les plus souvent employés sont digression, non-structuration, absence de logique narrative. Certaines solutions reviennent aux auteurs de documents hypertextes eux-mêmes qui peuvent par endroits réduire l'espace navigable et recréer une structure linéaire, par exemple avec un lien en fin de page sur la page suivante. Le risque est alors de créer un sentiment de frustration chez les utilisateurs habitués à plus de liberté sur l'Internet. D'autres solutions consistent à faire appel à des systèmes capables de créer, d'adapter ou de modifier un document pour qu'il réponde aux attentes de l'utilisateur.

Notre premier objectif concerne la conception d'un tel système. Nous voulons baser notre raisonnement sur une formalisation de la structure documentaire des hypermédia et des documents *virtuels*. L'adjectif virtuel traduit le fait que le document n'est pas consultable en l'état, mais nécessite la mise en œuvre de certaines techniques de composition de façon à produire un document adapté à un lecteur tout en respectant certaines contraintes narratives et temporelles. La composition consiste alors à effectuer les différentes étapes de transformation d'un document virtuel en un document réel.

⁸ [Thevenin, 1999] considère que l'adaptation d'une interface est caractérisée par son adaptabilité i.e. sa capacité à être modifiée par l'utilisateur et par son adaptativité i.e. sa capacité à se modifier automatiquement, sans action explicite de l'utilisateur. Nous utilisons les mêmes définitions en ce qui concerne la composition de documents.

⁹ Le récepteur est l'équivalent du lecteur, mais il peut s'agir tour à tour d'un auditeur ou d'un spectateur suivant que le document comporte des enregistrements ou des vidéos. Dans la suite ce récepteur sera souvent appelé *apprenant* dans la mesure où nous le considérons dans le cadre éducatif.

La représentation sémantique des connaissances

La composition documentaire est un processus fortement dépendant de l'intention qui suscite cette composition. L'auteur en phase de recherche d'information pour composer un document peut adopter deux démarches différentes, souvent associées pour obtenir un meilleur résultat : soit il fait appel à ses connaissances personnelles, soit il effectue une recherche thématique dans des ouvrages de référence. Cependant quelle que soit la méthode employée, c'est toujours en fonction d'objectifs bien déterminés qu'il recherche, sélectionne, organise et assemble les informations qu'il souhaite intégrer dans son document. Cette remarque s'applique encore plus au domaine pédagogique où les documents sont composés suivant une stratégie argumentative précise. Pour qu'un système automatisé soit en mesure d'effectuer ces opérations sur des connaissances, il est nécessaire qu'il dispose d'une représentation précise de ces connaissances.

Notre deuxième objectif concerne le choix d'un mode de représentation doté d'une bonne expressivité et qui facilite les calculs afin d'améliorer la communication entre différents acteurs, humain ou non, d'un projet et de favoriser une recherche d'information et un traitement basé sur la sémantique.

Spécificités pédagogiques

Dans la suite directe des deux premiers, notre troisième objectif concerne la réalisation d'un outil de composition adaptative de documents structurés à des fins pédagogiques. Le transfert de connaissance est une préoccupation essentielle des spécialistes et des chercheurs en matière d'éducation. Quelles sont les meilleures méthodes pour permettre à un étudiant d'acquérir *rapidement* une formation solide ? Quels sont les outils, les moyens qui permettent une meilleure assimilation de nouvelles connaissances ? Comment doit se comporter un enseignant pour avoir la meilleure "rentabilité" ? Ces différentes interrogations, et les réponses qui ont été, en partie, proposées en didactique, doivent nous guider lors de la mise en place de l'outil de composition permettant de créer dynamiquement des documents en fonction d'un profil utilisateur.

Russell Pennell disserte sur les nouveaux besoins des universités, leur délocalisation vers des universités virtuelles et les conséquences qui en découlent [Pennell, 1996]. Ces 'universités virtuelles' constituent une nouvelle forme d'enseignement qui ne peut s'épanouir qu'en s'appuyant sur l'enseignement institutionnel. Notre démarche ne remet donc pas en cause les systèmes éducatifs traditionnels mais tend à les compléter. En effet, le mode traditionnel du maître entouré de ses élèves garde l'aspect humain du transfert de connaissance et favorise une forte motivation de l'élève. Un esprit de compétition bénéfique peut se mettre en place au sein du groupe d'élèves (la classe). De plus une grande partie de la mémorisation réside dans le souvenir visuel du cours (attitude du professeur), le souvenir sonore (le son de la voix, les intonations) et surtout dans la prise de note. Ce dernier aspect n'est pas négligeable car l'attitude de l'élève face à un ordinateur est différente : la prise de note ne lui semble pas nécessaire puisqu'il sait qu'il peut avoir accès au document à tout moment.

Cependant les systèmes éducatifs automatisés présentent certains avantages indéniables de disponibilité, de répétitivité, de simulation à moindre coût et sans risque pour le manipulateur, etc. Nous reviendrons sur ces différents points qui expliquent l'engouement pour de tels systèmes, dans l'état de l'art.

Notre approche est à différencier des interfaces adaptatives, dans la mesure où c'est le document lui-même qui est construit de manière adaptative, et non pas seulement la présentation d'un même document qui varie en fonction d'un modèle utilisateur. Les informations composant ce document peuvent être de natures diverses, tant par le média qui les supportent, que par leur lieu de

stockage et leur accessibilité : il peut s'agir de données stockées dans une base de données propre, mais aussi d'informations trouvées sur le Web.

Dans notre étude, les informations sont toujours considérées par rapport au contexte dans lequel elles seront intégrées. C'est alors l'émergence de sens qui naît de l'association de cette information et de son contexte qui va diriger la construction du document. Cette construction est effectuée sous contraintes de façon à ce que le document final soit adapté aux préférences et aux caractéristiques du récepteur : caractéristiques psycho-sensorielles, temps et budget disponible — aspect primordial sur Internet — mais aussi contraintes plus théoriques qui forcent le respect de règles didactiques par exemple.

Structure de la thèse

La présentation de notre travail est divisée en deux parties. La première présente un état de l'art, la seconde présente à la fois les aspects théoriques et les implémentations qui en découlent. Ces deux parties peuvent être lues de façon indépendante, mais l'état de l'art présente cependant des définitions qui peuvent faciliter la compréhension de certains concepts et de la démarche intellectuelle adoptée dans la deuxième partie.

Partie I : chapitres I à III

Pour une meilleure compréhension du contexte de notre étude, nous avons tenu à faire un état de l'art dans différents domaines voisins de nos recherches. La diversité et l'étendue des travaux qui ont été menés, par exemple dans le domaine des outils éducatifs ou dans celui des structures conceptuelles nous ont contraints à fixer certaines limites. Pour cette raison la présentation que nous en faisons n'est pas exhaustive, mais nous espérons que le lecteur en retirera une vision assez précise des tendances actuelles et des évolutions technologiques qui ont conduit jusqu'à elles.

De plus ce survol de plusieurs domaines permettra d'introduire le vocabulaire nouveau qui sera utilisé dans la suite de la thèse. Un clin d'œil me pousse à comparer la lecture de cette première partie à la construction d'une 'ontologie mentale' sur laquelle sera basée la suite de notre présentation.

Le premier chapitre présente les systèmes éducatifs en se focalisant sur leur évolution vers des systèmes interactifs. Nous abordons également les systèmes auteur et la modélisation de l'utilisateur dans les applications personnalisables car ce sont deux composantes incontournables d'un outil éducatif adaptatif. Le deuxième chapitre présente certains aspects théoriques des documents. Nous mettons en parallèle la structure des documents traditionnels et celle des documents hypermédia. Nous présentons la notion de documents virtuels et détaillons les différentes étapes de la composition qui permettent à partir de ces documents virtuels de créer des documents réels. Durant certaines étapes de la composition le système doit disposer de connaissances sémantiques des éléments qui vont entrer dans la composition du document réel, c'est pourquoi nous présentons quelques techniques d'indexation. Le troisième chapitre constitue la base sur laquelle repose le cœur de notre étude : la représentation de connaissance. Il fait le point sur les ontologies, leurs définitions, leur rôle, et les différents langages et outils qui permettent de les représenter. Enfin les structures conceptuelles sont présentées ainsi que les possibilités de raisonnement qu'elles offrent.

Partie II : chapitres IV à VII

La deuxième partie présente les modèles théoriques et les raisonnements que nous avons mis en place pour la construction adaptative de documents structurés ainsi que les applications qui ont été implémentées en se basant sur ces modèles.

Le quatrième chapitre présente le principe de l'évocation conceptuelle qui, bien qu'étant un mode de penser typiquement humain, peut servir de modèle à une recherche d'information utilisant des calculs de distance sémantique. Nous donnons ensuite une définition des documents virtuels et après en avoir donné des exemples, nous présentons certaines de leurs caractéristiques. Les principes de base de la composition documentaire sont alors présentés en détaillant ses quatre étapes principales : la sélection des informations, le filtrage, l'organisation et l'assemblage de ces informations. Après avoir justifié nos choix concernant l'utilisation d'ontologies, le cinquième chapitre explique comment elles peuvent intervenir dans la construction de documents structurés et l'application de stratégies précises pendant cette construction. Nous détaillons alors deux de nos modèles : l'ontologie pédagogique qui permet l'application de différentes stratégies durant la composition et l'ontologie du domaine traité. Nous expliquons comment ces modèles sont mis en relation avec les documents électroniques par l'intermédiaire d'une qualification. Le sixième chapitre présente deux approches de la composition, dont une utilise des principes de composition basés sur l'association, la collaboration de deux ontologies : l'ontologie pédagogique et l'ontologie du domaine. La comparaison de ces deux approches nous permet d'extraire certaines limites. Le chapitre sept apporte des solutions pour dépasser une de ces limites : la répartition dynamique de poids sur les concepts d'une ontologie, en fonction d'une intention, en vue de l'attribution automatique de rôles pédagogiques aux segments de documents. Cette répartition utilise des principes de la théorie des sous-ensembles flous.

Synthèse de l'introduction

La thèse qui s'offre à votre lecture est le résultat de recherches menées en parallèle sur plusieurs domaines. Un des aspects originaux de ces travaux est de considérer les ontologies, au-delà de la modélisation de connaissance, comme support du raisonnement. Les principes de composition basés sur l'association d'ontologies et la répartition de poids en fonction d'une intention sur une instance d'ontologie ouvrent de nouvelles perspectives de recherche tant pour le traitement de l'information que pour la composition documentaire. Cette thèse propose certains formalismes concernant ces deux aspects. Nous espérons qu'ils serviront de base à des applications futures dans différents domaines comme par exemple la télévision interactive.

PARTIE I

PROBLEMATIQUE ET CONCEPTS : ETAT DE L'ART

La création de documents structurés telle que nous la concevons se trouve à la croisée de plusieurs domaines. Le champ de notre étude est la création automatique de documents pédagogiques multimédia, car ils sont soumis à un grand nombre de contraintes et constituent ainsi une base de recherche intéressante. Dans la suite de cette thèse nous montrerons cependant que notre approche peut être généralisée à d'autres domaines.

Le premier chapitre présente un état de l'art simplifié sur les diverses approches des systèmes d'Enseignement Assisté par Ordinateur — EAO. Il rend compte de l'évolution de ces systèmes vers des applications interactives, due en grande partie à la démocratisation de l'informatique et à l'influence de l'Internet. Les différents modes d'adaptation sont ensuite détaillés. Deux composantes nécessaires à des applications adaptatives sont présentées : les environnements auteur et la modélisation de l'apprenant.

Etant donné que notre approche concerne également le document dans sa structure propre, le deuxième chapitre pose les bases que nous utilisons en matière de structure narrative du document, de techniques de communication, d'organisation du récit et de méthodes d'indexation.

Les principales caractéristiques qui ressortent de ces deux états de l'art nous ont permis de mettre en place une démarche originale pour la composition de documents. Elle repose sur des modèles et des structures de représentation conceptuelle de la connaissance. Le troisième chapitre présente un état des travaux sur les ontologies, leur définition, leur utilisation, les méthodologies et langages utilisés pour les représenter, et une présentation des structures conceptuelles et des modes de raisonnement possibles sur ces structures.

L'étendue des domaines de recherche évoqués nous a contraint à poser certaines limites. Aussi durant la construction de cet état de l'art nous nous sommes focalisés sur un objectif principal, à savoir la *composition sous contraintes de documents pédagogiques adaptatifs*.

« Le discours éducatif, tout comme l'épidictique, vise non à la mise en valeur de l'orateur, mais à la création d'une certaine disposition chez les auditeurs. Contrairement aux genres délibératif et judiciaire, qui se proposent d'obtenir une décision d'action, l'épidictique, comme le discours éducatif, créent une simple disposition à l'action, par quoi on peut les rapprocher de la pensée philosophique. [...] Toute argumentation ne se conçoit, dans cette perspective, qu'en fonction de l'action qu'elle prépare ou qu'elle détermine. »

Chaïm Perelman et Lucie Olbrechts-Tyteca (Traité de l'argumentation)

Des outils pédagogiques et de leur évolution technologique

1.1 Les systèmes d'Enseignement Assisté par Ordinateur.....	27
1.1.1 Les outils d'EAO traditionnels.....	27
1.1.2 Les limites de l'EAO traditionnel et les nouveaux besoins suscités par l'Internet .	28
1.1.3 Les Systèmes Educatifs Intelligents / Interactif - SEI	29
1.1.3.1 L'adaptation du parcours : support à la navigation	31
1.1.3.2 L'adaptation du contenu	33
1.1.3.3 L'apport de la modélisation de la connaissance pédagogique dans les SEI...	34
1.2 Les Systèmes Auteur	36
1.2.1 Environnements pour la génération d'hypertextes	36
1.2.2 Environnements Auteur pour les matériaux pédagogiques	37
1.3 La modélisation de l'utilisateur dans les SEI	38
1.3.1 Le modèle par recouvrement : overlay	38
1.3.2 Le modèle Buggy	39
Conclusion.....	40

Du point de vue de la pédagogie, l'informatique a un double visage [Albert, 1987] : c'est une matière d'enseignement i.e. la connaissance et l'utilisation des systèmes informatiques, la connaissance et la maîtrise des concepts, l'analyse et la programmation ; c'est également un outil pédagogique puissant en tant que support du transfert de connaissance, outil de simulation, support de communication. Dans ce qui suit, c'est ce deuxième aspect qui nous intéresse.

Historiquement, l'éducation est un domaine sensible. Des enjeux considérables sont sous-jacents : en effet, tant à titre personnel que d'un point de vue économique, chaque individu de la société est concerné. D'un point de vue personnel, nous côtoyons ou côtoierons tous des enfants soumis au système éducatif. Cette implication de tous pour l'éducation est visible par la mobilisation importante que suscite toute annonce de réforme de ce secteur.

Pourtant les enjeux financiers sont certainement encore plus sensibles. Les cadres de demain sont les lycéens d'aujourd'hui. Dans une conjoncture dirigée par la mondialisation, la nécessité de créer des compétences humaines qui permettront aux entreprises de se hisser ou de se maintenir aux premières places est primordiale. Dans le même ordre d'idée, le monde industriel consacre une part importante de son budget pour la formation, la mise à niveau ou la reconversion de son personnel.

Conscients de l'importance de ces enjeux, très tôt, les chercheurs en informatique ont conçu des systèmes d'aide à l'enseignement. Que ce soit dans un milieu éducatif traditionnel, écoles, collèges, lycées, universités ou dans des structures de formation continue en entreprise, les systèmes informatisés présentent plusieurs avantages dont les principaux sont les suivants :

- Répétition *ad libitum* d'un même cours. Celui-ci peut être repris tel quel, ce qui permet à l'apprenant de confirmer ses connaissances ou de reprendre une partie plus ardue du cours. Dans la partie 1.3 de ce chapitre, nous détaillons les différents modes d'adaptation des systèmes éducatifs et nous verrons que souvent il est souhaitable qu'un même cours soit répété d'une façon différente, pour optimiser le transfert de connaissance vers l'apprenant ;
- Simulation à moindre coût et sans danger pour les *manipulateurs*. En chimie, par exemple les simulations évitent le contact avec des solutions qui peuvent être nocives. Le danger que présente l'apprentissage de pilotage en milieu hostile (navettes spatiales ou super soniques) est également minimisé par les simulations comme en atteste les nombreux travaux dans ce domaine [Richard et al., 1999] ;
- Disponibilité quasiment permanente du tuteur, quelle que soit sa situation géographique. L'engouement pour l'enseignement à distance repose en partie sur le fait que l'apprenant gère son temps d'apprentissage comme le permet son emploi du temps sans contrainte pour le tuteur ;
- Diminution de l'influence des facteurs humains. Ce dernier point peut être regrettable. En perdant le désir de satisfaire son *maître* l'élève perd une partie de sa motivation, mais on peut également considérer qu'il s'agit d'un point positif par exemple pour un adulte qui désire apprendre à lire et qui n'est plus inhibé par la honte qu'il peut ressentir face à un de ses semblables.

L'évaluation de certains de ces systèmes d'aide à l'enseignement a été jugée satisfaisante. Néanmoins, la démocratisation de l'Internet aidant, beaucoup se sont avérés insuffisants, face à une demande des utilisateurs de plus en plus variée et des exigences technologiques toujours accrues. Les Systèmes Educatifs *Intelligents* (SEI) ont alors été proposés pour répondre à cette demande. Leur intelligence réside essentiellement dans leur capacité d'adaptation à un utilisateur donné ou à une situation donnée. A l'heure actuelle, le 'I' de SEI est plutôt associé à Interactif pour signifier l'adaptation du système mais également l'importance des actions de l'utilisateur.

L'intérêt suscité par de tels systèmes mène à une grande variété de logiciels, toujours plus attractifs et qui tentent de respecter des objectifs différents et de suivre des stratégies pédagogiques adaptées à l'utilisateur.

Ce chapitre tente de synthétiser cette évolution des systèmes éducatifs. La section 1.1 présente plusieurs outils traditionnels d'Enseignement Assisté par Ordinateur (EAO), en décrit les limites et donne un état de l'art des SEI en distinguant les divers types d'adaptation possibles. L'évolution des systèmes d'EAO entraîne de nouveaux besoins en terme de création de cours, c'est pourquoi la

section 1.2 présente des environnements auteur. La possibilité d'adapter un cours à un apprenant particulier suppose que le système ait une connaissance de ce dernier, la section 1.3 détaille les différents modes de représentation et de modélisation de l'utilisateur. La conclusion synthétise les différents modules indispensables à la création d'un SEI et les besoins de ces différents modules.

Une partie des outils et systèmes présentés dans ce chapitre ont été portés à notre connaissance par Darina Dicheva¹⁰ qui a diffusé sa synthèse sur les systèmes éducatifs sur la liste adaptivehh@uts.edu.au en février 1998. Sa contribution concerne surtout les environnements éducatifs destinés à l'Internet. Un état de l'art des systèmes d'Enseignement Assisté par Ordinateur est présenté dans [Delestre, 2000]. Enfin, un site Internet¹¹ présente les principaux systèmes interactifs d'enseignement disponibles sur le réseau des réseaux.

1.1 Les systèmes d'Enseignement Assisté par Ordinateur et leur évolution

Dès leur apparition, la vocation des systèmes d'Enseignement Assisté par Ordinateur (EAO) est de faciliter et d'optimiser le transfert de connaissance en diminuant son coût financier et humain. Ils ont pour objectif de donner à l'utilisateur un certain regard sur un domaine particulier et de créer chez lui les dispositions nécessaires à la compréhension et à l'assimilation des informations diffusées. Cependant les techniques mises en œuvre pour satisfaire ces objectifs ont beaucoup évolué au fil du temps.

1.1.1 Les outils d'EAO traditionnels

C'est dans les années soixante que les premiers systèmes informatiques pour l'enseignement ont vu le jour. Ils sont souvent basés sur un même principe : des scénarios définis dans des graphes imposent une succession d'écrans pour une succession d'actions. L'évolution de tels systèmes est difficile et coûteuse en temps. Pourtant, cette méthode est longtemps restée et reste encore à la base de nombreuses applications.

Dans les années soixante-dix et surtout quatre-vingt, deux courants se sont distingués : les micro-mondes et les Systèmes Tutoriels Intelligents (STI). Dans la théorie des micro-mondes¹², la connaissance n'est plus déductive i.e. un savoir communiqué tel quel à l'apprenant, mais inductive c'est-à-dire basée sur des expériences, des explorations et des constructions spontanées, effectuées dans des "micro-mondes" qui se concrétisent à l'écran de l'ordinateur au gré des programmations effectuées. Ces "micro-mondes" sont à la fois logiques, par la procédure utilisée, et intuitifs, par les projets réalisés. C'est donc par l'*interaction* que l'apprenant découvre le domaine étudié et en assimile les principales propriétés.

Avec l'apparition des systèmes experts (comme Mycin), sont apparus les premiers Systèmes Tutoriels dits *Intelligents*. Ces derniers utilisent l'application de règles de production (de la forme si <condition> alors <action>) pour inférer de la connaissance et disposent d'un module pédagogique qui permet d'adapter le style de l'enseignement en fonction des actions de l'apprenant. A cette époque, la modélisation de la connaissance a également fortement évolué grâce, entre autres, aux réseaux sémantiques. Dans ce dernier cas, ce sont les réactions du système face à certaines actions de l'apprenant qui constitue la base du transfert de connaissance.

Pourtant ce sont les années quatre-vingt-dix qui voient l'évolution la plus profonde dans la conception de systèmes d'EAO, avec l'arrivée d'Internet.

¹⁰ Darina Dicheva, Faculty of Mathematics and Informatics, University of Sofia, Bulgaria.

Email: darinad@fmi.uni-sofia.bg <http://www-it.fmi.uni-sofia.bg/~darinad/>

¹¹ <http://193.68.242.15/TTS/links/library.html>

¹² Extrait de cours de Jacques Rhéaume disponible à <http://www.fse.ulaval.ca/fac/ten/cours/html/cour6.html>

1.1.2 Les limites de l'EAO traditionnel et les nouveaux besoins suscités par l'Internet

Les deux principaux courants que nous avons évoqués témoignent de l'intérêt de plus en plus marqué des pédagogues pour les systèmes éducatifs automatisés et de leur volonté d'intégrer à ces systèmes les théories pédagogiques qu'ils ont mises au point. La principale limite des systèmes d'EAO est de ne pas suffisamment tenir compte de ces théories. De plus, la représentation souvent hiérarchique des connaissances est trop figée et ne permet ni de parcourir librement un cours, ni une adaptation de ce cours à l'apprenant. Enfin, le manque de communication avec un tuteur, humain ou non, et avec d'autres étudiants peut constituer un handicap dans le processus d'apprentissage.

Ces inconvénients sont d'autant plus visibles qu'à partir des années 90, l'avènement de l'Internet et sa démocratisation renforcent la demande et mettent encore plus en relief les limites des systèmes disponibles. Les utilisateurs des systèmes informatiques, de tous âges et venant d'horizons divers, naviguent sur des structures hypertextes en toute liberté et désirent retrouver cette même liberté dans les applications pédagogiques qu'ils utilisent. Par ailleurs, les documents hypermédia étant de plus en plus accessibles (grâce aux progrès technologiques), une volonté forte émerge, de disposer d'outils conviviaux agrémentés d'images, fixes ou non, et d'enregistrements sonores.

Profitant de la capacité de large diffusion que permet l'Internet un grand nombre d'auteurs ont mis leur cours à disposition sur le réseau des réseaux. Cependant ces cours se réduisent souvent à des structures relativement figées avec un lien en fin de page sur la page suivante. La structure classique des supports de cours papier est conservée et aucun mécanisme d'adaptation n'est mis en œuvre. Pourtant, outre la grande diffusion, Internet et les technologies qui lui sont associées (HTML - Hypertext Markup Language, XML - eXtended Markup Language) offrent plusieurs avantages : la possibilité de disposer d'automates de recherche pour compléter les informations disponibles sur un domaine, la possibilité de communiquer avec d'autres étudiants ou avec des spécialistes du domaine, la possibilité d'adapter la présentation des informations aux utilisateurs. Internet ouvre de nouvelles perspectives et relance les recherches dans le domaine des systèmes éducatifs.

Une critique des SEI traditionnels, leur manque de dynamisme et d'adaptation didactique (souvent ils ne possèdent qu'une seule stratégie pédagogique) sont discutés dans [Canut et al., 1999]. Les auteurs soulignent la nécessité de disposer de SEI évolutifs et préconisent pour ce faire l'utilisation de systèmes multi-agents. De plus ils soulignent l'importance de disposer d'une représentation des connaissances portable.

A partir des différents articles qui composent cet état de l'art, j'ai regroupé dans le Tableau 1.1 les caractéristiques des différentes familles de systèmes d'enseignement assisté par ordinateur. La partie grisée correspond à la famille des Systèmes Educatifs Interactifs — SEI, qui constituent le cadre de nos recherches. Nous en dressons un état de l'art dans la section suivante. Les SEI destinés à l'Internet répondent à la plupart des exigences des utilisateurs : adaptation, interactivité, convivialité. Cependant leur conception est complexe et les technologies utilisées doivent être très évoluées. Ce tableau synoptique permet d'identifier les caractéristiques des divers types d'approches. Les caractéristiques mentionnées sont les plus fréquentes mais il est possible de trouver des outils qui font exception et ne répondent pas entièrement à toutes les caractéristiques de leur famille d'appartenance.

		Système individuel	Système sur Internet
Approche traditionnelle	Désignation du système	EAO Traditionnels	Cours hypertextuels en ligne
	Type de représentation de la connaissance du domaine	Câblée (arbres)	Structure hypertexte figée
	Type de parcours	Scénarisé	Hypertexte - Liberté de navigation
	Adaptation	Non	Non
	Interactivité	Minimum (réponse aux tests)	Par le parcours uniquement
	Communication	Non	Restreinte (messagerie électronique)
	Mise à jour	Manuelle et difficile	Dépend de la structure des données
	Accessibilité	Restreinte	Facile et souvent libre
	Modèle de l'apprenant	Non	Non
Approche dite 'intelligente'	Désignation du système	Système Tutoriel Intelligent	Système Interactif pour l'Internet
	Type de représentation de la connaissance du domaine	Conceptuelle (réseaux sémantiques)	Structure hypertexte adaptative et modèles conceptuels
	Type de parcours	Linéaire mais stratégique	Hypertexte-Aide à la navigation
	Adaptation	Oui	Oui
	Interactivité	Oui	Oui
	Communication	Non	Oui (entre élèves ou entre un apprenant et un tuteur)
	Mise à jour	Manuelle	Semi-automatique
	Accessibilité	Restreinte	Facile
	Modèle de l'apprenant	Par recouvrement (nœuds visités) ou buggy	Préférences de l'utilisateur et modèle par recouvrement
Autre	Inférence de connaissance et résolution de problème	Recherche d'information ciblée (objectifs pédagogiques) et règles de composition (stratégies pédagogiques)	

Tableau 1.1 : Tableau synoptique des grandes familles de Systèmes d'EAO

1.1.3 Systèmes Educatifs Intelligents / Interactifs - SEI

Les systèmes d'EAO traditionnels (Learning Environment en anglais) et les "micro-mondes" possèdent une représentation de la connaissance d'un domaine que l'apprenant explore librement ; mais cette liberté peut être déconcertante et lorsque la modélisation du domaine est très large l'utilisateur peut se perdre. Par réaction, les auteurs de Systèmes Educatifs Intelligents - SEI (ou ITS pour Intelligent Tutoring Systems) ont intégré un tuteur *intelligent* à leur système afin de contrôler le processus d'apprentissage et de respecter certaines stratégies pédagogiques lors du déroulement de ce processus. Un SEI est un système automatisé contenant une base de connaissance du domaine à enseigner et une base de connaissance des stratégies didactiques. Il combine les deux bases pour offrir à l'apprenant un document adapté à ses besoins et à ses objectifs. Il existe deux grands types de SEI : les systèmes à base de connaissance qui fonctionnent avec des moteurs d'inférences de type système expert et les systèmes multi-agents dans lesquels le cours est construit en fonction du résultat de la négociation entre agents. Ces derniers peuvent d'ailleurs faire également appel à des

moteurs d'inférence. Les systèmes multi-agents sont surtout utilisés dans les simulateurs comme Jac ([Crampes et al., 1999]) ou CMOS ([Canut et al., 1999][Richard et al., 1999]).

Les concepteurs de SEI recherchent les modélisations adaptées à ces deux types de connaissance et intègrent dans leurs systèmes des formes d'apprentissage, de réactivité, de modélisation incrémentale de l'apprenant. L'évaluation de ces systèmes est satisfaisante, pourtant ces derniers restreignent la liberté de navigation. Brusilovsky et al. affirment¹³ que dans la plupart des domaines, il serait possible d'obtenir de meilleurs résultats en alliant les avantages des deux approches car si les SEI contrôlent de façon adaptative l'apprentissage, les systèmes d'EAO traditionnels et les micro-mondes soutiennent un style d'apprentissage efficace, par la pratique [Brusilovsky et al., 1994]. Un outil doté d'un tuteur, d'un environnement d'apprentissage et d'un système hypermédia combinerait efficacement les deux approches. Notre travail s'inscrit directement dans cette lignée.

Si au commencement des recherches sur les environnements d'EAO, et ensuite sur les SEI, certains pouvaient avoir la prétention de vouloir remplacer le système éducatif traditionnel, rapidement cette tendance a été écartée. Aujourd'hui, la plupart des SEI ont pour vocation de soutenir et/ou compléter un processus éducatif classique. Pour des applications Internet ce n'est plus le cas, car le système est utilisé dans un processus intégral d'enseignement à distance. Il doit donc être autonome et complet [Brusilovsky et al., 1996]. Après avoir étudié plusieurs autres limites des SEI, John Eklund souligne que l'aspect le plus important d'un système d'aide à l'instruction est son interactivité [Eklund, 1993]. Dans la communauté française, les SEI deviennent peu à peu des Systèmes Educatifs *Interactifs*.

Pourtant la notion d'*intelligence* reste présente dans la conception de ces systèmes. Mais ce terme n'est pas employé dans sa signification première. Pour Canut et al. l'*intelligence* est le degré d'interaction entre préférences, raisonnement, planification et apprentissage ; ce dernier point ayant trait à l'adaptation est détaillé en fonction de plusieurs mécanismes [Canut et al., 1999]. Pour Mizoguchi et al. la principale qualité d'un système qualifié d'*intelligent* est sa facilité d'adaptation [Mizoguchi et al., 1997]. Cette adaptativité prend en compte les évolutions du monde dans lequel le système évolue et l'évolution des états des différentes composantes de ce monde i.e. pour les systèmes éducatifs : le système lui-même, l'apprenant et éventuellement un tuteur (humain ou non) qui peut avoir une influence sur la suite du cours. Cette évolution peut résulter de certains événements. La raison d'être des systèmes adaptatifs peut s'expliquer par le besoin pour un utilisateur quelconque de recréer un environnement de travail qui lui soit familier quelle que soit l'application. Cet utilisateur n'est alors plus dépendant du mode de penser du concepteur de l'application et peut plus facilement s'initier à un nouveau logiciel.

"Un Système hypermédia adaptatif est un système hypertexte ou hypermédia qui reflète certaines caractéristiques de l'utilisateur dans un modèle utilisateur, et qui applique ce modèle de façon à adapter certains aspects visibles du système à cet utilisateur." [Brusilovsky, 1998]. L'auteur pose alors les questions essentielles que rencontre tout concepteur de système adaptatif : Pourquoi utiliser un système adaptatif ? Quels problèmes peuvent être résolus par de tels systèmes ? Quelles caractéristiques de l'utilisateur doivent être prises en compte ? Qu'est ce qui peut être adaptatif dans le système ? Et enfin quels sont les objectifs de l'adaptation ? Pour nous l'adaptation peut être de deux ordres : l'adaptation du parcours de lecture au travers de données existantes fixes ou l'adaptation du contenu du document lui-même. Concernant l'adaptation du parcours de lecture, [Brusilovsky, 1998] synthétise les différentes adaptations possibles dans les hypermédia dans la Figure 1.1.

¹³ Dans la suite, lorsque des propos d'auteurs anglophones sont rapportées, ils le sont après traduction par l'auteur de cette thèse.

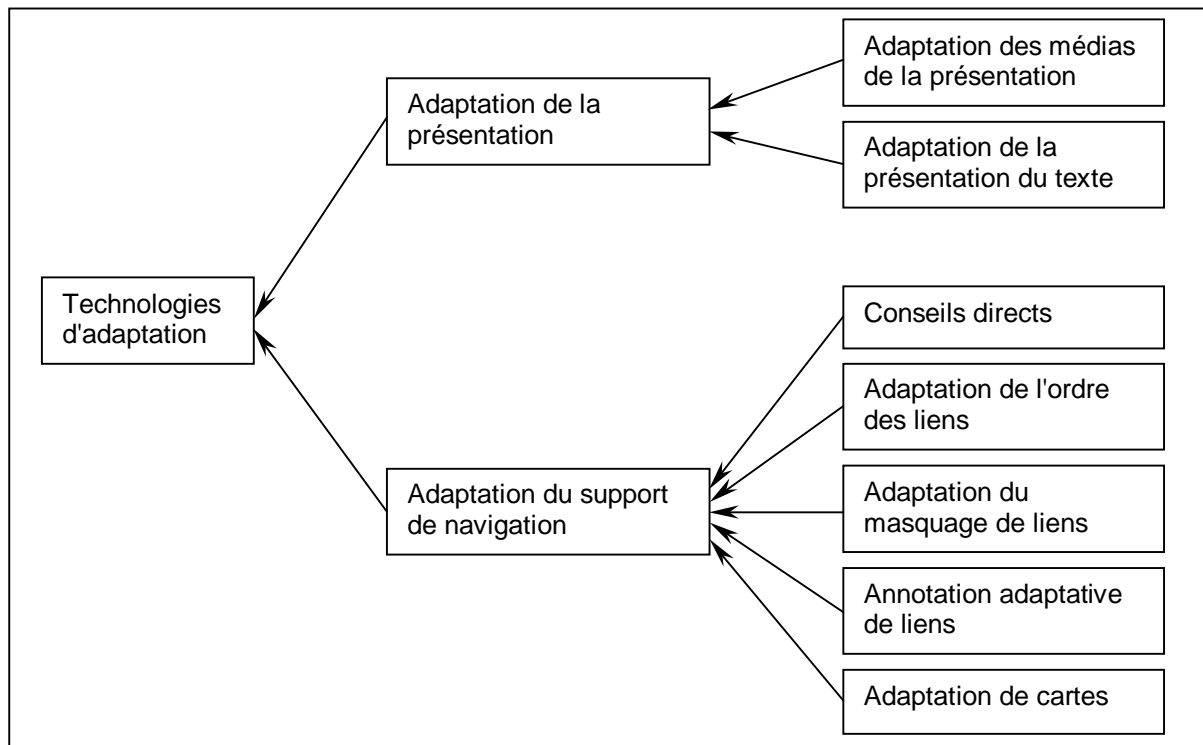


Figure 1.1 : Différents types d'adaptation possibles dans les documents hypermédia selon Brusilovsky

Dans la suite de ce mémoire, plusieurs travaux sont présentés, la distinction étant faite entre les recherches concernant l'adaptation de la présentation de l'information et l'adaptation du contenu.

1.1.3.1 L'adaptation du parcours : support à la navigation

L'hypertexte a démontré le pouvoir d'une structure d'information associative comme alternative à une structure hiérarchique séquentielle. Alors que les auteurs de cours trouvent en cette flexibilité un défi intéressant, elle semble laisser trop de liberté au lecteur et manque de structure [Eklund, 1993]. Le nombre de données accessibles sur le réseau des réseaux étant toujours plus important, de réels problèmes de perte dans l'hyperespace apparaissent. Il devient indispensable de doter les systèmes d'une aide à la navigation. Les méthodes d'aide à la navigation (que nous détaillerons dans la section 2.1.2) reposent sur deux principes de base : réduire l'espace accessible et/ou indiquer les liens pertinents. Cette dernière technique peut être réalisée par un code de couleurs associées à certains liens, par une annotation ou un typage des liens [Brusilovsky et al., 1995] [Cleary et al., 1996] [Henze et al., 1999].

Les applications destinées à l'Internet utilisent le multimédia. Certains média sont mieux adaptés à la transmission de certains types d'information. Certaines parties sont plus compréhensibles en texte et d'autres plus explicites en image. Feiner et al. présentent le système **COMET** (COrdinated Multimedia Explanation Testbed) qui à partir d'un contenu à afficher (une hiérarchie de formes logiques) sélectionne le média le plus adapté (à l'aide d'un coordinateur de média) et l'utilise comme support à ce contenu [Feiner et al., 1990]. Le coordinateur utilise les résultats d'expérimentations informelles qui ont abouti à certaines conclusions concernant le média le plus adapté en fonction du type d'information à transmettre (une localisation doit faire intervenir un graphique, des actions abstraites doivent être traduites en texte seulement, etc.).

Brusilovsky et al. proposent une méthodologie pour la conception de systèmes éducatifs pour l'Internet [Brusilovsky et al., 1996]. Cette méthodologie est appliquée au développement d'un des

premiers Systèmes de Tuteur Intelligent en ligne : **ELM-ART** [Weber et al., 1997]. Ce système est destiné à l'aide à l'apprentissage du langage LISP. Il permet à l'utilisateur de choisir entre une vue complète du cours ou uniquement des exercices. La première option place l'utilisateur tout au début du cours et offre les matériaux pédagogiques, les exemples, les exercices et un système d'évaluation. Les actions de l'utilisateur sont enregistrées de façon à pouvoir reprendre une session qui aurait été interrompue et de façon à ce que le système connaisse en partie ses connaissances. La seconde option offre uniquement les descriptions des fonctions, des exemples et des exercices de programmation. ELM-ART soutient l'apprenant dans son apprentissage avec un parcours guidé du cours par l'intermédiaire d'annotations visuelles des liens.

InterBook¹⁴ est un environnement auteur et un fournisseur de documents hypermédia adaptatifs sur l'Internet [Brusilovsky, 1996][Eklund et al., 1997]. Ce système offre la technologie nécessaire pour développer des documents HTML annotés à partir de documents plein texte. Il permet également la diffusion adaptative de ces documents électroniques. Il présente une table des matières sous forme de liens hypertextes annotés en utilisant une technique d'annotation et de tri adaptative. Chaque utilisateur possède un modèle dans le système, qui est régulièrement mis à jour avec ses connaissances acquises, ce qui permet de le guider dans sa navigation.

INTERACTOR et **EP/PHASME** sont deux logiciels éducatifs dotés d'une aide à la navigation. Ils sont développés selon les principes exposés dans [Linard et al., 1995]. Ces principes sont basés sur les différentes phases d'apprentissage rencontrées dans un processus d'enseignement classique et s'inspirent fortement des qualités de la métaphore pour améliorer le transfert d'information. Pour cela trois phases de navigation sont identifiées : orientation, initiation et réflexion.

Le logiciel Multimédia **CD-qualité** est un outil de formation des acteurs de la qualité [Crampes et al., 1998b]. Conçu par l'Ecole des Mines d'Alès, à l'initiative de Michel Crampes, ce système permet un apport d'expertise. Les leçons sont figées et la page qui s'affiche est directement le résultat d'actions spécifiques de l'apprenant. L'innovation réside dans le fait que la motivation de l'apprenant repose sur la nécessité de respecter des contraintes temporelles dans un micro-monde qui simule une entreprise. Le système lui présente un ensemble de leçons multimédia relativement courtes, et il est invité à répondre à des questions ou à fournir une aide à chaque fois qu'une alarme se déclenche, lui demandant d'intervenir pour un des acteurs de l'entreprise. Les parts de marché de l'entreprise augmentent d'autant plus que ses réponses ou ses aides sont adéquates.

Entre 1986 et 1992 l'Ecole des Mines d'Alès a été partenaire d'un projet européen qui a donné naissance à **MethodMan**, un logiciel d'apprentissage de la conduite de projet [Pintelas et al., 1992]. Il a depuis été utilisé dans des entreprises, des écoles d'ingénieur ou des universités. Son objectif consiste à expliquer les différentes phases d'un projet, les différentes activités et contrôles qui interviennent dans chaque phase et les tâches relatives correspondant à ces activités et contrôles. Un glossaire hypertexte est accessible. La difficulté réside dans le fait qu'il n'existe pas de progression linéaire dans l'apprentissage de la gestion de projet, mais que tous ses concepts sont reliés et interdépendants. Une présentation détaillée de MethodMan et de ses limites sont présentées dans [Crampes, 1999]. Les objectifs actuels sont de transcrire ce système pour le rendre accessible sur Internet, mais en y intégrant les remarques des utilisateurs et en améliorant son adaptativité et ses performances concernant les stratégies pédagogiques et leurs applications.

En 1996 le centre européen de recherche appliquée de DIGITAL Equipment, situé à Karlsruhe, a débuté un projet financé par le ministère allemand de l'éducation nationale ayant pour but la création d'un système de mise à niveau et de formation continue. **VLL** (Virtual Learning Lab)

¹⁴ <http://www.contrib.andrew.cmu.edu/~plb/InterBook.html>

devait fournir un environnement auteur et présenter des cours, par l'intermédiaire de réseaux à hauts débits. Le projet VLL a donc été réalisé en respectant des modèles pédagogiques et didactiques mis en place par des pédagogues. Les deux composantes principales sont l'éditeur de conception de matériaux pédagogiques et un éditeur de structure de cours. Le système dispose d'un module d'analyse et de création du cours et d'un moteur qui interprète ce cours et constitue donc un navigateur pédagogique pour l'apprenant. Ces cours multimédia sont agrémentés d'outils de communication cependant leur structure est figée et l'adaptation est visible uniquement au travers d'une aide à la navigation. Nous voulons approfondir cette adaptation en l'appliquant également au contenu même des documents.

Le travail de recherche présenté dans cette thèse fait suite aux deux projets MethodMan et VLL. Notre but est la réalisation d'un Système d'Enseignement Interactif destiné à l'Internet, basé sur une modélisation conceptuelle de la connaissance, avec pour finalité l'amélioration de l'environnement auteur et l'adaptativité du système à l'apprenant sous contraintes temporelles et didactiques. Cependant, contrairement aux systèmes présentés ci-dessus, l'adaptation concerne non seulement la présentation des informations, mais aussi le contenu même du document pédagogique.

1.1.3.2 L'adaptation du contenu

Les outils qui sont présentés ici sont ceux développés par des universitaires et qui ont été portés à notre connaissance au travers de publications ou par leur accessibilité en ligne. Il est clair que beaucoup d'outils existent sur le marché, mais leur coût ne nous a pas permis de les connaître ni de les tester.

ARIADNE¹⁵ est un environnement pour la mise en commun de systèmes d'enseignement assisté par ordinateur. Les outils qui le composent peuvent être utilisés dans le cadre de formation classique ou d'enseignement continu. Le mode d'apprentissage se veut structuré et permet le partage et la réutilisation des connaissances. Ce projet aurait pu être classé dans les environnements auteur puisqu'il contient un environnement auteur de simulation, de QCM, d'exercices d'auto-évaluation, d'hypertexte et de vidéo clips. Cependant nous l'avons répertorié dans cette section car c'est la partie système d'agrégation de connaissance (Knowledge Pool System - KPS) qui est la plus proche de notre travail.

Les documents pédagogiques provenant d'environnements auteur quelconques ou d'outils d'ARIADNE sont indexés et validés et le KPS crée des documents pédagogiques pour les étudiants, ou bien permet une exploitation de ces documents par les auteurs et les pédagogues. Forte et al. détaillent les besoins des outils éducatifs : la possibilité de produire des segments pédagogiques, les outils de communication, l'adaptation des cursus aux environnements habituels des apprenants. Ils présentent également un rapide état de l'art des environnements éducatifs basés sur l'Internet [Forte et al., 1997a]. Les acteurs du projet ARIADNE ont principalement deux objectifs : i) la production et la maintenance de matériaux pédagogiques par des spécialistes, basées sur des scénarios socio-pédagogiques et ii) l'utilisation de méthodes, outils et techniques permettant un accès et une utilisation conviviale des cursus présentés. Forte et al. annoncent l'automatisation prochaine de leur processus [Forte et al., 1997b]. Dans nos travaux les cours sont auto-composés, c'est-à-dire qu'il n'y a pas d'intervention humaine dans le processus de composition de cours.

CMOS (Cockpit Maintenance Operation Simulator) est un projet de simulation et d'apprentissage utilisé en aéronautique. Il est basé sur un nouveau modèle d'agents, Systemion, qui évolue, mute, par certaines techniques d'apprentissage. [Canut et al., 1999][Richard et al., 1999]. Dans son architecture multi-agents certains agents sont adaptatifs : les registres changent et les interventions évoluent et sont gérées en fonction de la progression de l'apprenant. La communication est également adaptative de façon synchrone ou asynchrone, entre les étudiants et les tuteurs.

¹⁵ Alliance of Remote Instructional Authoring and Distribution Networks for Europe

SQL Web-Tutor est un système adaptatif éducatif pour le Web qui permet de s'initier au langage SQL (Structured Query Language). Le système s'adapte au comportement de l'utilisateur, à ses connaissances, à ses besoins et à ses stratégies d'apprentissage. Le système comporte également un environnement auteur permettant de réutiliser certains cours dans un nouveau cours, en utilisant une organisation et une stratégie différente.

WEST (Web Educational Support Tools) est un système d'aide à l'apprentissage pour des élèves en informatique, disponible sur le Web¹⁶. Il a été développé à l'université de Dublin. Son but est de faciliter la création et la diffusion de matériaux pédagogiques. Sa facilité d'installation et de mise à jour satisfait la majorité des universitaires qui l'utilisent. Une fois que le serveur fonctionne, toutes les tâches de conférencier peuvent être effectuées à partir de n'importe quel ordinateur sur le réseau [Pennell, 1996][Eklund, 1996]. John Eklund soulève en particulier les problèmes de l'adaptativité et de la recherche d'information en ligne. Russell Pennell donne un récapitulatif des différents modes de communication sur le réseau et cite les outils qui leur sont associés. WEST permet à plusieurs étudiants et aux professeurs de communiquer. L'état actuel de l'apprenant est pris en compte et est établi par résultats de tests et par sa progression à travers le système (nœuds visités).

Dans notre approche, nous laissons délibérément de côté l'aspect communication entre les acteurs du système parce que le but de notre recherche concerne directement la composition automatique et les infrastructures qui permettent de la réaliser. Cependant nous restons convaincus qu'un bon déroulement d'un cursus nécessite au moins un moyen de communication entre les pédagogues et les apprenants, et même entre les apprenants eux-mêmes pour un travail de groupe. Les modes de communication sont nécessaires pour tout processus d'apprentissage, comme en témoigne **CO-MENTOR**¹⁷, un environnement multi-utilisateurs qui a pour but de faciliter l'apprentissage en collaboration pour des étudiants en philosophie et en science sociale. Les étudiants peuvent prendre part à des discussions ou débats sur les issues de la théorie des sciences sociales et de l'humanité, de façon synchrone (communication du type irc) ou asynchrone (communication du type mailing liste, forum de discussion). On peut citer également **MediaSoft**¹⁸, un site où l'on peut apprendre le langage HTML. Les apprenants peuvent se rencontrer dans des classes virtuelles pour s'initier à la conception de sites Web et l'administration de ces sites. Des tests sont proposés (HTML QUIZ). On peut également accéder à des groupes de discussion. Pour un apprentissage individuel, des tutoriaux sont disponibles.

L'outil **2L670** conjugue quant à lui l'adaptation du contenu et l'adaptation de la présentation par une annotation de lien au travers d'un code de couleur et par l'intermédiaire des Cascading Style Sheets (CSS) [Bra et al., 1998]. Les cours qu'il présente sont des documents hypertexte écrits en HTML générés en fonction d'un modèle de l'utilisateur et de certains objectifs pédagogiques. Les auteurs soulignent le manque de souplesse et d'adaptabilité du langage HTML. Il nous semble que certains nouveaux standards comme XML et XSL permettraient de pallier ce problème. Nous y reviendrons plus en détail dans le chapitre suivant.

1.1.3.3 L'apport de la modélisation de la connaissance pédagogique dans les SEI

Le transfert de connaissance est une préoccupation essentielle des spécialistes et des chercheurs en matière d'éducation. Pourtant, au regard des différents outils d'enseignement automatisés une constatation s'impose : très peu de ces logiciels offrent aux auteurs un

¹⁶ <http://www.west.ie> Home Page for WEST

¹⁷ <http://www.hud.ac.uk/comentor>

¹⁸ <http://chat.compsmart.com/>

environnement qui tienne compte des travaux de recherche effectués en didactique. La conception de SEI est souvent réalisée en présence du trio suivant :

- un auteur, qui connaît le contenu du cours qu'il veut faire (souvent, c'est le fruit de recherches personnelles très poussées), mais qui ne connaît pas la structure qu'il veut lui donner, et qui, parfois, ne connaît pas de façon formelle les buts qu'il souhaite atteindre. De plus, il s'agit souvent d'un non informaticien, qui ne sait donc quasiment rien de la représentation en machine, et donc de la structure à donner à ses cours
- un (une équipe de) développeur(s) qui doit construire ce cours, mais qui n'a pas toutes les données : les finalités du cours, les stratégies à adopter, etc.
- des étudiants qui souhaitent avoir un outil convivial, facile à utiliser et offrant une vue aussi complète que possible du domaine étudié.

En résumé, si les stratégies et méthodes habituelles d'enseignement peuvent être comprises et appliquées par des professeurs humains, elles sont difficilement exploitables par des systèmes automatiques. Un grand nombre de recherches s'orientent vers la possibilité de doter les systèmes d'une connaissance pédagogique propre, afin qu'ils appliquent les principes didactiques de base.

La nécessité de modéliser séparément et de façon indépendante la connaissance du domaine et la connaissance pédagogique s'est rapidement imposée. Cette approche est déjà amorcée dans [Clancey, 1984] où l'auteur souligne la nécessité de doter le système **NEOMYCIN** d'une 'taxonomie étiologique' afin de permettre la généralisation ou spécialisation de concepts. Ce système, très référencé dans la littérature du domaine, contient une représentation de la stratégie de diagnostic indépendante du domaine, une représentation de la connaissance de la structure du problème et suivant une méthode de chaînage avant, il réalise des diagnostics médicaux.

Dans [Goodkovsky, 1996] l'auteur présente **Intelligent Tutor**, un système qui permet la conception et le développement de systèmes d'apprentissage intelligents indépendamment du domaine enseigné. Cette approche est approfondie et détaillée dans [Goodkovsky, 1997], avec la présentation de formulaires à remplir par les auteurs pour l'aide à la modélisation du système souhaité. Le plan qu'il propose adopte une approche descendante (Top-Down).

Un modèle de représentation des connaissances dans un système tutoriel intelligent est présenté dans [Nkambou et al., 1997]. **CREAM** (Curriculum REpresentation and Acquisition Model) permet de modéliser la connaissance suivant trois perspectives : domaine, pédagogie et didactique. L'aspect pédagogique s'intéresse aux objectifs d'enseignement tandis que l'aspect didactique s'intéresse aux moyens tactiques nécessaires pour atteindre ces objectifs. Le domaine est représenté en fonction de capacités (connaissance acquise permettant de réussir un exercice physique ou mental) reliées dans un graphe de relations. Trois types de capacités sont distingués : informations verbales (savoir que...) qui caractérisent la connaissance de la réalité, l'habileté intellectuelle (savoir comment) qui permet de réaliser des opérations mentales telles que prouver, démontrer, exécuter et les stratégies cognitives qui représentent les capacités utilisées pour apprendre ou résoudre un problème.

Si un grand nombre de méthodes ont été utilisées : matrices, langages de frame, objets, etc., aucune ne traite explicitement de la sémantique pour la représentation de connaissance. Ces systèmes sont donc accessibles uniquement par des spécialistes, et la compréhension et la lisibilité de la base de données sont difficiles. C'est pourquoi l'utilisation d'ontologies (c.f. chapitre 3) s'impose peu à peu dans le domaine des outils d'enseignements à distance comme méthode de représentation de la connaissance pédagogique. Mizoguchi et al. s'étend longuement sur la nécessité de disposer d'une ontologie d'instruction afin de doter le système d'une connaissance pédagogique [Mizoguchi et al., 2000] (c.f. chapitre 5). Cette connaissance veut se baser sur certains résultats des

sciences de l'information, indépendamment du domaine étudié. De même, dans [Schoening, 1997] le cours est divisé en parties appelées *Modules du Domaine* (Domain Module) dont l'organisation respecte une ontologie pédagogique.

1.2 Les Systèmes Auteur

Les traitements de textes, initialement consacrés aux tâches administratives, permettent la création de documents électroniques plus faciles à mettre en page, à mettre à jour, à archiver. C'est donc tout naturellement que les auteurs de cours les ont utilisés. Actuellement, la plupart de ces outils ne suffisent plus pour créer des documents faisant appel à de nouvelles technologies comme l'hypertexte, même si certains ont évolué en conséquence, *WordTM* par exemple. De plus, lors de la conception de cours, plus que la saisie elle-même, c'est la structure propre du cours qui doit être pensée et pour ce faire un environnement auteur spécifique pour les applications pédagogiques est souvent indispensable. Tom Murray présente un état de l'art approfondi des environnements auteur de systèmes éducatifs intelligents [Murray, 1999]. Dans cette section nous focalisons notre attention sur des environnements de conception de documents destinés à l'Internet.

1.2.1 Environnements pour la génération d'hypertextes

Nous ne citons ici que les principaux outils permettant de créer des documents hypertextuels.

Eklund et al. utilisent **Word** comme base pour la génération de matériaux pédagogiques [Eklund et al., 1997]. Un fichier Word structuré est traduit au format InterBook. La structure du document est reconnue grâce aux titres. La deuxième étape consiste à annoter le fichier obtenu de façon à savoir à quels concepts sont associées les différentes parties du document. Chaque fichier est ensuite associé à une liste de sections ayant un nom et un type, et correspondant à une partie du document original. **Netscape Composer**¹⁹ est un compositeur intégré à Netscape Communicator. Son utilisation ressemble à l'utilisation des traitements de textes classiques. Les pages générées sont écrites en HTML. Il dispose d'un correcteur orthographique. **FrontPage**²⁰ est un outil de Microsoft pour la création, la gestion et la maintenance de sites sur Internet intégrant les nouvelles technologies du Web (animations, feuilles de style, etc.). Son utilisation s'apparente à celle des outils de Microsoft Office.

Amaya²¹ est un outil complet pour la navigation et la création de pages Web, mis en place à l'instigation du Consortium W3 (W3C), ce qui assure la parfaite conformité des pages produites avec les standards en vigueur sur la toile. Il est utilisé pour tester et mettre au point les nouveaux protocoles et formats de données du Web sans cesse en évolution. Il allie souplesse et extensibilité et est disponible pour les plates-formes UNIX, Windows'95 et NT. Il est équipé d'une interface "WYSIWYG" conforme à la présentation des navigateurs les plus populaires. Il permet la création de pages en langage HTML, XHTML, ainsi que les feuilles de style CSS. Il met à la disposition des auteurs des dispositifs spécialisés comme par exemple des vues multiples où la structure interne du document peut être comparée à sa présentation à l'écran.

Macromedia Authorware²² est un environnement auteur multimédia plus complet que ceux évoqués ci-dessus. Il permet la création d'applications Web et d'applications d'apprentissage en ligne. Les développeurs, auteurs de cours ou experts d'un domaine peuvent créer des documents, disponibles pour toute plate-forme, accessibles en ligne ou sur CD-ROM, destinés à l'enseignement en ligne et au suivi des étudiants.

¹⁹ <http://home.netscape.com/communicator/composer/v4.0/index.html>

²⁰ <http://officeupdate.microsoft.com/france/welcome/frontpage.asp>

²¹ <http://www.w3.org/Amaya/> et <http://www.w3.org/Amaya/Activity.html>

²² <http://www.macromedia.com/software/authorware/>

IconAuthor²³ est présenté comme une solution possible pour les concepteurs de cours et les développeurs professionnels d'applications pédagogiques accessibles sur réseau, sur la toile ou sur CD-ROM. Il est compatible avec les plates-formes UNIX et Windows et permet l'intégration de documents multimédia (vidéos au format MPEG, Quicktime, et AVI) dans des cours de formation avancée, des systèmes de mise à niveau, d'aide en ligne ou de simulation en temps réel. Il combine un environnement de visualisation des pages avec un organigramme simple mais puissant permettant de gérer le degré d'interactivité de l'application.

Mais si la création de documents hypertextes est facilitée par de tels outils, la construction d'un cours nécessite une analyse préalable forte et une idée précise de la structure adoptée par le cours. De plus, si les documents hypertextes ainsi obtenus sont précis et corrects, ils ne disposent pas forcément d'une aide à la navigation et sont souvent peu adaptés à l'application qui va les utiliser. Pour y remédier, les environnements auteur spécialisés pour la création de matériaux pédagogiques sont nécessaires.

1.2.2 Environnements Auteur pour les matériaux pédagogiques

L'environnement auteur ne repose souvent pas sur une représentation déclarative claire, et il n'a pas de modèle bien défini. Pourtant, c'est sur lui que repose toute l'architecture du SEI et les méthodes et technologies appliquées pour composer et diffuser le cours. Lors de sa conception, deux points essentiels doivent être définis : i) Quelles sont les fonctionnalités du système éducatif ? ii) Quels sont les buts éducatifs du système, les objectifs des cours ? De la réponse à ces deux questions vont être déduites les différentes composantes du système et l'architecture optimale à utiliser. Un environnement auteur doit permettre une acquisition rapide des connaissances (KA pour Knowledge Acquisition) et leur classification. Une méthode pour cette acquisition et cette classification est présentée dans [Martin, 1995]. La réutilisation de fragments de documents et les besoins qu'elle entraîne dans la conception de ces fragments sont discutés dans [Rekik et al., 1999].

EON [Murray, 1996, 1998] est un ensemble d'outils indépendants du domaine enseigné, permettant de mettre en place les différents modules nécessaires à un environnement éducatif. Il s'agit d'un environnement '*méta-auteur*' pour concevoir des environnements auteur spécifiques à un domaine. Il est basé sur la représentation des domaines sous forme d'ontologies. Les auteurs peuvent y définir les thèmes, les liens entre ces thèmes pour la représentation du domaine ainsi que les concepts utilisés dans le modèle de l'étudiant. Chaque thème est relié à une liste de 'niveaux de thème' définissant les différentes instructions (introduction, exemple, résumé, etc.) à une série de liens, pré-requis, et à des propriétés.

L'auteur souligne le fait que le partage d'une même terminologie pour la représentation de connaissance d'un domaine ou de la pédagogie permet de comparer les systèmes et de partager des bases de données.

RAPITS (Rapid Prototyping Adaptive Intelligent Tutoring System) [Woods et al., 1995][Woods et al., 1996] est un système développé dans le but de permettre l'application de différentes stratégies pédagogiques pour adapter le style de cours à l'utilisateur et au domaine. Le support du cours est un livre électronique ce qui évite le problème de l'annotation car le numéro de page est un moyen suffisant dans un premier temps pour localiser une information ; le découpage en pages assure une 'homogénéité' de la taille des segments d'information. La recherche d'information est basée sur de simples mots clés. Cette méthode semble trop figée, et surtout moins efficace qu'une représentation et une recherche d'information basée sur la sémantique.

²³ <http://www.onlinecbt.com/icon.htm>

La difficulté de communication entre les différents acteurs impliqués dans la conception d'environnement éducatif nous a poussé à intégrer à notre système un environnement auteur convivial et fonctionnel. Le point faible des systèmes éducatifs en général réside dans le fossé qui peut exister entre les spécialistes de la pédagogie, les professeurs (détenteurs d'une certaine connaissance dans un domaine bien ciblé), et les informaticiens qui créent les systèmes pédagogiques. Ces différents acteurs tiennent souvent des discours très spécialisés. La communication entre ces différents acteurs du projet éducatif n'en est que plus difficile. Notre objectif est de fournir à l'auteur de cours, qui constitue un type d'utilisateurs, des outils pour la modélisation de la connaissance qui soient à la fois efficaces et simples à mettre en œuvre.

1.3 La modélisation de l'utilisateur dans les SEI

Le but de la création de documents adaptatifs est l'établissement d'une certaine *forme de dialogue* entre l'utilisateur et le système, ce dernier essayant au mieux de satisfaire les besoins, les contraintes et les préférences du premier. Nous avons longuement insisté sur le fait que les Systèmes d'Enseignement Interactifs sont capables de modifier de façon dynamique la teneur ou l'aspect du contenu hypermédia en fonction de la compréhension qu'a le système, de l'utilisateur, de ses besoins, de ses préférences et de ses contraintes. Pour ce faire, une représentation dans le système de ces différents points est indispensable. C'est ce qu'on appelle le modèle d'utilisateur.

[Eklund, 1993] détaille quatre SEI et les différents modèles cognitifs qu'ils utilisent. Ses conclusions sur les principes de la modélisation sont les suivantes :

- La plupart des connaissances étant procédurale, le tuteur a besoin d'un modèle de trace pour vérifier que l'étudiant suit un chemin correct vers la solution ;
- La modélisation cognitive permet de personnaliser le dialogue et par là même d'augmenter l'interactivité entre le système et l'apprenant ;
- Si le SEI a besoin d'une représentation cognitive indépendante du domaine, une certaine connaissance du domaine est néanmoins souhaitable ;
- Des pré-tests sont recommandés pour connaître la perspicacité de l'apprenant ;
- Le modèle de l'apprenant doit être constamment mis à jour. Il doit contenir des informations sur les erreurs de l'apprenant, mais aussi sur ses croyances ;
- Les idées fausses et les erreurs de l'apprenant doivent être corrigées avec des stratégies adaptées ;
- L'interface doit minimiser le bruit et rester fidèle, c'est-à-dire résoudre les problèmes comme le ferait naturellement l'apprenant.

Il existe plusieurs types de modèles de l'utilisateur dont deux principaux. Le modèle *overlay* ou par recouvrement est appelé ainsi car il traduit le recouvrement des connaissances de l'apprenant par rapport au modèle du domaine. Le modèle *buggy* analyse les erreurs de l'apprenant et en recherche les causes. Il existe également des systèmes qui utilisent des stéréotypes comme modèle ('utilisateur débutant', 'expérimenté', etc.) ou qui disposent de modèles hybrides [Hannigan et al., 1998]. Monique Baron mentionne d'autres méthodes [Baron, 1998]. Nous n'en détaillons que deux ici, mais le lecteur intéressé pourra se reporter à [Py, 1998] pour plus de détails. Ces méthodes, comme le diagnostic cognitif qui consiste à déterminer automatiquement les contenus du modèle de l'apprenant en fonction du comportement de celui-ci, nécessite la mise en place de plusieurs modèles : modèle expert, modèle des élèves et catalogue des erreurs ; ils sont donc difficiles à mettre en œuvre. Brusilovsky remarque que l'entière automatisation du modèle utilisateur n'est pas souhaitable même si la mise à jour régulière doit être facile et rapide [Brusilovsky, 1998].

1.3.1 Le modèle par recouvrement : overlay

Le modèle overlay, aussi appelé modèle de recouvrement ou modèle d'expertise partielle, est souvent rencontré dans les systèmes éducatifs actuels [Wenger, 1987][Murray, 1998]. La

modélisation de la connaissance est généralement constituée d'un ensemble de concepts du domaine, organisé en réseau sémantique, qui définit la structure du domaine. Le modèle consiste alors à modéliser l'apprenant en rapportant ses connaissances supposées par recouvrement de la modélisation du domaine. Ce modèle est construit au fur et à mesure que l'apprenant avance dans le cours (nœuds visités). Chaque représentation de concepts est alors stockée avec une estimation de la connaissance de l'apprenant pour ce concept : binaire (su, pas su), qualitative (bon, moyen, pauvre) ou quantitative (la probabilité que l'utilisateur connaisse ce concept) [Brusilovsky, 1998]. Pour [Eklund et al., 1997] un modèle par recouvrement peut être représenté comme un ensemble de paires "concept-valeur" chaque paire associant à un concept, qui doit être étudié, la valeur qui représente le degré de connaissance de ce concept : pas su, en cours d'apprentissage ou bien su. Ce modèle est qualifié de puissant et flexible puisqu'il permet de rendre compte du niveau de connaissance de l'apprenant, pour les différents concepts du cours.

Les intérêts du modèle étudiant sont présentés dans [Weber et al., 1997]. Un modèle simple tel le modèle overlay paraît adapté pour représenter toute la connaissance de l'utilisateur nécessaire pour séquencer un curriculum personnalisé en hypertexte et fournir une aide à la navigation. Il s'agit du modèle le plus simple à mettre en œuvre.

1.3.2 Le modèle Buggy

Le modèle Buggy tient son nom d'un système réalisé par Burton et Brown pour l'apprentissage de la soustraction. Dans ce système un ensemble de procédures élémentaires constituent un cours. Pour chacune de ces procédures, une procédure incorrecte ayant le même domaine d'application peut être mise en place. Le tout constitue un modèle exécutable qui fonctionne de façon incorrecte mais cohérente. Le système Debuggy a été mis en place pour déterminer la combinaison de procédures correctes et incorrectes la plus proche possible du comportement de l'élève et de tenter d'y remédier. Cette méthode a été largement reprise par la suite dans des formes plus évoluées de diagnostic d'erreurs. En fonction du diagnostic obtenu, une nouvelle leçon est générée pour corriger les erreurs ou les confusions de l'apprenant. Le système construit ainsi un modèle épistémique de l'apprenant [Delestre, 2000]. Ce type de système peut être très évolué, comme par exemple dans le projet CMOS destiné à l'entraînement des pilotes de ligne. Ce projet est basé sur une architecture multi-agents dans laquelle un agent Détecteur intervient sur les actions de l'instructeur en fonction des écarts de l'apprenant [Gouardères et al., 2000]. En cas d'écart il crée un agent Evalueur qui propose une correction.

La réutilisation d'un modèle utilisateur pour plusieurs applications est envisagée dans [Kay, 1999]. Pour cela, l'auteur utilise une ontologie. Mais les systèmes peuvent ne pas interpréter la même information de la même façon. Il faut que chaque système connaisse la hiérarchie des concepts. De plus les systèmes, étant différents, ne jugent pas les mêmes concepts comme étant essentiels, avancés, ou ésotériques.

Dans notre approche nous privilégions trois aspects de l'apprenant [Crampes et al., 2000a]. Sa connaissance initiale est contenue dans un vecteur synthétisant les concepts connus de l'apprenant (modèle overlay). Ses objectifs sont également stockés sous forme d'un vecteur (nous reviendrons plus en détail sur la structure de ce vecteur par la suite). Et enfin il fournit au système ses contraintes temporelles i.e. le temps qu'il peut consacrer à la visite du cours.

Conclusion

Dans son évaluation de l'apprentissage avec l'informatique, le professeur Jean Retschitzki fait la constatation suivante²⁴ : "La recherche, pourtant abondante dans ce domaine, ne permet pas de formuler des conclusions définitives. [...] La plupart des expériences pilotes, menées par des pionniers, donnent d'excellents résultats. Ceux-ci sont rarement retrouvés ensuite lors de leur généralisation. En revanche, la recherche s'avère utile pour guider la mise au point des logiciels." C'est dans cet esprit qu'a été écrit cet état de l'art. Ce chapitre a présenté les Systèmes d'Enseignements Interactifs dédiés à l'Internet, après avoir replacé leur évolution dans son contexte historique. Nous avons souhaité que figurent également un état des travaux sur les environnements auteur et un sur la modélisation de l'apprenant, car tous deux constituent une des composantes de notre application. Il ressort des différents travaux évoqués, qu'un SEI est composé de plusieurs modules. Les quatre principaux ([Eklund, 1993][Canut et al., 1999]) sont présentés dans la liste suivante accompagnés de quelques remarques :

- Un module de représentation de la connaissance du domaine. Il peut intégrer un mécanisme de résolution de problème tel un système expert ;
- Un module de représentation de la connaissance pédagogique. Il est souvent doté d'un tuteur qui doit définir et mettre en place les stratégies pédagogiques adéquates ;
- Un modèle de l'apprenant ;
- Un module de gestion des interactions de l'apprenant avec le système et de communication avec le système ou tout autre acteur du processus d'apprentissage (tuteur humain, autres élèves) ; nous incluons l'interface dans ce module.

On peut ajouter à cette liste un moteur spécifique qui est à la croisée de ces modules et qui prend en charge la composition du cours et supervise le déroulement du processus d'apprentissage. La Figure 1.2 donne une représentation de la structure d'un SEI avec ces différents modules. Etant donné que le moteur prend en charge la composition des documents, il faut qu'il dispose de certaines connaissances et techniques concernant cette composition. C'est cette notion de structure documentaire qui est discutée dans le chapitre 2.

Nous avons souligné l'importance de la représentation des connaissances pédagogiques et de la connaissance du domaine dans les SEI. Les ontologies paraissent un outil adapté à cette représentation, c'est pourquoi le chapitre 3 en donne une définition précise et explique en quoi elles peuvent améliorer la communication entre les acteurs d'un projet, quels sont leurs apports et quelles sont les principales applications qui les utilisent.

²⁴ <http://www.unifr.ch/spc/UF/95juin/retschitzki.html>

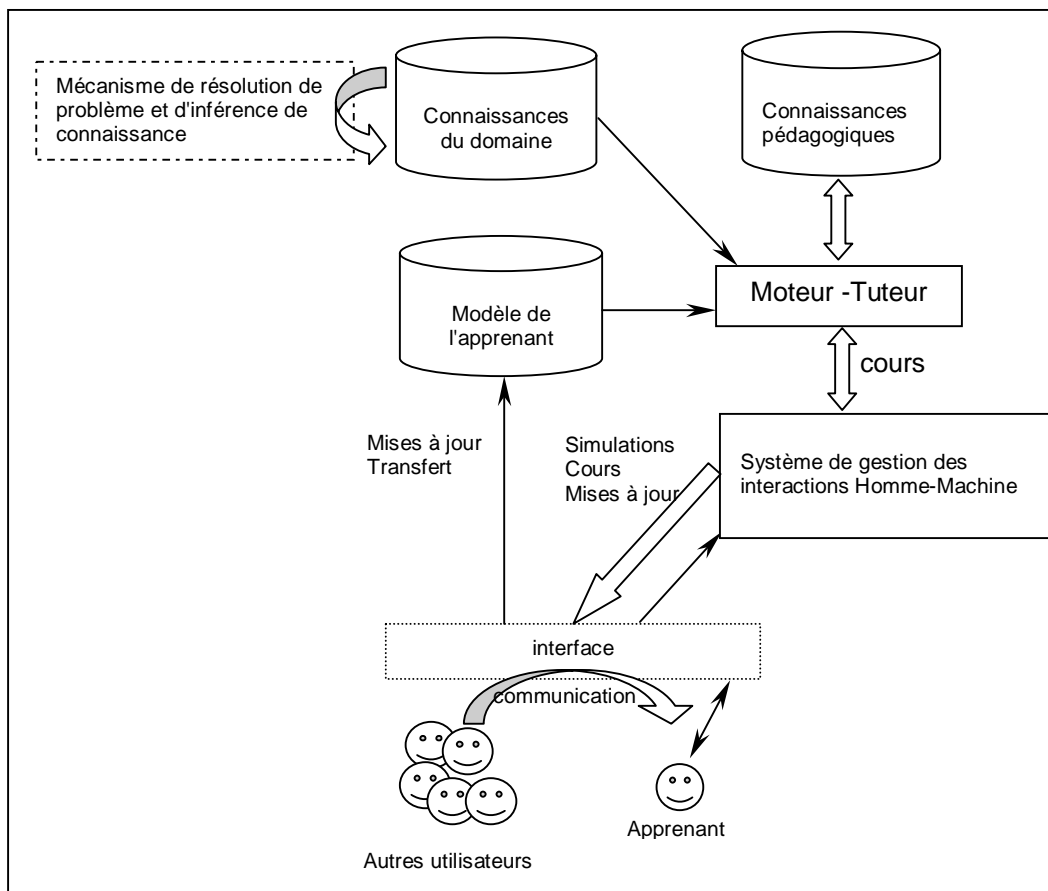


Figure 1.2 : Schéma synoptique de la structure de base d'un SEI

Chapitre 2

« Une bibliothèque est toujours un lieu chargé d'imaginaire, à cause de tout ce qui s'y trouve caché à l'intérieur des livres fermés, et qui attend que tel lecteur ouvre tel livre, et lui donne une nouvelle vie. »

Henri Atlan (*Entre le cristal et la fumée*)

Les documents, la structure narrative et les documents virtuels

2.1 A propos de structure documentaire	44
2.1.1 La structure dans les documents traditionnels.....	44
2.1.2 La structure dans les documents hypermédia.....	45
2.2 Les documents virtuels.....	47
2.3 La composition automatique de documents multimédia	48
2.3.1 De l'ordre pour générer du sens	50
2.3.2 De l'importance des liens narratifs.....	51
2.4 L'indexation pour les documents électroniques	51
2.4.1 Des ontologies pour la sémantique dans l'indexation.....	53
2.4.2 Nouveaux standards et indexation sur l'Internet.....	54
2.4.2.1 XML.....	54
2.4.2.2 RDF - RDFS.....	55
2.4.2.3 Indexation et Internet.....	56
2.4.3 Indexation des documents pédagogiques.....	57
2.5 L'importance de la présentation des informations.....	58
Conclusion.....	58

La définition du mot "document" donnée par la plupart des dictionnaires est la suivante :
« Chose écrite qui peut servir à renseigner, à prouver. — Par ext. Ce qui peut servir à renseigner, à prouver. »

Si, de nos jours, la notion de document se diversifie tant par son support (documents écrits, images, vidéos, etc.) que par sa finalité (information, commerce électronique, loisirs, divertissements, pédagogie, etc.) elle n'en reste pas moins associée à la notion de structure documentaire, de règles de composition et, implicitement, aux stratégies d'argumentation.

Le présent chapitre définit le cadre dans lequel nous abordons la composition de documents. Nous essayons de poser les bases de ce que nous appellerons plus tard la *composition de documents personnalisables* en précisant la notion de structure documentaire, en soulignant l'importance de l'ordre des éléments narratifs dans les documents et de leur enchaînement, puis en précisant le rapport entre les différents média qui supportent un document et l'information qu'il contient. Cette composition impose le respect de certaines règles de structuration, que le document final soit le résultat d'un calcul algorithmique ou de la volonté d'un auteur. C'est pourquoi dans ce chapitre certaines références appartiennent à des auteurs du domaine de la communication et de la théorie de l'information.

2.1 A propos de structure documentaire

Evoquer la composition d'un document fait appel à deux définitions de la composition : il s'agit à la fois de déterminer les éléments qui vont constituer le document, tels les atomes qui composent les molécules, et de produire un document c'est-à-dire de répartir, d'organiser ces éléments afin d'atteindre certains buts, comme une molécule possède certaines propriétés en raison de sa structure. Dans cette section nous considérons essentiellement la deuxième définition en nous attachant à la structure d'un document.

"Elaborer un document revient à définir une application entre la structure sémantique initiale d'un ensemble d'informations et la structure du document final. Un document est alors une vue de cet ensemble d'informations." [Nanard et al., 1989]. Par la suite, nous suivons cette ligne de pensée, en considérant qu'un document n'est que le résultat d'un point de vue, guidé par une intention (qui peut elle-même être composée de plusieurs buts), sur un ensemble de données.

2.1.1 La structure dans les documents traditionnels

"La notion de document introduit certes la notion d'information mais aussi celle de vecteur grâce auquel l'information est transmise. Si chaque document a une finalité propre, la manière dont l'information y est représentée renseigne le lecteur sur le type de document et son utilisation" [Balpe et al., 1996]. La structure physique d'un document témoigne souvent de la volonté de l'auteur d'assister le lecteur dans sa compréhension du document et de lui faciliter le repérage des informations pertinentes.

Vincent Brunie donne la définition suivante : "Un système de documents structurés est celui qui permet d'exprimer de façon satisfaisante une structure des documents telle que la relève l'homme de l'art en fonction d'une tâche donnée correspondante" [Brunie, 1999]. Concernant les documents eux-mêmes, Cécile Roisin les définit comme un ensemble d'entités d'informations basiques, liées sémantiquement ensemble afin de constituer un message [Roisin, 1998]. Elle distingue quatre dimensions des documents :

- La dimension logique (chapitre, section, paragraphe, etc.) ;
- La dimension physique (présentation) ;
- Le support à la navigation (liens, interactions) ;
- Et la dimension temporelle (temps de lecture estimé, durée d'un enregistrement, etc.).

Remarquons que les documents traditionnels ou documents papiers ne s'intéressent qu'aux deux premières dimensions.

De plus pour Cécile Roisin la composition dépend de la nature des éléments qui vont composer le document. Si plusieurs modèles et langages ont été proposés pour la spécification de ces différents modes de composition, l'auteur souligne le fait que pour assurer la portabilité et l'échange des documents, le format de composition doit être indépendant du système de production. Yannick Prié, quant à lui, argumente qu'un document est indissociable de son support matériel (écran, feuille, etc.) et qu'un certain nombre de contraintes en découlent, dont les deux principales sont : une

structure logique qui impose un ordonnancement et une structure matérielle qui impose une présentation (mise en forme). Pour lui un document n'est pas une simple juxtaposition des éléments qu'il contient, mais il est "un ensemble organisé de contenus prescrivant leur propre interprétation par un être humain" [Prié, 1999].

Doter le document d'une structure adéquate est d'autant plus important que le document en question a une vocation argumentative pour convaincre, instruire. On peut alors souligner l'importance de la structure dans un processus d'apprentissage. Une question soulevée dans [Laurillard, 2000] est la suivante : si la structure narrative est si importante pour la compréhension de l'apprenant, comment un outil multimédia non linéaire, multi-narratif peut-il supporter un apprentissage significatif ? Quel que soit le contexte, une ligne narrative possède une structure interne qui se développe au fil du temps. Dans une session pédagogique bien organisée, la narration commence par un concept général sur lequel l'auteur fixe un objectif. Il le décompose ensuite en sous buts ce qui entraîne des interactions entre les élèves, les professeurs et éventuellement le système informatique. On retrouve alors la notion d'actions en fonction d'une tâche qui a guidé les travaux de R. Mizoguchi et T. Murray, cités dans le chapitre 1.

Sur le principe des règles de grammaire qui permettent de structurer un discours (parlé ou écrit) certains chercheurs ont proposé de fixer la structure des documents dans des grammaires formelles. Martin et al., par exemple, proposent d'imposer la structure des documents par une DTD (Document Type Definition) [Martin et al., 1996]. Leur éditeur de documents structurés permet d'organiser les éléments de documents et de les associer suivant des caractéristiques bien définies. Une recherche d'information par navigation hypertexte reste quand même possible. L'approche que nous exposons plus avant dans cette thèse s'apparente à la leur car nous utilisons les grammaires formelles²⁵ pour structurer automatiquement un document.

2.1.2 La structure dans les documents hypermédia

Comme nous l'avons déjà évoqué, si les documents hypertextes ont fasciné dès leur création par la liberté de lecture et les possibilités d'extension qu'ils offrent, leur manque de structure s'est très tôt fait ressentir. Ce manque tend à être comblé de nos jours par des technologies comme SGML ou XML. Cependant, traduire un manuel dans le format hypertexte détruit la structure interne de l'argumentation et le discours perd de sa signification. L'hypertexte déforme la connaissance contenue dans les livres [Laurillard, 1993]. Pourtant s'il est vrai que l'hypertexte a révolutionné la conception de documents et peut-être négligé l'importance de sa structure narrative pour le lecteur, il a apporté une nouvelle dimension à la lecture. Les informations peuvent être détaillées ou complétées en suivant des liens qui pointent vers des sujets proches. De plus le sentiment de liberté, d'interaction et de personnalisation qui s'offre au lecteur compense en partie la digression et la perte dans l'hyperespace.

La digression consiste à s'éloigner peu à peu du thème principal de la lecture, en se rattachant à des points de détails ou des informations annexes. Au fur et à mesure que le lecteur suit des liens qui se rapportent à ces points de détails, son intérêt se porte sur des thèmes hors sujet. Cette digression, si elle n'est pas trop gênante dans le cas d'un divertissement avec Internet, peut s'avérer problématique dans le cas d'une application pédagogique. Une première solution, la plus simple à mettre en œuvre, est venue des auteurs de cours eux-mêmes qui ont conçu des documents hypertextes linéaires, c'est à dire où chaque page se termine par un lien sur la page suivante. Ils recréaient ainsi la structure narrative classique des documents papiers. Mais hormis l'aspect dynamique de la lecture, les caractéristiques des documents hypertextes sont perdues si l'on utilise cette technique. C'est pourquoi les chercheurs en Intelligence Artificielle, en systèmes éducatifs en ligne et en hypertexte ont rapidement avancé d'autres solutions, proposant des techniques pour :

²⁵ Il faut noter qu'une DTD est une représentation d'une grammaire dans un certains langage (XML).

- Masquer certains liens et réduire ainsi l'espace accessible [Brusilovsky et al., 1994] ;
- Donner des explications ou un résumé des informations et du type de document accessible par un lien. Une méthode dérivée étant la génération automatique de liens typés [Cleary et al., 1996] ;
- Fournir un environnement d'annotation des hyperliens ;
- Ordonner les liens en fonction de leur pertinence (procédé utilisé par la plupart des moteurs de recherche tels Altavista ou Yahoo).

La notion de perte dans l'hyperespace traduit le sentiment qu'éprouve un lecteur qui, n'ayant pas connaissance de la structure générale du document, sélectionne une succession de liens, sans suivre une démarche argumentative, une stratégie cohérente qui permette une bonne assimilation des concepts évoqués. Les solutions proposées sont alors les suivantes :

- Afficher une carte de l'espace navigable, avec les principaux titres, et donner ainsi une vue globale ou locale du document hypertexte en cours de visite ;
- Fournir un index des différents liens de la page, avec éventuellement une explication ;
- Constituer un historique des pages visitées par un utilisateur donné.

Cependant toutes les méthodes citées ci-dessus dépendent implicitement du domaine et font appel à certaines connaissances du lecteur dans ce domaine. Or, la personne qui lit pour la première fois un hypertexte dans un domaine ne dispose pas de ces informations et ne peut donc pas exploiter ces techniques de façon efficace [Linard, 1995].

Par ailleurs, Megan Quentin-Baxter souligne que dans un environnement hypermédia, les étudiants peuvent suivre leur propre chemin au travers de l'information interconnectée, et cette suite, souvent complexe, est difficile à interpréter ou évaluer numériquement [Quentin-Baxter, 1998]. Dans son application pédagogique, cette évaluation se base uniquement sur les réponses de l'apprenant à certains questionnaires, à partir desquels le but de l'auteur est d'étudier comment des étudiants de lycée accèdent à une connaissance en biologie stockée sous forme de documents hypermédia fortement interactifs. Ses résultats donnent certains facteurs affectant la capacité d'accéder à l'information : i) les hypermédia ne sont pas des approches contextualisées d'apprentissage et l'apprenant ne parvient pas à en retirer ce qui est vraiment important, d'où la nécessité de guidage lors de la lecture ; ii) l'apprenant surestime la quantité d'information à laquelle il a accédé. Cette dernière constatation peut susciter quelques inquiétudes : cet échec (32% seulement de l'information disponible accédée en 93 minutes) a d'autant plus surpris les professeurs qu'il contrastait avec leur impression que dans l'ensemble les élèves travaillaient avec succès. De plus l'auteur conclut que certains élèves seraient systématiquement désavantagés si tous les cours étaient délivrés de cette façon. Ces résultats se recourent avec les observations de [Crampes, 1999] concernant la première version de MethodMan et le manque d'initiative des étudiants face à une base de données pourtant interactive et attrayante.

Une des solutions avancées par certains chercheurs est l'automatisation de la planification didactique. Si les résultats des recherches en matière de pédagogie ne sont pas toujours faciles à introduire dans les systèmes automatisés, ils constituent une base essentielle pour la planification didactique i.e. la préparation des séquences du cours et le classement de ces séquences dans une structure de navigation prédéfinie. [Cherkaoui, 1997], par exemple, envisage la planification pour la résolution de systèmes complexes.

Dans les systèmes hypermédia adaptatifs, l'objectif est donc de trouver un compromis entre guider l'utilisateur, et le laisser naviguer à sa guise [Brusilovsky et al., 1996] [Greer et al., 1997] [Weber et al., 1997]. Ces travaux concernent essentiellement l'adaptation du mode de navigation de l'utilisateur à un hypergraphe existant. Leur but n'est pas de construire de nouveaux liens qui soient organisés en fonction d'un besoin utilisateur. Les approches citées ci-dessus essaient de trouver des

moyens d'adapter des hypermédia préexistants mais ne permettent pas de construire dynamiquement des chemins personnalisés au travers d'un ensemble de briques sélectionnées.

Dans leur construction dynamique de documents hypertextes personnalisés à partir de techniques de génération de langage naturel, Milosavljevic et al. accordent une attention particulière à la cohérence textuelle et à la cohérence conceptuelle des documents [Milosavljevic et al., 1998]. La cohérence textuelle repose sur la comparaison entre un document affiché et les documents lus auparavant, afin d'en extraire des transitions pour introduire les documents suivants. La cohérence conceptuelle repose sur les concepts étudiés et les liens possibles avec ceux affichés. C'est vers la notion de document conceptuel que va s'orienter, maintenant, notre discours.

2.2 Les documents virtuels

Le Document Conceptuel est défini dans [Nanard et al., 1989] comme étant un modèle instancié de façon à produire une vue conforme à des spécifications dans un contexte donné. Dans le même ordre d'idée, nous présentons, dans la suite, une composition de document utilisant une grammaire formelle basée sur les rôles qui peuvent être attribués à chaque segment narratif. Nous précisons dans le chapitre 4 notre propre définition des documents conceptuels qui représentent une catégorie de *Documents Virtuels (DV)*. Cette section se consacre à la définition de ces derniers.

La définition des documents virtuels donnée par [Gruber et al., 1995] est la suivante : ce sont des documents hypermédia générés à la demande, en réponse à des données utilisateur. Pour [Martin et al., 1996] un document virtuel est composé de copies d'éléments de documents. Tazi et al. donnent la définition suivante : "Un document virtuel est généré à partir d'une composition de fragments de contenus (texte, image ou son) en utilisant des scripts ou des programmes et en définissant des liens vers d'autres documents. [...] Il répond à un besoin d'interactivité, et est généralement éphémère" [Tazi et al., 1999]. Les auteurs posent ensuite quatre types de questions intéressantes dont voici une synthèse : quand générer un DV, et comment y faire référence ? Comment intégrer des algorithmes de recherche dans des applications impliquées par la génération du document virtuel ? Qui en est l'auteur ? Comment garantir la cohérence d'un DV ? Ces questions ne possèdent pas de réponses immédiates car elles sont complexes et peuvent être décomposées en d'autres questions. Concernant les algorithmes de recherche et la cohérence, nous présenterons dans le chapitre 4 une solution possible. Nous n'aborderons pas les autres aspects (droits d'auteurs et références) dans le reste de la thèse.

Le principe de création de document réel à partir d'un document virtuel est schématisé dans la Figure 2.3. Les documents hypertextes appartiennent à la famille des documents virtuels. L'ensemble des éléments qui constituent les pages de ce document, ainsi que les mécanismes de construction associés (le parcours de l'utilisateur par les liens) sont des documents virtuels [Ranwez et al., 1999a][Garlatti et al., 1999]. Les grandes familles de documents virtuels et leur caractéristiques sont détaillées dans le chapitre 4.

Les documents ne sont plus statiques, mais peuvent être dynamiques ou virtuels i.e. ils peuvent inclure des pièces d'informations provenant d'autres documents, d'autres sources [Paradis et al., 1998]. Les Objets d'Information (IO pour Information Objects) qui vont être regroupés pour former le document final peuvent être distants et/ou nécessiter un minimum de conversion lors de l'accès à l'information, et l'adaptation doit être aussi simple que possible. Paradis et al. proposent un interpréteur de documents virtuels. L'interprétation se divise en trois phases : i) analyser les données et en extraire une représentation orientée objet (objets de prescription qui permettent d'exprimer des liens de dépendance), ii) évaluer les informations ainsi stockées et produire des objets d'information, et iii) les intégrer, c'est-à-dire combiner et inclure ces objets dans un document virtuel.

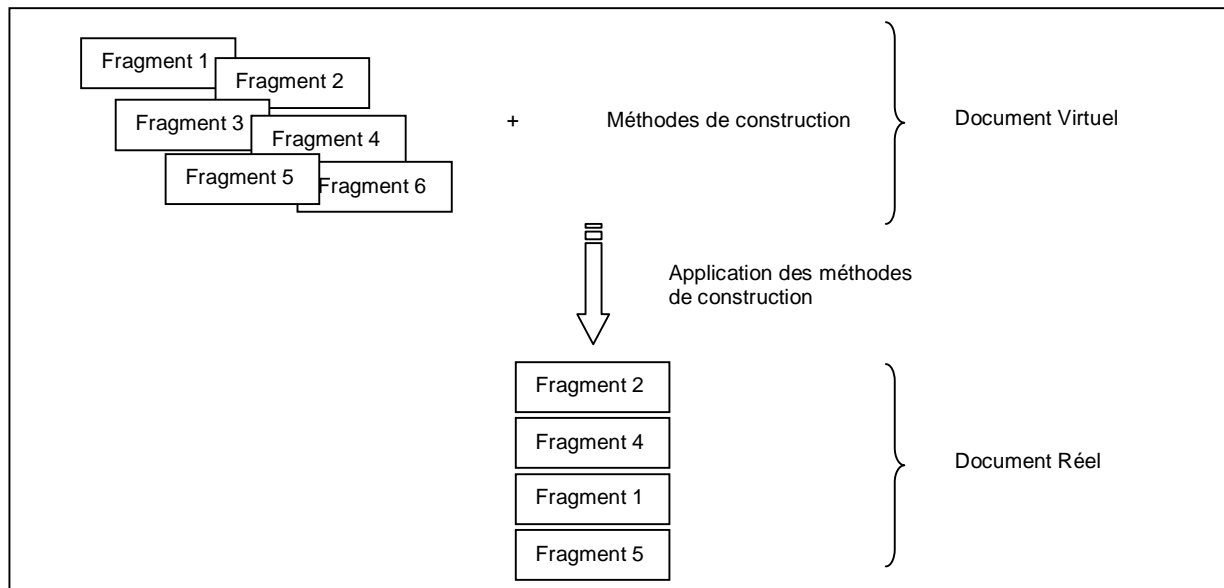


Figure 2.3 : Principe de création de documents réels à partir de documents virtuels

Les documents virtuels mentionnés ci-dessus ne trouvent leur raison d'être que dans la possibilité qu'ils offrent de créer des documents réels. La section suivante discute de la possibilité d'automatiser cette composition.

2.3 La composition automatique de documents multimédia

Un document multimédia est défini comme un ensemble d'objets de base, organisés dans le temps et dans l'espace, sur lesquels une structure propice à la navigation peut être intégrée. Les documents multimédia combinent temporellement et spatialement différents types d'éléments comme des vidéos, des enregistrements sonores, des images, du texte et des images de synthèse [Roisin, 1998]. De ce fait un document multimédia est caractérisé par sa dimension temporelle inhérente. Or, à notre connaissance, très peu d'applications font intervenir directement cette dimension dans la composition de documents, si ce n'est au travers de scénarios.

Pour toute composition documentaire, qu'elle soit manuelle ou automatique se décompose en quatre étapes principales :

- La sélection, suivant un critère sémantique, des informations qui vont entrer dans la composition du document final ;
- Le filtrage de ces informations afin de ne retenir que celles qui sont pertinentes et qui respectent certaines contraintes temporelles notamment. Cette étape peut être vue comme un raffinement de l'étape de sélection ;
- L'ordonnancement des informations retenues dans l'étape précédente, afin de respecter une structure narrative cohérente, et éventuellement d'adopter une stratégie argumentative précise ;
- Et enfin l'assemblage, la diffusion et la présentation du document final.

L'étape de sélection suppose que le système trouve le bon équilibre entre le respect des préférences de l'utilisateur (choix du support médiatique, de la durée du document, de la stratégie argumentative adoptée), l'importance des segments (sémantique), et la pertinence narrative imposée par le type d'application. Pour une application didactique, cette pertinence est donnée à la fois par la définition du domaine (cohérence, complétude) et par la théorie pédagogique (stratégies didactiques, contraintes d'énonciation, etc.). [Hakkoymaz et al., 1999] montre que ce problème est NP-Complet.

Les problèmes posés par le filtrage des informations sélectionnées rejoignent ceux posés par la sélection. En effet, parmi tous les segments retenus, seuls certains sont exprimés dans un média et ont une durée compatible avec les contraintes imposées par les préférences de l'utilisateur. La principale différence entre ces deux étapes est donc que les contraintes auxquelles sont soumis les segments sont plus fortes lors du filtrage que lors de la sélection.

Ces deux étapes supposent que le système dispose de matériaux à assembler. Ces derniers sont issus de documents sources qui doivent être morcelés. Dans le cas d'application multimédia, les documents sources peuvent être des textes, des images, des vidéos, des animations. Prenons l'exemple de la vidéo. Elle est composée de scènes, décomposées en plans, décomposés en photogrammes ou images fixes qui sont les segments atomiques de la vidéo. Cette organisation ne favorise pas forcément la segmentation : le but n'est jamais de décomposer jusqu'au photogramme, mais d'obtenir des segments suffisamment longs pour être significatifs, et suffisamment courts pour pouvoir être réutilisables. Par ailleurs la superposition du son et de vidéo ne facilite pas non plus la segmentation. Dans le cas d'une rencontre sportive, par exemple, les commentaires chevauchent les changements de plan. Certains de ces problèmes sont évoqués dans [Hauptmann et al., 1995] ou dans la section 2.1 de [Prié, 1999]. Une méthode de segmentation dynamique est proposée dans [Crampes et al., 1998a]. Les matériaux ainsi obtenus doivent être *qualifiés*.

NOTE — Certains auteurs utilisent indifféremment les termes 'indexation' et 'annotation'. Le terme 'annotation' fait plus souvent référence à des notes personnelles (le co-texte) ne faisant pas l'objet de traitement automatique. Le terme 'indexation' est souvent assimilé à un classement selon un certain contenu. Nous leur préférons le terme de 'qualification'. Ce terme possède deux significations principales : qui a les qualités requises et qui possède certaines caractéristiques ; c'est l'association de ces deux significations qui nous semble intéressante. Il est clair que c'est pour leurs caractéristiques que les matériaux sont recherchés, on retrouve là l'idée de classement. Cependant la qualification peut exprimer également certaines aptitudes en fonction de certains contextes ; on rejoint alors la notion d'annotation.

La qualification de vidéo présentée dans [Crampes et al., 1998a] utilise des repères locaux ce qui permet à un moteur de calculer la taille de segments dynamiques à partir des éléments locaux et des relations génériques entre ces éléments spécifiées dans une ontologie. Une méthode dérivée, utilisant la négociation d'agents, est proposée dans [Planté, 2000]. Dans les recherches qui vont faire suite à cette thèse, l'approfondissement de ces méthodes est envisagé. Cependant nous n'abordons pas plus les problèmes liés à la segmentation dans cette thèse pour ne pas digresser de notre objectif principal. Nous supposons le problème résolu, et considérons que nous disposons de fragments de documents. Bien sûr une étape de qualification de ces fragments reste nécessaire, elle fera l'objet de la section 2.4.

Les différentes étapes de la composition sont détaillées dans le chapitre 4 c'est pourquoi elles ne sont pas approfondies à ce niveau de la thèse. Cependant en terme de structure documentaire l'étape d'organisation²⁶ des informations présentées semble la plus importante puisque c'est sur elle que repose en grande partie le style narratif, et en pédagogie, les stratégies didactiques. C'est pourquoi nous lui accordons une place particulière dans cet état de l'art.

²⁶ La composition documentaire fait intervenir l'organisation à deux niveaux différents : le premier concerne l'organisation du contenu i.e. la spécification de l'ordre chronologique dans lequel les séquences de l'information doivent être énoncées, le deuxième concerne l'organisation de la forme de ce contenu i.e. l'organisation spatiale. Nous omettons volontairement ce deuxième aspect dans la suite de cette thèse, car il constitue un champ de recherche à part entière dans le domaine des interfaces homme-machine et nous éloignerait trop de notre thématique. Des études concernant cet aspect sont menées au sein de notre équipe et font l'objet d'une thèse.

2.3.1 De l'ordre pour générer du sens

Dans beaucoup de compositions cinématographiques burlesques les contraintes narratives ne sont pas respectées, et donc l'ordre narratif non plus. Pourtant qu'il s'agisse d'images ou de texte, l'ordre d'énonciation d'un élément documentaire peut changer la compréhension générale du tout au tout. Je cite ici un exemple mis au point par Michel Crampes pour expliquer cette notion, et présenté lors de la conférence Digital Library'97 à Philadelphie et lors de la conférence www8 à Toronto.

Voici trois segments narratifs : "Marie prit sa voiture", "Marie roula vite", "Marie tua Arthur" (1). Énoncés dans cet ordre-là, ils évoquent les dangers occasionnés par une conduite risquée. Pourtant en prenant les mêmes éléments mais énoncés dans un ordre différent la signification est tout autre : "Marie tua Arthur", "Marie prit sa voiture", "Marie roula vite" (2). Dans ce dernier cas, Marie nous apparaît comme une meurtrière en fuite dans un roman policier. De plus le simple fait de rajouter un élément, par exemple "Arthur est une tortue" relativise les faits, qui n'évoquent alors plus qu'un accident banal.

Nous voyons là que l'ordre d'énonciation des informations est décisif concernant la compréhension. Dans la plupart des applications multimédia, les méthodes proposées pour ordonner des éléments narratifs dans le but de construire de nouveaux documents sont fortement inspirées des techniques utilisées dans le domaine du Traitement Automatisé du Langage Naturel (TALN). Ces techniques ont pour but la production de texte à partir de rien, en employant des ressources linguistiques qui contiennent les principes de la communication, des informations sur la façon de référencer certains concepts et sur la manière de former des phrases et des paragraphes [Dale et al., 1998]. Un tel système doit donc résoudre deux problèmes : déterminer le contenu du texte à produire et déterminer sa structure ; ces deux problématiques rejoignent bien celles posées par la composition de document.

L'ordonnement, dont nous venons de souligner l'importance, résulte en grande partie des règles de rhétorique. Ces dernières peuvent être codées sous forme de schémas comme par exemple ceux mis en place et utilisés dans l'outil TEXT [McKeown, 1986]. Kathleen McKeown différencie quatre types de schéma : schéma d'identification, de consistance, schéma attributif ou de contraste. Chacun contient un patron permettant d'atteindre un certain but. Dérivés de ces schémas, les plans du discours utilisés par [Dale et al., 1998], destinés à l'hypertexte, indiquent les circonstances dans lesquelles un lien est approprié et le but qui doit être donné au système lorsque ce lien est activé. Ces plans sont instanciés avec les données contenues dans la base de connaissance. Notons que la notion de Document Virtuel évoquée par Dale et al. ne correspond pas à la définition usuelle, que nous avons évoquée dans la section 2.2, mais plutôt à ce que nous appelons les documents personnalisés.

Outre le fait qu'elles soient dépendantes des règles de rhétorique, les contraintes d'organisation de données peuvent être incorporées dans le modèle de données indépendamment de leur présentation [Hakkoymaz et al., 1999]. "Le sens d'un texte étant donné, non seulement par son contenu mais aussi par sa structure, l'idée dominante du projet Profil-doc est que les parties de document auront un usage différencié a priori suivant le besoin de l'utilisateur" [Michel et al., 1999]. L'usage attribué à chaque segment en fonction du contexte d'utilisation est appelé rôle. Dans le domaine pédagogique un certain nombre de règles imposent des contraintes de précedence entre les matériaux pédagogiques, en fonction du rôle qu'ils jouent dans le document final. Dans notre approche, ces contraintes sont définies dans l'ontologie pédagogique. Par exemple, on peut imposer que la *preuve*²⁷ d'un *théorème* mathématique soit toujours précédée de l'énoncé de ce théorème. On peut aussi souhaiter que la présentation d'un cours fasse appel à un *exemple*. Cet exemple pourra être

²⁷ Dans ce paragraphe, les mots en italique correspondent à des rôles pédagogiques. Dans la suite de la thèse, nous verrons que ces rôles appartiennent au vocabulaire de l'ontologie pédagogique.

présenté avant ou après la présentation de la preuve mathématique en fonction de la stratégie pédagogique adoptée. Hakkoymaz et al. utilisent des contraintes d'inclusion/exclusion pour composer des présentations cohérentes [Hakkoymaz et al., 1999].

Une autre méthode d'organisation consiste à se référer à une DTD ou plus généralement à une grammaire pour respecter un ordre prédéfini. Mais ces méthodes supposent que les éléments à assembler soient décrits en fonction de cette DTD et soient caractérisés par un certain rôle. Les différentes méthodes que nous avons rencontrées fixent toutes les rôles à l'intérieur de l'indexation. Nous pensons que ce n'est pas souhaitable dans la mesure où un rôle différent peut être donné à un même segment en fonction du contexte dans lequel il est utilisé. Cette notion est abordée plus en détail dans le chapitre 7.

2.3.2 De l'importance des liens narratifs

Les différentes interprétations que nous pouvons faire de la succession d'éléments narratifs sont dues au fait qu'implicitement nous associons des liens de causalité entre ces éléments qui sont énoncés dans un ordre que nous supposons chronologique. Certaines idées fausses qui sont engendrées par ce non-dit, peuvent être supprimées, nuancées ou encore renforcées en fonction des transitions choisies entre les segments narratifs.

Le chapitre sur les techniques argumentatives de [Perelman et al., 1988] insiste sur l'importance de l'ordre et des transitions dans la structure documentaire. "Les schèmes que nous chercherons à dégager [...] se caractérisent par des procédés de liaison et de dissociation. Nous entendons par procédés de liaison des schèmes qui rapprochent des éléments distincts et permettent d'établir entre ces derniers une solidarité visant soit à les structurer, soit à les valoriser positivement ou négativement l'un par l'autre."

Les éléments de transitions entre les segments narratifs jouent un rôle primordial. Ils peuvent, tour à tour modifier, confirmer ou infirmer la signification initiale d'une succession de segments narratifs. Reprenons l'histoire qui a introduit la section précédente, en introduisant des transitions entre les segments : "Marie tua Arthur *parce que* Marie prit sa voiture *et* Marie roula vite". L'ordre d'énonciation est le même que celui de l'exemple 2. Pourtant la seule présence des transitions permet au lecteur de retrouver la signification de l'exemple 1 : conduire vite est dangereux. Il est également possible de renforcer une signification par l'ajout de transitions, comme dans l'exemple suivant : "Marie prit sa voiture. *Sitôt que* Marie roula vite, Marie tua Arthur".

Les différentes étapes de la composition supposent que le système possède des informations sur les fragments de document. Ces informations qui peuvent porter sur la sémantique du contenu ou bien les caractéristiques physiques des fragments doivent être explicites par une qualification.

2.4 L'indexation pour les documents électroniques

Dans *Penser/Classer*, Georges Perec fait la constatation suivante : "Toute bibliothèque²⁸ répond à un double besoin, qui est souvent aussi une double manie : celle de conserver certaines choses (des livres) et celle de les ranger selon certaines manières. [...] Ainsi, le problème des bibliothèques se révèle-t-il un problème double : un problème d'espace d'abord, et ensuite un problème d'ordre."

A l'heure des nouvelles technologies, ce discours peut paraître obsolète. Il est pourtant d'actualité si l'on considère que l'Internet est un ensemble de documents constitués par des utilisateurs professionnels ou non, pour partager leur plaisir, et leurs préoccupations quotidiennes.

²⁸ Il appelle bibliothèque un ensemble de livres constitué par un lecteur non professionnel pour son plaisir et son usage quotidien

Le besoin d'indexation permettant à la fois de 'ranger' d'une certaine manière mais surtout de retrouver rapidement les informations est bien réel. A l'ère du numérique, cette indexation ne peut plus être le fruit de combinaisons codées de chiffres et de lettres, mais se doit d'être conceptuelle et structurelle, i.e. guidée à la fois par les concepts contenus dans les documents électroniques et leur structure propre.

Peut-il exister une indexation indépendamment d'une application donnée, d'une manipulation des documents indexés ? La conception ou la réutilisation de méthodes et d'outils d'indexation soulève cette question de fond : est-il possible de définir une méthode unique, universelle et idéale d'indexation ? En corollaire, c'est toute la généralité et l'expressivité de l'indexation qui sont mises en cause.

L'Internet recèle un ensemble de pages dont les thèmes, styles de présentation, langues et médias sont divers. Sa nature hétéroclite complique la recherche d'information. Ce constat a conduit à intensifier l'activité de recherche sur les méthodes de qualification. Les solutions actuelles tendent vers une approche privilégiant la description de la sémantique contenue dans un document i.e. une *qualification sémantique*.

Si l'indexation par mot-clé a longtemps paru suffisante, l'expansion d'Internet a souligné ses limites dont la principale résulte de la polysémie des mots et des phrases, ce qui entraîne une dérive dans les recherches et augmente considérablement les temps de réponse. Dans le domaine hypertexte, des solutions ont été avancées telles que la génération de liens typés [Cleary et al., 1996] ou la génération automatique de liens suivant le principe du chaînage lexical [Green, 1998]. L'approche de [Cleary et al., 1996] permet de relier des nœuds entre eux, mais également d'étiqueter les relations entre ces nœuds. Les auteurs proposent quatre méthodes pour cette génération automatique, ainsi que les moyens de les évaluer. Leur système imite la discussion avec un expert : système de question-réponse. Cependant les auteurs eux-mêmes reconnaissent la nécessité d'ajouter une taxonomie à la connaissance du système afin de guider celui-ci pour la génération de liens. L'utilisation d'une taxonomie pour l'indexation, comme dans le projet Déjà Vu [Gordon et al., 1996] où la qualification concerne des segments vidéo, ne paraît pourtant pas suffisante, l'utilisation d'ontologies plus complètes semble préférable. Green, quant à lui, trouve une certaine inconsistance dans un document hypertexte qui contient plusieurs liens, a priori sans rapport les uns avec les autres [Green, 1998]. Il propose donc de générer automatiquement des liens, pour une recherche donnée, suivant le principe de chaînage lexical. Ces liens entre différentes pages contenant beaucoup de mots similaires, et donc susceptibles de traiter du même sujet, s'avèrent efficaces mais sont très longs à générer.

Concernant le domaine de la programmation orientée objet, une méthode de construction et d'exploitation d'index sur des données semi-structurées est présentée dans [McHugh et al., 1998]. Pour les auteurs, des documents semi-structurés sont des documents composés de plusieurs segments issus d'autres documents, rassemblés en un seul. Dans leur système les données sont stockées sous forme d'un graphe orienté étiqueté, 'arbitraire', qui est appelé à évoluer. Leur indexation consiste en quatre types d'index : index de valeur, de texte, de lien (pour retrouver les ancêtres) et de chemin (pour trouver tous les objets qui sont accessibles en suivant un certain chemin). Leur méthode est spécifique au système de gestion de base de données Lore et une évaluation de sa réutilisabilité dans d'autres contextes serait souhaitable.

L'avancée des techniques pour un accès rapide à un document (vidéo) permet de nouvelles applications traitant d'information à la demande, d'information personnalisée, ou de production de matériaux pédagogiques. Carrer et al. présentent leur système, VANE (Video ANnotation Engine), qui utilise SGML pour définir des structures imbriquées [Carrer et al., 1997]. De plus la

contextualisation des règles SGML est facilement personnalisable par les DTD (Document Type Definition). Une DTD est associée à chaque domaine de connaissance. Les auteurs soulignent les bons résultats obtenus en couplant un système d'annotation semi-automatique et une annotation humaine.

Le prototype MIPE (Multimedia Indexing Publishing Environment) [Auffret, 1999] génère automatiquement des interfaces permettant une navigation non-linéaire dans une Base de Données AudioVisuelle (AV). Pour l'auteur, un document AV a des caractéristiques telles que son indexation nécessite une structure de méta-données, ce qui l'a conduit à définir un modèle de représentation pour les méta-données qu'il appelle AEDI (Audiovisual Event Description Interface) écrit en XML.

2.4.1 Des ontologies pour la sémantique dans l'indexation

Le principe d'utilisation des ontologies pour décrire des fragments de connaissance n'est pas nouveau [Gruber, 1993a]. S'il s'est très vite répandu dans la communauté Intelligence Artificielle, il semble aujourd'hui intéresser d'autres domaines tels que la vision par ordinateur ou la biologie. Pour souligner la diversité des domaines qui basent leur indexation sur les ontologies, on peut citer les travaux importants de Karp²⁹ en biologie, la bibliothèque électronique de l'université du Michigan qui utilise des ontologies (programmées en LOOM) pour représenter les méta-données qui décrivent les ouvrages et les articles qu'elle recèle [Weinstein et al., 1997] [Weinstein, 1998] ou encore [Motta et al., 2000] et [Domingue et al., 1999] qui présentent un système de partage de documents journalistiques à l'intérieur d'une communauté. Ces derniers travaux soulignent la contradiction qui peut exister à vouloir tout à la fois rechercher ce que nous appelons l'économie et la réutilisabilité. Les auteurs mettent en avant l'intérêt d'un support ontologique associé à un outil d'aide à l'indexation pour favoriser l'économie d'indexation. L'intérêt de se baser sur une ontologie partagée et réutilisable, pour réaliser une indexation avec le formalisme des graphes conceptuels³⁰ est présenté dans [Martin et al., 1996]. Enfin, même s'ils ne mentionnent pas explicitement le terme ontologie, Brusilovsky et al. soulignent l'importance d'indexer les unités pédagogiques avec des concepts du domaine [Brusilovsky et al., 1996]. Chaque concept impliqué (appelé spectre) peut également représenter le rôle de l'unité qualifiée.

En recherche d'information, l'absence de sémantique conduit à une formulation très complexe des requêtes. Pour introduire cette sémantique dans l'annotation des pages Web, Luke et al. proposent de s'appuyer sur HTML et XML pour formaliser une ontologie. Leur langage SHOE (Simple HTML Ontology Extensions) essaye de couvrir aussi complètement que possible la connaissance dont on peut avoir besoin pour représenter la sémantique contenue dans les pages Web [Luke et al., 97].

Dans un autre ordre d'idée, la modélisation d'une ontologie par une hiérarchie d'objets est séduisante car cela permet d'associer un comportement, un rôle, à chaque concept [Asselborn et al., 1997]. Les méthodes des objets peuvent ainsi faire évoluer le contexte et diriger dynamiquement la recherche d'information. Cependant cette méthode est lourde à mettre en place et peu flexible. Ces travaux ne font que nous renforcer dans l'idée que les ontologies permettent une qualification efficace, car les utiliser permet d'exprimer la sémantique contenue dans les documents, et de traduire un comportement dans un certain contexte. La notion de rôles instructionnels n'est pas loin. Kabel et al. proposent un système d'indexation de fragments de documents électroniques en fonction de différents points de vue, à l'aide d'un ensemble d'ontologies [Kabel et al., 1999]. Cette méthode permet une grande flexibilité, et laisse la composition du document final ouverte. Représenter la connaissance sur le document et la connaissance du domaine dans des ontologies permet une indexation riche et flexible pour des fragments de documents. Les auteurs adoptent une méthode

²⁹ <http://www.ai.sri.com/~pkarp/>

³⁰ Nous reviendrons longuement sur ce formalisme par la suite car nous l'utilisons dans nos modèles

proche de la nôtre. Cependant on peut regretter le fait que le rôle attribué aux fragments soit figé dans l'indexation. Dans notre approche nous étudions la possibilité d'automatiser l'attribution de rôles en fonction du contexte d'utilisation.

La problématique exposée ci-dessus impliquant à la fois la notion de points de vue sur les documents et celle de rôles joués par ces documents est également à la base des travaux de Cyrille Desmoulin et al. Ils ont mis en place un processus d'indexation de manuels techniques dans le but de réutiliser ces manuels pour la formation professionnelle [Desmoulin et al., 1999]. Chaque manuel technique est découpé en un ensemble de fragments comportant des zones de textes et des schémas reliés entre eux, sur lesquels plusieurs points de vue peuvent être adoptés : structure de la documentation, format, savoir-faire professionnel et domaine de formation. Chaque domaine correspondant à ces différents points de vue est décrit dans une ontologie. Il faut noter que dans leur application la décomposition en segments des documents est facilitée par le fait qu'une documentation technique est très structurée, ce qui est rarement le cas dans les documents pédagogiques traditionnels. Les rôles associés à chaque fragment sont également figés dans l'indexation ("est un bon exemple de", "contient la définition de", etc.).

2.4.2 Nouveaux standards et indexation sur l'Internet

Le World Wide Web initialement conçu pour une utilisation humaine contient des informations lisibles par des machines, mais pas forcément compréhensibles par elles. Il est difficile d'automatiser les traitements sur le Web. Pourtant le volume d'informations contenu sur la toile est tel que cette automatisation devient nécessaire et le manque de structuration des données se fait ressentir. C'est ce manque que des nouveaux standards comme XML ou RDF (en cours de standardisation) tentent de corriger.

2.4.2.1 XML

Le langage XML est dérivé de SGML (Standard General Markup Language — normalisé en 1986). Ce dernier permet de produire des applications complexes mettant en œuvre une masse de données hiérarchisées. Roch et al. soulignent l'intérêt de SGML pour faire de la mise en page dynamique [Roch et al., 1997]. Cependant SGML est très lourd. Il est utilisé uniquement dans les très gros systèmes (EDF en France ou Boeing aux US). XML³¹ (eXtensible Mark-up Language) est un langage mis en place par le W3C (World Wide Web Consortium) qui permet la description de documents électroniques par l'intermédiaire de DTD (Document Type Definition). Son but est de faciliter la diffusion d'informations sur l'Internet, l'accès dynamique aux bases de données et l'échange normalisé entre sites. Il peut faire le lien entre les documents et les logiciels sensés les utiliser.

Même si l'utilisation de XML et des DTD est nouvelle sur l'Internet, elle est déjà bien établie puisque certains standards comme MARC l'ont adopté (MARC-DTD³²). Les travaux de Claude Moulin sont également basés sur XML. Ils ont pour but la construction de documents pédagogiques personnalisables [Moulin, 1999] [Moulin et al., 1999].

Pour une bonne introduction à XML on peut se référer à [Michard, 1998]. Pour notre développement nous avons utilisé la version 1.0 de XML [Pardi, 1999].

XML a hérité de SGML certaines caractéristiques dont voici les principales :

- XML est un langage étiqueté (Markup language) ;
- Il permet de structurer des données à l'intérieur d'un fichier texte. Par exemple, il permet de stocker des tableaux, des fichiers clients, des annotations ;

³¹ <http://www.w3.org/XML/>

³² Library of Congress, Network Development and MARC Standards Office.
MARC DTD à <http://lcweb.loc.gov/marcdtd/mrcbfile.dtd>

- Les fichiers générés ne comportent aucune ambiguïté. Leur format textuel ne garantit pas qu'ils soient lisibles par un humain, XML n'a pas été conçu pour ça, mais ils sont facilement exploitables par un système informatique ;
- XML est indépendant de la plate-forme utilisée ;
- Il sépare présentation de données et contenu. C'est un méta langage permettant d'écrire des langages spécifiques. Il est indépendant du constructeur et permet de traduire une sémantique ;
- C'est un langage de description de format, et non pas un langage de programmation ;
- Il est facilement extensible et personnalisable puisqu'il est possible de définir ses propres étiquettes.

Mais par rapport à SGML, XML a quelques avantages :

- Sa syntaxe est plus simple ;
- Il y a beaucoup de modules qui sont basés sur XML et qui définissent des étiquettes et des attributs utiles pour une tâche particulière par exemple ajouter des hyperliens (Xlink), ajouter des références croisées dans un même document (Xpointer, Xfragment), définir une feuille de style (XSL pour eXtended Stylesheet Language et XSLT pour XSL Transformation). Il existe aussi des bibliothèques de fonctions pour manipuler des données XML avec un langage de programmation classique (DOM pour Document Object Model) ;
- Dans le paradigme XML, une DTD (Document Type Definition) permet de décrire la structure du document et évite ainsi les incohérences.

Il existe d'autres langages de données structurées (ASN/1 par exemple) mais ils sont souvent difficiles à utiliser. XML possède l'avantage d'être un standard et qui plus est destiné à l'Internet. C'est une des raisons pour laquelle nous l'utilisons dans notre approche.

2.4.2.2 RDF - RDFS

L'ajout de structure au niveau des données accessibles n'offre pas une solution suffisante. Certains proposent d'y adjoindre des modèles de méta-données permettant de décrire les ressources contenues sur le réseau des réseaux. Parmi les solutions avancées, le Resource Description Framework. RDF³³ est un ensemble de spécifications, initié par le W3C, pour le codage de méta-données intégrant une sémantique forte. Celles-ci, encore trop peu visibles sur l'Internet, augmentent les performances des moteurs de recherche qui analysent alors un ensemble structuré contenant des informations cataloguées, indexées et décrites. RDF a pour but de permettre l'interopérabilité et les échanges entre applications.

RDF est un graphe orienté étiqueté dont la syntaxe est écrite en XML. Il s'agit d'un formalisme utilisé pour représenter les propriétés d'une ressource et les valeurs de ces propriétés ; il contient donc trois types d'objets : les ressources, les propriétés et les valeurs. Une ressource peut être une page HTML, une partie d'une page HTML, un ensemble de page, un objet ou toute entité qui peut être accédée par un identificateur (URI pour Uniform Resource Identifier). Il est possible de créer des données instances de RDF basées sur des schémas multiples provenant de sources multiples. Ces schémas descriptifs peuvent être écrits eux-mêmes en RDF : c'est le RDFS. Chaque nœud du graphe est composé d'une ressource associée à une propriété comme le montre le schéma de la Figure 2.4-a. La Figure 2.4-b montre comment il est possible de créer des descriptions imbriquées.

Toutefois si RDF permet de décrire des méta-données sur les ressources du Web, il ne permet pas d'ajouter de la sémantique dans les balises du langage et dans les structures des documents. Il ne

³³ <http://www.w3.org/TR/REC-rdf-syntax/>

permet donc pas de dire comment la structure du document est reliée aux concepts du domaine [Klein et al., 2000].

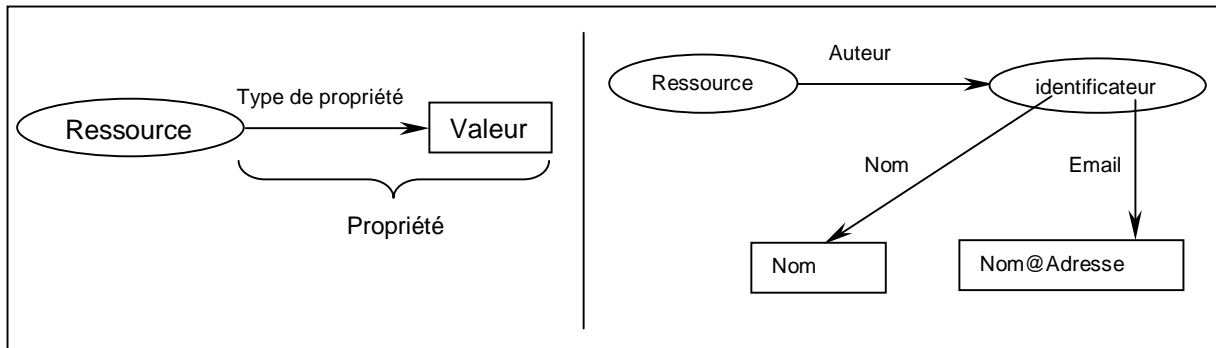


Figure 2.4-a : Format de description des ressources Figure 2.4-b : Exemple de descriptions imbriquées

2.4.2.3 Indexation et Internet

Le partage et la réutilisation de ressources nécessitant une indexation, la description de documents peut utiliser des marqueurs spécifiques ou des descripteurs déjà établis comme norme ou comme recommandation ; on peut citer par exemple MARC³⁴ pour la description des ouvrages textuels traditionnels qui a ensuite donné naissance au Dublin Core. Le Dublin Core³⁵ est un modèle simple de description de ressources électroniques. Initialement prévu pour que les auteurs de ressources destinées à l'Internet décrivent leurs données, il a suscité l'intérêt de plusieurs communautés : musées, bibliothèques, organisations commerciales, si bien qu'aujourd'hui sa raison d'être repose sur la nécessité de disposer d'un consensus international interdisciplinaire.

Un état de l'art des systèmes d'annotation destinés à l'Internet est proposé dans [Denoue et al., 1999]. Les auteurs soulignent les limites de tels systèmes : quantité d'information à stocker et à retrouver, cohérence dans le cas où un grand nombre d'utilisateurs annoterait les pages, problèmes de confidentialité, non-intégration de ces systèmes dans les navigateurs commerciaux et incapacité à annoter des documents locaux. Leur outil YAWAS est convivial et assez intuitif mais les annotations sont personnelles et peu exploitables ultérieurement par un système automatisé. Or dans notre approche nous voulons des annotations exploitables. Les auteurs mentionnent l'espoir que font naître Xpointer et les techniques nouvelles qui émergent de standards comme SGML, XML, RDF, RDFS³⁶. La notion d'ontologie, couramment utilisée comme support à la construction de méta-données, combinée avec l'émergence de ces nouveaux langages était déjà mentionnée dans [Lesgold et al. 1994]. Les travaux présentés dans cet article utilisent SGML pour gérer la structure d'un document et KIF³⁷ (Knowledge Interchange Format) pour traduire des ontologies et traiter la sémantique. De cette façon, il est possible d'inclure une annotation sémantique à l'intérieur du document. De nos jours, l'utilisation de SGML étant trop lourde, c'est XML qui prévaut mais l'association d'ontologies avec d'autres méthodes de description de ressources reste prometteuse. La démarche que nous adoptons s'inscrit dans cette lignée, cependant contrairement aux travaux de Lesgold notre qualification est extérieure au document qualifié.

D'autres méthodes moins formelles et non standardisées ont également été proposées, avec un souci constant de disposer de techniques simples à mettre en œuvre mais respectant les standards

³⁴ Library of Congress; Network Development and MARC Standards Office. MARC STANDARDS Machine-Readable Cataloging, <http://LCWEB.loc.gov/marc/>.

³⁵ <http://purl.org/DC/>

³⁶ Ces standards sont présentés sur le site du W3C : <http://www.w3.org>

³⁷ <http://logic.stanford.edu/kif/kif.html>

établis. Parmi ces techniques on peut citer l'utilisation des commentaires du langage HTML pour annoter les documents [Bra et al., 1998]. A long terme cette méthode doit permettre d'implémenter des changements adaptatifs. On peut également mentionner l'utilisation des signets dont disposent les navigateurs. Cependant s'ils sont un bon moyen d'avoir des points d'entrée sur Internet, ils doivent être organisés à la main, et cette tâche est ardue, même si pour ce faire des aides sont disponibles : par exemple BookMap³⁸ [Hascoët, 1999].

Yannick Prié donne plusieurs dimensions de l'indexation dont une nous intéresse tout particulièrement : le *degré de relief*. Il part du constat qu'un document pouvant illustrer certains concepts plus fortement que d'autres, il peut être souhaitable de mettre en relief certains descripteurs en leur affectant un poids correspondant à leur importance [Prié, 1999]. L'indexation est alors dite pondérée. Cette notion de relief reprend la notion de point de vue exprimée dans [Crampes, 1995] et traduite sous forme de vecteurs d'état conceptuels (CSV pour Conceptual State Vector) que nous détaillerons dans la suite de la thèse.

D'autres travaux peuvent être consultés, en particulier ceux du groupe de recherche ISIS³⁹ (Information, Signal, Images et viSion) dont une des thématiques concerne l'indexation de vidéo. Le but de ce groupe est de réunir et accorder les méthodes de recherche concernant les thèmes de l'information, du signal, des images, des télécommunications et de la vision par ordinateur. Nous n'avons pas exploité plus cette source car elle nous a semblé trop éloignée de nos préoccupations.

2.4.3 Indexation des documents pédagogiques

Avec la généralisation de l'utilisation d'Internet dans la formation, de nouveaux besoins en matière d'indexation se font jour. L'IMS⁴⁰ (Instructional Management System) est un consortium qui développe et promeut des spécifications pour le développement d'outils éducatifs distribués en ligne. Ces outils doivent posséder les fonctionnalités suivantes : localisation et utilisation de matériaux pédagogiques, contrôle des progrès de l'apprenant, suivi de ses performances, etc. Dans la définition des standards qu'ils proposent, on trouve des spécifications pour la description de matériaux pédagogiques qui utilise un système de méta-données et depuis peu la définition d'une DTD écrite en XML (cette DTD est postérieure à celle qui sera présentée dans la suite de cette thèse).

Dans le cadre du projet ARIADNE les acteurs du projet ont mis au point une norme *Learning Object Metadata* (LOM) permettant de caractériser des items didactiques. Cette norme distingue huit catégories d'attributs : catégorie générale, cycle de vie, méta données, technique, pédagogique, gestion des droits, relation et annotation. La description générale contient des renseignements tels que *nom*, *identifiant*, *auteur*, *langue*, le cycle de vie permet de connaître le *numéro de la version*, la *date de création*, la technique regroupe les caractéristiques physiques comme *taille*, *format*, la description pédagogique détermine le *type de document*, son *approche* et sa *granularité*. *Gestion des droits* permet de spécifier les particularités juridiques, *relation* permet de lier des documents entre eux et *annotation* permet des commentaires.

Comme le souligne [Duval, 1999] les standards permettant la réutilisation et le partage de ressource dans le domaine des outils pédagogiques ne sont pas encore nés. Cependant, un grand nombre d'universités et de partenaires industriels se sont associés dans ARIADNE. Ils se sont par ailleurs également investis dans IMS. Aussi notre souci a été de rester compatible avec ces formalismes durant la mise en place de notre DTD.

³⁸ Travaux présentés lors d'un séminaire organisé au Laboratoire d'Informatique, de Robotique et de Microélectronique de Montpellier (LIRMM)

³⁹ <http://www-isis.enst.fr/NEW/>

⁴⁰ <http://www.imsproject.org/>

Les méthodes citées dans cette section apportent nombre de réponses aux problèmes usuels de l'indexation et de la recherche d'information. Cependant les différents systèmes d'indexation mentionnés nécessitent tous une intervention humaine qui, même si elle est efficace, est souvent trop coûteuse en temps. Certes, certaines techniques de substitution de l'homme existent : reconnaissance vocale, génération de langage naturel, analyse d'image [Hauptmann et al., 97], mais elles restent difficiles à mettre en place et ne sont pas suffisamment efficaces.

2.5 L'importance de la présentation des informations

Le support de présentation d'une information influence la perception de cette dernière et donc la facilité et la rapidité de compréhension du contenu de cette information, son assimilation et son appropriation. Par conséquent, dans le cas d'une application pédagogique, il est possible de jouer sur l'adaptation des médias à l'information présentée pour captiver l'attention du lecteur, et optimiser le transfert de connaissances.

Les avantages d'une construction automatique de présentation multimédia adaptée au récepteur sont présentés dans [Hakkoymaz et al., 1999]. En particulier, les auteurs insistent sur l'intérêt de disposer de données multimédia assemblées dans différentes versions d'un cursus d'enseignement pour des utilisateurs différents. Mais les auteurs soulignent les dangers que représenterait une composition basée uniquement sur la présentation, sans un parfait accord avec le contenu pédagogique à respecter : imposer un type de média ou un type de présentation ne doit pas écarter les contraintes sémantiques que doit respecter le document final. La présentation doit être complète, cohérente et compréhensible. Ceci se vérifie dans le domaine pédagogique où la forme *est assujettie au message*, mais pas dans tous les domaines car pour l'art, par exemple la forme *constitue le message*.

La conception et la présentation d'information multimédia à partir d'un même ensemble de sources d'information plus ou moins structurées est discutée dans [Roisin et al., 2000]. Elles répondent à trois classes de besoins spécifiques : les besoins d'expression, les besoins liés à la présentation et les besoins liés à la conception. Une architecture de présentation de documents multimédia est ensuite présentée ainsi que les diverses étapes de transformation d'un document structuré (en XML) à un document multimédia qui prennent en compte les caractéristiques des dimensions temporelle, spatiale et hypermédia d'un document multimédia.

Dans leur approche, Vernier et al. sélectionnent le média qui va supporter une information en sortie d'un système, en fonction d'un espace de conception formé de deux axes, aspects et schémas [Vernier et al., 2000]. En sortie le choix de la modalité utilisée peut être engagé par le concepteur, l'utilisateur ou le système lui-même. Cinq aspects de la composition interviennent alors : l'aspect temporel, spatial, articulatoire, syntaxique et sémantique. Les spécificités liées à chacun de ces aspects sont évoquées, entre autres les problèmes liés à la perception d'une information, l'influence du contexte, la redondance ou la complémentarité des informations. Comme nous l'avons dit la composition spatiale ne constitue pas la priorité de nos travaux. Nous ne développons pas plus avant cet aspect. Néanmoins les difficultés rencontrées en terme de composition multimodale sont parentes de celles rencontrées en composition narrative. Un lien existe entre les deux, qui reste à définir. Cette voie pourra constituer une des suites possibles à cette thèse.

Conclusion

La composition automatique de documents suppose que le système possède un modèle de structure narrative prédéfinie. La transmission correcte (non déformée) d'un message repose sur cette structure. Il est vrai que celle-ci peut être remise en cause par l'utilisation des hypertextes. Ceux-ci constituent néanmoins le support de base de toute application interactive destinée à

l'Internet. Une totale liberté de navigation au travers de fragments documentaires n'est pas envisageable, surtout dans le domaine pédagogique où la structure documentaire traduit une stratégie didactique. Les systèmes interactifs en ligne, doivent donc trouver un juste milieu entre la conformité à une structure et le besoin de laisser à l'utilisateur un certain degré de liberté dans son parcours. Pour ce faire il existe des méthodes de composition qui, associées avec l'ensemble des fragments documentaires auxquels elles s'appliquent, constituent les documents virtuels.

La composition de documents réels à partir de documents virtuels se décompose généralement en quatre étapes, comportant chacune des difficultés spécifiques :

- La sélection des fragments documentaires qui constituent le document final suppose une qualification de ces fragments qui exprime la sémantique de leur contenu ;
- Le filtrage suppose que le système ait à sa disposition, en plus des connaissances sémantiques, les caractéristiques physiques d'un fragment pour déterminer les fragments à retenir en fonction de leur pertinence, de leur importance et des préférences utilisateur ;
- Pour l'organisation le système doit disposer de méthodes de formalisation de la narration qui tiennent compte de certaines règles dépendant du type de narration (par exemple le type pédagogique) ;
- L'assemblage suppose que le système introduise des transitions qui respectent la cohérence du discours.

Certaines techniques issues du domaine de l'intelligence artificielle, des hypertextes ou du traitement de signal apportent certaines solutions notamment en ce qui concerne la qualification des fragments, leur sélection et leur ordonnancement. Dans la suite nous proposons un mode de qualification basé sur les ontologies et une méthode d'automatisation de la composition, mettant en œuvre l'instanciation pondérée d'ontologie en fonction d'une intention. Une définition précise des ontologies et de leur utilisation s'impose donc.

«De même, comment pourra-t-on comprendre de quoi vous parlez si le message que vous exprimez au moyen de langues inconnues n'est pas clair ? Vous parlerez pour le vent ! Il y a bien des langues différentes dans le monde, mais aucune d'entre elles n'est dépourvue de sens. Cependant, si je ne connais pas la langue dans laquelle on s'adresse à moi, celui qui parle cette langue sera un étranger pour moi, et je serai un étranger pour lui.»

I Corinthiens 14, 9-11

Les ontologies dans le domaine informatique : un pas vers l'échange standard de données ?

3.1 Les ontologies : principes et définitions	62
3.1.1 Principes d'une ontologie	62
3.1.2 Définitions	63
3.2 Le rôle des ontologies	65
3.2.1 Modularité et réutilisabilité des connaissances	65
3.2.2 Communication	65
3.2.3 Les ontologies dans les systèmes éducatifs.....	66
3.3 Différentes méthodologies de conception des ontologies	68
3.4 Les langages et formalismes utilisés pour représenter des ontologies.....	69
3.5 Les applications utilisant des ontologies	71
3.6 Structures conceptuelles : de l'ontologie au raisonnement.....	72
3.6.1 Structures Conceptuelles	72
3.6.2 Graphes Conceptuels (GC).	73
3.6.3 Théorie des graphes et logique floue	74
Conclusion.....	75

La conception de systèmes, c'est à dire la définition et la modélisation des données, la mise en place et l'optimisation des algorithmes et la maintenance, est une procédure coûteuse. Ce coût est dû en partie à la difficulté de définir un domaine particulier de façon formelle et au temps nécessaire à la modélisation qui en découle. Pourtant chaque application, aussi spécialisée soit-elle, se réfère à un domaine dont d'autres applications utilisent déjà les connaissances et il serait possible de diminuer ce coût de conception en partageant certaines de ces données et en réutilisant certains modules. Pour pallier les problèmes d'échange et de modularité, et favoriser la compréhension et la lisibilité des données, certains membres de la communauté scientifique ont choisi d'utiliser des *ontologies*.

En Intelligence Artificielle (IA), ce qui existe, c'est ce qui peut être représenté. L'ensemble des connaissances qui peuvent être représentées est alors appelé l'univers du discours. Dans le domaine pédagogique ce domaine peut être commun à plusieurs applications. Différents systèmes proposent des cours traitant du même sujet de façon plus ou moins fouillée. Or comme le soulignent Nkambou et al. dans leur conclusion, deux caractéristiques sont fondamentales dans la théorie de conception pédagogique : la représentation du contenu de la matière à enseigner et l'organisation de ce contenu [Nkambou et al., 1997]. Il nous semble que les ontologies peuvent être utiles à la réalisation de ces deux étapes.

Quelle est la définition d'une ontologie ? Comment est-il possible de les modéliser ? Y a-t-il des méthodes efficaces de construction d'ontologies, des langages établis pour les utiliser ? Quels apports offrent-elles en comparaison avec une représentation plus classique de la connaissance ? Autant de questions pour lesquelles ce chapitre présente les réponses de la communauté scientifique.

NOTE — L'état de l'art présenté ici se situe dans les parties *perspective de l'informatique*, *ingénierie de connaissance*, *unification*, *méthodologies*, si on se réfère à la classification des travaux sur les ontologies donnée dans [Carrara et al., 1999].

3.1 Les ontologies : principes et définitions

3.1.1 Principes d'une ontologie

Pour introduire une définition formelle des ontologies, il est utile de connaître les 'principes d'une ontologie' exposés par John F. Sowa⁴¹. Ces lignes reflètent le point de vue de leur auteur, et ne peuvent pas être admises comme définition formelle. Cependant, elles peuvent éclairer le lecteur dans sa compréhension de ce qu'est une ontologie.

« *Le but d'une ontologie est l'étude de catégories de concepts qui existent ou peuvent exister dans certains domaines. Le résultat de cette étude, appelé une ontologie, est un catalogue de types de choses qui existent dans un domaine d'intérêt D par la perspective d'une personne qui utilise un langage L pour parler de D. Les types de cette ontologie représentent les prédicats, significations, concepts, et types de relations du langage L lorsqu'il est utilisé pour décrire ou discuter certains aspects du domaine D. Une logique non interprétée comme le calcul de prédicats, les graphes conceptuels ou KIF⁴², est ontologiquement neutre. Elle n'impose pas de contraintes sur le domaine traité, ni sur la façon de le caractériser et de le traiter. Par elle-même, une logique ne dit rien sur rien, mais la combinaison de cette logique avec une ontologie engendre un langage qui permet de traduire les relations entre les entités du domaine étudié.* »

Sowa définit ensuite une *ontologie informelle* comme étant spécifiée par un catalogue de types soit indéfinis, soit définis par des instructions en langage naturel. Uschold et al. soulignent l'intérêt de telles représentations intermédiaires plus structurées que des descriptions en langage naturel, mais

⁴¹ Message électronique diffusé le 3 déc. 98 sur la liste *onto-std@ksl.stanford.edu*

⁴² Ces formalismes sont développés plus avant dans la thèse

moins formelles que des descriptions en langage formel [Uschold et al., 1995]. Ces représentations permettent, par exemple, la communication entre les non-techniciens et les spécialistes de la conception des systèmes.

Par opposition, « une ontologie formelle est spécifiée par un ensemble de noms correspondant à des concepts, et un ensemble de types de relations ordonnés selon les relations types – sous type. Les ontologies formelles sont ensuite distinguées par la façon dont les sous-types sont différenciés de leurs super-types : une ontologie axiomatisée les distingue par des axiomes et des définitions en langage formel comme certaines logiques ou certains langages informatiques traduisibles en logique ; une ontologie basée sur les prototypes les différencie par comparaison avec un membre typique, un prototype, pour chaque sous-type.

Les grandes ontologies mélangent souvent les deux approches : les axiomes et définitions sont utilisés en mathématique, physique et en science en général, les prototypes sont plus couramment utilisés pour les plantes, les animaux, et les sujets de la vie courante. »

3.1.2 Définitions

(PHIL.) Ontologie (grec : *ontos*, être et *logos*, science) : 1. Etude de l'être en tant qu'être, de l'être en soi. 2. Etude de l'existence en général, dans l'existentialisme. — *Petit Larousse, 1998*

Au premier abord, cette définition philosophique paraît éloignée de celles qui vont suivre, et qui sont utilisées en informatique. Pourtant, ce que nous cherchons à modéliser, concerne bien les connaissances sur des parties du monde réel, c'est à dire des connaissances qui ne sont modélisables que parce qu'elles représentent des entités qui *existent*. Le propre de la modélisation de données est de permettre une étude sur ces données donc, dans notre cas, une étude basée sur l'existence de certaines entités dans le monde réel. Les deux points de vue, philosophiques et IA, ne sont donc pas si éloignés l'un de l'autre. Cette section présente les principales définitions disponibles dans la littérature informatique. Elles sont souvent très proches ou complémentaires. Certaines de ces définitions peuvent être retrouvées dans [Mizoguchi, 1998] dont nous n'avons eu connaissance que récemment.

La définition la plus référencée et aussi la plus synthétique est sans doute celle de Gruber : *une ontologie est une spécification explicite d'une conceptualisation*. Cette définition est étoffée dans [Gruber, 1992] où une ontologie est définie comme étant *un ensemble de définitions, de primitives, de représentation de connaissance spécifique au contenu : classes, relations, fonctions et constantes d'objet*. La même notion est également développée dans [Guarino, 1997b] : *une ontologie est une théorie logique dont les modèles contraignent une certaine conceptualisation, sans la spécifier exactement*. Pour lui la définition de Gruber fait appel à la signification implicite d'une conceptualisation c'est pourquoi il la précise ; il considère les ontologies comme des bases de connaissance particulières.

Pour [Grüniger et al., 1995] une ontologie *est une description formelle d'entités et leurs propriétés, relations, contraintes, comportement*. C'est cette définition que nous allons conserver dans la suite. Elle est simplifiée dans [Ikeda et al., 1999] où une ontologie est définie comme *un ensemble de définitions de concepts et leurs relations* à ne pas confondre avec un modèle qui *est un ensemble d'instances de ces concepts*. [Schoening, 1997] donne comme complément de définition : *une ontologie est un ensemble de spécifications de concepts compréhensible par une machine*. Cette idée est renforcée dans [Devedzic, 1999] car une ontologie fournit la structure de base, l'armature autour de laquelle une base de connaissance peut être construite. En effet les logiciels ont besoin d'une représentation du monde aussi fidèle que possible afin que la connaissance qu'ils infèrent soit cohérente, et que le mode de raisonnement qu'ils appliquent sur cette connaissance produise des résultats corrects. [Mizoguchi, 1998] rajoute une définition qui provient du point de vue des

systèmes à base de connaissance : *une ontologie est une théorie de concepts/vocabulaire, utilisée comme module des systèmes de traitement de l'information.* Dans cet article, l'auteur apporte quelques précisions concernant les questions fréquemment posées sur les ontologies, auxquelles le lecteur pourra se référer s'il souhaite des compléments d'information. D'autres définitions sont proposées, par exemple dans [Mineau, 1993], mais nous ne les citons pas car elles nous semblent d'un intérêt moindre.

Une ontologie peut également être considérée comme une convention de vocabulaire et de relations entre les mots de ce vocabulaire pour parler d'un sujet donné. Les relations sont de plusieurs de type : ce peut être des relations d'hyponymie ('sorte de'), nominatives ('a pour nom'), locatives ('est situé sur'), relations de méronymie ('partie de') ou toute autre relation associative ('a pour fonction', 'est associé à', etc.).

Les ontologies peuvent être classifiées en fonction de deux dimensions : leur niveau de détail et leur niveau de dépendance par rapport à une tâche particulière, un point de vue [Guarino, 1997b]. Nicola Guarino distingue plusieurs niveaux dans les ontologies :

- Les ontologies de haut niveau contiennent les concepts généraux, commun à tous les domaines (temps, espace, objet, évènement). Les travaux de John Sowa et de Nicola Guarino tentent de formaliser une telle ontologie 'universelle' ;
- Les ontologies liées à un domaine particulier sont de deux sortes : i) soit elles contiennent le vocabulaire spécifique à un domaine bien défini et sont des spécialisations d'une ontologie de haut niveau, ii) soit il s'agit d'ontologies de tâche qui contiennent l'ensemble des tâches réalisées dans un domaine donné ;
- Les ontologies d'application dépendent à la fois d'un domaine et d'une tâche.

Ces différents niveaux sont récapitulés dans la Figure 3.5. Par conséquent, une ontologie peut être vue comme une théorie qui distingue les concepts particuliers (particulars en anglais), c'est à dire les objets concrets, physiques, les évènements, les régions, etc., et les concepts universels (universals) c'est à dire les propriétés, rôles, relations, états, etc. [Breuker et al., 1999] présente un état de l'art plus orienté vers l'ingénierie de connaissance et plus précisément vers les outils pédagogiques. Cette présentation est claire et bien structurée. Les auteurs distinguent également trois niveaux d'ontologie : ontologie de haut niveau, du domaine (intimement liée avec l'application qui va l'utiliser) et, entre les deux, une ontologie *noyau* qui se situe dans un champ : médecine, justice...

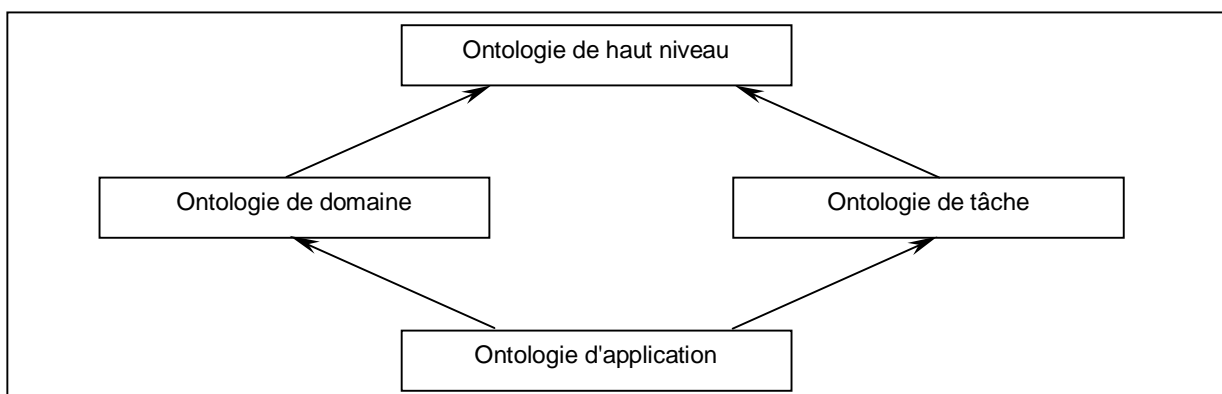


Figure 3.5 : Différents types d'ontologie selon leur degré de dépendance vis à vis d'une tâche particulière ou d'un point de vue.

3.2 Le rôle des ontologies

Dans le chapitre précédent nous avons évoqué les apports des ontologies, par rapport à des approches classiques par mots-clés dans les méthodes et techniques d'annotation. Cependant la communauté d'intelligence artificielle utilise les ontologies pour d'autres raisons dont deux principales : i) le partage et la réutilisation de données, et ii) l'amélioration de la communication.

3.2.1 Modularité et réutilisabilité des connaissances

Comme le montrent certaines applications décrites dans la section suivante, les ontologies sont surtout utilisées pour la représentation de connaissance et l'application de raisonnements sur ces connaissances. Cependant une ontologie possède des caractéristiques qui, au-delà de cette représentation, favorise la réutilisation et le partage de données. Déjà en 91, Thomas Gruber insistait sur le rôle que pouvaient tenir les ontologies pour favoriser la modularité et la réutilisabilité dans les systèmes informatiques [Gruber, 1991]. En effet, ces ontologies permettent l'étude de conceptualisations, indépendamment du formalisme choisi pour les représenter [Valente et al., 1996] et doivent être définies indépendamment du langage utilisé pour la programmation des applications, de la plate-forme utilisée et des protocoles de communication (protocoles réseaux). Cependant, Thomas Gruber souligne les difficultés techniques occasionnées par la conception d'ontologies communes. Ces idées ont été beaucoup approfondies et développées dans [Gruber, 1993] et [Gruber, 1995]. Pour lui les systèmes à base de connaissance mettent en place des techniques d'interopérabilité basées sur la communication et les opérations à partir de représentations formelles de la connaissance. Souvent ils peuvent être comparés à des agents qui négocient et échangent des connaissances. Trois niveaux de convention sont alors nécessaires : i) le format de représentation du langage, ii) le protocole de communication des agents et iii) la spécification du contenu du vocabulaire partagé. C'est surtout sur ce dernier point que les ontologies peuvent jouer un rôle intéressant.

Le partage et l'échange de données entre agents exigent le respect de certaines propriétés [Guarino, 1997b]. Pour l'auteur le rôle clef d'une ontologie en extraction d'information est d'établir l'accord entre le descripteur recherché et les données.

Pour Sowa, une ontologie permet de définir les mots d'un langage naturel, les prédicats utilisés dans les calculs de prédicats, les types de concepts et de relations des graphes conceptuels, les classes d'un langage orienté objet ou les champs des tables d'une base de données relationnelle [Sowa, 2000]. Or la plupart de ces méthodologies sont connues et utilisées parce qu'elles favorisent l'échange et la réutilisation de connaissances

3.2.2 Communication

Il existe trois types de communication dans un projet : communication homme-homme, homme-système ou entre les différents modules du système. Ces trois types possèdent tous des caractéristiques particulières qui engendrent certains problèmes auxquels les ontologies peuvent apporter des solutions.

La communication entre humain pose surtout des problèmes quand les acteurs de cette communication ne sont pas du même domaine et ne parlent donc pas forcément le même langage. La réutilisation, le partage de connaissance et d'ontologies, suppose que plusieurs utilisateurs soient d'accord sur les ontologies partagées. C'est ce que Fensel et al. nomment un *ontogroup* [Fensel et al., 1998]. Philippe Martin propose d'aider les spécialistes de l'ingénierie de la connaissance en utilisant la terminologie définie dans WordNet comme base de la communication, car c'est un standard [Martin, 1995]. Dans le domaine pédagogique c'est la communication entre auteurs et informaticiens qui est parfois difficile, d'où l'intérêt d'utiliser des ontologies dans les

environnements auteur pour la définition d'un vocabulaire convivial et précis dans la définition des tâches pédagogiques [Ikeda et al., 1999]. L'ontologie joue alors le rôle d'un méta-modèle.

Une fois que les acteurs humains d'un projet sont d'accord sur une ontologie, la communication avec le système se fait naturellement, en utilisant cette ontologie. De plus l'adaptation des ontologies à la description de textes en langage naturel, semi-structurés [Klein et al., 2000] améliore la communication dans le sens machine-homme.

Les ontologies peuvent également être utilisées pour harmoniser la communication entre différentes applications ou entre différents agents [Chen et al., 1999]. Cette idée, également sous-jacente dans les publications de Gruber [Gruber, 1995], repose souvent sur une ontologie du domaine. Pourtant Chen et Mizoguchi veulent aller plus loin en dotant les agents d'une connaissance sur une ontologie de tâche indépendante du domaine.

Pour synthétiser, on peut dire que si le rôle principal d'une ontologie est de favoriser le partage et la réutilisation de la connaissance, il faut cependant distinguer plusieurs types d'utilisation qui entraînent des besoins différents [Valente et al., 1996] :

- Une ontologie peut être utilisée comme un répertoire dans lequel on stocke et organise des connaissances et des informations. Elle peut concerner des données simples, standardisées dans un domaine particulier ou bien des données distribuées ;
- En acquisition de connaissance, les ontologies rassemblent les définitions des termes d'un domaine ce qui permet à plusieurs acteurs de communiquer sans ambiguïté ;
- L'ontologie doit également contenir certaines définitions qui permettent d'assurer la consistance de la base de connaissance et son utilisation correcte ;
- Les ontologies se justifient souvent par la volonté de réutiliser la connaissance pour la construction de nouvelles applications ;
- Enfin, une ontologie peut être utilisée comme la base d'un langage de représentation des connaissances.

Les différents avantages qu'offrent les ontologies ne doivent pas occulter leurs limites. La principale est la notion de *point de vue* qui reste un point obscur et peu discuté dans la littérature de ce domaine. Cette notion traduit le fait qu'un concept n'est pas considéré de la même manière suivant le contexte dans lequel il est utilisé. On peut considérer, par exemple, un élève de lycée et son professeur de mathématique. Le même élève est un prodige de musique classique et donne occasionnellement des cours particuliers de piano à... son professeur de mathématique. Qui est alors l'élève de l'autre ? Il existe d'autres exemples, mais celui-ci est mentionné car il a une particularité, c'est que les deux points de vue appartiennent à la même ontologie éducative. On voit bien que suivant le point de vue selon lequel on se place, un concept n'a pas forcément les mêmes caractéristiques. Ce problème suscite de nombreuses recherches dans le domaine de la programmation orientée objet. Les solutions avancées comme les objets morcelés [Bardou et al., 1996] semblent intéressantes d'un point de vue implémentation mais ne semblent pas avoir été adaptées pour les ontologies. Dans le formalisme des graphes conceptuels, Carbonneill et al. introduisent une relation de conformité entre les marqueurs individuels et les types de concepts de façon à désigner une même entité selon différents points de vue : le chat Tom, l'animal Tom et l'être vivant Tom, par exemple [Carbonneill et al., 1994a].

3.2.3 Les ontologies dans les systèmes éducatifs

Dans les systèmes éducatifs, plusieurs travaux récents sont basés sur les ontologies⁴³. Ainsi on peut citer ceux de Tom Murray [Murray, 1996], de Joost Breuker et Antoinette Muntjewerff déjà

⁴³ Comme en témoigne l'atelier *Ontologies for Intelligent Educational Systems* de la conférence AI-ED'99 <http://www.ei.sanken.osaka-u.ac.jp/aied99/aied99-onto.html>

mentionnés dans cet état de l'art [Breuker et al., 1999], de Suzanne Kabel, B.J. Wielinga et R. de Hoog [Kabel et al., 1999] ou encore de Claude Moulin [Moulin, 1999]. Cependant les ontologies elles-mêmes étant encore dans une phase immature, leur application à la pédagogie et à la conception de systèmes éducatifs n'en est qu'à ses prémices. Les travaux les plus importants, et certainement les plus aboutis, en ce qui concerne l'insertion d'ontologies dans les systèmes d'enseignement ont été réalisés par l'équipe de Mizoguchi. Aussi nous avons en partie basé notre travail sur ses résultats, c'est pourquoi ils sont détaillés dans cette section.

Dans le domaine des outils d'enseignement à distance, et plus particulièrement dans les systèmes éducatifs interactifs (SEI), l'un des principaux problèmes rencontrés concerne le passage d'une théorie didactique concernant des méthodes, des stratégies, des définitions, etc. à sa modélisation en machine et à un système qui applique cette théorie et mette en œuvre ses méthodes. Si du côté de la méthodologie éducative, un très grand nombre de thèses ont été développées, et beaucoup de solutions et de stratégies avancées, il reste néanmoins un immense fossé pour passer à l'automatisation de ces concepts. Pour combler ce fossé, de nouveaux outils, basés sur le traitement 'intelligent' des données, semblent prometteurs. Parmi eux, l'idée d'utiliser une ontologie clairement définie du domaine considéré et une ontologie pédagogique semble intéressante. En ce qui concerne ce dernier type d'ontologies, un travail important de classification des différentes composantes éducatives, a été réalisé par l'équipe de Mizoguchi [Mizoguchi et al., 1996a][Sinita et al., 1997]. L'ontologie que nous avons conçue, et qui sera présentée plus avant, a eu cette classification comme point de départ. Le but de l'ontologie qu'ils proposent est non seulement de créer une sorte de référence, mais aussi de combler le fossé entre auteurs et utilisateurs [Mizoguchi, 1996b].

Parmi tous les SEI existants, on retrouve une composante commune qui n'est pas la plus simple à concevoir : la représentation déclarative de ce que le système connaît. Plusieurs méthodes ont été essayées (représentation par des matrices, un langage de *frame* ou des objets...) mais l'inconvénient de toutes ces méthodes est le manque de sémantique claire. De ce fait, les outils qui en découlent sont ésotériques, réservés à des spécialistes : la communication entre pédagogues et informaticiens en est gênée au point de devenir parfois impossible.

Dans plusieurs de leurs travaux, Mizoguchi et al. soulignent les inconvénients principaux de la plupart des SEI et les améliorations souhaitées [Mizoguchi et al., 1997a, 2000] :

- Tout d'abord la nécessité d'améliorer les environnements auteur pour combler le fossé qui existe entre les auteurs et ces environnements, ce qui rend ces derniers peu attractifs et leur utilisation fastidieuse ;
- La nécessité d'améliorer la convivialité des outils et leurs fonctionnalités ;
- Augmenter la généricité des SEI pour éviter de concevoir les nouveaux à partir de rien ;
- Structurer la représentation des connaissances du système afin de pouvoir y appliquer une forme de raisonnement (appliquer des stratégies pédagogiques, par exemple) ;
- Spécifier de façon précise les fonctionnalités du système ;
- Améliorer la communication entre agents ou modules du système ;
- Permettre une adaptation dynamique de l'outil tout en respectant le plan didactique qui permet une organisation de la connaissance.

Bien que Mizoguchi, nuance cette constatation, il nous semble que les ontologies apportent des améliorations concernant ces différents points, car elles permettent de :

- Standardiser le vocabulaire et d'uniformiser par la même le langage d'échange entre les différents acteurs du projet et les composantes du système ;
- Comparer les différents systèmes ;
- Structurer la connaissance et simplifier ainsi l'analyse et la synthèse des connaissances d'un domaine ;

- Spécifier un contexte.

Pour Mizoguchi, les ontologies peuvent servir de théorie pour supporter la recherche d'information au même titre que les mathématiques apportent une base théorique à la physique [Mizoguchi, 1998]. Dans sa liste de sujets à étudier dans le cadre des ontologies, seuls quelques-uns correspondent à notre thématique de recherche : la représentation de connaissance, la comparaison, l'alignement, et l'unification d'ontologies, la recherche d'information (sur Internet) et l'évaluation. Dans [Mizoguchi et al., 2000] trois niveaux sont distingués dans l'ontologie : la hiérarchie de concepts, les relations qui lient ces concepts et un exécutable — i.e. un comportement — associé à chaque concept. Dans la suite nous verrons qu'il est possible de rapprocher l'attribution automatique de rôle à cette notion de comportement.

3.3 Différentes méthodologies de conception des ontologies

La construction d'une ontologie suppose certaines obligations qui découlent du choix d'utiliser certains concepts plutôt que d'autres pour représenter un phénomène. Ce sont les exigences ontologiques (ontological commitments) [Valente et al., 1996]. C'est une tâche capitale dans la construction des ontologies puisque de la sélection de ces exigences découlent toutes les autres étapes de détermination du langage de connaissance et de construction de la base.

Après s'être mis d'accord sur la définition et l'utilité des ontologies, certains travaux de recherche ont tenté de définir une ontologie formelle qui soit une ontologie de haut niveau, définissant les propriétés ontologiques qui caractérisent les concepts utilisés dans une ontologie [Guarino, 1997a][Sowa, 1995]. Cette ontologie permettrait de disposer de principes, de théories et de méthodologies pour la construction d'ontologies plus spécifiques, lesquels manquent fortement à l'heure actuelle. Pourtant des recherches concernant la méthodologie de conception d'ontologies ont été proposées, mais elles semblent peu utilisées. C'est donc un mélange d'introspection et de créativité personnelle qui permet de construire une ontologie [Guarino, 1997a et 1997b]. De plus la définition d'une ontologie formelle de haut niveau reste très philosophique et est controversée comme l'explique Mizoguchi : plusieurs utilisateurs des ontologies réagissent de façon négative à une ontologie de haut niveau dont devrait dépendre leurs ontologies car ils ne pensent pas qu'une ontologie indépendante d'une application soit utile [Mizoguchi, 1998].

Motta et al. soulignent la difficulté de concevoir une ontologie même pour un spécialiste du domaine [Motta et al., 2000]. Les auteurs passent en revue plusieurs types d'approches dont l'approche descendante (Top-Down) de [Sowa, 1995], l'approche ascendante (Bottom-Up) de [Van der vet et al., 1998] et l'approche mixte (Middle-Out) de [Uschold et al., 1996] (Purpose Driven). Philippe Martin opte lui aussi pour une approche mixte ([Martin, 1996b] p.28).

La construction d'une ontologie n'est donc pas clairement définie : il n'existe pas de cycle de vie, de méthodologies et de techniques pour cette construction. Gómez-Pérez et al. proposent une méthode : lister l'ensemble des concepts d'un domaine, conceptualiser un ensemble de relations intermédiaires entre ces concepts, implémenter le modèle, et évaluer [Gómez-Pérez et al., 1996]. Ces idées reprennent un plan d'action plus complet, qu'avait exposé Mike Uschold l'année précédente [Uschold, 1995]. Pour lui la conception d'ontologie comporte les étapes suivantes :

- Identification du sujet ;
- Construction de l'ontologie ; - saisie de l'ontologie, - codage de l'ontologie, - intégration éventuelle des ontologies existantes ;
- Evaluation ;
- Et documentation.

Cependant si ces travaux rendent compte de *ce qu'il faut faire* pour construire une ontologie, ils restent très vagues sur *comment on peut le faire*. Malgré certaines méthodes proposées, comme par exemple les patrons de conception proposés dans [Devedzic, 1999], il reste difficile de construire des ontologies, l'étape la plus longue étant sans doute le recensement, que l'on voudrait exhaustif, de tous les concepts d'un domaine. [Ehrlich, 1997] considère le vocabulaire d'un document et étudie la possibilité d'enrichir le vocabulaire du système en déduisant le sens des mots nouveaux à partir du contexte où le mot est utilisé. [Zweigenbaum, 1997] propose également un outil qui, à partir d'une analyse lexicale permet de repérer les concepts et relations qui caractérisent un domaine et amorce ainsi la définition d'une ontologie du domaine ou la modification d'une ontologie déjà existante, plus adaptée à l'utilisation à venir. Les auteurs mettent en évidence la complémentarité de deux approches : l'analyse du corpus et le recours à des connaissances du domaine.

Grüninger et al. présentent une méthode pour mettre au point et évaluer les ontologies [Grüninger et al., 1995]. La première étape consiste à établir les compétences nécessaires à partir de scénarios existants. Ensuite, la spécification d'une ontologie de premier ordre est possible. Dans leur outil, TOVE (TOronto Virtual Entreprise), l'ontologie modélise le comportement d'une entreprise. L'approche adoptée ici peut être rapprochée de celle de Mizoguchi puisque lui aussi favorise la théorie de l'action en modélisant son ontologie de tâches pédagogiques [Mizoguchi, 1996ab]. L'évaluation d'une ontologie est une étape délicate, aussi bien pour un humain que pour un système automatisé. Dans une application donnée, il est possible de vérifier que le vocabulaire utilisé correspond à celui de l'ontologie, mais si cela garantit sa consistance cela ne garantit pas pour autant sa complétude. Une évaluation possible pour une ontologie est d'étudier sa réutilisation par différentes applications.

[Uschold, 1996] détaille les difficultés rencontrées pour convertir une ontologie informelle écrite en langage naturel dans le langage formel Ontolingua [Gruber, 1992]. La méthodologie utilisée dans Ontolingua et présentée par Gruber s'impose d'autant plus qu'elle est validée par d'autres chercheurs. Mike Uschold écrit : les critères de Gruber pour construire des ontologies sont pertinents [...] et peuvent être intégrés dans toute autre méthodologie. Ces critères sont la clarté, la cohérence, l'extensibilité, la minimisation des contraintes de codage, la minimisation des interprétations possibles [Gruber, 1995].

3.4 Les langages et formalismes utilisés pour représenter des ontologies

ONTOLINGUA est un système qui permet la définition d'ontologies portables, i.e. la définition des classes, relations, fonctions, objets et théories dans un langage standard qui est ensuite traduit pour plusieurs types de systèmes. Le formalisme utilisé dans Ontolingua est KIF (Knowledge Interchange Format⁴⁴) qui est un langage proche du Lisp. Thomas Gruber introduit la syntaxe et la sémantique utilisées dans KIF dans [Gruber, 1992, 1993]. Ontolingua permet de traduire des ontologies génériques en LOOM, Epikit, KIF, etc. Directement inspiré par Ontolingua, **XOL** (XML-Based Ontology exchange Language) favorise les échanges d'ontologies [Karp et al., 1999].

LOOM⁴⁵ (ainsi que son successeur Power-LOOM) est une plate-forme pour la représentation des connaissances et la construction d'applications raisonnant sur cette connaissance. Le cœur du système est un classificateur qui utilise le chaînage-avant, l'unification sémantique et des technologies orientées objet pour constituer un support déductif. Sur ce support des requêtes sont possibles, à partir de connaissances déclaratives composées de définitions, de règles, de faits, etc.

⁴⁴ <http://logic.stanford.edu/kif/kif.html>

⁴⁵ <http://www.isi.edu/isd/LOOM/LOOM-HOME.html>

LOOM intègre des fonctionnalités puissantes permettant de raisonner sur un modèle du domaine et permet d'éditer, de valider, et d'expliquer la structure des modèles utilisés.

Motta et al. montrent combien il est plus facile de compléter une ontologie existante que de partir de rien et utilisent pour leur projet le langage **OCML** [Motta et al., 2000]. Leur projet, **WebOnto**⁴⁶ est une application Java couplée à un serveur Web qui permet de naviguer et d'éditer des modèles de connaissance.

OIL⁴⁷ (Ontology Inference Layer) se présente comme un langage de la seconde génération du Web, à savoir le Web cultivé. Si les informations disponibles sur l'Internet sont longtemps restées des pages HTML écrites à la main, son avenir repose sur des applications intelligentes, des agents, permettant des recherches sémantiques, des sélections et filtrages intelligents des informations. La représentation de la connaissance et les ontologies ont donc un rôle crucial à jouer. Pour ce faire, il faudrait disposer de standards d'intégration d'ontologie avec les standards existants et à venir du Web. OIL est un langage pour la représentation et l'inférence d'ontologies, combinant des primitives de modélisation des langages de *frame* avec la sémantique formelle et les modes de raisonnement des logiques descriptives. Une ontologie est représentée par un conteneur (ontology container) et des définitions ontologiques (ontology definition). OIL est basé sur des formalismes tels que RDF/RDFS et XML, ce qui garantit sa totale compatibilité avec ces formalismes standards ou en cours de standardisation. Les liens existant entre la structure d'un document (XML schéma) et la modélisation du domaine couvert par ce document (ontologie) sont étudiés dans [Klein et al., 2000] au travers d'une comparaison entre OIL et les schémas XML.

SHOE⁴⁸ (Simple HTML Ontology Extensions) est une extension du langage HTML qui permet aux auteurs de page Web de générer une annotation de leurs documents qui soit compréhensible par une machine. Ce langage peut être utilisé par des agents [Luke et al., 1997]. En effet, si le langage HTML est utilisé pour rendre la connaissance facilement lisible par un humain, il n'est pas adapté pour permettre cette lisibilité pour un système informatique, et un agent chargé d'extraire la sémantique d'un document a beaucoup de difficulté à le faire, car les données et leur présentation sont entremêlées. SHOE évite ce problème car c'est un langage qui permet d'inclure dans les pages Web des données directement lisibles et exploitables par un agent.

John F. Sowa est un des pionniers de la recherche sur les structures conceptuelles et les modélisations de connaissance par ces structures ; ses travaux s'inspirent de ceux de Charles Sanders Peirce. Pour modéliser son ontologie de haut niveau, il a mis au point un formalisme : les **Graphes Conceptuels** — GC [Sowa, 1984]. Un GC est un graphe étiqueté, bi-parti, connexe, fini. Les sommets concepts représentent les entités, attributs, états ou événements ; chaque sommet est typé. Ces types sont ordonnés dans une structure de treillis orienté du plus spécifique au plus général avec des relations 'sorte-de'. Les graphes conceptuels seront évoqués plus en détails dans la section suivante. Ils représentent un formalisme souvent utilisé pour la représentation d'ontologie et sont à l'origine du langage **CGIF** (Conceptual Graph Interchange Form). CGIF est une représentation concrète des GC dans lequel chaque graphe est traduit dans une représentation logique équivalente.

⁴⁶ <http://webonto.open.ac.uk/>

⁴⁷ <http://www.ontoknowledge.org/oil/>

⁴⁸ <http://www.cs.umd.edu/projects/plus/SHOE/>

Un des langages les plus utilisés en matière de représentation d'ontologies est **KIF**⁴⁹ (Knowledge Interchange Format). KIF est un langage mis au point pour soutenir les échanges de données entre plusieurs applications sur plusieurs ordinateurs. Il possède plusieurs atouts, entre autres i) sa lisibilité, il est facilement compréhensible par un humain (même si ce n'est pas son but premier) ; ii) sa facilité à être programmé — il est compréhensible par une machine ce qui permet un raisonnement logique ; iii) il permet de représenter la méta-connaissance ce qui permet d'introduire de nouvelles représentations de connaissance, sans changer de langage. La Figure 3.6 présente la traduction du même graphe conceptuel dans les deux langages CGIF et KIF⁵⁰.

Le projet Plinius [Van der Vet et al., 1995] utilise les langages Prolog, Graphes Conceptuels, Ontolingua et les langages de la famille KL-One. Il existe également beaucoup d'autres langages comme KADS, IDEF5 et BSDM qui ne sont pas détaillés ici car ils sont moins utilisés. [Uschold, 1995] présente une série de critères pour choisir le langage le plus approprié à la représentation d'ontologie, et en sélectionne trois : Ontolingua, les graphes conceptuels et KADS, parmi lesquels il choisit Ontolingua. Nous justifierons par la suite notre préférence personnelle pour les graphes conceptuels.

Le chat chasse la souris	
Notation en graphes conceptuels linéaires :	
<pre>[chasse] -> (agent) -> [chat] -> (objet) -> [souris]</pre>	<pre>(exists (c) (exists (d) (exists (m) (and (chat ?c) (chasse ?d) (souris ?m) (agent ?d ?c) (objet ?d ?m))))))</pre>
<pre>(Agent [chasse *d] [chat]) (objet ?d [souris])</pre> <p>ou bien</p> <pre>[chat *c][chasse *d][souris *m] (agent ?d ?c)(objet ?d ?m)</pre>	

Figure 3.6-a : Traduction d'un GC en CGIF

Figure 3.6-b : Traduction d'un GC en KIF

3.5 Les applications utilisant des ontologies

Parmi les applications mettant en œuvre des ontologies, nous avons cité à plusieurs reprises **Ontolingua** [Gruber, 1993]. Le projet **Protégé**⁵¹ est également un projet qui vise la conception d'ontologies génériques. Il permet aux experts de certains domaines de construire des systèmes à base de connaissance par la création et la modification d'ontologies grâce à des méthodes de résolution de problèmes. A partir de ces ontologies, le système génère des outils d'acquisition de connaissance spécifiques. Mizoguchi et son équipe ont également mis au point un éditeur d'ontologies⁵² pour les membres de la communauté AI-ED (Artificial Intelligence in Education)

Comme nous l'avons dit la création d'ontologie est un exercice délicat. [Grüninger et al., 1995][Grüninger, 1996] proposent l'outil **TOVE** - TOronto Virtual Entreprise dans lequel des modèles d'entreprise peuvent être représentés par des ontologies afin que le système réponde à certaines questions. En effet la tendance actuelle des entreprises est d'identifier, de décrire les types

⁴⁹ <http://logic.stanford.edu/kif/kif.html>

⁵⁰ Cet exemple est extrait de la page <http://www.bestweb.net/~sowa/cg/cgexampw.htm>

⁵¹ <http://smi-web.stanford.edu/projects/protege/>

⁵² <http://www.ei.sanken.osaka-u.ac.jp/oe/AIED/oeapp.html>

de problèmes, sélectionner de nouveaux processus pouvant y apporter des solutions, les évaluer, etc. mais cette tâche requiert nombre d'acteurs, à tout instant, et leur coopération, à tous les niveaux de la hiérarchie. C'est pourquoi il serait avantageux de posséder une modélisation des processus d'activités avec une représentation des processus, ressources, produits, qualités, organisation et de disposer ensuite d'un outil d'aide à la décision.

L'ontologie utilisée dans **PIF**⁵³ (Process Interchange Format) est décrite dans [Lee et al., 1996]. Le projet PIF a pour but, par l'utilisation d'ontologies, de soutenir l'échange de modèles de processus et de créer des liens entre eux. Sa syntaxe est celle de KIF.

OntoServer⁵⁴ est un serveur développé à l'université de Karlsruhe qui intègre un dépôt d'ontologies, un moteur d'inférence et de requêtes et différents traducteurs. OntoServer fournit des systèmes de raisonnement déductif sur les ontologies. Pour pallier un manque concernant l'accès intelligent aux données dans la vaste base de données qu'est l'Internet, l'université de Karlsruhe a développé un autre projet **Ontobroker**⁵⁵ qui utilise des ontologies pour annoter les documents sur l'Internet et fournit un service de recherche basé sur des ontologies. Ontobroker sert à la fois aux utilisateurs qui cherchent des informations et aux fournisseurs d'accès pour améliorer l'accès à leurs serveurs. Ontobroker contient une interface de requête, un moteur d'inférence, et un 'webcrawler' pour scruter la connaissance disponible sur le réseau et chercher des réponses à certaines requêtes. Pour cela un langage de représentation a été mis au point, une sémantique formelle pour l'inférence d'informations et un langage d'annotation pour les auteurs qui souhaitent ajouter des informations ontologiques à leurs pages Web [Fensel et al., 1998]. **OntoSeek** est également destiné à l'aide à la recherche d'information et utilise pour cela une ontologie linguistique très vaste [Guarino, 1997b].

Si le lecteur souhaite avoir plus d'informations sur les ontologies, leur définition, les langages et les projets qui les utilisent, elles sont disponibles sur l'Internet⁵⁶.

3.6 Structures conceptuelles : de l'ontologie au raisonnement

Nos recherches concernent l'adaptation de nouvelles techniques de représentation de connaissance aux systèmes éducatifs et l'application de méthodologies précises dans notre outil éducatif. Plus particulièrement nous nous intéressons à la modélisation et à la représentation de connaissance reposant sur la sémantique, à l'aide d'ontologies et de modèles issus des graphes conceptuels. En effet ce formalisme nous semble parfaitement adapté à la modélisation d'ontologies (c.f. 5.1.1) il est de plus facilement lisible, y compris par des non-spécialistes. Nos recherches bibliographiques se sont donc naturellement tournées vers les structures conceptuelles.

3.6.1 Structures Conceptuelles

Plusieurs définitions de ce qu'est la *conceptualisation* ont été proposées. Elle peut être présentée comme étant une structure sémantique intentionnelle qui code les règles implicites qui contraignent la structure d'une partie de la réalité [Uschold, 1995] ou bien comme l'union d'un ensemble d'objets existant dans un monde donné et des relations qui existent entre eux [Mizoguchi et al., 2000]. Thomas Gruber souligne le lien très étroit qui relie ontologies et structures

⁵³ <http://ccs.mit.edu/pifintro.html>

⁵⁴ <http://ontoserver.aifb.uni-karlsruhe.de/>

⁵⁵ <http://ontobroker.aifb.uni-karlsruhe.de/>

⁵⁶ <http://www.cs.utexas.edu/users/mfkb/related.html> et <http://hmrha.hirs.osd.mil/mrc/AppendixC.html>

conceptuelles : alors qu'un schéma conceptuel définit les relations sur des données, une ontologie définit les termes avec lesquels on représente la connaissance [Gruber, 1993].

Charles Sanders Peirce⁵⁷, outre de nombreux travaux dans des domaines aussi divers que les mathématiques, l'astronomie, la chimie, la psychologie, la lexicographie, a mis au point un système de notation en logique du premier ordre : les *graphes existentiels* (1897). Il souhaitait, grâce à eux, pouvoir exprimer simplement la plupart des primitives de la logique. Bien qu'il ait développé une notation graphique pour exprimer ces primitives, il est possible de les exprimer en langage naturel ou en notation [Sowa, 2000]. Les graphes conceptuels sont fortement inspirés des graphes existentiels, mais se veulent plus facilement lisibles et plus facilement traduisibles en langage naturel.

3.6.2 Graphes Conceptuels (GC)

Pour soutenir une ontologie, une simple hiérarchie de concepts ne suffit pas. Il faut y ajouter une représentation significative des relations et des règles qui régissent cette ontologie. Le monde réel peut souvent (toujours ?) être représenté par les différentes entités qui le composent et les relations qui lient ces entités. Pour traduire cette idée, John F. Sowa a mis au point le formalisme des Graphes Conceptuels (GC) [Sowa, 1984]. Ce formalisme consiste à représenter l'environnement dans lequel on se situe sous forme de concepts, reliés entre eux par des relations. Cette approche a l'avantage d'être facilement abordable et compréhensible, y compris par quelqu'un qui n'est pas informaticien. L'intérêt de ces graphes, réside dans le fait qu'ils sont simples et très proches du langage naturel. Les Graphes Conceptuels sont souvent utilisés en représentation des connaissances dans le domaine du traitement du langage naturel, car ils permettent de décrire la sémantique d'un texte, sa signification ; mais ils sont également utilisés dans plusieurs autres domaines. La non-ambiguïté des GC et leur facilité d'utilisation font que ce formalisme est utilisé dans plusieurs applications comme l'acquisition des connaissances, la recherche d'information et le raisonnement sur la connaissance conceptuelle. La représentation de connaissance sous forme de graphes et les possibilités de raisonner sur cette connaissance ne sont plus à prouver [Sowa, 1993][Mugnier et al., 1996]. Pour plus de détails sur la description formelle des GC et un état de l'art en français sur les graphes conceptuels le lecteur peut se reporter à [Martin, 1996b].

Les GC ont suscité un grand nombre d'études, desquelles il ressort que ce formalisme est appuyé sur une base théorique solide tout en offrant une facilité de communication entre différents milieux qui ne parlent pas toujours le même langage. Ils sont à la base d'un grand nombre d'applications. Plusieurs dimensions de l'interrogation d'une base de connaissance stockée sous forme de GC sont présentées dans [Carbonneill et al., 1994a] et complétées avec la notion de base de données de 2nd niveau présentée dans [Carbonneill et al., 1994b]. Les graphes conceptuels sont donc intéressants pour représenter la connaissance dans une base de données et retrouver de façon intelligente des informations dans cette base. Une attention particulière apportée à l'outil PEIRCE [Ellis et al., 1997] et à la plate forme CoGITo [Haemmerlé, 1995a,b,c] nous a servi pour le développement et la mise en place du moteur de graphes conceptuels de l'application Sibyl. Cependant, comme nous le montrerons plus loin, notre approche n'a pas comme objectif l'amélioration du formalisme des graphes conceptuels ; nous les utilisons pour la représentation et la modélisation de connaissance, ainsi qu'en tant que support à un raisonnement flou. Dans notre démarche nous avons adopté plusieurs simplifications, dont une partie est extraite de [Chein et al., 1997].

Le raisonnement possible sur les structures conceptuelles impose de différencier deux types de connaissances : connaissances stockées dans la base de connaissance et connaissance induite [Boksenbaum et al., 1993]. Cet article présente aussi la possibilité d'exprimer des requêtes

⁵⁷ <http://www.peirce.org/>

incomplètes par des chemins dans les graphes (ce qui n'est pas possible avec un modèle relationnel). On peut rapprocher cette méthode de la notion de graphes incomplets présentée dans [Prié, 1999]. Un grand nombre de systèmes utilisent les graphes et notamment les graphes étiquetés pour modéliser la connaissance. Dans notre approche nous recherchons la conformité de deux graphes. Cette conformité au sens de [Buneman et al., 1997] est définie comme une généralisation de la similarité. Dans leur approche, ils n'utilisent pas des graphes conceptuels, mais des schémas de graphes (schémas modèles d'une base de données) pour optimiser la réponse à des requêtes sur la base. Pour ce faire, ils n'hésitent pas à associer plusieurs schémas à une même base. Notre approche ressemble à la leur dans le sens où nous avons, nous aussi, plusieurs qualifications possibles pour un même matériau, et donc différentes utilisations possibles, qui correspondent à plusieurs points de vue sur les données.

3.6.3 Théorie des graphes et logique floue

Historiquement, les ensembles flous ont été introduits par L.A.Zadeh pour leur capacité à modéliser des catégories linguistiques. Ils autorisent des approximations, des incertitudes, des imprécisions, des nuances dans le propos, qui ne peuvent pas être traitées par des méthodes logiques classiques. Il fallait donc trouver un moyen de formaliser des méthodes empiriques, de généraliser des modes de raisonnement naturels, de construire des systèmes artificiels effectuant des tâches habituellement prises en charge par des humains. La force des sous-ensembles flous réside dans la fondation théorique solide sur laquelle elle repose.

Notre propos ne consiste pas à modifier, compléter ou améliorer la théorie des sous-ensembles flous, mais uniquement de l'utiliser comme fondement de notre méthodologie. Le lecteur intéressé par les principes de cette théorie pourra se reporter aux ouvrages que nous avons utilisés, à savoir [Bouchon-Meunier, 1993, 1995], les travaux présentés dans [Dubois et al., 2000] [Ho, 1994] et [Whipple, 1993] ainsi que certaines pages⁵⁸ sur l'Internet. Nous mettons l'accent sur les travaux de Ho et de Whipple dans la mesure où ils appliquent la théorie des sous-ensembles flous aux Graphes Conceptuels et ont une approche voisine de la nôtre. Nous nous intéressons surtout à l'apport de la logique floue, combinée avec des graphes, dans la recherche d'information.

La théorie des sous-ensembles flous se compose d'un corpus d'outils mathématiques particulièrement appropriés pour le traitement d'informations imprécises [Dubois et al., 2000]. Plusieurs approches ont essayé de combiner théorie des graphes et théorie des sous-ensembles flous. Le modèle CREAM, déjà évoqué dans le premier chapitre, utilise la théorie des sous-ensembles flous pour la construction d'un curriculum [Nkambou et al., 1997].

L'approche adoptée dans [Morton et al., 1987], dans le domaine de la vision et plus particulièrement en analyse d'images, repose sur deux thèmes centraux : la nature imparfaite, incertaine, des informations dans les images segmentées et la structure de la base de connaissance permettant d'exprimer certaines contraintes. Ces deux aspects ont poussé Morton et al. à utiliser les GC associés à une méthode d'intégration du flou dans le raisonnement sur ces graphes. Les auteurs présentent un algorithme pour faire ces opérations.

[Ho, 1994] utilise aussi l'association des graphes conceptuels et la théorie des sous-ensembles flous. Dans son approche l'auteur différencie deux processus : la catégorisation et la classification. La première se fait à partir d'un ensemble d'exemples. Ho précise également que le meilleur moyen de déterminer les caractéristiques communes de deux concepts est de traiter chaque paire conjonctive individuellement. Ces paires conjonctives sont formées d'une relation entre deux concepts et sont notées (concept – relation – concept). Notre approche s'apparente en cela de celle de Ho car nous utilisons également des paires conjonctives, compatibles avec le format RDF. Nous y

⁵⁸ <http://perso.club-internet.fr/bmantel/pages/logflou1.html>

ajoutons une pondération des concepts afin d'introduire certains principes de la logique floue dans le traitement des connaissances.

Les systèmes experts utilisent souvent des techniques permettant de raisonner sur une connaissance incomplète ou incertaine. La représentation de certaines de ces techniques et leur mise en place à l'aide de graphes conceptuels associés à des principes de la théorie des sous-ensembles flous sont présentées dans [Whipple, 1993]. Pour tenir compte des incertitudes qui peuvent être contenues dans les GC, il faudrait introduire dans sa notation des facteurs de certitude sur des concepts individuels mais cela compliquerait l'extensibilité et la mise à jour de la base de connaissance. Il préfère donc séparer ces facteurs de certitude des concepts auxquels ils se rapportent. Cette méthode est ensuite conjuguée à d'autres méthodes couramment utilisées dans les systèmes basés sur la connaissance.

Conclusion

En représentation des connaissances, la définition d'ontologies c'est-à-dire la description formelle d'entités et de leurs propriétés, relations, contraintes et comportement dans un domaine particulier, offre une base solide au développement de nouvelles méthodes d'application de raisonnement sur les connaissances. Outre leur apport en matière de réutilisabilité, de modularité et de partage de connaissances, les ontologies permettent de définir un vocabulaire précis, sur lequel est basée la communication entre les différents acteurs d'un projet. Elles sont également utilisées pour la description en langage naturel et l'annotation de documents. Enfin, les ontologies permettent de simplifier l'étape d'analyse et de synthèse d'une partie de la connaissance dans le développement de systèmes et diminuent de ce fait le coût de conception de ces systèmes. Aucune méthodologie de conception d'ontologie n'a été clairement définie à ce jour, même si plusieurs étapes clés sont incontournables : identifier le sujet, saisir et coder l'ontologie en incluant éventuellement des ontologies existantes, et enfin évaluer et documenter.

La réutilisabilité est une caractéristique d'autant plus importante dans le domaine des SEI que les systèmes sont presque toujours conçus à partir de rien. Les concepteurs d'applications pédagogiques utilisent les ontologies pour modéliser la connaissance du domaine de chaque cursus, résoudre certains problèmes et inférer de nouvelles connaissances. La définition d'ontologies du domaine enseigné est alors nécessaire, mais plus que la modélisation seule de la connaissance, ce sont les interactions entre les utilisateurs et le système qui intéressent le plus les concepteurs de SEI. C'est la raison pour laquelle ils utilisent des ontologies de tâche. Pour eux, chaque fragment de document utilisé dans un contexte donné a un rôle donné, duquel vont découler des actions de l'utilisateur.

Il n'existe pas, à notre connaissance, de travaux qui cherchent à déterminer dynamiquement le rôle des fragments de documents en fonction de leur contexte d'utilisation. Cette attribution dynamique serait la solution la plus souple puisqu'elle nous affranchirait de la modification de la hiérarchie des concepts et ne modifierait que certaines relations, en fonction d'une intention, d'un point de vue.

La seconde partie de cette thèse décrit le cheminement intellectuel que nous avons suivi, et qui nous conduit, dans le chapitre 7, à la présentation d'une méthodologie qui permet d'attribuer des rôles de façon dynamique à des fragments de document, par l'intermédiaire d'une instanciation pondérée d'ontologies, guidée par une intention.

PARTIE II

DU BESOIN DE LA CONSTRUCTION DE DOCUMENTS ADAPTATIFS STRUCTURES A L'APPLICATION DE STRATEGIES DURANT CETTE CONSTRUCTION *METHODOLOGIE ET APPLICATIONS*

Déjà très jeunes, nous avons été confrontés aux documents *structurés*, qu'ils aient été pédagogiques (manuels scolaires), ludiques (Bandes Dessinées) ou culturels (romans, recueils de poèmes, atlas). Plus tard, dans le milieu professionnel, ce sont aussi des documents structurés qui sont la base de communications, d'études, de transmissions d'information.

Pourtant les nouvelles technologies ont favorisé l'émergence de documents *déstructurés*, ou du moins dont la structure n'est plus linéaire mais dépend directement du parcours du lecteur. Les hypertextes en sont un exemple. Cette approche a certes quelques inconvénients qui entraînent des difficultés de compréhension et d'assimilation de l'information transmise, comme la digression, la perte du lecteur dans l'hyperespace et la perte de repères narratifs. Cependant elle a donné une nouvelle dimension à la lecture : liberté de navigation, intégration du multimédia, mondialisation de l'information. Avec l'ambition de préserver ces caractéristiques, les recherches actuelles amorcent un retour vers plus de structure dans les documents électroniques.

Cette seconde partie retrace notre cheminement intellectuel, de la définition des documents virtuels et de leurs caractéristiques à la composition automatique de documents personnalisables. Le chapitre 4 reprend les notions de base des documents virtuels et en donne une définition formelle. Les différents types de documents virtuels et leurs caractéristiques sont évoqués, puis les différentes étapes de la composition de documents réels à partir de ces documents virtuels sont détaillées. Pour réaliser cette composition, un système automatique doit avoir des connaissances sur le domaine dont traite le document et sur les règles de structures narratives, le chapitre 5 expose notre modélisation de ces connaissances basée sur des ontologies. Le chapitre 6 compare deux approches différentes de la composition automatique : la première utilise uniquement une ontologie du domaine et l'autre est fondée sur l'association de deux ontologies. Chacune de ces approches a fait l'objet d'une implémentation. Le chapitre 7 présente une méthodologie pour l'attribution automatique de rôles pédagogiques à des segments de documents qui une fois assemblés forment le document réel. Cette méthode est basée sur une instanciation d'ontologies du domaine pondérées en fonction d'une intention suivant des principes issus de la théorie des sous-ensembles flous.

Il est peu de personnes qui ne se soient amusées, à un moment quelconque de leur vie, à remonter le cours de leurs idées et à rechercher par quels chemins leur esprit était arrivé à de certaines conclusions. Souvent cette occupation est pleine d'intérêt et celui qui l'essaye pour la première fois est étonné de l'incohérence et de la distance, immense en apparence, entre le point de départ et le point d'arrivée.

*Edgar Poe - traduction de Charles Baudelaire
(Double assassinat dans la rue Morgue)*

De l'évocation conceptuelle au document réel : le document virtuel

4.1 L'évocation conceptuelle.....	80
4.1.1 Principe de l'évocation conceptuelle.....	80
4.1.2 Exprimer une idée dans une Brique d'Information (BI)	81
4.1.3 La notion de distance sémantique	82
4.1.4 Une méthode de calcul de la distance sémantique.....	84
4.2 Les documents virtuels : de la définition à l'utilisation	86
4.2.1 Généralités et définitions	86
4.2.2 Un exemple de document virtuel personnalisable : le document hypertexte.....	87
4.2.3 Le document conceptuel.....	88
4.3 Propriétés des documents virtuels	88
4.3.1 Propriétés dues à l'origine des briques d'information.....	88
4.3.1.1 Homogénéité	88
4.3.1.2 Hétérogénéité.....	89
4.3.2 Propriétés dues à la nature des méthodes de composition.....	90
4.4 La composition de documents réels à partir de documents virtuels.....	90
4.4.1 Composition, composition automatique et auto-composition	90
4.4.2 Recherche d'information	91
4.4.2.1 L'importance de la qualification dans la sélection.....	91
4.4.2.2 La sélection guidée par les ontologies.....	92
4.4.2.3 L'influence des pré-requis.....	93
4.4.3 Filtrage	94
4.4.3.1 Filtrage par les contraintes temporelles	94
4.4.3.2 Filtrage par les contraintes sémantiques	95
4.4.4 Organisation.....	96

4.4.4.1 Les facteurs intervenant dans l'organisation	96
4.4.4.2 Les grammaires formelles	96
4.4.5 Assemblage.....	99
Conclusion.....	99

Le cerveau humain et l'être humain de façon générale ont un fonctionnement complexe, mystérieux. Le but des recherches en Intelligence Artificielle n'est plus (s'il l'a jamais été) de vouloir reproduire ce fonctionnement. Néanmoins, il inspire plusieurs méthodes de résolution de problèmes : réseaux de neurones, algorithmes génétiques, systèmes multi-agents, etc. Le présent chapitre trouve, lui aussi, sa source dans un mode de pensée typiquement humain : l'*évocation conceptuelle*. Comment à partir d'idées qui nous ont été évoquées dans un certain contexte pouvons-nous composer une narration ? La composition de tout document comme de toute narration repose sur une matière informative de laquelle les informations adéquates doivent être extraites puis organisées afin de produire un message cohérent.

Ce chapitre détaille les différentes étapes suivies lors de la composition de documents. Il débute en précisant la notion d'évocation conceptuelle. Il explique ensuite la nécessité de disposer de fragments documentaires à partir desquels seront composés les documents réels. Cet ensemble de fragments et les méthodes de composition associées constituent les *documents virtuels*. Nous en donnons une définition formelle et présentons plusieurs exemples en détaillant leurs caractéristiques et leurs propriétés. Une certaine catégorie de documents virtuels est mise en avant : les documents conceptuels. Enfin, nous détaillons chaque étape de la composition de document en précisant pour chacune d'elles leurs besoins et les difficultés de mise en œuvre qui en découlent.

4.1 L'évocation conceptuelle

L'évocation conceptuelle est un processus naturel caractérisé par la spontanéité (ce n'est pas prémédité), l'autonomie (il fonctionne de façon indépendante), le secret (il n'est consigné nulle part), la privacité (il varie en fonction du lecteur), la semi-liberté (il est imaginaire) et le fait qu'il soit semi-contraint (lié à la sémantique du texte) [Crampes, 1997].

4.1.1 Principe de l'évocation conceptuelle

L'évocation conceptuelle traduit le processus de tout être humain pour qui une idée provoque une association vers une autre idée, et puis vers une autre idée, et ainsi de suite. Si la distance entre l'idée de départ et celle d'arrivée peut paraître très grande, elles sont cependant liées les unes aux autres par un enchaînement logique. Notons cependant que cette dérive dans la pensée ne se produit généralement que si l'être humain n'est pas concentré sur une tâche précise, n'a pas une activité ciblée.

Le principe de l'évocation conceptuelle est important, puisqu'il permet à l'esprit, même s'il n'est pas dans une activité productrice imposée par un but précis (rassembler des informations sur un sujet, produire un document, rédiger un livre...) de conserver une activité qui s'appuie sur le mental de la personne.

Tous les systèmes de gestion de bases de données sont bâtis sur le même principe : un répertoire stocke des informations et un moteur de recherche, suite à une requête, va rechercher les informations correspondantes. Cependant, si la requête n'est pas suffisamment précise ou si la base n'est pas complète, le moteur peut ne retourner aucun résultat. C'est ce phénomène qui est appelé *silence*. Une automatisation de l'évocation conceptuelle serait une solution pour qu'à partir d'une requête quelconque une réponse soit *toujours* fournie, certes avec plus ou moins de pertinence. Cette automatisation fait l'objet de nos recherches, à la suite des travaux présentés dans [Crampes, 1995].

4.1.2 Exprimer une idée dans une Brique d'Information (BI)

Une idée est définie⁵⁹ comme i) une "représentation d'une chose dans l'esprit ; notion, ii) conception de l'esprit, pensée ; manière de concevoir une action ou de se représenter la réalité".

Une idée peut être représentée sous forme d'un document électronique, au travers d'un média quelconque (enregistrement sonore, texte, vidéo, image fixe) que nous définirons plus avant sous l'appellation *brique d'information*. Mais avant de donner notre définition et d'en poser précisément les limites, il convient de récapituler les notations similaires trouvées dans la littérature.

Dans le projet MacWeb, le système manipule des informations interconnectées par des liens sémantiques. Il utilise pour cela des *grains d'information* ('Chunk') typés, chaque grain, exclusivement textuel, pouvant être décomposé en plusieurs parties [Nanard et al., 1989]. En 1995, Michel Crampes utilise le terme *modème* pour désigner "une unité d'information insécable ayant un support médiatique, le texte, l'image fixe, le son, la vidéo et qui représente une idée, un objet ou une scène" [Crampes, 1995]. Dans sa définition un modème est dit insécable, or dans notre approche actuelle les briques peuvent être décomposées en sous-briques. Dans le domaine pédagogique, Tom Murray désigne les différentes parties conceptuelles d'un cours, par le terme *thème* (topic) ; lorsque ces thèmes sont instanciés (prennent une forme médiatique) ils sont appelés *présentations* (presentation) [Murray, 1996]. Une leçon est alors considérée comme un réseau de thèmes. Cette structure en réseau permet de définir les relations pédagogiques qui existent entre les différents thèmes. Henze et al. utilisent les *unités d'information sémantique* (SIU pour Semantic Information Unit) à chacune desquelles sont associés une unité d'information contenue dans un hyper-livre et des éléments de connaissance (knowledge items) [Henze et al., 1999]. L'ensemble de ces SIU constitue la modélisation du domaine. On peut également rapprocher cette idée de la notion de *ressource* dans RDF. Dans [Delestre, 2000] on trouve le terme d'*Item Didactique* pour qualifier les segments qui vont composer le cours. Ces Items Didactiques sont regroupés pour former le document pédagogique. Dans la pratique, pour le projet SEMUSDI l'auteur parle ensuite de *Briques Élémentaires*. Enfin, dans d'autres domaines, la même notion est rencontrée ; par exemple chez les documentalistes, on trouve les termes d'*unité documentaire* pour qualifier un fragment de document [Michel, 1999] et d'*unité d'information*⁶⁰.

Néanmoins, nous avons tenu à définir notre propre terminologie, car elle contient certaines caractéristiques qui nous sont propres. Notre désignation, même si elle est appliquée à la composition de documents pédagogiques, se veut suffisamment générale pour être réutilisée dans d'autres domaines. Une première définition était donnée dans [Ranwez et al., 1999a]. La définition qui suit est plus complète.

Définition 1 Une *Brique d'Information* (BI) est un fragment de document, disponible sous (au moins) un média, caractérisé par un modèle conceptuel, i.e. une représentation abstraite, et pouvant être inséré dans un document réel. Ces briques peuvent être composites, c'est-à-dire subdivisées en plusieurs sous-briques, sous réserve que les briques ainsi obtenues aient un modèle conceptuel consistant. La consistance traduit la cohérence de leur sémantique par rapport à la description du domaine auquel elles se réfèrent ainsi que la signification plausible de la brique.

Remarque : Certains problèmes de recouvrement et de chevauchement sont alors possibles.

L'automatisation de l'évocation conceptuelle implique que l'on dispose d'une technique d'appréciation de la distance sémantique entre les briques d'information. Nous présentons dans ce chapitre l'aspect théorique du problème, les chapitres suivants présentent la mise en œuvre de ces idées. Cependant il peut être utile de préciser à ce stade du mémoire que nous avons utilisé des

⁵⁹ <http://www.francophonie.hachette-livre.fr/>

⁶⁰ Hypertextes et hypermedia à l'adresse <http://home.nordnet.fr/~yclaeysen/hyper.htm>

graphes conceptuels simplifiés pour qualifier les BI ce qui explique que dans la section suivante nous nous sommes intéressés particulièrement aux modes de calcul mis en place dans ce domaine.

4.1.3 La notion de distance sémantique

Les différentes stratégies et méthodologies utilisées pour calculer la distance sémantique ont pour but de donner une valeur quantitative à la similarité entre les *choses*. En recherche d'information cette notion est primordiale. En effet, si longtemps les recherches d'informations se sont appuyées sur une correspondance exacte de mots-clés entre une requête et les informations stockées dans une base de données, la tendance actuelle est d'élargir le champ de recherche. Cela permet, lors de requêtes exprimées de façon approximative, d'éviter les silences et de trouver des informations grâce à des mots conceptuellement très proches des mots de la requête. On favorise ainsi une légère digression, qui reste acceptable.

L'évocation conceptuelle, tout en évitant les silences, ne doit pas autoriser une trop grande digression. Pour cela la distance sémantique qui sépare les briques d'information qui vont être assemblées dans un document final ne doit pas être trop grande.

Cependant, si la distance sémantique joue un rôle clef dans la recherche d'information, les méthodes permettant de la calculer ne sont pas si nombreuses. On peut citer, par exemple, le moteur de recherche Oingo qui attribue une grande importance (au dire des auteurs des pages de présentation⁶¹) à la définition d'un espace sémantique et à la notion de distance sémantique au sein de cet espace. Oingo doit décider de l'*éloignement* de deux concepts : par exemple 'chien' et 'chat' sont plus proches que 'chien' et 'parapluie'. Cependant il s'agit d'une application commerciale et si "le système arrive à avoir une bonne estimation de cette distance (sémantique) par une analyse complexe des relations dans un lexique, couplée à des algorithmes qui imitent la façon qu'a l'esprit humain de créer des relations entre différentes idées", rien ne nous est révélé concernant les algorithmes en question qui semblent si prometteurs.

Revenons donc à des méthodes plus concrètes. La notion de distance sémantique a été évoquée et étudiée par les philosophes, les psychologues et les cognitivistes. En informatique, certains travaux ont été réalisés dans le domaine de la programmation par objets, entre autres dans l'équipe de Jérôme Euzenat. JP Barthélémy et A. Guénoche ont défini la distance arborée unaire $d(x,y)$ comme étant le nombre d'arêtes dans un arbre entre les nœuds x et y . Jérôme Euzenat utilise cette définition dans ses algorithmes de détermination des "plus proches voisins" (pp. 31-33 [Euzenat, 1999]). Il met en place une mesure de dissimilarité topologique permettant de mesurer la différence entre les classes auxquelles sont rattachés les objets basés sur la taxonomie. Il s'ensuit que la mesure de similarité est définie comme la longueur normalisée du plus court chemin entre les classes des deux objets dans la taxonomie. Nous n'avons eu connaissance de ces travaux que récemment, aussi, malgré leur intérêt, ils ne sont pas détaillés dans la suite.

En intelligence artificielle la majorité des travaux de recherche sur des méthodes de calcul de distance sémantique a été réalisée dans le domaine des graphes conceptuels. Ce calcul fait appel à des définitions de graphes canoniques et tiennent compte du contexte dans lequel certains concepts sont rencontrés et des opérations sur la hiérarchie de type. Il dépend donc directement de la catégorisation des concepts.

Distance entre types

L'un des premiers à avoir donné une méthode de calcul est John Sowa [Sowa, 1984]. Pour tous types p et q , la distance sémantique entre p et q , $distance(p,q)$, peut être définie comme le nombre d'arcs du plus court chemin au travers du treillis de type de p à q , qui ne passe pas par l'élément absurde \perp .

⁶¹ <http://oingo.com>

Distance entre concepts

Cette définition est complétée dans [Foo et al., 1992]. Soient deux concepts C_1 et C_2 de types respectifs T_1 et T_2 , trouver le concept C_3 de type T_3 tel que T_3 est le type le plus spécifique qui subsume T_1 et T_2 , c'est à dire la généralisation minimale ; dans la notation de treillis on dira que T_3 est le supremum de T_1 et T_2 ($T_3 = T_1 \vee T_2$) [Habib, 1997]. La distance sémantique entre C_1 et C_2 est alors la somme des distances entre C_1 et C_3 et entre C_2 et C_3 (c.f. Figure 4.7).

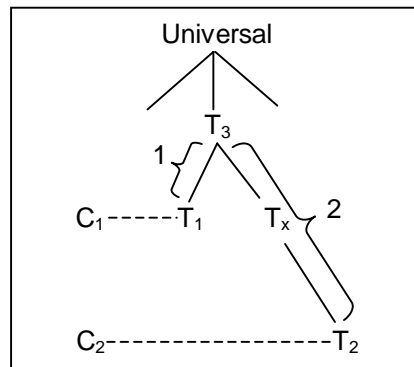


Figure 4.7 : Principe du calcul de la distance sémantique entre concepts
distance $(C_1, C_2) = 1 + 2 = 3$

Distance entre graphes conceptuels

La distance sémantique entre deux graphes est la somme des distances sémantiques des paires de concepts correspondants dans les deux graphes (c.f. Figure 4.8). Carbonneill et al. utilisent cette définition de la distance sémantique pour la recherche d'information par appariement de graphes conceptuels [Carbonneill et al., 1994a]. Soient deux graphes, G_{R1} et G_{R2} , qui sont les projections d'un graphe requête G_Q dans la base de connaissance, si $\text{distance}(G_{R1}, G_Q) > \text{distance}(G_{R2}, G_Q)$ alors G_{R1} est retenu comme réponse car il représente une connaissance plus précise que G_{R2} . D'autres aspects sont également évoqués dans cet article, comme la déformation ou la spécificité de la réponse.

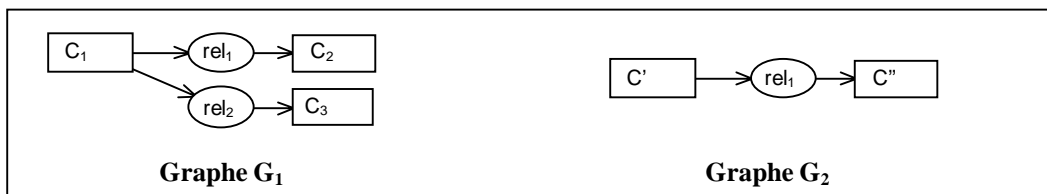


Figure 4.8 : Principe de calcul de distance sémantique entre deux graphes conceptuels

$$\begin{aligned} \text{distance}(G_1, G_2) = & \text{distance}(C_1, C') + \text{distance}(C_1, C'') + \\ & \text{distance}(C_2, C') + \text{distance}(C_2, C'') + \\ & \text{distance}(C_3, C') + \text{distance}(C_3, C'') \end{aligned}$$

[Delugach, 1992] souligne quatre propriétés de base que doit satisfaire toute mesure de distance sémantique :

- L'insertion de nouveaux concepts ne doit pas faire varier la valeur de la distance sémantique ;
- Il doit y avoir symétrie ($\text{distance}(a, b) = \text{distance}(b, a)$) ;
- La complexité du calcul de la distance sémantique ne doit pas dépasser celle du problème d'isomorphisme de sous-graphe ;
- Une certaine similarité avec des notions intuitives doit être respectée.

On voit que la méthode de calcul de [Foo et al., 1992] ne satisfait pas le premier point. Dans son approche Delugach accorde une importance particulière au contexte dans lequel les concepts sont employés.

La notion de distance sémantique calculée entre deux vecteurs lexicaux est évoquée dans [Poesio et al., 1998]. Les recherches des auteurs ont pour objectif l'identification de la connaissance de sens commun qui est appliquée pour comprendre une phrase dont le sujet principal n'est pas identique au mot qui désigne le même objet dans la phrase précédente. Un exemple est : "Jean vit un camion stationné au bord de la route. Le véhicule fumait". Partant de l'hypothèse de départ suivante : la résolution d'une description définie consiste à trouver dans le texte des 'antécédents' qui correspondent le plus au sujet principal i.e. qui soit le plus proche sémantiquement. Les auteurs testent plusieurs méthodes de calcul avant de conclure que la seule sémantique des mots n'est pas un facteur suffisant pour résoudre ce genre de description.

L'approche adoptée par Michel Crampes utilise, elle aussi des vecteurs. Le calcul de distance sémantique est calculé entre des vecteurs d'états conceptuels [Crampes, 1995, 1997]. Cette méthode de calcul est celle que nous utilisons, elle est donc détaillée dans la suite.

4.1.4 Une méthode de calcul de la proximité sémantique

La méthode de calcul qui suit est celle de la distance sémantique décrite dans [Crampes, 1997] et utilisée dans l'application décrite dans [Crampes et al., 1998a].

Soit CG^{62} une représentation sous forme de graphe conceptuel simplifié⁶³ du triplet (s,p,o) 's' étant un sujet, 'p' un prédicat et 'o' l'objet du prédicat. La fonction Ψ permet de calculer la distance terme à terme de deux CG. Soit CG_Q représentant une requête et CG_P un CG éligible par rapport à cette requête, on a :

$$\psi(CG_q, CG_p) = \chi(s_q, s_p) + \chi(p_q, p_p) + \chi(o_q, o_p) \quad (1)$$

avec $\chi(a, b) = 1$ si $a = b$ avec a ou $b = 'x'$ ('x' étant l'élément indéterminé)

et $\chi(a, b) = 0$ sinon

Prenons un exemple issu de la recherche d'illustration pour le roman de Lewis Carroll "Alice au pays des merveilles". Si la requête i.e. le segment à illustrer, est de la forme "Alice parle à la chenille", la requête CG_q sera le triplet (s = Alice, p = parle, o = chenille). Soient P_1 , P_2 et P_3 les descriptions d'illustrations candidates, la fonction Ψ prendra les valeurs suivantes :

- P_1 "la chenille parle à Alice" :
 $\psi(CG_q, CG_{p1}) = \chi(Alice, Chenille) + \chi(parle, parle) + \chi(Chenille, Alice) = 0 + 1 + 0 = 1$
- P_2 "Alice parle à la chenille" : $\Psi = 3$
- P_3 "Alice parle à 'x'" : $\Psi = 3$.
 $\psi(CG_q, CG_{p3}) = \chi(Alice, Alice) + \chi(parle, parle) + \chi(Chenille, 'x') = 1 + 1 + 1 = 3$

⁶² A ce stade du mémoire de thèse nous utilisons la notation CG pour reprendre celle de Michel Crampes ; dans la suite nous précisons cette notion et nous la nommons Paire Conjonctive Conceptuelle (PCC) c.f. section 4.4.2.1.

⁶³ Tout graphe conceptuel peut être décomposé de cette façon.

Dans ses premières versions, ce modèle ne se préoccupait pas des relations du treillis pour faire un modèle abouti de la représentation conceptuelle, cela n'a été introduit qu'à partir de 1998 [Crampes et al., 1998a].

Un Vecteur d'Etat Conceptuel (CSV pour Conceptual State Vector) est une représentation de plusieurs points de vue sur une même brique d'information à l'aide de plusieurs CG utilisés pour qualifier la BI et auxquels on attribue un poids manuellement de façon à rendre compte du degré de pertinence de chaque CG.

NOTE — La notation utilisée par Michel Crampes est celle de Dirac car il assimile une représentation mentale multiple à un état quantique multiple ; cette analogie n'est pas poussée plus avant dans la suite.

$$CSV = r_1|CG_1\rangle + r_2|CG_2\rangle + \dots + r_k|CG_k\rangle \quad (2)$$

avec $\sum_{i=1}^k r_i = 1$ où $r_i \in \mathfrak{R}$ et $0 \leq r_i \leq 1$

La distance sémantique entre deux vecteurs est alors donnée par :

$$\Xi(CSV_n, CSV_m) = k \sum_i \sum_j r_{i,n} r_{j,m} \psi(CG_{i,n}, CG_{j,m}) \text{ ou } k \text{ est un facteur de normalisation.}$$

Par rapport aux propriétés de Delugach évoquées précédemment, l'insertion de nouveaux concepts ne fait pas varier la valeur de la distance, la méthode présentée respecte la symétrie, sa complexité est $O(n^2)$. Par contre ce type de calcul ne correspond pas exactement à la notion de distance telle que nous la concevons. En effet le calcul, tel qu'il est, donne une distance de 0 pour des CSV n'ayant aucun rapport entre eux et une distance de 1 pour des CSV parfaitement identiques, i.e. plus des idées sont proches, plus leur distance augmente. Il faut donc comprendre cette mesure comme traduisant un certain degré de *proximité*. Pour éviter la confusion c'est le terme qui sera utilisé dans la suite cette thèse.

Cette méthode de calcul est celle qui est utilisée dans la suite. Notre apport ne concerne pas la méthode de calcul elle-même, mais l'attribution des poids à chaque description conceptuelle CG en fonction d'un point de vue et du contexte dans lequel la brique correspondant à cette description va être intégrée. Ce poids influence le calcul de proximité et donc le résultat de la recherche d'information. L'attribution dynamique de poids en fonction d'une intention permettrait de moduler la recherche en fonction de différents objectifs. Une des limites évoquées dans [Crampes et al., 1998a] était le manque d'ontologie. Nous proposons une méthode pour une attribution dynamique de poids, basée sur la description de la connaissance sous forme d'ontologies.

Il faut noter cependant que d'autres méthodes de calcul peuvent être appliquées. En effet, une recherche 'globale' permet de retrouver un ensemble de BI qui satisfasse un ensemble de requêtes. Il est donc possible ensuite d'avoir un meilleur filtrage (optimiser le temps). Mais cette approche si elle semble possible en théorie (sur le principe de la fonction Ξ) est difficilement applicable à un très grand nombre de données car elle calcule la proximité de tous les CG du premier CSV à tous les CG du second. Or dans le cas où la base de données est très importante, sur Internet par exemple, les temps de calculs deviendraient trop importants.

Une première solution consiste à réduire l'espace de recherche, par exemple à l'aide d'une première sélection grossière, avec des mots-clés. Une fois le champ de recherche réduit, on peut y appliquer notre méthode.

Une seconde solution consiste à changer le mode de calcul. Nous proposons une piste pour cela avec la fonction notée Φ .

Φ est calculée pour un CSV et un CG. En effet la requête d'une information est toujours exprimée sous la forme d'une liste de CG qu'il faut comparer avec les BI de la base. On peut alors

imaginer que ce n'est qu'au moment du filtrage que le CSV requête sera pris en compte dans sa totalité pour sélectionner, par exemple, une BI qui satisfait deux CG plutôt que deux BI qui entraînent une perte de temps. Des opérations sur les ensembles peuvent alors être appliquées dont une consiste à prendre le maximum de deux distances.

$$\Phi(CG_m, CSV_c) = \max_i \{r_i \psi(CG_m, CG_{ci})\}$$

CG_{ci} représente le $i^{\text{ème}}$ CG du CSV

De ce fait on optimise le temps d'énonciation du document final. Bien sûr, ces deux solutions peuvent être associées de façon à obtenir une efficacité de calcul plus grande. Nous n'avons pas testé ce mode de calcul sur des cas concrets car l'optimisation du temps de calcul ne représente pas notre thématique principale.

4.2 Les documents virtuels : de la définition à l'utilisation

La signification de l'adjectif virtuel, dans notre contexte, correspond à la définition suivante : en état de potentielle existence. Dans cette section, nous présentons tout d'abord certaines généralités communes à tout document, puis nous donnons une définition formelle des documents virtuels et nous en distinguons une catégorie : les documents conceptuels. Cette section reprend et complète les définitions exposées dans [Ranwez et al., 1999a].

4.2.1 Généralités et définitions

Un document réel, par opposition à un document virtuel, est un outil permettant de transmettre une information, de la connaissance. Il "est conçu par un auteur dans le but d'être reçu par un ou plusieurs lecteurs" [Roisin, 1999]. Quand il est électronique, il peut être supporté par un ou plusieurs médias. Dans la suite nous ne considérons que les documents électroniques, même s'ils peuvent être ensuite imprimés. Tout document réel possède les caractéristiques suivantes :

- Il est composé de une ou plusieurs *parties* ou *objets* [Roisin, 1999] que nous appelons briques d'information par la suite ;
- Chacune de ces parties a un *style* particulier, et joue un *rôle* particulier au sein de la narration. On peut considérer que le style de chaque partie est fortement dépendant de son rôle (l'*illustration* d'une robe rouge sera certainement une image), mais également que le rôle que va jouer la partie est fortement dépendant de son style (si l'on dispose du texte ayant pour commencement "définition : ", on peut difficilement lui faire jouer le rôle d'*exemple*). Ce rôle dépend entre autres choses de la place de la partie considérée dans le document ;
- Chaque partie possède un certain *volume* — la taille d'une image, d'un texte ou la durée d'un enregistrement, d'une vidéo ;
- Ces différentes parties sont *organisées* suivant une stratégie argumentative précise ;
- Entre chaque partie il y a des *transitions* qui expriment des liens de causalité, de contradiction, de chronologie. Ces transitions peuvent être implicites (souvent un lien de chronologie) ou explicites (locution adverbale) ;
- Le *vocabulaire* utilisé dans chaque partie est issu d'une ou plusieurs ontologies, suivant que le document traite d'un ou plusieurs domaines. Il ne comporte pas d'ambiguïté entre les termes ;
- Chaque document possède une *entropie*⁶⁴ qui représente son degré de complexité, au sens de la *théorie de l'information* de Shannon [Moles, 1972].

⁶⁴ Plus une loi de probabilité présente un histogramme plat, chaque événement ayant tendance à être équiprobable, plus l'entropie est forte. [...] Dans le cas optimal (alphabet de n signes toujours équiprobables) la redondance est nulle et l'entropie atteinte est de log n par symbole émis. Pp. 67 et 74 de [Dion, 1997].

Selon [Crampes, 1995], il existe deux formes de narration : la forme latente et la forme énoncée. La forme latente suppose que la narration préexiste (dans l'esprit du narrateur) à l'énonciation. La forme énoncée concerne la représentation que le lecteur perçoit de la narration i.e. son support physique. Nous ne nous intéressons pas à la forme énoncée⁶⁵, car nous travaillons dans un premier temps sur des documents essentiellement textuels. Nous sommes donc dans une forme où la narration existe de façon implicite dans la description du domaine, mais n'a pas été exprimée de façon concrète et n'a pas revêtu encore une forme médiatique. C'est de la modélisation du domaine, de l'organisation et de l'association des briques d'information qui composent le document que va émerger une narration porteuse de sens.

Un document virtuel est un document potentiel, qui n'existe que sous une forme abstraite. Il doit contenir en lui-même tous les éléments qui permettent de le transformer en document réel. Nous donnons les définitions suivantes.

Définition 2 Un *Document Virtuel* (DV) est un ensemble de briques d'information, non ordonné a priori, associé avec des outils ou des techniques permettant la création de documents réels à partir de cet ensemble de briques. Si les méthodes de composition d'un document réel permettent une adaptation de ce dernier à un lecteur donné, le document virtuel est alors qualifié de personnalisable (DVP).

Définition 3 Un *document réel* est un document dont on peut prendre connaissance en l'état, i.e. sans traitement particulier de la part du lecteur. C'est une suite de briques d'information ordonnées de façon à former un message cohérent, dans le respect de contraintes imposées par la définition du domaine dont traite le document (pré-requis entre les BI), et/ou par les exigences de l'utilisateur (actions, stratégies, préférences).

Définition 4 Les documents à partir desquels les BI sont extraites pour former de nouveaux documents, sont appelés les *Documents Source* (DS).

On peut faire une analogie simple avec la modélisation orientée objet : un document virtuel est alors vu comme étant une classe composite dont chaque composant est une BI. Les outils et techniques permettant de construire un document réel constituent le constructeur de cette classe. Les documents réels sont des instances de cette classe.

4.2.2 Un exemple de document virtuel personnalisable : le document hypertexte

Yan Claeysen donne la définition suivante⁶⁶ : " L'hypertexte est une procédure informatique qui permet de relier un mot, un paragraphe, une icône ou une image à un autre mot, un autre paragraphe, une autre icône ou une autre image. Cette procédure donne à l'utilisateur la possibilité de choisir son cheminement à l'intérieur d'un document. En cliquant à l'aide de sa souris sur le mot ou l'icône qui l'intéresse, l'utilisateur est immédiatement dirigé vers la partie du document qui s'y rattache. Il se construit donc son propre parcours de lecture en fonction de ses préoccupations et de ses intérêts. L'hypertexte est par conséquent un document virtuel - qui n'est jamais globalement perceptible - dont l'actualisation d'une des potentialités est conditionnée par l'effectivité de la lecture. Cette propriété de l'hypertexte en fait un document « interactif » dans lequel le lecteur tient une place prépondérante."

⁶⁵ Excepté dans le cas de la composition de résumés.

⁶⁶ Hypertextes et hypermédia : Aspects culturels des Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication cours de DESS 1994. <http://home.nordnet.fr/~yclaeysen/hyper.htm>

Le *document hypertexte* est donc un exemple de document virtuel personnalisable. Les briques d'information qui le composent sont des pages HTML. Le document hypertexte est plus particulier que le DV de la définition 2 dans la mesure où il existe des liens prédéfinis entre les pages. L'ensemble constitue un graphe orienté. La méthode permettant de composer un document réel à partir d'un document hypertexte est la sélection de liens par le lecteur. La composition du document réel repose entièrement sur les choix de parcours du lecteur. Le chemin parcouru n'étant pas prédéfini, un document hypertexte correspond bien à la définition d'un document virtuel. La stratégie de parcours peut être spécifique mais elle est toujours implicite dans l'esprit du lecteur.

Remarque : Un cas particulier de document hypertexte est celui où il n'existe qu'un lien par page, à la fin de celle-ci, pointant sur la page suivante. On retrouve alors une structure linéaire. Le document hypertexte peut alors être considéré comme un document réel puisque le fil de la lecture est prédéfini et que le lecteur n'a pas la possibilité de le modifier.

4.2.3 Le document conceptuel

"Un document conceptuel [...] spécifie la structure logique, la présentation, mais aussi la sémantique du contenu d'un document et l'interaction de l'utilisateur avec des constituants de ce document. [...] Un document conceptuel permet donc de plaquer à la demande une structure particulière sur un ensemble d'informations existantes, pour en faciliter la manipulation." [Nanard et al., 1989]. Ce type de document est utilisé dans l'application MacWeb ([Nanard et al., 1995] et section 2.3.2 de [Balpe et al., 1996]). Nous donnons une définition formelle des documents conceptuels en accord avec cette description.

Définition 5 Un *document conceptuel* est un document virtuel dont les briques d'information peuvent avoir plusieurs formats. La composition adaptative est assurée par un moteur qui sélectionne et filtre les BI par leur sémantique et les organise de façon à respecter certaines contraintes narratives et les contraintes données par l'utilisateur. Les contraintes narratives peuvent être spécifiques au domaine d'application, par exemple la pédagogie. Le document réel obtenu est donc un document cohérent vis à vis d'une modélisation d'un domaine et dont la structure narrative suit certaines stratégies argumentatives.

Parmi les contraintes imposées par l'utilisateur, la principale est sans doute le temps. En effet si peu de travaux ont à ce jour considéré cette contrainte comme forte, elle n'en reste pas moins implicite dans toute lecture d'un hypertexte sur l'Internet, le temps de connexion étant payant. Certains travaux néanmoins traitent ce sujet [Ahanger et al., 1998][Roisin, 1998][Hakkoymaz et al., 1999].

4.3 Propriétés des documents virtuels

Les documents virtuels n'ont pas tous les mêmes caractéristiques. Cette diversité se répercute sur les documents réels qui sont produits à partir des DV. Cette section détaille ces caractéristiques et les propriétés qui en découlent.

4.3.1 Propriétés dues à l'origine des briques d'information

Une catégorie des propriétés des documents virtuels dépend de l'origine, de la nature des briques d'information et donc des documents sources dont ces BI ont été extraites.

4.3.1.1 Homogénéité

Un document virtuel est dit homogène si toutes les briques d'information qu'il contient proviennent d'un même document source. Ces briques ont alors toutes le même auteur ou le même groupe d'auteurs.

- Tout d'abord le style graphique et scriptural est le même pour toutes les BI ou bien les styles utilisés se coordonnent de façon harmonieuse. Même si plusieurs auteurs ont produit les documents sources, il est quasiment certain qu'ils l'ont fait avec un accord préalable sur la présentation ;
- Le volume, c'est-à-dire la taille des BI, est sensiblement du même ordre de grandeur. En effet, les auteurs des documents sources développent les différentes parties de leur document suivant les mêmes critères. La segmentation de ces DS conduit donc vers des segments ayant tous plus ou moins la même taille, car la même profondeur de description ;
- Certaines contraintes narratives peuvent être déduites. En effet des contraintes fortes qui existent dans le document source entre différentes parties, peuvent être retranscrites au niveau des briques, les liens de causalité, par exemple. Ces contraintes fixent non seulement des instructions concernant l'ordre final des BI dans le document réel, mais également les transitions entre ces BI ;
- Une partie des rôles des BI peut, elle aussi, être connue grâce au document source. Dans le cas d'un cours par exemple, il y a peu de chances pour qu'une introduction d'un document puisse servir d'exercice si elle est réutilisée dans un autre document ;
- Le vocabulaire utilisé provient d'une ontologie prépondérante unique ce qui réduit les problèmes d'ambiguïté et de polysémie. Si du vocabulaire provient d'autres ontologies ayant des termes communs avec l'ontologie principale, on peut penser que les auteurs du document source auront au préalable désambiguïté ces termes ;
- L'entropie est forte. Nous supposons en effet que les auteurs du DS ont suivi les règles de base de la composition d'un document, en évitant redondance, contradiction et digression.

4.3.1.2 Hétérogénéité

Par opposition aux documents virtuels homogènes, les documents pour lesquels les briques d'information proviennent de sources différentes sont appelés hétérogènes. Les propriétés de ces documents sont les suivantes :

- Le style des BI peut être très différent, et provoquer des chocs visuels qui gênent la lecture lorsque ces BI sont juxtaposées dans un document réel (problèmes de couleurs, de polices de caractère, etc.)
- La taille des briques peut être très variable : chaque auteur n'a pas forcément traité sa partie du sujet avec le même degré de profondeur et la segmentation le traduit ;
- Aucune contrainte narrative n'est connue a priori, et donc aucun indice ne peut guider l'ordonnement des BI si ce n'est par un moyen extérieur à ces BI : les références d'un document à un autre, les citations ou la connaissance d'un domaine par exemple ;
- Il y a beaucoup moins de rôles prédéfinis. Certes, un exercice conservera son rôle, mais d'autres rôles en lien direct avec le contexte d'insertion sont difficiles à identifier ;
- les BI ne provenant pas de mêmes documents sources, le vocabulaire peut provenir d'ontologies différentes et certains problèmes de polysémie peuvent surgir ;
- L'entropie peut être faible car il peut y avoir de nombreuses redites, répétitions ;
- De fortes contradictions entre les BI sont envisageables, car elles proviennent d'auteurs différents qui peuvent avoir des points de vue totalement distincts. Si ces contradictions existent la cohérence du document final en est altérée.

Les documents virtuels hétérogènes ont plusieurs avantages : ils peuvent être plus riches, plus complets, présenter plusieurs points de vue. Cependant les caractéristiques évoquées ci-dessus témoignent des difficultés qui vont se poser au moment de la composition du document réel. En effet, les contraintes implicites, les qualités graphiques, esthétiques des documents sont difficilement estimables de façon automatique. Les applications interactives destinées à l'Internet se trouvent dans cette catégorie. Les différentes pages HTML qu'un moteur de recherche trouve sur un sujet donné

sont forcément presque toutes hétérogènes. Dans un premier temps, les applications que nous avons développées utilisent des documents virtuels homogènes. Cependant, nous présentons plus avant certaines techniques qui montrent comment il est possible de résoudre, entre autres, les problèmes de cohérence et de redondance, grâce à une modélisation du domaine sous forme d'ontologie.

4.3.2 Propriétés dues à la nature des méthodes de composition

La seconde catégorie de propriétés dépend des méthodes de composition qui vont être employées pour créer les documents réels. Nous avons vu dans le cas des documents hypertextes que ces méthodes peuvent être totalement humaines, c'est à dire sans aucune automatisation. Cependant ce n'est pas toujours souhaitable. Certes l'esprit humain possède une capacité d'analyse bien supérieure à celle d'une machine. Le pédagogue par exemple est le plus adapté pour décider d'une stratégie et construire un discours conforme à une stratégie argumentative ciblée. Mais qu'en est-il du lecteur du cours, quand lui seul gère son parcours ? Souvent il s'agit d'un novice, qui n'a que très peu de connaissances du domaine enseigné, et par conséquent, il lui est impossible de déterminer un parcours à travers un contenu, dont il ne connaît à priori pas la teneur.

Une automatisation, au besoin guidée par un tuteur humain, paraît donc être une approche plus souhaitable. Dans notre application, le cours est construit à partir d'un document conceptuel dont les méthodes sont entièrement automatisées. Cependant, comme nous l'avons déjà évoqué, le plaisir d'une lecture *libre* avec laquelle l'apprenant est familier est une qualité qu'il souhaite retrouver dans son apprentissage. C'est pourquoi le document produit est un document hypertexte que nous qualifierons de *semi-virtuel* dans la mesure où certaines parties du parcours sont figées ou au moins soumises à des contraintes (avoir réussi certains tests, par exemple). Les parties libres du parcours sont associées avec une aide à la navigation qui permet à l'apprenant qui désire être totalement dirigé dans sa lecture de retrouver une structure linéaire du cours.

4.4 La composition de documents réels à partir de documents virtuels

L'état de l'art présenté dans le chapitre 2 a mis en évidence les quatre étapes incontournables de la composition de document⁶⁷. Dans cette section, après avoir donné notre définition de la composition, et distingué deux types de composition, nous détaillons ces différentes étapes.

4.4.1 Composition, composition automatique et auto-composition

Définition 6 Une *composition* est une structuration d'un ensemble d'éléments, appelés briques d'information, réalisée pour un être humain avec l'objectif de faire émerger une plus grande valeur sémantique de cet ensemble d'éléments. Cette finalité peut être d'ordre informatif, pédagogique, esthétique, ludique ou argumentatif ; elle peut aussi être une combinaison de tous ces aspects.

Une composition comporte quatre étapes incontournables : la recherche ciblée d'information en fonction de certains objectifs, le filtrage sous contrainte des informations retrouvées, l'organisation des informations retenues suivant des principes narratifs, et enfin l'assemblage de ces informations. Ces étapes rejoignent la première phase mise en évidence dans la planification didactique [Cherkaoui et al., 1997] : sélection et organisation des contenus. Les deux autres étapes de cette planification sont la recherche d'une activité pour ces contenus (ce qui correspond à l'attribution de rôles dans notre approche) et la prévision du déroulement d'une activité. Cette

⁶⁷ La composition documentaire telle que nous la concevons ne correspond pas au processus de conception de documents multimédia décrit par Cécile Roisin et composé de deux étapes : une étape de spécification (édition) et une étape de présentation (exécution) [Roisin, 1999]. Les quatre étapes que nous considérons sont incluses dans l'étape qu'elle qualifie 'de spécification'.

dernière phase correspond à la diffusion du document final ; nous ne la faisons pas intervenir dans la composition.

NOTE — Dans le cas où les briques d'information se sélectionnent et s'organisent elles-mêmes, par négociation d'agents par exemple, on parle d'*auto-composition*. Dans le cas où la composition est la réalisation d'un système électronique, on la qualifie d'*automatique*.

4.4.2 Recherche d'information

"Le fait de sélectionner certains éléments et de les présenter à l'auditoire, implique déjà leur importance et leur pertinence dans le débat" [Perelman et al., 1988].

L'étape de recherche d'information consiste à déterminer, en fonction de certains objectifs, un ensemble de descriptions conceptuelles correspondant à des parties du modèle du domaine qui doivent être traitées. Le système sélectionne les briques d'information qui correspondent le plus à ces descriptions. Pour cela il doit connaître la sémantique contenue dans les briques. Il évalue alors l'importance de l'information en fonction de sa pertinence et de la préférence de l'utilisateur. Les BI qui sont sélectionnées sont celles dont l'importance dépasse un seuil fixé (cette méthode peut être rapprochée des α -coupes de la théorie des sous-ensembles flous [Bouchon-Meunier, 1993]). La recherche d'information est évolutive : par exemple si un pré-requis est attaché à une BI, le champ de la recherche va s'élargir en tenant compte de ce pré-requis.

4.4.2.1 L'importance de la qualification dans la sélection

Dans notre approche, la recherche d'information repose sur le calcul de la proximité sémantique entre vecteurs d'état conceptuels présentée ci-dessus (section 4.1.4). Ce calcul permet de prendre en compte la sémantique des BI et le principe de pondération permet d'éviter les 'silences'. Toutes les BI doivent donc au préalable avoir été qualifiées dans ce sens. Chaque BI a été qualifiée, en respectant le vocabulaire et les contraintes d'une ou de plusieurs ontologies. Dans le cas où plusieurs ontologies sont référencées, il faut absolument *détromper* les termes afin qu'un concept n'ait qu'une seule signification possible. Ceci peut être fait en rajoutant un préfixe temporaire devant un concept 'polysémique' par exemple. Une fois tous les concepts détrompés, cela revient à n'avoir qu'une seule ontologie. Dans ce qui suit nous considérons donc qu'une seule ontologie est liée à la description des BI.

La sémantique du contenu de la BI est exprimée sous la forme d'un ensemble de Paires Conjonctives Conceptuelles (PCC)⁶⁸. Cet ensemble forme un vecteur d'état conceptuel, qui permet d'exprimer différents points de vue sur l'information contenue dans la brique. Ces points de vue sont exprimés au moyen d'une pondération à deux niveaux : au premier niveau, les poids sont affectés aux concepts et aux relations, au deuxième niveau, un poids peut être associé à la PCC elle-même.

La forme⁶⁹ d'une PCC est la suivante :

[Concept source] - (Relation) - [Concept destination]

Exemple⁷⁰ de PCC :

[Sonate] - (partie de) - [Mouvement] (ex1)

NOTE — Il est utile de rappeler qu'une telle phrase se traduit suivant la méthode qu'utilise Sowa pour traduire les graphes conceptuels en langage naturel : « *La relation de concept source est concept destination* » ce qui donne sur l'exemple « *une partie d'une sonate est un mouvement* ».

⁶⁸ Les paires conjonctives conceptuelles sont équivalentes au graphes conceptuels simplifiés que nous avons évoqués dans la section 4.1.4, et qui étaient notés CG. Nous voulons, par cette appellation, éviter toute ambiguïté avec des graphes conceptuels formels, qui ne rentrent pas dans notre champ de recherche.

⁶⁹ Nous utilisons la notation linéaire des graphes conceptuels.

⁷⁰ Dans tout ce qui suit, les exemples présentés sont issus du projet *Sibyl* dans lequel les matériaux pédagogiques testés proviennent d'un cours sur les sonates.

La forme d'une PCC pondérée est la suivante :

$$[[CS]poids_cs - (Rel)poids_rel - [CD]poids_cd] poids_pcc$$

Exemples de PCC pondérée :

$$\begin{aligned} & [[Exposition]1 - (sujet)0.8 - [Thème]0.6] 0.8 \\ & [[Musique]1 - (support écrit)0.4 - [Partition]0.3] 0.4 \\ & [[Texte]0.2 - (police)0.2 - [Times]0.1]0.1 \quad (ex2) \end{aligned}$$

Le premier niveau de pondération est utilisé pour traduire l'importance des concepts et relations par rapport à la modélisation du domaine (poids_cs, poids_rel et poids_cd). Un concept 'sonate' a un poids très élevé dans un cours sur les sonates.

Le deuxième niveau (poids_pcc) traduit l'importance de certains points de vue par rapport aux autres. Par exemple, une brique d'information contenant un portrait de Beethoven réalisé à la sanguine peut être qualifié par : [Compositeur]-(exemple)-[Beethoven]. Pourtant, un autre point de vue permet de la qualifier par : [Sanguine]-(exemple)-[Portrait_Beethoven]. On voit bien que même si cette dernière description traduit un point de vue possible sur le document, il ne constitue pas une information capitale dans un cours de musique. Le poids de cette dernière PCC est donc beaucoup plus faible que celui de la première. Dans l'exemple ex2, le fait qu'une exposition ait un thème est bien spécifique à la sonate, ce qui justifie un poids fort. Par contre le fait que la musique soit écrite sur des partitions n'est pas spécifique à l'étude des sonates mais décrit plutôt une caractéristique générale des œuvres musicales ; le poids correspondant est donc plus faible.

Dans un premier temps ces poids sont directement attribués par l'auteur de la qualification en fonction d'une connaissance du domaine et dépendent donc du seul qualificateur. Ils sont fixes car dans certains cas, l'humain est le seul à pouvoir percevoir les nuances et en rendre compte par la pondération. Dans l'exemple 2 les poids attribués traduisent : la brique peut répondre à 0.8 à une recherche sur les expositions (mouvement d'une sonate), à 0.4 à une recherche sur l'écriture de la musique et à 0.1 à une recherche d'exemple de texte écrit en Times. C'est ce qui est noté par l'équation d'un Vecteur d'Etat Conceptuel (Conceptual State Vector). Avec la nouvelle notation, un CSV est défini comme :

$$\begin{aligned} CSV &= r_1|PCC_1\rangle + r_2|PCC_2\rangle + \dots + r_k|PCC_k\rangle \quad (2bis) \\ &\text{avec } \sum_{i=1}^k r_i = 1 \text{ où } r_i \in \mathfrak{R} \text{ et } 0 \leq r_i \leq 1 \end{aligned}$$

PCC_i représente les Paires Conjonctives Conceptuelles et r_i les poids qui leur sont associés.

Toutefois, l'auteur de la qualification n'est pas toujours le plus à même de décider de l'importance de certains concepts. Une partie de ces concepts, en effet, concerne les rôles que peuvent jouer les BI au sein du document. Or ces rôles ne sont pas statiques mais dépendent du contexte dans lequel la BI va être insérée. Ils dépendent également des objectifs du lecteur, et de la stratégie narrative choisie. C'est alors le système seul qui peut attribuer les poids, car il possède toutes les informations nécessaires : connaissances du domaine, objectifs fixés, description conceptuelle des BI, connaissances narratives. C'est en cela que se situe notre apport théorique présenté dans le chapitre 7. Nous y détaillons la méthodologie que nous avons mise en place, qui s'inspire des principes de la logique floue.

4.4.2.2 La sélection guidée par les ontologies

La sélection est fortement dépendante de la connaissance du domaine dont dispose le système et donc de sa modélisation. Dans notre approche, la sélection est dirigée par l'ontologie du domaine. En effet, cette ontologie définit les concepts qui doivent être étudiés, en fonction des objectifs fixés.

Dans la base de documents qualifiés, nous allons chercher des qualifications *candidates* (PCC_c) qui sont les plus proches possible du *modèle* donné par l'ontologie (PCC_m). Pour ce faire, le système cherche à maximiser la fonction Ψ .

$$\psi(PCC_m, PCC_c) = p_{ms}\chi(cSm, cSc) + p_{mr}\chi(r_m, r_c) + p_{md}\chi(cd_m, cd_c) \quad (3)$$

Une première version de cette fonction était présentée dans [Crampes, 1997]. Nous y avons rajouté des coefficients de pondération. p_{ms} représente le poids du modèle source i.e. le poids du concept source dans la phrase PCC du modèle ; de même p_{mr} et p_{md} sont respectivement le poids de la relation et le poids du concept destination. Ces poids sont ceux attribués par le système aux concepts de l'ontologie du domaine suivant une méthode détaillée dans le chapitre 7.

La fonction χ est appelée fonction de correspondance et elle retourne une valeur comprise entre 0 et 1, inversement proportionnelle à la proximité sémantique entre les concepts. Cette proximité vaut 0 s'il s'agit du même concept (χ vaut alors 1) et 1 si les concepts ne sont reliés en aucune manière (χ vaut alors 0). Dans le cas où le concept candidat est une spécialisation du concept modèle ou une généralisation de ce concept, χ prendra une valeur comprise dans l'intervalle]0,1[. Dans ce dernier cas, la valeur de χ dépend également de la stratégie choisie. Dans une stratégie ascendante⁷¹, le système va favoriser la spécialisation alors que dans une stratégie descendante il favorise la généralisation. La valeur de la pondération dépend également de la différence de niveau de détail dans l'ontologie (c.f. chapitre 7). A savoir que si un concept est directement le 'fils' d'un autre cette différence vaut 1. Si ce concept est le 'petit-fils' d'un autre concept cette différence vaut 2, etc.

4.4.2.3 L'influence des pré-requis

Lors de la recherche d'information, certaines briques retenues, peuvent nécessiter d'avoir pris connaissance d'autres briques. Ces pré-requis nécessaires pour appréhender une information peuvent être de deux types. Soit ils sont exprimés directement dans l'ontologie du domaine. Dans ce cas, l'auteur de l'ontologie a fait une analyse en profondeur, déterminant pour chaque concept les concepts associés qui sont nécessaires à sa compréhension ; ces concepts associés sont alors contenus dans les relations de l'ontologie. Soit ils sont exprimés à l'intérieur même de la qualification des BI, par l'auteur de la qualification, ce qui est le cas le plus fréquent.

Dans le cas où les pré-requis sont directement mentionnés dans l'ontologie, leur simple présence entraîne un ajout de certaines descriptions conceptuelles dans la liste des descriptions conceptuelles à rechercher (notées sous forme de CSV). Ils ne modifient donc pas le processus de recherche d'information. Dans le cas où les pré-requis ne sont exprimés qu'au niveau de la qualification, les CSV correspondants doivent également être rajoutés dans la liste des descriptions recherchées, mais de façon dynamique. Cela entraîne une modification de l'algorithme qui voit sa complexité augmenter : la version présentée ci-dessous est en $O(n^2)$.

- Remarque : - Dans cet algorithme l'indice R signifie recherché, C candidat et PR Pré-requis.
 - La valeur du seuil est déterminée de façon empirique. Elle pourra augmenter ou diminuer suivant le nombre de briques sélectionnées et le temps disponible de l'utilisateur.

⁷¹ Les stratégies qualifiées de descendantes ou d'ascendantes ne correspondent pas aux stratégies *top-down* et *bottom-up* mentionnées dans [Murray, 1996] même si elles désignent des notions similaires. Pour lui, une forme d'enseignement basée sur la réponse aux buts de l'apprenant est une stratégie *bottom-up* et une approche basée sur la connaissance du domaine est une stratégie *top-down*. Pour nous une stratégie descendante présente la théorie en premier, puis les exemples et cas concrets, une stratégie ascendante s'inspire des cas concrets pour en extraire une théorie.

Ces pré-requis, hormis leur importance lors de la recherche d'information contiennent des indications qui sont exploitées lors de l'étape d'organisation des BI. Ces contraintes de dépendance entre les BI reprennent la notion de *contraintes en attente* (pending constraints), qui sont des contraintes sémantiques non satisfaites à un niveau local, mais qui seront satisfaites à un niveau supérieur [Morton et al., 1987].

Algorithme de recherche d'information

Entrée : CSV_qual : ensemble des CSV qui qualifient les BI
 CSV_vus = \emptyset : ensemble des CSV déjà recherchés
 CSV_rech = \emptyset : ensemble des CSV à rechercher
 OD : ontologie du domaine

Sortie : CSV_sel : ensemble des CSV sélectionnés

Début

Déterminer CSV_rech à partir de OD ;

Tant que (non-vide (CSV_rech))

Extraire (CSV_R de CSV_rech) ;

Tant que (non-vide CSV_qual)

Extraire (CSV_C de CSV_qual) ;

Ajouter CSV_C à CSV_vus ;

Si ($\exists(\text{CSV}_C, \text{CSV}_R) > \text{seuil}$)

Alors Ajouter CSV_C à CSV_sel ;

Si (il existe CSV_{PR} pré-requis à CSV_C)

Alors Si ((CSV_{PR} \notin CSV_rech) et (CSV_{PR} \notin CSV_vus))

Alors ajouter CSV_{PR} à CSV_rech ;

Fin si

Fin si

Fin tant que

Fin tant que

Retourner l'ensemble des SCV sélectionnés

Fin

4.4.3 Filtrage

L'étape de filtrage consiste à retenir parmi les BI sélectionnées à l'étape précédente celles qui satisfont certaines contraintes. Ces contraintes sont d'ordre sémantique ou temporel.

4.4.3.1 Filtrage par les contraintes temporelles

Déjà en 1991, alors qu'il travaillait sur le projet MethodMan, Michel Crampes soulignait l'importance de la dimension économique des documents [Crampes, 1991]. Dans le domaine pédagogique cette qualité est primordiale : à quel niveau que ce soit, le programme pédagogique est prévu pour un certain nombre d'heures et la répartition de ces heures force les auteurs de cours à garder constamment en tête cette contrainte. Pour les Internauts, cette contrainte de temps est d'autant plus importante que la durée de connexion correspond à un coût. Ces idées ont été poussées plus avant dans [Crampes et al., 1998a].

La première dimension considérée est la temporalité. Chaque BI doit contenir dans sa qualification une information concernant sa dimension temporelle : le temps approximatif de lecture pour un texte, la durée d'un enregistrement, la durée d'une vidéo ou d'une animation, etc. Cette dimension est appelée t_i dans la suite. En fonction du temps t_d disponible de l'utilisateur le système sélectionne les briques qui permettent de respecter au mieux cette contrainte. Deux stratégies sont

possibles : maximiser le nombre de briques ou au contraire maximiser la durée des briques. Dans les deux cas, la contrainte suivante doit être respectée :

$$\sum_{i=1}^n t_i \leq t_d \text{ avec } t_i \text{ étant la durée de la brique } b_i \quad (4)$$

Pour une durée t_d moyenne, la première stratégie fournit un document final dont les briques sont de petite taille. Un tel document aura une forte probabilité d'aborder un grand nombre de points de l'ontologie du domaine, au détriment de la profondeur d'étude. Pour cette même durée, la deuxième stratégie offrira certainement des informations plus fouillées sur certains points mais ne couvrira sans doute pas l'ontologie du domaine. Nous voyons ici que cette contrainte de temps doit être étudiée et satisfaite, en corrélation avec la stratégie pédagogique choisie et de certaines contraintes sémantiques.

NOTE — Dans le cas où aucune solution ne permet de fournir un document respectant (4) le système demandera à l'utilisateur de modifier ses préférences.

4.4.3.2 Filtrage par les contraintes sémantiques

Un second filtrage est appliqué sur l'ensemble des BI encore candidates. C'est la dimension sémantique qui est alors considérée. Il est possible de déterminer le degré de *couverture ontologique* d'un CSV. Cela est possible en calculant le rapport entre les concepts contenus dans le CSV et les concepts que possède l'ontologie. Pour un document court (avec t_d petit) on sélectionnera de préférence une BI qui a une forte couverture ontologique. De plus, il est possible d'évaluer le recouvrement, les redites entre les BI par projection sur l'ontologie du domaine. Par exemple sur la Figure 4.9 chaque zone grisée correspond à la projection d'un CSV. Il est visible que l'intersection de la couverture de CSV1 et de celle de CSV6 n'est pas nulle. Il y a donc une part de redite. Ceci n'est qu'une estimation. Il est bien évident qu'un concept, par exemple sonate, peut être employé un grand nombre de fois dans les descriptions des briques sur un domaine donné, par exemple la musique, sans qu'il y ait de redite pour autant. Cependant par des calculs simples issus de la théorie des ensembles, il est possible de déterminer si une description est entièrement contenue dans une autre : dans ce cas il ne faut pas la retenir. L'étape de filtrage consiste alors à déterminer quelle est la combinaison de BI qui assure la plus grande couverture ontologique avec une durée compatible avec les contraintes utilisateurs. Il serait peut-être intéressant d'introduire un troisième niveau de pondération, qui traduise le degré de couverture ontologique de chaque CSV. Cette piste n'a pas été exploitée, mais elle entre dans les perspectives de recherche qui suivront cette thèse.

Les autres données qui interviennent dans l'étape de filtrage sont les préférences de l'utilisateur concernant la présentation et les média utilisés. En effet, si l'apprenant est plutôt jeune, il préfère en général des documents multimédia attrayant comportant des animations, du son, etc. Par contre l'utilisateur peut imposer que le document ne comporte aucun enregistrement sonore ou vidéo, parce qu'il veut, par exemple, l'imprimer. Les briques disponibles sous ces formats-là sont alors écartées. Si cette préférence doit intervenir, son importance est minime par rapport à celles évoquées plus haut. En effet, le but du système n'est pas que ce soit l'apprenant qui construise son cours, mais que le système construise un cours qui est adapté à l'apprenant. La nuance est significative puisque cela permet au système d'avoir une certaine *liberté*. Ainsi sa connaissance lui permet de créer un document dont la qualité médiatique apporte un plus pour le domaine étudié, mais il privilégie toujours la pertinence et la cohérence du discours. La préférence médiatique sera donc prise en compte dans les cas de litiges essentiellement.

Ces deux derniers types de filtrage n'ont pas été implémentés. Dans le projet Karina (c.f. chapitre 6), les seules contraintes prises en compte sont temporelles.

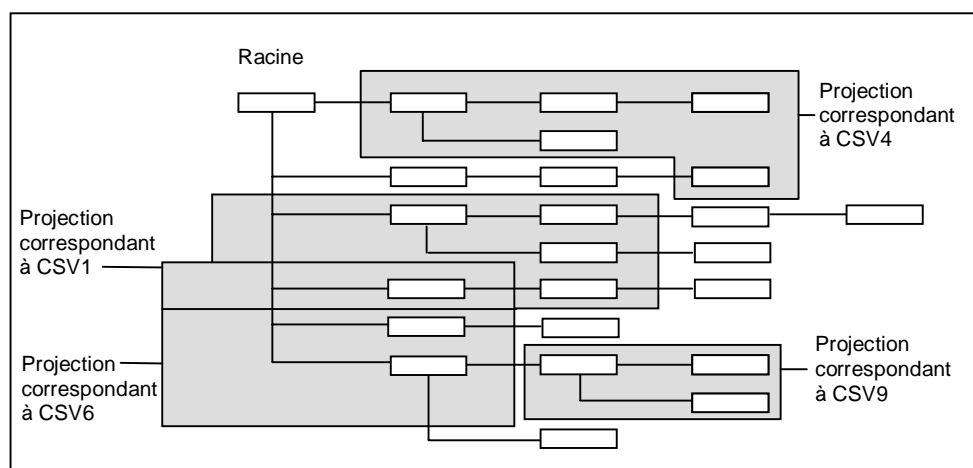


Figure 4.9 : Exemple de projection de CSV sur une ontologie

4.4.4 Organisation

Dans le domaine pédagogique, le terme employé pour désigner l'ordre dans lequel sont visités les éléments documentaires est l'*ordonnement du programme d'étude* (curriculum sequencing) [Weber et al., 1997].

4.4.4.1 Les facteurs intervenant dans l'organisation

A la fin de l'étape de filtrage, le système dispose d'un ensemble de BI qui correspondent toutes sémantiquement et physiquement aux besoins de l'utilisateur. Il faut alors les organiser de façon à respecter une démarche argumentative cohérente. La connaissance du domaine ne suffit pas. Il faut y associer une connaissance narrative. Dans le cas de la pédagogie, nous avons modélisé cette connaissance dans une ontologie pédagogique. Dans le prototype Sibyl, développé à partir de ces idées, les contraintes pédagogiques qui dépendent des stratégies choisies sont exprimées sous forme de règles, dans cette ontologie (c.f. chapitre 5). Par exemple, une des règles de la stratégie descendante est : Si deux briques correspondent respectivement à un *exemple* et à une *définition* d'un concept, la *définition* doit précéder l'*exemple*. Grâce à un ensemble de règles de cette sorte et aux liens de précédence qui ont pu être imposés par les pré-requis, le système cherche un arrangement, au sens mathématique du terme, qui satisfasse toutes les contraintes.

4.4.4.2 Les grammaires formelles

Balpe et al. proposent une grammaire générale qui traduit la projection de toute séquence linguistique sur un espace à deux dimensions : une dimension concrète définie par une relation d'ordre et une dimension virtuelle définie par l'ensemble des choix possibles à tout moment [Balpe et al., 1996]. Leur grammaire a comme point de départ l'élément "tout type de document" cependant leur grammaire ne s'applique qu'à des documents textuels. Dans notre approche nous nous plaçons à un niveau de granularité supérieur puisque les BI sont des fragments de document et nous ne favorisons aucun média. Concernant la composition de vidéos pour un journal télévisé, Ahanger et al. proposent également un langage formalisé par une grammaire [Ahanger et al., 1998]. Cécile Roisin présente également une grammaire pour la description de la structure logique de documents. Elle utilise la syntaxe XML [Roisin, 1999].

Actuellement nous pensons qu'il est plus simple et tout aussi efficace d'imposer un ordre aux BI en fonction du rôle que chacune va être amenée à jouer au sein de la narration. Pour cela nous avons modélisé les différents types de documents pédagogiques par une grammaire formelle. Nous ne nous intéressons pas à la formalisation de la narration dans son ensemble (style, richesse de

vocabulaire, etc.) mais nous nous focalisons sur la structure narrative. Michel Crampes donne une formalisation de la narration, au sens large, sous forme de grammaire ([Crampes, 1995] Chapitre 5, pp 149-162). Dans notre approche, même si nous souhaitons avoir une approche aussi générale que possible, nous avons restreint notre étude à la structure de documents pédagogiques, car elle est à la fois complexe et soumise à de nombreuses contraintes. La généralisation sera possible par la suite.

"Il est classique de considérer un document comme un programme qui respecte une grammaire" [Roisin, 1999], le standard XML et son utilisation pour la description de documents structurés en témoignent. Cependant l'utilisation de grammaires formelles pour la description de la structure des documents pédagogiques a pour inconvénient de figer cette structure. De ce fait, le système tend à rechercher exactement tous les éléments du document. Si pour un élément, il n'y a pas de réponse satisfaisante (pas d'exemple qui illustre une explication ou pas d'explication d'un concept), faut-il laisser un vide qui risque de briser la structure narrative (en présentant un exemple mais pas l'explication qui l'accompagne), ou combler ce vide par une BI qui ne satisfait que partiellement la requête ? Dans ce dernier cas, le risque est d'essayer d'assembler des informations très éloignées, qui ne respectent donc pas la cohérence du tout. C'est pour pallier ce genre de problème que nous avons choisi de laisser un certain degré de liberté dans notre grammaire concernant la présence ou non de certains éléments.

L'avantage de disposer d'une grammaire formelle est qu'elle permet de contextualiser une information. De plus cette grammaire définit les liens de précédence qui peuvent exister entre certaines BI en fonction du rôle qu'elles vont tenir dans la narration.

La grammaire qui suit est générique, c'est à dire qu'elle n'utilise que des concepts génériques, non référencés. Cette section détaille deux types de documents issus d'une stratégie descendante et d'une stratégie ascendante. Nous ne prétendons pas que la grammaire présentée soit complète, mais elle est un bon support pour la suite de la méthodologie.

Note — Nous utilisons la notation BNF étendue⁷² par certains symboles comme les crochets ("["","]") pour traduire qu'un symbole est optionnel et les accolades ("{"","}") pour traduire la répétabilité.

$G_{sp} = \{V_T, V_N, S, P\}$ avec :

- V_T qui reprend l'ensemble⁷³ des concepts de la hiérarchie de concepts de l'ontologie pédagogique ;
- $V_N = \{\text{début, corps, Instruction Descendante, Instruction Ascendante, fin}\}$;

P est défini par les règles R0 à R3.

R0 : <Document Pédagogique> ::= <début> <Corps> <fin>
 R1 : <Début > ::= <Résumé> <Table des matières> <Introduction>
 R2 : <corps> ::= <Instruction Descendante> | <Instruction Ascendante>
 R3 : <Fin> ::= <Conclusion> [<Références>] [<Glossaire>] [<Annexes>]

La règle R2 traduit le fait que le choix de la stratégie ne modifie que le corps du document et non pas le début ou la fin. C'est donc cette règle que nous allons décliner plus profondément en fonction de la stratégie choisie.

Approche ascendante

L'approche ascendante présente à l'étudiant des cas concrets, des exemples et tente de les généraliser pour arriver à extraire une théorie. Cette théorisation suppose une bonne compréhension

⁷² <http://www.netaxs.com/people/nerp/automata/bnf0.html>

⁷³ par souci de clarté, l'ensemble des concepts de l'ontologie pédagogique n'apparaissent pas ici, la présentation est une version simplifiée

des faits réels. Dans une telle stratégie, les briques représentant des exemples d'un concept sont présentées avant les briques décrivant la théorie de ce même concept. Une fois la théorie présentée, le système effectue une évaluation de l'apprenant afin de mettre à jour son modèle. C'est pourquoi une série d'exercices lui est proposée.

```
R211 : <Instruction Ascendante> ::= {<Exemple> | <Contre-exemple> |
    <Illustration>} <théorisation> [<théorisation>] {<Exercice>} |
    [<Instruction Ascendante>]
R212 : <théorisation> ::= <Théorème> | <Description> | <Définition> |
    <Preuve> | <Formule>
```

La Figure 4.10 donne un exemple de structure de document pédagogique construit à partir d'une stratégie ascendante. Les éléments grisés sont les éléments terminaux des branches de l'arbre. Ce document est donc composé d'un résumé, d'une table des matières puis d'une introduction, un exemple, un théorème, une preuve et un exercice suivi d'une conclusion et de références.

Approche descendante

Contrairement à la stratégie ascendante présentée ci-avant, la stratégie descendante consiste à présenter d'abord la théorie, puis quand celle-ci est supposée comprise, présenter les exemples qui permettent de mieux l'assimiler. Les concepts mis en œuvre sont donc les mêmes que dans la stratégie descendante, mais l'ordre de présentation diffère.

```
R221 : <Instruction Descendante> ::= <théorisation> [<théorisation>]
    {<Exemple> | <Contre-exemple> | <Illustration>} {<Exercice>} |
    [<Instruction Descendante>]
R222 : <théorisation> ::= <Théorème> | <Description> | <Définition> |
    <Preuve> | <Formule>
```

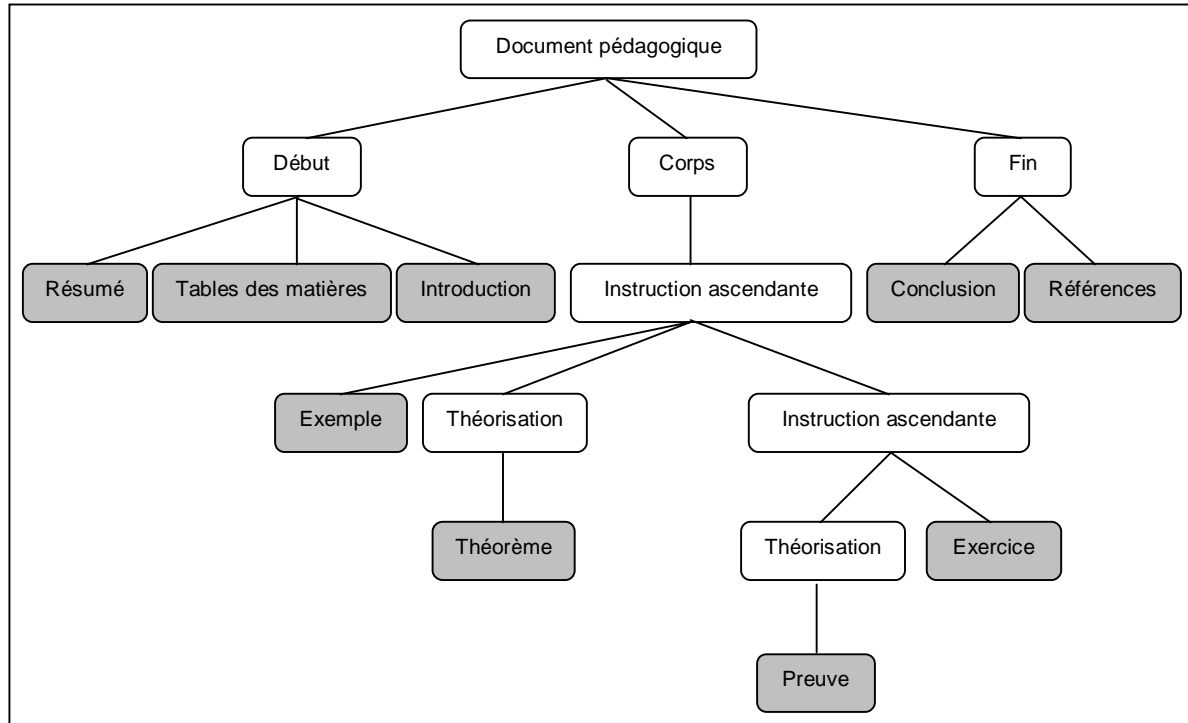


Figure 4.10 : Exemple de structure de document suivant une approche ascendante

Les grammaires présentées ci-dessus fixent un canevas, un patron de la structure que doit suivre un document pédagogique. On voit que ce n'est pas tant le contenu qui fixe l'ordre d'énonciation, mais plutôt les rôles que vont jouer les BI au sein de la narration qui influencent leur

position dans le document final. L'importance des rôles attribués aux BI est ainsi mis en évidence au niveau de l'organisation bien sûr, mais également au niveau de la recherche d'information. Ces points seront détaillés par la suite.

4.4.5 Assemblage

L'étape d'assemblage consiste à créer un *liant* entre les BI afin que leur juxtaposition ne crée pas une gêne à la *lecture*. Dans le cas d'un texte l'assemblage consiste à introduire des transitions qui ne modifient pas la sémantique du message, mais qui enchaînent les idées de façon cohérente. Pour ce faire, il est possible d'utiliser des méthodes de génération de langage naturel. Dans le cas de vidéo, des changements de plans ou de décors trop brutaux peuvent aggraver le récepteur. Il est alors utile d'insérer des fondus enchaînés ou des coupures par le noir. Dans le cas d'enregistrements sonores, il est souhaitable de ne pas permettre que deux musiques de styles totalement différents se succèdent.

Les problèmes soulevés par l'assemblage sont très nombreux ; il est possible de les rapprocher des difficultés liées à la segmentation. Dans notre application nous nous limitons à une narration textuelle. Cependant nos perspectives étant de créer par la suite une application à la télévision interactive, nous serons amenés à résoudre de tels problèmes très prochainement. Les segments multimédia étant tous qualifiés de la même façon (texte, vidéo, enregistrements, etc.), c'est à dire avec des vecteurs d'états conceptuels, le traitement sur les données n'a pas de raison d'être différent en ce qui concerne la recherche d'information et l'organisation des segments. Il est par contre très spécifique en ce qui concerne l'assemblage. Nous avons volontairement tenu cet aspect hors de notre étude pour l'instant.

Conclusion

L'évocation conceptuelle permet à l'esprit humain de construire un enchaînement d'idées. Inspiré par ce processus, nous avons présenté une méthode qui permet, en utilisant une mesure de proximité sémantique entre des vecteurs d'état conceptuels de rechercher des informations dans une base de données, en fonction de descriptions conceptuelles. Nous avons ensuite exposé nos idées concernant la composition de documents réels à partir de documents virtuels.

La composition de documents réels, ou semi-virtuels, telle que nous la concevons, se décompose en quatre étapes ayant chacune des besoins particuliers :

- La sélection nécessite une indexation des BI qui permette une recherche d'information basée sur la sémantique contenue dans ces briques ;
- Le filtrage s'intéresse davantage aux caractéristiques physiques des BI et entre autres à leur dimension temporelle. Il doit cependant lui aussi tenir compte de la sémantique contenue dans les BI ;
- L'ordonnancement fait intervenir les règles de structuration narrative et les liens prédéfinis qui peuvent exister entre les BI : les pré-requis ;
- L'assemblage nécessite la mise en œuvre de techniques narratives et argumentatives afin de créer un document dont la lecture est agréable et fluide.

Au vue de ces différents besoins, deux points fondamentaux émergent : les briques d'information doivent être qualifiées avec soin, et le système doit posséder un modèle de la connaissance du domaine et de la connaissance pédagogique. Ce dernier point fait l'objet du chapitre suivant dans lequel nous présentons nos modèles de connaissance basés sur des ontologies.

Longtemps on a pensé que l'informatique en général et les programmes d'intelligence artificielle en particulier allaient mélanger et présenter sous des angles neufs les concepts humains. Bref, on attendait de l'électronique une nouvelle philosophie. Mais même en la présentant différemment, la matière première reste identique : des idées produites par des imaginations humaines. C'est une impasse. La meilleure voie pour renouveler la pensée est de sortir de l'imagination humaine. — Edmond Wells, Encyclopédie du savoir relatif et absolu.

Bernard Werber (Les fourmis)

Modélisation de la connaissance : les ontologies pour décrire le domaine et les connaissances narratives et pédagogiques

5.1 La modélisation de la connaissance : pourquoi opter pour les ontologies ?.....	102
5.1.1 Un formalisme pour représenter les ontologies : les Graphes Conceptuels	102
5.1.2 Evaluation de documents grâce aux ontologies.....	104
5.2 Ontologie Pédagogique - OP	106
5.2.1 Présentation générale de l'OP : la hiérarchie de concepts	106
5.2.1.1 Information	107
5.2.1.2 Rôle pédagogique (instruction) pour aider le transfert de connaissance.....	107
5.2.1.3 Modélisation de l'apprenant.....	108
5.2.1.4 Fonctionnalités du système / aide à la navigation.....	108
5.2.1.5 Objectifs pédagogiques.....	108
5.2.1.6 Média.....	108
5.2.2 Les Relations de l'OP	109
5.2.2.1 Définition d'un objectif pédagogique.....	109
5.2.2.2 Définition d'un contre-exemple	109
5.2.2.3 Autres définitions.....	110
5.2.3 Modélisations des stratégies pédagogiques.....	110
5.2.3.1 Règles générales.....	111
5.2.3.2 Règles spécifiques à un type de stratégie	111
5.3 Ontologie du Domaine - OD.....	112
5.3.1 Hiérarchie de concepts de l'OD.....	113
5.3.2 Définitions et relations sur les concepts de l'OD.....	113

5.4 Qualification Sémantique des BI.....	114
5.4.1 Principes et qualités d'une qualification.....	114
5.4.2 Positionnement par rapport à XML et RDF	115
5.4.3 La qualification des BI dans deux applications différentes	116
5.4.3.1 <i>La qualification dans le projet Sibyl</i>	116
5.4.3.2 <i>La qualification dans le projet Karina</i>	117
Conclusion.....	120

Selon Didier Dubois et Henri Prade, "on peut distinguer en science et ingénierie de l'information trois grands types de tâches : i) l'amélioration et la clarification de l'information, ii) le stockage et la recherche de l'information, iii) l'exploitation de l'information. [...] Dans chacune de ces grandes tâches, il nous semble important de souligner deux aspects : la représentation des connaissances et la communication homme-machine" [Dubois et al., 2000]. Nous pensons que ces deux aspects imposent certaines contraintes que les ontologies peuvent aider à respecter. Dans notre approche, nous voulons préserver deux caractéristiques de la représentation des connaissances : la forte représentativité de la modélisation choisie, et la facilité de calcul par cette modélisation. Dans ce but, nous utilisons les ontologies à deux niveaux. Au premier niveau, celui de la qualification de briques d'information, nous les utilisons comme support de la modélisation de la sémantique contenue dans les BI ; les ontologies nous assurent alors la cohérence, la non-ambiguïté et la pertinence par rapport à la connaissance du domaine de la qualification. Au second niveau, celui de l'ingénierie de la connaissance, nous les utilisons conjointement avec certaines définitions issues de la théorie argumentative pour attribuer automatiquement des rôles à certaines briques d'information.

Ce chapitre a pour but de présenter notre modélisation de la connaissance et la façon dont cette connaissance est mise en relation avec les documents réels par l'intermédiaire de la qualification. Il présente tout d'abord notre conception des ontologies et justifie nos choix de langage pour les coder. Les deux types d'ontologie sur lesquels notre système bâtit son raisonnement sont ensuite présentées. Tout d'abord nous détaillons l'Ontologie Pédagogique (OP) dans laquelle sont stockées les connaissances qu'a le système de la théorie didactique, les rôles de chaque concept et les stratégies. Puis nous présentons l'Ontologie du Domaine (OD) utilisée pour représenter la connaissance d'une partie du monde. Nous expliquons ensuite comment ces ontologies sont mises en relation avec des segments de documents réels, les briques d'information, par l'intermédiaire de la qualification. Pour cela nous présentons les deux types de qualification que nous avons appliqués dans les projets Sibyl et Karina, avec entre autre deux DTD écrites en XML, pour aider à cette qualification.

5.1 La modélisation de la connaissance : pourquoi opter pour les ontologies ?

Dans l'état de l'art présenté au chapitre 3 nous avons détaillé les définitions des ontologies, leurs rôles et les différentes méthodes qui existent pour les concevoir et les représenter. Dans cette section nous choisissons une définition des ontologies et nous justifions nos choix concernant le formalisme utilisé pour les coder. Nous détaillons ensuite leur utilité pour la qualification et la classification d'un document selon son rôle.

5.1.1 Un formalisme pour représenter les ontologies : les Graphes Conceptuels

La définition que nous avons retenue est celle de Grüninger : une ontologie est une description formelle d'entités et leurs propriétés, relations, contraintes, comportement [Grüninger et al., 1995]. En simplifiant au maximum cette définition il est possible de réduire les ontologies à un ensemble de

concepts et un ensemble de relations entre ces concepts, car ces dernières permettent de traduire des propriétés, contraintes et comportements. Il existe alors plusieurs moyens de représenter ces ontologies, dont les principaux sont les réseaux sémantiques (Figure 5.11-a), les graphes conceptuels⁷⁴ (Figure 5.11-b) ou le langage KIF (Figure 5.11-c).

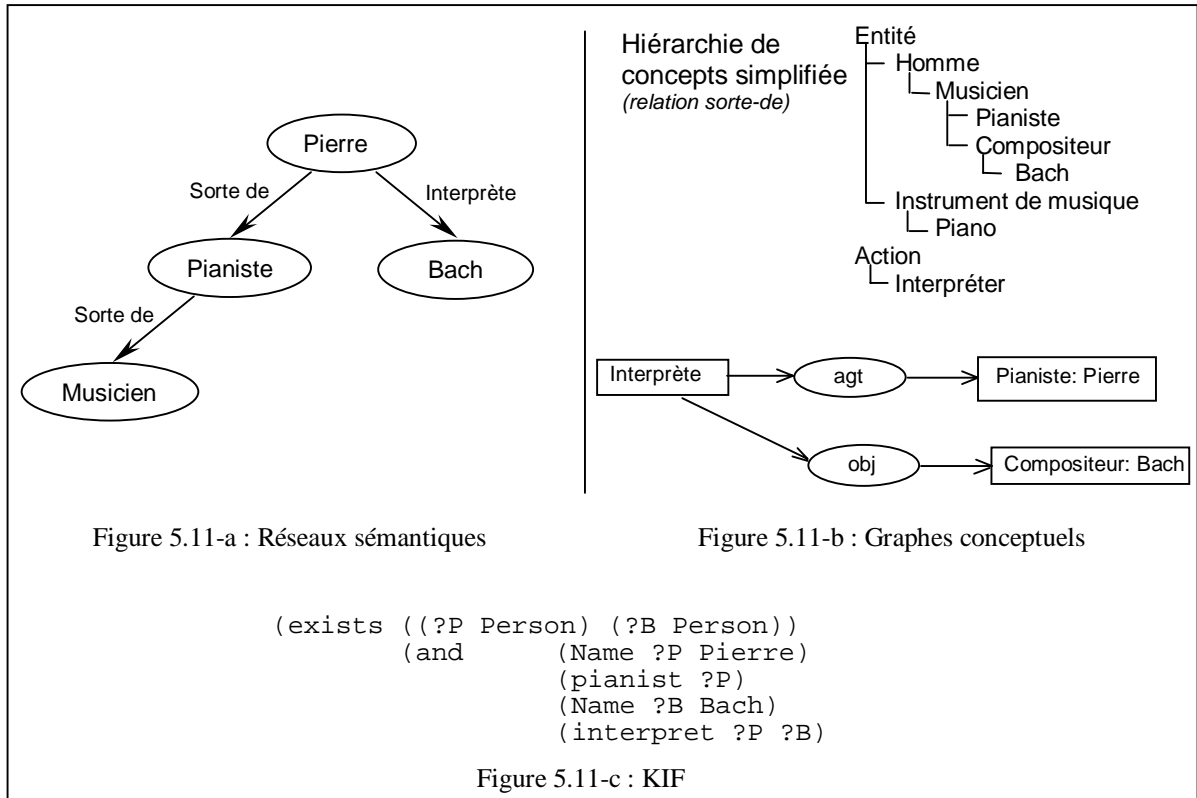


Figure 5.11 : Plusieurs représentations de la phrase "Le pianiste Pierre interprète Bach"

Il nous semble important de séparer, dans l'ontologie, les relations inhérentes à la nature même des concepts, c'est-à-dire les dépendances hiérarchiques tels les liens *sorte de* et les relations propres à un domaine, à une activité i.e. les attributs, les tâches, etc. Malgré leur assez grande facilité de lecture, les réseaux sémantiques ne différencient pas ces deux aspects. De plus, il est primordial, pour modéliser la connaissance d'un domaine, de communiquer de façon simple avec les spécialistes de ce domaine qui ne sont pas forcément informaticiens, KIF n'offre pas suffisamment de lisibilité pour permettre cela. C'est pourquoi le formalisme des graphes conceptuels nous a semblé le plus adapté à nos besoins. Ils sont à mi-chemin entre une représentation très conceptuelle (réseaux sémantiques) et une représentation logique (KIF). Ils sont faciles à comprendre, car proches du langage naturel, et sont, de plus, facile à étendre et à mettre à jour.

Précisons cependant que dans cette thèse nous utilisons les CG uniquement comme notation ; les données sont ensuite stockées dans une base de données relationnelle. Il y a plusieurs raisons pour lesquelles, dans un premier temps, nous n'avons pas utilisé les moteurs de graphes conceptuels existants, comme par exemple CoGITO (Conceptual Graphs Integrated Tools) [Haemmerlé, 1995a, 1995c] ou sa version plus évoluée CoGITaNT (CoGITO Allowing Nested Typed graphs). Tout d'abord, nous basons notre raisonnement sur le calcul de distance sémantique entre des vecteurs d'état conceptuels (section 4.1.4). Ces derniers sont composés de paires conjonctives conceptuelles pondérées. Une base de données relationnelle peut suffire à stocker ces PCC. De plus nous avons

⁷⁴ Tous les schémas représentant des GC dans cette thèse ont été réalisés avec l'outil d'interface graphique associé avec la plate-forme CoGITaNT, développée par David Genest (<http://www.lirmm.fr/~cogito/>).

voulu avant tout tester notre approche sur des cas simples, ne nécessitant pas la mise en œuvre de tous les opérateurs et méthodes de manipulation des graphes conceptuels. Cependant, dans la suite de nos travaux, l'utilisation d'une telle plate-forme sera envisagée.

5.1.2 Evaluation de documents grâce aux ontologies

Outre leur lisibilité et l'expression sémantique qu'elles offrent, les ontologies sont intéressantes dans une recherche d'information par proximité sémantique, car elles contiennent des liens d'hyponymie et d'hyponymie exploitables pour généraliser ou au contraire spécialiser une recherche d'information. De plus, elles permettent d'évaluer les propriétés d'un document et de déterminer sa valeur sémantique par projection et détermination de sa couverture ontologique. C'est ce que nous allons exposer dans cette section.

Concernant l'utilisation de la langue, par rapport à une connaissance sur le monde, le philosophe anglais H.P. Grice⁷⁵ a décrit les principes de coopération suivis par les personnes engagées dans une conversation [Grice, 1975]. Il en a extrait des maximes concernant les quatre qualités indispensables du discours :

- *quantité* : soyez aussi informatif que possible mais pas plus informatif que nécessaire ;
- *qualité* : ne dites pas ce qui n'est pas vrai ni ce que vous ne pouvez pas prouver ;
- *relation* : soyez pertinent ;
- et *manière* : évitez l'obscurité, l'ambiguïté, soyez bref et ordonnez les informations.

Ces propriétés qui traduisent le degré d'expressivité du discours peuvent être appliquées aux documents. C'est l'analogie que nous avons faite. Nous avons dégagé des propriétés documentaires qui font appel à ces qualités du discours, et nous proposons une méthode pour quantifier ces propriétés au moyen d'une ontologie du domaine.

Les points suivants détaillent quelques-uns des modes d'évaluation possibles des propriétés de documents. Ils sont récapitulés dans le Tableau 5.2 dont la première colonne mentionne le nom de la propriété documentaire, et la (ou les) qualité(s) du discours de H.P. Grice correspondante(s).

- Un document qui contient tous les concepts d'une ontologie est qualifié de *complet* contrairement à un document *incomplet* où n'apparaissent que certains concepts. Cette qualité est à rapprocher de la notion de "valence informationnelle" (introduite par J.P. Balpe et reprise par Yan Claeysse⁷⁶) qui correspond au nombre de concepts que contient une unité d'information ;
- La projection des concepts appartenant à un document sur une ontologie permet également de déterminer le degré de profondeur d'étude : un document qui ne couvre que les concepts les plus hauts dans la hiérarchie est qualifié de *superficiel* ou de *vulgarisation*, un document contenant essentiellement des concepts spécifiques de l'ontologie est dit *profond* ou *spécialisé* ;
- La *validité* d'un document par rapport à un domaine d'étude peut être déterminée par comparaison de son annotation avec l'ontologie. Cette comparaison ne varie pas dans le temps. Elle est effectuée au moment de la qualification des briques d'information par un auteur. La possibilité de déterminer la validité d'un document de façon simple et automatique constitue un champ de recherche à part entière (il serait possible d'envisager la mise en place d'analyseurs utilisant les techniques du traitement de langage naturel, par exemple) ;
- La *pertinence* d'un document a trait à l'importance des informations qu'il contient. Là aussi, cette importance est déterminée par l'auteur de la qualification qui peut en rendre compte, par exemple en attribuant des poids aux différents CSV ;

⁷⁵ <http://qsilver.queensu.ca/french/Cours/215/chap8.html>

⁷⁶ Hypertextes et hypermédia à l'adresse <http://home.nordnet.fr/~yclaeysse/hyper.htm>

- L'efficacité (ou concision) d'un document est sa capacité à transmettre un maximum d'information en un minimum de temps. Pour cela il faut éviter les redondances. Il est possible d'obtenir une évaluation de cette dernière en comptant le nombre de fois où les concepts de l'ontologie apparaissent dans le document. Il est clair que certains concepts *clés* du domaine peuvent apparaître souvent dans un document sans qu'il y ait pour autant de redondance. C'est le rapport entre l'importance d'un concept dans un domaine et le nombre d'utilisations dont il est l'objet qui doit être évalué afin d'estimer la redondance. Il est possible d'utiliser pour cela la pondération des concepts par exemple. Dans le même ordre d'idées, l'optimisation d'un discours peut être considérée comme une maximisation des relations et une minimisation de la réutilisation des concepts par rapport à une ontologie.

L'évaluation de toutes ces caractéristiques peut être déterminée en considérant uniquement les concepts et relations utilisés dans la qualification, dans la mesure où celle-ci a été réalisée avec soin. Elle doit respecter les qualités indispensables à une bonne indexation, entre autres : fidélité, complétude, objectivité, flexibilité, consistance et lisibilité. Nous détaillons ces qualités dans la section 5.4. Si cette qualification n'est pas suffisamment précise, ces méthodes basées sur des comparaisons avec l'ontologie nécessitent la mise en place de techniques d'analyse de texte ou d'analyse de documents de façon plus générale. Ces techniques rejoignent celles qui seraient utilisées pour automatiser la qualification. Nous avons, pendant un temps, étudié la possibilité d'une telle automatisation. Cependant celle-ci semble indésirable et très lourde, voire impossible à réaliser, d'une part parce que chaque média demande un traitement particulier, et d'autre part parce que certaines nuances sont seulement perceptibles par un humain.

Type de propriété documentaire <i>Qualité au sens de H.P.Grice</i>	Nom de la propriété... Caractéristiques par rapport à l'ontologie	... et propriété complémentaire Caractéristiques par rapport à l'ontologie
Complétude <i>quantité</i>	Complet Tous les concepts de l'ontologie du domaine apparaissent	Incomplet Certains concepts de l'ontologie ne sont pas traités dans le document
Profondeur <i>quantité</i>	Généraliste / De vulgarisation Seuls les concepts de haut niveau dans la hiérarchie sont traités dans le document	Spécialisé Les concepts de bas niveaux dans la hiérarchie sont traités
Validité <i>Qualité Relation</i>	Valide La sémantique est conforme à celle exprimée dans l'ontologie	Non valide La sémantique est fautive i.e. le document comporte des contresens par rapport à l'ontologie
Pertinence <i>Qualité Relation</i>	Pertinence / Importance Les informations du document sont importantes par rapport à l'étude du domaine (les poids des concepts utilisés sont forts)	Futilité Les informations du document sont négligeables par rapport au domaine d'étude (poids faibles)
Efficacité <i>Quantité Manière</i>	Optimisé / Non redondant Les concepts utilisés sont mentionnés peu de fois.	Redondant Certains concepts sont répétés trop de fois.

Tableau 5.2 : Tableau synoptique de l'évaluation des propriétés d'un document en utilisant une ontologie du domaine

Toutes les estimations qui ont été présentées ci-dessus peuvent être raffinées, et des études plus poussées avec l'aide de linguistes seraient souhaitables. Elles constituent une des suites possibles à cette thèse.

Après avoir justifié notre choix concernant les ontologies et l'utilisation que nous voulons en faire, nous allons détailler les deux types d'ontologies que nous avons définies pour la modélisation de la connaissance pédagogique et la modélisation de la connaissance d'un domaine d'étude.

5.2 Ontologie Pédagogique - OP

L'introduction d'une quelconque forme d'intelligence dans les systèmes éducatifs, suppose que ces derniers aient une certaine connaissance de la pédagogie. Dans le prototype Sibyl cette connaissance est modélisée dans une ontologie pédagogique que nous avons définie. Elle comprend les concepts, les définitions et relations entre ces concepts, ainsi que certaines règles particulières à différentes stratégies didactiques.

Les deux principaux avantages apportés par les ontologies, dans le domaine des SEI sont i) d'éviter aux développeurs de systèmes éducatifs de concevoir des systèmes à partir de rien, comme c'est actuellement toujours le cas, alors qu'en se basant sur une ontologie définie et reconnue (standard) une base commune serait réutilisable, et ii) de permettre de comparer les systèmes entre eux en utilisant l'ontologie en tant que *norme de langage*. [Schoening, 1997] souligne la nécessité d'avoir une ontologie pédagogique pour homogénéiser les concepts utilisés. Dans la suite, comme proposé dans [Ikeda et al., 1999] nous différencions deux niveaux de l'ontologie : le niveau lexical (vocabulaire) et le niveau conceptuel (définition des concepts et relations entre eux). La représentation à l'aide des graphes conceptuels est d'ailleurs parfaitement adaptée pour séparer ces niveaux. Dans une ontologie, les axiomes donnent les contraintes sémantiques sur les concepts que le modèle construit devra satisfaire. Plutôt que de partir de rien nous avons basé notre travail sur les résultats publiés dans [Mizoguchi et al., 1996]. Cependant nous avons réalisé beaucoup de simplifications et d'adaptations de ce modèle au nôtre, en particulier pour la mise en place des stratégies pédagogiques et pour respecter certaines structures didactiques déjà en place dans l'entreprise DIGITAL Equipment où a été réalisé le prototype *Sibyl*.

L'ontologie pédagogique présentée ici est plus complète que celle présentée dans [Ranwez et al., 2000]. Les modifications qui ont été apportées sont dues à notre collaboration avec une équipe de chercheurs de l'université de Bielefeld. Dans cette section nous présentons cette nouvelle ontologie pédagogique en la situant par rapport à la première publiée. Une présentation complète de la hiérarchie de concepts est donnée dans l'annexe A1. Nous ne présentons pas l'ensemble des définitions, car elles sont trop nombreuses et ne constituent pas le centre principal de notre recherche ; certaines sont présentées dans l'annexe A2.

5.2.1 Présentation générale de l'OP : la hiérarchie de concepts

Dans un cadre éducatif conventionnel, où le professeur et les étudiants se réunissent dans une même salle de classe, le professeur reconsidère constamment le plan pédagogique selon les difficultés rencontrées par les étudiants. Il repère ces difficultés soit par son observation de l'attention des étudiants, soit par leurs résultats à des tests. Dans le cas de systèmes automatisés, les étudiants doivent être guidés par le système qui se base sur sa connaissance pédagogique. Si la modélisation de la connaissance pédagogique a toujours été un domaine de recherche actif, il s'intensifie avec l'augmentation de l'utilisation d'Internet dans les écoles, les entreprises et à domicile. L'ontologie que nous avons mise en place est aussi générale que possible : elle peut servir de support pour des activités de formations diverses.

La description des connaissances pédagogiques présentée ici se focalise sur le transfert d'information. Chaque étape de ce transfert est une activité d'apprentissage précise mettant en œuvre

certaines acteurs : le système, l'apprenant, le groupe d'apprenants ou un tuteur humain. Il faut noter que cette ontologie ne se veut pas exhaustive, car le domaine de l'enseignement, et en particulier de l'enseignement à distance, est en continuelle évolution.

La hiérarchie de concepts que nous avons conçue n'a pas été élaborée suivant une méthodologie précise. Elle est le résultat de discussions, de tâtonnements divers, qui n'ont fait que confirmer le manque de méthodologie de conception des ontologies. La hiérarchie contient tous les concepts organisés suivant des liens d'hyponymie (est sous type de) et d'hyperonymie (est super type de). Les concepts de l'ontologie publiée dans [Ranwez et al., 2000] étaient classés en six groupes distincts : information, instruction, état de l'apprenant, fonctionnalités du système, objectifs pédagogiques et média. Nous détaillons les évolutions de ces différentes parties, même si dans la version actuelle ces parties ne sont pas toutes explicites.

5.2.1.1 Information

Cette partie regroupe les concepts qui permettent de décrire le monde réel tel qu'il est. Il peut s'agir par exemple d'un fait, d'une procédure, d'une classification, d'un principe, d'une structure, d'un contexte. Ces concepts appartiennent à la nature cognitive de la connaissance d'un domaine. Ils ne sont pas spécifiques à la pédagogie et sont utilisés de façon spontanée par les auteurs de la qualification du contenu des BI. C'est pourquoi cette partie n'apparaît plus dans notre nouveau modèle de l'OP. Cependant certains de ces concepts sont encore utilisés dans l'OP, ils ont changé de position dans la classification, les autres sont utilisés dans la description du domaine que nous détaillons dans la section suivante.

5.2.1.2 Rôle pédagogique (instruction) pour aider le transfert de connaissance

Cette partie contient tous les concepts permettant de transmettre l'information⁷⁷ à un individu. Ils traduisent la forme donnée par l'auteur d'un cours à une information du monde réel pour la rendre facilement assimilable par un apprenant : c'est la notion de *rôle pédagogique*.

Les instructions constituent la partie la plus importante de l'ontologie pédagogique. En effet, le transfert d'information se déroule dans le cadre d'un processus didactique interactif où chaque acteur joue un rôle. Chaque unité interactive est aussi petite que possible et destinée à un apprenant.

Prenons le cas d'une tâche particulière du processus d'apprentissage : la simulation. Dans un grand nombre de cas (chimie, vol aéronautique, vol spatial, etc.) l'expérimentation (l'apprentissage) ne peut pas être réalisée dans un milieu naturel car elle est trop compliquée, trop coûteuse ou trop dangereuse. Le résultat de la simulation permet à l'apprenant de conclure de la même façon que dans une expérimentation réelle. Dans ce cas précis, certaines informations jouent le rôle d'*introduction*, de *paramètre*, d'*hypothèse*, d'*énoncé* ou de *résultat*. C'est à partir de ces rôles, et avec l'aide des règles de stratégie pédagogique (section 5.2.2) et des grammaires formelles de construction de cours, que le système est en mesure d'ordonner les différentes BI. Les rôles influencent donc fortement la structure finale d'un document.

Un autre exemple de tâche d'apprentissage est la résolution d'un problème où les rôles d'*énoncé*, de *solution*, éventuellement d'*explications* vont être attribués à certaines informations. On trouve également dans cette partie les *répétitions*, qui consistent en l'exécution renouvelée intentionnelle d'une action ou d'un lien mental pour améliorer l'assimilation de certains cours, et les exercices (résolution de problèmes, questions à choix multiple, tests vrai-faux, etc.). Nous avons cité certains rôles⁷⁸ ci-dessus, mais il en existe beaucoup d'autres comme une *conclusion*, une *preuve*, une *explication*, un *théorème*, une *définition*, un *exemple*, un *contre-exemple*, une *description*, une

⁷⁷ Il est plus judicieux d'employer le terme transfert d'information que celui de transfert de connaissance, celle-ci étant propre à chaque individu, en fonction du degré d'assimilation de l'information qu'il a reçue. Nous employons néanmoins parfois le terme de transfert de connaissance car il est couramment utilisé en pédagogie.

⁷⁸ La nuance entre rôle et instruction est expliquée dans le chapitre 7

formule, une introduction, un exercice, etc. (c.f. annexe A1). Dans la DTD Karina présentée dans la suite les rôles sont statiques, ainsi que dans le standard IMS.

Nous expliquons dans la suite comment il est possible d'exploiter cette notion de rôle au niveau de la composition documentaire, puis nous proposons dans le chapitre 7 une méthodologie pour attribuer automatiquement un rôle à une brique d'information.

En comparaison avec l'OP initiale, cette partie s'est enrichie des concepts permettant de décrire les actions (pratiques, techniques, méthodes et stratégies) par lesquelles l'apprenant va *apprendre* ; cela concerne les actions humaines et logiques de l'apprentissage, les procédures et opérations mises en œuvre, les aides et outils, etc.

5.2.1.3 Modélisation de l'apprenant

Comme nous l'avons souligné, l'évolution des outils pédagogiques s'est rapidement traduite par la création de systèmes proposant des cursus personnalisés⁷⁹ ce qui suppose l'élaboration et l'exploitation d'un modèle de l'apprenant. Cette partie contient tous les concepts qui sont utilisés pour modéliser la connaissance qu'a le système de l'utilisateur. Parmi ces concepts, certains sont généraux (caractéristiques psychosensorielles des humains) d'autres sont personnels. Dans cette dernière catégorie on trouve des caractéristiques d'ordre affectif (préférences sur le média, la présentation, le style, la stratégie), d'autres d'ordre historique (âge, diplômes, expérience professionnelle, etc.) et d'autres enfin concernent la position de l'apprenant dans le cursus (nœuds visités, réponses données à certains exercices).

5.2.1.4 Fonctionnalités du système / aide à la navigation

Dans un processus éducatif en ligne, les fonctionnalités du système sont principalement axées sur l'aide à la navigation. En effet, toute l'interaction entre le système et l'apprenant consiste à fournir à celui-ci un document dont le contenu et la structuration satisfont les objectifs de celui-là. Pour retrouver la structure correspondant à une certaine stratégie didactique, la capacité à bien s'orienter sur un flot d'informations est primordiale. Un apprenant qui ne connaît presque rien d'un domaine peut néanmoins avoir une idée très précise de ce qu'il veut connaître à la fin du cours, mais ne pas savoir par où commencer.

5.2.1.5 Objectifs pédagogiques

Cette partie englobe tous les concepts représentant les motivations qui poussent un apprenant à suivre un cursus et/ou les objectifs des pédagogues. On trouve dans cette partie les concepts qui concernent le type de compétences à acquérir ainsi que les contraintes qui dépendent des conditions sociales, cognitives, affectives et psychosensorielles de l'apprenant. Ces objectifs sont également très importants dans notre approche puisque c'est d'eux que va dépendre en partie l'attribution des rôles. Le tuteur peut également spécifier les tâches d'apprentissage que l'apprenant doit réaliser : comprendre, appliquer, représenter, acquérir, évaluer, analyser, communiquer, etc. Pour chaque type d'objectif pédagogique, le système doit disposer d'une méthode d'évaluation qui détermine si l'objectif a été atteint. Dans le projet Karina cette évaluation n'est pas réalisée de façon automatique. Seul un bouton 'validation' permet à l'apprenant de dire au système s'il juge qu'il a assimilé une leçon.

5.2.1.6 Média

Dans cette dernière partie se retrouvent tous les concepts spécifiques aux médias qui véhiculent une information. On peut en distinguer deux types : ceux utilisés comme support à

⁷⁹ Nous faisons la même distinction entre personnalisé et personnalisable que la distinction faite entre adaptativité et adaptabilité proposée dans [Thevenin, 1999]. Personnalisé signifie adapté par le système à l'utilisateur, personnalisable signifie qui peut être modifié par l'utilisateur afin de mieux le satisfaire.

l'information elle-même : texte, tableau, image, enregistrement sonore, vidéo, etc. et ceux rencontrés comme support à la communication : Email, mailing list, téléphone, vidéo conférence, etc. Nous ne nous intéressons pas à la deuxième catégorie dans notre approche. Les concepts de cette partie sont utilisés pour une personnalisation de la présentation : pour une information donnée, on choisira le média le plus adapté, en fonction de la nature même de l'information (un exemple de sonate sera un enregistrement sonore) et de la préférence de l'utilisateur (le même propos peut être exprimé par un texte ou sous forme d'enregistrement sonore dans le cas d'application pour les non voyants par exemple).

5.2.2 Les Relations de l'OP

A la hiérarchie de concepts, la conception d'une ontologie doit ajouter la définition des relations entre ces concepts. Ces relations rendent compte des liens de méronymie⁸⁰, par exemple, ou des actions particulières dans un domaine précis. Cette section décrit certaines définitions que nous avons utilisées dans le prototype Sibyl.

5.2.2.1 Définition d'un objectif pédagogique

Un préambule indispensable à la conception d'un cours de qualité est une analyse profonde des motivations et des objectifs pédagogiques à atteindre par ce cours. La plupart du temps ces objectifs sont définis sur papier, dans une phase de préconception, sans l'aide d'un outil particulier. Dans le déroulement des phases suivantes de conception, ils ne sont présents que dans l'esprit du concepteur et ne sont que très peu, voire pas du tout utilisés par le système. Pourtant dans un système éducatif interactif l'identification précise des Objectifs Pédagogiques (LG pour Learning Goal) constitue une base solide tant pour la recherche des informations qui doivent figurer dans le document que pour la mise en place de la stratégie choisie. C'est pourquoi dans le projet Sibyl nous définissons un LG avec la structure suivante : "un apprenant dans un contexte donné doit agir sur quelque chose avec une certaine précision". Cette définition est représentée dans la Figure 5.12.

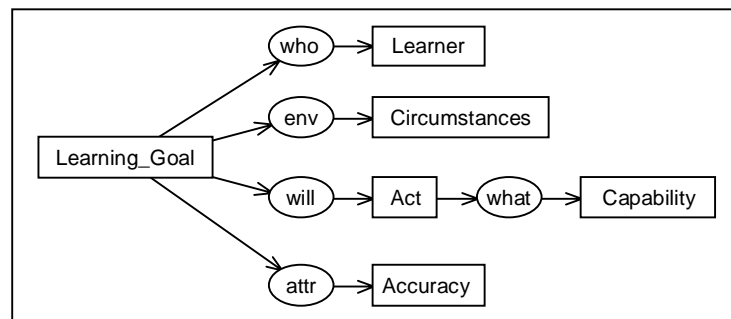


Figure 5.12 : Représentation générale d'un objectif pédagogique

A partir de cette définition, nous avons mis en place un environnement auteur permettant de décrire les objectifs du cours et le contenu souhaité. Nous ne détaillons pas cet environnement car il ne constitue pas le centre de notre recherche.

5.2.2.2 Définition d'un contre-exemple

Pour la formalisation d'un contre-exemple nous nous sommes inspirés de la définition donnée dans [Mizoguchi et al., 1996b] : un contre-exemple est un exemple donné comme indication à l'apprenant, produit par une méthode (fausse) supposée être la même que celle mise en œuvre par l'apprenant, mais qui ne respecte pas certaines conditions prédéfinies, connues. Autrement dit, le système permet à l'apprenant de comprendre que la méthode qu'il utilise ne marche pas dans tous les cas, en appliquant cette méthode sur un problème similaire, mais dont la solution est explicitement

⁸⁰ Relation de type 'est composé de'

fausse. A partir de cette définition nous avons formalisé le contre-exemple tel qu'il est présenté dans la Figure 5.13.

Cette modélisation du contre-exemple peut être utilisée pour évaluer l'apprenant et lui fournir des éclaircissements sur les points incompris. Nous n'avons pas encore introduit cette fonctionnalité dans le système.

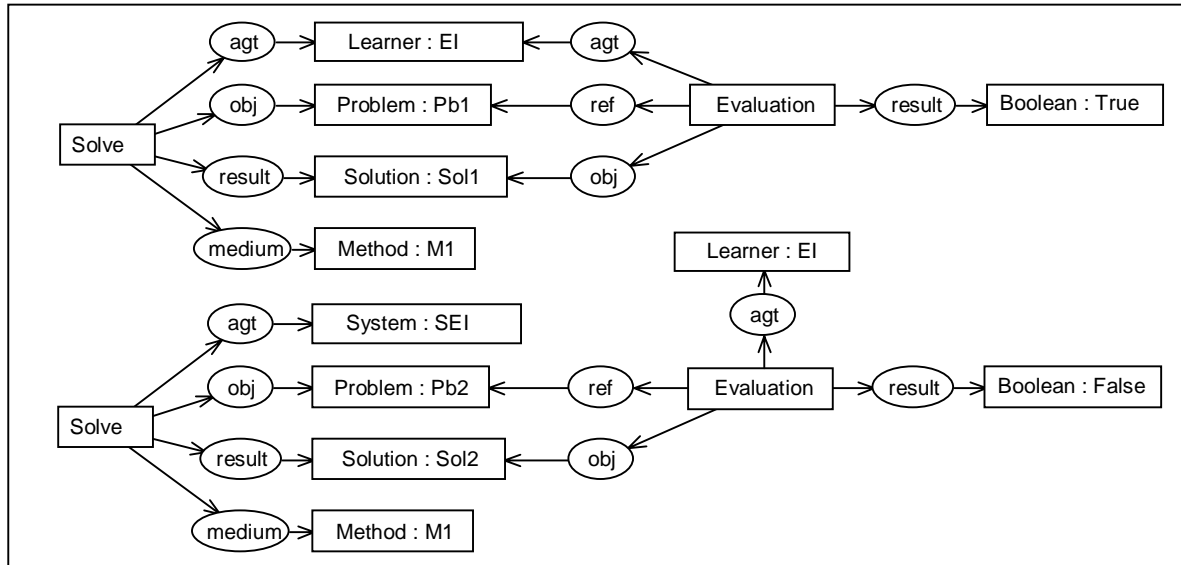


Figure 5.13 : modélisation d'un contre-exemple

5.2.2.3 Autres définitions

La Figure 5.12 et la Figure 5.13 ont présenté deux exemples de définition, mais la plupart des concepts ne possèdent pas une définition aussi complexe. Dans la majorité des cas, seules certaines relations restreignent les liens des concepts entre eux. Par exemple le fait qu'une durée est de type 'période de temps', qu'un environnement est de type 'contexte', qu'une structure concerne tout ce qui peut être divisé en plusieurs parties, que le résultat d'un test est une solution ou que la conséquence d'un événement est un événement. Ces relations sont présentées dans la Figure 5.14.

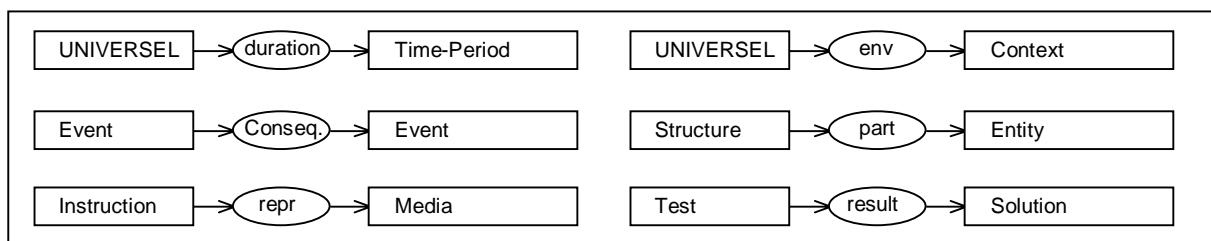


Figure 5.14 : Autres exemples de définitions de l'OP

La définition précise des relations entre concepts n'est pas suffisante. Il faut lui adjoindre la définition de règles précises pour permettre l'application de stratégies différentes lors de la composition d'un cours. La section suivante présente ces règles toujours avec le formalisme des graphes conceptuels.

5.2.3 Modélisations des stratégies pédagogiques

Les stratégies pédagogiques sont les heuristiques utilisées par les enseignants pour diriger la navigation de l'apprenant au travers d'un ensemble de ressources (explications, simulations, exercices, etc.). Tous les enseignants utilisent ce genre d'heuristiques, même si c'est de façon

implicite. La seule chose qui soit visible pour l'apprenant est le plan didactique et les interactions locales.

Il existe plusieurs sortes de règles. Certaines sont générales et peuvent toujours être appliquées, d'autres sont spécifiques à un type de stratégie.

Note — Les règles présentées ici utilisent toutes les rôles pédagogiques comme critères.

5.2.3.1 Règles générales

Les règles d'ordre général sont celles qui sont valides et mises en œuvre quel que soit le contexte. Par exemple "une introduction à un sujet donné précède toute autre instruction concernant le même sujet" (Figure 5.15). On trouve également dans cette partie, les règles relatives à l'ordonnancement des URL pour bâtir le plan didactique en fonction des contraintes imposées sur les concepts. Par exemple "lorsqu'un concept est composé d'éléments ordonnés (comme c'est le cas pour la sonate par exemple - voir section suivante) il faut que les URL correspondants soient ordonnés suivant le même ordre (l'enregistrement de l'exposition sera accessible avant celui de la coda)". Ces règles sont toutes utilisées lors de l'étape d'organisation. Elles permettent au système de bâtir un plan didactique cohérent. Nous avons également introduit, pour le projet Sibyl, des attributs, *visible* et *visité*, qui sont attribués aux ressources pendant le déroulement du cursus. Des règles générales leur sont associées, comme par exemple "si deux concepts sont ordonnés, l'attribut visible du second n'est affecté que si l'attribut visité du premier est affecté".

Il existe une autre catégorie de règles qui sont appliquées dynamiquement. Par exemple une règle doit préconiser l'insertion d'un exemple dans le cas où une explication ne serait pas suffisamment assimilée (erreurs lors de tests de connaissance). Ces règles nécessitent la mise en place de techniques d'évaluations en temps réel de l'apprenant. Elles n'ont pas encore été implémentées dans le prototype Sibyl.

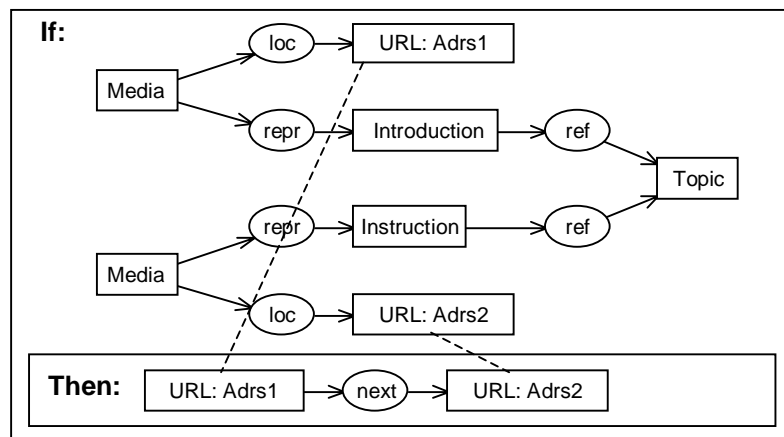


Figure 5.15 : Exemple de règle générale
"une introduction d'un sujet précède toute instruction concernant le même sujet"

5.2.3.2 Règles spécifiques à un type de stratégie

Certaines règles sont propres au type de stratégie choisi. La Figure 5.16 montre une règle utilisée en stratégie descendante mentionnant que si un exemple et une explication se réfèrent à un même sujet, la présentation de l'explication doit précéder la présentation de l'exemple. La Figure 5.17 présente la règle similaire qui est appliquée dans une stratégie ascendante.

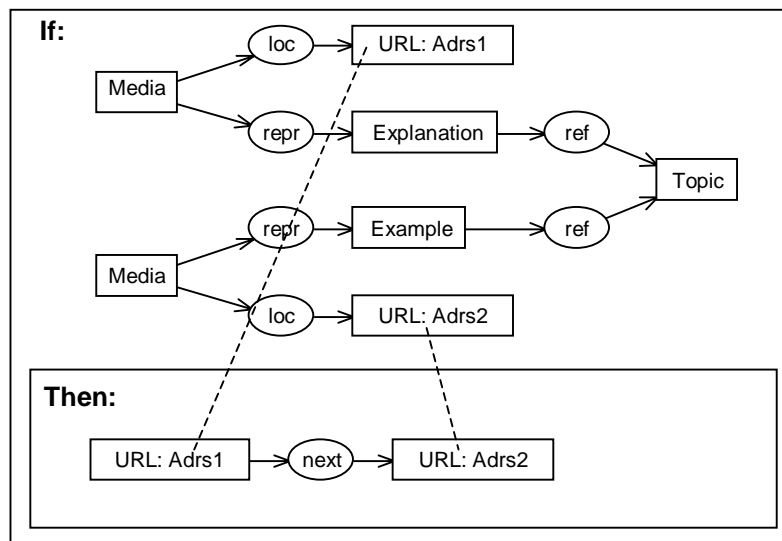


Figure 5.16 : Exemple d'une règle utilisée en stratégie descendante "l'explication précède l'exemple"

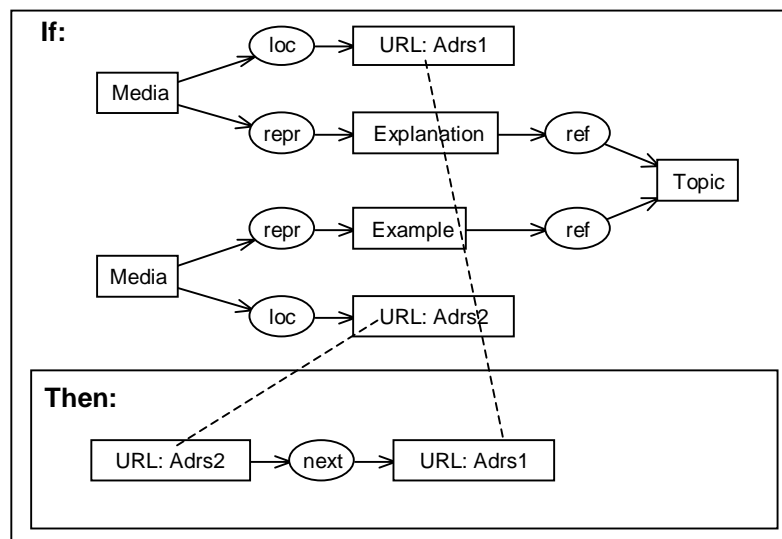


Figure 5.17: Exemple de règle utilisé dans une stratégie ascendante "l'exemple précède l'explication"

La modélisation de la connaissance pédagogique à l'aide d'une ontologie permet d'exprimer à la fois le vocabulaire didactique, les relations autorisées entre les mots de ce vocabulaire mais également certaines règles qui peuvent traduire le comportement de certains concepts. Cette modélisation associée à celle de la connaissance du domaine doit permettre une forme de raisonnement utilisée lors de la composition de cours.

5.3 Ontologie du Domaine - OD

Pour appliquer un raisonnement particulier sur la connaissance d'un domaine, le système doit en posséder un modèle, appelée théorie du domaine [Gruber, 1993a]. Nous avons choisi d'utiliser le même mode de représentation pour l'ontologie du domaine que pour l'ontologie pédagogique, d'une part parce que ce mode de représentation est puissant d'autre part parce que cela nous permet de disposer d'un mode de raisonnement unique. De ce fait il est possible d'associer les deux

représentations, et d'y appliquer la même technique de raisonnement. Nous modélisons également l'ontologie du domaine sous forme de GC. L'exemple présenté ici est celui d'un cours sur les sonates.

5.3.1 Hiérarchie de concepts de l'OD

Pour concevoir cette ontologie nous avons recensé et organisé les concepts utilisés dans un cours sur les sonates conçu pour le projet VLL⁸¹. Une partie de la hiérarchie de concepts utilisés dans le domaine des sonates est donnée dans la Figure 5.18 (les liens entre les concepts sont toujours des liens 'sorte-de') ; la hiérarchie complète est présentée dans l'annexe B1. Cette hiérarchie permet d'établir les liens de spécialisation entre les concepts. C'est par elle que le système peut déduire, par exemple, que Beethoven est une spécialisation d'un compositeur de sonate.

5.3.2 Définitions et relations sur les concepts de l'OD

Concernant les relations qui unissent les concepts de ce domaine, certaines définitions précises sont modélisées (c.f. annexe B2). La Figure 5.19 présente la structure d'une *sonate* : une sonate est composée de quatre mouvements ordonnés, qui sont l'*exposition*, le *développement*, la *réexposition* ou *récapitulation* et la *coda*. En général, l'exposition et la récapitulation ont le même *thème*. Chacun de ces mouvements est lui aussi structuré de façon précise, c'est ce que traduit la Figure 5.20 concernant l'exposition. Celle-ci est la succession d'une aire primaire (primary area) suivi d'une transition, d'une aire secondaire (secondary area), d'une continuation et d'une aire de clôture (closing area).

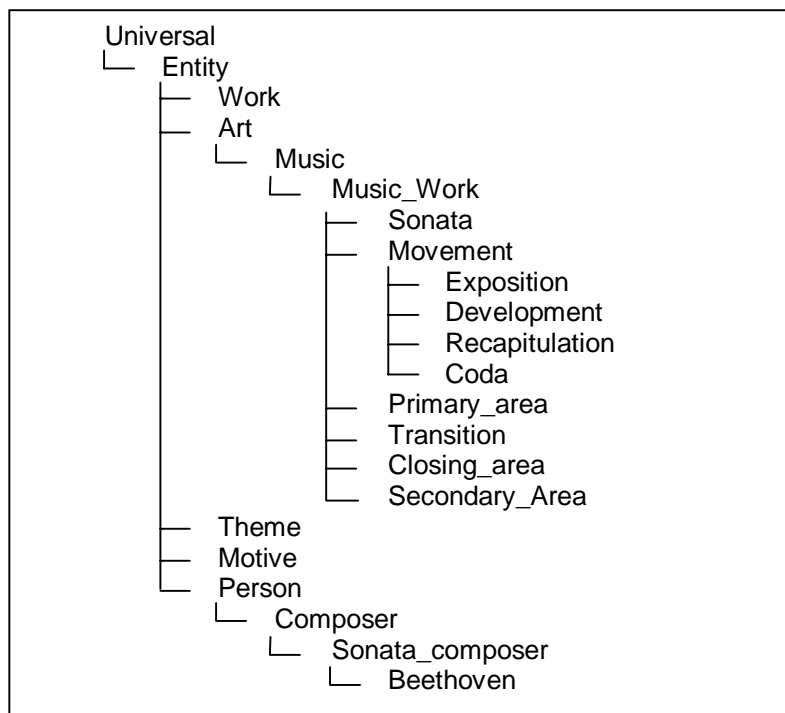


Figure 5.18 : Hiérarchie simplifiée des concepts du domaine des sonates

L'utilisation des deux ontologies que nous venons de décrire par le système et les modes de raisonnement qui y sont appliqués seront présentés dans la suite. Mais auparavant il est nécessaire d'expliquer comment ces ontologies sont mises en relation avec les briques d'information au moyen de la qualification.

⁸¹ C.f. section 1.1.3.1

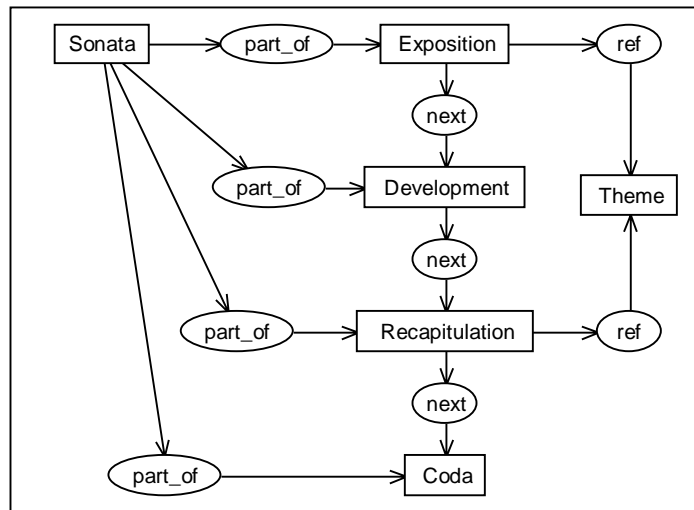


Figure 5.19 : Modélisation de la structure d'une sonate

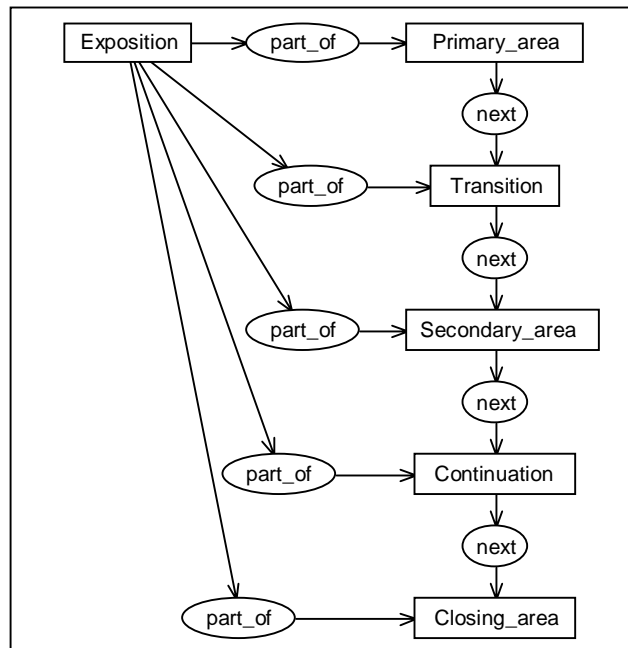


Figure 5.20 : Modélisation de la structure d'une Exposition

5.4 Qualification Sémantique des BI

L'objectif principal de cette thèse n'est pas d'étudier dans le détail les modes de qualification et leurs caractéristiques. Néanmoins, cette section reprend quelques aspects qui nous paraissent utiles pour aider le lecteur à comprendre notre démarche. Nous exposons ensuite les modes de qualification qui sont utilisés dans les projets Sibyl et Karina.

5.4.1 Principes et qualités d'une qualification

La qualification repose sur deux principes antagonistes. Le premier tend à réduire la sémantique d'une BI : l'auteur⁸² de la qualification extrait certaines informations qui lui semblent

⁸² Il peut s'agir d'un humain ou d'un système automatisé.

pertinentes en fonction d'une utilisation particulière. Le deuxième tend à apporter du sens : certaines informations parallèles à celles contenues dans la BI peuvent être apportées, par exemple l'éditeur d'un texte, la date de création d'un cours ou des impressions émotionnelles (érotisme, violence, poésie,...). Ce dernier aspect permet par exemple de rejeter ou non une BI, lors de l'étape de filtrage, en fonction de l'âge d'un utilisateur.

Suivant la nature de ces informations subsidiaires, la qualification peut contenir des mots provenant de domaines différents. Comme nous l'avons dit, une attention particulière devra être donnée pour désambiguïser des mots et éviter la polysémie. De plus le deuxième principe laisse libre cours à la subjectivité. Celle-ci doit être contrôlée si l'on veut conférer une certaine qualité à la qualification.

Voici une présentation des qualités d'une qualification suivant trois catégories.

La première catégorie concerne la simplicité de la qualification. Elle comprend l'*économie* car la qualification ne doit pas demander un traitement trop long et la *lisibilité* afin qu'elle soit facilement interprétable par un humain.

La deuxième catégorie est primordiale dans notre approche car elle concerne les propriétés qui assurent que la représentativité de la qualification est bonne et que cette dernière est riche en contenu et en structuration sémantique. Cette catégorie englobe la *fidélité* i.e. représenter au plus près l'information contenue dans la BI, la *complétude* ce qui permet d'adapter la qualification à plusieurs types de demandes, la *flexibilité* qui traduit plusieurs points de vue et l'*objectivité* qui interdit toute interprétation personnelle de la part de l'auteur de la qualification.

Enfin la troisième catégorie englobe les propriétés qui concernent l'aspect technique de la qualification : son automatisation ou le traitement des méta-informations (stockage, accès, échange, fusion, calculs sémantiques, etc.). Ces propriétés sont les suivantes : la *consistance* qui assure qu'il n'y a pas de contradictions dans la qualification, l'*exploitabilité* ou *réutilisabilité* qui assurent son utilisation soit dans plusieurs applications, soit dans une même application mais dans des contextes différents, la *calculabilité* qui permet son traitement par un système informatique, l'*accessibilité* et enfin l'*évaluabilité* qui permet aux utilisateurs de connaître les limites d'utilisation de la qualification.

Il y a une certaine contradiction à vouloir satisfaire toutes ces propriétés à la fois, par exemple flexibilité et objectivité. Il n'y a donc pas de méthode universelle ; une qualification est toujours dirigée par un but qui privilégie certaines des qualités que nous avons évoquées. Néanmoins, il est possible de répondre au besoin de structuration des annotations, avec les nouveaux standards émergents de nouvelles technologies de l'Internet.

5.4.2 Position par rapport à XML et RDF

Dans la section 2.4.2 nous avons présenté l'indexation sur l'Internet et deux nouveaux standards qui émergent : XML et RDF. L'objectif de cette section est de positionner notre approche par rapport à ces modèles.

RDF fournit une syntaxe qui permet à plusieurs applications associées de reconnaître et d'échanger des méta-données. Ces méta-données sont stockées sous forme de diagramme entité-relation, mais il n'existe pas de mécanisme pour déclarer les propriétés, et définir les liens entre ces propriétés et la sémantique correspondante. C'est pourquoi les schémas de description RDF⁸³ (RDFS) ont été conçus. Ces schémas n'ont pas la même finalité que les DTD XML. Si une DTD donne des contraintes spécifiques sur la structure d'un document XML, un schéma RDF fournit les informations nécessaires à l'interprétation des spécifications d'un modèle de données RDF. Une DTD est utilisée pour valider la syntaxe d'une expression, les schémas RDF peuvent en plus spécifier des contraintes de consistance qui doivent être respectées.

⁸³ <http://www.w3.org/TR/2000/CR-rdf-schema-20000327/>

En comparaison avec les graphes conceptuels, RDF ne possède ni opérateur de négation ni opérateur booléen ; il n'a pas de quantificateur et se limite à des relations dyadiques. Cependant RDF étant en cours de standardisation, nous avons souhaité rester compatibles avec son formalisme. Cette compatibilité est en partie due à certaines équivalences entre le langage XML et RDF (Figure 5.21). Seuls certains traitements changent. On remarquera cependant que notre notation fixe un certain ordre entre les propriétés.

```

Notre notation
<element>
  <source>toto.html</source>
  <prop>relation</prop>
  <destination>tutu</destination>
</element>

Notation type RDF
<element source="toto.html"
  prop="relation"
  destination="tutu" />
    
```

Figure 5.21 : Notations équivalentes en XML

5.4.3 La qualification des BI dans deux applications différentes

[Motta, 2000] préfère parler d'enrichissement plutôt que d'annotation pour associer un modèle formel graphique ou textuel à un document. En ce qui nous concerne nous utilisons le terme de qualification. Pour la qualification des briques d'information, nous avons utilisé deux techniques chacune dans des projets différents. Elles ont leurs caractéristiques propres, c'est pourquoi il nous semble important de les citer toutes les deux.

5.4.3.1 La qualification dans le projet Sibyl

Dans le projet Sibyl, toutes les briques d'information disponibles sont des documents HTML bien définis. Il n'y a pas de segmentation supplémentaire à effectuer. L'auteur de la qualification utilise conjointement l'ontologie pédagogique et celle du domaine pour décrire les méta-données correspondant aux BI. C'est donc lui seul qui, par son annotation des BI, décrit les liens entre ces deux modèles de connaissance.

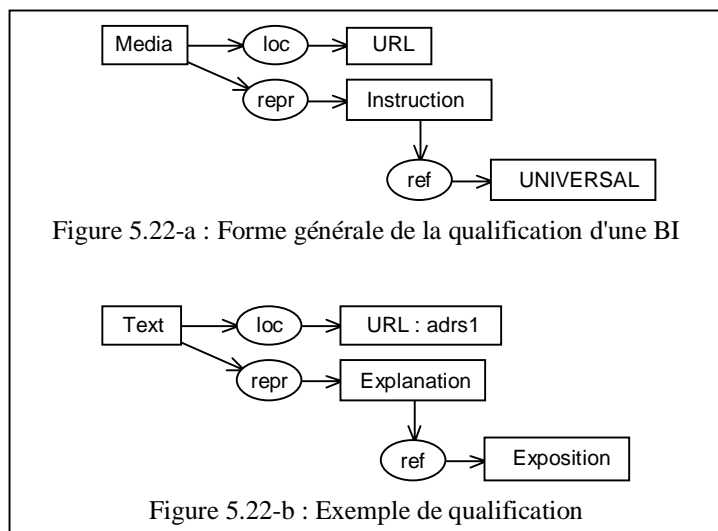


Figure 5.22 : La qualification dans le projet Sibyl

La forme générale d'une qualification est donnée dans la Figure 5.22-a. Un média supporte l'information d'un document stocké à une adresse (URL) donnée. Ce document joue un rôle bien défini dans un cursus pédagogique, en rapport avec un certain concept. Un exemple concret de qualification est donné dans la Figure 5.22-b, où le concept *exposition* appartient à l'ontologie du domaine alors que *explication* appartient à l'ontologie pédagogique.

Dans cette méthode de qualification, on remarque que les rôles sont figés, inclus dans la description des BI, bien avant leur utilisation dans une quelconque composition de documents.

5.4.3.2 La qualification dans le projet Karina

Dans le projet Karina, la méthode de qualification est beaucoup plus riche que dans le projet Sibyl, car l'approche se veut plus générique. Une DTD compatible avec les recommandations IMS⁸⁴ ou le Dublin Core⁸⁵ a été mise au point. Elle est présentée dans [Crampes et al., 2000c]. Je n'ai pas participé à la conception de cette DTD, mais il me semble important qu'elle figure dans cette thèse car elle forme un tout avec les méthodes de composition de documents qui seront présentées dans la suite.

Structure de la DTD

Comme le souligne Cécile Roisin, "les éditeurs préviennent la production de documents dont la structure spécifique ne serait pas consistante" [Roisin, 1999]. Telle est également la motivation qui a conduit à concevoir cette DTD. En effet cette dernière assure une structuration toujours valide de nos qualifications et a permis la mise en place d'un outil d'aide à la qualification.

Un *document qualifié*, ou une BI, est d'abord considéré d'un point de vue éditoriel. Ce champ de *description éditorielle* spécifie les *auteurs*, la *date de création*, les *autorisations* d'utilisation de ce document, le *format*, la *langue*, etc. Ensuite, les méta-données portant sur la totalité du document sont décrites (élément *global*). Un élément *segment* permet d'annoter des parties de BI ayant une portée définie (par sa dimension textuelle s'il s'agit d'un texte ou sa dimension temporelle s'il s'agit d'une vidéo ou d'un enregistrement). Enfin il est possible de qualifier des événements ponctuels par des descriptions locales (élément *local*). Ce mode de qualification sur des éléments de portées différentes est important dans la mesure où il s'affranchit d'une segmentation figée des documents. Pour une vidéo par exemple, il est possible de la stocker 'entière' dans une base de données et d'accéder à ses différentes parties par la qualification. Dans le cas où les segments de vidéo seraient physiquement segmentés, plusieurs segments pouvant se recouper, la taille de la base de données devrait être grande car plusieurs scènes pourraient être répétées. La possibilité de décrire un bloc permet également d'avoir plusieurs niveaux de segmentation. On a alors la possibilité d'indexer des éléments de granularité fixe (segments) ou variable (local). La Figure 5.23 donne la forme du premier élément de la DTD.

```
<!ELEMENT document_qualifie (description_editorielle,
                                global,
                                local*,
                                segment*)
>
```

Figure 5.23 : Premier élément de la DTD Karina

Chaque niveau de portée (global, segment et local) est ensuite décrit suivant une même structure avec des méta-données sur lesquelles il est possible d'appliquer un calcul de navigation, d'extraction et de composition. Un exemple pour l'élément *segment* est donné dans la Figure 5.24.

⁸⁴ <http://www.imsproject.org/>

⁸⁵ <http://purl.org/DC/>

```
<!ELEMENT segment (description_contenu,
                    description_pedagogique,
                    description_economique,
                    description_presentation,
                    description_evenementielle ?,
                    description_karina ?) >
```

Figure 5.24 : Structure de la description de l'élément segment

La *description du contenu* contient une *description conceptuelle* en langage ontologique, une *description* en langage naturel, le *domaine*, l'*origine*, le *titre* et l'*adresse* du document associé. La *description pédagogique* concerne le rôle que peut jouer la BI dans un document (ce rôle est fixé lors de la qualification), le *niveau de difficulté* de la BI, les *objectifs*, le *style pédagogique*, et surtout les *pré-requis* nécessaires à la compréhension de cette BI. La *description économique* traduit l'estimation de la durée de la prise de connaissance de la BI. La *présentation* spécifie le ou les média qui supporte l'information. La *description événementielle* n'est pas utilisée ; elle doit permettre d'associer des événements aux BI. Enfin la *description Karina* est la plus importante dans notre approche puisque c'est elle qui permet grâce à son élément *relation conceptuelle* de formaliser la représentation des CSV. Pour cela elle utilise plusieurs *phrases-kldp* (karina langage de description profond) pour représenter les paires conjonctives conceptuelles. Sa forme est donnée dans la Figure 5.25. Cet élément est également utilisé pour la description du contenu et des pré-requis. Nous verrons leur utilisation dans le chapitre suivant lors de la composition de documents.

```
<!ELEMENT phrase_kldp (ontologie,
                      source_kldp,
                      relation_kldp,
                      destination_kldp) >
<!ATTLIST phrase_kldp poids (#PCDATA) #IMPLIED >
```

Figure 5.25 : Structure de l'élément phrase-kldp

On note ici qu'un seul niveau de pondération est pris en compte, celui de portée globale. Une pondération de chaque élément est souhaitable. La forme générale d'une qualification fidèle à cette DTD est donnée dans la Figure 5.26.

DTD des ontologies

Une DTD pour la représentation des ontologies par un fichier XML a également été définie. Sa version initiale est très simple ; elle décrit une ontologie comme un nœud et un ensemble de relations. Chaque nœud est lui-même composé de 0 ou plusieurs nœuds et une relation possède comme attributs un triplet (nom, source, destination). Par cette structure, il est possible de définir une hiérarchie i.e. une arborescence de concepts et un ensemble de relations sur ces concepts. Nous ne détaillons pas d'avantage cette DTD car elle ne fait pas partie de nos travaux, le lecteur intéressé pourra se référer à [Plantié, 2000] qui en présente une version plus complète.

```

<doc_qualifié>
  <description éditorielle>
    <auteur>...<auteur>
    <date>...<date>
    <identificateur>...<identificateur>
    <droits>...<droits>
    <méta-description>...<méta-description>
    <role>...<role>
    <version>...<version>
    <format>...<format>
    <langage>...<langage>
  </description éditorielle>
  <global>
    <description du contenu>
      <description conceptuelle>...
      <domaine>...
      ...</description du contenu>
    <description pédagogique>...
    <description économique>...
    <description diffusion>...
    <description karina>
  </global>

  <segment>...</segment>

  <local>...</local>
</doc_qualifié>

```

Figure 5.26 : structure générale d'une qualification

L'outil de qualification de Karina

Un outil de qualification a été développé afin de permettre à l'auteur de la qualification d'écrire des méta-données cohérentes avec l'ontologie du domaine. Cet outil met des restrictions par exemple sur les relations entre les concepts, afin que seules soient spécifiées des relations valides dans un domaine donné. Il permet ainsi une qualification semi-automatique puisqu'une fois qu'il a précisé l'ontologie avec laquelle il souhaite travailler, l'auteur n'a plus qu'à sélectionner les concepts et les relations qui lui sont proposés pour faire l'indexation conceptuelle. Les différents champs de l'instance correspondant à la DTD doivent être remplis à la main comme le montre la Figure 5.27.

Chaque concept et chaque relation peuvent être pondérés. Les phrases kldp sont écrites en langage semi-naturel pour faciliter la lisibilité (zone de texte en bas au centre de la Figure 5.27). Le nombre de phrases associées à une BI n'est pas limité, on peut donc exprimer autant de points de vue qu'on le souhaite.

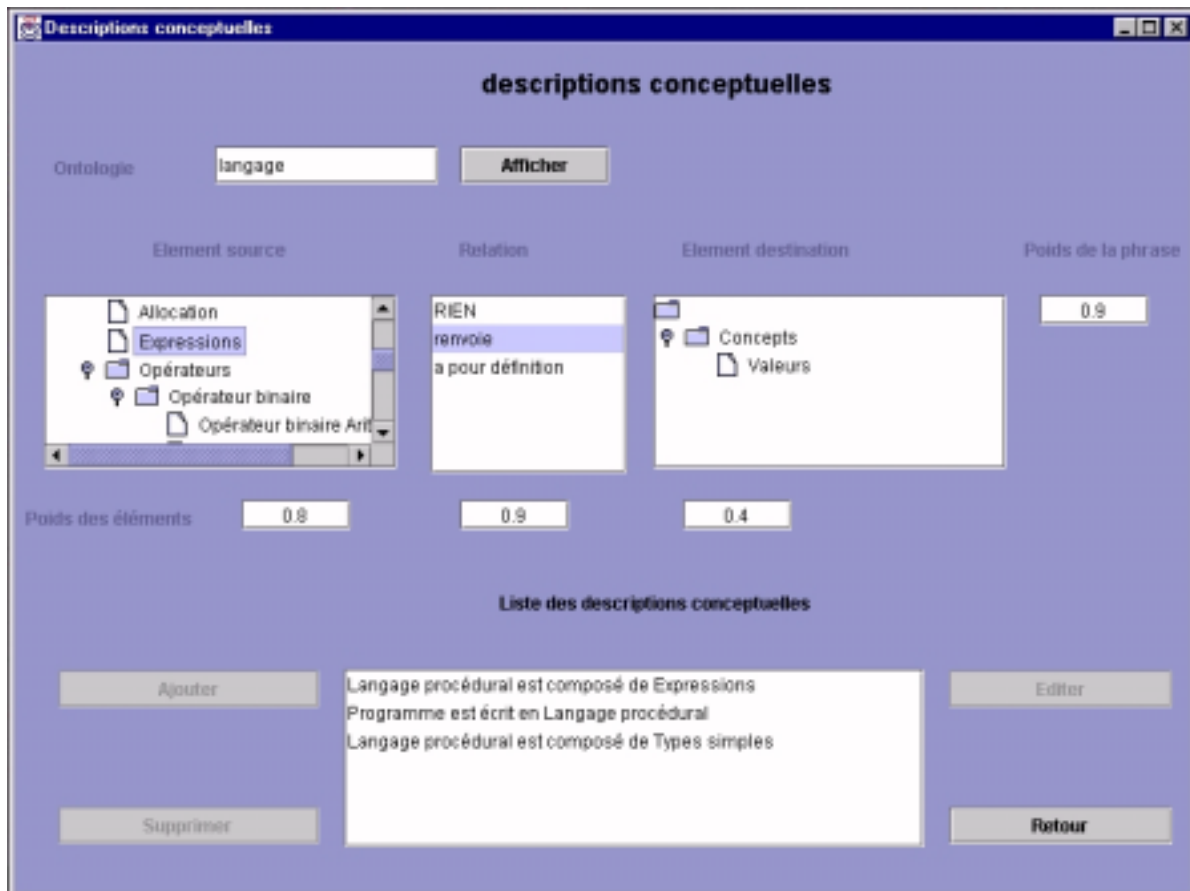


Figure 5.27 : Interface de l'outil de qualification du projet Karina

Conclusion

Ce chapitre a présenté la modélisation de la connaissance que nous avons adoptée. Nous avons justifié notre choix d'utiliser les ontologies et l'avons appliqué à la modélisation de la connaissance pédagogique et à celle du domaine enseigné. Nous avons alors présenté nos deux modèles l'Ontologie Pédagogique et l'Ontologie du Domaine. L'OP décrit tous les concepts utilisés lors d'un processus d'apprentissage, et entre autres, les rôles didactiques que peuvent jouer des BI au sein de ce processus. Elle contient également les définitions de ces concepts, et les règles nécessaires au système pour organiser les BI suivant des stratégies didactiques précises et en respectant certaines contraintes. L'OD définit le vocabulaire d'un domaine et les relations entre les mots de ce vocabulaire. Elle permet au système d'évaluer les connaissances qui doivent apparaître dans le document final et, comme nous le détaillerons par la suite, d'affiner la recherche d'information et la mesure des qualités documentaires du document final.

Nous avons ensuite expliqué comment ces ontologies sont mises en relation avec les données réelles, c'est-à-dire les BI qui décrivent des parties de cours. L'utilisation d'ontologie comme base à la qualification revêt celle-ci d'une dimension sémantique.

Cette modélisation de la connaissance sert de base au raisonnement appliqué par le système lors de la composition documentaire. Nous présentons dans le chapitre suivant deux approches différentes de cette composition. Toutes les deux utilisent les ontologies, mais de façon différente. L'une d'entre-elles associe l'OP et l'OD lors des étapes de recherche d'information et d'organisation de la composition.

Chapitre 6

Les Droits Imprescriptibles du Lecteur :

1. *Le droit de ne pas lire.*
2. *Le droit de sauter des pages.*
3. *Le droit de ne pas finir un livre.*
4. *Le droit de relire.*
5. *Le droit de lire n'importe quoi.*
6. *Le droit au bovarysme (maladie textuellement transmissible).*
7. *Le droit de lire n'importe où.*
8. *Le droit de grappiller.*
9. *Le droit de lire à haute voix.*
10. *Le droit de nous taire.*

Daniel Pennac (Comme un roman)

Principes d'une composition basée sur l'association d'ontologies

6.1 Une approche de la composition : le projet Karina.....	122
6.1.1 Présentation générale du projet	123
6.1.2 La recherche d'information dans Karina	123
6.1.3 Le filtrage dans Karina	123
6.1.4 La méthode d'organisation dans Karina.....	124
6.1.5 L'assemblage et la présentation dans Karina.....	124
6.1.6 Limites de l'approche Karina	124
6.2 Le prototype Sibyl.....	125
6.2.1 Présentation générale du projet	126
6.2.2 La recherche d'information dans Sibyl	127
6.2.3 Le filtrage dans Sibyl.....	129
6.2.4 La méthode d'organisation dans Sibyl	129
6.2.5 L'assemblage et la présentation dans Sibyl	130
6.2.6 Synthèse sur la navigation guidée par les ontologies et limites.....	131
6.3 Récapitulation	133
Conclusion.....	134

Les hypermédia sont devenus un standard tant pour les applications Intranet qu'Internet dont la popularité ne cesse d'augmenter. Ils sont donc largement utilisés pour stocker et exploiter de très larges bases de connaissances, y compris pour des applications éducatives. Pourtant, les systèmes basés sur un mode de navigation usuel ont été critiqués dans le domaine de l'éducation car ils laissent l'étudiant trop libre de choisir le lien le plus attrayant [Linard, 1995]. Un des problèmes fondamentaux est le suivant : comment traverser une structure hypermédia conformément à une stratégie précise ? En effet, très focalisés sur les liens entre les informations, les hypermédiats traditionnels n'ont que peu de moyens pour exprimer la sémantique utilisée dans un domaine donné. Ils ne paraissent donc pas constituer le support idéal pour la manipulation de données par la sémantique et pour la conception d'un parcours au travers de ces données conformément à un style pédagogique. De plus, la modularité n'est pas aisée et par voie de conséquence, la création, la navigation et la maintenance des données dans un réseau hypermédia deviennent d'autant plus complexes que le nombre de nœuds est élevé.

Certaines recherches, dont les nôtres, portent sur l'intégration de systèmes interactifs pour le soutien didactique dans la navigation et la réutilisation de matériaux pédagogiques sur l'Internet. Elles s'intéressent principalement à trois caractéristiques :

- *L'adaptabilité*. Les auteurs et les apprenants utilisant le système doivent disposer de stratégies pédagogiques variables permettant de construire un cours en conséquence ;
- *L'aide à la navigation*. L'apprenant doit être guidé soit par une interface adaptative, soit par la création d'un document personnalisé, prenant en compte son état présent : ses actions passées, ses préférences, les résultats obtenus à certains tests, etc. ;
- *Le multimédia*. Chaque cours est composé de Briques d'Information disponibles sous un ou plusieurs média. Chaque BI doit être annotée pour permettre au système de retrouver les BI les plus pertinentes sémantiquement, mais en tenant compte également de la dimension médiatique.

Notre approche concerne la conception de tels systèmes. La méthode de navigation sur la connaissance que nous proposons se veut suffisamment directive pour permettre un transfert d'information de qualité, mais suffisamment souple pour laisser un certain degré de liberté aux apprenants. Les techniques qui la supportent et la dirigent sont basées sur l'association de deux ontologies, c'est pourquoi nous utilisons le terme de *navigation guidée par l'ontologie* (ontologie-driven). Le principe de la navigation guidée par l'ontologie est présenté dans [Ranwez et al., 2000] même si le terme exact n'est employé qu'à partir de [Crampes et al., 2000a]. Le terme *ontology-driven* est également employé dans [Motta et al., 2000]. Les auteurs utilisent ce terme pour qualifier la construction de leur modèle de connaissance par génération d'ontologie en opposition avec une approche ascendante par annotation de documents. Ces modèles de connaissance sont intégrés avec des archives documentaires.

Ce chapitre détaille deux méthodologies pour la composition de documents. Elles reposent toutes les deux sur une modélisation de la connaissance sous forme d'ontologies. La première est implémentée dans le projet Karina. Elle utilise la méthode de calcul de distance sémantique exposée dans la section 4.1.4. Les limites seront précisées. La seconde méthodologie utilise l'association d'ontologie comme base à la recherche d'information et à la composition de documents. Elle est implémentée dans le prototype Sibyl. Ce prototype sera détaillé et analysé plus en détail que Karina dans la mesure où il constitue une partie importante de notre apport personnel.

6.1 Une approche de la composition : le projet Karina

Le projet qui est présenté dans cette section a été développé au LGI2P et à l'ESIM (Ecole Supérieure des Ingénieurs de Marseille), sous la direction de Michel Crampes, alors que je me trouvais moi-même en Allemagne travaillant sur un autre prototype (Sibyl), que nous détaillons par

la suite. Les objectifs sur lesquels nous avons longuement insisté étaient donc identiques, mais les approches diffèrent. Les raisons pour lesquelles nous avons choisi de présenter Karina sont au nombre de deux : i) la comparaison avec le prototype Sibyl est enrichissante ainsi que l'étude des limites de ces deux systèmes et ii) la complémentarité de ces deux approches nous a conduit à mettre au point la méthodologie d'attribution et de calcul des rôles pédagogiques présentée dans le chapitre suivant.

Nous avons présenté longuement les méthodes de qualification des BI. Cette section se focalise donc sur la composition dont nous détaillons les différentes étapes.

Remarque : La pertinence de l'approche d'une composition par assemblage de blocs est remise en cause pour les systèmes de simulation totale [Richard et al., 1999]. Cependant notre approche ne concerne pas les simulateurs et se veut généralisable pour d'autres types d'applications.

6.1.1 Présentation générale du projet

Karina est un projet commun du ministère de l'industrie et du Pôle TIIM⁸⁶ (Technologies de l'Information, Informatique et Multimédia) de Montpellier. Les partenaires sont l'Ecole des Mines d'Alès, l'Ecole Supérieure des Ingénieurs de Marseille et la société Actimédia Systems. Son objectif est la création de cursus pédagogiques personnalisés ou de documents culturels à partir d'éléments provenant de diverses sources (journaux électroniques par exemple). Karina est basé sur quatre points fondamentaux :

- L'utilisation du langage XML pour qualifier des documents ;
- La description sémantique du contenu de ces documents en utilisant un vocabulaire défini dans une ontologie du domaine dont ils traitent ;
- La description globale d'un document mais également sa description par fragments ou bien sa description locale ;
- L'utilisation des descripteurs pour bâtir des parcours guidés par un moteur d'évocation conceptuelle.

Les BI traitées dans ce projet sont des documents HTML homogènes, annotées à l'aide d'un outil de qualification, conformément à une ontologie du domaine (c.f. chapitre 5) et une DTD écrite en XML. Ces BI sont toutes a priori hypertextuelles même si le traitement d'enregistrements ou de vidéo ne modifie pas le fonctionnement du système. Leur qualification est stockée dans une base de données relationnelle (Oracle). Le moteur est développé en langage Java. Les requêtes effectuées par le moteur sont écrites en SQL.

6.1.2 La recherche d'information dans Karina

Les briques d'information susceptibles d'être incluses dans le document final sont extraites de la base de connaissance suivant l'algorithme présenté dans la section 4.4.2.3. Une liste de CSV est établie en fonction d'objectifs pédagogiques précis. Pour formuler ses objectifs, un apprenant sélectionne dans une liste de CSV exprimés dans un langage semi-naturel, ceux qui correspondent au but de son étude. Pour chacun d'eux, le système recherche dans la base de données les BI dont la qualification est à une distance sémantique acceptable, en utilisant des requêtes SQL. Certains pré-requis sont exprimés entre les BI. Pour chaque BI sélectionnée, le système recherche les BI correspondant à ses pré-requis. En ce sens, la recherche d'information suit un processus de chaînage arrière.

6.1.3 Le filtrage dans Karina

Comme nous l'avons évoqué dans le chapitre 4, l'étape de filtrage peut faire intervenir beaucoup de paramètres. Dans cette implémentation, seule la dimension temporelle est prise en compte. Nous ne considérons pas l'aspect temporel dans la logique d'enchaînement, il intervient

⁸⁶ <http://www.lirmm.fr/~tiim/index.shtml>

uniquement comme contrainte dans la durée du document final. En cela nous ne considérons que l'aspect séquentiel du traitement temporel, si on se réfère à [Hakkoymaz et al., 1999]. L'aspect parallèle, qui est implicite dans le traitement de vidéo (images et son) apparaîtra dans les versions ultérieures de Karina. Les briques d'information d'une façon générale possèdent une dimension temporelle indiquée dans le champ *durée* de leur description : le temps de lecture pour un texte, la durée pour un enregistrement audio ou vidéo, le temps de prise de connaissance pour une image. Dans Karina cette durée correspond au temps de lecture de l'hypertexte. Il est à noter que ce temps de lecture ne peut être défini que de manière approximative car il est fortement dépendant du lecteur, du contexte de lecture et des interactions de l'utilisateur. Le système fait la somme des durées des BI sélectionnées et la compare à la période de temps disponible de l'utilisateur, ce qui souligne l'importance de la qualité de la durée spécifiée. Dans le cas où la durée totale est trop longue, le système compare les descriptions sémantiques et s'il y en a qui sont équivalentes, il sélectionne la BI correspondante qui a la durée la plus courte. S'il n'y a aucune redondance entre les BI, et donc si toutes les BI doivent apparaître dans le document final pour en assurer la cohérence, il est impossible de composer un document de la durée souhaitée. Le système en informe l'utilisateur et lui demande s'il souhaite quand même avoir ce cours, malgré sa longueur. Si oui, le système passe à l'étape suivante.

6.1.4 La méthode d'organisation dans Karina

A ce stade de la composition, le système dispose d'une liste de BI à organiser. Pour ce faire, il utilise les contraintes imposées par les pré-requis entre BI exprimés dans leur qualification. Pour un objectif précis, nous sommes assurés que toutes les BI sont reliées les unes aux autres par au moins un pré-requis, puisque la recherche d'information a été réalisée par chaînage arrière.

Si plusieurs CSV sont mentionnés dans les objectifs sans lien explicite entre eux, le système traite chaque CSV séparément et assemble les documents obtenus dans l'ordre d'énonciation des objectifs.

Cette étape d'organisation ne tient pas compte des connaissances pédagogiques et à fortiori ne permet pas d'élaborer un plan didactique en fonction de différentes stratégies.

6.1.5 L'assemblage et la présentation dans Karina

Aucune méthode particulière d'assemblage narratif n'a été implémentée dans le sens où les BI sont présentées à la suite les unes des autres, sans transition entre elles. Par contre un assemblage physique est réalisé, puisque les BI sont accessibles au travers de l'interface, comme le présente la Figure 6.28. Le cursus présenté correspond à un cours sur le langage de programmation C. La fenêtre de droite présente le cours lui-même, tandis que les fenêtres de gauche présentent respectivement les Matériaux Pédagogiques (MP — le terme de BI n'était pas employé au moment de cette implémentation) qui ont déjà été visités et validés par l'apprenant et les MP à venir. Parmi ces derniers, seuls certains sont accessibles afin de respecter la structure didactique construite par le système. Une validation est demandée à la fin de chaque leçon pour pouvoir accéder à la suite. L'apprenant possède une certaine liberté de navigation puisque dans le document proposé, il peut à tout moment revoir un MP déjà vu, choisir entre le MP suivant ou suivre les liens disponibles dans la fenêtre du cours lui-même ('indexation' sur la Figure 6.28).

6.1.6 Limites de l'approche Karina

La sélection par chaînage arrière en fonction des pré-requis, bien que pertinente présente des inconvénients. Elle nécessite que ces pré-requis aient été exprimés lors de la qualification. D'une part cela complique une étape de qualification déjà fort minutieuse et longue et d'autre part les pré-requis ne sont pas identiques pour tous les types d'application. Dans un souci de modularité des BI et pour plus de souplesse et de flexibilité de l'outil il serait préférable que ces pré-requis apparaissent dans l'ontologie elle-même. Cela suppose que celle-ci soit définie avec soin et en profondeur.

Le système base son raisonnement sur une ontologie du domaine, mais ne dispose pas d'une quelconque connaissance pédagogique. Il ne peut donc pas appliquer différentes stratégies didactiques en fonction d'objectifs précis des apprenants.

De plus, le filtrage temporel peut suffire dans le cas de base de connaissance de taille moyenne, mais pour une application qui vise l'Internet ce filtrage ne suffit plus : le nombre de données augmentant, un filtrage sémantique plus fin devient nécessaire.

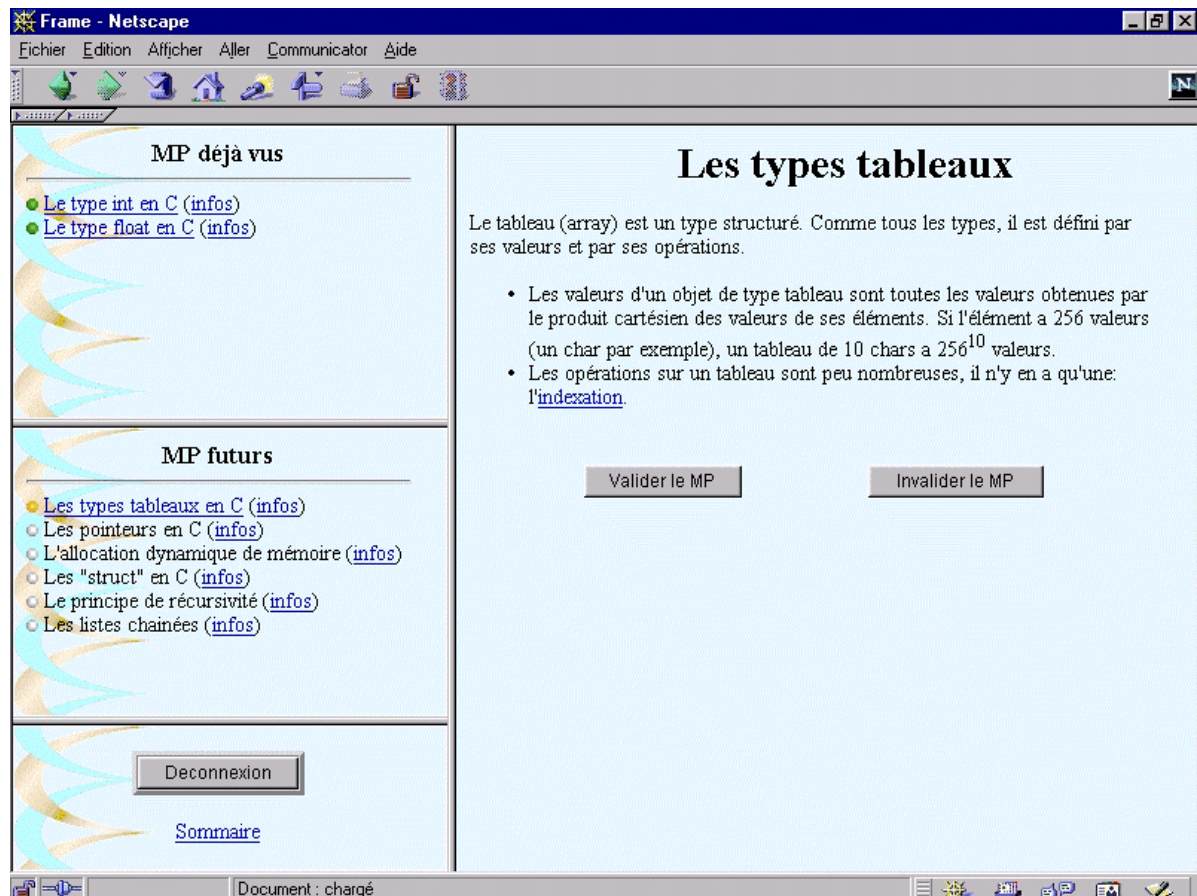


Figure 6.28 : Interface du projet Karina

6.2 Le prototype Sibyl

Nous avons développé ce prototype en Allemagne au sein d'un laboratoire de recherche de la société Digital Equipment (CEC Karlsruhe — devenu propriété de SAP à l'heure actuelle).

Les sibylles mythiques étaient des prophétesses, ayant une forte influence. Souvent appelés par leur ville d'origine et leur titre plutôt que par leur nom de naissance, elles sont les sibylles de Perse, d'Erythrée, de Delphes ou de Libye. Habituellement elles collaborent avec les prophètes pour leur qualité de *source d'inspiration* et de *puits de connaissance*.

En analogie avec ces personnages mythiques, notre didacticiel *Sibyl* i) possède une base de connaissance sur un domaine particulier et sur les qualités didactiques des matériaux pédagogiques (puits de connaissance), et ii) doit être en mesure de fournir à l'apprenant un document dont le contenu est pertinent (inspirations).

6.2.1 Présentation générale du projet

Le prototype Sibyl appartient à un vaste projet de formation continue en ligne : LLL (LebensLang Lernen ou Life-Long Learning). Ce projet est en grande majorité financé par le ministère allemand de l'éducation et de la recherche (Bundes Ministerium für Bildung, Wissenschaft Technology und Forschung). Il implique 18 partenaires académiques ou industriels comme l'université de Dresde, l'université de Mannheim, l'université de Bielefeld, l'université de Karlsruhe, GMD (Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung), TecMath et SAP. Son objectif concerne la formation continue en entreprise. Les utilisateurs visés sont des adultes qui souhaitent développer leurs compétences dans différents domaines.

Architecture générale

L'architecture générale du prototype est donnée dans la Figure 6.29. Les ressources et les traitements présentés ci-dessus sont effectués par le serveur qui donne l'accès pour les utilisateurs à une interface Internet générée dynamiquement. En fonction de l'état d'avancement de l'apprenant, le système coordonne le flux d'information. C'est pourquoi l'architecture de Sibyl consiste en un serveur, un navigateur et des services multimédias supplémentaires pour la collaboration et la construction. L'accès aux structures conceptuelles est réalisé par un moteur de graphes conceptuels très simplifié.

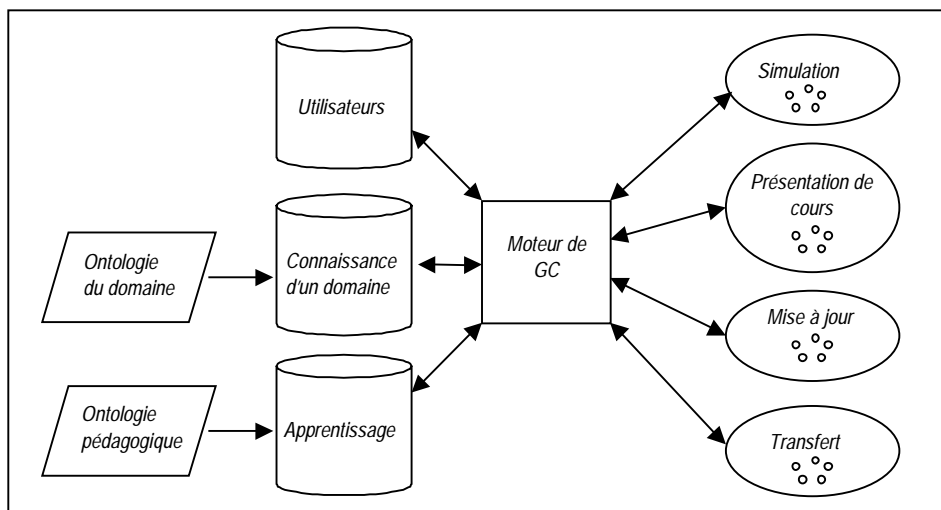


Figure 6.29 : Architecture générale du prototype Sibyl

Moteur de graphes conceptuels

Comme nous l'avons déjà expliqué, notre approche utilise les graphes conceptuels mais ne prétend pas faire des apports concernant ce formalisme. Cependant pour le prototype Sibyl, nous avons mis en place un moteur de graphes conceptuels simplifié. Il est développé en *scheme* [scheme, 1991]. Les fonctions de base qu'il utilise pour son raisonnement sont : la généralisation ou la spécialisation de concepts ou de graphes, le 'match', le 'join' et le 'maximal join' décrits dans [Sowa, 1984]. Nous ne détaillons pas cette implémentation car ce moteur nous a permis de valider notre approche mais si des recherches supplémentaires devaient être engagées, l'utilisation de plate-forme prédéfinie comme CoGITo serait préférable.

Environnement auteur

Le prototype Sibyl est doté d'un environnement auteur permettant de qualifier les briques d'information qui composent la base (c.f. Figure 6.30). Pour cela, l'auteur sélectionne dans la fenêtre

de gauche le lien "course content annotation" et remplit les champs proposés. Chaque qualification correspond à une BI stockée à une adresse précise : le champ URL permet de spécifier cette adresse. Ensuite, l'auteur doit sélectionner les valeurs des autres champs. La liste de valeurs qui lui est proposée est compatible avec la définition d'une qualification donnée dans l'ontologie. Ces qualifications sont ensuite converties sous forme de graphes conceptuels et insérées dans la base de données.



Figure 6.30 : Fenêtre pour la qualification des briques d'information

6.2.2 La recherche d'information dans Sibyl

Comme dans l'approche Karina, la recherche d'information a comme point de départ les objectifs pédagogiques. Ces derniers sont exprimés par les pédagogues à l'aide de l'environnement auteur en sélectionnant "Learning Goal" (c.f. Figure 6.31). L'auteur donne un nom à chaque objectif, afin de permettre la création de sous-buts qui le référencent. Ensuite il sélectionne pour chaque champ la valeur qu'il désire. Enfin il peut créer des sous-buts. Lorsqu'il insère son objectif dans la base, celui-ci est converti sous forme de graphe conceptuel. Cet environnement a été conçu pour éviter que les pédagogues n'aient à connaître la syntaxe exacte des GC. Cependant, il serait souhaitable de rendre son interface plus conviviale et intuitive.

Disposant des objectifs pédagogiques, le système est en mesure de déterminer, à partir de l'ontologie du domaine, la liste des concepts à rechercher. Pour ce faire il recherche dans la base de connaissance du domaine (OD) les GC qui s'apparient avec les concepts du domaine mentionnés dans les objectifs. Cette recherche ne se fait pas selon un appariement exact ; certains concepts de la base peuvent être plus spécifiques que ceux des objectifs.

Parmi les concepts des GC sélectionnés certains sont nouveaux par rapport aux objectifs. Une autre recherche est alors lancée, à partir du *join*⁸⁷ maximal des graphes des objectifs et ceux retrouvés grâce à l'OD, et ainsi de suite. Le champ de connaissance qui doit être couvert s'enrichit donc au fur et à mesure de la progression de la recherche. Quand aucun graphe supplémentaire n'est trouvé, le système dispose d'un seul graphe, de taille conséquente, décrivant la partie du domaine à couvrir. Il recherche alors dans la base de données contenant toutes les BI celles qui ont une qualification qui s'apparie avec ce graphe.

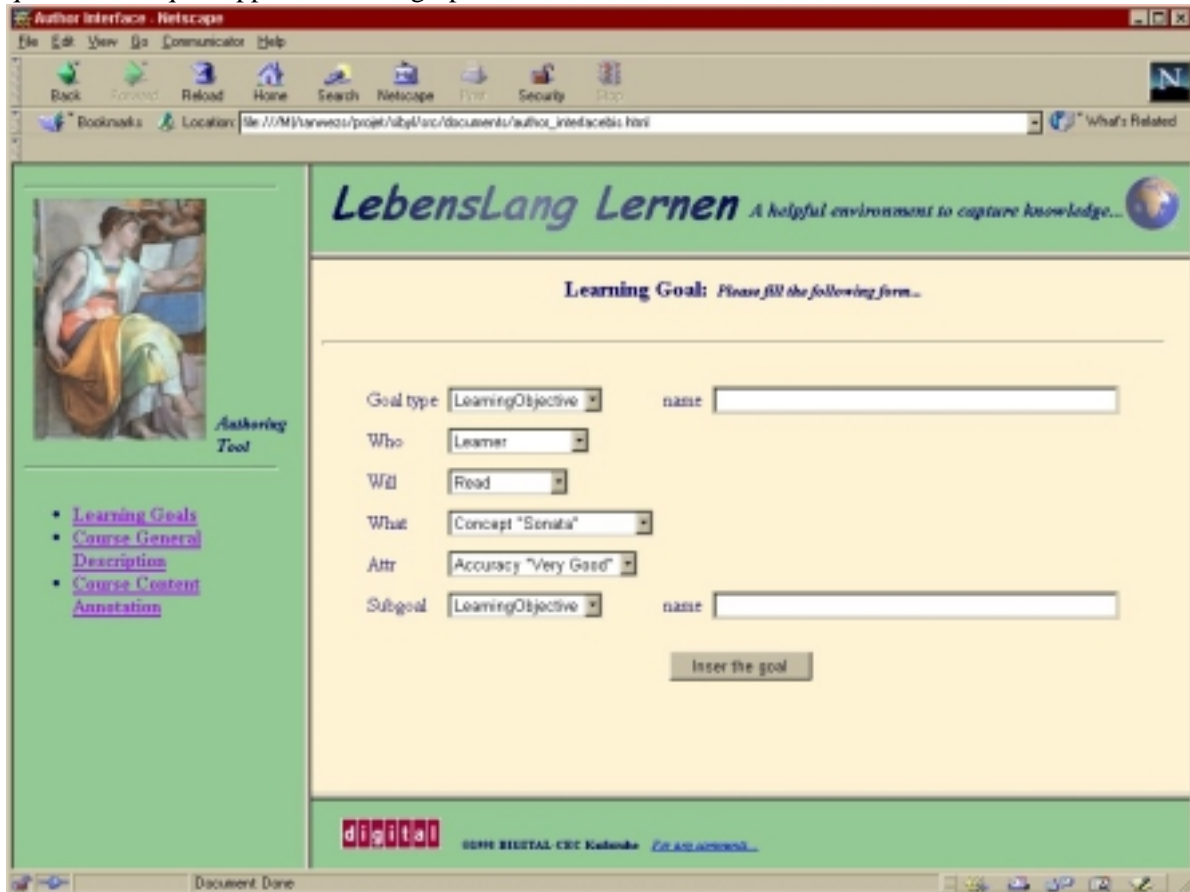


Figure 6.31 : Environnement auteur du prototype Sibyl

Prenons l'exemple d'un objectif dans lequel le concept *sonate* est mentionné. Dans une première phase le système trouve dans l'ontologie du domaine des sonates la description de sa structure (c.f. la Modélisation de la structure d'une sonate dans la section 5.3.2). Il recherche alors lors d'une deuxième phase les GC de l'OD qui mentionnent les concepts d'exposition, de développement, récapitulation, coda et thème. Il trouve ainsi de nouveaux concepts comme l'aire primaire ou la transition. Une troisième phase de recherche permet de retrouver des GC qui mentionnent ces concepts et ainsi de suite.

Quand, au cours d'une phase, aucun nouveau concept n'est trouvé, le système procède à la recherche de BI dans la base de données, par un appariement des GC qui décrivent ces BI et le graphe qui vient d'être construit en fonction de l'OD. Il retrouve par exemple la BI dont la description est :

```
[texte] — (loc) — [URL : adrsl]
           — (repr) — [Explanation] — (ref) — [Structure : Sonata]
```

⁸⁷ opération qui consiste à fusionner les concepts identiques de plusieurs GC de façon à obtenir une seule composante connexe (p. 92 [Sowa, 1984])

Comme cette BI traite d'un concept qui correspond à une partie des objectifs de l'apprenant, le système la sélectionne. De la même façon, le système sélectionne toutes les BI qui sont susceptibles de répondre aux objectifs. Il dispose alors d'un ensemble de BI à filtrer et à ordonner.

6.2.3 Le filtrage dans Sibyl

La technique de recherche d'information que nous venons d'exposer, présente un inconvénient : l'ontologie du domaine est définie en profondeur, et donc le nombre de définitions mettant les concepts en relation les uns avec les autres est important. Il y a donc une forte probabilité que le 'maximal join' retourne la totalité de l'OD pour chaque objectif, car tous les concepts sont susceptibles d'être mis en relation les uns avec les autres.

Une solution consiste à limiter le nombre de fois où l'on étend la recherche à l'aide de l'opération 'join'. Par convention nous avons limité à trois le nombre de phases de recherche. Au-delà de ce stade, les informations retrouvées s'éloignent beaucoup trop des objectifs mentionnés et l'on a une part de BI hors-sujet qui sont sélectionnées.

Hormis cette limitation, aucun filtrage particulier n'a été implémenté à l'heure actuelle dans le prototype Sibyl (l'aspect temporel n'est pas pris en compte). Cependant certains filtrages sont envisagés comme le respect des préférences de l'utilisateur concernant le média : si deux BI ont une description identique, mais avec un support médiatique différent, le média sélectionné est celui qui correspond aux préférences de l'apprenant.

6.2.4 La méthode d'organisation dans Sibyl

L'étape d'organisation du prototype Sibyl repose essentiellement sur les règles de l'ontologie pédagogique (c.f. section 5.2.3). En effet le système est en mesure d'imposer des contraintes de préférence entre les BI en fonction des rôles qui sont mentionnés dans la qualification des BI et de la stratégie didactique choisie.

La première série de contraintes concernant l'ordre entre les BI est générale ; elle est exprimée par l'ontologie du domaine. Par exemple le fait qu'une exposition précède une transition dans une sonate impose qu'une BI exemple d'une exposition précède une BI exemple d'une transition. Ce sont les règles qualifiées de générales, présentées dans la section 5.2.3.1 qui sont alors utilisées.

La deuxième série de contraintes est spécifique à un type de stratégie didactique. Ce sont les contraintes issues des règles spécifiques de l'OP présentées dans la section 5.2.3.2. Dans une stratégie descendante, par exemple, l'URL d'une explication d'un sujet doit précéder l'URL qui se réfère à un exemple du même sujet. Si un objectif pédagogique spécifie que l'apprenant désire comprendre les sonates, le système sélectionne entre autres deux BI : une explication de la structure d'une sonate et un enregistrement sonore d'un exemple de sonate. Les règles de la stratégie descendante imposent alors que l'URL de l'explication soit visitée avant celle de l'exemple. Le système ne permettra pas l'accès à l'enregistrement avant que l'apprenant ait visité la page HTML donnant les explications théoriques sur la structure de la sonate.

Il peut arriver que l'OP ne détermine aucune contrainte d'ordre pour une BI par rapport aux autres. Cependant, cette BI, si elle a été sélectionnée, est forcément en relation avec d'autres par l'ontologie du domaine. Ce sont ces relations qui donnent alors une indication sur la place de la BI dans le document final. En cas de conflit entre une règle de l'OP et une règle de l'OD, c'est toujours celle de l'OP qui est privilégiée, par convention.

Quand toutes les BI se sont vues attribuer des contraintes de préférence, le système est en mesure de bâtir un plan didactique. La Figure 6.32 récapitule le fonctionnement de l'organisation. Par applications successives de l'ensemble des règles, le système met en relation un ensemble de BI

qualifiées avec les ontologies pédagogiques et du domaine. C'est cette qualification qui lui permet de pouvoir associer les concepts des deux ontologies afin de composer un plan didactique.

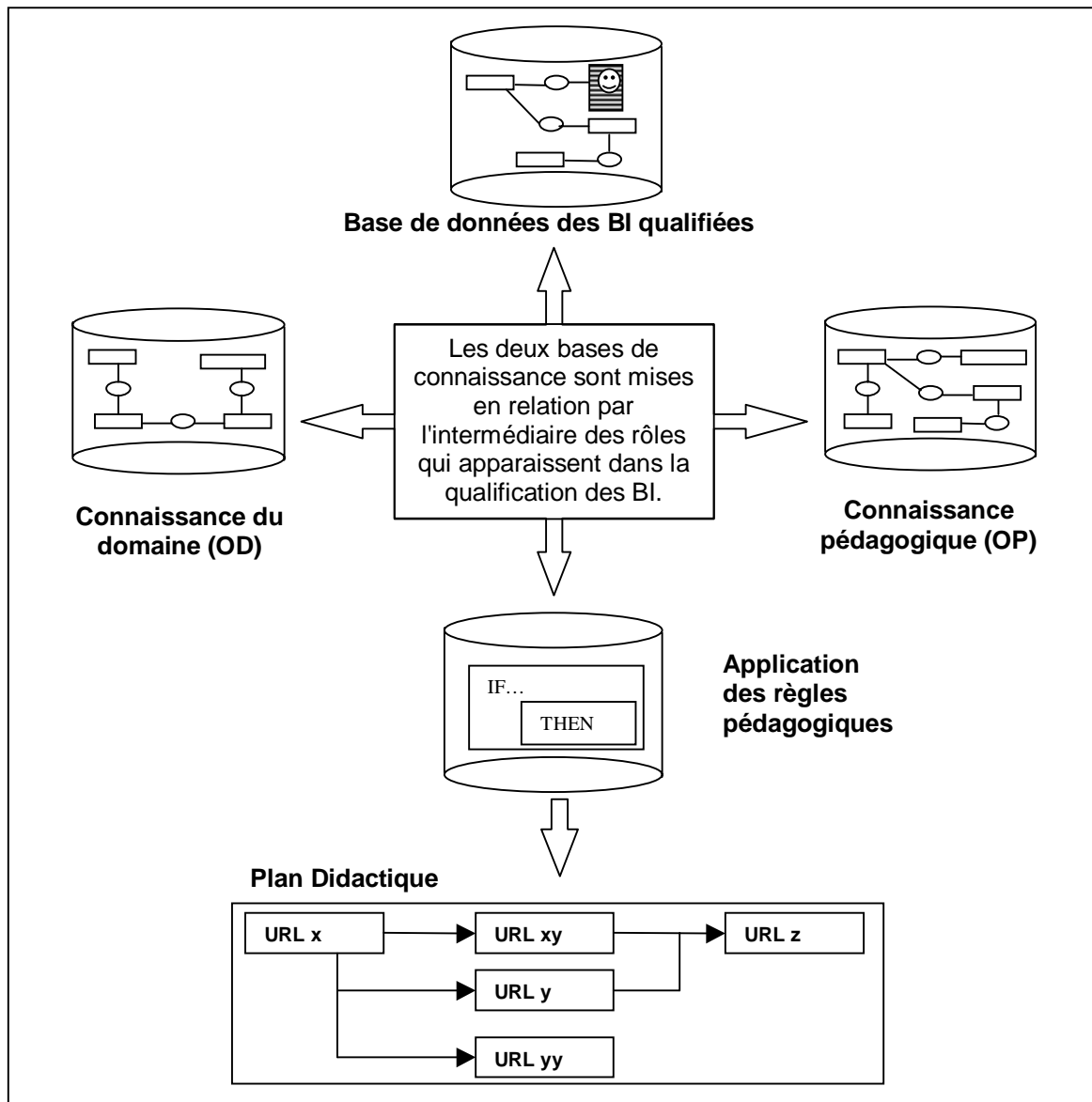


Figure 6.32 : Représentation du fonctionnement de l'étape d'ordonnement

6.2.5 L'assemblage et la présentation dans Sibyl

Comme pour le projet Karina, il n'y a pas de technique d'assemblage particulière mise en place pour le prototype Sibyl. Le plan didactique est présenté à l'apprenant au travers d'une interface (Figure 6.33). Celle-ci est générée dynamiquement lors de la création d'un cours. Elle est composée de deux fenêtres principales en plus du bandeau de titre et de signature. La fenêtre de droite présente le cursus qui est visité par l'apprenant i.e. la BI courante, la fenêtre de gauche présente le plan didactique. Ce dernier est constitué d'une liste de BI à visiter. Un code couleur fournit une aide à la navigation, il permet d'indiquer les nœuds conseillés (bleu marine), ceux qui sont accessibles (bleu ciel) et ceux qui sont interdits pour l'instant (saumon). Les liens et leur couleur sont générés ou modifiés dynamiquement, en fonction de l'avancement de l'apprenant dans le cours, de ses connaissances acquises et de ses activités passées.

La BI courante, i.e. le contenu pédagogique du cours, est un document HTML. Nous pouvons remarquer que certains liens préexistent dans ces BI (exposition, transition, etc.). Le cours sur les sonates est en effet un exemple de réutilisation d'un cours conçu pour une autre application. L'auteur avait alors créé des liens dans ses pages HTML. Nous avons longtemps hésité à garder ces liens, les masquer ou laisser l'apprenant libre de les emprunter en lui indiquant que cela risque de briser la structure narrative. Il est souhaitable de choisir la dernière solution car elle laisse une liberté de navigation à l'utilisateur et conserve un certain suivi dans les cours. S'il s'agit d'un cours qu'il connaît déjà en partie au travers d'une autre application, le fait de supprimer des liens peut le perturber.

The screenshot shows the 'LebensLang Lernen' interface. On the left, a sidebar titled 'Navigational Support Through the Course Content' contains a list of links: 'sonata/form_and_music.html' (highlighted), 'sonata/form.html', 'sonata/coda.html', 'sonata/audio/coda.wav', 'sonata/recapitulation.html', 'sonata/audio/reprise.wav', 'sonata/development.html', 'sonata/audio/durchfuehrung.wav', and 'sonata/exposition.html'. The main content area is titled 'Exposition' and contains the following text: 'In the *Exposition*, two themes of opposite characters are introduced. The Exposition starts with the *Primary Area*. The Primary Area introduces the main theme. After a modulating *Transition*, the *Secondary Area* presents the second theme. This is modulated in the *Continuation*. A *Closing Area* leads the exposition to the end.' Below the text is a musical score for a piano sonata. Further text states: 'All five parts of the exposition introduce motivic material that can be used further in the Sonata. Usually, if the Primary Area is in major mode, the Secondary Area is in the dominant key. In case the Primary Area is in minor mode, the Secondary Area is in the parallel major key.' The footer includes the 'digital' logo, '©1998 DIGITAL-CEC Karlsruhe', and 'For any comments...'.

Figure 6.33 : Interface du prototype Sibyl

6.2.6 Synthèse sur la navigation guidée par les ontologies et limites

Le principe de composition que nous venons de présenter est basé sur l'association de deux ontologies. La détermination de certains objectifs pédagogiques est projetée sur l'ontologie du domaine, afin d'en extraire la partie qui doit être traitée par le document final. Ayant déterminé cette partie de l'ontologie, une recherche d'information est effectuée dans la base de données des BI. Celles-ci, lorsqu'elles sont sélectionnées sont ordonnées en fonction de règles issues de l'OP et des contraintes sémantiques éventuelles mentionnées dans l'OD. Ce sont bien les deux ontologies considérées conjointement qui permettent la composition du cours. La Figure 6.34 synthétise le principe de notre approche.

Ce principe présente certains avantages. L'application de différentes stratégies pédagogiques est possible. Le document final est cohérent puisque la qualification des BI à l'aide de l'ontologie du domaine en valide la sémantique. De plus la mise à jour de la base de données est simple car il suffit de rajouter une description dans la base sans se préoccuper des liens avec les données existantes. En effet, s'il y a des liens entre les BI, ceux-ci sont conceptuels et sont retrouvés grâce aux opérations de base des graphes conceptuels. Ce n'est pas le cas pour des bases de données hypertextuelles pour lesquelles la définition des hyperliens doit être précisée ce qui implique une connaissance globale de la base de données. Enfin, durant la consultation d'un cours, le système mémorise les adresses visitées par l'apprenant. De cette façon, un cours interrompu et régénéré tient compte des BI déjà visitées et ne les intègre pas dans le nouveau cours.

Bien sûr notre approche présente certaines limites. Elle présente l'avantage d'assurer la complétude du document par rapport à un objectif donné mais uniquement dans la mesure où les BI de la base sont en nombre suffisant pour couvrir entièrement un domaine. Ce dernier doit être modélisé dans une ontologie précise et détaillée.

La qualification utilise les mots du vocabulaire des deux ontologies (pédagogique et du domaine) et nécessite donc que son auteur ait une certaine connaissance de ces deux ontologies. Enfin les méthodes de filtrage doivent être adaptées à des bases de données de taille importante, de façon à être efficaces.

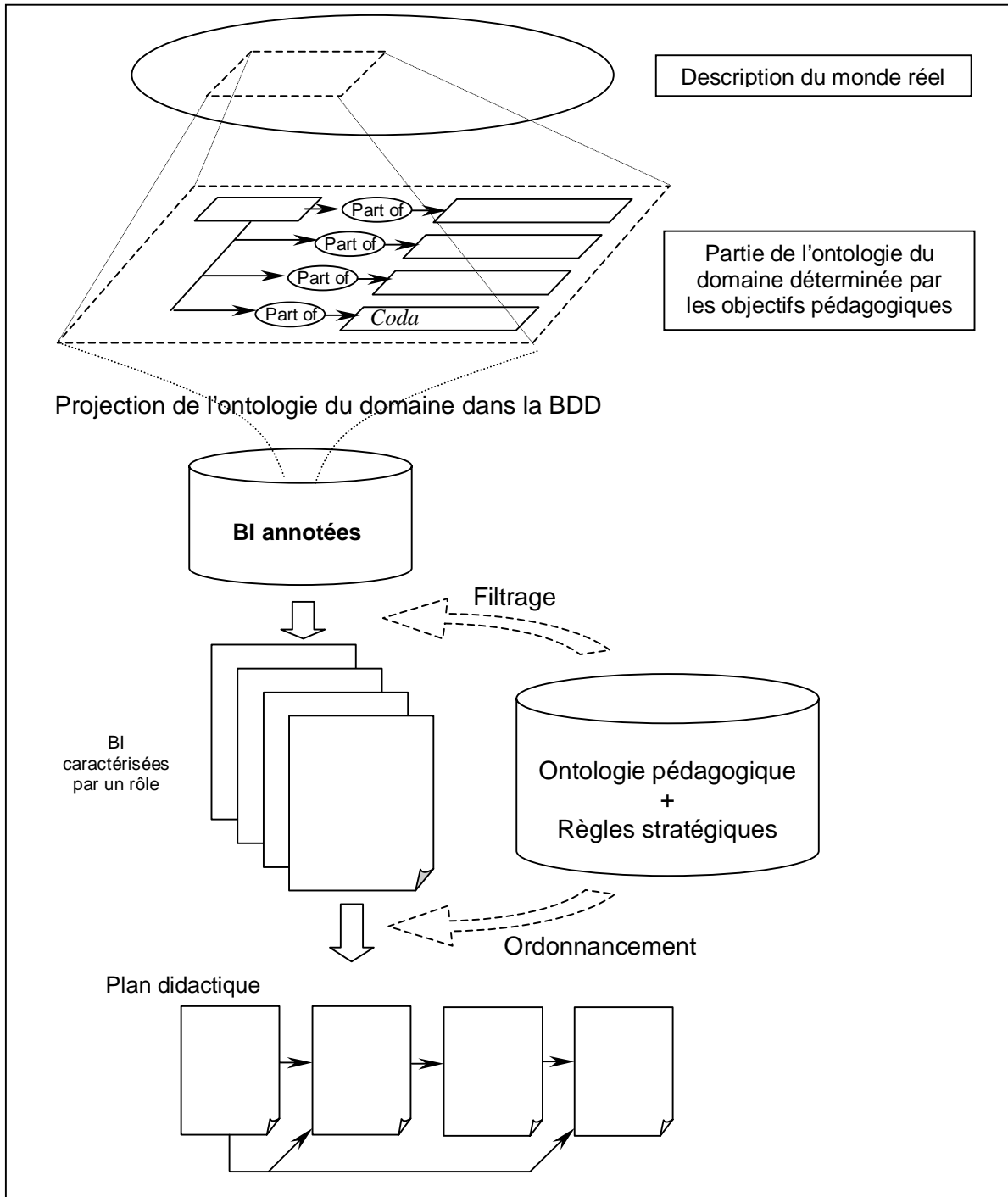


Figure 6.34 : Présentation du principe général du fonctionnement du prototype Sibyl

6.3 Récapitulation

Projet	Sibyl <i>Composition de documents multimédia par association d'ontologies</i>	Karina <i>Composition de document hypertexte par calcul de distance sémantique</i>
Qualification	<ul style="list-style-type: none"> - Modélisation par des GC - Rôle des BI fixé dans la qualification - Pas de pondération - Qualification non triviale et coûteuse en temps 	<ul style="list-style-type: none"> - Modélisation par des PCC au moyen d'une DTD - Rôle des BI fixé dans la qualification - Pondération sur les concepts et sur les PCC - Qualification non triviale et coûteuse en temps
Recherche d'Information	<ul style="list-style-type: none"> - Recherche de graphes par appariement - 'maximal Join' sur les concepts de l'ontologie du domaine 	<ul style="list-style-type: none"> - Recherche de une ou plusieurs PCC par calcul de distance sémantique - Prend en compte les pré-requis stockés dans la qualification
Filtrage	Limitation du 'join'	Temporel
Organisation	Application de règles stratégiques	Suivant les pré-requis
Assemblage / Présentation	<ul style="list-style-type: none"> - Pas d'assemblage particulier - Code couleur pour l'aide à la navigation 	- Pas d'assemblage particulier
Remarque	<ul style="list-style-type: none"> - Aucune contrainte temporelle n'est prise en compte - Respect des stratégies pédagogiques - Semi-liberté de navigation 	<ul style="list-style-type: none"> - Prise en compte de contraintes temporelles - Semi-liberté de navigation

Tableau 6.3 : Tableau comparatif des deux approches Sibyl et Karina

Dans les deux approches présentées, certaines caractéristiques sont communes. Par exemple, aucun lien fixe entre les BI n'est prédéfini dans la base de données. Seuls des liens conceptuels sont stockés dans les qualifications de ces BI. Si cette mise en relation est plus flexible et permet une plus grande réutilisation des BI, elle nécessite cependant une qualification minutieuse qui peut être très lourde pour les auteurs de cours.

Une autre caractéristique commune concerne le fait que les rôles soient fixés au sein de la qualification. Dans l'approche Sibyl, c'est ce rôle qui permet de lier l'ontologie pédagogique et l'ontologie du domaine afin d'effectuer un raisonnement sur les BI. Or comme le souligne Bruno Bachimont : "l'indexation est une interprétation qui est soumise, d'une part, à la subjectivité de l'indexeur, dont on tente de surmonter la variabilité et, d'autre part, à la finalité de la consultation (pour qui indexe-t-on, que veulent faire les usagers avec les documents retrouvés ? etc.), que l'on veut optimiser" [Bachimont, 2000]. Les rôles, fortement dépendants de cette utilisation, sont donc amenés à évoluer au fil du temps, et surtout, ils varient d'une application à une autre, d'un domaine de recherche à un autre. C'est donc le contexte où va être intégré la BI qui détermine en partie le rôle qu'elle va jouer au sein du cursus.

Conclusion

Nous avons présenté deux approches différentes pour la composition de cursus personnalisés. Les deux approches consistent à exécuter des requêtes dans une base de données, en fonction d'objectifs pédagogiques précis, puis de composer un document cohérent à l'aide des informations extraites de la base. Le document ainsi obtenu est un document multimédia adapté à un utilisateur donné. Les deux méthodologies suivent les étapes de base de la composition : recherche d'information, filtrage, ordonnancement et assemblage.

Chaque approche possède des particularités. Dans le projet Karina les BI retrouvées sont celles dont la proximité sémantique avec une requête donnée est la plus grande possible. L'étape d'organisation utilise les pré-requis entre ces BI. Dans le prototype Sibyl le principe de la navigation guidée par les ontologies que nous avons implémenté utilise les GC pour exprimer la sémantique du modèle du domaine aussi bien que pour celui de la connaissance pédagogique. Par ce biais, le mode de raisonnement est le même sur les deux types de données. Des stratégies pédagogiques peuvent être appliquées lors de l'organisation des BI.

Le plan didactique est fourni à l'utilisateur dans une forme qui lui est compréhensible. De cette façon la stratégie est transparente pour lui. Ce plan est évolutif au cours d'une session, en fonction de son état d'avancement (nœuds visités, réponse à certains tests, etc.). L'adaptation à l'apprenant se situe à deux niveaux : le niveau conceptuel qui prend en compte son état d'avancement dans le système et le niveau psychosensoriel avec une adaptation du type de média.

Certes la modélisation de connaissance et les techniques de qualification diffèrent quelque peu, mais certaines caractéristiques communes sont conservées : aucun lien physique n'est prédéfini entre les BI, seules des relations conceptuelles permettent de les associer. Ces deux approches permettent une grande modularité par rapport aux systèmes hypertexte traditionnels, l'ajout de connaissance nouvelle dans la base ne nécessitant pas la connaissance globale de la base de données et de sa structure souvent complexe pour les systèmes réels. La seule exigence est de connaître l'ontologie du domaine et l'ontologie pédagogique pour annoter les briques d'information de façon cohérente. L'inconvénient majeur des deux approches réside dans le fait que les rôles pédagogiques associés aux BI soient statiques au sein de la qualification.

Au vu de l'état de l'art que nous avons dressé et des différents travaux présentés dans les chapitres 1 et 3, aucune recherche ne possède une approche similaire, exploitant au-delà de la représentation des connaissances, les caractéristiques et les propriétés des ontologies. C'est pourquoi nous avons voulu continuer nos recherches dans cette voie, en mettant en place un raisonnement sur les ontologies qui permette, entre autres, une attribution dynamique des rôles des BI en fonction des intentions d'un utilisateur et d'un contexte d'utilisation. C'est ce que nous présentons dans le chapitre 7.

Nous passons notre vie à apprendre des choses, mais nous trouvons toujours des exceptions et des erreurs. La certitude semble demeurer constamment hors de portée. Il faut donc que nous prenions quelques risques si nous ne voulons pas rester paralysés par la lâcheté. Cependant, pour éviter tout accident, nous devons accumuler deux types de connaissances supplémentaires :

Nous cherchons des "îlots de cohérence" dans les limites desquels le raisonnement ordinaire semble sûr.

Nous nous efforçons également de trouver et de marquer les frontières hasardeuses de ces domaines.

Marvin Minsky (La société de l'esprit)

Du flou pour le calcul dynamique des rôles pédagogiques

7.1 Des rôles au sein d'une narration : définition et attribution	136
7.1.1 Définitions des rôles pédagogiques	137
7.1.1.1 Définitions trouvées dans la littérature.....	137
7.1.1.2 Notre définition : des rôles pour susciter l'action de l'apprenant.....	138
7.1.2 Comment attribuer dynamiquement des rôles aux BI ?.....	139
7.1.2.1 Propositions données dans la littérature	139
7.1.2.2 Des rôles en fonction des propriétés ontologiques	139
7.2 Formalisation de certains rôles pédagogiques	140
7.2.1 Formalisation de l'analogie/homologie.....	140
7.2.2 Formalisation de cas particuliers : exemple et illustration	141
7.3 Principe de l'instanciation d'ontologies pondérées.....	142
7.3.1 L'influence de la pondération dans la recherche d'information	142
7.3.2 Le choix de la théorie des sous-ensembles flous	142
7.3.3 Le niveau de détail dans les ontologies.....	143
7.3.4 Différentes fonctions pour l'automatisation de la pondération	144
7.3.4.1 Fonction cloche	144
7.3.4.2 Quantification de la fonction cloche.....	147
7.3.4.3 Fonction demi-cloche	148
7.3.4.4 Cas particulier : le document fortement illustré.....	148
7.4 De l'instanciation d'ontologies à l'attribution de rôles pédagogiques	149

7.5 Intérêt de cette méthodologie dans les projets présentés	150
7.5.1 Intégration dans le projet Karina	150
7.5.2 Intégration dans le prototype Sibyl	150
7.6 Avantages et limites de notre approche	151
Conclusion.....	152

Dans le chapitre 5 nous avons présenté les rôles pédagogiques comme étant la forme donnée par un auteur à une information du monde réel afin de la transmettre à un apprenant. Nous les avons ensuite utilisés dans deux approches de la composition documentaire. Dans ces approches les rôles sont prédéfinis dans la qualification des BI. Ce sont eux qui interviennent lors de l'étape d'organisation car c'est sur eux que reposent les règles de l'ontologie pédagogique ou bien la grammaire formelle de composition présentée dans le chapitre 4. L'implémentation des deux approches présentée dans le chapitre 6 a permis de mettre en évidence la nécessité que certains rôles ne soient ni prédéfinis, ni statiques à l'intérieur de la qualification des BI. En effet ils peuvent être totalement dépendants du contexte dans lequel la BI va être insérée. Nous avons la conviction que les ontologies, au delà de leur capacité à représenter la connaissance et à supporter un raisonnement, peuvent prendre une part active dans les calculs de ce raisonnement. Nous avons donc mis en place une méthodologie pour favoriser l'attribution automatique de certains rôles pédagogiques aux BI, qui utilise conjointement la théorie des sous-ensembles flous et certaines propriétés des ontologies.

Nous gardons comme hypothèse de départ que toutes les BI accessibles par le système ont été qualifiées en respectant les qualités présentées dans le chapitre 5, dont en particulier la cohérence, qui est assurée par la définition des relations de l'ontologie du domaine.

Après un inventaire des principales définitions que nous avons trouvées dans la littérature, le présent chapitre donne notre définition des rôles pédagogiques. La formalisation de certains de ces rôles est alors détaillée. Elle permet d'en attribuer certains de façon automatique. Nous décrivons ensuite le principe d'une instanciation d'ontologies pondérées qui utilise des techniques issues de la théorie des sous-ensembles flous. Cette instanciation est fortement dépendante des intentions précises (actes de composition) des utilisateurs. Nous détaillons des variations de deux types d'intentions. Nous expliquons ensuite comment il est possible d'utiliser cette instanciation pondérée pour favoriser certains rôles pédagogiques en fonction d'objectifs déterminés, avant de discuter de notre approche.

7.1 Des rôles au sein d'une narration : définition et attribution

Que ce soit parce qu'ils sont au cœur des grammaires formelles où parce qu'ils interviennent dans la structure sémantique d'un système comme MacWeb [Nanard et al., 1995], les rôles que jouent des BI au sein d'une narration sont décisifs dans le processus de composition. La recherche d'information et le filtrage en sont indirectement dépendants car pour homogénéiser un discours, il faut disposer d'un nombre adéquat de définitions, d'explications, d'exemples, etc. L'ordonnancement est, quant à lui, directement dépendant des rôles. Nous en avons montré deux exemples : dans le prototype Sibyl ce sont les rôles pédagogiques de BI associés aux règles de l'ontologie pédagogique qui déterminent l'ordre d'énonciation des BI et dans le cas des grammaires formelles pour construire le document ce sont eux seuls qui interviennent. Durant l'étape d'assemblage et de présentation, les rôles interviennent également. Une BI peut être visible, partiellement visible ou invisible comme dans le cas d'un exercice corrigé, par exemple.

Pendant avant d'expliquer comment il est possible d'exploiter ces rôles, il est nécessaire d'en donner une définition précise.

7.1.1 Définitions des rôles pédagogiques

La notion de rôle joué par une BI est d'autant plus difficile à définir qu'un rôle peut dépendre de plusieurs paramètres : le contexte dans lequel la BI est utilisée, la forme qu'elle prend (média) et bien sûr son contenu.

7.1.1.1 Définitions trouvées dans la littérature

Nous n'utilisons pas le terme rôle avec la même signification que celle employée dans [Nestorov et al., 1997]. Dans leur approche le rôle traduit un point de vue particulier sur un objet. Ils différencient par ce rôle le fait, par exemple, qu'un objet puisse être vu comme une personne ou un employé. On pourrait alors supposer qu'un certain comportement est associé au rôle, mais ce n'est pas toujours le cas dans leurs exemples et ils n'exploitent pas cette notion de comportement qui pour nous est primordiale.

Toujours dans le domaine objet, Doug Lea donne la définition suivante : un rôle est une instance d'un ensemble encapsulé de propriétés et de comportements, mais il est décrit et utilisé d'une façon totalement indépendante de l'objet qui peut l'implémenter [Lea, 1995]. Il insiste sur le fait qu'on peut s'intéresser aux rôles de façon intrinsèque, sans s'occuper de QUI joue ce rôle. Comme illustration de son propos il mentionne le rôle de Hamlet qui a été écrit sans connaître les acteurs qui ont pu jouer ce rôle par la suite.

Philippe Martin évoque également la notion de rôle [Martin, 95]. Pour lui, un rôle représente le fait qu'une entité puisse être la cause, l'agent ou la conséquence d'un processus. Pour nous ces notions font plutôt référence à des attributs que peuvent avoir certains concepts par rapport à d'autres. La notion de rôle que nous définissons fait appel à une véritable fonction pédagogique ou narrative que peut jouer un segment de document à l'intérieur d'un cours.

Claude Moulin et son équipe proposent un moyen d'utiliser un même document dans différents contextes, avec différents rôles sémantiques suivant le contexte ([Moulin, 1999], [Moulin et al. 1999]). Ces rôles sont ajoutés dans l'annotation des documents. Notre approche diffère de la leur car nous utilisons des BI de taille plus importante et nous ne voulons pas descendre à une granularité aussi fine que la leur. Notre but concerne la réutilisation de documents ou de segments de documents et non pas leur génération totale à partir de fragments de si petite taille. Leur approche permet également d'appliquer plusieurs styles d'apprentissage (stratégies) en fonction des demandes de l'apprenant.

Forte et al. différencient deux types de ressources pédagogiques, les documents d'exposition et les documents actifs [Forte et al., 1997a]. Nous ne différencions pas ces deux types de documents dans la mesure où chaque document possède un rôle particulier qui suscite une *activité* de l'apprenant, que celle-ci soit 'passive' (prise de connaissance, écoute, lecture, etc.) ou 'réactive' (résoudre un exercice, répéter, dessiner).

Les ressources didactiques de [Nkambou, 1997] ont un rôle implicite qui leur est attribué dès le départ, car elles sont vues comme des moyens tactiques. Les ressources sont actives et peuvent être relativement indépendantes du système. Les liens entre ces ressources sont figés (similitude, abstraction, cas particulier, etc.). Dans notre approche nous ne voulons pas que tous les rôles soient statiques.

Le projet Profil-Doc [Michel et al., 1999] a pour but la recherche d'information dans une base de données textuelle, avec des réponses personnalisées, différenciées en fonction des besoins de l'utilisateur. Dans leur approche, les auteurs caractérisent des Unités Documentaires (l'équivalent de nos BI) par un type qui est l'équivalent d'un rôle, une forme discursive et un style de présentation.

Le plus grand nombre de définitions concernant la notion de rôle telle que nous la percevons se trouve dans la littérature anglophone sous le terme *affordance*. Ce terme implique une certaine attitude de l'utilisateur face à certaines entités. [Benesch, 1995] définit l'affordance comme la valeur d'incitation d'un objet pour l'action. D'autres définitions sont accessibles sur l'Internet⁸⁸.

⁸⁸ <http://uc.edu/~joneks/affordances1.html>

Dans le domaine des interfaces⁸⁹, les affordances sont définies comme "l'affichage ou la représentation physique d'un objet qui doit suggérer son utilisation". Elles supposent une certaine ressemblance avec les objets réels, par leur aspect tridimensionnel, leur couleur, leur animation.

Dans un domaine plus proche du notre, Laurillard et al. consacrent une section à la définition de l'affordance [Laurillard et al., 2000]. En se basant sur une définition issue de la philosophie, "ce que nous percevons quand nous regardons les objets sont leurs affordances", ils donnent comme définition informatique : les affordances sont les propriétés responsables du comportement qu'elles génèrent.

7.1.1.2 Notre définition : des rôles pour susciter l'action de l'apprenant

C'est le terme *instruction* dans le sens "indication ou directive pour mener à bien une mission, utiliser correctement quelque chose⁹⁰" qui semble au mieux correspondre à la notion que nous voulons évoquer. En effet, c'est la notion qui reflète le plus l'action que va susciter la BI chez l'apprenant. Cependant pour qu'il n'y ait pas de confusion possible avec d'autres définitions de l'instruction au sens large du terme (culture, connaissances acquises) souvent utilisées en pédagogie, nous utilisons le terme de *rôle pédagogique*.

Définition 7 Un *rôle pédagogique* est un attribut associé à une BI dont la valeur traduit sa capacité à susciter un certain comportement chez l'apprenant. On peut tout à la fois dire que cet attribut impose une mise en forme à la BI et que c'est sa mise en forme qui détermine le rôle que va jouer la BI dans la narration. Le rôle traduit le mode de transfert d'information que permet une BI.

Au cours de nos projets nous avons utilisé plusieurs rôles. Nous présentons certains de ces rôles dans le Tableau 7.4 en indiquant l'interaction correspondante suscitée chez l'apprenant. L'interactivité entre l'apprenant et le système constitue le support du transfert d'information. La qualité de ce transfert est visible (clics de souris par exemple) et mesurable (taux de bonnes réponses aux tests).

Rôle pédagogique	Action de l'apprenant correspondante attendue
Appariement	Mise en correspondance de certaines entités
Conclusion	Lecture
Description	Lecture et assimilation
Définition	Lecture et assimilation
Exemple	Lecture et assimilation
Exercice cas général	Résolution exacte
Exercice d'ordonnancement	Ordre exact
Exercice de prononciation	Prononciation acceptable
Explication	Lecture et assimilation
Formule	Lecture et assimilation
Illustration	Lire, regarder, écouter en fonction du média
Introduction	Lecture, compréhension du contexte
Questions à Choix Multiple	Choix exacts
Référence	Lecture de l'ouvrage référencé
Résolution de problème	Résolution exacte
Résumé	Lecture
Test vrai / faux	Sélectionner les propositions
Théorème	Lecture et assimilation

Tableau 7.4: Rôles pédagogiques et actions attendues de l'apprenant

⁸⁹ <http://www.bel.cs.ucla.edu/~dondi/cmsi628/lectures/principles1/affordances2.html>

⁹⁰ <http://www.francophonie.hachette-livre.fr/>

Certains rôles sont immuables, ce sont les rôles pragmatiques. En effet si une BI représente un exercice, il est clair qu'il est impossible de lui affecter un autre rôle. Par contre certains rôles dits conceptuels ou argumentatifs peuvent dépendre du contexte. Les premières minutes du film "les Dieux sont tombés sur la tête" peuvent être utilisées comme introduction à un cours sur "le mythe du bon sauvage" mais elles peuvent aussi servir d'illustration dans un cours sur le cinéma comique. Il est donc nécessaire de disposer de techniques permettant l'attribution dynamique de ces rôles conceptuels ou argumentatifs.

7.1.2 Comment attribuer dynamiquement des rôles aux BI ?

Les travaux concernant les rôles tenus par certaines ressources dans un document ont été réalisés en grande majorité dans le domaine pédagogique. Cependant très peu mentionnent des techniques d'attribution dynamique de ces rôles. Avant de présenter les propriétés des ontologies qui permettent l'attribution de certains rôles à des BI, nous citons quelques-uns de ces travaux.

7.1.2.1 Propositions données dans la littérature

Comme Lee et al. le signalent, en fonction du point de vue qu'on leur porte, certaines entités peuvent être considérées soit comme une ressource (si elles sont utilisées par une activité), soit comme un acteur, etc. Leur rôle varie donc en fonction du contexte [Lee et al., 1996].

Motta et al. proposent certaines heuristiques pour déterminer automatiquement les liens qui relient certaines entités (*relatedness*) [Motta et al., 2000]. Par exemple les sous-classes d'une même classe ou les projets ayant les mêmes objectifs sont reliés. Quand ces liens s'appliquent aux documents, ces relations de parenté et de similitude se rapprochent de la notion de rôle. Cependant les auteurs eux-mêmes conviennent que ces heuristiques sont 'molles' et donc difficiles à exploiter.

L'attribution d'un rôle à une BI dépend essentiellement de deux paramètres : la sémantique d'une relation et le contexte d'insertion de la BI. Pour Mike Uschold un rôle est représenté implicitement par la sémantique d'un argument d'une relation [Uschold, 1996]. La notion de rôle n'est donc pas explicitement représentée, mais elle peut être utile dans la spécification informelle d'une ontologie i.e. la définition d'un domaine. Par exemple la notion de ressource qui correspond au fait qu'une activité peut utiliser une certaine entité est traduite de la façon suivante :

$$\forall E.(Ressource(E) \leftrightarrow \exists A.(Activity(A) \wedge Can_use_Ressource(A, E)))$$

Les rôles sont alors directement dépendants du point de vue (de la perspective) utilisé pour considérer l'entité. De même la notion d'autorité évoquée par Uschold s'apparente à notre notion de priorité caractérisée par la pondération que nous utilisons dans le calcul de distance sémantique (section 4.1.4).

Le rôle peut être déduit du contexte. Ce contexte est décrit dans [Ehrlich, 1997] comme étant composé du texte qui entoure le concept, des informations grammaticales, de la connaissance de base du système, et, éventuellement, des informations supplémentaires apportées par un humain. Cette définition est donnée dans le contexte d'analyse lexicale. Dans notre approche le contexte est défini par les grammaires formelles qui le fixent.

7.1.2.2 Des rôles en fonction des propriétés ontologiques

Intuitivement il est possible de déterminer certains rôles en fonction de la place occupée par certains concepts dans l'ontologie du domaine. Ce sont alors les propriétés d'hyponymie, d'hyponymie et de méronymie⁹¹ qui permettent de déterminer ces rôles. Nous présentons cette approche intuitive avant de la détailler suivant une formalisation dans la section 7.2.

⁹¹ <http://qsilver.queensu.ca/french/Cours/215/chap8.html#8.10>

Cas d'un exemple : utilisation de l'hyponymie et de l'hyperonymie

Les liens reliant les types de concepts dans une hiérarchie de types sont des liens 'sorte-de'. Soit deux concepts C_1 et C_2 , de type respectif T_1 et T_2 . Si T_2 est un descendant de T_1 dans la hiérarchie de types, C_2 peut être considéré comme un *exemple* de C_1 .

Suivant le même raisonnement, toute instanciation, i.e. tout concept référencé dans la hiérarchie (feuille terminale) est un *exemple* concret du concept qui lui est directement ou indirectement supérieur.

Dans les deux cas cependant, il est nécessaire de limiter l'écart de niveau entre deux concepts de la hiérarchie pour avoir des exemples pertinents. Par convention nous fixons cette limite à 2 ou 3 niveaux. En effet si Beethoven est bien un exemple pertinent de *compositeur de sonate* ou de *compositeur* classique, est-il vraiment pertinent de s'en servir d'exemple pour une *personne* et pire encore pour un exemple d'*entité physique animée* ? Cette limitation dans les niveaux hiérarchiques est conventionnelle. Des études plus poussées devraient permettre de raffiner cette limite. Cependant, le nombre de trois niveaux d'écart entre les types de concepts nous paraît acceptable dans le cas d'instanciation. Dans le cas général une limite de 2 est plus raisonnable.

NOTE — A cause de cette limitation il n'est pas possible de trouver des exemples concrets de concepts de très haut niveau. Cependant ces concepts ont souvent un fort niveau d'abstraction ce qui explique qu'il ne soit pas possible d'en donner un exemple concret.

Cas d'une description : utilisation de la méronymie

Un concept C peut être défini dans l'ontologie comme étant composé de plusieurs autres concepts. Ces derniers sont en relation avec C par des liens de méronymie. Donner une description de C consiste à détailler chacun de ses concepts. Une BI dont la qualification contient ces concepts peut être appelée *description* de C .

Il est donc possible d'utiliser les propriétés des ontologies pour extraire des connaissances. Nous avons voulu prolonger ce raisonnement et, à partir de définitions formelles de certains rôles, trouver les propriétés correspondantes des ontologies. De cette façon l'attribution dynamique de rôle est envisageable.

7.2 Formalisation de certains rôles pédagogiques

Afin qu'il soit possible de mettre en place certaines méthodes de calcul, une formalisation des rôles pédagogiques est nécessaire. Dans cette section nous donnons deux exemples de formalisation : l'*analogie* et l'*exemple*. Pour chacun de ces rôles nous donnons une définition littéraire, puis notre définition accompagnée de la formalisation qui permet le calcul automatique.

Définition 8 (préliminaire) Soit E un ensemble de PCC écrites à partir des concepts et des relations définis dans une ontologie. Une *description* D est un sous-ensemble de E caractérisant la sémantique du contenu d'une BI donnée.

7.2.1 Formalisation de l'analogie/homologie

Définition littéraire T est à X ce que Y est à Z. L'analogie est une similitude de relation. L'homologie unit les individus dans un même domaine. [Perelman, 1988].

Définition 9 Soit D_1 la description d'une BI. On appelle *analogie*, l'opérateur A qui à toute description D_1 fait correspondre une (ou plusieurs) description(s) D_2 , telle(s) que toutes les relations appartenant à D_1 appartiennent aussi à D_2 et réciproquement. Dans le cas de l'homologie D_1 et D_2 appartiennent au même ensemble E_1 (i.e. $D_1 \subseteq E_1^n$ et $D_2 \subseteq E_1^n$)

$$D_1 = \{PCC_{11}, PCC_{12}, \dots, PCC_{1n}\} = \{(CS_{11}, R_{11}, CD_{11}), (CS_{12}, R_{12}, CD_{12}), \dots, (CS_{1n}, R_{1n}, CD_{1n})\}$$

$$A: E_1^n \rightarrow E_2^n$$

$$D1 \mapsto D2$$

$$\text{avec } D_2 = \{(CS_{21}, R_{11}, CD_{21}), (CS_{22}, R_{12}, CD_{22}), \dots, (CS_{2n}, R_{1n}, CD_{2n})\}$$

et (CS_{1i}, CS_{2i}) et (CD_{1i}, CD_{2i}) qui ont par convention des bornes supérieures différentes de l'élément racine dans T (hiérarchie de concepts de l'ontologie).

Nous voyons que cette définition d'une analogie permet à un système informatique, par comparaison de plusieurs descriptions, de déterminer automatiquement le rôle d'une BI par rapport à une autre. Voyons sur un exemple. Soit une brique décrite par la phrase "Beethoven compose des sonates". Soit une autre brique décrite par "Van Gogh compose des tableaux". Dans la mesure où Beethoven et Van Gogh sont des instances de personne et que tableau et sonate sont des sous-types d'art, le système peut déduire l'analogie suivante : "Beethoven compose des sonates comme Van Gogh compose des tableaux" et donner les deux BI correspondantes comme analogie l'une de l'autre.

7.2.2 Formalisation de cas particuliers : exemple et illustration

Définition littéraire Exemple et illustration permettent de fonder le réel par le recours au cas particulier. L'exemple amorce une généralisation alors que l'illustration renforce l'adhésion à une règle reconnue⁹² [Perelman, 1988].

Cette définition des rôles joués par les cas particuliers renforce ce que nous avons expliqué dans la section 7.1.2.2 concernant la position des concepts dans la hiérarchie de types de l'ontologie. Nous étendons ce raisonnement pour des modèles conceptuels plus complexes.

Définition 10 Soit D_1 la description d'une BI. On appelle *cas particulier* l'opérateur Cp qui à toute description D_1 fait correspondre une (ou plusieurs) description(s) D_2 telle que les relations appartenant à D_1 appartiennent aussi à D_2 et les concepts de D_2 sont hyponymes des concepts de D_1 .

$$D_1 = \{PCC_{11}, PCC_{12}, \dots, PCC_{1n}\} = \{(CS_{11}, R_{11}, CD_{11}), (CS_{12}, R_{12}, CD_{12}), \dots, (CS_{1n}, R_{1n}, CD_{1n})\}$$

$$Cp: E^n \rightarrow E^n$$

$$D1 \mapsto D2$$

$$\text{avec } D_2 = \{(CS_{21}, R_{11}, CD_{21}), (CS_{22}, R_{12}, CD_{22}), \dots, (CS_{2n}, R_{1n}, CD_{2n})\}$$

tel que pour toute relation (CS_i, R, CD_k) de D_1 il existe (CS_i', R, CD_k') de D_2 avec CS_i' étant un descendant de CS_i dans la hiérarchie et CD_k' étant un descendant de CD_k .

Dans une hiérarchie de concepts, la sonate pour deux pianos et percussion de Bartok étant une instanciation de sonate et Bartok une instanciation de compositeur, la brique qualifiée par la

⁹² Les auteurs complètent la définition, en affirmant que "le rôle des cas particuliers (exemple ou illustration) est différent selon qu'ils précèdent ou suivent la règle à laquelle ils se rapportent". Si nous souscrivons à leur affirmation il est intéressant de noter qu'il est possible de jouer sur l'ordre de présentation de D_1 et D_2 pour obtenir soit un exemple soit une illustration. Ceci demanderait un approfondissement d'autant que dans la suite de leur argumentation, les auteurs nuancent l'importance de l'ordre.

description ('sonate pour deux pianos et percussion de Bartok', auteur, Bartok) sera considérée comme un cas particulier de (sonate, auteur, compositeur).

7.3 Principe de l'instanciation d'ontologies pondérées

Nous avons insisté sur la difficulté et la longueur de la tâche pour qualifier des BI. La pondération qui a été décrite dans le chapitre 4 et qui est utilisée dans le calcul de distance sémantique entre des CSV est difficile à mettre en place. Les auteurs de la qualification peuvent ne pas savoir exactement quel poids attribuer à quel concept, relation ou PCC. Une des raisons majeures de cette difficulté est que certains poids sont fortement dépendants d'un contexte ou d'une intention. Nous avons donc mis en place une méthode qui permet de réaliser une instanciation pondérée d'ontologies en fonction d'une intention qui dépend du contexte d'utilisation ; l'attribution de poids est alors semi-automatisée.

7.3.1 L'influence de la pondération dans la recherche d'information

Il est souhaitable d'avoir une attribution des poids qui corresponde à certaines intentions. En effet, c'est cette pondération qui intervient le plus lors de la recherche d'information. C'est par son intermédiaire qu'il est possible de pénaliser ou au contraire de favoriser l'apparition de certains concepts dans le document final. Certains concepts, même s'ils apparaissent dans l'ontologie, peuvent être interdits parce que leur niveau d'abstraction est tel qu'ils ne sont que de peu d'intérêt dans le propos : par exemple le concept 'universal' ou 'entity' n'apporte pas grand-chose dans un cours sur les sonates. Il faut donc mettre en place des techniques qui donnent l'avantage à 'sonate' mais pénalise 'entity' et 'universal' en donnant un poids de 1 à sonate et un poids de 0 aux autres.

Ces poids interviennent dans le calcul de proximité⁹³ sémantique.

Les concepts recherchés pour répondre au besoin utilisateur sont identifiés grâce à certaines règles de l'ontologie du domaine. Comme nous l'avons présenté dans Sibyl (c.f. chapitre 6) pour un cours sur les sonates, par exemple, l'ontologie du domaine indique au système qu'il faut faire une recherche d'information sur le concept *sonate*, mais aussi sur l'*exposition*, le *développement*, la *récapitulation* et la *coda* qui sont les noms des mouvements d'une sonate. En préambule à la recherche d'information, le système doit attribuer des poids aux concepts de l'ontologie du domaine en fonction des intentions de l'apprenant et du système. Pendant la recherche proprement dite, les concepts apparaissant dans la qualification des documents 'héritent' des poids attribués à ces mêmes concepts dans l'ontologie du domaine. La recherche d'information peut alors commencer en utilisant le calcul de la distance sémantique pour déterminer la pertinence⁹⁴ des BI.

Dans la suite nous proposons une méthode qui permet de réaliser une pondération intentionnelle. Nous en montrons l'intérêt et la portée. Elle sera approfondie dans nos recherches futures. Pour la présenter nous nous limitons à deux types d'intentions de la part de l'élève : avoir un document général ciblé sur un ou plusieurs concepts ou avoir un document très appliqué concernant un concept.

7.3.2 Le choix de la théorie des sous-ensembles flous

Lors de la qualification des BI, nous étions souvent appelés à formuler des phrases contenant des imprécisions telles que *parfaitement*, *modérément*, *éventuellement*, etc. Par exemple pour une BI présentant le concept 'Exposition' (c.f. Interface du prototype Sibyl dans la section 6.4.5) on peut dire : "cette BI correspond parfaitement à une explication de l'exposition", "elle correspond modérément à un exemple d'une partition musicale" ou "il peut s'agir éventuellement d'un exemple de texte écrit en Times new roman". Parfois, de façon empirique, il nous était possible d'attribuer un

⁹³ c.f. section 4.1.4

⁹⁴ La pertinence est la fusion de la préférence utilisateur et de la prépondérance.

indice de compatibilité tel que "Le portrait de Beethoven correspond à une illustration d'un compositeur de sonates avec un degré de compatibilité de 0.9 et à une illustration d'un compositeur du début du 19^{ème} siècle avec un degré de 0.5". Il est bien évident que ces estimations sont très approximatives et fortement liées au contexte de la qualification, ici un cours sur les sonates. Pour un autre cours, par exemple l'histoire et l'évolution de la musique classique au fil des siècles, la deuxième BI citée en exemple aurait pu être considérée comme étant une illustration d'un compositeur de sonate avec un degré de 0.5 et comme une illustration d'un compositeur du début du 19^{ème} siècle avec un degré de 0.9.

Nous retrouvons là les motivations qui ont poussé Zadeh à introduire la théorie des sous-ensembles flous [Zadeh, 1975][Bouchon-Meunier, 1993]. C'est pourquoi nous avons choisi de bâtir notre méthode sur cette théorie. En effet, si la théorie des sous-ensembles flous a été introduite pour résoudre certains problèmes de linguistique, elle suscite beaucoup d'intérêt en intelligence artificielle et plus encore en théorie de l'information. En effet, ces domaines, comme la linguistique, contiennent des approximations, des incertitudes, des imprécisions, des nuances.

7.3.3 Le niveau de détail dans les ontologies

L'attribution automatique des rôles repose sur la modélisation de la connaissance par les ontologies. La première étape de la définition d'une ontologie consiste souvent à recenser les mots du vocabulaire utilisé dans un certain domaine, puis à ordonner ces mots dans une hiérarchie où chaque concept est relié avec le concept supérieur par une relation 'sorte-de'. Or si le concepteur de l'ontologie peut décrire avec beaucoup de détails, de niveaux de granularité, certains concepts d'autres sont décrits de façon plus succincte. Pourtant l'auteur qui est un spécialiste du domaine est capable de définir le niveau de détail, la granularité, de ces concepts, même si les niveaux intermédiaires qui conduisent à eux ne sont pas explicitement mentionnés.

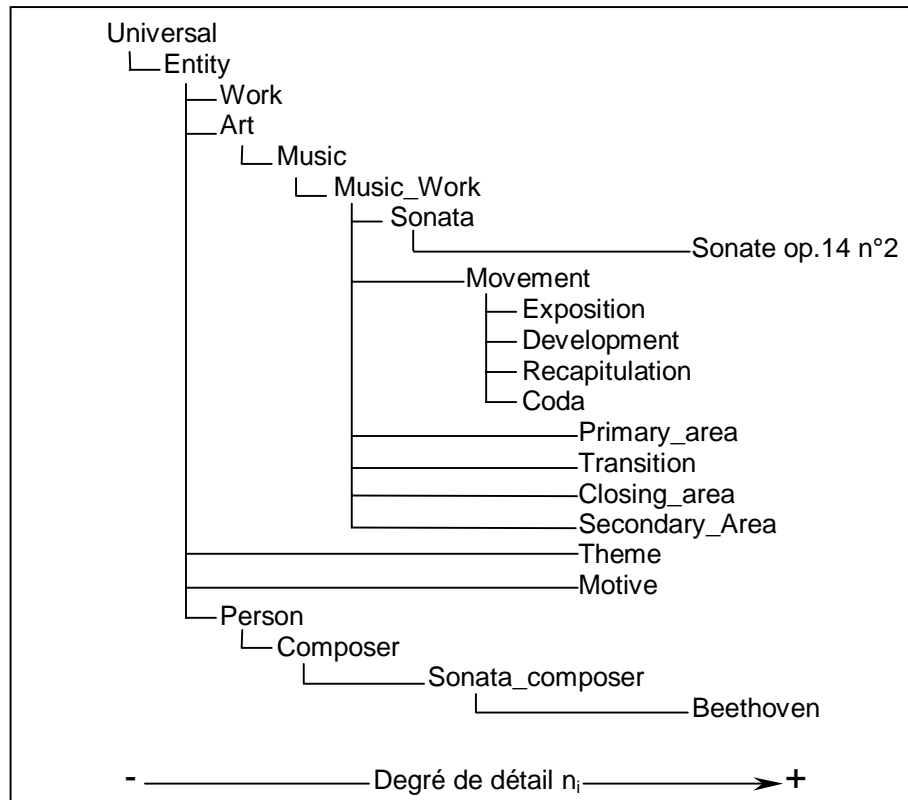


Figure 7.35 : Représentation de la hiérarchie de concepts du domaine des sonates en fonction du degré de détail des concepts

Reprenons la hiérarchie de concepts du cours sur les sonates (section 5.3.2). Nous voyons que le *Thème* et le *Motif* sont placés au même niveau que le concept *Art*. Pourtant de par notre connaissance du domaine, nous savons qu'un thème est une idée mélodique, rythmique ou harmonique de dimension variable, sur laquelle on fonde une œuvre ; le *thème* repose sur un ou plusieurs *motifs* [Hakim et al., 1996]. Ce *thème* est repris dans l'*exposition* et dans la *récapitulation* de la *sonate*. De par cette définition, et même s'il s'agit d'un concept très abstrait, l'auteur peut lui affecter un niveau de détail supérieur ou égal à celui de l'*exposition*. Il en est de même pour les aires primaires et secondaires ainsi que pour les transitions qui font partie des mouvements et ont un niveau de détail supérieur aux différents mouvements. La représentation de la hiérarchie de concepts est alors modifiée, comme le montre la Figure 7.35. Le niveau de détail vaut 0 à la racine et augmente au fur et à mesure que l'on descend dans la hiérarchie. Le niveau le plus élevé est celui des instances réelles. Nous notons n_i ce niveau.

Remarque : Pour implémenter ce niveau il est possible de créer un attribut qui est associé à chaque concept ou bien un niveau de pondération particulier qui sera défini manuellement par le concepteur de l'ontologie du domaine.

7.3.4 Différentes fonctions pour l'automatisation de la pondération

Disposant d'une ontologie dont le degré de détail de chaque concept est bien défini, il est possible d'y associer une fonction de répartition des poids. Ce poids peut être vu comme un degré de pertinence, de compatibilité ; il correspond à un degré d'appartenance du concept à l'*ensemble flou* caractérisant le niveau de détail fixé par les objectifs de l'apprenant. Cette fonction peut prendre plusieurs formes en fonction de différentes intentions. L'attribution de poids ne se fait pas sur l'ontologie elle-même car la répartition peut varier suivant le contexte. Nous pondérons donc les concepts d'une ontologie 'copie' de l'ontologie du domaine. C'est pourquoi nous employons le terme d'*instanciation pondérée d'ontologie*.

7.3.4.1 Fonction cloche

"Les sous-ensembles flous les plus répandus sont ceux qui ont une fonction d'appartenance régulière, représentant leur degré graduel et le passage progressif de la non-satisfaction à la satisfaction de la propriété à laquelle ils sont associés" (p.25-27 [Bouchon-Meunier, 1995]). Plusieurs formes sont possibles : trapézoïdale, triangle, trapézoïdale ouverte, courbe cloche, etc. Une des formes les plus répandues est la fonction cloche, car elle traduit bien le degré progressif de la satisfiabilité de certaines propriétés, sans décrire de rupture brutale (comme dans le cas d'une trapézoïdale). C'est pourquoi nous l'avons utilisée dans les exemples présentés dans la suite. Ces différentes formes de fonctions d'appartenance, leurs caractéristiques et leurs influences sur les modes de calculs utilisés pourront être étudiées à la suite de cette thèse.

La définition de la fonction cloche est la suivante :

$$\text{Poids}(n_x) = \begin{cases} \exp(n_x - n_a) & \text{si } n_x \leq n_a \\ \exp(n_a - n_x) & \text{si } n_a < n_x \end{cases}$$

où $\text{poids}(n_x)$ représente la valeur du poids des concepts de niveau n_x et n_a le niveau de détail d'un concept contenu dans les objectifs de l'apprenant sur lequel va se centrer la fonction cloche.

La répartition des poids à l'aide de la fonction cloche traduit l'intention suivante : l'apprenant souhaite disposer d'un document relativement générique sur un concept donné. Les concepts de très haut niveau ne doivent donc pas apparaître dans ce document, ni les concepts trop spécifiques c'est-à-dire ceux qui ont un degré de détail trop élevé. Le centrage de la fonction cloche sur le concept donné fixe le niveau de détail (la granularité) et permet de favoriser ce concept et, dans une moindre mesure, ceux qui lui sont proches en amont ou en aval dans la hiérarchie.

Pour cela des poids sont affectés sur les concepts d'une ontologie instance de l'ontologie du domaine. La Figure 7.36 donne une représentation graphique de la répartition des poids sur cette ontologie instance, lorsque l'intention est d'avoir un cours générique sur les sonates. La *cloche* est alors centrée sur le concept *sonate* qui prend un poids de 1. Ensuite, les poids sont répartis en correspondance avec la valeur donnée par la fonction : 0.66 pour *mouvement* et 0.33 pour *exposition*, par exemple.

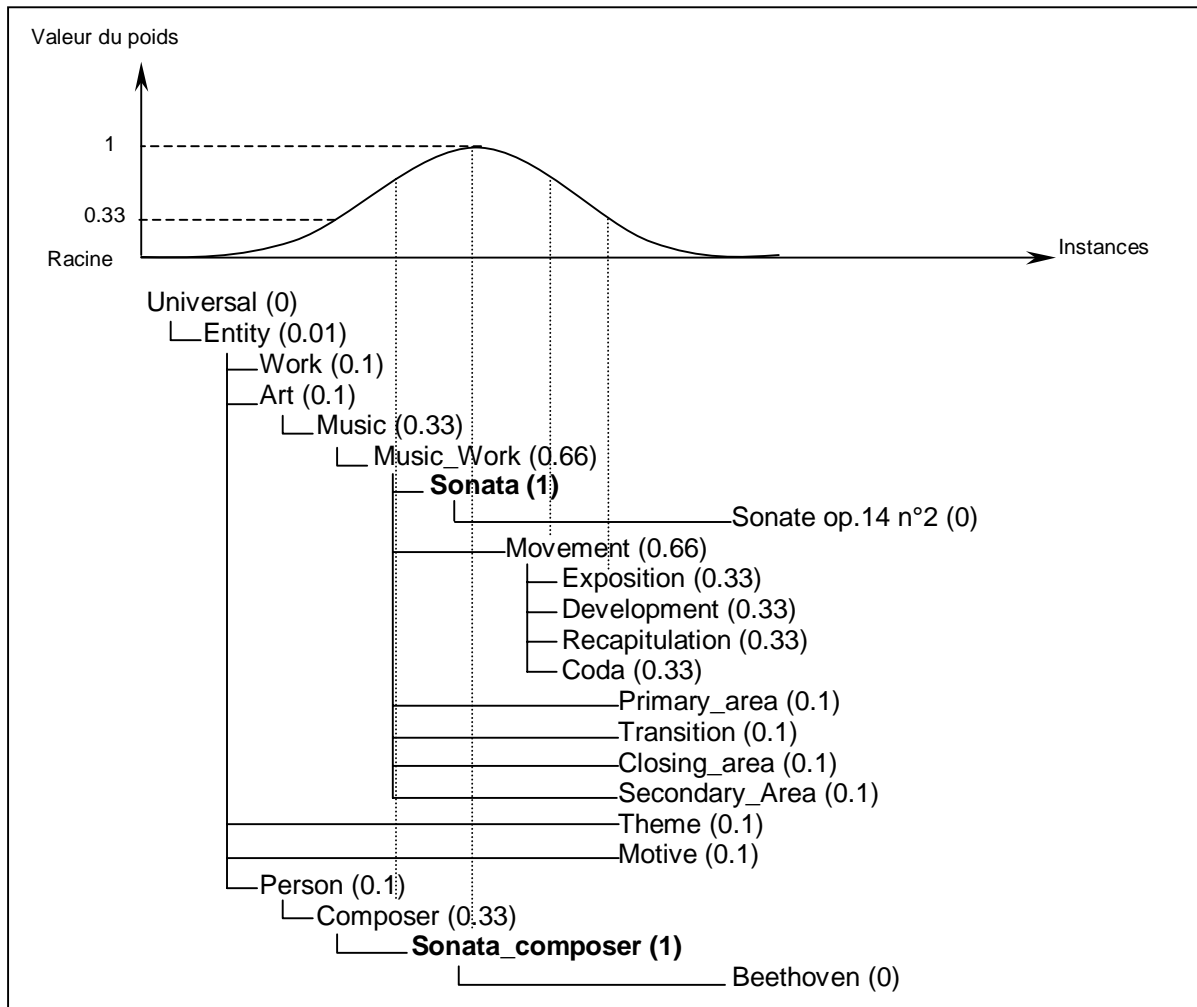


Figure 7.36 : Répartition des poids sur les concepts de l'ontologie instance avec comme intention le concept sonate

Nous voyons que par cette méthode, des concepts de degré de détail identique se voient attribuer le même poids, alors qu'ils n'apparaissent pas dans les intentions de l'apprenant : par exemple *sonata_composer* se voit attribuer un poids de 1. Cela n'est pas gênant dans la mesure où la recherche d'information qui suit cette pondération va se baser sur les définitions des relations de l'ontologie. Une sélection en profondeur comme le montre la Figure 7.37 s'opère alors. Dans les relations de l'OD des sonates, un graphe spécifie qu'une sonate est composée de mouvements. Ces mouvements entrent dans la liste des descriptions de BI recherchées avec un poids de 0.66. Si une relation spécifie qu'un compositeur de sonates écrit des sonates, *sonata_composer* entre lui aussi dans la liste des descriptions à rechercher, mais avec un poids de 1. Cela n'est pas aberrant dans la mesure où ce concept est en relation forte avec le concept sonate.

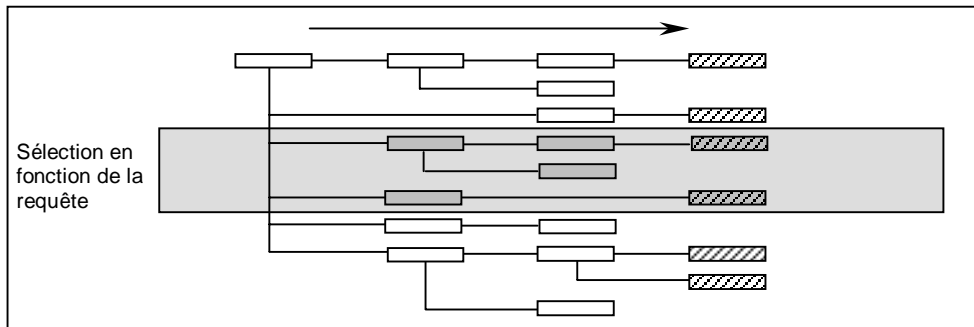


Figure 7.37: Sélection en profondeur en fonction de la requête

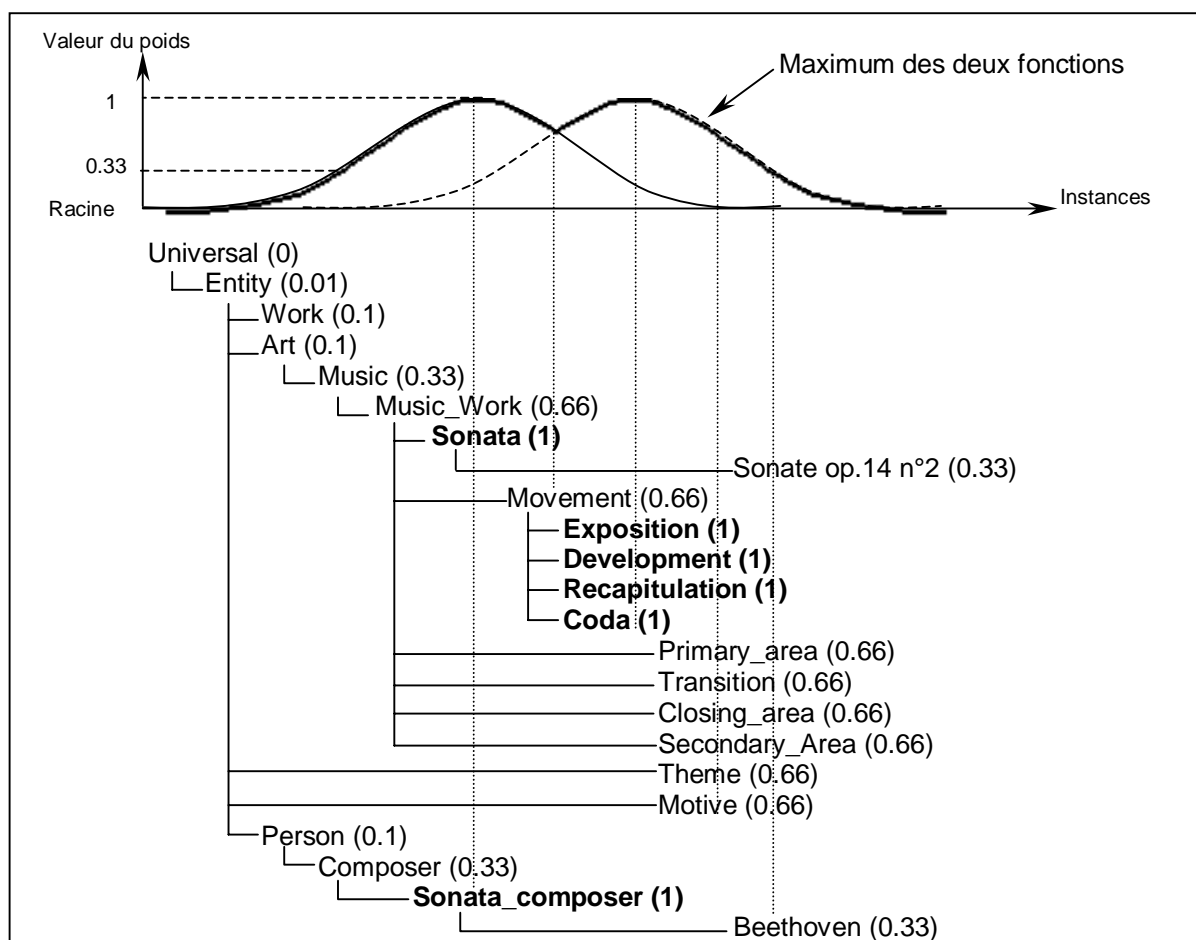


Figure 7.38 : Cas où plusieurs concepts sont mentionnés

Dans le cas où l'apprenant mentionne un autre concept dans ses intentions, une deuxième fonction cloche est positionnée, centrée sur le nouveau concept. La pondération est alors effectuée en utilisant le maximum des deux fonctions cloches. L'utilisation du maximum se justifie car le niveau de détail d'un concept de l'ontologie est fixé par l'un ou l'autre des concepts apparaissant dans les objectifs. Or le maximum entre les deux courbes traduit bien cette vision disjonctive. Sur la Figure 7.38 une fonction cloche (en trait plein) est centrée sur 'sonate' et l'autre (en pointillé) sur 'exposition' car ces deux concepts apparaissent dans les objectifs de l'apprenant. La répartition des poids est alors faite suivant la fonction tracée en gras.

7.3.4.2 Quantification de la fonction cloche

Un quantificateur flou est un sous-ensemble qui décrit une proportion approximative comme "dans la plupart des cas", "rarement", etc. [Bouchon-Meunier, 1993]. La quantification permet de contraindre plus strictement le niveau de détail requis. Il est possible, pour cela d'élever la fonction de répartition à une puissance plus ou moins grande en fonction de la contrainte souhaitée. Dans notre exemple de la Figure 7.36 si l'apprenant ne souhaite pas descendre au niveau de détail des différents types de mouvements (exposition, développement, récapitulation, coda) le système utilise la quantification pour réduire la probabilité que ces mouvements aient un poids élevé. Pour cela il élève la fonction au carré. La répartition des poids est alors modifiée comme l'illustre la Figure 7.39.

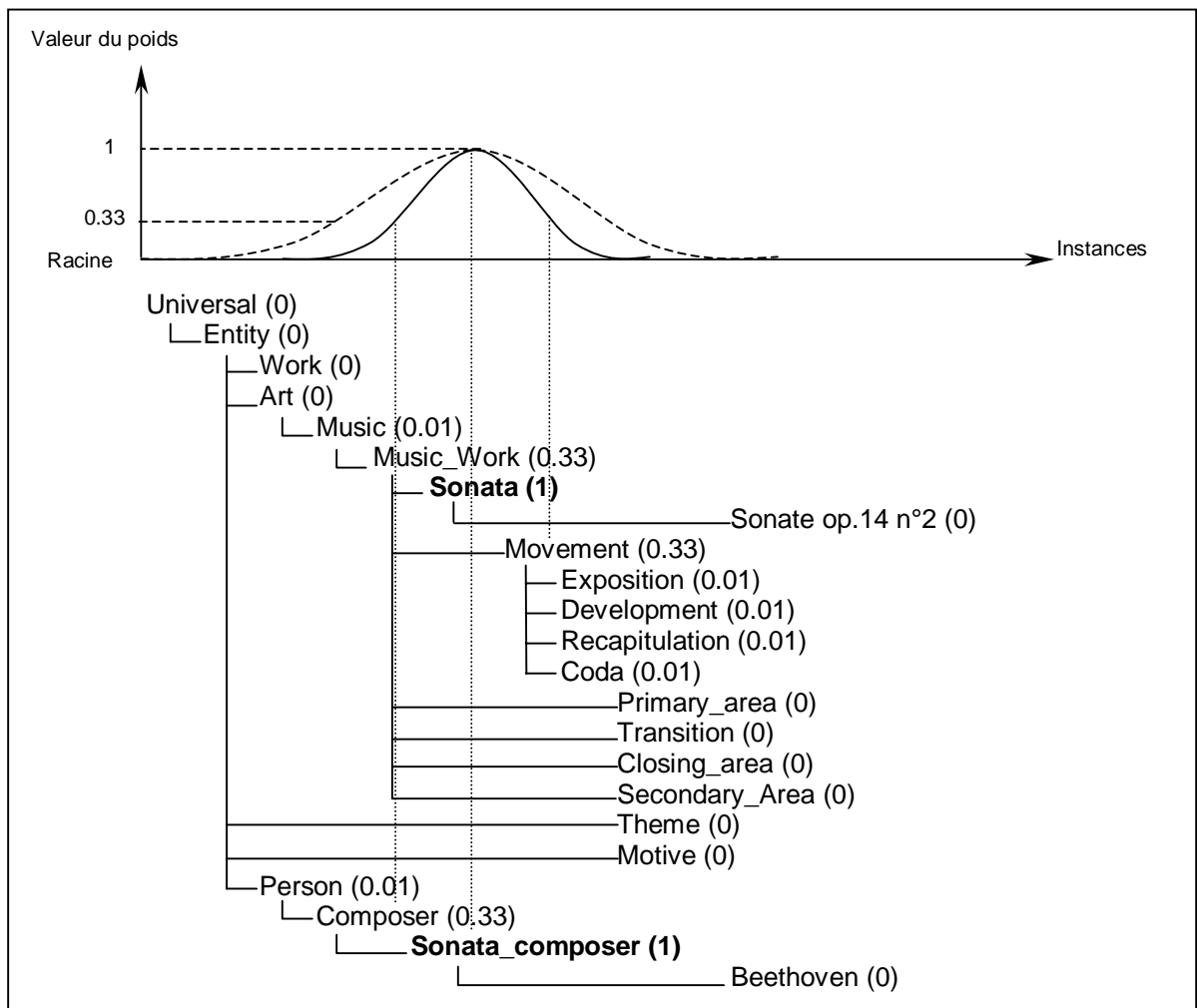


Figure 7.39 : Répartition des poids après une quantification en élevant au carré

Cette quantification peut être réalisée après coup, par le système lui-même, en fonction de contraintes temporelles. En effet, de par son influence sur le niveau de détail, la quantification restreint le nombre de concepts ayant un poids significatif. Si un document dépasse en durée la contrainte de temps fixée par l'utilisateur, le système peut lancer une autre exécution en effectuant cette restriction. Certaines BI qui étaient sélectionnées lors de la première exécution n'ont plus le degré de pertinence requis pour être à nouveau sélectionnées. Le document final est donc plus court sans rien perdre de sa caractéristique sémantique.

7.3.4.3 Fonction demi-cloche

Dans le cas où l'intention de l'utilisateur est de disposer d'un document très spécialisé, le système peut étendre la partie de l'OD traitée dans le document vers des concepts plus spécifiques, mais pas vers des concepts généraux. La répartition est alors effectuée en suivant une demi-cloche ouverte à gauche comme le montre la Figure 7.40.

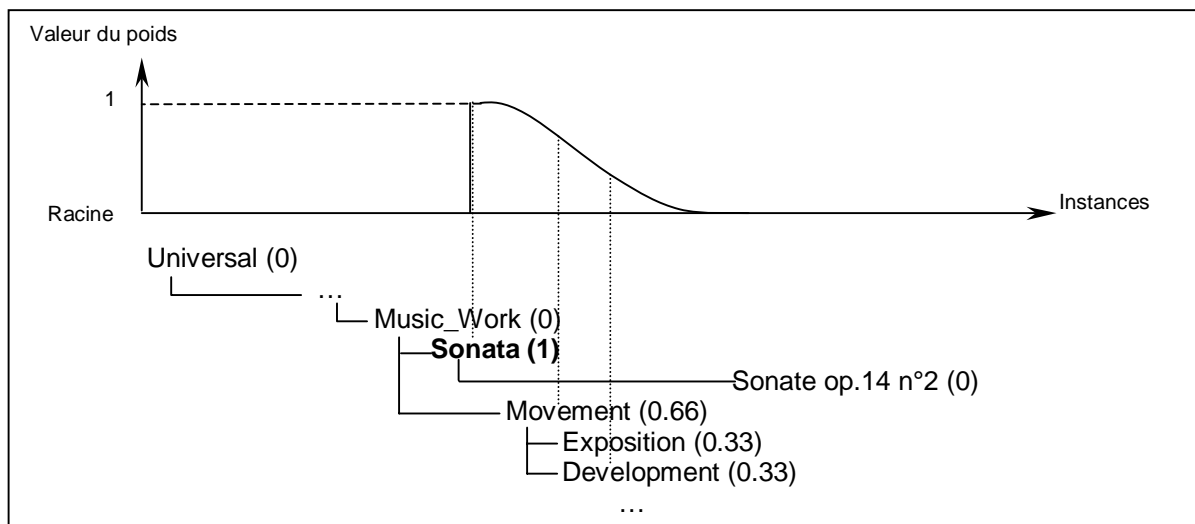


Figure 7.40 : Répartition des poids suivant une demi-cloche ouverte à gauche

7.3.4.4 Cas particulier : le document fortement illustré

Le dernier cas que nous détaillons ici est celui où l'apprenant souhaite avoir un document très illustré, i.e. comportant un grand nombre d'exemples et de cas concrets, concernant un concept particulier. Il s'agit d'une application directe de la répartition suivant la fonction demi-cloche présentée ci-avant.

La pondération doit, dans ce cas, favoriser fortement les instances et, bien sûr, le concept en question. Les concepts de haut niveau ne sont alors pas intéressants et leur poids est donc nul. Pour effectuer cette répartition, la méthode consiste à reprendre la demi-cloche ouverte à gauche présenté ci-avant (l'apprenant ne veut pas de généralisation) que l'on centre sur le concept présent dans les intentions. On lui associe une autre fonction demi-cloche, mais celle-ci est ouverte à droite. Elle est centrée sur les instances. Comme dans le cas où il y a plusieurs concepts cibles, c'est le maximum des deux courbes qui détermine la valeur des poids à affecter aux concepts de l'ontologie. Un exemple d'une telle répartition est présentée dans la Figure 7.41.

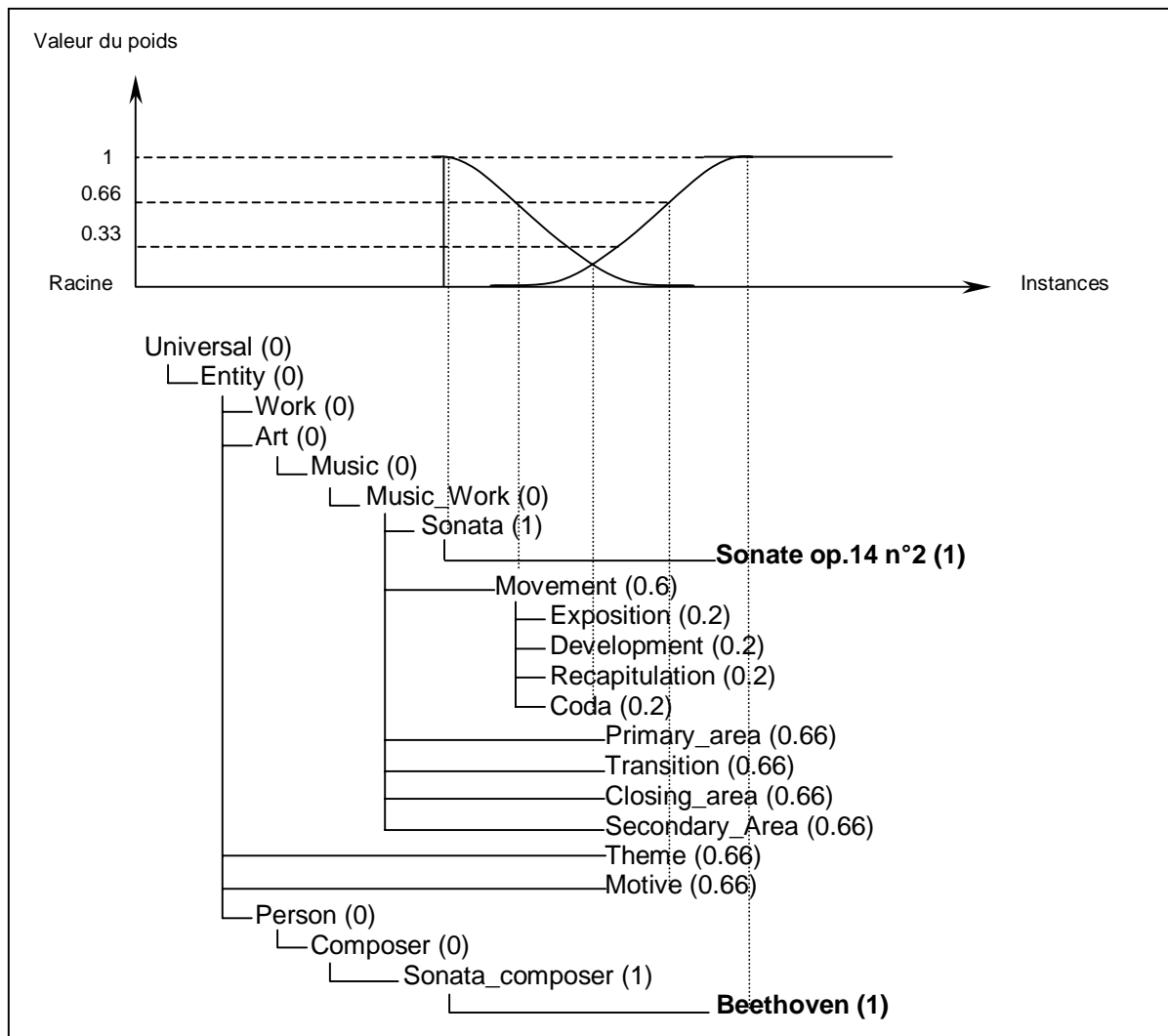


Figure 7.41 : Répartition des poids suivant deux demi-cloches

7.4 De l'instanciation d'ontologies à l'attribution de rôles pédagogiques

Nous avons vu comment il est possible d'influencer la répartition des poids sur les concepts d'une ontologie par rapport à une intention donnée. Les différentes fonctions que nous venons de présenter ont montré le principe de cette répartition suivant différents objectifs : obtenir un document assez général sur un ou plusieurs concepts donnés, avoir un document très appliqué avec beaucoup de cas concrets, etc. Cette répartition, en favorisant certains concepts, entraîne la sélection des BI qui traitent de ces concepts.

Comme nous l'avons décrit dans la section 7.2, à partir de la qualification des BI, le système est en mesure d'analyser l'ensemble des BI sélectionnées et, en correspondance avec les définitions de certains rôles dont il dispose, il est en mesure d'attribuer des rôles à certaines BI. Il s'agit donc bien d'une attribution automatique de rôles pédagogiques par association de certaines propriétés ontologiques, d'intentions de l'apprenant et de définition formelle de ces rôles.

Reprenons l'exemple d'un cours sur les sonates, où l'intention de l'apprenant est d'avoir un cours fortement illustré. La répartition des poids est alors effectuée suivant le maximum des deux

fonctions demi-cloches comme le présente la Figure 7.41. Les concepts instances réelles et de niveau de détail élevé ont un poids élevé. Le système sélectionne les BI qui traitent de ces concepts. Lorsque le système effectue l'attribution automatique de rôles, il trouve donc un grand nombre d'exemples et d'illustrations.

7.5 Intéret de cette méthodologie dans les projets présentés

Cette section présente l'intégration de la méthodologie détaillée ci-dessus dans les deux projets présentés dans le chapitre 6. Nous montrons comment elle permet de pallier certaines limites de ces projets.

7.5.1 Intégration dans le projet Karina

La section 6.1.6 a mis en évidence certaines limites du projet Karina. Dans cette section nous en retenons seulement trois :

- Les poids affectés à chaque élément des phrases kldp, utilisées pour qualifier les briques d'information, sont fixes et définis manuellement (c.f. Figure 5.27) ;
- Le système ne dispose d'aucune connaissance pédagogique particulière pour effectuer la composition des cours ;
- Aucun rôle n'intervient lors de cette composition. Le champ rôle, défini dans la DTD de la qualification, n'est pas utilisé pour l'instant.

Grâce à la méthode de répartition automatique des poids et à la détermination de certains rôles pédagogiques en conséquence, ces limites peuvent être dépassées. L'ontologie du domaine, permet au système d'affecter directement les poids correspondant à certaines intentions aux concepts apparaissant dans la qualification. Pour cela il parcourt le fichier des BI qualifiées. Lorsqu'il reconnaît un concept appartenant à l'ontologie du domaine, il affecte son champ poids avec la valeur correspondante dans l'instance de l'ontologie pondérée.

La répartition des poids est alors répercutée dans la qualification des BI. La méthode de sélection est inchangée par rapport à celle décrite dans la section 6.1.2.

Le système est en mesure de définir certains rôles de façon automatique et il peut ainsi compléter le champ rôle de certaines BI. Lors de cette étape il est nécessaire de mettre en place toutes les protections de façon à empêcher qu'un rôle immuable soit 'écrasé' par erreur.

Note — On remarque que la qualification des BI n'est plus figée. Certains champs sont complétés de façon dynamique (comme le poids ou le rôle par exemple).

Lors de l'organisation des BI, il est alors possible d'apporter quelques améliorations. En effet seuls les pré-requis interviennent à l'heure actuelle dans l'étape d'ordonnancement. Il devient possible, si on utilise le champ rôle d'appliquer la grammaire définie dans la section 4.4.4 en tenant compte du rôle potentiel de chaque BI pour guider l'organisation.

7.5.2 Intégration dans le prototype Sibyl

Les limites du prototype Sibyl ont été données dans la section 6.2.6. La principale à notre sens concerne les méthodes de filtrage. Nous avons vu qu'il n'y a de filtrage ni par rapport au temps d'énonciation des BI, ni par rapport à un degré de pertinence.

Dans la modélisation de l'ontologie du domaine, un attribut précisant le degré de détail, et un attribut de pondération peuvent être associés à chaque concept, comme dans les exemples suivants :

```
[Sonata]-(détail)-[niveau : 5]
[Sonata]-(poids)-[valeur : 1]
[Exposition]-(détail)-[niveau : 7]
[Exposition]-(poids)-[valeur : 0.66]
```

Le degré de détail de chaque concept de l'OD est fixé lors de la définition de cette ontologie par l'auteur. Par contre la valeur des poids n'est affectée qu'à partir d'intentions exprimées par l'apprenant, en suivant la méthodologie ci-avant. Dans un premier temps le choix d'intention peut être réalisé parmi une liste d'intentions prédéfinies.

La recherche d'information est réalisée suivant la méthode décrite dans la section 6.2.2. Dans l'étape de filtrage, nous avons souligné le risque de retourner la totalité de l'OD dans la liste des données à rechercher (c.f. 6.2.3). La pondération des concepts (inexistante dans Sibyl à l'heure actuelle) permet d'ajouter des contraintes lors de la sélection et du filtrage, et évite ainsi ce problème. En effet, un seuil de pertinence (fixé manuellement dans un premier temps) limite le nombre de BI sélectionnées. Dans la version actuelle du prototype Sibyl, aucune distance sémantique n'est prise en compte. Il est intéressant d'intégrer dans les processus de recherche d'information et de filtrage, la mesure d'une telle distance, comme dans Karina, afin de tirer au mieux profit de la pondération. La pertinence d'un graphe par rapport à un objectif donné correspond alors à la distance sémantique entre un graphe de la base et cet objectif. Si un nouveau graphe est candidat pour apparaître dans la liste des données à rechercher, il ne sera retenu que dans le cas où sa pertinence dépasse un certain seuil. Nous pensons que de telles améliorations sont nécessaires dans Sibyl pour affiner le degré de pertinence des informations sélectionnées.

L'étape d'organisation utilise conjointement les règles issues de l'ontologie pédagogique et la grammaire présentée dans la section 4.4.4, la détermination automatique de certains rôles permettant d'utiliser cette grammaire.

Nous avons vu dans cette section les perspectives ouvertes par la méthodologie présentée dans ce chapitre, par rapport à nos deux applications. Nous pensons que son intégration dans les systèmes développés permettrait de dépasser certaines limites même si des améliorations de la méthode sont encore souhaitables.

7.6 Avantages et limites de notre approche

Notre approche présente plusieurs avantages :

- L'automatisation de l'attribution des poids. En effet, la tâche de qualification est longue et complexe pour un auteur qui peut ne pas avoir une idée précise des poids qu'il veut donner aux concepts. De plus s'il effectue cette tâche en plusieurs étapes, il se peut que d'une étape à l'autre il n'ait plus tout à fait les mêmes critères et donc la pondération ne sera pas équitable pour tous les concepts.
- La répartition des poids en fonction d'un contexte, d'une intention. Outre la difficulté d'effectuer manuellement la répartition des poids il est préférable que celle-ci ne soit pas statique car les concepts revêtent plus ou moins d'importance en fonction d'une intention, d'un contexte ou d'une application.
- L'amélioration de la mesure de la qualité des documents. Par exemple la mesure de la qualité de complétude d'un document (section 5.1.2) peut être modifiée : en fonction de la répartition des poids, il est possible de dire qu'un document est complet même si tous les concepts de l'ontologie ne sont pas traités, simplement parce que les concepts non-traités ont un poids négligeable c'est-à-dire qu'ils ne correspondent pas aux attentes de l'apprenant.

Cependant l'utilisation de la méthode exposée présente certaines limites.

- Elle suppose que l'ontologie ait été définie de façon rigoureuse. La plupart du temps, l'OD contient suffisamment de concepts pour pouvoir y appliquer notre méthode.
- Lors de la réutilisation d'ontologies existantes, une adaptation de ces ontologies est nécessaire afin de déterminer le degré de détail des concepts.

- Il est parfois nécessaire de différencier, lors du traitement, les concepts référenciables et les concepts référencés (les instances). Pour l'instant notre description ontologique ne le permet pas.

Conclusion

Nous avons souligné l'importance des rôles pédagogiques dans le processus de composition de documents. Dans les approches présentées dans le chapitre 6 ces rôles sont statiques, prédéfinis par la qualification. C'est pourquoi nous avons cherché une méthode d'extraction de ces rôles qui tienne compte d'une intention pédagogique.

La détermination automatique d'un rôle pédagogique pour une BI dépend de deux paramètres : sa définition formelle et le contexte d'utilisation de la BI. Tous les rôles ne sont pas concernés par cette automatisation car certains sont immuables quel que soit le contexte et l'application qui les utilise.

Après avoir donné une définition des rôles que peuvent jouer les documents, nous avons présenté une formalisation pour certains de ces rôles. Nous avons ensuite présenté une méthode pour réaliser une instanciation pondérée d'ontologie, dépendante d'une intention. Cette méthode repose sur des techniques issues de la théorie des sous-ensembles flous. Elle complète les calculs de distance sémantique présentés dans le chapitre 4 et le processus de composition présenté dans le chapitre 6. Nous avons expliqué comment il est possible d'intégrer cette méthodologie dans les projets Karina et Sibyl et nous avons montré en quoi elle permet de dépasser certaines limites de ces systèmes. La répartition des poids sur les concepts de l'ontologie permet de favoriser la sélection de certaines BI lors de la recherche d'information affine le filtrage. En favorisant l'apparition de certaines BI, elle privilégie certains rôles.

Conclusion générale

Les travaux de recherche présentés dans ce mémoire concernent les domaines de la composition documentaire, de la représentation de la connaissance et de l'enseignement assisté par ordinateur. Ils contribuent à la mise en place d'une méthode de structuration de documents pédagogiques et d'une méthode de pondération intentionnelle de concepts en vue de favoriser certains rôles pédagogiques dans les documents. En introduction de ce mémoire certains objectifs ont été présentés. Il convient ici de préciser ceux qui ont été atteints.

La composition de documents structurés

La première catégorie d'objectifs concernait la *composition de documents* électroniques de façon générale. La composition telle qu'elle a été présentée consiste à sélectionner, filtrer, organiser et assembler des fragments de documents électroniques appelés *Briques d'Information* (BI). La sélection utilise les principes d'une recherche d'information basée sur la sémantique des BI. Elle utilise le principe de l'*évocation conceptuelle*. Pour l'automatisation de cette évocation nous utilisons un calcul de *distance sémantique*. Les BI sélectionnées sont ensuite filtrées en fonction de leurs caractéristiques physiques et de contraintes, entre autres temporelles. Le document final doit être adapté aux besoins d'un apprenant. Sa structure doit répondre à une stratégie didactique précise. Pour cela l'étape d'organisation utilise des règles pédagogiques ou une grammaire formelle.

A long terme la même démarche doit être généralisée pour des applications sur l'Internet. Les documents obtenus sont donc des documents hypermédia que l'on dote d'une aide à la navigation. Nous répondons en cela à un de nos objectifs : répondre au besoin de structuration et d'aide à la navigation dans les documents hypermédia.

La démarche adoptée nous a conduits à définir précisément la notion de *Documents Virtuels* (DV). Leurs caractéristiques et propriétés ont été mises en évidence. La composition à partir des DV a été présentée en détaillant les quatre étapes qui la composent : sélection, filtrage, organisation et assemblage. Nous souhaitons poursuivre nos recherches dans cette direction afin que d'une formalisation précise émerge des techniques efficaces de composition.

La représentation sémantique de la connaissance

La deuxième catégorie d'objectifs concernait la représentation sémantique des connaissances. C'est un point essentiel de notre approche car cette représentation intervient à plusieurs niveaux :

- La recherche d'information. Celle-ci est ciblée en fonction d'objectifs précis. La sémantique intervient alors pour que le système soit en mesure de satisfaire les intentions des utilisateurs tout en assurant la pertinence du discours ;
- Le traitement d'information. Ce traitement correspond à l'ensemble des techniques mises en place dans les étapes de la composition. Le filtrage utilise certaines caractéristiques physiques des BI qui doivent être connues du système. L'organisation fait appel à une certaine connaissance des BI mais également à la connaissance pédagogique et à celle du domaine afin que le document obtenu soit cohérent par rapport à ce domaine et respecte une stratégie didactique ;

- La communication entre les acteurs d'un projet. La représentation de connaissance tisse un lien entre les spécialistes d'un domaine, les concepteurs de systèmes informatisés et les modules des systèmes eux-mêmes. Elle doit donc être lisible, facilement compréhensible et exploitable par chacun d'eux.

Notre choix pour la modélisation de la connaissance s'est porté sur les *ontologies*. L'état de l'art que nous avons présenté permet d'en cerner la définition ainsi que les langages et techniques qui permettent de les concevoir. Au-delà de leur qualité pour la modélisation de la connaissance, les propriétés des ontologies favorisent un raisonnement. Il a été montré, par exemple, qu'elles peuvent être utilisées lors de l'évaluation des qualités d'un document.

Deux ontologies particulières ont été conçues et présentées dans le cadre de cette thèse :

- L'Ontologie Pédagogique (OP) qui contient le vocabulaire, les définitions et les règles utilisées dans le domaine pédagogique, entre autres pour appliquer des stratégies didactiques différentes lors de la composition d'un cours ;
- L'Ontologie du Domaine (OD) par laquelle le système accède à une connaissance du domaine pour rechercher les BI, les organiser et vérifier la cohérence du document final.

La mise en relation de la connaissance conceptuelle avec les BI est réalisée par l'intermédiaire d'une qualification. L'état de l'art sur l'indexation souligne le manque de sémantique dans les annotations de documents électroniques sur l'Internet. Notre qualification utilise le vocabulaire des deux ontologies (OP et OD). Elle revêt ainsi une dimension sémantique et exprime les liens conceptuels entre les BI. Elle prend également en compte les aspects multimédia des documents.

L'aspect pédagogique

La troisième catégorie d'objectifs concernait les documents pédagogiques. Ce domaine est vaste, c'est pourquoi l'état de l'art qui est présenté limite le cadre de nos recherches. Quelques mots-clés de cet état de l'art constituent des aspects importants de nos travaux : interactivité, adaptation, application de stratégies, aide à la navigation. La base théorique présentée concernant la composition de documents structurés a été validée à l'occasion de deux projets. Le prototype Sibyl auquel nous avons largement participé, repose sur l'association de l'OP et de l'OD pour appliquer différentes stratégies didactiques lors de la composition de cours. Ces derniers sont accessibles avec un navigateur Internet et disposent d'une aide à la navigation. Le projet Karina, quant à lui, prend appui sur un calcul de proximité sémantique et une composition basée sur un respect des pré-requis.

Certains aspects communs aux deux approches ont été soulignés dont deux principaux : aucun lien physique n'est prédéfini entre les BI. Ce sont les liens conceptuels qui permettent au système de créer des relations entre les BI au moment de la composition. Cela offre une grande souplesse pour la mise à jour de la base de données et favorise la réutilisation des BI. Le deuxième aspect commun est le suivant : le rôle pédagogique joué par les BI est statique. Nous avons alors souligné l'importance du rôle dans la composition, mais celui-ci est fortement dépendant d'un contexte d'utilisation et du type d'application. Il n'est donc pas souhaitable qu'il soit prédéfini.

Au-delà des objectifs initiaux nos recherches se sont alors orientées vers des méthodes pour extraire les rôles de la qualification. Ces recherches nous ont permis d'aborder plus précisément la notion de rôle. Une définition en a été donnée ainsi que des formalismes à partir desquels les propriétés des ontologies permettent d'attribuer dynamiquement des rôles aux BI. Une méthode a été présentée, permettant de favoriser des rôles au sein du document en fonction d'une intention, par l'intermédiaire d'une pondération des concepts de l'ontologie du domaine. Elle repose sur une instanciation pondérée d'ontologies et utilise la théorie des sous-ensembles flous.

Notre principal apport concerne l'utilisation d'ontologies dans un raisonnement pour la composition de documents. Nous avons suggéré que certains rôles intentionnels pouvaient être en partie calculés à l'aide de l'ontologie du domaine sur laquelle on applique une fonction de répartition de poids. Nous avons proposé et exploré l'utilisation d'opérateurs issus de la théorie des sous-ensembles flous.

Nous avons montré la faisabilité de la méthode que des recherches futures devraient étendre, valider et généraliser à d'autres domaines que la pédagogie, par exemple la télévision interactive ou les domaines culturels ou de loisir.

Perspectives

Au cours de ce mémoire nous avons souligné certaines limites qui ouvrent des perspectives nouvelles, que nous synthétisons ici.

Qualification des BI

Une des limites concerne la qualification des BI. Les méthodes de composition présentées nécessitent une qualification minutieuse. Celle-ci demande une grande attention, une expérience des auteurs et beaucoup de temps. Certes, cette qualification se veut générale et permet donc une réutilisation dans plusieurs contextes. Elle n'est donc nécessaire que pour la première utilisation des BI. Cependant des techniques permettant une semi-automatisation de cette qualification sont indispensables. Elles peuvent s'inspirer de celles utilisées en traitement du langage naturel et en analyse de documents comme la reconnaissance de texte. Nous avons quelques pistes de recherche en ce sens. Par exemple il est possible de recenser les concepts les plus utilisés dans un texte et d'en déterminer de façon automatique les concepts clés. En fonction des relations entre ces concepts et les autres dans l'ontologie du domaine le système peut alors faire des propositions de phrases descriptives aux auteurs de la qualification

Ontologies

D'un point de vue plus théorique, il nous paraît important d'exploiter la formalisation des ontologies et de leurs propriétés. De cette façon la mesure de certaines qualités documentaires, par exemple, pourrait être affinée. Nous avons cité l'évaluation de la complétude d'un document en fonction d'une intention dans le chapitre 7, mais les autres qualités évoquées dans le chapitre 5, par exemple la pertinence et la validité demanderaient à être approfondies.

Composition documentaire

La formalisation des documents virtuels, leur définition et l'étude de leurs composantes devraient permettre de faire émerger des caractéristiques et des propriétés des documents virtuels personnalisables. Sur ces formalismes de nouvelles méthodes et techniques pourraient être mises en place pour la composition et la mesure des qualités documentaires.

De plus, la composition de document qui a été présentée utilisait essentiellement des BI au format texte. L'aspect multimédia doit donc être approfondi de façon à traiter également des vidéos, des enregistrements sonores, des images, etc. et prendre en compte leurs spécificités dans la composition. Par exemple il serait souhaitable de disposer de règles de composition plus riches et, lors de l'étape d'assemblage, de trouver les transitions adéquates.

Pondération intentionnelle

La méthode de répartition des poids présentée dans le chapitre 7 doit être plus largement testée et validée sur d'autres exemples. Elle peut aussi appeler d'autres méthodes. Nous n'avons en effet exploré qu'une fonction de répartition, la courbe en cloche, mais en fonction de différentes intentions d'autres formes de courbes sont envisageables. De plus les opérateurs d'agrégation (conjonction ou disjonction) qui sont appliqués sur les concepts pondérés lors de la recherche d'information doivent également dépendre des intentions. Nous avons présenté une somme pondérée

pour calculer la proximité sémantique des BI dans un contexte intentionnel. La théorie des sous-ensembles flous propose d'autres opérateurs mathématiques dont les sémantiques seraient utilisées pour traduire des nuances dans les intentions.

Ainsi notre recherche nous a conduits, à partir de la composition automatique de documents pédagogiques, à dégager l'importance que revêt l'ontologie du domaine dans l'acte de composition et l'influence de l'intention qui unit à la fois l'auteur et le lecteur. Nos modèles se sont avérés opératoires et permettent d'appréhender une nouvelle dimension des documents : la personnalisation. Dimension que certains auteurs avaient préfiguré en leur temps...

Et puisque les libertés de l'auteur et du lecteur se cherchent et s'affectent à travers un monde, on peut dire aussi bien que c'est le choix fait par l'auteur d'un certain aspect du monde qui décide du lecteur, et réciproquement que c'est en choisissant son lecteur que l'écrivain décide de son sujet. Ainsi tous les ouvrages de l'esprit contiennent en eux-mêmes l'image du lecteur auquel ils sont destinés.

Jean-Paul Sartre (Qu'est-ce que la littérature)

Annexe A : Ontologie pédagogique

A.1 Hiérarchie de concepts de l'ontologie pédagogique

Knowledge type

- └ Orientation
 - └ History
 - └ Scenario
 - └ Hypothetical Situation
 - └ Story Problem
 - └ Virtual World
- └ Fact
- └ Summary
- └ Overview
- └ Action
 - └ Rule
 - └ Procedure
 - └ Administrative Directions
 - └ Operating Directions
 - └ Social Directions
 - └ Checklist
 - └ Principle
 - └ Strategy
 - └ Law
 - └ Decree
 - └ LawComment
- └ Explanation
 - └ ExplanationWhy
 - └ Conclusion
 - └ Proof
 - └ ExplanationWhat
 - └ Theorem
 - └ Description
 - └ Definition
 - └ FormulaDefinition
 - └ TermDefinition
 - └ DropAssertion
 - └ Example
 - └ CounterExample
 - └ Argumentation
 - └ Assumption
 - └ Hypothesis
 - └ Idea
 - └ Reflection
- └ Reference/Source
 - └ ArchiveReference
 - └ DocumentReference
 - └ StaticReference
 - └ ReportReference
 - └ ProtocolReference
 - └ LexicalReference

Knowledge type⁹⁵

- └ **Reference/Source**
 - └ **ArchiveReference**
 - └ **DocumentReference**
 - └ HandbookReference
 - └ CommunicationReference
 - └ CrossReference
 - └ AnnexReference
 - └ GlossaryReference
 - └ Transaction/Assignment
 - └ Information
 - └ InteractiveTransaction
 - └ Simulation
 - └ ProgrammedInstruction
 - └ Repetition
 - └ Drill&Practice
 - └ Exercise
 - └ DiscoveryExercise
 - └ DiscoveryMistakes
 - └ DiscoveryDifference
 - └ ProblemSolving
 - └ MatchingExercise
 - └ OrderingExercise
 - └ SequencingExercise
 - └ BuildingExercise
 - └ SentenceConstruction
 - └ TechnicalConstruction
 - └ DocumentConcstruction
 - └ Quiz
 - └ PrononcingExercise
 - └ ShortAnswerExercise
 - └ LongAnswerExercise
 - └ InstructionalGame
 - └ CheckboxExercise/Test
 - └ MultipleChoiceTest
 - └ SingleChoice Test
 - └ TrueOrFalse
 - └ DiscriminationExercise
 - └ FillInTheBlankExercise
 - └ SpellingExercise
 - └ CompetenceType
 - └ Cognitive
 - └ Emotional
 - └ Sensomotric
 - └ Social
 - └ Relation
 - └ HierarchyRelation
 - └ GenericRelation
 - └ PartOfRelation
 - └ RefersRelation
 - └ RelationToDeterminingConcept
 - └ SideBySideRelation
 - └ SimilarityRelation
 - └ AlternativeRelation

⁹⁵ Les concepts en gras et en italique sont ceux qui sont repris de la page précédente pour faciliter la lecture.

Knowledge type└ **Relation**└ **RefersRelation**

- └ AntonymyRelation
- └ SubsequentRelation
- └ AffinityRelation
- └ CharacterRelation
- └ AttributeRelation
- └ CarrierRelation
- └ AnalogyRelation
- └ ContextRelation
- └ ProcessRelation
 - └ EvaluationRelation
 - └ ToolRelation
 - └ CauseRelation

└ **Media**

- └ Text
- └ Table
 - └ ActionTable
 - └ StateTable
- └ Picture
 - └ Diagram
 - └ CognitiveMap
 - └ GrafticModel
 - └ AnimatedPicture
- └ Image
 - └ SingleImage
 - └ SlideShow
 - └ NotAnimatedSlideShow
 - └ AnimatedSlideShow
- └ Sound
 - └ Music
 - └ Speech
 - └ Noise
- └ Movie
 - └ StoppedMovie
- └ CommunicationMedia
 - └ Chat
 - └ NewsGroup
 - └ Email
 - └ VideoConference
 - └ WhiteBoard
 - └ MailingList
 - └ DigitalPhone

└ **Action**

- └ Analyze
- └ Answer
- └ Apply
- └ Ascertain
- └ Ask
- └ Associate
- └ Categorize
- └ Change
- └ Chart
- └ Choose
- └ Classify
- └ Codify

Knowledge type

└ **Action**

- └ Conclude
- └ Create
- └ Define
- └ Demonstrate
- └ Depict
- └ Derrive
- └ Describe
- └ Design
- └ Determine
- └ Differentiate
- └ Discover
- └ Discriminate
- └ Display
- └ Distinguish
- └ Draw
- └ Estimate
- └ Evaluate
- └ Execute
- └ Experiment
- └ Explain
- └ Extrapolate
- └ Find
- └ Generate
- └ Identify
- └ Illustrate
- └ Imply
- └ Infer
- └ Interrogate
- └ Interpolate
- └ Interpret
- └ Invent
- └ Judge
- └ Listen
- └ Manipulate
- └ Match
- └ Measure
- └ Name
- └ Observe
- └ Originate
- └ Participate
- └ Perform
- └ Pick
- └ Predict
- └ Prepare
- └ Present
- └ Rank
- └ Read
- └ Rearrange
- └ Recall
- └ Recognize
- └ Remove
- └ Reorder
- └ Represent
- └ Restate
- └ Select

Knowledge type

└ **Action**

- └ Show
- └ Situate
- └ Solve
- └ Sort
- └ State
- └ Summarize
- └ Transform
- └ Translate
- └ Understand
- └ Use
- └ Write

A.2 Quelques définitions de l'ontologie pédagogique

Relations concernant des rôles pédagogiques

```
;; An Answer always correspond to a Question
(-> [Question] (ref [Topic])
      (rslt [Answer]))

;; general structure of an example
(-> [Example] (ref [Concept])
      (attr [Evaluation]))

;; general description of a counter example
(let ((px [Problem])
      (py [Problem])
      (m [Method])
      (x [Solution])
      (y [Solution])
      (l [Learner]))

  (-> [Solve] (agnt l)
        (obj px)
        (rslt (-> x (ref px)))
        (meth m))

  (-> [Solve] (agnt [System])
        (obj py)
        (rslt (-> y (ref py)))
        (meth m))

  (-> [Evaluate] (agnt l)
        (obj x)
        (ref px)
        (rslt [True]))

  (-> [Evaluate] (agnt l)
        (obj y)
        (ref py)
        (rslt [False])))

;; An Exercise has a solution
(-> [Exercise] (rslt [Solution]))

;; An Explanation concern a certain Information
(trace "blabla")
(-> [Explanation] (ref [Information]))

;; An Introduction concern a certain Topic
(-> [Introduction] (ref [Subject]))

;; A Problem has a Solution
(-> [Problem] (ref [ENTITY])
      (rslt [Solution]))

;; A Test has a solution
(-> [Test] (rslt [Solution]))
```


Autres définitions

```
;; return the value of the advised attribute of a graph
(define (advised? cg)
  (let ((conc-cg (cg-concepts cg))
        (sol '#f))
    (map (lambda (conc)
          (if (equal? (type-name (concept-type conc)) 'Advised)
              (if (equal? (concept-ref conc) "True")
                  (set! sol '#t)
                  (set! sol '#f))
              )) conc-cg)
        sol))
```

```
;; _____ GENERAL RULES _____
```

```
;; When two parts are ordered in a structure, the URLs
;; that represents those parts are ordered in the same way
```

```
(let ((e1 [Information])
      (e2 [Information])
      (url1 [URL])
      (url2 [URL]))
  (IF (-> [Structure] (part e1)
        (part e2))
    (-> e1 (next e2))
    (-> [Media] (repr (-> [Instruction] (ref e1)))
          (loc url1))
    (-> [Media] (repr (-> [Instruction] (ref e2)))
          (loc url2))
    (THEN (-> url1 (next url2)))
    ))
```

```
;; If an Explanation concerning "t" is not understood with
;; a sufficient accuracy then an Example of "t" must be shown
```

```
(let ((the-topic [Information]))
  (IF (-> [Understand]
        (obj (-> [Explanation] (ref the-topic)))
        (attr [Accuracy "Bad"]))
    (THEN (-> [Example]
              (ref the-topic)
              (attr [Visible "Advised"])))
    )
  )
```

Annexe B : Ontologie du domaine - les sonates

B.1 Hiérarchie de concepts de l'ontologie des sonates

- └ Universal
 - └ Entity
 - └ MusicTheory
 - └ Key
 - └ Tone
 - └ Octave
 - └ Mode
 - └ Major
 - └ Minor
 - └ Measure
 - └ Adagio
 - └ Allegro
 - └ Allegro-ma-non-troppo
 - └ Structure
 - └ MusicForm
 - └ Art
 - └ Music
 - └ MusicWork
 - └ Score
 - └ Solo
 - └ Sonata
 - └ Movement
 - └ Exposition
 - └ Development
 - └ Recapitulation
 - └ Coda
 - └ PrimaryArea
 - └ SecondaryArea
 - └ Transition
 - └ ClosingArea
 - └ Syncopation
 - └ Motive
 - └ Theme
 - └ Person
 - └ Composer
 - └ SonataComposer
 - └ Beethoven

B.2 Quelques définitions de l'ontologie des sonates

```

(append-graphs KnowledgeBase

(let ((info [Concept "Key"]))
  (-> [Text] (loc [URL "sonata/key.html"]) ;; Presentation of a music
  key
      (repr (-> [Explanation] (ref info))))
  (-> [Diagram] (loc [URL "sonata/images/key.gif"]) ;; Schema of the
  different KEYS
      (repr (-> [Illustration] (ref info)))))

;; Initialisation of the BI... in future version that must be
initialized automatically at the beginning
(-> [URL "sonata/images/key.gif"] (attr [Visible "True"])
    (attr [Advised "False"])
    (attr [Visited "False"]))

(-> [URL "sonata/key.html"] (attr [Visible "True"])
    (attr [Advised "False"])
    (attr [Visited "False"]))

;; Explanation of the mesure (tempo) in music
(-> [Text]
    (loc [URL "sonata/measure.html"])
    (repr (-> [GlossaryItem] (ref [Concept "Measure"]))))

(-> [URL "sonata/measure.html"] (attr [Visible "True"])
    (attr [Advised "False"])
    (attr [Visited "False"]))

;; Explanation of a movement
(-> [Text]
    (loc [URL "sonata/movement.html"])
    (repr (-> [GlossaryItem] (ref [Concept "Movement"]))))

(-> [URL "sonata/movement.html"] (attr [Visible "True"])
    (attr [Advised "False"])
    (attr [Visited "False"]))

;; Explanation of a theme
(-> [Text]
    (loc [URL "sonata/theme.html"])
    (repr (-> [GlossaryItem] (ref [Concept "Theme"]))))

(-> [URL "sonata/theme.html"] (attr [Visible "True"])
    (attr [Advised "False"])
    (attr [Visited "False"]))

```

```

; BI relating with sonata concept
(let ((info [Concept "Sonata"]))
  (AND
    (-> [Text]
      (repr (-> [Introduction] (ref info)))
      (loc [URL "sonata/sonata-start.html"]))) ;; Start point of the
course
    (-> [Text]
      (repr (-> [Explanation] (ref info)))
      (loc [URL "sonata/sonata.html"]))) ;; Explanation of a sonata

;; definition of a sonata structure
(let ((expo [Structure "Exposition"])
      (devl [Structure "Development"])
      (reca [Structure "Recapitulation"])
      (coda [Concept "Coda"]))
  (AND (-> [Text]
    (loc [URL "sonata/structure.html"])
    (repr (-> [Illustration]
      (ref (-> [Structure "Sonata"]
        (part expo)
        (part devl)
        (part reca)
        (part coda))))))
    (-> expo (next (-> devl (next (-> reca (next coda)))))))
  )

;; definition of an exposition structure
(let ((expo [Structure "Exposition"])
      (prim [Concept "Primary Area from Exposition"])
      (tran [Concept "Transition from Exposition"])
      (seco [Concept "Secondary Area from Exposition"])
      (cont [Concept "Continuation from Exposition"])
      (clos [Concept "Closing Area from Exposition"]))
  (AND (-> expo (part prim)
    (part tran)
    (part seco)
    (part cont)
    (part clos))
    (-> prim (next (-> tran (next (-> seco (next (-> cont (next
clos))))))))))
  )

;; remark concerning the order of the movements
(let ((reca [Structure "Recapitulation"])
      (prim [Concept "Primary Area from Recapitulation"])
      (tran [Concept "Transition from Recapitulation"])
      (seco [Concept "Secondary Area from Recapitulation"])
      (cont [Concept "Continuation from Recapitulation"])
      (clos [Concept "Closing Area from Recapitulation"]))
  (AND (-> reca (part prim)
    (part tran)
    (part seco)
    (part cont)
    (part clos))
    (-> prim (next (-> tran (next (-> seco (next (-> cont (next
clos))))))))))
  )

;; BI relating with the exposition

```

```

(let ((info [Structure "Exposition"]))
  (AND (-> [Image]
    (repr (-> [Illustration] (ref info)))
    (loc [URL "sonata/images/Seitensatz.gif"]))) ;; Example of a
partition
  (-> [Sound]
    (repr (-> [Example] (ref info)))
    (loc [URL "sonata/audio/exposition.wav"])))
  (-> [Text]
    (repr (-> [Explanation] (ref info)))
    (loc [URL "sonata/exposition.html"])))) ;; Explanation of an
EXPOSITION

;; Picture representing Ludwig van Beethoven
(-> [Image]
  (repr (-> [Illustration] (ref [Fact "Beethoven"])))
  (loc (-> [URL "Ludwig-van.jpg"] (attr [Visible "True"])
    (attr [Visited "False"]))))

;; Picture representing Wolfgang Amadeus Mozart
(-> [Image]
  (repr (-> [Illustration] (ref [Fact "Mozart"])))
  (loc (-> [URL "Wolfgang-Amadeus.jpg"] (attr [Visible "True"])
    (attr [Visited "False"]))))

;; Example of a partition
(-> [Image]
  (repr (-> [Illustration] (ref [concept score])))
  (loc (-> [URL "images/Hauptsatz.gif"] (attr [Visible "True"])
    (attr [Visited "False"]))))

```

Bibliographie

- [Ahanger et al., 1998] G. Ahanger and T.D.C. Little. *A Language to Support Automatic Composition of Newscasts*. In Journal of Computer and Information Technology, Vol. 6, N° 3, 1998.
<http://hulk.bu.edu/publications.html>
- [Albert, 1987] Albert. *Education pour l'an 2000*. Compte rendu du colloque organisé à Nantes le 26 octobre 1987 par la fondation Frederik R. Bull, Formation et techniques de la communication, A. Principal : Yanowski Jean, 1987.
- [Asselborn et al., 1997] Jean-Claude Asselborn, Jean-Marie Jans, Alain Bertrand and Claude Schanet. *Implémentation en Java de connaissances légales aux niveaux opérationnel et explicatif*. Genie Logiciel N°46, Actes GL 97, 1997.
- [Auffret, 1999] Gwendal Auffret. *Indexation Documentaire de Documents Virtuels : Vers un Nouveau Mode de Lecture des Documents Audiovisuels*. Atelier sur les Documents Virtuels Personnalisables : De la Définition à l'Utilisation, 11ème Conférence Francophone sur l'Interaction Homme-Machine, IHM'99, Montpellier, novembre 1999.
<http://www.site-eerie.ema.fr/~multimedia/ihm99/>
- [Bachimont, 2000] Bruno Bachimont. *Indexation audiovisuelle : une problématique en pleine évolution*. Dans l'objet - logiciel, bases de données, réseaux, Numéro spécial Objets et multimédia, Ed. Hermès science, Vol. 6, N°2, 2000.
- [Balpe et al., 1996] Jean-Pierre Balpe, Alain Lelu, Fabrice Papy et Imad Saleh. *Techniques avancées pour l'hypertexte*. Ed. Hermès, ISBN 2-86601-522-3, 1996.
- [Bardou et al., 1996] Daniel Bardou, Christophe Dony et Jacques Malenfant. *Comprendre et interpréter la délégation, une application aux objets morcelés*. Dans Actes des journées du GDR Programmation, Orléans, France, novembre 1996.
<http://www.lirmm.fr/~bardou/publi.html>
- [Baron, 1998] Monique Baron. *Introduction à "Modélisation de l'Apprenant"*, revue science et techniques éducatives, Vol. 5, N°2, Ed. Hermès, juin 1998.
- [Benesch, 1995] Hellmuth Benesch, *Atlas de la Psychologie*, Encyclopédies d'Aujourd'hui, Le livre de poche, 1995.
- [Boksenbaum et al., 1993] Claude Boksenbaum, Boris Carbonneill, Ollivier Haemmerlé, Thérèse Libourel. *Conceptual Graphs for Relational Databases*. Lecture Notes in AI N°699, Conceptual Graphs for Knowledge Representation, Guy W. Mineau, Bernard Moulin, John F. Sowa (Eds.), Proceedings ICCS'93, Quebec City, Canada, Springer-Verlag, August 1993.
- [Bouchon-Meunier, 1993] Bernadette Bouchon-Meunier. *La Logique Floue*. Collection "Que sais-je ?", presses universitaire de France, N° 2702, ISBN 2-13-045007-5, 1993.
- [Bouchon-Meunier, 1995] Bernadette Bouchon-Meunier. *La Logique Floue et ses applications*. Collection Vie artificielle, Ed. Addison-Wesley, ISBN 2-87908-073-8, 1995.
- [Bra et al., 1998] Paul De Bra P. and Licia Calvi. *2L670: A Flexible Adaptive Hypertext Courseware System*. Actes HyperText'98, Pittsburgh., PA., USA, Ed. ACM Press, pp. 283-284, June 1998.
- [Breuker et al., 1999] Joost Breuker and Antoinette Muntjewerff. *Ontological Modelling for Designing Educational Systems*. Workshop on Ontologies for Intelligent Educational Systems, Ninth International

- Conference on Artificial Intelligence in Education, AI-ED'99, Le Mans, France, July 19-23, 1999.
<http://www.ei.sanken.osaka-u.ac.jp/aied99/aied99-onto.html>
- [Brunie, 1999] Vincent Brunie. *Reconstruction documentaire pour la lecture des hypertextes : problèmes et méthodes*. Thèse de Doctorat en Informatique, Université de Technologie de Compiègne, décembre 1999.
- [Brusilovsky et al., 1994] Peter Brusilovsky and Leonid Pesin. *ISIS-Tutor: An Intelligent Learning Environment for CDS/ISIS Users*. Proceedings of CLCE'94, Joensuu, Finland, 1994.
- [Brusilovsky et al., 1995] Peter Brusilovsky and Leonid Pesin. *Visual annotation of links in adaptive hypermedia*. In I. Katz, R. Mack, & L. Marks (Eds.), CHI'95 Conference Companion, Denver, pp. 222-223, May 7-11, 1995.
http://www.acm.org/sigchi/chi95/Electronic/documnts/shortppr/plb_bdy.htm
- [Brusilovsky et al., 1996] Peter Brusilovsky, Elmar Schwarz, and Gerhard Weber. *A Tool for Developing Hypermedia-Based ITS on WWW*. Proceedings of Workshop on Architectures and Methods for Designing Cost-Effective and Reusable ITSs, ITS'96, Third International Conference on Intelligent Tutoring Systems, Montreal, Canada, June 10, 1996.
<http://advlearn.lrdc.pitt.edu/its-arch/papers/brusilovsky.html>
- [Brusilovsky, 1998] Peter Brusilovsky. *Methods and Techniques of Adaptive Hypermedia*. In Adaptive Hypertext and Hypermedia, P. Brusilovsky et al. (Eds.), Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp. 1-43, 1998.
- [Buneman et al., 1997] Peter Buneman, Susan Davidson, Mary Fernandez and Dan Suciu. *Adding Structure to Unstructured Data*. In proc ICDT, 1997.
- [Canut et al., 1999] M. Françoise Canut, Guy Gouardères and Eric Sanchis. *The Systemion: A New Agent Model to Design Intelligent Tutoring System*. In proceedings of the ninth international conference on Artificial Intelligence in Education, AI-ED'99, Suzanne P. Lajoie and Martial Vivet (Eds.), IOS Press, pp. 54-63, 1999.
- [Carbonneill et al., 1994a] Boris Carbonneill, Ollivier Haemmerlé. *ROCK : un système de Question/Réponse fondé sur le formalisme des Graphes Conceptuels*. Actes du 9ème Congrès Reconnaissance des Formes et Intelligence Artificielle, Paris (France), pp. 159-169, janvier 1994.
- [Carbonneill et al., 1994b] Boris Carbonneill, Ollivier Haemmerlé. *Standardizing and Interfacing Relational Databases Using Conceptual Graphs*. In Proceedings of the 2nd International Conference on Conceptual Structures : Current Practices, W. M. Tepfenhart, J. P. Dick, J.F. Sowa, College Park, MA, USA, LNAI 835, Springer, pp. 311-330, August 1994.
- [Carrara et al., 1999] Massimiliano Carrara and Nicola Guarino. *Formal Ontology and Conceptual Analysis : a Structured Bibliography*, mars 1999.
<http://www.ladseb.pd.cnr.it/infor/ontology/Papers/Ontobiblio/TOC.html>
- [Carrer et al., 1997] M. Carrer, L. Ligresti, G. Ahanger, and T.D.C. Little. *An Annotation Engine for Supporting Video Database Population*. Multimedia Tools and Applications Vol. 5, N° 3, pp. 233-258, November 1997.
<http://hulk.bu.edu/pubs/abstracts.html>
- [Chein et al, 1992] Michel Chein and Marie-Laure Mugnier. *Conceptual Graphs : Fundamental Notions*. Dans la Revue d'Intelligence Artificielle (RIA), Vol 6, N°4, pp. 365-406, 1992.
- [Chen et al., 1999] Weiqin Chen and Riichiro Mizoguchi. *Communication Content Ontology For Learner Model Agent in multi-Agent Architecture*. Workshop on Ontologies for Intelligent Educational Systems, Ninth International Conference on Artificial Intelligence in Education, AI-ED'99, Le Mans, France, July 19-23th, 1999.
<http://www.ei.sanken.osaka-u.ac.jp/aied99/aied99-onto.html>

- [Cherkaoui et al., 1997] Chihab Cherkaoui, Michel Chambreuil and Laurent Gaguët. *Aspects de la planification didactique : étude dans le cadre d'un environnement d'aide à l'apprentissage de la lecture*. Science et technique éducatives, Vol. 4, N°3, pp. 257-297, 1997.
- [Clancey et al., 1984] William J. Clancey and Reed Letsinger. NEOMYCIN: Reconfiguring a Rule-Based Expert System for Application to Teaching. In *Reading in Medical Artificial Intelligence: The first Decade*, W.J.Clancey & E.H.Shortliffe Edts., Ed. Addison-Wesley, pp. 361-381, 1984.
- [Cleary et al., 1996] Chip Cleary and Ray Bareiss. *Practical Methods for Automatically Generating Typed Links*. The Proceedings of the Seventh ACM Conference on Hypertext, Washington, DC, March 1996.
- [Crampes, 1995] Michel Crampes. *Composition multimédia dans un contexte narratif*. Thèse de doctorat en informatique, Université de technologie de Montpellier II, décembre 1995.
- [Crampes, 1997] Michel Crampes. *Auto-Adaptive Illustration through Conceptual Evocation*. in Proc. DL'97, ACM Digital Library '97, Philadelphia., PA., USA, Ed. ACM Press, pp. 247-253, July 1997.
- [Crampes et al., 1998a] Michel Crampes, Jean-Paul Veuillez and Sylvie Ranwez. *Adaptive Narrative Abstraction*. Proceedings of the Ninth ACM Conference on Hypertext and Hypermedia, Hypertext'98, pp 97-105, Pittsburgh, Pennsylvania, June 20-24th, 1998.
- [Crampes et al., 1998b] Michel Crampes et Gérard Saussac. *L'acte d'Apprentissage au Coeur de la Simulation*. NTICF'98, INSA de Rouen, France, novembre 1998.
- [Crampes, 1999] Michel Crampes. User Controlled Adaptivity versus SystemControlled Adaptivity in Intelligent Tutoring Systems. In proceedings of AI-ED 99, Le Mans, France, July 19-23th 1999.
- [Crampes et al., 1999a] Michel Crampes et Gérard Saussac. *Facteurs qualité et composantes de scénario pour la conception de simulateurs pédagogiques à vocation comportementale*. Dans *Simulation et formation professionnelle dans l'industrie*, coordonnateurs Michelle Joab et Guy Gouardères (Eds.), Sciences et Techniques Educatives, Vol. 6, N°1, pp.11-36, 1999.
- [Crampes et al., 1999b] Michel Crampes, Laurent Bayart, Anne Gelly et Pierre Uny. *Spécification et proposition d'une DTD pour la qualification de matériaux pédagogiques adaptatifs*. Dans *Science et Techniques Educatives*, Vol. 6, N° 2, pp.343-374, 1999.
- [Crampes et al., 2000] Michel Crampes and Sylvie Ranwez. *Ontology-Supported and Ontology-Driven Conceptual Navigation on the World Wide Web*. Proceedings of HT'00, the 11th ACM Conference on Hypertext, San Antonio, Texas, 2000.
- [Dale et al., 1998] Robert Dale, Stephen J Green, Maria Milosavljevic, Cecile Paris, Cornelia Verspoor and Sandra Williams. *Using Natural Language Generation Techniques to Produce Virtual Documents*. In Proceedings of the Third Australian Document Computing Symposium (ADCS'98), Sydney, Australia, 21st August, 1998.
<http://www.dynamicmultimedia.com.au/papers/>
- [Delestre, 2000] Nicolas Delestre. *METADYNE Un Hypermédia Adaptatif Dynamique pour l'Enseignement*. Thèse de Doctorat en Informatique de l'Université de Rouen, janvier 2000.
- [Delugach, 1992] Harry S. Delugach. *An Exploration Into Semantic Distance*. Lecture Notes in Artificial Intelligence, N° 754, Chapter 9, Springer-Verlag, Berlin, 1993. Reprinted from Proc. Seventh Annual Workshop on Conceptual Graphs, New Mexico State University, Las Cruces, New Mexico, pp. 29-37, July 8-10, 1992.
- [Denoue et al., 1999] Laurent Denoue et Laurence Vignollet. *YAWAS : un outil d'annotation pour les navigateurs du Web*. Atelier sur les Documents Virtuels Personnalisables : De la Définition à l'Utilisation, 11^{ème} Conférence Francophone sur l'Interaction Homme-Machine, IHM'99, Montpellier, novembre 1999.
<http://www.site-eerie.ema.fr/~multimedia/ihm99/>

- [Desmoulins et al., 1999] Cyrille Desmoulins, Ouahiba Fouial et Monique Grandbastien. *Indexer des Documents Techniques pour les Réutiliser en Formation Professionnelle : Une étude de cas en réparation automobile*. In Proceedings of ISKO-France'99, Lyon, France, 21-22 octobre, 1999.
- [Devedzic, 1999] Vladan Devedzic. *ITS Ontology Engineering: Borrowing from Design Patterns*. Workshop on Ontologies for Intelligent Educational Systems, Ninth International Conference on Artificial Intelligence in Education, AI-ED'99, Le Mans, France, July 19-23th, 1999.
<http://www.ei.sanken.osaka-u.ac.jp/aied99/aied99-onto.html>
- [Dion, 1997] Emmanuel Dion. *Invitation à la théorie de l'information*. Collection points sciences, Editions du Seuil, ISBN 2-02-029940-2, p.156, 1997.
- [Domingue et al., 1999] J. Domingue J., E. Motta E. *A Knowledge-Based News Server Supporting Ontology-Driven Story Enrichment and Knowledge Retrieval*. In proceedings of the 12th Workshop on Knowledge Acquisition, Modeling and Management KAW '99, Banff, Canada, October 16-21st, 1999.
- [Dubois et al., 2000] Didier Dubois et Henri Prade. Les ensembles flous en science et ingénierie de l'information. dans "Informatiques enjeux, tendances et évolutions" Technique et science informatiques, Vol. 19, N°1,2 et 3/2000, Ed. Hermès science, pp. 203-215, janvier-mars 2000.
- [Duval, 1999] Erik Duval. *An Open Infrastructure for Learning - the ARIADNE project - Share and Reuse without boundaries*. ENABLE 99: Enabling Network-Based Learning, Espoo, Finland, June 1999.
- [Ehrlich et al., 1997] Karen Ehrlich and William J. Rapaport. *A Computational Theory of Vocabulary Expansion*. Proceedings of the 19th Annual Conference of the Cognitive Science Society, Stanford University, Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, pp. 205-210, 1997.
<http://www.cs.buffalo.edu/pub/WWW/faculty/rapaport/Papers/vocab.cogsci.tr.ps>
- [Eklund, 1993] John Eklund. *Cognitive Modelling in Intelligent Tutoring: Individualising Tutorial Dialogue*. Proceedings of ACCE93 in Australian Educational Computing, Vol. 8, Special Conference Edition, pp73-79, 1993.
http://mac-30.aded.uts.edu.au/staff/john_eklund/isr.html
- [Eklund, 1996] John Eklund. *Knowledge-Based Navigation Support in Hypermedia Courseware using WEST@*. Paper proposed for *Australian Educational Computing* Vol. 11, No. 2, 1996.
- [Eklund et al., 1997] John Eklund, Peter Brusilovsky and Elmar Schwarz. *Adaptive Textbooks on the World Wide Web*. Ansmann, H, Thistlewaite, P, Debreceeny, R and Ellis, A (Eds.), AUSWEB97 The Third Australian World Wide Web Conference, Gold Coast, Qld, Southern Cross University Press, Lismore, Australia, pp 186-192, 1997.
<http://ausweb.scu.edu.au/proceedings/eklund/>
- [Ellis et al., 1997] Gerard Ellis and Stephen Callaghan. *Peirce User Manual*. Peirce Holding International Pty. Ltd., Australia, 1997.
<http://www.phi-net.com/DownloadsTable.html>
- [Euzenat, 1999] Jérôme Euzenat. *Représentation de connaissance de l'approximation à la confrontation*. Mémoire présenté afin d'obtenir le diplôme d'habilitation à diriger les recherches, Université Joseph Fourier - Grenoble I, 20 Janvier 1999.
- [Feiner et al., 1990] Steven K. Feiner and Kathleen R. McKeown. *Coordinating Text and Graphics in Explanation Generation*. In Proceedings of the Eighth National Conference on Artificial Intelligence, pp. 442-449. Menlo Park, Calif. American Association for Artificial Intelligence, 1990.
- [Fensel et al., 1998] Dieter Fensel, Stefan Decker, Michael Erdmann, and Rudi Studer. *Ontobroker: How to make the WWW Intelligent*. Research report, Institute AIFB, in Proceedings KAW98, the 11th Banff Knowledge Acquisition for Knowledge-Based System Workshop research report, Banff, Kanada, April 1998.
<http://www.aifb.uni-karlsruhe.de/WBS/broker/ontobroker.html>

- [Foo et al., 1992] Norman Foo, Brian J. Garner, Anand Rao, and Eric Tsui. *Semantic Distance in Conceptual Graphs*. In *Current Directions in Conceptual Structure Research*, ed. L. Gerhotz, Ellis Horwood, pp. 149-54, 1992.
http://www.cse.unsw.edu.au/~ksg/Abstracts/Conf/sem_dist.html
- [Forte et al., 1997a] E. Forte, M. Wentland Forte, E. Duval. *The ARIADNE Project (Part I) : Knowledge Pools for Computer Based & Telematics Supported Classical, Open & Distance Educations*. In *European Journal of Engineering Education*, Vol. 22, N°2, pp. 61-74, 1997.
- [Forte et al., 1997b] E. Forte, M. Wentland Forte, E. Duval, *The ARIADNE Project (Part II) : Knowledge Pools for Computer Based & Telematics Supported Classical, Open & Distance Educations*. In *European Journal of Engineering Education*, Vol. 22, N°2, pp 153-166, 1997.
- [Garlatti et al., 1999] Serge Garlatti et Sébastien Iksal. *Documents virtuels personnalisables pour des systèmes d'informations en ligne*. Atelier sur les Documents Virtuels Personnalisables : De la Définition à l'Utilisation, 11^{ème} Conférence Francophone sur l'Interaction Homme-Machine, IHM'99, Montpellier, novembre 1999.
<http://www.site-eerie.ema.fr/~multimedia/ihm99/>
- [Gómez-Pérez et al, 1996] Asunción Gómez-Pérez, Mariano Fernández and Antonio J. de Vicente. *Towards a Method to Conceptualize Domain Ontologies*. In *Working Notes of the Workshop on Ontological Engineering, ECAI'96*, pp. 41-52, Aout 1996.
http://delicias.dia.fi.upm.es/reusabilidad/indice_por_lugar.html
- [Goodkovsky, 1996] Vladimir A. Goodkovsky. *"Intelligent Tutor": Shell, Toolkit & Technology*. Position paper for ITS'96 Workshop on Architectures and Methods for Designing Cost-Effective and Reusable ITSs, Montreal, June 10th 1996.
- [Goodkovsky, 1997] Vladimir A. Goodkovsky. *"Intelligent Tutor": Top-Down Approach to ITS Design*. 1997.
<http://www.manta.ieee.org/p1484/goodkov/goodkov.htm>
- [Gordon et al., 1996] Andrew Gordon, Smadar Kedar, and Eric Domeshek. *Interfaces for Managing Access to a Video Archive*. In *Proceedings of the Computer-Human Interaction Conference (CHI'96)*, Vancouver, BC, Canada, 1996.
http://www.acm.org/turing/sigs/sigchi/chi96/proceedings/intpost/Gordon/ga_txt.htm
- [Gouardères et al., 2000] Guy Gouardères, Anton Minko et Luc Richard. *Traçabilité de l'utilisateur avec un simulateur*. Dans les actes de la conférence internationale sur l'Ingénierie des systèmes et les nouvelles technologies d'information et de communication, Nîmes-TIC 2000, pp. 308-321, Nîmes, septembre 2000.
- [Green, 1998] Stephen J. Green. *Automated link generation: can we do better than term repetition?* Proceedings of the Seventh World Wide Web Conference (WWW7), Brisbane, also in a special issue of the journal *Computer Networks and ISDN Systems*, Vol. 30, issues 1-7, 1998.
<http://decweb.ethz.ch/WWW7/1834/com1834.htm>
- [Greer et al., 1997] Jim E. Greer and Tim Philip. *Guided Navigation Through Hyperspace*. In proceedings of the Workshop "Intelligent Educational Systems on the World Wide Web", 8th World Conference of the AIED Society, Kobe, Japan, 18-22th August 1997.
http://www.contrib.andrew.cmu.edu/~plb/AIED97_workshop/Greer.html
- [Grice, 1975] H.P.Grice. *Logic and conversation*. In *Syntax and semantics*, Vol.3. Speech acts. P. Cole and J.L. Morgan, (Eds.), New York: Academic Press, pp.41-58, 1975.
- [Gruber, 1991] Thomas R. Gruber. *The Role of Common Ontology in Achieving Sharable, Reusable Knowledge Bases*. In *Proceedings of the Second International Conference Principles of Knowledge Representation and Reasoning, (KR & R-91)*, J. Allen, R. Fikes, and E. Sandewall (Eds.), Morgan Kaufmann Publishers: San Mateo, CA, pp.601-602, 1991.

- [Gruber, 1992] Thomas R. Gruber. *Ontolingua: A mechanism to support portable ontologies*. Knowledge Systems Laboratory Technical Report KSL-91-66, Stanford University, version 3.0, CA, 1992.
<http://www-ksl.stanford.edu/knowledge-sharing/papers/index.html#ontolingua-long>
- [Gruber, 1993] Thomas R. Gruber. *A Translation Approach to Portable Ontology Specifications*. Knowledge Acquisition, Vol.5, No. 2, pp.199-220, 1993.
- [Gruber, 1995] Thomas R. Gruber. *Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing*. Revision of paper presented at the international workshop on Formal Ontology, Padova, Italy, March 1993, in Special issue of the International Journal of Human-Computer Studies, Vol. 43, N° 5-6, Nicola Guarino and Roberto Poli (Eds.), 1995.
- [Gruber et al., 1995] Thomas Gruber, S. Vemuri, and J. Rice. *Model-based Virtual Document Generation*. Technical Report KSL-95-80, Stanford University, Knowledge Systems Laboratory, 1995.
http://www-ksl.stanford.edu/KSL_Abstracts/KSL-95-80.html
- [Grüninger et al., 1995] Michael Grüninger and Mark S. Fox. *Methodology for the Design and Evaluation of Ontologies*. Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing, IJCAI, Montreal, 1995.
- [Grüninger, 1996] Michael Grüninger. *Designing and Evaluating Generic Ontologies*. Proceedings of the Workshop on Ontological Engineering, European Conference on Artificial Intelligence, Budapest, pp. 53-65, 1996.
- [Guarino, 1997a] Nicola Guarino. *Some Organizing Principles for a Unified Top-Level Ontology*. Revised version of a paper appeared at AAAI 1997 Spring Symposium on Ontological Engineering, LADSEB-CNR Int. Rep., February 1997.
<http://www.ladseb.pd.cnr.it/infor/OntologyPapers/OntologyPapers.html>
- [Guarino, 1997b] Nicola Guarino. *Semantic Matching: Formal Ontological Distinctions for Information Organization, Extraction, and Integration*. In Information Extraction: A Multidisciplinary Approach to an Emerging Information Technology, SCIE 1997, M. T. Paziienza (Eds.), Springer Verlag, pp. 139-170, 1997.
<http://www.ladseb.pd.cnr.it/infor/ontology/Papers/OntologyPapers.html>
- [Habib, 1997] Michel Habib, Michel Morvan et Lhouari Nourine. *Introduction à l'Algorithmique des Treillis*. Support de cours de DEA, janvier 1997.
- [Haemmerlé, 1995a] Ollivier Haemmerlé. *Implementation of Multi-Agent Systems using Conceptual Graphs for Knowledge and Message Representation : the CoGITO Platform*. In Supplementary Proceedings of the 3rd International Conference on Conceptual Structures, ICCS'95, Santa Cruz, CA, USA, August 1995.
- [Haemmerlé, 1995b] Ollivier Haemmerlé. *Systèmes Multi-Agents et Graphes Conceptuels : la plate-forme CoGITO*. Actes des 3^{èmes} Journées Francophones IAO et SMA, Saint Baldoph, France, 1995.
- [Haemmerlé, 1995c] Ollivier Haemmerlé. *La Plate-forme CoGITO: Manuel d'utilisation*. Rapport de recherche LIRMM, R.R.LIRMM 95012, CNRS-Université Montpellier II, février 1995.
- [Hakim et al., 1996] Naji Hakim et Marie-Bernadette Dufourcet. *Guide pratique d'analyse musicale*. 4^{ème} édition, Edition Combre, Paris, ISBN 2-9506073-0-6, 1996.
- [Hakkoymaz et al., 1999] Veli Hakkoymaz, J. Kraft and G. Ozsoyoglu. *Constraint-based automation of multimedia presentation assembly*. ACM Multimedia Systems Vol.7, N°6, pp. 500-518, 1999
<http://link.springer-ny.com/link/service/journals/00530/tocs/t9007006.htm>
- [Hannigan et al, 1998] Cecilia Hannigan and Maureen Murphy. GAMUT: Generic Adaptive MULTimedia Tutoring. Nîmes'98, 26-28 mai, LLIA N°134-136, mai -août 1998.
- [Hascoët, 1999] Mountaz Hascoët. *Bookmap : a user interface supporting web navigation*. Sous titre *Navigation and interaction within Graphical Bookmarks*, rapport interne du LRI, N°1232, 1999.
<http://www-ihm.lri.fr/~mountaz/biblio.html>

- [Hauptmann et al., 1995] Alexander G. Hauptmann and Michael A. Smith. *Text, Speech, and Vision for Video Segmentation: The Informedia Project*. AAAI Fall, Symposium on Computational Models for Integrating Language and Vision, 1995.
http://www.ri.cmu.edu/pubs/pub_2710.html
- [Hauptmann et al., 1997] Alexander, G. Hauptmann, Michael J. Witbrock, and Michael G. Christel. *Artificial Intelligence Techniques in the Interface to a Digital Video Library*. Proceedings of the CHI-97 Computer-Human Interface Conference New Orleans LA, March 1997.
<http://www.cs.cmu.edu/afs/cs.cmu.edu/user/alex/www/HomePage.html>
- [Henze et al., 1999] Nicola Henze, Wolfgang Nejdil and Martin Wolpers. *Modeling Constructivist Teaching Functionality and Structure in the KBS Hyperbook System*. AIED99 Workshop on Ontologies for Intelligent Educational Systems, Le Mans, France, July 18-19, 1999.
<http://www.kbs.uni-hannover.de/Arbeiten/Publikationen/1999/aied99/index.html>
- [Ho, 1994] Kenneth H.L. Ho. *Learning Fuzzy Concepts By Examples with Fuzzy Conceptual Graphs*, Proc. 1st Australian Conceptual Structures Workshop, Armidale N.S.W. Australia, 1994.
- [Ikeda et al., 1999] M. Ikeda, Y. Hayashi, J. Lai, W. Chen, J. Bourdeau, K. Seta and R. Mizoguchi. *An ontology more than a shared vocabulary*. Workshop on Ontologies for Intelligent Educational Systems, Ninth International Conference on Artificial Intelligence in Education, AI-ED'99, Le Mans, France, July 19-23, 1999.
<http://www.ei.sanken.osaka-u.ac.jp/aied99/aied99-onto.html>
- [Kabel et al., 1999] S.C. Kabel, B.J. Wielinga, and R. de Hoog. *Ontologies for indexing Technical Manuals for Instruction*. Workshop on Ontologies for Intelligent Educational Systems, Ninth International Conference on Artificial Intelligence in Education, AI-ED'99, Le Mans, France, July 19-23, 1999.
<http://www.ei.sanken.osaka-u.ac.jp/aied99/aied99-onto.html>
- [Karp et al., 1999] P.D. Karp, V.K. Chaudhri, and J.F. Thomere. *XOL: An XML-Based Ontology Exchange Language*. Technical Note 559, AI Center, SRI International, 333 Ravenswood Ave., Menlo Park, CA 94025, July 1999.
<http://www.ai.sri.com/~pkarp/>
- [Klein et al., 2000] Michel Klein, Dieter Fensel, Frank van Harmelen and Ian Horrocks. *The Relation between Ontologies and Schema-Languages: Translating OIL-Specifications to XML-Schema*. In Proceedings of the Workshop on Applications of Ontologies and Problem-solving Methods, 14th European Conference on Artificial Intelligence ECAI-00, Berlin, Germany, August 20-25th 2000.
<http://www.ontoknowledge.org/oil/papers.shtml>
- [Laurillard, 1993] Diana Laurillard. *Rethinking University Teaching: A Framework for the Effective Use of Educational Technology*. Routledge, London, 1993.
- [Laurillard, 2000] Diana Laurillard, Matthew Stratfold, Rose Luckin, Lydia Plowman and Josie Taylor. *Affordances for learning in a non-linear narrative*. Journal of Interactive Media in Education, JIME, Gerry Stahl (Eds.), U. Colorado, USA, 2000.
<http://www.jime.open.ac.uk/99/laurillard/laurillard-t.html>
- [Lea, 1995] Doug Lea. *Roles Before Objects* An unfinished draft on patterns for role-based OO development, 1995.
<http://gee.cs.oswego.edu/dl/rp/roles.html>
- [Lee et al., 1996] Jintae Lee, Michael Gruninger, Yan Jin, & the PIF Working Group 1996. *Process Interchange Format for Sharing Ontologies*. ECAI96 Workshop on Ontological Engineering, Budapest, August 1996.
- [Lesgold et al., 1994] Alan Lesgold, Sandra Katz, Dan Suthers and Arlene Weiner. *Semantic Annotations in HTML*. Excerpt from Collaboration, Apprenticeship, and Critical Discussion: Groupware for Learning, 1994.
<http://advlearn.lrdc.pitt.edu/advlearn/annotate.html>

- [Linard et al., 1995] Monique Linard, Romain Zeilinger. *Designing a Navigational Support for an Educational Software*. Lecture Notes in Computer Science N° 1015, 5th International Conference EWHCI'95, Moscow, Russia, Selected Papers, Blumental, Gornostaev, Unger (Eds.), Springer, Berlin, pp 63-78, 1995.
- [Luke et al., 1997] Sean Luke, Lee Spector, David Rager, James Hendler. *Ontology-based Web Agents*. Proceedings of First International Conference on Autonomous Agents, AA-97, 1997.
<http://www.cs.umd.edu/project/plus/SHOE/spec.html>
- [Martin, 1995] Philippe Martin. *Using the WordNet Concept Catalog and a Relation Hierarchy for Knowledge Acquisition*. Proc. of Peirce'95, 4th, International Workshop on Peirce, University of California, Santa Cruz, USA, pp. 36-47, August 18th 1995.
- [Martin, 1996] Philippe Martin. *Exploitation de graphes conceptuels et de documents structurés et hypertextes pour l'acquisition de connaissances et la recherche d'informations*. Thèse de doctorat en informatique, Université de Nice - Sophia Antipolis, octobre 1996.
- [Martin et al., 1996] Philippe Martin et Laurence Alpay. *Conceptual Structures and Structured Documents*. Proceedings of ICCS'96, 4th International Conference on Conceptual Structures, Springer Verlag, LNAI 1114, Sydney, Australia, pp. 145-159, August 19-22^d 1996.
- [McHugh et al., 1998] Jason McHugh, Jennifer Widom, Serge Abiteboul, Qingshan Luo, Anand Rajaraman. *Indexing Semistructured Data*. Technical Report, February 1998.
<http://www-db.stanford.edu/~widom/pubs.html>
- [McKeown, 1986] Kathleen McKeown. *Discourse Strategies for Generating Natural-Language Text*. Natural Language Processing, B. J. Grosz, K. Sparck Jones and B. L. Webber (Eds.), Kaufmann, Los Altos, CA, pp. 479-499, 1986.
- [Michard, 1998] Alain Michard. XML Langage et Applications, ISBN 2-212-09052-8, Eyrolles, novembre 1998.
<http://www.editions-eyrolles.com/livres/michard/>
- [Michel et al., 1999] Christine Michel, Sylvie Lainé-Cruzet. *Profil-Doc : Un prototype de système de recherche d'information personnalisé selon le profil des utilisateurs*. Atelier sur les Documents Virtuels Personnalisables : De la Définition à l'Utilisation, 11^{ème} Conférence Francophone sur l'Interaction Homme-Machine, IHM'99, Montpellier, novembre 1999.
<http://www.site-eerie.ema.fr/~multimedia/ihm99/>
- [Milosavljevic et al., 1998] Maria Milosavljevic, Jon Oberlander. *Dynamic Hypertext Catalogues: Helping Users to Help Themselves*. Proceedings of the Ninth ACM Conference on Hypertext and Hypermedia, HT'98, Pittsburgh, Pennsylvania, pp.123-131, June 20-24th 1998,
- [Mineau, 1993] Guy W. Mineau. *The Term Definition Operators of Ontolingua and of the Conceptual Graph Formalism: a Comparison*. Lecture Notes in AI 699, Guy W. Mineau, Bernard Moulin, and John F. Sowa (Eds.), Conceptual Graphs for Knowledge Representation, ICCS'93, Springer-Verlag, 1993.
- [Mizoguchi et al., 1996a] Riichiro Mizoguchi, Katherine Sinita, and Mitsuru Ikeda. *Task Ontology Design for Intelligent Educational/Training Systems*. Position Paper for ITS'96 Workshop on Architectures and Methods for Designing Cost-Effective and Reusable ITSs, Montreal, June 1996.
<http://advlearn.lrdc.pitt.edu/its-arch/papers/mizoguchi.html>
- [Mizoguchi et al., 1996b]. Riichiro Mizoguchi, Katherine Sinita, and Mitsuru Ikeda. *Knowledge Engineering of Educational Systems for Authoring System Design (A preliminary results of task ontology design)*. Presented at EAIED, Lisbon, 1996.
<http://www.cbl.leeds.ac.uk/~euroaied/papers/Mizoguchi/>
- [Mizoguchi et al., 1997a] Riichiro Mizoguchi, Mitsuru Ikeda, and Katherine Sinita. *Roles of Shared Ontology in AI-ED Research (Intelligence, Conceptualization, Standardization, and Reusability)*. Proceedings of AI-

- ED 97, Kobe, Japan, pp. 537-544, 1997.
<http://www.ei.sanken.osaka-u.ac.jp/ieee/Them.paper.html>
- [Mizoguchi, 1998] Riichiro Mizoguchi. *A step Towards Ontological Engineering*. Translation of the paper presented at the 12th National Conference on AI of JSAI, pp.24-31, June 1998.
<http://www.ei.sanken.osaka-u.ac.jp/english/step-onteng.html>
- [Mizoguchi et al., 2000] Riichiro Mizoguchi and Jacqueline Bourdeau. *Using Ontological Engineering to overcome Common AI-ED Problems*. To appear in International Journal of Artificial Intelligence in Education, 11, (2000).
- [Moles, 1972] Abraham Moles. *Théorie de l'information et perception esthétique*. Collection grand format médiations, Denoël/Gonthier, 1972.
- [Morton et al., 1987] Morton, S.K., Popham, S.J. *Algorithm Design Specification For Interpreting Segmented Image Data Using Schemas And Support Logic*. Image and Vision Computing (5), Butterworth & Co publishers, pp. 206-216, 1987.
- [Motta et al., 2000] Motta, E., Buckingham Shum, S., and Domingue, J. *Ontology-Driven Document Enrichment: Principles, Tools and Applications*. To appear in the International Journal of Human-Computer Studies, (2000).
- [Moulin, 1999] Claude Moulin. *Typology of Shared Documents in a Web-Based Learning Environment*. Workshop on Ontologies for Intelligent Educational Systems, Ninth International Conference on Artificial Intelligence in Education, AI-ED'99, Le Mans, France, July 19-23, 1999.
<http://www.ei.sanken.osaka-u.ac.jp/aied99/aied99-onto.html>
- [Moulin et al., 1999] Claude Moulin, Jean-Christophe Pazzaglia. *Documents Pédagogiques Adaptatifs dans un Environnement d'Apprentissage Distribué*. Atelier sur les Documents Virtuels Personnalisables : De la Définition à l'Utilisation, 11^{ème} Conférence Francophone sur l'Interaction Homme-Machine, IHM'99, Montpellier, novembre 1999.
<http://www.site-eerie.ema.fr/~multimedia/ihm99/>
- [Mugnier et al., 1996] Marie-Laure Mugnier et Michel Chein. *Représenter des connaissances et raisonner avec des graphes*. Revue d'intelligence artificielle, Vol. 10, N°1, pp. 7-56, 1996.
- [Murray, 1996] Tom Murray. *Special Purpose Ontologies and the Representation of Pedagogical Knowledge*. ICLS'96 "talk only" paper submission.
<http://www.cs.umass.edu/~tmurray/papers/ontology/ontology.html>
- [Murray, 1998] Tom Murray. *Authoring Knowledge Based Tutors: Tools for Content, Instructional Strategy, Student Model, and Interface Design*. Journal of the Learning Sciences, Vol 7, N° 1, pp. 5-64, 1998.

<http://www.cs.umass.edu/~tmurray/papers/JLSEon/JLS96.html>
- [Murray, 1999] Tom Murray. *Authoring Intelligent Tutoring Systems: An Analysis of the State of the Art*. International Journal of artificial Intelligence in Education, Vol 10, N°1, John Self (Eds.), 1999.
- [Nanard et al., 1989] Marc Nanard and Jocelyne Nanard. *MacWeb : un outil pour élaborer des documents*. WOODMAN'89, Workshop on Object Oriented Document Manipulation, Rennes, 29-31 mai 1989.
- [Nanard et al., 1995] Jocelyne Nanard and Marc Nanard. *Hypertext Design Environments and the Hypertext Design Process*. Communications of the ACM, Vol. 38, N° 8, pp. 49-56, August 1995.
- [Nestorov et al., 1997] SvetlozarNestorov, Serge Abiteboul and Rajeev Motwani. *Inferring Structure in Semi-structured Data*. From ACM SIGMOD Record, December 1997.
<http://lorca.compapp.dcu.ie/~asmeaton/wip-seminars.html>

- [Nkambou et al., 1997] Roger Nkambou, Gilles Gauthier and Claude Frasson. *Un modèle de Représentation de Connaissances relatives au contenu dans un Système Tutoriel Intelligent*. Sciences et Techniques Educatives. Vol. 4, N°3, pp. 299-330, 1997.
- [Paradis et al., 1998] François Paradis, Anne-Marie Vercoustre and Bendan Hills. *A Virtual Document Interpreter for reuse of Information*. In Proceedings of EP98, Saint-Malo, France, 1-3 April, 1998.
<http://www-rocq.inria.fr/~vercoust/Contribs.html>
- [Pardi, 1999] William J. Pardi. XML en Action. Collection technologie Web, ISBN 2-84082-568-6, Microsoft Press, 1999.
- [Pennell, 1996] Russell Pennell. *Managing Online Learning*. AusWeb96 - The Second Australian World Wide Web Conference, 7-9 July 1996, Gold Coast, Australia, 1996.
<http://www.scu.edu.au/sponsored/ausweb/ausweb96/educn/pennell/>
- [Pérec, 1996] Georges Pérec. *Penser/Classer*. Hachette, p. 185, 1996.
- [Perelman et al., 1988] Chaïm Perelman et Lucie Olbrechts-Tyteca. *Traité de l'argumentation*. Edition de l'université de Bruxelles, p.734, 1988.
- [Pintelas et al., 1992] Panagiotis Pintelas, Achilles Kameas and Michel Crampes. Computer-based Tools for Methodology Teaching. ADCIS 34th International Conference, Marriott Waterside Hotel & Convention Center, Norfolk, Virginia, pp. 341-355. November 8-11th 1992.
- [Plantié, 2000] Michel Plantié. *Segmentation dynamique de programmes de télévision basée sur l'auto-composition d'agents et le modèle AGR de Madkit*. Mémoire de DEA Informatique, Université de Montpellier II, 5 juillet 2000.
- [Poesio et al., 19] Massimo Poesio, Sabine Schulte im Walde and Chris Brew. *Lexical clustering and definite description interpretation*. In Proc. of the AAI Spring Symposium on Learning for Discourse, J. Choi and N. Green, (Eds.), Stanford, CA, pp.82-89, March 1998.
http://www.iccs.informatics.ed.ac.uk/~poesio/publications/AAAI98_spring.ps
- [Prié, 1999] Yannick Prié. *Modélisation de documents audiovisuels en Strates Interconnectées par les Annotations pour l'exploitation contextuelle*. Thèse de doctorat, spécialité informatique, université de Lyon, décembre 1999.
- [Py, 1998] Dominique Py. *Quelques méthodes d'intelligence artificielle pour la modélisation de l'élève*. dans Modélisation de l'Apprenant, revue Science et Techniques Educatives Vol. 5, N°2, Ed. Hermès, pp. 123-140, juin, 1998.
- [Quentin-Baxter, 1998] Megan Quentin-Baxter. *Hypermedia learning environments limit access to information*. In proceedings of the Seventh International World Wide Web Conference, WWW7, Brisbane, Australia, April 14-18th, 1998.
<http://www7.scu.edu.au/programme/docpapers/1941/com1941.htm>
- [Ranwez et al., 1999a] Sylvie Ranwez and Michel Crampes. *Conceptual Documents and Hypertext Documents are two Different Forms of Virtual Documents*. Proceedings of the Workshop on Virtual Documents, Hypertext Functionality and the Web, Eighth International World Wide Web Conference, Toronto, Canada, pp. 21-27, May 10-15th 1999.
<http://www.cs.unibo.it/~fabio/VD99/>
- [Ranwez et al., 1999b] Sylvie Ranwez, Michel Crampes and Torsten Leidig. *Description and Construction of Pedagogical Material using an Ontology based DTD*. Workshop on Ontologies for Intelligent Educational Systems, Ninth International Conference on Artificial Intelligence in Education, AI-ED'99, Le Mans, France, July 19-23, 1999.
<http://www.ei.sanken.osaka-u.ac.jp/aied99/aied99-onto.html>
- [Ranwez et al., 1999c] Sylvie Ranwez et Michel Crampes. *Méta-description en XML de documents vidéo*. In Proceedings of ISKO-France'99, Lyon, France, 21-22 octobre 1999.

- [Ranwez et al., 2000] Sylvie Ranwez, Torsten Leidig and Michel Crampes. *Pedagogical Ontology and Teaching Strategies: A New Formalization to Improve Life-Long Learning*. To be published in International Journal of Continuing Engineering Education and Life-Long Learning (IJCEELL) initiated by the UNESCO, published by Inderscience Entreprises Ltd, (2000).
- [Rekik et al., 1999] Yassine Rekik, Christine Vanoirbeek, Gilles Falquet and Luka Nerima. *Reusing Dynamic Document Fragment through Virtual Document: Key Issues In Document Engineering*. Atelier sur les Documents Virtuels Personnalisables : De la Définition à l'Utilisation, 11^{ème} Conférence Francophone sur l'Interaction Homme-Machine, IHM'99, Montpellier, novembre 1999.
<http://www.site-eerie.ema.fr/~multimedia/ihm99/>
- [Richard et al., 1999] Luc Richard and Guy Gouardères. *An Agent-operated Simulation-based Training System - presentation of the CMOS project*. In proceedings of the ninth international conference on Artificial Intelligence in Education, AI-ED'99, Suzanne P. Lajoie and Martial Vivet (Eds.), IOS Press, pp. 343-351, 1999.
- [Roch et al., 1997] Marie-Christine Roch, Pierre-Alain Muller, Gérard Metzger and Bernard Thirion. *Modélisation d'une Application de Composition Automatique de Documents avec UML*. Génie Logiciel, N°46, Actes GL 97, 1997.
- [Roisin, 1998] Cécile Roisin. *Authoring Structured Multimedia documents*. 25th Conference on Current Trends in Theory and Practice of Informatics, SOFSEM'98, B. Rován, (Eds.), pp. 222 -239, Springer, LNCS 1521, Jasna, Slovakia, novembre 1998.
<http://www.inrialpes.fr/opera/people/Cecile.Roisin/Welcome.html>
- [Roisin, 1999] Cécile Roisin. *Documents Structurés Multimédia*. Mémoire en vue de l'obtention d'une habilitation à diriger les recherches, Institut National Polytechnique de Grenoble, 22 septembre 1999.

<http://www.inrialpes.fr/opera/people/Cecile.Roisin/Welcome-en.html>
- [Roisin et al., 2000] Cécile Roisin et Lionel Villard. Transformation de documents dans les présentations multimédia. Dans le document multimédia en science du traitement de l'information, Ecole thématique *document et évolution*, Ed. Cépaduès, Tome 1, pp.23-41, Marseille, septembre 2000.
- [scheme, 1991] Collective. *Revised Report on the Algorithmic Language Scheme*. William Clinger and Jonathan Rees (Eds.), 2 November 1991.
- [Schoening, 1997] James R. Schoening. *A Case and Strategy for Developing Standardized Educational Domain Modules and Ontologies*. P1484 Working and Study Groups – Developing Technical Standards for Learning Technology, 1997.
<http://www.manta.ieee.org/p1484/ontol.htm>
- [Sinitsa, 1997] Katherine Sinitsa and Riichiro Mizoguchi. *A Glossary on Computer-Based Education: P1484 effort*. Presented at Workshop *Issues in Achieving Cost-Effective and Reusable ITSs*, AIED-97, Kobe, 1997.
<http://www.ei.sanken.osaka-u.ac.jp/ieee/Kathy.WS.html>
- [Sowa, 1984] John F. Sowa. *Conceptual Structures : Information Processing in Mind and Machine*. Ed. Addison-Wesley, 1984.
- [Sowa, 1993] John F. Sowa. *Relating Diagrams to Logic*. Lecture Notes in AI N°699, Conceptual Graphs for Knowledge Representation, Guy W. Mineau, Bernard Moulin, John F. Sowa (Eds.), Proceedings ICCS'93, Quebec City, Canada, Springer-Verlag, August 1993.
- [Sowa, 1995] John F. Sowa. *Top-Level Ontological Categories*. International Journal on Human-Computer Studies, Vol. 43, N°5/6, pp. 669-685, 1995.

- [Sowa, 2000] John F. Sowa. Ontology, Metadata, and Semiotics. In proceedings of the International Conference on Conceptual Structures, ICCS'2000, Darmstadt, Germany, August 14-18th 2000. <http://www.bestweb.net/~sowa/peirce/ontometa.htm>
- [Tazi et al., 1999] Saïd Tazi et Yahya Altawki. *Création de documents virtuels : Cas des supports de cours*. Atelier sur les Documents Virtuels Personnalisables : De la Définition à l'Utilisation, 11^{ème} Conférence Francophone sur l'Interaction Homme-Machine, IHM'99, Montpellier, novembre 1999. <http://www.site-eerie.ema.fr/~multimedia/ihm99/>
- [Thevenin, 1999] David Thevenin. *La placiticité en interaction Homme-Machine*. Dans les actes de la 11^{ème} Conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine, IHM'99, Tome II, Montpellier, France, 23-26 novembre, 1999.
- [Uschold et al., 1995] Mike Uschold and Martin King. *Towards a methodology for Building Ontologies*. Presented at the Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing, International Joint Conference on A.I, 1995. <http://www.ai.ai.ed.ac.uk/ai/ai/pubtrs95.html>
- [Uschold, 1996] Mike Uschold. *Converting an Informal Ontology into Ontolingua: Some Experiences*. A slightly abridged version of this paper appears in the Proceedings of the Workshop on Ontological Engineering held in conjunction with ECAI 96, Budapest, 1996.
- [Uschold et al., 1996] Mike Uschold and Michaël Grüninger. *Ontologies : Principles, Methods and Applications*. Knowledge Engineering Review, Vol. 11, N°2, pp.93-136, 1996.
- [Van der Vet et al., 1995] P.E. Van der Vet, P.H. Speel, and N.J.I. Mars. *Ontologies for very large knowledge bases in material science: a case study*. In Proceedings of Second international conference on building and sharing of very large-scale knowledge bases (KB&KS '95), Twente, 1995.
- [Van der Vet et al., 1998] P.E. Van der Vet and N.J.I. Mars. *Bottom-up Construction of Ontologies*. IEEE Transaction on Knowledge and Data Engineering, Vol. 10, N°4, pp. 513-526, 1998.
- [Vernier et al., 2000] Frédéric Vernier et Laurence Nigay. *Espace de Conception pour les Interfaces Multimodales*. Colloque sur la multimodalité, IMAG, Grenoble, France, mai 2000.
- [Weber et al., 1997] Gerhard Weber and Marcus Specht. *User Modeling and Adaptive Navigation Support in WWW-based Tutoring Systems*. UM-97, Cagliari, Italy, June 2-5th 1997. <http://www.psychologie.uni-trier.de:8000/projects/ELM/Papers/UM97-WEBER.html>
- [Weinstein et al., 1997] P. Weinstein et G. Alloway. *Seed Ontologies: growing digital libraries as distributed, intelligent systems*. Proceedings of the Second ACM Digital Library conference, Philadelphia, PA, USA, July 1997.
- [Weinstein, 1998] P. Weinstein. *Ontology-Based Metadata: Transforming the MARC Legacy*. Actes Third ACM Digital Library conference, Pittsburgh, PA, USA, June 1998.
- [Wenger, 1987] Etienne Wenger. *Artificial Intelligence and Tutoring Systems: Computational and Cognitive Approaches to the Communication and Knowledge*, Los Altos (CA), Morgan Kaufmann Publishers, p. 486, ISBN 0-934613-26-5, 1987.
- [Whipple, 1993] Weldon Whipple. *Expert Humans and Expert Systems: Toward a Unity of Uncertain Reasoning*. In Conceptual Structures: Theory and Implementation, H. D. Pfeiffer and T. E. Nagle (Eds.), Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 148-157, 1993.
- [Woods et al., 1995] Pamela J. Woods and James R. Warren. *Generating Tutoring Systems with Versatile Teaching Strategies*. Proc. Workshop on Authoring Shells for Intelligent Tutoring Systems: AI-ED-95, August 1995. <http://www.cis.unisa.edu.au/staff/woods.p.j/aiedwl.html>

- [Woods et al., 1996] Pamela J. Woods and James R. Warren. *Adapting Teaching Strategies in Intelligent Tutoring Systems*. ITS96 Workshop on Architectures and Methods for Designing Cost-effective and Re-useable ITS's, June 1996.
<http://www.cis.unisa.edu.au/staff/woods.p.j/atsits.html>
- [Zadeh, 1975] Lotfi A. Zadeh. *The concept of a Linguistic Variable and its Applications to Approximate Reasoning*. Information science, Vol. 8, pp.199-249, 1975.
- [Zweigenbaum et al., 1997] Pierre Zweigenbaum, Jacques Bouaud, Benoît Habert, et Adeline Nazarenko. *Coopération apprentissage en corpus et connaissances du domaine pour la construction d'ontologies*. Dans les actes des 1ères Journées Scientifiques et Techniques FRANCIL, Réseau Francophone de l'Ingénierie de la Langue de l'AUPELF-UREF, pp. 501-508, Avignon, avril 1997.
<http://www.biomath.jussieu.fr/~pz/Publications/biblio-pierre-pardate/>

Résumé en français

L'utilisation des nouveaux modes de communication et le développement de l'Internet suscitent un vif intérêt dans le milieu pédagogique. Dans ce milieu particulièrement, la structure narrative des documents revêt une importance capitale dans l'optimisation du transfert d'information. Les techniques hypermédias et hypertextes traditionnelles apportent une nouvelle dimension à la lecture mais elles ne permettent pas de respecter une stratégie didactique précise lors de l'élaboration de documents. L'approche proposée introduit des modes de composition de documents structurés basés sur des ontologies.

Après avoir présenté l'état des recherches concernant les systèmes d'enseignements interactifs (SEI), la structure documentaire et les ontologies, les notions de Documents Virtuels Personnalisables (DVP), de Brique d'Information (BI) et de composition documentaire sont définies. La composition comporte quatre étapes : recherche d'information, filtrage, organisation et assemblage. L'automatisation de la composition impose que le SEI soit doté d'une connaissance du domaine et d'une connaissance didactique. Une Ontologie du Domaine et une Ontologie Pédagogique en fournissent les modèles. Les BI qui constituent un document font l'objet d'une qualification précise basée sur ces ontologies.

Une méthode de composition de documents pédagogiques adaptatifs est proposée et implémentée dans un prototype nommé *Sibyl*. Cette méthode est basée sur l'association des ontologies. La prédétermination des rôles pédagogiques lors de la qualification des documents affecte néanmoins la pertinence de cette approche : les rôles peuvent être fonction de l'application et du contexte dans lequel les documents sont composés. Une méthodologie est alors introduite pour attribuer automatiquement des rôles à des BI en fonction des intentions d'un utilisateur et de son contexte d'apprentissage.

Mots Clés

Document Virtuel Personnalisable, Document Pédagogique Adaptatif, Système d'Enseignement Interactif, Ontologie Pédagogique, Ontologie du Domaine, Composition Dynamique de Document.

Title: Automatic Composition of Adaptive Hypermedia Documents based on Ontologies and Intentional Models of a User

Abstract

The use of new communication technologies and the development of the Internet are creating considerable interest in the field of education. Within this domain, the narrative structure of documents is of particular importance for optimization of information transfer. Traditional hypermedia and hypertext techniques add a new dimension to reading, but do not enable precise didactic strategies to be followed during the composition of documents. The approach suggested here introduces some procedures based on ontologies for composing structured documents.

The state of current research concerning Interactive Tutoring Systems (ITS), structure of documents and ontologies is presented. Then definition are given for the concepts of Individual Virtual Document (IVD), Information Brick (IB) and documentary composition. The composition process consists of four stages: information retrieval, filtering, organization and assembly. In order for the composition to be automatic, the ITS must be endowed with knowledge both of the domain and of didactics. Models for these are provide by a Domain Ontology and a Pedagogical Ontology. The IBs that make up a document are precisely described and characterized using these ontologies.

A method for adaptive pedagogical document composition is proposed and implemented in a prototype called *Sibyl*. This method is based on association of ontologies. Nevertheless, the relevance of this approach is affected by the predetermination of pedagogical roles when the IBs are characterized: the roles may vary according to the application and the context in which the documents are made up. A methodology is therefore introduced to determine automatically the pedagogical roles of IBs according to the intentions of a user and his or her learning context.

Keywords

Individual Virtual Document, Adaptive Pedagogical Document, Interactive Tutoring Systems, pedagogical Ontology, Domain Ontology, Dynamic Document Composition.

Discipline

Informatique

Laboratoire de rattachement

Laboratoire de Génie Informatique et d'Ingénierie de Production,
EMA - Site EERIE, Parc Scientifique G.Besse, F-30 035 Nîmes cedex 1.