

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université hadj Lakhdar Batna

Faculté des Sciences



Département d'Informatique

Thèse Présentée en Vue de l'Obtention du Diplôme de

*Doctorat en Sciences*

Option: **Informatique**

Thème:

**Environnement Numérique de Travail de type  
Hypermédia Adaptatif Dynamique**

Présentée par :

**Behaz Amel**

Devant la commission d'examen:

<i>Président</i>	M. Bilami Azzedine	Prof	Université de Batna
<i>Examineurs</i>	M. Balla Amar	Prof	ENSI d'Alger
	M. Lafifi Yacine	MC "A"	Université de Guelma
<i>Rapporteur</i>	M. Zidani Adelmadjid	Prof	Université de Batna
	M. Djoudi Mahieddine	MC "A"	Université de Poitiers

# Remerciements

Ce travail de longue haleine n'aurait pu s'achever sans la bienveillance de mon directeur de thèse Mr Mahieddine Djoudi, Maitre de Conférence à l'Université de Poitiers France, qui m'a tout le temps accordé son aide, sa confiance et son soutien. Je tiens à le remercier profondément pour l'intérêt qu'il a accordé à cette recherche, pour ses encouragements et lui témoigner toute ma gratitude et mon respect.

Je tiens également à remercier les membres qui m'ont fait l'honneur de participer au jury de cette thèse :

Mr Bilami Azzedine, Professeur à l'Université de Batna, pour avoir accepté de présider le jury.

Mr Zidani Abdelmadjid Professeur à l'université de Batna qui, dans sa charge a accepté d'être examinateur et pour l'intérêt qu'il a porté à ce travail.

Mr Balla Amar, Professeur à l'Ecole Nationale Supérieure d'Informatique d'Alger, dont j'ai pu apprécier les qualités scientifiques lors de plusieurs conférences auxquelles nous avons participé et qui a accepté d'être examinateur.

Mr Lafifi Yacine Maitre de Conférence à l'université de Guelma, pour ses remarques fructueuses et d'avoir lui aussi accepté de faire partie de mon jury de thèse.

Il n'est pas facile de mentionné toute personne dont l'amitié et les conseils m'ont été précieux. Dr Zidat, Dr Talhi, Melle khadraoui et Mme Merzougui qui ont partagé avec moi les moments de doute et les moments d'espoir.

Mes remerciements vont également à mes thésards Melle Azzouti et Mr Zine dont j'ai pu apprécier leurs qualités de programmeurs pour la réalisation de quelques outils proposés.

Enfin, un immense merci à mon époux Mr Hamidi docteur en médecine pour sa patience, son soutien et qui, à aucun moment n'a cessé de m'encourager pour l'achèvement de ma thèse.

# Résumé

Un environnement numérique de travail (ENT) est un dispositif personnalisé permettant à chaque apprenant d'avoir accès aux services et ressources numériques dont il a besoin. Avec l'explosion de l'Internet et le développement de la technologie du Web, c'est le savoir constamment actualisé qui va vers l'apprenant. Il se trouve que la forme des ressources numériques n'est toujours pas bien adaptée à une exploitation pédagogique efficace. Des recherches ont essayé de comprendre les relations entre les caractéristiques des apprenants, le matériel pédagogique et le contexte dans lequel se déroule l'apprentissage, afin d'introduire une adaptation au profil de l'apprenant.

Nos contributions se situent au carrefour de trois axes de recherche : les hypermédias adaptatifs pour le e-Learning afin de satisfaire les besoins des apprenants, les théories cognitives pour la prise en compte des styles d'apprentissage et le web sémantique pour l'annotation ontologique des ressources. Nous proposons des solutions qui permettront d'améliorer la qualité des contenus pédagogiques créés par les enseignants et d'offrir un apprentissage adaptatif aux apprenants.

Notre environnement numérique hypermédia adaptatif dynamique MEDYNA ainsi conçu, permet d'assurer les objectifs suivants: 1) L'identification du mode d'apprentissage préféré de l'apprenant basé sur une approche de style (MBTI) Myers-Briggs Type Indicator. 2) La production efficace de ressources pédagogiques basé sur les technologies du web sémantique. 3) La recherche sémantique, sélection et assemblage des ressources pertinentes basées sur des règles d'inférences implémentées. Nous montrons à travers un exemple illustratif notre prototype expérimental concrétisant nos approches développées.

## **Mots clés :**

Hypermédia adaptatif, Ressources pédagogiques, Normalisation, Web sémantique, Ontologies, Inférence, Modélisation apprenant, Style d'apprentissage.

# Abstract

A digital workspace is a personalized device whereby each learner has access to digital resources and services they need. With the explosion of the Internet and the development of Web technology, it is the knowledge, constantly updated, which goes to the learner. It lies that the form of digital resources is still not well suited for efficient educational use. Research has tried to understand the relationship between learner characteristics, teaching materials and the context in which learning takes place, in order to introduce an adaptation to learner profile.

Our contributions are at the intersection of three research areas: adaptive hypermedia for e-Learning to meet the needs of learners, cognitive theories to take into account learning styles and the Semantic Web for ontological annotation of resources. We offer solutions that allow improving the quality of educational content created by teachers and provide learners with adaptive learning.

Our environment is digital, adaptive, hypermedia and dynamic (called MEDYNA) ensures the following objectives: 1) The identification of preferred learning style of the learner, based on an approach style (MBTI) Myers-Briggs Type Indicator. 2) The efficient production of educational resources based on semantic web technologies. 3) The semantic search, selection and assembly of relevant resources based on inference rules implemented. We show through an illustrative example, our experimental prototype embodying our developed approaches.

## **Keywords:**

Adaptive hypermedia, Educational Resources, Standards, Semantic Web, Ontologies, Inference, Modeling learner. Learning style.

# ملخص

مساحة العمل الرقمية (ENT) هي عبارة عن جهاز شخصي قابل للتعديل يمكّن لكل متعلم من الحصول على الخدمات وولوج إلى الموارد الرقمية اللازمة لنشاطه بكل بساطة و عبر الشبكات. و مع انفجار الحضور اليومي للإنترنت وتطور تكنولوجيا الويب فإن المعرفة المحدّثة باستمرار هي التي تأتي للمتعلّم. لقد اتضح أن بنية الوثائق الرقمية وهيكلها ليست ملائمة تماما لاستخدامات تعليمية فعالة. وقد حاولت البحوث فهم العلاقة بين خصائص المتعلم والوثائق التعليمية والسياق الذي يحدث فيه التعليم، وهذا وفقا لشخصية المتعلم.

مساهماتنا هي عند تقاطع ثلاث مجالات للبحث: الوسائط الفائقة للتعليم الإلكتروني لتلبية احتياجات المتعلمين والنظريات المعرفية لأخذ أساليب التعلم بعين الاعتبار والويب الدلالي لشرح الوثائق التعليمية. نقترح حولا تسمح بتحسين نوعية محتوى الموارد التعليمية وتوفير تعليم مكيف مع شخصية المتعلم.

إن تصميمنا هو بيئة من نوع الوسائط الفائقة وهي رقمية وديناميكية وقابلة للتكيف (MEDYNA)، وهي تساعد على تحقيق الأهداف التالية: (1) تحقق من أسلوب التعلم المفضل لدى المتعلم استنادا إلى أسلوب Meyrs Briggs Type Indicateur (MBTI). (2) إنتاج الوثائق التعليمية وفق تقنيات الويب الدلالي. (3) وأخيرا البحث الدلالي واختيار وتجميع الموارد ذات الصلة وفقا لقواعد الاستدلال المطبقة. نعرض من خلال مثال توضيحي نموذجا أوليا تجريبيا للتحقق من فاعلية الخيارات المقترحة.

## مفاتيح :

الوسائط الفائقة، الموارد الرقمية التعليمية، التطبيق، الويب الدلالي، أنطولوجيات الإنترنت، استدلال، نمذجة المتعلم، أسلوب التعلم .

# Table des matières

<b>TABLE DES MATIERES .....</b>	<b>6</b>
<b>LISTE DES FIGURES .....</b>	<b>11</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX .....</b>	<b>13</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE.....</b>	<b>14</b>
INTRODUCTION .....	14
MOTIVATIONS .....	15
CONTRIBUTIONS.....	16
ORGANISATION DE LA THESE.....	17
<b>PARTIE 1: ETAT DE L'ART .....</b>	<b>20</b>
<b>CHAPITRE 1 : ENVIRONNEMENTS NUMERIQUES DE TRAVAIL ET NORMALISATION .....</b>	<b>21</b>
1.1 INTRODUCTION .....	21
1.2 LES TIC AU SERVICE DE L'ENSEIGNEMENT.....	21
1.2.1 <i>Les acteurs</i> .....	23
1.2.2 <i>Les enjeux</i> .....	24
1.3 ENVIRONNEMENTS NUMERIQUES DE FORMATION A DISTANCE.....	25
1.3.1 <i>Concept de formation à distance</i> .....	25
1.3.2 <i>Environnements numériques de travail</i> .....	27
1.3.3 <i>Synthèse</i> .....	35
1.4 NORMALISATION DANS LE DOMAINE EDUCATIF .....	37
1.4.1 <i>Besoins en Normalisation</i> .....	37
1.4.2 <i>Notion Objet pédagogique</i> .....	39
1.4.3 <i>Norme Dublin Core</i> .....	40
1.4.4 <i>Norme LOM</i> .....	42
1.4.5 <i>Norme SCORM</i> .....	46
1.5 CONCLUSION.....	47
<b>CHAPITRE 2 : MODELISATION DES SYSTEMES HYPERMEDIAS ADAPTATIFS .....</b>	<b>49</b>

2.1 INTRODUCTION .....	49
2.2 PRINCIPES GENERAUX .....	49
2.3 MODELISATION DU DOMAINE (BEHAZ, 2007) .....	50
2.3.1 Niveau concept.....	51
2.3.2 Niveau ressource.....	51
2.4 MODELISATION DE L'APPRENANT (BEHAZ, 2008).....	56
2.4.1 Classification.....	57
2.4.2 Description des caractéristiques d'un apprenant .....	58
2.4.3 Les modèles de représentations des connaissances .....	59
2.5 MODELES PEDAGOGIQUES.....	61
2.6 MODELES ET MECANISMES D'ADAPTATION .....	62
2.6.1 Méthodes d'adaptation .....	63
2.6.2 Techniques d'adaptation .....	64
2.7 EXEMPLES DE SYSTEMES HYPERMEDIAS ADAPTATIFS .....	67
2.7.1 AHAM.....	67
2.7.2 Munich Reference Model .....	68
2.7.3 METADYNE.....	68
2.7.4 Interbook .....	68
2.8 SYNTHESE ET LIMITES DES SYSTEMES ETUDIES .....	69
2.9 POSITIONNEMENT DE NOTRE APPROCHE.....	70
2.10 CONCLUSION.....	71
<b>CHAPITRE 3 : WEB SEMANTIQUE ET INGENIERIE ONTOLOGIQUE.....</b>	<b>72</b>
3.1 INTRODUCTION .....	72
3.2 OBJECTIFS DU WEB SEMANTIQUE.....	73
3.3 LANGAGES DU WEB SEMANTIQUE.....	74
3.3.1 Le langage RDF (Resource Description Framework) .....	75
3.3.2 Le langage RDFS (RDF Schema) .....	77
3.3.3 langage OWL (W3C, 2004) .....	79
3.4 NOTION D'ONTOLOGIE.....	81
3.4.1 Définition.....	82
3.4.2 Les composants d'une ontologie .....	82
3.4.3 Classification des ontologies.....	85

3.5	ROLE DU WEB SEMANTIQUE POUR LE E-LEARNING.....	87
3.6	ETUDE DE SYSTEMES UTILISANT LES ONTOLOGIES.....	88
3.6.1	<i>Memorae</i> .....	88
3.6.2	SCARCE.....	89
3.6.3	<i>Personal Reader</i> .....	89
3.6.4	<i>Le projet QBLS</i> .....	89
3.6.5	<i>Autres travaux</i> .....	90
3.7	SYNTHESE .....	91
3.8	CONCLUSION.....	92
<b>PARTIE 2 : MEDYNA, ENVIRONNEMENT HYPERMEDIA ADAPTATIF DYNAMIQUE .....</b>		<b>93</b>
<b>CHAPITRE 4 : CONCEPTION ET MODELISATION DE MEDYNA.....</b>		<b>94</b>
4.1	INTRODUCTION .....	94
4.2	CADRE DE RECHERCHE ET METHODOLOGIE DE CONCEPTION.....	95
4.3	OBJECTIFS DE LA DEMARCHE.....	95
4.4	STYLE D'APPRENTISSAGE (BEHAZ, 2012A).....	96
4.4.1	<i>Description du modèle MBTI</i> .....	97
4.4.2	<i>Parcours d'apprentissage</i> .....	100
4.5	CONSTRUCTION DES ONTOLOGIES.....	102
4.5.1	<i>Ontologie Apprenant (Behaz, 2009a), (Behaz, 2009b)</i> .....	102
4.5.2	<i>Ontologies de domaine élaborées (Behaz, 2011)</i> .....	104
4.6	PROCESSUS D'ADAPTATION ET MECANISMES D'INFERENCE (BEHAZ, 2012B).....	114
4.6.1	<i>Recherche</i> .....	115
4.6.2	<i>Sélection</i> .....	118
4.6.3	<i>Composition</i> .....	119
4.6.4	<i>Génération du document XML</i> .....	120
4.7	CONCLUSION.....	121
<b>CHAPITRE 5 : REALISATION DE MEDYNA ET IMPLEMENTATION .....</b>		<b>123</b>
5.1	INTRODUCTION .....	123
5.2	ARCHITECTURE DU SYSTEME MEDYNA.....	123
5.3	ASPECT STATIQUE: DIAGRAMMES DE CLASSES.....	128
5.4	LES OUTILS DE DEVELOPPEMENT.....	129
5.4.1	<i>Outil d'édition d'ontologies OWL</i> .....	130



5.4.2 Outil d'édition de règles SWRL.....	132
5.4.3 Outils de traitement des ontologies OWL et de règles SWRL .....	133
5.4.4 Choix retenus.....	133
5.4.5 Outils pour la génération de l'hypermédia .....	134
5.5 PROTOTYPE.....	135
5.6 SCENARIOS D'UTILISATION .....	135
5.6.1 Edition des objets pédagogiques par les enseignants.....	136
5.6.2 Identification des styles d'apprentissage des apprenants.....	137
5.6.3 Recherche des objets pédagogiques pertinents.....	138
5.6.4 Génération de document hypermédia adaptatif.....	140
5.7 CONCLUSION.....	143
<b>CHAPITRE 6 : EVALUATION ET RETOUR D'EXPERIENCE.....</b>	<b>144</b>
6.1 INTRODUCTION .....	144
6.2 DISPOSITIF EXPERIMENTAL.....	144
6.2.1 Principes et critères du test d'utilisabilité .....	144
6.2.2 Profils utilisateurs .....	145
6.2.3 matériels utilisés .....	146
6.2.4 Déroulement du test .....	146
6.3 RESULTATS OBTENUS.....	147
6.4 SYNTHÈSE DES RESULTATS.....	149
6.5 CONCLUSION.....	150
<b>CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES .....</b>	<b>151</b>
BILAN DES TRAVAUX ET APPORTS DE LA THESE.....	151
CONCLUSION.....	153
PERSPECTIVES.....	155
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>156</b>
<b>LISTE DES PUBLICATIONS PERSONNELLES.....</b>	<b>164</b>
PUBLICATIONS DANS DES REVUES INTERNATIONALES.....	164
COMMUNICATIONS DANS DES CONFÉRENCES INTERNATIONALES .....	165
COMMUNICATIONS DANS DES CONGRÈS NATIONAUX (AVEC COMITÉ DE LECTURE) .....	167
<b>ANNEXES .....</b>	<b>168</b>
ANNEXE 1 : PARTIES DU CODE OWL.....	168

<i>Code OWL Ontologie Thématique</i> .....	168
<i>Code OWL Ontologie Domaine "Base_de_données</i> .....	169
<i>Code OWL Ontologie Objet_pédagogique</i> .....	170
ANNEXE 2 : INTEGRATION DES API JENA ET PELLET .....	174
ANNEXE 3 : CODE SOURCE.....	175
<i>Partie du code source ajout d'objets pédagogiques</i> .....	175
<i>Partie du code source Recherche d'objets par inférence</i> .....	176

## Liste des figures

Figure 1. Plan de la thèse .....	18
Figure 2. Eléments du dispositif de Formation à distance (Mielnikoff, 2005)..	28
Figure 3. Page d'accueil d'un cours dans Claroline - mode de vue apprenant	31
Figure 4. Page d'accueil du cours dans Ganesha – mode apprenant .....	32
Figure 5. Page d'accueil d'un cours Moodle.....	35
Figure 6. Schéma de métadonnées LOM (De la passardière , 2004).....	44
Figure 7. Exemple d'utilisation du LOM (Michel, 2002) .....	45
Figure 8. Diagramme de classes représentant un modèle de domaine.....	54
Figure 9. Méthodes et techniques d'adaptation des SHA .....	65
Figure 10. Les couches du Web sémantique (W3C).....	74
Figure 11. Exemple d'un graphe RDF .....	76
Figure 12. Exemple d'ontologie.....	85
Figure 13. Ontologie du domaine Enseignement.....	86
Figure 14. Extrait de l'ontologie du domaine d'enseignement "Informatique"	87
Figure 15. les 16 types de personnalité .....	99
Figure 16. Parcours dominants .....	101
Figure 17. Ontologie Apprenant .....	103
Figure 18. Diagramme de l'ontologie Thématique .....	106
Figure 19. Diagramme de l'ontologie Domaine d'application .....	106
Figure 20. Une partie de l'ontologie de domaine "Base de données" .....	107

Figure 21. Ontologie objet pédagogique.....	110
Figure 22. Modèle ontologique complet.....	112
Figure 23. Extrait de l'ontologie du domaine "Base_de_données".....	113
Figure 24. Processus de recherche et sélection .....	114
Figure 25. Une partie des concepts liés à des objets pédagogiques.....	117
Figure 26. Architecture de l'environnement MEDYNA.....	125
Figure 27. Diagramme de cas d'utilisation de MEDYNA par l'enseignant ....	126
Figure 28. Diagramme de cas d'utilisation de MEDYNA par l'apprenant.....	127
Figure 29. Diagramme de classes du module Recherche.....	128
Figure 30. Diagramme de classe du module Apprenant .....	129
Figure 31. Outil d'édition d'ontologie protégé.....	130
Figure 32. Partie du code OWL de l'ontologie Thematique.....	131
Figure 33. Partie du code OWL des propriétés sémantiques .....	131
Figure 34. Code Owl généré pour une règle SWRL.....	132
Figure 35. Ecran de saisie d'un objet pédagogique .....	137
Figure 36. Saisie des informations concernant un apprenant.....	137
Figure 37. Formulaire d'indicateur MBTI.....	138
Figure 38. Choix d'une Formation.....	139
Figure 39. Résultat de recherche après inférence .....	139
Figure 40. Résultat final après sélection.....	140
Figure 41. Document généré pour apprenant: "Moyen" et "type ENTJ ".....	141
Figure 42. Document généré pour apprenant: "excellent" et "type ESTP ".....	141
Figure 43. Liens moins compliqués .....	142
Figure 44. Liens trop compliqués .....	142
Figure 45. Résultats des tests.....	149

## Liste des tableaux

Tableau 1. La liste des 15 éléments formant le Dublin Core.....	41
Tableau 2. Les 2 éléments Supplémentaires du Dublin Core Education .....	42
Tableau 3. Récapitulation des modèles de représentation.....	61
Tableau 4. Etude Comparative des Systèmes hypermédias adaptatifs .....	69
Tableau 5. Classes de types de personnalité dominants .....	100
Tableau 6. Partie de description de relations entre concepts.....	108
Tableau 7. Les règles d'inférence utilisées.....	116
Tableau 8. Partie du code OWL de l'ontologie de Domaine .....	131
Tableau 9. Choix d'outils pour la création et le traitement des ontologies ....	133

# Introduction générale

## Introduction

Les nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication appliquées à l'Education TICE ont beaucoup contribué à la diffusion des connaissances via un nouveau mode d'apprentissage connu sous le nom de e-Learning. Celui-ci est basé sur l'accès à des formations en ligne, interactives et parfois personnalisées. De nombreuses ressources pédagogiques sont mises à disposition. Compte tenu de la diversité de ces dernières, il est de plus en plus difficile d'identifier les ressources pertinentes et de les organiser dans un ensemble de documents cohérents.

La problématique majeure dans le domaine des TICE représentant un frein à l'efficacité de l'apprentissage: la surinformation, le problème d'accès et la quasi absence d'intégration de modèles pédagogiques plus adaptatifs. Cela a conduit à des initiatives visant à satisfaire deux exigences à savoir, la bonne information et au bon moment. Il ne suffit pas de mettre l'apprenant en contact avec les ressources, mais fournir des outils cognitifs pour l'aider et le guider à acquérir et construire ses connaissances tout en lui accordant une certaine liberté de choix. Des recherches ont alors essayé de comprendre les relations entre les caractéristiques des apprenants, le matériel pédagogique, et le contexte dans lequel se déroule l'apprentissage, afin d'introduire une adaptation centrée sur les besoins de l'apprenant.

Dans le cadre de notre projet de thèse nous proposons des outils pour la génération d'un hypermédia adaptatif dynamique permettant la recherche, la sélection et l'organisation des ressources pertinentes selon des modes et styles d'apprentissage des apprenants. Ainsi, notre problématique se situe au

carrefour de trois domaines de recherche: les hypermédias adaptatifs pour le e-Learning, les théories cognitives et le Web Sémantique.

L'adaptation de l'apprentissage non linéaire pour satisfaire les besoins changeants des apprenants, à leurs connaissances, à leurs préférences, etc. concerne les méthodes et techniques utilisées dans le domaine des hypermédias adaptatifs. La prise en compte du style d'apprentissage en tant que critère d'adaptation concerne le champ psychopédagogique et les théories cognitives. L'annotation sémantique, la structuration et la navigation ontologique des ressources pertinentes concerne le domaine du Web sémantique.

## Motivations

La première problématique traitée est relative à la question liée à la détermination des préférences ou des styles d'apprentissage des apprenants. Nous savons que les systèmes de e-Learning ou désignés également par Environnements Informatiques d'Apprentissage Humain (EIAH) se basent sur la prise en compte des différences individuelles, notamment, le « style d'apprentissage » pour mesurer les préférences d'apprentissage. Ce concept désigne un ensemble de conduites et de stratégies dans la manière de gérer et d'organiser l'information. Cependant, ces EIAH se heurtent à plusieurs difficultés : Quels styles d'apprentissage utiliser dans un tel contexte de formation, parmi la multitude des styles d'apprentissage définis dans la littérature ? Comment les identifier ? Les réponses à ces questions, aident non seulement les enseignants dans leurs tâches de suivi et de tutorat, mais aussi les concepteurs des EIAH pour l'adaptation et la personnalisation de la formation.

La seconde problématique traitée est liée à l'utilisation de la notion d'ontologie dans le cadre du Web sémantique. Nous pensons que les ontologies peuvent apporter énormément aux systèmes hypermédias adaptatifs. Elles sont utilisées pour enrichir les ressources disponibles par des

descriptions sémantiques afin de les rendre facilement accessibles et exploitables par des programmes.

Le problème final traité est donc de pouvoir utiliser les solutions de la première question, concernant l'identification des préférences et des styles d'apprentissage des apprenants, et les solutions de la deuxième question concernant les représentations sémantiques des contenus pour pouvoir résoudre la dernière question relative à la génération d'un hypermédia adaptatif dynamique où le contenu est un ensemble de ressources pédagogiques considérées comme pertinentes par le système se rapprochant au plus aux styles d'apprentissage des apprenants.

## Contributions

L'objectif principal de cette thèse est la proposition d'une nouvelle démarche pour l'obtention d'un environnement hypermédia adaptatif dynamique.

Notre première contribution concerne l'identification des styles d'apprentissage de l'apprenant basé sur une approche du domaine de psychopédagogie à savoir le modèle Myers-Briggs Type Indicator (MBTI).

Notre deuxième contribution est la description ontologique de ressources pédagogiques basée sur les technologies du web sémantique. Nous proposons un outil d'édition sémantique de ressources car nous savons que ces dernières peuvent contribuer à améliorer la qualité de l'enseignement si la manière de les produire est efficace.

Enfin, notre troisième contribution concerne la recherche, la sélection et l'assemblage de ressources pertinentes au profil de l'apprenant. Nous proposons donc un moteur d'inférence ou raisonneur capable de traiter les ontologies décrites précédemment grâce à un ensemble de règles SWRL (Semantic Web Rule Language) que nous avons pu incorporer.

Pour atteindre ces objectifs, nous avons choisi de travailler dans un contexte particulier avec trois lignes directrices :



D'abord, les connaissances de l'environnement MEDYNA que nous proposons sont décrites de manière consensuelle grâce aux modèles et techniques du Web sémantique.

Ensuite, notre approche favorise la transmission du savoir par la découverte et l'acquisition de nouvelles notions et leur assimilation en vue de leur utilisation. L'approche présentée apporte une certaine intelligence dans le processus de recherche de ressources, mais aussi plus de pertinence grâce à l'utilisation des ontologies développées comme technique d'indexation. Par ailleurs, afin d'augmenter l'expressivité de la recherche pertinente nous avons incorporé un ensemble de règles SWRL en exploitant la sémantique des liens par des mécanismes d'inférences qui permettent des raisonnements élaborés.

Finalement, un prototype concrétisant notre approche est développé. Le cours "Base\_de\_données" de la formation "Master" a servi de domaine d'application.

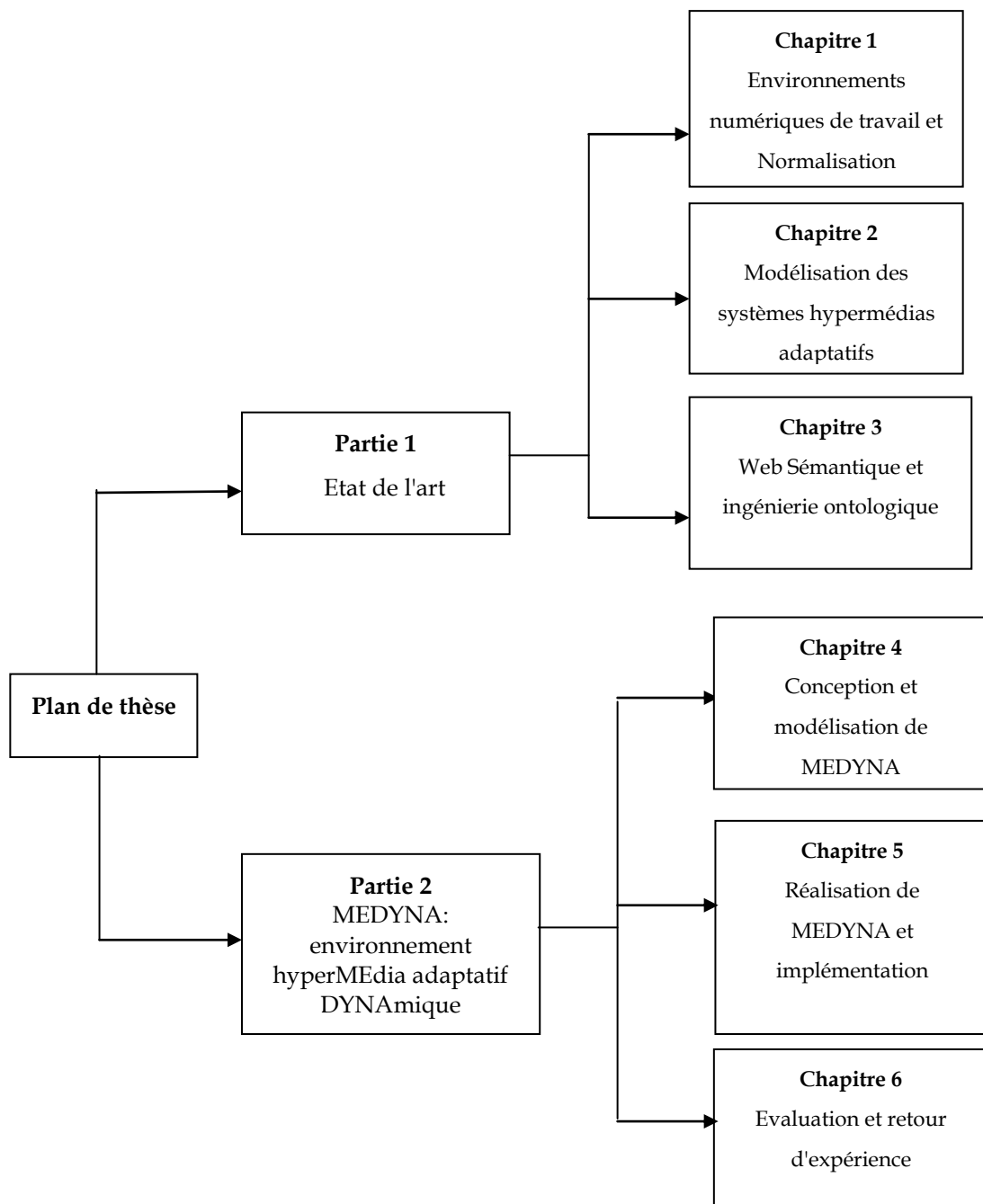
## Organisation de la thèse

Comme l'indique la figure 1, cette thèse est composée de deux parties:

La première partie porte sur une étude d'un état de l'art relatif à notre problématique.

Elle est composée de trois chapitres:

- Un premier chapitre traite des environnements numériques de formation à distance et du besoin en normalisation dans le domaine éducatif. Nous décrivons d'abord, des plates-formes pédagogiques, les différents outils généralement inclus pour l'apprentissage. nous présentons ensuite les différentes tentatives de normalisation développées. Enfin, nous décrivons le concept d'objet pédagogique.



**Figure 1.** Plan de la thèse

- Un deuxième chapitre porte sur les approches de modélisation des systèmes hypermédias adaptatifs. Après avoir clairement défini les principes généraux régissant les hypermédias adaptatifs, nous présentons des systèmes et des modèles à travers différents travaux de recherche, nous essayons de dégager les caractéristiques de chaque système afin de mener une étude comparative.

- Un troisième chapitre porte sur l'apport du Web sémantique et l'usage des ontologies pour le développement des applications e-Learning. nous décrivons d'abord, les objectifs du Web sémantique et les différents langages candidats. Nous présentons ensuite la notion d'ontologie. Enfin, une étude des systèmes hypermédias adaptatifs utilisant le Web sémantique est menée.

La deuxième partie de notre thèse porte sur la conception et réalisation de notre environnement de formation MEDYNA. Cette partie est composée aussi de trois chapitres:

- Le quatrième chapitre traite de la modélisation de MEDYNA. Nous commençons par présenter le cadre de recherche et méthodologie de conception. Ensuite, nous nous intéressons à l'image de l'apprenant dans notre environnement par la description du modèle MBTI (Myers Briggs Type Indicator). Enfin, nous présentons nos différentes ontologies élaborées afin de décrire le processus d'adaptation et les mécanismes d'inférences.
- Le cinquième chapitre concerne la réalisation et la mise en pratique d'un prototype. Nous décrivons d'abord l'architecture fonctionnelle adoptée, le choix des outils pour la création et le traitement des ontologies OWL (Web Ontology Language ) par des règles SWRL (Semantic Web Rule Langage). Ensuite nous présentons les scénarios d'utilisation de MEDYNA.
- Le sixième chapitre porte sur l'évaluation et le retour d'expérience de notre environnement. Nous présentons le dispositif expérimental et les résultats obtenus.
- Enfin, nous présentons un bilan de nos travaux de thèse et perspectives qui s'ouvrent à nos recherches.

## **Partie 1: Etat de l'art**

# Chapitre 1 : Environnements numériques de travail et Normalisation

## 1.1 Introduction

Dans cette partie, nous allons essayer de présenter le domaine de l'enseignement par rapport aux TIC, les notions qui le constituent, les pratiques courantes, les attentes, le rôle des individus et enfin les enjeux présents. Notre approche met l'accent sur les technologies de l'information et de la communication et nous souhaitons insister, plus particulièrement, sur la place que le Web occupe dans cette perspective.

Nous présentons aussi les plates-formes de formation à distance leurs outils incorporés, sachant que ces systèmes s'appuient, généralement, sur les objets pédagogiques pour répondre aux besoins de représentation de la matière à enseigner. L'organisation de ces objets et leurs normalisations sont donc détaillées dans ce chapitre.

## 1.2 Les TIC au service de l'enseignement

L'histoire des technologies de l'information et de la communication (TIC) est fortement liée à l'éducation. Chaque époque et chaque société ont pris connaissance de stratégies d'adaptation et d'utilisation de ces technologies à des fins pédagogiques.

L'insertion des TIC dans le domaine de l'enseignement fait référence à l'ensemble des activités ayant des fins pédagogiques individuelles ou collectives (dans un cadre institutionnel ou personnel) et faisant usage des TIC (principalement le Web, les réseaux, le format numérique) comme support principal ou complémentaire pour atteindre les objectifs éducatifs

explicites ou implicites. Les milieux où elles se développent peuvent être scientifiques, universitaires, privés ou commerciaux, à une échelle locale ou globale.

Ces dernières décennies, les TIC constituent des ressources appréciables pour réaliser des applications à caractère pédagogique et permettant de mettre à la disposition des enseignants des outils efficaces pour répondre aux exigences des apprenants et à leurs attentes. La convergence de ces technologies vers l'encodage numérique, la mise sur réseau en continu des nouvelles connaissances à transmettre dans le domaine éducatif ont permis aux apprenants d'accéder rapidement à une masse presque infinie d'information diversifiée et récente nécessaire à leur formation. Ils sont donc beaucoup moins dépendants des enseignants.

La littérature et la pratique nous apprennent qu'un enseignement assisté par les TIC implique un changement fondamental par rapport à l'enseignement classique par rapport au temps et espace.

Quant à l'espace, ce qui est ressenti tout d'abord par les acteurs concernés est l'indépendance du lieu physique où la formation se déroule. En utilisant des environnements informatiques pour l'apprentissage humain (EIAH) dont nous parlerons plus en détail dans les parties suivantes, les enseignants et les apprenants disposent de plateformes qui récréent de manière métaphorique les salles de classe pour proposer des simulations informatiques virtuelles.

Pour sa part, le temps perd lui aussi sa condition déterminante dans le processus d'apprentissage. Grâce, entre autres, à la possibilité des EIAH pour la gestion de contenus, les enseignants, apprenants et personnel administratif peuvent accéder au matériel éducatif de manière asynchrone depuis n'importe quel ordinateur connecté en réseau.

Par ailleurs, la pratique de l'enseignement faisant usage des TIC exige aussi l'acquisition de nouvelles compétences pour la manipulation informatique et confère, en même temps, une valeur ajoutée aux usages que l'on peut tirer des TIC. On ne peut pas penser améliorer la performance pédagogique, en

encourageant simplement le transfert du matériel pédagogique existant vers un nouveau support plus moderne. Ce transfert favoriserait sans doute une meilleure disponibilité du contenu des cours, sans toutefois en garantir l'efficacité pédagogique. Les enseignants et les apprenants doivent donc apprendre à se servir de ces nouveaux outils et doivent surtout savoir déterminer quand et dans quelles situations pédagogiques les TIC peuvent être un atout à ne pas négliger.

### 1.2.1 Les acteurs

Pour que l'enseignement assisté par les TIC soit fonctionnel, il ne suffit pas de mettre en place les outils techniques et les environnements informatiques pour que les enseignants interagissent avec les apprenants en modalité virtuelle. Au contraire, il est nécessaire une planification consciente des tâches et des opportunités selon la formation, ainsi que la disponibilité du personnel en charge d'assurer son fonctionnement.

Dans un contexte d'utilisation des TIC, l'IEEE (Institute of Electric and Electronic Engineers), à travers le groupe de travail LTSA (Learning Technology System Architecture) identifie quatre acteurs humains principaux qui interagissent avec un système de technologie éducative (Reyes, 2007):

- Administrateur : la personne responsable de l'achat et de la gestion des systèmes.
- Développeur : le créateur du contenu pédagogique et/ou de logiciels.
- Apprenant : l'individu devant acquérir des connaissances ou compétences.
- Enseignant/coach : la personne en charge d'encadrer la formation.

Un scénario idéal dans les institutions éducatives consisterait à disposer du personnel administratif à plein temps avec les compétences techniques non seulement pour répondre aux exigences et actualisations de systèmes, mais aussi pour coordonner les actions de nombreux enseignants dans l'environnement virtuel.

En outre, bien que plusieurs des systèmes informatiques modernes proposent des interfaces simples et faciles à utiliser, est parfois nécessaire qu'un groupe de développeurs multimédia soient disponibles pour collaborer avec les enseignants afin d'assurer la création de matériels adaptés, ce qui implique une connaissance des langages de développement sur le Web.

L'enseignant doit participer à la définition de contenus, à leur structuration modulaire et à leur scénarisation dans le cadre d'un environnement numérique. En effet, la transmission de connaissances requière les qualités d'un metteur en scène qui décidera du type, de la quantité et de la forme du contenu offert aux étudiants. De plus, l'actualisation constante de son domaine de spécialisation exige que ces contenus soient révisés et modifiés périodiquement.

Face à l'information, l'apprenant doit savoir chercher, classifier, analyser, prévoir et créer un savoir personnel qui lui permettra d'apprendre à apprendre. Certes un tel objectif ne peut être envisageable sans l'effort de l'enseignant pour motiver l'innovation et la créativité au moment de la définition et de la structuration des contenus.

À ce sujet, les techniques didactiques favorisant les théories cognitivistes et constructivistes de l'apprentissage se sont formalisées, notamment l'apprentissage à base de problèmes, la méthode des cas, le travail collaboratif et l'apprentissage à base des projets. Pour mieux tirer parti de ces techniques en utilisant les TIC, les processus d'ingénierie cognitive et d'ingénierie pédagogique offrent des méthodes pertinentes tout en situant l'apprenant au centre de ces processus.

### 1.2.2 Les enjeux

On entend souvent aujourd'hui dire que l'insertion des TIC dans l'enseignement supérieur est accompagnée d'une reconfiguration de l'université et du système éducatif dont les contours sont encore mal définis et mal compris (Oillo, 00). Dans ce contexte, les institutions doivent proposer le développement d'actions pour soutenir les enseignants à plusieurs niveaux,



par exemple : formation continue dans leur domaine de spécialité, dans les méthodes didactiques et dans les TIC; révision de salaires; ouverture de postes; flexibilité pour travailler à l'extérieur du campus universitaire.

Il nous semble intéressant de réaliser une révision des enjeux concernant l'influence des TIC dans le domaine de l'éducation.

L'insertion des TIC doit être dirigée avant tout vers l'amélioration de la qualité éducative. A ce sujet, des études ont été dédiées à l'évaluation de l'adaptation des techniques didactiques aux nouveaux environnements et situations. On parle ainsi d'ingénierie éducative, d'ingénierie cognitive et d'ingénierie de l'apprentissage. Ces nouvelles approches ont pour but d'aller plus loin qu'une simple utilisation des TIC en mettant l'accent sur des méthodes pédagogiques par le biais d'un nouveau design pour l'apprentissage.

Depuis l'ère industrielle, le positionnement de l'éducation dans les sociétés modernes est perçu comme une voie pour l'amélioration de la condition économique des individus et le développement professionnel (Ollivier, 2004). Ceci s'explique pour une part par l'offre et la demande de postes au sein des entreprises qui exigent de plus en plus une formation spécialisée apte à augmenter l'efficacité.

## 1.3 Environnements numériques de formation à distance

### 1.3.1 Concept de formation à distance

Le concept de formation à distance est apparu vers le milieu du dix-neuvième siècle, faisant référence aux études par correspondance. Il a connu une évolution considérable au fil des années, commençant par l'acheminement des cours sous forme de papier par poste ou par fax, passant par les cassettes audio et vidéo, puis la diffusion hertzienne via la radio et les émissions de télévision pour arriver à l'Enseignement Assisté par Ordinateur (EAO), grâce au développement des technologies éducatives et l'intégration de l'outil informatique pour la réalisation des cours interactifs.

Les premiers systèmes d'Enseignement Assisté par Ordinateur sont apparus dans les années 1970. L'objectif était d'abord l'apprentissage en tant que transfert de connaissances. Une multitude de programmes éducatifs furent développés, mais vite délaissés car leur contenu était limité et leur utilisation rigide. L'aspect cognitif a été totalement ignoré avec peu de travaux de recherche, de diagnostic et d'adaptation de stratégies. Les connaissances et les décisions étaient préétablies, sans souci du comportement de l'utilisateur. Mais, malgré leur application limitée, ces systèmes ont eu des retombées significatives dans le domaine de l'éducation (Gérin-Lajoie, 1999). Les systèmes d'entraînement au diagnostic médical ont été largement utilisés dans certaines Universités (Illinois, Washington) ainsi que les systèmes de simulation à la navigation spatiale.

L'application des techniques de raisonnement offertes par l'Intelligence Artificielle (IA) et les Systèmes Experts (SE), dans le système éducatif, ont permis des innovations en introduisant un niveau d'interaction plus élevé entre l'apprenant et le système. C'est ce qui a donné naissance aux systèmes d'Enseignement Intelligemment Assisté par Ordinateur (EIAO) qui pallient les nombreux inconvénients des systèmes précédents. Les recherches effectuées afin d'adapter l'apprentissage au niveau de connaissances de l'apprenant ont donné lieu à une nouvelle génération de systèmes appelés : Systèmes Tutoriels Intelligents (STI) ou systèmes d'apprentissage un à un (tuteur - apprenant). Ces systèmes ont pour but de reproduire le comportement d'un tuteur intelligent afin de dispenser un enseignement personnalisé à l'utilisateur. Ces systèmes offrent une possibilité de génération dynamique d'exercice, des adaptations au niveau de difficultés selon les performances de l'étudiant ainsi que l'analyse de l'interprétation du comportement de l'étudiant (Abi Chahine, 2009). En effet, les Systèmes Tutoriels Intelligents sont capables de réaliser des inférences sur des connaissances de l'étudiant, et peuvent interagir intelligemment avec lui en adaptant dynamiquement les sujets à présenter en fonction des résultats acquis et du mode d'apprentissage qui lui convient le mieux.

### 1.3.2 Environnements numériques de travail

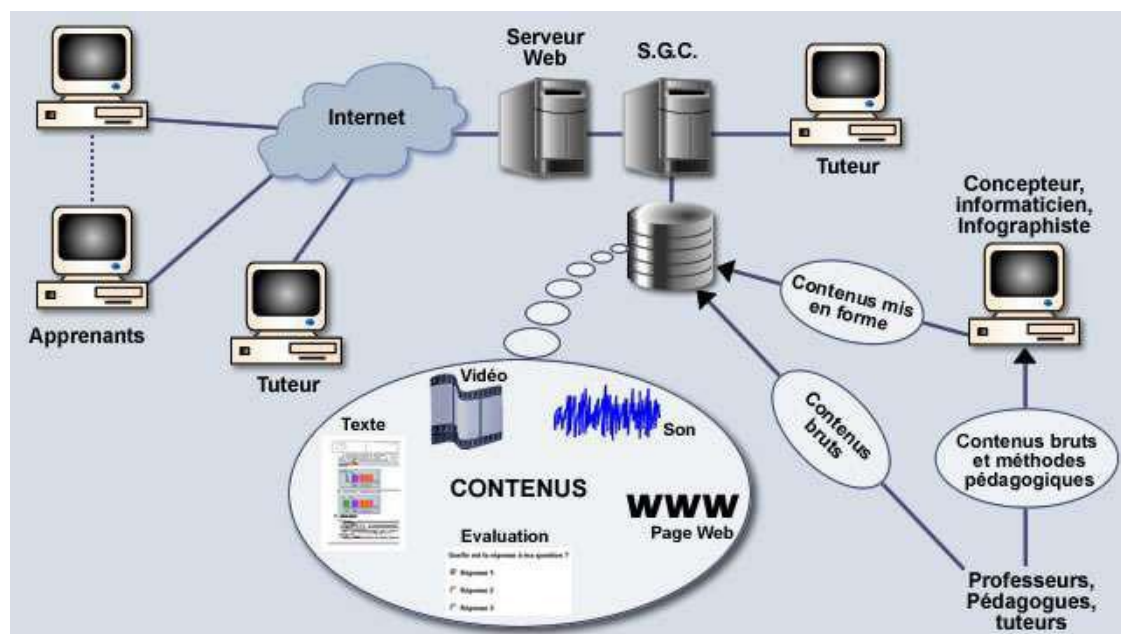
Un environnement numérique de travail (ENT), appelé aussi dispositif de « formation ouverte et à distance » (FOAD) ou « plate-forme à distance (e-Learning en anglais) » ou, de manière plus académique, « environnement d'apprentissage médiatisé » est un dispositif global fournissant à un usager (apprenant, tuteur, administrateur) un point d'accès unique à travers les réseaux informatiques à l'ensemble des ressources et des services numériques en rapport avec son activité. Un ENT permet un accroissement de l'utilisation des technologies de l'information et de la communication, la réduction des coûts d'assistance et influe sur les variations des pratiques pédagogiques (Djouidi, 2011).

Un ENT est basée sur des techniques de travail collaboratif et regroupe les outils nécessaires aux trois principaux acteurs de la formation : apprenant, tuteur, administrateur. Il fournit donc à chaque acteur un dispositif qui a pour première finalité l'accès à distance au contenu pédagogique, l'auto apprentissage, l'auto-évaluation et le télé-tutorat via l'utilisation des moyens de travail et de communication à plusieurs : visioconférence, e-mail, forums, chats, annotations, tableaux blancs partagés, etc. Le but est donc de combler la perte de cohésion et de stimulation de la salle que peut sentir l'apprenant devant sa machine (Benayache, 2005).

L'usage de ces systèmes est relativement standard, le tuteur crée des parcours de formation type, incorpore des ressources pédagogiques multimédias et de suivi des activités des apprenants. L'apprenant, peut consulter en ligne ou télécharger les contenus pédagogiques qui lui sont recommandés, effectuer des exercices, s'auto-évaluer et transmettre des travaux à son tuteur pour les corriger. La communication entre apprenant et tuteur peut être individuelle ou en groupe. Il est possible de créer des thèmes de discussion et collaborer à des travaux communs en utilisant des moyens de travail et de communication à plusieurs. L'administrateur, de son côté, assure l'installation et la

maintenance du système, gère les droits d'accès, crée des liens vers d'autres systèmes et ressources externes, etc.

Le schéma ci-dessous tiré de l'article « Qu'est-ce que le e-Learning? » (Mielnikoff, 2005) synthétise l'ensemble des éléments d'un dispositif de formation à distance



**Figure 2.** Eléments du dispositif de Formation à distance (Mielnikoff, 2005)

Les différents types d'outils généralement inclus dans un environnement numérique pour l'apprentissage sont (ALGORA, 2010):

- outils de travail personnalisés de messagerie synchrone et asynchrone, visioconférence, agendas, carnet d'adresses, stockage de documents, outils de production de documents textuels ou multimédias, espaces de travail collaboratif...,
- outils de recherche d'informations aux besoins de chacun,
- outils d'accès à toute information, ou de production de toute information, relevant du processus de formation (ressources pédagogiques et documentaires, envoi et réception d'exercices corrigés, résultats des examens, notes...),

- accès à une présentation, efficacement structurée, des différentes offres de formation,
- inscription ou préinscription, à distance, aux diverses formations,
- accès en ligne à toutes les formations auxquelles l'étudiant est inscrit.

Avec l'essor du Web, les environnements ou plates formes d'apprentissage ont commencé à apparaître dans les années 90 sous le nom anglais de Learning Management Systems (LMS) comme un ensemble de logiciels rassemblés dans un environnement cohérent à point d'entrée unique sur un réseau Internet ou Intranet.

Le LMS offre différentes fonctionnalités:

- héberge le contenu pédagogique multimédia
- contrôle l'accès aux ressources
- offre des activités pédagogiques
- facilite les activités de tutorat et de pilotage de la formation (suivi des cursus apprenants)
- facilite le pilotage des ressources de l'organisme de formation (gestion des formateurs, des moyens logistiques et techniques)
- gère la communauté d'apprenants
- permet la gestion administrative des documents associés à la formation (attestation de formation par exemple)

Autour de ces premières finalités, peuvent s'ajouter d'autres fonctionnalités et d'autres rôles comme :

- La gestion de compétences, gestion administrative, gestion des ressources pédagogiques et la gestion de la qualité de la formation,
- Les tâches d'administration des matériaux pédagogiques, d'administration de la scolarité ou de la formation...

Parmi les systèmes LMS, et qui continuent à exister de nos jours, les plus populaires ont été Blackboard, WebCT, Digital Think, Ganesha Topclass et Learning Space où le type de service fournit consistait dans la vente du logiciel ou dans l'hébergement à distance chez le développeur. Aujourd'hui, avec le mouvement open source et la massification du matériel informatique, un grand nombre de LMS est disponible sous licence libre pour son téléchargement et installation sur des serveurs propres aux institutions. Parmi les systèmes modernes open source, les plus répandus sont Moodle, ATutor, Claroline, Dokeos, Site@School et Interact. Nous présentons, dans ce qui suit les principaux environnements d'apprentissage à savoir: Claroline, Ganesha et surtout Moodle.

### **1.3.2.1 Claroline**

Claroline<sup>1</sup> est une plateforme de formation à distance et de travail collaboratif développée en 2002 par l'université de Louvain en Belgique. Elle permet aux formateurs de créer des espaces de cours en ligne et de gérer des activités de formation sur Internet. Traduite en 35 langues, Claroline bénéficie de l'appui d'une communauté mondiale d'utilisateurs et de développeurs. Utilisée par des centaines d'institutions issues de 84 pays, elle permet de créer sans coût de licence des espaces de travail et des cours en ligne. Pour chaque cours, le formateur dispose d'une série d'outils lui permettant de : rédiger une description du cours, publier des documents dans tous les formats nécessaires (texte, PDF, HTML, vidéo...), administrer des forums de discussion publics ou privés, élaborer des parcours pédagogiques, créer des groupes de participants ayant des documents en commun et des forums privés, composer des exercices (QCM), utiliser le Wiki pour rédiger des documents collaboratifs etc.

Adaptable à différents contextes de formation, Claroline est utilisée non seulement dans les écoles et les universités, mais également dans les centres

---

<sup>1</sup> <http://www.claroline.net>

de formation, les associations et les entreprises. Elle est personnalisable et offre un environnement de travail flexible et sur mesure.



**Figure 3.** Page d'accueil d'un cours dans Claroline - mode de vue apprenant

### 1.3.2.2 Ganesha

Ganesha<sup>1</sup> est une plateforme de téléformation créée et éditée par la société de formation spécialisée en e-Learning ANEMA<sup>2</sup>.

Cette plateforme permet à un formateur ou un service de formation, dans le cadre d'une formation à distance ou pour enrichir le présentiel, de mettre à la disposition d'un ou plusieurs groupes de stagiaires, un ou plusieurs modules de formation avec supports de cours, compléments, quiz et tests d'évaluation ainsi que des outils collaboratifs.

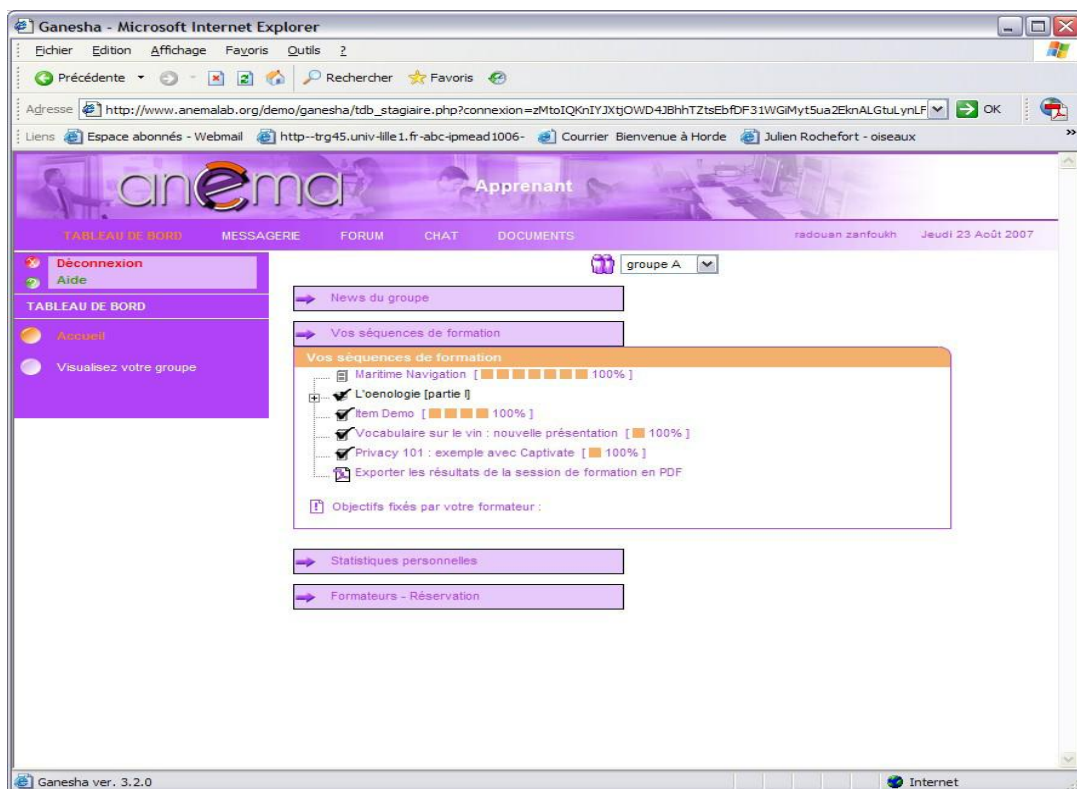
Ses autres fonctionnalités sont :

---

<sup>1</sup> [http://www.anemalab.org/ganesha/docs/anema\\_fiche\\_ganesha3.pdf](http://www.anemalab.org/ganesha/docs/anema_fiche_ganesha3.pdf)

<sup>2</sup> <http://www.anema-formation.fr/>

- Une messagerie interne à la plateforme donne la possibilité d'envoyer des pièces jointes, cela permet aux apprenants de ne pas avoir de messagerie personnelle.
- Un forum permet aux stagiaires et aux tuteurs de poster des messages qui seront accessibles à l'ensemble des membres du groupe de formation, de répondre aux messages déjà postés et ainsi engager une discussion sur un sujet donné.
- Un chat (ou messagerie instantanée) permet à l'ensemble des membres du groupe de discuter en temps réel.
- Une zone de dépôt de documents pédagogiques permettant de proposer des documents sous format numérique à l'ensemble du groupe, et de laisser des commentaires sur les documents postés.
- Un quizeur Flash afin de réaliser des questionnaires à choix multiples ou simples QCM/QCU à partir de la plateforme.



**Figure 4.** Page d'accueil du cours dans Ganesha – mode apprenant



### 1.3.2.3 Moodle

Moodle<sup>1</sup> est une plateforme d'apprentissage en ligne sous Licence libre servant à créer des communautés d'apprenants autour de contenus et d'activités pédagogiques. À un système de gestion de contenu (SGC), Moodle ajoute des fonctions pédagogiques ou communicatives pour créer un environnement d'apprentissage en ligne : c'est une application permettant de créer, par l'intermédiaire du réseau, des interactions entre des pédagogues, des apprenants et des ressources pédagogiques. Moodle fut créé par Martin Dougiamas, il a étudié les apports du constructivisme social dans la pédagogie en ligne. Ses travaux ont fortement influencé la conception de la plate-forme Moodle.

Le constructivisme postule que la connaissance est construite dans l'esprit de l'apprenant et non retransmise de manière statique via des livres ou des formateurs. La fonction du formateur, du point de vue du constructivisme, est de créer un environnement pédagogique permettant aux apprenants de construire leurs connaissances à partir de leurs expériences et compétences. Cette position s'éloigne de la pratique habituelle du formateur qui présente l'information et évalue l'information que doit maîtriser un apprenant. Moodle<sup>2</sup> présente de nombreuses caractéristiques partagées avec les autres plates-formes de formation en ligne :

- forums, gestionnaire de ressources, tests et neuf modules clé en main (Devoirs, clavardage, sondages, glossaires, journal, étiquettes, leçons, wiki, tests, base de données, blogues, flux RSS...). Elle intègre aussi un module de création de tests d'entraînement. Les questions créées avec ce module peuvent être mutualisées et réutilisées dans différents contextes d'épreuve.

---

<sup>1</sup> <http://www.moodle.com>

<sup>2</sup> <http://www.projet-plume.org/moodle>

- Moodle est très souple, elle a été conçue dès le départ de manière modulaire. Elle permet donc de répondre aux besoins d'un formateur isolé comme d'une institution académique. Aujourd'hui, le développement de Moodle est fortement influencé par les demandes de la communauté d'administrateurs et d'utilisateurs de Moodle (enseignants, pédagogues). On peut développer de nouveaux modules facilement puisque Moodle s'appuie sur PHP, le langage actuellement le plus utilisé pour le développement d'applications web.
- Elle présente une interface conviviale avec les formateurs, apprenants et administrateurs.
- Plusieurs langues peuvent être utilisées simultanément dans les divers cours d'une même plate-forme.
- Des filtres permettent d'utiliser facilement des fichiers multimédias ou des expressions mathématiques au sein des pages Moodle.
- Des rapports d'usage détaillés pour chaque apprenant permettent de superviser les efforts d'apprentissage.
- La communauté Moodle (plusieurs milliers d'individus) est fortement structurée à travers de nombreux forums présents sur le site: il s'agit de communautés de pratiques centrées sur des problématiques précises.
- S'inspirant fortement du courant pédagogique du constructivisme social, Moodle propose des outils de gestion du savoir (knowledge management) : wiki, fil RSS, forums et blog. Ces outils favorisent le travail collaboratif d'une communauté centrée autour d'un projet d'apprentissage.
- Moodle facilite la gestion dynamique d'un cours avec le calendrier. Chaque cours se présente comme un portail composé de blocs que le tuteur peut afficher à sa guise tout au long du déroulement du cours, évitant ainsi une surcharge informationnelle.

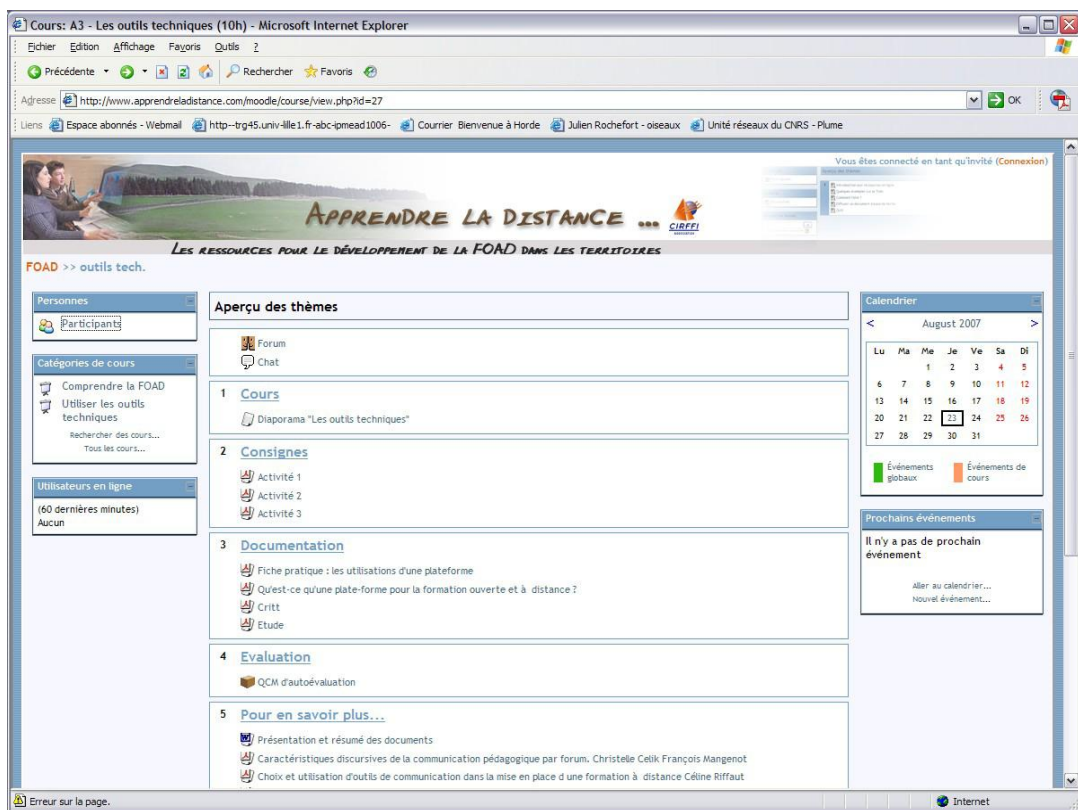


Figure 5. Page d'accueil d'un cours Moodle

### 1.3.3 Synthèse

Le développement de la formation en ligne conduit les apprenants à avoir moins de contacts avec les enseignants et les amène à être plus autonomes, à être davantage acteurs de leur formation. Parallèlement, ils peuvent disposer de plus en plus de documents ou de ressources, que celles-ci aient été produites dans le cadre de la formation qui leur est destinée ou qu'elles soient directement disponibles sur le web. Il est cependant souvent difficile, pour les apprenants et même pour les concepteurs de formations à distance, d'identifier les ressources pertinentes et de les organiser dans des ensembles cohérents. Cela a conduit à des initiatives visant à constituer des banques de ressources pédagogiques qui sont gérées et exploitées par des réseaux de contributeurs.

Pour que l'apprenant puisse utiliser l'ensemble des ressources mises à sa disposition avec efficacité, il faut satisfaire deux exigences a priori antinomiques, à savoir celle qui vise à lui accorder une certaine liberté de choix, et celle qui lui évite de se disperser eu égard à ses connaissances du moment. Les banques de ressources sont plutôt destinées aux concepteurs d'activités pédagogiques ou aux enseignants pour qu'ils mettent en place rapidement des formations adaptées. Il ne suffit cependant pas de mettre en contact les apprenants avec des ressources pour que l'apprentissage ait lieu. Un travail d'ingénierie pédagogique est généralement nécessaire pour cela. Notre problématique de recherche se place dans cette perspective. Cela suppose de déplacer le travail d'ingénierie pédagogique plus en amont, en sélectionnant les ressources pertinentes et en donnant aux apprenants les moyens d'auto-réguler leur apprentissage.

Un des points faibles des LMS est la difficulté qu'ils posent lorsque les institutions ont besoin d'une haute adaptation visuelle et d'un paramétrage de la navigation des cours. Ces environnements sont peu flexibles et quelquefois impossibles à paramétrer et à adapter aux besoins des utilisateurs. Pour cette raison, diverses institutions se sont intéressées au développement de leur propre plateforme. Citons par exemple la plateforme INES, conçue à l'université de Picardie Jules Verne (Reyes, 2007).

De plus, avec l'usage du Web et des hypermédias dans le domaine de l'éducation, des outils supplémentant les plateformes éducatives sont apparus pour répondre à des besoins spécifiques comme la recherche d'information et le travail collaboratif.

D'autres études et développements évaluent aussi la possibilité d'inclure au sein des plateformes éducatives des agents pédagogiques, des systèmes adaptatifs hypermédias, des environnements 3D récréant des espaces physiques, des visualisations de l'information sous forme cartographique, et des bases de connaissances communes (Rety, 2003).

D'autre part, l'effort investi pour la création des contenus et leur utilisation potentielle par d'autres institutions met en évidence le besoin d'un cadre garantissant l'échange, le stockage et l'accès rapide et sémantique aux ressources. Pour répondre à ces préoccupations, les normes et recommandations internationales e-Learning fournissent une approche pratique.

## 1.4 Normalisation dans le domaine éducatif

Plusieurs organisations connues au niveau international comme l'ISO (International Organization for Standardization), l'IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) et le CEN (Comité Européen de Normalisation) sont auteurs de plusieurs normes<sup>1</sup> et standards<sup>2</sup> orientés description de contenus, dont les résultats commencent à apparaître : ARIADNE<sup>3</sup>, IMS<sup>4</sup>, Dublin Core<sup>5</sup>, LOM<sup>6</sup>, etc.

Dans cette section, nous présentons les besoins en normalisation dans le domaine éducatif avant de décrire les différentes tentatives de normalisation développées.

### 1.4.1 Besoins en Normalisation

L'archivage et la production de ressources numériques dans les systèmes éducatifs se traduit, généralement, par un ensemble de métadonnées. Cet

---

<sup>1</sup> **Norme** : Ensemble de règles fonctionnelles ou de prescriptions techniques relatives à des produits, à des activités ou à leurs résultats, établies par consensus de spécialistes et consignées dans un document produit par un organisme, national ou international, reconnu dans le domaine de la normalisation. Par exemple, ISO, CEN, AFNOR [Grand dictionnaire terminologique : <<http://www.granddictionnaire.com/>>].

<sup>2</sup> **Standard** : Ensemble des règles et des prescriptions techniques établies pour une organisation et qui servent à fixer les caractéristiques permettant de définir un élément de matériel ou de construction utilisé pour un projet donné. Par exemple, le cas des recommandations du W3C, de l'IEEE, etc. [Grand dictionnaire terminologique : <<http://www.granddictionnaire.com/>>].

<sup>3</sup> ARIADNE : <<http://www.ariadne-eu.org>>

<sup>4</sup> IMS : <<http://www.imsproject.org>>

<sup>5</sup> Dublin Core : <<http://dublincore.org/>>

<sup>6</sup> LOM : <<http://ltsc.ieee.org/wg12/index.html>>

ensemble s'exprime souvent par une fiche électronique regroupant l'ensemble des informations pertinentes caractérisant le document : titre, auteurs, format, date d'édition, etc. Le développement des plateformes d'apprentissage à distance dans des environnements techniques différents nécessite d'avoir (Arnaud, 2004) un format standard, universel, pour ces métadonnées dans le but de faciliter l'échange et l'accessibilité et une définition fine pour les ressources pédagogiques.

Le principal objectif de la normalisation est de réaliser l'interopérabilité entre les composants d'une infrastructure ou d'un système, afin de généraliser l'application d'outils dans des contextes différents de ceux prévus dans le développement originel. Dans le domaine de la formation en ligne, la normalisation répond à cinq objectifs (Abel, 2005):

- **L'accessibilité** : permet de faciliter la recherche, l'identification, l'accès aux contenus et composants de la formation.
- **La réutilisabilité** : permet de réutiliser les mêmes objets pédagogiques à différentes fins, dans différentes applications, dans différents contextes et via différents modes d'accès.
- **L'adaptabilité** : permet la modularisation des contenus et des composants pour mieux répondre aux besoins des utilisateurs.
- **L'interopérabilité** : permet les échanges entre composants logiciels grâce à des interfaces communes.
- **La durabilité** : permet d'éviter le développement à nouveau des formats de contenus et des composants dans le cas de changement de support logiciel ou matériel.

Le concept clé qui sous-tend les recommandations e-Learning est la modularité des contenus. L'idée consiste à décomposer les contenus en « grains de connaissance » de façon à les rendre plus aisément partageables et ce tout en assurant la pérennité et la réutilisabilité des ressources.

En effet, si nous suivons le modèle d'un programme d'études, composé d'unités d'enseignement divisées à leur tour en modules, un « grain de connaissance » serait donc la pièce la plus élémentaire de cette structure, la brique de base qui, jointe à d'autres grains, donnera forme à un corpus organisé d'informations que l'étudiant utilisera pour construire son savoir.

#### 1.4.2 Notion Objet pédagogique

L'objectif principal des comités de normalisation est de spécifier la syntaxe et la sémantique des métadonnées décrivant un objet pédagogique, ou Learning Object (LO). En apprentissage automatique, la forme fondamentale d'une ressource pédagogique est l'«objet pédagogique» (OP); Le groupe de travail des IEEE-LTSC<sup>1</sup> (Learning Technology Standards Committee) a proposé une définition d'un OP qui est la suivante : « Un objet pédagogique est défini comme toute entité numérique ou non qui peut être utilisée, réutilisée ou référencée pendant des activités d'apprentissage assistées par ordinateur (enseignement intelligent assisté par ordinateur, environnements d'enseignement interactifs, systèmes d'enseignement à distance, environnements d'apprentissage collaboratif) ».

Un objet pédagogique fait donc référence à différents niveaux de granularités (un cours, un exercice, une image, une définition, ...) et doit forcément pouvoir être intégré dans des activités d'apprentissage. Différentes normes ont été définies pour aider l'élaboration de systèmes d'apprentissage, des objets pédagogiques associés, leur représentation et leur inter-relation. L'application de ces normes, qui sont considérées comme des langages communs de description des ressources éducatives numérisées (Vidal et al., 2004), garantit non seulement l'interopérabilité mais également la qualité du système.

---

<sup>1</sup> IEEE-LTSC : <<http://grouper.ieee.org/groups/ltsc/index.html>>

Parmi les normes de la formation en ligne, on peut citer LOM<sup>1</sup>, SCORM<sup>2</sup> et Dublin Core<sup>3</sup>. LOM et Dublin Core s'intéressent à la description des ressources pédagogiques, SCORM à la structure du contenu des objets.

### 1.4.3 Norme Dublin Core

Créé en 1995, Dublin Core (DC) rassemble entre autres des bibliothécaires, des documentalistes, des informaticiens. Il définit des métadonnées génériques et développe des outils pour implémenter des métadonnées dans les ressources. La norme du Dublin Core comprend 15 éléments de données descriptives relatifs aux ressources d'information, visant à appuyer la découverte de ressources dans les applications accessibles par le Web. Elle représente le résultat d'une série d'ateliers internationaux entre experts. Au cours de ces ateliers, un large consensus a été atteint, relativement à la définition des ressources, aux normes d'encodage, à la recherche documentaire et à toute une gamme de sujets. Dublin Core constitue la principale solution de rechange pour la description de ressources d'applications telles que les passerelles de sujet et les nombreuses collections numérisées. Il représente également la base d'un vaste réseau sémantique interopérable s'appuyant sur un ensemble d'éléments de base pouvant être utilisé à grande échelle. La norme Dublin Core n'empêche pas l'utilisation d'autres éléments nécessaires à des mises en œuvre locales. Plus récemment, des groupes de travail sectoriels ont été mis en place, en particulier le Dublin Core Education pour le domaine de l'éducation.

Le projet Dublin Core est constitué de 15 éléments demeurés inchangés depuis 1996. Chaque élément est optionnel et il peut être répété plusieurs fois. Le Tableau 1 montre les noms des éléments, leurs identificateurs et leurs définitions.

---

<sup>1</sup> LOM : <<http://ltsc.ieee.org/wg12/index.html>>

<sup>2</sup> SCORM : <<http://adlnet.org/index.cfm?fuseaction=secormabt&cfid=74335&cftoken=23123828>>

<sup>3</sup> Dublin Core : <<http://dublincore.org/>>



Nom	Identificateur	Définition
Titre	Titre	Le nom donné à la ressource.
Auteur/Créateur	Créateur	L'entité principalement responsable de la création du contenu de la ressource.
Sujet et mot-clé	Sujet	Le sujet du contenu de la ressource.
Description	Description	Un compte rendu du contenu de la ressource.
Editeur	Editeur	Une entité ayant la responsabilité de rendre la ressource disponible.
Collaborateur	Collaborateur	Une entité ayant la responsabilité de collaborer au contenu de la ressource.
Date	Date	Une date associée à un événement dans le cycle de vie de la ressource.
Type de ressource	Type	La nature ou le type du contenu de la ressource.
Format	Format	Le caractère physique ou numérique de la ressource.
Identificateur de la ressource	Identificateur	Une référence non ambiguë de la ressource dans un contexte donné.
Source	Source	Une référence de la ressource d'où est tirée la ressource présente.
Langue	Langue	La langue du contenu intellectuel de la ressource.
Relation	Relation	Une référence à une ressource connexe.
Portée	Portée	L'étendue ou la portée du contenu de la ressource.
Gestion des droits	Droits	Des renseignements au sujet des droits détenus sur une partie de la ressource ou sur son ensemble.

**Tableau 1.** La liste des 15 éléments formant le Dublin Core

#### 1.4.3.1 Dublin Core Education (DCE)

Issu du Dublin Core et dédié au domaine éducation, le DCE<sup>1</sup> est composé de métadonnées génériques et reprend des métadonnées de la partie "Education" du LOM : type d'utilisateur, niveau de type d'interactivité, durée, type de

---

<sup>1</sup> DCE : <<http://purl.org/dc/documents/education-wd>>

médiateur, conformité à un standard éducatif, réflexion sur type de ressources, qualité, niveau, type de pédagogie.

Récemment, DCE a proposé deux éléments spécifiques au domaine d'éducation :

Nom	Identificateur	Définition
Audience Element	Audience Element	la catégorie d'utilisateurs à qui la ressource est destinée
Standards Element	Standards Element	une référence a une norme de formation à laquelle la ressource est associée.

**Tableau 2.** Les 2 éléments Supplémentaires du Dublin Core Education

#### 1.4.4 Norme LOM

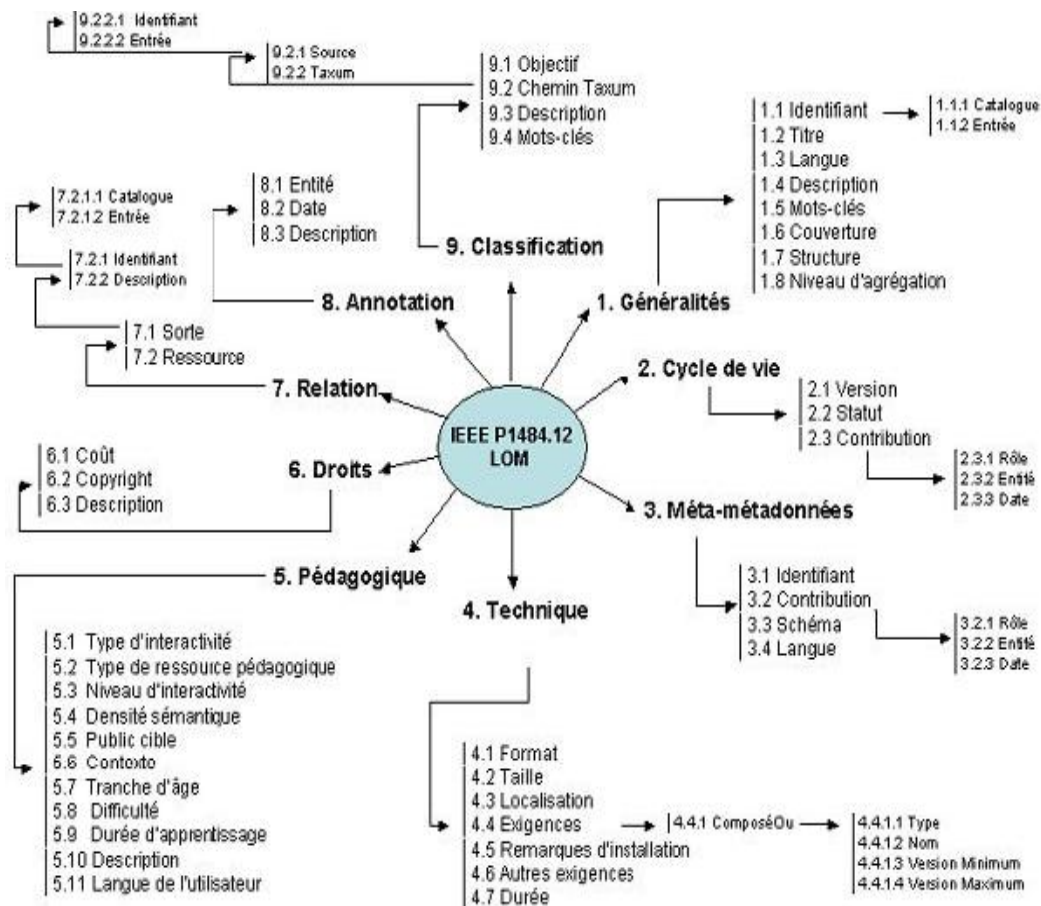
Comme Hernandez l'a décrit dans (Hernandez, 2005) et dans (Hernandez, 2008), le standard LOM spécifie la syntaxe et la sémantique des métadonnées décrivant des ressources pédagogiques numériques ou non et définit les attributs nécessaires à une description complète des ressources pédagogiques à partir des 78 attributs divisés en neuf catégories :

1. **Généralités** : caractéristiques indépendantes du contexte comme l'identifiant, le titre, la langue de la ressource...
2. **Cycle de vie** : caractéristiques relatives au cycle de vie, comme la version ou l'état (brouillon, final, révisé, non disponible) ;
3. **Méta-métadonnées** : caractéristiques de la description elle-même comme : la contribution (personnes ayant participé à l'élaboration), catalogue, ...
4. **Technique** : caractéristiques techniques comme le format (du logiciel nécessaire pour accéder à la ressource), taille...
5. **Pédagogique** : caractéristiques pédagogiques : type d'interactivité, type de ressource; niveau d'interactivité, densité sémantique, rôle présumé de l'utilisateur final, contexte, tranche d'âge, difficulté, temps d'apprentissage moyen, description, langage ;

6. **Droits** : coûts, copyrights, description...
7. **Relation** : caractéristiques exprimant les liens avec d'autres ressources ;
8. **Annotation** : commentaires sur l'utilisation pédagogique de la ressource
9. **Classification** : caractéristiques de la ressource décrites par des entrées dans des systèmes de classification : but, classification de références, chemin...

LOM est très complet et permet d'identifier tout type de contenu, et plus spécifiquement les contenus éducatifs, avec un format commun décrivant le type de contenu, son auteur, la meilleure manière de l'utiliser, etc.

Les profils d'applications ont été introduits afin de répondre aux besoins spécifiques et concrets des utilisateurs. Un profil d'application est une instance d'un modèle comme LOM dans un contexte particulier. De fait, cela signifie interpréter, raffiner, étendre ou parfois même simplifier les syntaxes et les sémantiques des métadonnées LOM.



**Figure 6.** Schéma de métadonnées LOM (De la passardière, 2004)

On peut subdiviser ces descripteurs selon deux catégories, certains peuvent être vus comme "objectifs" comme titre, auteur, langue, etc. et d'autres comme "subjectifs" comme densité sémantique, etc. Les premiers peuvent être pris en charge par des bibliothécaires ou des logiciels. Les seconds peuvent être affectés différemment selon les interlocuteurs, ce sont ces descripteurs qui apportent une valeur pédagogique.

#### 1.4.4.1 Exemple d'utilisation du LOM

A titre d'exemple, considérons la ressource suivante : un exercice en français destiné à stimuler la compréhension et la traduction de textes techniques en physique des surfaces dans lequel l'apprenant doit écouter et lire les mots et choisir en cliquant la bonne traduction parmi 3 choix. Sa méta description est montrée comme suit (Michel, 2002):

```

1 <lom>
2 ... ..
3 <general>
4 <title><langstring xml:lang="fr">Traduction de textes techniques - Physique des
surfaces</langstring>
5 </title>
6 <description><langstring xml:lang="fr">Exercice en français destiné à stimuler la compréhension et
la traduction de textes techniques écrits en anglais. </langstring>
7 </description>
8 </general>
9 <technical>
10 <format>audio/realaudio</format>
11 <format>text/html</format>
12 </technical>
13 <educational>
14 <learningresourcetype>
15 <source><langstring xml:lang="x-none">LOMv1.0</langstring></source>
16 <value><langstring xml:lang="x-none">exercice</langstring></value>
17 </learningresourcetype>
18 <context>
19 <source><langstring xml:lang="x-none">LOMv1.0</langstring></source>
20 <value><langstring xml:lang="x-none">Professional Formation </langstring></value>
21 </context>
22 <typicalagerange>
23 <langstring xml:lang="fr">Toute personne ayant au moins 3 ans d'expérience
</langstring>
24 </typicalagerange>
25 </educational>
26 <classification>
27 <purpose>
28 <source><langstring xml:lang="x-none">LOMv1.0</langstring></source>
29 <value><langstring xml:lang="x-none">Educational Objective </langstring></value>
30 </purpose>
31 <taxonpath>
32 <source><langstring xml:lang="fr">Taxinomie de Bloom</langstring></source>
33 <taxon><entry><langstring xml:lang="fr">compréhension</langstring></entry></taxon>
34 </taxonpath>
35 </classification>
36 <classification>
37 <purpose>
38 <source><langstring xml:lang="x-none">LOMv1.0</langstring></source>
39 <value><langstring xml:lang="x-none">Discipline</langstring></value>
40 </purpose>
41 <taxonpath>
42 <source><langstring xml:lang="fr">Classification Décimale </langstring></source>
43 <taxon><id>420</id>
44 <entry><langstring xml:lang="fr">Langues anglaise </langstring></entry>
45 </taxon>
46 </taxonpath>
47 </classification>

```

**Figure 7.** Exemple d'utilisation du LOM (Michel, 2002)

### 1.4.5 Norme SCORM

SCORM (Sharable Content Object Reference Model) (SCORM, 2004) de Advanced Distributed Learning (ADL) est une référence pour le partage de contenus et d'objets. SCORM permet l'assemblage des contenus web et un environnement d'apprentissage pour les objets pédagogiques. Il a pour vocation la mise en place de la bonne structuration du contenu du cours et de ses interactions avec son environnement.

SCORM traite les éléments suivants :

1. **Packaging** : il a pour objectif la transmission d'un contenu d'une plateforme vers une autre, l'importation ou l'exportation de contenus d'objets pédagogiques pour les mettre à disposition d'autres. Il s'intéresse également à la structuration des objets pédagogiques ;
2. **Métadonnées** : elles sont issues de LOM et ont pour objectif de partager les informations standards qui décrivent la nature et l'objectif du contenu.
3. **Communication ou environnement d'exécution** : détermine la communication avec un environnement web;
4. **Séquencement et navigation** : définit une méthode de représentation de la navigation entre objets d'apprentissages. Spécifiquement, il décrit les branchements et le flux d'activités d'apprentissages en termes d'arbre d'activité ;
5. **Agrégation de contenu** : elle distingue trois niveaux de ressources :
  - La ressource numérique élémentaire (asset) constitue la brique élémentaire : Il peut s'agir d'un document simple (image JPEG ou GIF, son WAV ou MP3, page Web) mais également de tout ensemble d'informations pouvant être délivré vers un client Web (document Flash, code JavaScript, applet Java, etc.),

- Un objet de contenu partageable (SCO) est un ensemble cohérent de ressources numériques élémentaires. Il peut être contrôlé depuis une plate-forme d'apprentissage en ligne (LMS). Respectant le protocole d'exécution SCORM, il représente le plus bas niveau de granularité pouvant faire l'objet d'un suivi,
- Un agrégat de contenu (Content Aggregation) est un ensemble de ressources pédagogiques structurées de façon cohérente au sein d'une entité de plus haut niveau, telle qu'un cours, un chapitre, un module, etc.

La structuration du contenu des modules d'enseignement suivant la norme SCORM permet de les réutiliser dans d'autres modules pour différentes formations ou systèmes. De plus, elle améliore le dialogue entre les objets pédagogiques et le système d'une part, et entre les acteurs et le système d'autre part.

## 1.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté de manière générale le domaine de l'enseignement assisté par les technologies de l'information et de la communication tel qu'il se déroule à l'heure actuelle dans les sociétés informatisées. D'après ce parcours, on peut constater que l'insertion de ces technologies a ouvert la voie aux nouveaux modes de pratiques pédagogiques. Il est évident que cette insertion ne s'est pas fait de manière souple en raison des adaptations nécessaires du métier suscitant des réticences de la part des acteurs concernés, plus spécialement les enseignants habitués au modèle classique de la formation dans lequel apprenants et enseignants se trouvent dans un même espace physique et en un même temps et utilisent la parole et des technologies analogues comme support de la transmission des savoirs.

Aussi, nous avons observé qu'aujourd'hui, un grand nombre d'universités et d'institutions de formation utilisent des environnements informatiques pour

l'apprentissage humain en tant que plateformes éducatives à distance. La massification des services et contenus créés à l'aide de ces outils fait émerger des besoins de collaboration entre établissements.

La création d'alliances et de partenariats, ainsi que la préoccupation de rendre les contenus réutilisables en prévoyant l'évolution technologique, impliquent une standardisation des contenus. A ce sujet, des consortiums internationaux se sont formés pour établir des recommandations générales. Nous distinguons deux axes sur lesquels les efforts se sont focalisés : les métadonnées spécialisés dans le matériel éducatif et la scénarisation des techniques didactiques visant le développement d'environnements adaptatifs à l'égard du profil de l'apprenant.



# Chapitre 2 : Modélisation des systèmes hypermédias adaptatifs

## 2.1 Introduction

Aujourd'hui, les sources de contenu hypertexte et hypermédia sont de plus en plus nombreuses. Les utilisateurs, n'ont pas tous les mêmes besoins, les mêmes connaissances. Le but des systèmes hypermédias adaptatifs (SHA) est de proposer des contenus qui correspondent aux besoins de l'utilisateur et une présentation adéquate des ressources sélectionnées, en fonction des préférences de l'utilisateur.

Dans ce chapitre, nous abordons les différentes approches de modélisation des SHA. En premier temps, nous présentons les principes généraux régissant les SHA. Après, nous définissons leur constitution architecturale, nous nous intéressons beaucoup plus aux données manipulées et aux modèles d'adaptation. Enfin, nous présentons sommairement des systèmes développés à travers différents travaux de recherche, nous essayons de dégager les caractéristiques de chaque système afin de mener une étude comparative.

## 2.2 Principes généraux

Les systèmes d'hypermédias adaptatifs sont devenus particulièrement populaires dès le début des années 1990, où ils servaient d'outils d'accès à l'information conditionnés par l'utilisateur. Ces systèmes peuvent servir dans n'importe quel domaine où les applications doivent être utilisées par des personnes aux buts et aux connaissances différents.

Peter Brusilowsky (Brusilowsky, 1998) définit ainsi les systèmes d'hypermédias adaptatifs : «Par systèmes d'hypermédias adaptatifs, nous

entendons tout système d'hypertexte ou d'hypermédia qui reflète certains aspects de l'utilisateur dans le modèle de l'utilisateur, et utilise ce modèle pour adapter à l'utilisateur différents aspects visibles du système.» Cette définition très générale permet d'englober de très nombreux systèmes : systèmes de e-Learning, systèmes d'information en ligne, systèmes d'aide en ligne, systèmes de recherche d'information, systèmes d'information institutionnels, systèmes de gestion des connaissances, systèmes de recommandations commerciaux, etc.

Afin de guider la création de tels systèmes, très variés, une méthodologie, toujours utilisée de nos jours, a été proposée en 1996. Nous nous proposons ici de décrire les principaux aspects. Pour concevoir un SHA, il est nécessaire de répondre à un certain nombre de questions:

- À quels éléments le système peut-il s'adapter ?
- Que peut-on adapter dans les hypermédias adaptatifs ?
- Quelles méthodes d'adaptation peut-on employer ?

Afin de répondre aux différentes interrogations posées, nous présentons une vision complète et unifiée des recherches existantes dans le domaine de la conception des systèmes hypermédias adaptatifs pour l'e-Learning, nous proposons un cadre de référence pour caractériser ce domaine. Aucune des approches et des systèmes existants ne couvre la totalité de ce cadre de référence, en revanche chaque approche ou système peut être intégré dans ce cadre et peut être situé par rapport à d'autres approches. Ce cadre de référence est défini par un modèle de domaine, un modèle de l'apprenant, un modèle pédagogique et un modèle d'adaptation.

### 2.3 Modélisation du domaine (Behaz, 2007)

Dans cette section, nous allons décrire les différents modèles de domaine qui nous ont le plus intéressés. Nous avons choisi de présenter les données utiles pour le e-Learning, étant donné que notre étude porte aussi sur le e-Learning,

puis différents modèles spécifiquement conçus pour les hypermédias adaptatifs.

Le modèle du domaine permet de définir des représentations des connaissances en spécifiant leur type, contenu, indexation, mécanismes de filtrage, organisation, assemblage afin de suivre l'apprenant.

La structure de base des modèles de domaine prend en considération deux niveaux d'abstraction à savoir niveau ressources et niveau concepts.

### 2.3.1 Niveau concept

Un concept est une représentation abstraite d'un objet du domaine. Il existe des concepts atomiques, qui correspondent à des fragments d'information. Ces concepts atomiques constituent la base du modèle. Il existe également des concepts composites, regroupant plusieurs concepts (composites ou atomiques). Les concepts sont organisés selon une hiérarchie de type généralisation/spécialisation. Ceci signifie qu'un concept peut-être plus général qu'un autre concept (le concept de base de données est plus général que le concept de base de données relationnelle) ou plus spécialisé (relation réciproque). La hiérarchie généralisation/spécialisation est complétée par des relations entre concepts comme "étend", "est une antithèse de", "facilite la compréhension de", etc. Le modèle proposé dans (Jacquiot, 2006) permet de représenter les concepts et les liens entre ces derniers. Quatre types de liens sont proposés : agrégation, généralisation, analogie et implication. La structure sémantique est un graphe ET/OU dans lequel il est possible d'exprimer que l'apprentissage d'un concept nécessite préalablement celui de plusieurs autres ou bien qu'il nécessite alternativement un autre concept.

Néanmoins, dans tous les cas de figures, un concept est donc un élément du domaine d'étude, qui peut-être présenté dans diverses ressources.

### 2.3.2 Niveau ressource

Un SHA pour l'enseignement met à la disposition des apprenants des ressources pédagogiques qui traitent de concepts appartenant à un domaine

de connaissances. La description de ces ressources peut être faite sur deux niveaux : i) le niveau logique et ii) le niveau sémantique. Tous les systèmes ne font pas forcément la différence entre ces deux niveaux. Par ailleurs, il existe toujours un niveau physique qui est celui des contenus exprimés dans un certain langage sous forme de fichiers informatiques.

### ***2.3.2.1 Niveau logique des ressources***

Au niveau logique, un contenu pédagogique est un ensemble de ressources pédagogiques reliées entre elles qui peuvent agréger un ou plusieurs contenus. Une ressource pédagogique est identifiée par un code unique (typiquement une URL) permettant sa localisation par une machine ou un homme. Plusieurs modèles de structuration logique ont été proposés dans le domaine des systèmes hypermédias. Le modèle DEXTER (Jacquiot, 2006) constitue un modèle de référence dans lequel la structure logique (appelée « Storage Layer ») est constituée de composants qui peuvent être des éléments atomiques, des liens ou des éléments composites.

Au niveau logique, il est usuel d'utiliser une typologie des ressources pédagogiques basée sur la forme de leur contenu. (Duitama, 2005) propose 9 formes de contenus: texte écrit, texte parlé, bruitage, musique, image, etc. Dans (Dehors et al. 2006), les ressources pédagogiques (appelées teaching materials) sont caractérisées par le type de média qu'elles utilisent mais aussi par un type pédagogique, ainsi sont distinguées les unités d'information de type « introduction à une notion », « exercice sur une notion », « explication d'une notion » ou « test d'une notion ».

### ***2.3.2.2 Niveau sémantique des ressources***

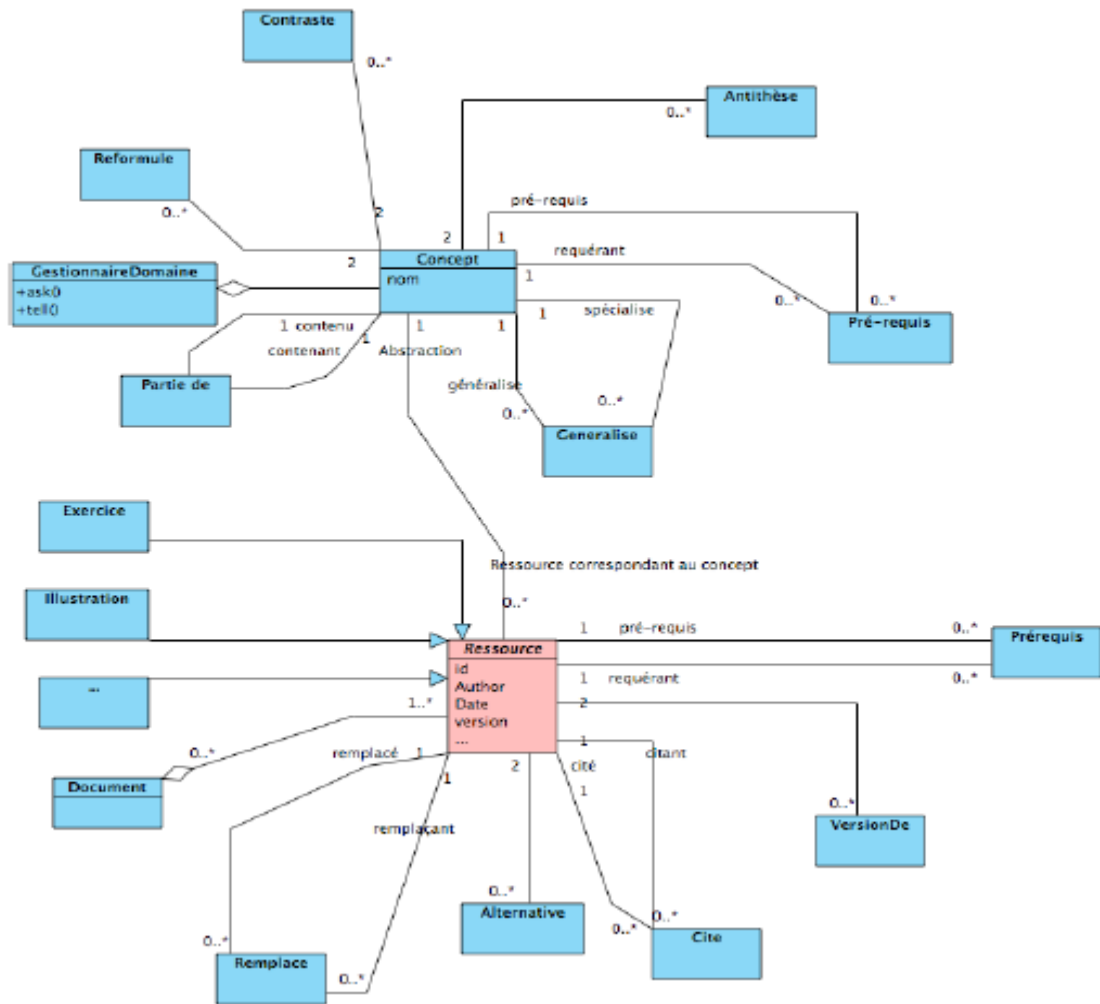
Comme nous l'avons précisé dans la section chapitre 1 section 1.4 il existe un certain nombre de standards de métadonnées pour la description de ressources. Parmi eux, les plus connus sont le Dublin Core (ressources générales), le LOM (Learning Object Metadata) et le DC-ED (Dublin Core Education) (ressources pédagogiques) et SCORM (Sharable Content Object Reference Model), standards très utilisés dans la modélisation de ressources

liées à l'enseignement. Néanmoins, ces standards ne correspondent généralement pas aux besoins des applications souhaitant les réutiliser : des "profils d'application" sont alors créés. Ils désignent les champs à renseigner obligatoirement. Ces profils rajoutent également des métadonnées, détruisant de fait l'interopérabilité des standards.

Dans tous ces standards, on retrouve des éléments communs tels que l'auteur d'une ressource, la date de publication, la langue de la ressource, etc. Ces ressources n'étant pas spécifiques aux hypermédias adaptatifs, elles incluent peu de relations entre ressources comme la relation de pré-requis, essentielles aux hypermédias adaptatifs.

De ce fait est née une approche sémantique entre les ressources qui apporte une aide dans la démarche pédagogique puisqu'elle définit un ordre dans l'apprentissage des concepts, conduisant à des parcours bien précis. Dans différents systèmes étudiés, les relations entre ressources les plus courantes sont "pré-requis", "partie-de", "cite",...

L'exemple ci-dessous Figure 8 montre un modèle du domaine représenté sous forme de diagramme de classes UML (Jacquiot, 2006) .



**Figure 8.** Diagramme de classes représentant un modèle de domaine

Nous remarquons la présence de différentes classes:

- La classe Concept qui représente une notion ou un ensemble de notions abstraites.
- La classe Ressource chargée de représenter les différentes ressources disponibles sur le domaine. Les ressources sont atomiques, chaque ressource est associée à un unique concept et appartient à une seule sous-classe de Ressource (Exercice, Définition, Illustration. . .).
- La classe Document est chargée de représenter les documents que l'on peut présenter à un apprenant, c'est-à-dire les agrégats ordonnés de ressources. Les documents sont donc composés à partir de ressources

ordonnées, ce qui doit faciliter une adaptation de présentation et de contenu.

- La classe GestionnaireDomaine est chargée de gérer le domaine et de servir d'interface entre le domaine et les autres composants.

Différents types de relations entre concepts sont présentées dans le modèle du domaine. Ces relations sont les relations que l'on retrouve le plus fréquemment dans le e-Learning.

- Synonyme : A reformule B si A est un synonyme de B. Exemple : concept reformule idée.
- Contraste : A contraste avec B si A propose une théorie alternative de B. Exemple : Mécanique classique contraste avec Mécanique quantique.
- Antonyme : A est une anti-thèse de B si A est un concept opposé à B.
- Pré-requis : A est un pré-requis de B si l'apprentissage de B nécessite la connaissance de A.
- Partie de : A fait partie de B si A est un des concepts faisant partie de B. Par exemple, dans le domaine des bases de données, le concept de "modèle relationnel" fait partie du concept «bases de données ».
- Relation de généralisation/spécialisation : A généralise B si B est une spécialisation (sorte) du concept A.

De même différentes relations entre ressources sont présentées nous trouvons:

- Pré-requis : A est un pré-requis de B si la lecture de la ressource A est nécessaire à la lecture de la ressource B.
- VersionDe : A est une version de B si A correspond à une version différente de la même ressource que B.
- Cite : A cite B si A contient une référence ou un lien vers B.
- Alternative : A est une alternative à B si on peut substituer A à B.
- Remplace : A remplace B s'il faut toujours substituer A à B.

En conclusion, les modèles de représentation du domaine utilisent généralement des structures beaucoup plus complexes. Les modèles du domaine sont généralement organisés selon un ou plusieurs axes : nature des ressources (exercice, illustration, etc.), hiérarchie des ressources (chapitre, section, etc.), concepts associés aux ressources, etc. Ces hiérarchies ne sont pas toujours détaillées dans les hypermédias adaptatifs : la plupart se contentent de permettre d'annoter les ressources à l'aide de métadonnées.

## 2.4 Modélisation de l'apprenant (Behaz, 2008)

Le but de la modélisation de l'apprenant est de donner une description aussi complète et fidèle que possible de tous les aspects relatifs aux comportements de cet utilisateur et du système qu'il utilise. La modélisation est une étape préalable pour l'élaboration des métadonnées. Cette modélisation permet une adaptation qui améliorera le fonctionnement et la convivialité du système, ainsi ce dernier peut présenter les informations les plus intéressantes et aider l'utilisateur dans sa tâche d'apprentissage.

Pour qu'un système d'apprentissage soit « intelligent », il faut qu'il soit capable de s'adapter à l'apprenant qui se trouve devant la machine. Ceci ne peut être atteint que par la connaissance du modèle de l'apprenant. L'ensemble des connaissances aidera à définir les caractéristiques des apprenants de façon à ce qu'il soit plus facile d'adapter les contenus en fonction de leur profil d'apprentissage, de surveiller leur progression, de fournir un encadrement administratif et cognitif adapté, etc.

Une nouvelle génération de systèmes avancés d'apprentissage doit intégrer des nouvelles approches pédagogiques donnant à l'apprenant un rôle actif pour apprendre et construire ses connaissances. Ces systèmes doivent être plus interactifs, plus collaboratifs dans le sens qu'ils vont permettre et encourager la collaboration entre les apprenants mais surtout intégrer une vision plus centrée sur l'utilisateur.



Nous présentons les travaux concernant la modélisation des apprenants dans les hypermédias adaptatifs. Ces travaux ont pour but d'offrir un cadre général pour la conception de modèles utilisateur dans un système hypermédia, les propriétés et techniques d'acquisition.

### 2.4.1 Classification

Dans les systèmes hypermédias adaptatifs, le modèle utilisateur reste assez générale, on retrouve le plus souvent 2 types de données, les connaissances que possède l'utilisateur sur le domaine qui sont fondamentales et les connaissances générales concernant l'utilisateur lui-même qui ne sont pas en rapport avec le domaine. La classification des modèles utilisateurs est basée sur 3 dimensions:

- Un Modèle canonique : consiste à utiliser une représentation appelée stéréotype des besoins, des caractéristiques, du fonctionnement cognitif, du mode de raisonnement, etc. de l'ensemble des utilisateurs (Koch, 2001).
- Modèles basés sur des caractéristiques persistantes ou ponctuelles qui permettent de distinguer entre les informations valides à long terme et celles à court terme (Koch, 2001).
- Modèles explicites (adaptables) modèles construits par l'utilisateur ou implicites (adaptatifs) modèles construits par le système en fonction du comportement de l'utilisateur.

De ce fait, on peut mettre en évidence trois modèles ceux qui maintiennent la connaissances que l'utilisateur a du système, ceux qui concernent les connaissances générales et non spécifiques au domaine (centres d'intérêts, background de l'utilisateurs, la connaissance de l'outil informatique etc.) et en dernier les modèles psychologiques qui font référence aux préférences et traits de personnalités de l'utilisateur.

## 2.4.2 Description des caractéristiques d'un apprenant

Tout processus d'adaptation, repose sur un modèle de l'apprenant et une représentation de ses caractéristiques dans le système. Nous décrivons chaque caractéristique :

### 2.4.2.1 *Les Connaissances de l'apprenant*

C'est la donnée la plus importante dans tout système adaptatif. Il s'agit de sauvegarder ce qu'un apprenant connaît ou ne connaît pas par rapport aux concepts du domaine. Cette donnée peut être obtenue explicitement suite à un test par exemple ou bien implicitement par application du système des règles d'inférences. Les connaissances peuvent varier, pour le même apprenant, d'un moment à un autre. En effet, à chaque utilisation du système l'apprenant peut acquérir de nouvelles connaissances et augmenter son niveau ou au contraire le diminuer. Il est donc nécessaire de disposer d'outils d'évaluations robustes afin de confirmer les capacités effectives.

### 2.4.2.2 *Les préférences*

Contrairement à la donnée précédente cette caractéristique ne peut pas être déduite par le système. Chaque apprenant possède ses propres préférences, il doit les communiquer au système. Les préférences se divisent en deux catégories les préférences d'affichage taille des caractères, problèmes de couleurs, de contraste, etc., et les préférences de présentation. Ainsi, il a possibilité par exemple de définir un classement sur les types physiques de média pour la présentation des contenus (texte, image, vidéo,...).

### 2.4.2.3 *Les objectifs et plans*

Laroussi (Laroussi, 2001) définit un objectif comme étant l'état que l'apprenant souhaite atteindre et les plans décrivent les étapes pour y arriver. Ces informations peuvent être donner explicitement par l'apprenant ou bien déduites par le système grâce à certaines règles d'organisation de la structure narrative d'un document.

#### **2.4.2.4 Les styles d'apprentissage**

Les styles sont définis comme des caractéristiques cognitives permettant de déterminer les façons d'un apprenant à traiter l'information on y retrouve :

- Vitesse d'apprentissage: un utilisateur rapide aura besoin moins d'exemples d'illustrations ou d'exercices pour assimiler un concept.
- Le choix de la stratégie d'apprentissage: soit l'approche ascendante qui consiste à présenter des exemples d'abord ensuite les généraliser pour extraire une théorie ou bien, l'approche descendante qui consiste à présenter d'abord la théorie puis les exemples qui permettent de l'assimiler.

#### **2.4.2.5 Historiques**

Les historiques regroupent les actions que l'utilisateur a effectuées dans le système, des concepts abordés ou des documents parcourus. Cette caractéristique n'est pas toujours utilisée. En revanche, elle peut être nécessaire pour représenter plusieurs sortes d'historiques

#### **2.4.3 Les modèles de représentations des connaissances**

Différentes techniques sont utilisées pour représenter les connaissances des apprenants dans un système hypermédia.

##### **2.4.3.1 Modèles de recouvrements**

Dans ce type de modèle (overlay models) il s'agit de modéliser la connaissance d'un individu et non celle d'un groupe. Les connaissances sont représentées par un sous ensemble de connaissances. Ces dernières sont généralement exprimées par un modèle et préalablement établi par un expert du domaine (définir ce que l'on attend de l'utilisateur, les connaissances qu'on souhaite le voir acquérir). Cet ensemble prend la forme de paires concept-valeur ou concept représente la connaissance, valeur le degré de maîtrise que l'apprenant possède par rapport à ce concept. Valeur peut être (booléenne, nominale, une probabilité....) c'est un modèle puissant et flexible.

On peut évoluer facilement le niveau de connaissance de l'apprenant pour chaque concept.

#### *2.4.3.2 Modèles stéréotypes*

Permettent la modélisation de la connaissance dans un groupe. L'apprenant est classé sous un stéréotype. Ces modèles sont fondés sur des paires items-valeurs qui définissent différents stéréotypes tel que novice, avancé, expert. Dans ce cas l'apprenant est associé à une de ces catégories, hérite de ses propriétés et dispose des adaptations élaborées par le stéréotype en question (Iksal, 2001).

Nous remarquons que dans les modèles stéréotypes le manque d'individualisation de l'adaptation. En effet, le modèle stéréotype propose le niveau minimal qu'une classe d'apprenants dispose sur un concept donné. Par contre le modèle de recouvrement représente exactement le niveau de connaissances de chaque individu dans le système. Il serait intéressant d'élaborer un modèle mixte des deux approches. Initialiser le modèle de l'apprenant à l'aide d'un stéréotype, puis l'affiner en utilisant un modèle de recouvrement (le réévaluer de nouveau en fonction de ses actions et réponses utilisant une méthode probabiliste) Voir tableau 3.

Aussi, nous avons vu que l'adaptation nécessite des connaissances sur les utilisateurs. Ces connaissances sont construites selon des modèles stéréotypes (classe d'individus) ou des modèles de recouvrement (individu). Par ailleurs, il existe deux manières d'obtenir de l'information sur les utilisateurs : l'acquisition explicite selon laquelle des interactions avec le système permettent de créer ou compléter le modèle. L'acquisition implicite selon laquelle le système infère l'information suivant le comportement de l'utilisateur et des règles d'inférences.

Modèle Apprenant		
Caractéristiques	Modèle de Représentation	Acquisition
Connaissance	Stéréotype/Recouvrement	Implicite/ Explicite
Objectifs et plans	Stéréotype/Recouvrement	Implicite/ Explicite
Styles d'apprentissage	Stéréotype	Implicite
Préférences	Stéréotype	Explicite
Historiques	Recouvrement	Implicite

**Tableau 3.** Récapitulation des modèles de représentation

## 2.5 Modèles pédagogiques

Dans les systèmes hypermédias adaptatifs pour le e-Learning, les recherches sont surtout centrées sur les contenus pédagogiques et peu sur les démarches pédagogiques. Pourtant, il existe plusieurs manières d'apprendre, et un système pédagogique adaptatif doit permettre d'adapter la démarche aux besoins de l'apprenant. Dans ces conditions la modélisation et la gestion des démarches pédagogiques est essentielle. La modélisation des démarches pédagogiques peut se faire à différents niveaux (stratégique, opérationnel...) et la manière de modéliser une démarche pédagogique peut être très différente d'une approche à une autre.

On distingue trois approches de modélisation d'une démarche pédagogique.

- L'approche orientée activités consiste à décrire la démarche sous la forme d'un processus composé d'activités ou tâches qui peuvent être simples ou complexes. Dans les systèmes actuels, cette approche de modélisation est la plus répandue. Le processus est alors souvent représenté par un graphe ET/OU dans lequel les tâches pédagogiques sont identifiées et décomposées.

- L'approche orientée ressources considère la démarche pédagogique comme un processus de sélection, d'assemblage et de présentation de contenus. Cette approche met l'accent davantage sur la modélisation des contenus que sur celle des processus. Dans les systèmes qui adoptent cette approche, il n'y a pas en général de modélisation explicite des démarches pédagogiques.
- L'approche orientée objectifs considère la démarche pédagogique comme un processus de satisfaction d'objectifs pédagogiques. Chaque objectif est associé à un ou plusieurs scénarios permettant de le satisfaire. L'intérêt de cette approche est double, d'abord elle permet la personnalisation puisqu'elle autorise différentes manières de satisfaire un même objectif, ensuite la modélisation orientée objectif favorise une pédagogie centrée sur les besoins des apprenants.

## 2.6 Modèles et mécanismes d'adaptation

Dans un cadre éducatif, un hypermédia adaptatif va permettre de mieux guider l'apprenant dans son apprentissage pour lui offrir des parcours et des contenus pédagogiques personnalisés. De ce fait, nous devons modifier aussi bien le contenu des pages que les liens entre ces dernières. nous distinguons trois formes d'adaptation : l'adaptation de la navigation, l'adaptation du contenu et l'adaptation de la présentation. L'adaptation de la navigation permet l'adaptation dans l'ordonnancement des notions pédagogiques qui vont être présentées à l'apprenant. L'adaptation du contenu est basée sur la sélection de contenus en fonction des connaissances de l'apprenant sur le domaine. L'adaptation de la présentation traite de la disposition et de l'aspect visuel. Cette forme d'adaptation exploite certaines préférences de l'apprenant. Nous notons que l'adaptation du contenu et l'adaptation de la présentation sont souvent confondues. Selon Brusilovsky (Brusilovsky, 2001), (Brusilovsky, 2005) les modes d'adaptation sont de deux sortes, ceux qui adaptent le contenu présenté à l'apprenant (adaptive presentation) et ceux

qui adaptent les liens présentés à l'apprenant (adaptative navigation support) voir Figure 9. Les méthodes et les techniques d'adaptation varient considérablement d'un système à un autre.

## 2.6.1 Méthodes d'adaptation

### 2.6.1.1 Méthodes d'adaptation du contenu

On distingue quatre méthodes d'adaptation du contenu :

- Explications par les pré-requis : avant de présenter une explication sur une notion, le système insère des explications sur tous ses notions pré-requis qui ne sont pas connus par l'apprenant.
- Explications comparatives : si une notion similaire à la notion présentée est connue, l'apprenant obtient des explications comparatives qui insistent sur les différences et similitudes entre les deux notions. Cette méthode est très utilisée pour enseigner les langages de programmation.
- Explications variées : le système sauvegarde plusieurs variantes d'une même partie de la page et fournit à l'apprenant la partie qui correspond à son modèle.
- Tri : les différents fragments d'information au sujet d'une notion peuvent être triés par ordre décroissant de pertinence en fonction du background et des connaissances de l'apprenant.

### 2.6.1.2 Méthodes d'adaptation de la navigation

On distingue cinq méthodes d'adaptation de la navigation:

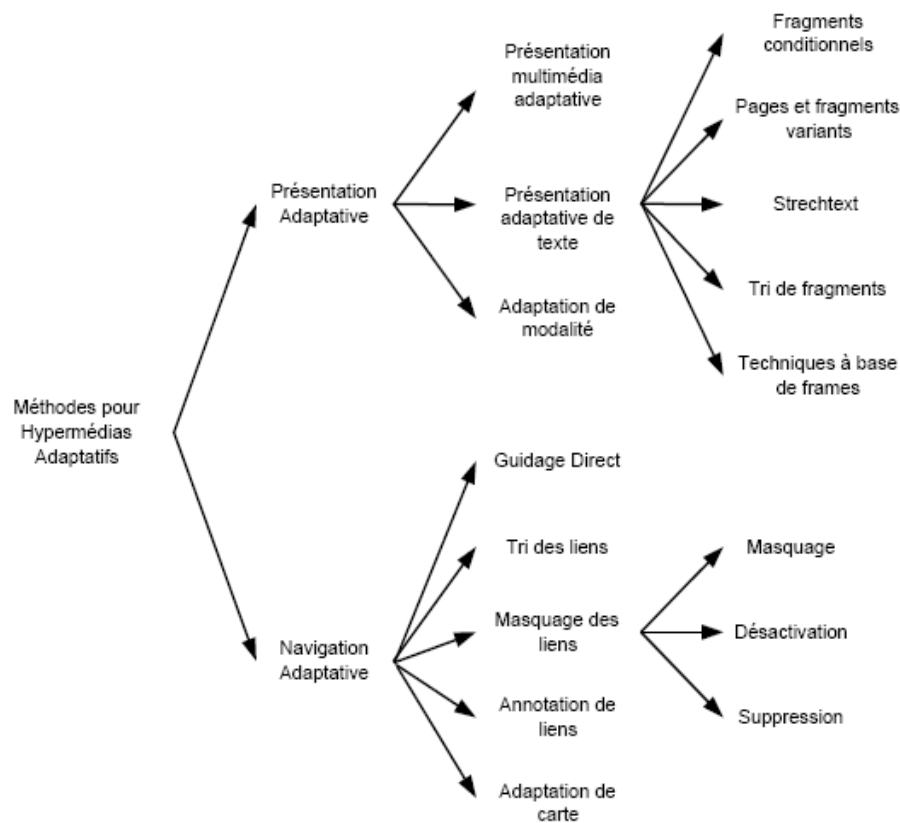
- -Guidage global : l'objectif global de l'apprenant étant connu par le système, il s'agit de trouver le chemin le plus court pour atteindre l'information pertinente. Dans chaque page, le système fournit à l'apprenant le lien à suivre, c'est-à-dire, un guidage direct à l'aide par exemple du bouton « suivant ».

- Guidage local : il s'agit de suggérer à l'apprenant les liens les plus pertinents de la page en cours en fonction de son niveau de connaissances, de ses préférences et de son expérience. L'objectif global n'est pas connu dans le guidage local.
- Orientation locale : il s'agit d'aider l'apprenant à comprendre sa position relative dans l'hyperespace (1) en fournissant des information sur les pages en sortie de la page en cours et (2) en diminuant le nombre d'hyperliens sortant d'une page pour limiter la surcharge cognitive de l'apprenant.
- Orientation globale : il s'agit d'aider l'apprenant à comprendre la structure globale de l'hyperespace et sa position absolue dans cet hyperespace.
- Gestion de vues personnalisées : il s'agit d'offrir à l'apprenant la possibilité d'organiser une partie de l'hyperespace en fonction d'objectifs de travail ponctuels. Ceci évite à l'apprenant d'être confrontés à un hyperespace trop complexe avec des risques de désorientation et de surcharge cognitive. Cette partie de l'hyperespace est un ensemble d'hyperliens qui pointent vers des hyper documents pertinents et représente une vue personnalisée pour l'apprenant. Les navigateurs Web proposent par exemple des bookmarks pour construire des vues personnalisées.

## 2.6.2 Techniques d'adaptation

L'adaptation nécessite des mécanismes internes et externes très spécifiques. Au niveau externe, le domaine des systèmes hypermédias adaptatifs propose de nombreuses techniques d'adaptation permettant de présenter un hyperespace de manière personnalisée. Ces techniques d'adaptation largement décrites dans (Brusilovsky, 1996 ), (Brusilovsky, 2005) distinguent l'adaptation du contenu de l'adaptation de la navigation voir Figure 9.





**Figure 9.** Méthodes et techniques d'adaptation des SHA

### 2.6.2.1 Technique d'adaptation du contenu :

Parmi les techniques d'adaptation du contenu, il y a :

- Texte conditionnel : toutes les informations sur une notion sont divisées en plusieurs parties. Chaque partie est associée à une condition sur le niveau de connaissance de l'apprenant. Quand le système présente des informations à l'apprenant, il ne présente que celles dont la condition est vraie.
- « StretchText » est une technique de « plus haut niveau » et correspond à un type particulier d'hypertextes. Tandis que dans un hypertexte classique, l'activation d'un hyperlien ou « hot word » signifie l'ouverture d'une nouvelle page, dans un StretchText le « hot word » est simplement remplacé par le texte correspondant et étend ainsi la page courante. L'opération inverse est possible. L'idée de l'adaptation des

«Stretch Text» est de «déplier» les «hot word» pertinents et de laisser les autres «pliés».

- Les pages variées: permet d'implanter des explications variées. On conçoit plusieurs présentations pour une même page en fonction du profil de l'apprenant
- Les fragments variés permettent d'implanter les explications variées où une page contient soit : (1) des explications sur plusieurs notions, c'est-à-dire, un fragment par notion ou plusieurs variantes d'une même notion ; soit (2) différentes explications structurelles de la même notion en fonction du niveau de connaissances de l'apprenant.
- les frames : les informations sur une notion particulière sont représentées par un frame. Les slots du frame peuvent contenir des explications différentes de la notion, des liens avec d'autres frames, des exemples. Des règles de présentations particulières sont utilisées pour décider quels slots doivent être présentés à chaque apprenant.

#### ***2.6.2.2 Techniques d'adaptation de la navigation :***

Parmi les techniques d'adaptation de la navigation, il y a :

- Guidage direct : en fonction des objectifs d'un apprenant, le système définit l'hyperlien le plus approprié et le visualise explicitement en changeant par exemple sa couleur.
- Tri des liens : cette technique consiste à ordonner les hyperliens en fonction de leur pertinence pour un apprenant donné. Les liens susceptibles d'intéresser l'apprenant sont situés en haut de la page pour favoriser leur découverte.
- Annotation des liens : le principe de cette technique est de rajouter aux différents hyperliens des commentaires pour indiquer à l'apprenant le contenu de la page qui est accessible par le lien.
- Masquage des liens: cette technique permet de masquer les hyperliens les moins pertinents pour l'apprenant.

- Adaptation de carte : c'est une carte de navigation indiquant la structure hiérarchique ou en réseau de l'hyperespace pour permettre à l'apprenant de choisir les pages à consulter. Au niveau interne, les techniques d'adaptation mises en œuvre par les systèmes sont des règles qui exploitent les trois types de connaissances : les connaissances de domaine, les connaissances de l'apprenant et les connaissances pédagogiques.

Dans (Vassileva, 1997), on distingue quatre types de règles d'apprentissage. Les « règles d'enseignement » déterminent un parcours d'apprentissage dans l'ensemble des notions du domaine. Les « règles de sélection de stratégies » définissent une stratégie pédagogique avant de commencer l'exécution du plan. Par exemple la stratégie « structurée » est proposée par le système comme une approche d'enseignement dans laquelle l'apprenant est complètement guidé ; c'est le système qui détermine les notions à acquérir et les tâches associées. Les « règles de sélection de méthodes » déterminent pour une notion, l'activité pédagogique et une décomposition pour l'apprendre. Ces règles utilisent les tâches déjà effectuées ainsi que les ressources pédagogiques déjà utilisées. Les « règles de sélection des ressources pédagogiques » déterminent la ressource pédagogique à présenter en fonction des préférences de l'apprenant en matière de média.

## 2.7 Exemples de systèmes hypermédias adaptatifs

Nous allons présenter dans cette section une sélection de systèmes d'hypermédias adaptatifs spécifiques au domaine d'application du e-Learning.

### 2.7.1 AHAM

AHAM (Adaptive Hypermedia Application Model) (De Bra et al., 2004) est un modèle pour la création d'hypermédias adaptatifs, quel que soit le domaine d'utilisation de cet hypermédia. Dans le modèle du domaine les constituants sont structurés en utilisant des concepts et des relations. Chaque concept est

la représentation abstraite d'un fragment de ressources physiques. Le modèle de l'utilisateur représente les connaissances, les préférences, les buts et l'historique de la navigation de l'utilisateur par le biais de tables. Au niveau de l'adaptation, AHAM propose un système de règles. Un sélecteur de pages choisit les fragments à présenter à l'utilisateur et un constructeur de pages détermine la présentation à appliquer à ces fragments. AHAM supporte l'adaptation de contenus et de lien. La genericité des composants d'AHAM le rend utilisable dans de nombreux domaines.

### 2.7.2 Munich Reference Model

L'architecture décrite dans le Munich Reference Model (Koch, 2004) est assez proche de celle d'AHAM. Elle présente néanmoins l'avantage d'être formalisée de manière plus standard et plus précise, notamment en ce qui concerne le modèle de l'utilisateur. Ceci par le biais du formalisme : UML (Unified Modeling Language), le modèle de l'utilisateur est assez simple : il sépare les attributs en deux catégories selon qu'ils dépendent du domaine (connaissances) ou non (préférences, parcours professionnel, etc.). Le modèle du domaine reprend la hiérarchie conceptuelle d'AHAM. Les concepts représentent dans le modèle des éléments concrets du domaine, ou des agrégations de ces éléments. Le modèle de l'adaptation est basé sur des règles de type condition/action, catégorisées selon leur utilité : construction d'une page, adaptation à l'utilisateur, mise à jour du profil de l'utilisateur.

### 2.7.3 METADYNE

METADYNE (Delestre et al., 2000) est un hypermédia adaptatif et dynamique où l'hypermédia est virtuel et les cours sont générés dynamiquement en filtrant des briques élémentaires de cours en se basant sur le modèle de l'apprenant. Il applique, dès lors, une approche orientée ressources.

### 2.7.4 Interbook

Interbook (Bruvilovsky, 1998) est un système complet de création d'hypermédiats adaptatifs pour l'apprentissage. L'hypermédia obtenu est

composé d'un glossaire et d'un manuel électronique. Le manuel est structuré en sections, sous-sections et éléments de base. Le modèle du domaine sert à structurer le contenu du manuel. Chaque élément de base du domaine est lié à un ensemble de concepts. Les concepts sont organisés par la relation de pré-requis, qui permet de savoir quels concepts doivent être appris avant quels autres. Le glossaire permet de visualiser le plan de l'hypermédia. Chaque nœud du plan correspond à un concept différent, et est lié à tous les documents du domaine utilisant ce concept. Ce système construit également un modèle de l'utilisateur. Ce modèle contient la connaissance que possède l'utilisateur sur les différents concepts. Le niveau de connaissance de chaque concept est modifié en fonction des actions de l'utilisateur. Les buts d'apprentissage peuvent être définis pour chaque utilisateur. L'adaptation fournie porte sur l'agencement des composants que contient un document, l'annotation de liens par icônes colorées, le guidage direct de l'utilisateur et l'aide basée sur la révision des pré-requis.

## 2.8 Synthèse et limites des systèmes étudiés

Nous présentons dans le tableau suivant l'étude de synthèse que nous avons menée sur les quatre systèmes:

	Modèle de domaine		Modèle Apprenant	Modèle pédagogique	Modèle d'adaptation	
	Niveau logique	Niveau sémantique			Adaptation de contenu	Adaptation Navigation
Interbook	Hypertexte hiérarchique	Pré-requis	Stéréotype	orienté ressources	StretchText	annotation des liens
METADYNE	Hypermédia	agrégations	Stéréotype (préférences, objectifs, capacités)	orienté ressources	Règle de sélection de briques de cours	guidage local
AHAM	Hypermédia	structure arborescente (chapitre, section, sous section)	Recouvrement (préférences, capacités)	orienté activités	Texte conditionnel	guidage direct, annotation des liens
Munich Reference Model	Hypertexte hiérarchique	agrégations	Recouvrement	orienté ressources	Règles condition/action	

**Tableau 4.** Etude Comparative des Systèmes hypermédiés adaptatifs

Dans la majorité des systèmes étudiés, la structure logique est un hyperespace composé de nœuds (pages) et de liens hypertextes ou hypermédias. La structure sémantique reste « pauvre » dans la plupart des systèmes. Elle est limitée à une description des notions du domaine avec des liens de pré requis ou agrégation, généralisation. Peu de systèmes associent dans la structure sémantique les activités permettant l'apprentissage de ces notions.

Les préférences des apprenants en termes de stratégies et de méthodes d'enseignement sont peu prises en compte dans les modèles de l'apprenant ; ceci constitue une lacune importante. En plus ces systèmes déterminent les contenus pédagogiques à présenter en fonction des préférences de l'apprenant en matière de média uniquement.

Le manque de visibilité des parcours d'apprentissage par les apprenants (guidage local, mauvaise représentation de l'hyperespace, etc.)

Dans la plupart de ces systèmes, le modèle pédagogique se limite à des parcours d'unités pédagogiques. le système METADYNE (Delestre et al., 2000) intègre un générateur de cours qui a pour fonction d'assembler et de présenter les cours à l'apprenant. Il applique, dès lors, une approche orientée ressources. Le système AHAM applique l'approche orienté activités qui explicite et décompose le processus pédagogique en activités simples ou complexes. Nous remarquons au passage que le système METADYNE offre des services plus améliorés, en effet les cours multimédia en ligne sont adaptables par les enseignants et adaptés par les apprenants. Mais l'association d'une sémantique aux contenus est absente.

## 2.9 Positionnement de notre approche

La recherche que nous avons menée, en premier temps, dans le cadre de cette thèse s'intéresse à la conception d'un environnement numérique de type hypermédia adaptatif.

Pour assurer le rapprochement le plus adéquat de l'apprenant avec les enseignements proposés, nous avons centré nos efforts, au début, autour du

contenu. Nous étions convaincus que cette démarche constituera un pas décisif vers la concrétisation de l'ensemble de nos objectifs. Nous savions que les contenus peuvent contribuer à améliorer la qualité de l'enseignement si la manière de les produire et de s'en servir est efficace. Donc en partant d'une étude minutieuse des travaux essentiels réalisés dans le domaine nous avons tenté de répondre aux interrogations suivantes :

- Quelle information de nature sémantique faudrait-il ajouter à un contenu pédagogique pour obtenir une description fiable et précise de la matière associée?
- De quelle manière faudrait-il structurer un contenu pédagogique afin de faciliter son traitement et sa diffusion ?
- Comment adapter un contenu pédagogique conformément aux spécificités caractérisant les apprenants ?

## 2.10 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons essayé de caractériser les systèmes hypermédias adaptatifs (SHA) en définissant un cadre de référence permettant de les comparer les uns avec les autres. Nous avons identifié quatre composants impliqués dans la réalisation des systèmes pédagogiques adaptatifs, à savoir, le modèle de domaine, le modèle de l'apprenant, le modèle pédagogique et le modèle d'adaptation. Nous avons mené une étude comparative de quatre systèmes à savoir (Interbook , AHAM, METADYNE et Munich Reference Model ) mais aucun de ces systèmes ne couvre la totalité du cadre de référence.

Dans notre travail, nous proposons un système qui essaye de répondre plus au moins aux lacunes des (SHA) étudiés en combinant les (SHA) et les modèles du Web sémantique (présentés dans la suite de cette thèse chapitre 3). Nous nous intéressons beaucoup plus à l'image de l'apprenant surtout l'identification de ses modes d'apprentissage en tant que critère majeur d'adaptation.

# Chapitre 3 : WEB SEMANTIQUE ET INGENIERIE ONTOLOGIQUE

## 3.1 Introduction

Dans la suite de cette thèse, nous avons concentré nos recherches sur les technologies permettant un apprentissage à temps, pertinent et dynamique. Pour cela, nous avons étudié comment le Web Sémantique (WS) peut être utilisé comme une technologie pour réaliser des applications e-Learning répondant à nos besoins.

Ce chapitre présente la notion d'ontologie dans le cadre du Web sémantique (WS) et l'intérêt de l'utilisation des ontologies dans le domaine du e-Learning pour le développement des environnements numériques pédagogiques adaptatifs.

Nous savons que les ontologies jouent un rôle très important pour la réalisation du Web sémantique. Elles sont utilisées pour fournir le vocabulaire et la structure des métadonnées associées aux ressources et servent de représentation pivot pour l'intégration de sources de données hétérogènes.

Dans ce contexte, nous pensons que les ontologies peuvent apporter énormément aux systèmes pédagogiques hypermédias adaptatifs dynamiques et particulièrement à ceux qui réutilisent des ressources pédagogiques.

Dans ce qui suit, nous présentons les objectifs du WS, nous discutons les langages candidats pour le WS, l'ingénierie ontologique et nous présentons le rapprochement du WS avec le e-Learning.



## 3.2 Objectifs du web sémantique

L'expression de Web Sémantique, attribuée à Tim Berners-Lee (Berners , 2001) (fondateur et président du *Consortium World Wide Web 'W3C'*), fait référence à la vision du Web de demain comme un vaste espace d'échange de ressources entre humains et machines permettant une meilleure exploitation de masses de données disponibles sur le Web. L'objectif est non pas de permettre aux machines de se comporter comme des êtres humains, mais de développer des langages pour représenter les informations d'une manière traitable par les machines, afin d'améliorer les rapports des utilisateurs avec le Web. En effet, la sémantique et la structure des données requièrent une représentation de la sémantique compréhensible et échangeable pas les machines. L'idée est de rendre explicite la sémantique des documents à travers des métadonnées ou d'annotations, afin de permettre aux agents logiciels d'effectuer des tâches de recherche et de sélection des ressources pour les utilisateurs.

Les recherches actuellement réalisées dans le domaine du Web Sémantique s'appuient sur un existant riche venant de différents domaines. Par exemple, les systèmes de recherche en Intelligence Artificielle (IA), les systèmes de représentation et/ou l'ingénierie des connaissances ont permis d'étudier les problèmes liés à l'accès aux collections d'informations structurées, aux règles d'inférences et aux raisonnements automatiques.

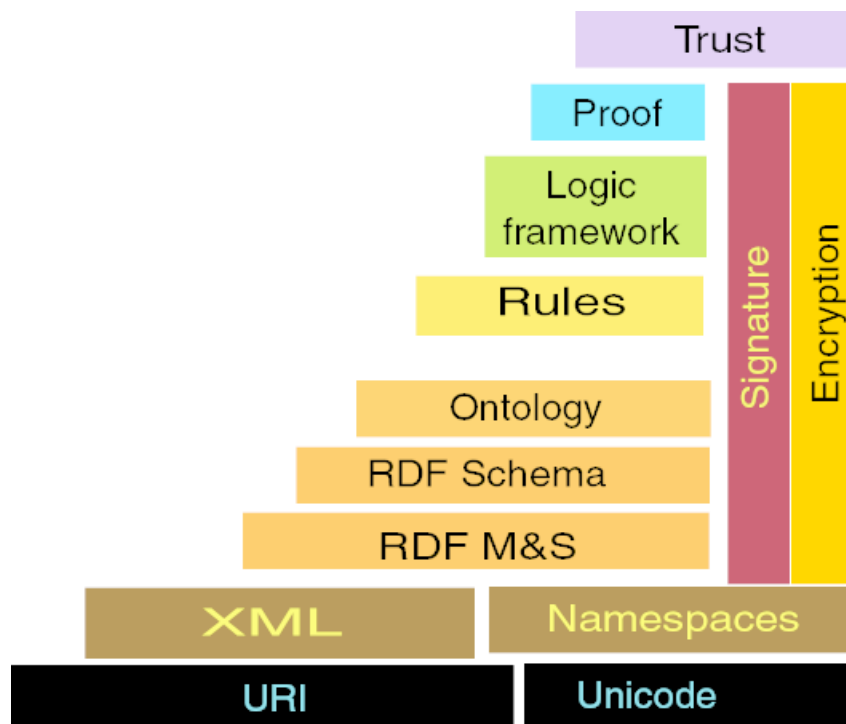
Les propriétés clés de l'architecture du Web Sémantique (sens partagé commun, métadonnées traitables par les machines), apparaissent suffisamment puissantes pour résoudre le problème de recherche d'information pertinente, celui d'adaptation des contenus, ainsi que le problème d'intégration des sources de données hétérogènes. Cependant, le défi du Web Sémantique est de fournir un langage qui permet:

- D'exprimer à la fois les données et les règles de raisonnement sur ces données,

- Transférer sur le web les données et les règles de n'importe quel système de représentation des connaissances.

### 3.3 Langages du web sémantique

L'architecture du Web Sémantique proposée par W3C (*World Wide Web Consortium*) s'appuie sur une pyramide de langages dont seulement les couches basses sont aujourd'hui relativement stabilisées. La figure 10 montre une des visions de l'organisation en couches proposée par le W3C (Beners-Lee, 1998).



**Figure 10.** Les couches du Web sémantique (W3C)

Au niveau le plus bas se trouvent les données brutes codées par le standard Unicode, ces données possèdent une adresse URI (*Uniforme Resource Identifier*) qui permet d'attribuer un identifiant unique à un ensemble de ressources. Ces données peuvent être structurées grâce à un langage de balises tels que XML (*eXtensible Markup language*), NS (*NameSpace*) ou xmlschema. La syntaxe XML peut être considérée comme un premier niveau de sémantique, elle permet aux utilisateurs de structurer les données en fonction de leur contenu sans rien dire de la signification des structures.

Pour attribuer une signification à cette structure et relier d'une façon pertinente les différents éléments, Tim Berners-Lee propose le standard RDF (Resource Description Framework) (RDF, 1999) comme standard de représentation, standard développée par le W3C. Les langages RDF et RDF Schema ont pour but de donner une organisation plus structurée des informations présentes sur le Web à travers une description sémantique des données fournies par XML. Cependant cette signification sémantique est largement insuffisante pour assurer une bonne distinction des différents concepts. par exemple souris (animal) et souris (périphérique d'ordinateur), qui représentent en fait un même identifiant pour deux concepts différents. Ce problème peut être résolu grâce à l'utilisation des ontologies.

Dans ce qui suit nous présentons les langages RDF, RDFS et OWL comme techniques de structuration sémantique des données.

### 3.3.1 Le langage RDF (Resource Description Framework)

RDF est un modèle de graphe destiné à décrire formellement les ressources du Web et leurs métadonnées, de sorte à permettre le traitement automatique de telles descriptions. RDF se base sur des vocabulaires formels et précis, il constitue le langage de base du Web sémantique (extrait de Wikipédia).

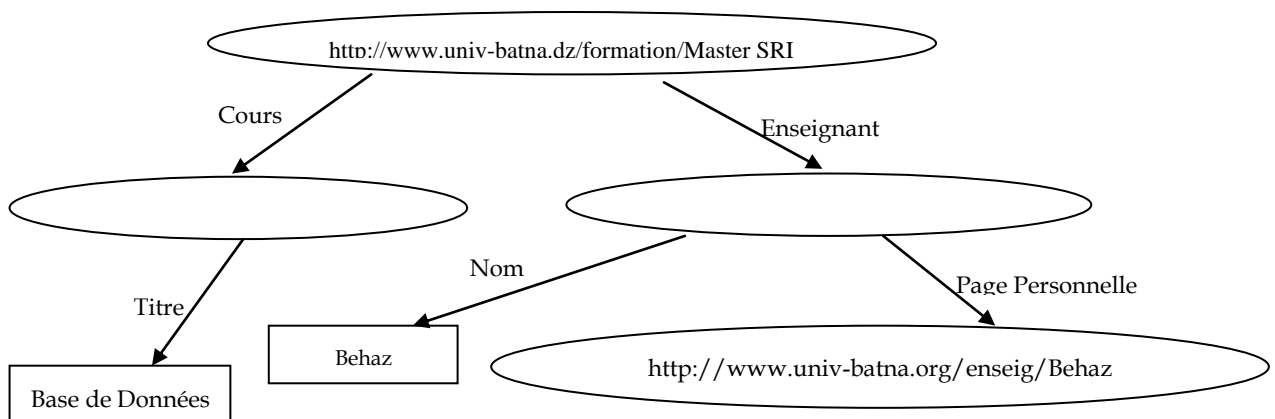
En annotant des documents non structurés et en servant d'interface pour des applications et des documents structurés (par exemple des bases de données), RDF permet une certaine interopérabilité entre des applications échangeant de l'information non formalisée et non structurée sur le Web.

Un document structuré en RDF est un ensemble de triplets de la forme {sujet, prédicat, objet} où :

- Le sujet représente la ressource à décrire ;
- Le prédicat représente un type de propriété applicable à cette ressource;
- L'objet représente une donnée (un littéral) ou une autre ressource ; c'est la valeur de la propriété.

Le sujet, et l'objet dans le cas où celui-ci est une ressource, peuvent être identifiés par une URI ou être des ressources anonymes. Le prédicat est nécessairement identifié par une URI. Un document RDF ainsi formé correspond à un multi-graphe orienté et étiqueté. Chaque triplet correspond alors à un arc orienté dont le label est le prédicat, le nœud source est le sujet et le nœud cible est l'objet.

Par exemple, dans la Figure 11, nous modélisons par un graphe RDF le fait qu'une Formation "Master SRI" enseigne le cours "Bases de Données" qui est enseigné par l'enseignante "Behaz": (une ellipse représente une ressource, un rectangle représente un littéral et une flèche représente une propriété) :



**Figure 11.** Exemple d'un graphe RDF

Ce graphe est codé en RDF/XML comme suit:

```
<rdf:RDF>
<rdf:Description about="http://www.univ-Batna.dz/formation/Master SRI">
<Cours>
<titre>Bases de Données</titre>
</Cours>
<Enseignant>
<nom> Behaz</nom>
<Page Personnelle>
<rdf:Description about="http://www.univ-Batna.dz/enseignant/Behaz">
</pagePersonnelle>
</enseignant>
</rdf:Description>
</rdf:RDF>
```

Ainsi, RDF permet de rendre plus pertinent le traitement automatisé des informations contenues sur le Web, par la possibilité de fournir aux outils de

traitement une information plus structurée. Cependant, il ne permet pas à l'utilisateur de définir des vocabulaires qui portent une sémantique de description de ressources. Un schéma RDF avec des concepts de bases peut offrir cette capacité en utilisant des classes de ressources.

### 3.3.2 Le langage RDFS (RDF Schema)

RDFS (*Ressource Description Framework Schema*) (RDFS, 2000) ajoute à RDF la possibilité de définir des hiérarchies de classes et de propriétés dont l'applicabilité et le domaine de valeurs peuvent être contraints à l'aide des attributs `rdfs:domain` et `rdfs:range` (Laublet, 2003).

A chaque domaine applicatif peut être ainsi associé un schéma identifié par un préfixe particulier et correspondant à une URI. Les ressources instances sont ensuite décrites en utilisant le vocabulaire donné par les classes définies dans ce schéma. Les applications peuvent alors leur donner une interprétation opérationnelle. Néanmoins, RDFS n'intègre pas en tant que tel de capacités de raisonnement.

Les principaux éléments du langage RDFS sont les suivants:

La classe `rdfs:Class` permet de déclarer une ressource comme étant une classe pour d'autres ressources. Par exemple nous pouvons définir en RDFS la classe Cours qui décrit les cours pour une Formation donnée.

```
<rdfs:Class rdf:ID="Cours"/>
```

La propriété `rdfs:subClassOf` permet de définir des hiérarchies de classes. Par exemple, un cours de Master est un cours:

```
<rdfs:Class rdf:ID='CoursMaster'>  
<rdfs:subClassOf rdf:resource='#Cours' />  
</rdfs:Class>
```

RDFS précise la notion de propriété définie par RDF en permettant de donner un type ou une classe au sujet et à l'objet des triplets. Pour cela, RDFS définit :

La propriété *rdfs:domain* qui permet de définir la classe des sujets liée à une propriété. La propriété *rdfs:range* qui permet de définir la classe ou le type de données des valeurs d'une propriété.

Nous pouvons, par exemple, exprimer en RDFS le fait que l'enseignant d'un cours est une personne et que le nom d'une personne est un littéral (une chaîne de caractères) :

```
<rdf:Property rdf:ID="enseignant">
<rdfs:domain rdf:resource="#Cours"/>
<rdfs:range rdf:resource="#Personne"/>
</rdf:Property>
<rdf:Property rdf:ID="nom">
<rdfs:domain rdf:resource="#Personne"/>
<rdfs:range rdf:resource="&rdfs;Literal"/>
</rdf:Property>
```

Nous pouvons aussi exprimer en RDFS le fait que la propriété 'enseignant' relie 'Base de Données'(de type *Cours*) à 'Behaz' (de type *Personne*):

```
<Cours rdf:about="http://www.univ-Batna.dz/cours/Base de données">
<enseignant>
<Personne rdf:about="http://www.univ-Batna.dz/Ensei/Behaz">
<nom>Behaz</nom>
</Personne>
</enseignant>
</Cours>
```

Pour résumer, RDFS offre des primitives de représentation de structures. Ce langage est une extension de RDF avec laquelle il est possible de décrire les concepts utilisés dans des déclarations RDF et décrire aussi un ensemble de contraintes sur les objets et les valeurs du triplet.

Seulement avec RDFS on ne peut avoir:

- Identification de classes disjointes
- Caractérisation de certaines propriétés: (fonction, transitivité, Inverse...)

### 3.3.3 langage OWL (W3C, 2004)

OWL (Web Ontology Language) a été conçu pour être utilisé par les applications qui traitent le contenu de l'information. Il facilite grandement l'interopérabilité en fournissant plus de vocabulaire pour décrire les classes et les propriétés comme les approches orientées objets. On peut citer entre autre: les relations entre classes (par exemple la disjonction), les cardinalités (par exemple exactement un, l'égalité...) caractéristiques des propriétés (par exemple la symétrie) et les classes énumérées.

Bien que OWL soit dérivé de DAML+OIL qui est équivalent à un langage très expressif de la logique des descriptions, il n'est en tant que tel, équivalent à aucune logique de description. Certaines caractéristiques font qu'il n'existe aucun algorithme d'inférence décidable avec cette puissance d'expression.

#### 3.3.3.1 Exemples de code OWL

Les principaux éléments du langage OWL sont les suivants:

Exemple de définition de classes/sous classe par OWL

```
<owl:Class rdf:ID="Cours" />
<owl:Class rdf:ID="Enseignant">
<rdfs:subClassOf rdf:resource="#Personne" />
</owl:Class>
```

Exemple de contrainte sur la classe *Cours* "un cours a toujours un enseignant"

```
<owl:Class rdf:ID="Cours">
<rdfs:subClassOf>
<owl:Restriction>
<owl:onProperty rdf:resource="#aPourenseignant" />
<owl:cardinality
rdf:datatype="&xsd;nonNegativeInteger">1</owl:cardinality>
</owl:Restriction>
</rdfs:subClassOf>
</owl:Class>
```

Exemple de propriétés d'objet " Un Cours *aPourenseignant* Enseignant"

```
<owl:ObjectProperty rdf:ID="aPourenseignant">
<rdfs:domain rdf:resource="#Cours" />
<rdfs:range rdf:resource="#Enseignant" />
</owl:ObjectProperty>
<owl:Class rdf:ID="Enseignant">
<rdfs:subClassOf rdf:resource="#Personne" />
</owl:Class>
```

Exemple de caractéristique de propriétés " Enseignant *aLienFraternite*  
Enseignant" cette propriété est symétrique.

```
<owl:ObjectProperty rdf:ID="aLienFraternite">
<rdf:type rdf:resource="&owl;SymmetricProperty" />
<rdfs:domain rdf:resource="#Enseignant" />
<rdfs:range rdf:resource="#Enseignant" />
</owl:ObjectProperty>
```

Exemple de propriétés de type de donnée "nom" et "dateDeNaissance"

```
<owl:DatatypeProperty rdf:ID="nom">
<rdfs:domain rdf:resource="#Enseignant" />
<rdfs:range rdf:resource="&xsd;string" />
</owl:DatatypeProperty>

<owl:DatatypeProperty rdf:ID="dateDeNaissance">
<rdfs:domain rdf:resource="#Personne" />
<rdfs:range rdf:resource="&xsd;date" />
</owl:DatatypeProperty>
```

OWL fournit trois sous langages de plus en plus expressifs conçus pour l'usage des communautés spécifiques des utilisateurs et des développeurs : OWL Lite, OWL DL et OWL Full.

- Le langage OWL Lite convient aux utilisateurs qui ont principalement besoin d'une hiérarchie de classification et de contraintes simples. OWL Lite n'autorise pas: Union, Cardinalité autre que 0 ou 1 (par exemple, on ne peut pas définir le concept personne ayant au moins deux enfants) on ne peut pas définir une classe par énumération (par exemple, on ne peut pas dire que la classe X est définie par l'ensemble des entités {X1, X2, X3} enfin, on ne peut pas déclarer des classes disjointes. Avec OWL Lite il y'a des limites sur l'utilisation de `rdfs:subClassOf`.
- Le langage OWL DL correspond à une logique de description expressive. Il convient aux utilisateurs qui demandent un maximum d'expressivité tout en maintenant la complétude (garantie de calculer toutes les conclusions) et la décidabilité (tous les calculs doivent



fournir des résultats en un temps fini). OWL DL inclut tous les constructeurs du langage OWL, mais ils peuvent être utilisés seulement sous certaines restrictions. OWL DL est appelé ainsi en raison de sa correspondance avec les logiques de description.

- Le langage OWL Full convient aux utilisateurs qui demandent un maximum d'expressivité avec la liberté syntaxique de RDF sans aucune garantie de calcul. Par exemple, une classe peut être traitée comme une collection d'individus et en même temps peut être vue comme un seul individu. OWL Full permet aussi à une ontologie d'augmenter le sens du vocabulaire prédéfini (RDF et OWL).

Chacun de ces sous-langages représente une extension par rapport à son prédécesseur plus simple, à la fois par ce qu'on peut exprimer légalement et par ce qu'on peut conclure de manière valide (Abel, 2003).

### 3.4 Notion d'ontologie

Le terme "ontologie" signifie la science ou théorie de l'être. En intelligence artificielle (IA) et avec l'émergence de l'ingénierie des connaissances (IC), les ontologies sont apparues comme des réponses aux problématiques de représentation et de manipulation des connaissances au sein des systèmes informatiques.

Le terme ontologie recouvre deux usages dont le premier appartient à la philosophie classique et le second, plus récent, aux autres sciences cognitives (Psyché et al. 2003). L'objectif premier d'une ontologie est de modéliser un ensemble de connaissances dans un domaine donné, qui peut être réel ou imaginaire.

Les ontologies sont employées dans l'intelligence artificielle, le Web sémantique, le génie logiciel, l'informatique biomédicale et l'architecture de l'information comme une forme de représentation de la connaissance au sujet d'un monde ou d'une certaine partie de ce monde.

### 3.4.1 Définition

Une ontologie est un vocabulaire commun qui définit le sens des concepts et les relations entre ces concepts. Ce vocabulaire peut être associé à un modèle qui décrit le contenu d'une base de connaissances, ses propriétés, la manière dont elle peut être utilisée ainsi que la syntaxe et les contraintes fournis par le langage de représentation. L'objectif est d'assurer la spécification explicite des connaissances au niveau conceptuel en utilisant un langage formel offrant une sémantique qui peut être plus ou moins rigoureuse, permettant une utilisation non ambiguë des connaissances du domaine.

Ainsi, une ontologie peut être vue comme un treillis de concepts et des relations entre ces concepts destiné à représenter les objets (ressources) du monde sous une forme compréhensible aussi bien par les hommes que par les machines.

### 3.4.2 Les composants d'une ontologie

On distingue généralement deux entités globales au sein d'une ontologie. La première, à objectif terminologique, définit la nature des éléments qui composent le domaine de l'ontologie en question, un peu comme la définition d'une classe en programmation orientée objet définit la nature des objets que l'on va manipuler par la suite. La seconde partie d'une ontologie explicite les relations entre plusieurs instances de ces classes définies dans la partie terminologique.

#### 3.4.2.1 *Les classes*

Appelées aussi concepts, sont des notions qui permettent la description d'une tâche, d'une fonction ou d'une action. Une classe définit un groupe d'individus qui sont réunis parce qu'ils ont des caractéristiques similaires. L'ensemble des individus d'une classe est désigné par le terme « extension de classe », chacun de ces individus étant alors une « instance » de la classe.

Une classe peut être abstraite ou concrète, élémentaire ou composée, réelle ou fictive. Habituellement les classes sont organisées en taxonomie. Une

taxonomie est une hiérarchie de concepts (ou d'objets) reliés entre eux en fonction de critères sémantiques particuliers.

#### **3.4.2.2 Les relations**

Les relations sont les liens organisant les concepts de façon à représenter un type d'interaction entre les concepts d'un domaine. Elles sont formellement définies comme tout sous ensemble d'un produit de  $n$  ensemble (c'est-à-dire  $R : C_1 * C_2 * \dots * C_n$ ). Les relations peuvent être :

- des relations sémantiques,
- des relations de subsomption (inclusion).

#### **3.4.2.3 Les instances**

Appelés aussi individus, ils sont utilisés pour représenter des éléments d'une classe. La définition d'un individu consiste à énoncer un « fait », encore appelé « axiome d'individu ». On peut distinguer deux types de faits :

- Les faits concernant l'appartenance à une classe : la plupart des faits concerne généralement la déclaration de l'appartenance à une classe d'individus et les valeurs de propriété de ces individus.
- Les faits concernant l'identité des individus : Une difficulté qui peut éventuellement apparaître dans le nommage des individus concerne la non unicité éventuelle des noms attribués aux individus. Par exemple, un même individu pourrait être désigné de plusieurs façons différentes.

#### **3.4.2.4 Les propriétés (ou attributs)**

Les propriétés sont des restrictions des concepts ou des relations. Afin de spécifier une propriété, il existe différentes manières de restreindre la relation qu'elle symbolise. Par exemple, si on considère que l'existence d'une propriété pour un individu donné de l'ontologie constitue une fonction faisant correspondre à cet individu un autre individu ou une valeur de donnée, alors on peut préciser le domaine et l'image de la propriété. Une

propriété peut être définie comme la spécialisation d'une autre propriété: la transitivité, la symétrie, la fonctionnalité, l'inverse...etc.

#### **3.4.2.5 Restrictions**

(Restriction, restriction existentielle, universelle, de cardinalité, de valeur)

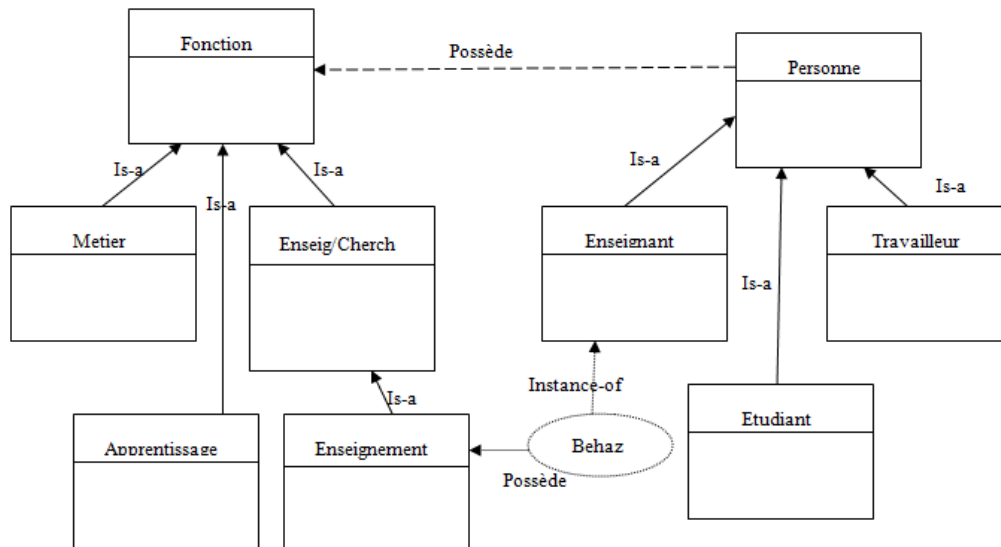
Une restriction consiste à limiter le nombre ou la nature des valeurs que peuvent avoir les propriétés des individus d'une classe. Une restriction peut être existentielle (si elle oblige à avoir au moins une valeur de la propriété dans un ensemble donné), universelle (si elle oblige à avoir toutes les valeurs d'une propriété dans un ensemble donné), de cardinalité (si elle oblige à avoir un nombre de valeurs minimal, maximal ou exact pour une propriété) ou de valeur (si elle oblige à avoir une valeur donnée pour la propriété).

#### **3.4.2.6 Classes disjointes**

Deux classes sont dites disjointes quand il ne peut exister des individus qui appartiennent à la fois aux deux classes. Dans OWL, les classes ne sont pas disjointes par défaut ; il faut le déclarer explicitement.

#### **3.4.2.7 Exemple**

La Figure 12 montre une ontologie simple pour illustrer les éléments expliqués. Dans cette ontologie, il y'a 9 classes: *Personne*, *Fonction*, *Enseignant*, *Etudiant*, *Travailleur*, *Métier*, *Enseig/Cherch*, *Apprentissage* et *Enseignement*. Les flèches *Is-a* représentent les relations super-classe/sous-classe: par exemple *Enseignant* est une sous classe de *Personne*, car tous les enseignants sont des personnes. la relation *possède* relie *Personne* à *Fonction*, ce qui veut dire que les personnes peuvent avoir une fonction. les classes *Personne* et *Fonction* sont disjointes. Finalement il y'a un individu *Behaz*. On sait que c'est une personne (*Instance-of Personne*) et que sa *Fonction* est *enseignement*.



**Figure 12.** Exemple d'ontologie

### 3.4.3 Classification des ontologies

Les ontologies peuvent être classifiées selon trois catégories au moins:

#### 3.4.3.1 *Ontologie générique (ontologie de haut niveau)*

Cette ontologie a pour objectif d'exprimer les connaissances acceptables par différents domaines, elle permet de catégoriser les choses du monde, par exemple, les relations, les actions, l'espace, le temps, etc.

#### 3.4.3.2 *Ontologie de domaine*

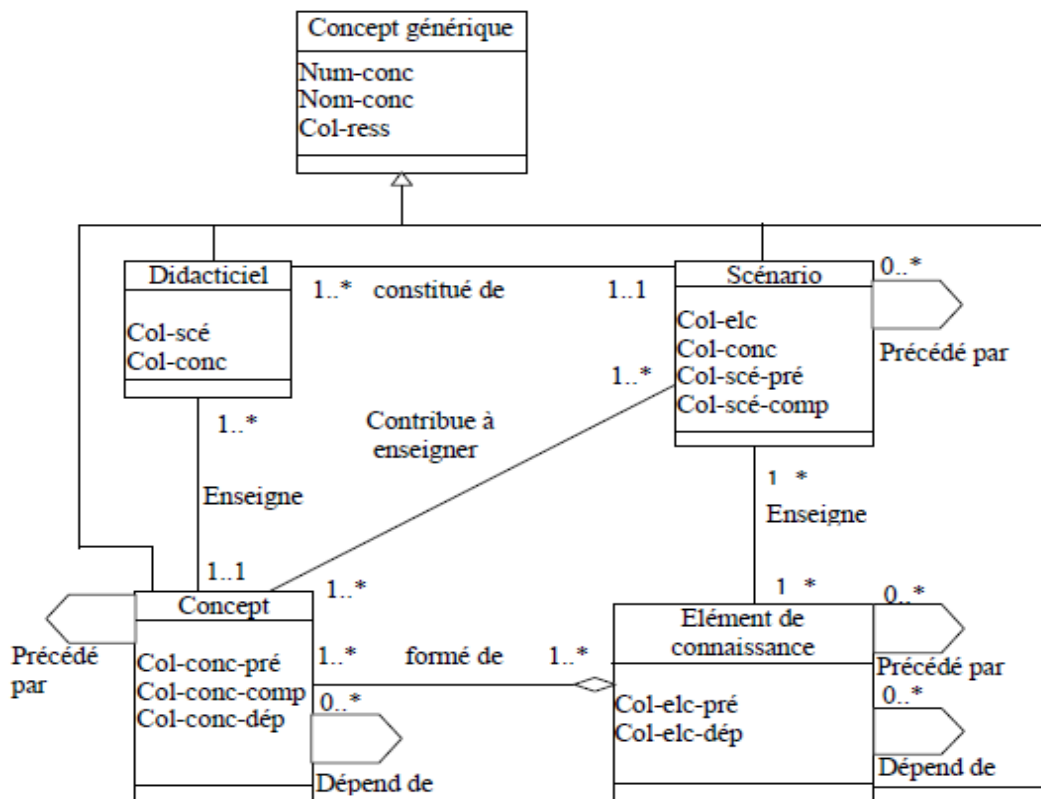
Ces ontologies peuvent être réutilisées pour plusieurs applications qui touchent un domaine, elle concerne la description et la définition des connaissances d'un domaine à la qu'elle l'application désirée appartienne.

#### 3.4.3.3 *Ontologie d'application*

Contrairement à l'ontologie de domaine, l'ontologie d'une application donnée ne peut pas être réutilisée pour d'autre application, elle sert à décrire des conceptualisations de domaine spécifique à l'application en question.

Prenons par exemple l'ontologie du domaine à enseigner de (Hammache, 2006). Le découpage des connaissances du domaine d'enseignement Figure 13 permet de classer les connaissances d'un domaine à enseigner spécifique suivant un cadre générique réutilisable organisé autour des concepts suivants:

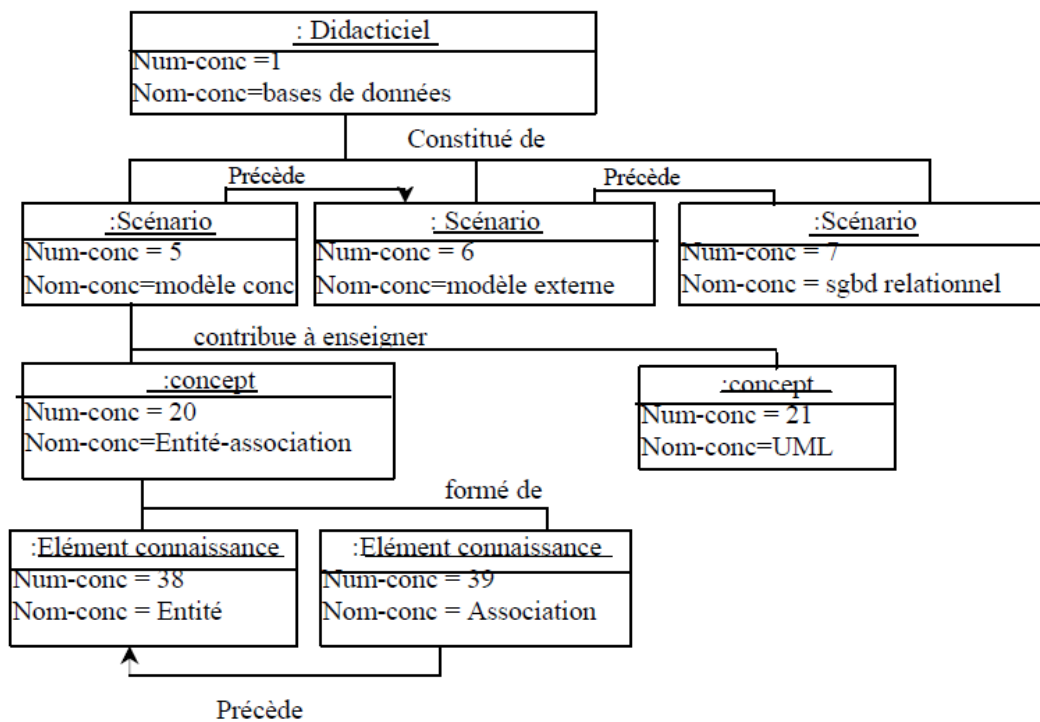
- Didacticiel : un didacticiel est un logiciel pédagogique dédié, d'aide à l'enseignement. Il est constitué d'une collection de scénarios et enseigne des concepts;
- Concept : un concept est constitué d'un ensemble d'éléments de connaissances, il peut être lié à d'autres concepts;
- Élément de connaissance : c'est le « granule » de la matière à enseigner. Il est présenté seul ou combiné avec d'autres éléments de connaissance
- Scénario : c'est un ensemble d'exposés, d'exercices d'assimilation et de contrôle de connaissances.



**Figure 13.** Ontologie du domaine Enseignement

En revanche la définition de l'ontologie d'un domaine particulier à enseigner est déduite à partir de la définition et du classement des concepts et des relations de cette ontologie (domaine enseignement). Par exemple l'ontologie de l'enseignement de l'informatique est obtenue par instantiation de l'ontologie du domaine enseignement précédente, et par le classement des

connaissances relatives à l'informatique sous forme de : didacticiels, scénarios, concepts et éléments de connaissance. Quatre didacticiels : l'algorithmique, les bases de données, les systèmes d'exploitation, et la téléinformatique et six scénarios (deux pour les systèmes d'exploitation, deux pour les bases de données, un pour la téléinformatique et un autre pour l'algorithmique) sont développés. La figure 14 présente un extrait de l'ontologie du domaine à enseigner dans le cas de l'informatique.



**Figure 14.** Extrait de l'ontologie du domaine d'enseignement "Informatique"

### 3.5 Rôle du web sémantique pour le E-Learning

Une application e-Learning exige un certain nombre de défis concernant le processus d'apprentissage: rapide, juste à temps, pertinent et moins cher. Par ailleurs, les propriétés clés de l'architecture du Web Sémantique sont: sens partagé commun, ontologies, métadonnées traitables par les machines, apparaissent suffisamment puissantes pour satisfaire les exigences du e-Learning. En effet, les ressources pédagogiques sémantiquement annotées,

grâce à l'utilisation des standards de représentation des connaissances RDF, RDFS et OWL, peuvent pour de nouvelles demandes de formation, être combinées en un nouveau cours adapté au profil de l'apprenant. Le processus pédagogique est basé sur les requêtes Web sémantique et la navigation à travers des ressources pédagogiques activée par un background ontologique. L'ontologie permet le lien entre les besoins des apprenants et les annotations des ressources pédagogiques. Les travaux de (Vargas-Vera et Lytras, 2008) montrent que la recherche de ressources pédagogiques guidée par une ontologie représente une alternative intéressante à la recherche classique par mots clés. Les résultats de la recherche sont plus adaptés aux apprenants grâce aux capacités de raisonnement intrinsèques aux ontologies. Ces travaux proposent un portail sémantique qui permet aux apprenants d'accéder de manière transparente à des services et à des ressources pédagogiques distribués sur le Web. Ces services peuvent effectuer des raisonnements en arrière plan pour rechercher des ressources pédagogiques pertinentes pour le compte de l'apprenant.

On peut donc penser à utiliser le Web Sémantique comme une plate-forme adéquate pour implémenter un système e-Learning, du moment qu'il fournit les moyens pour le développement d'une ontologie, l'annotation du matériel d'apprentissage et la mise en ligne des cours à travers des portails d'apprentissage.

### 3.6 Etude de systèmes utilisant les ontologies

Nous décrivons dans ce qui suit quelques travaux d'utilisation le web sémantique et ontologies dans des systèmes de formation e-Learning.

#### 3.6.1 Memorae

Le projet Memorae (Abel et al., 2003) présente un outil d'apprentissage en ligne et d'indexation de ressources: Memorae (MEMOire Organisationnelle Appliquée à l'apprentissage. en ligne). Cet outil permet à différents apprenants d'accéder à leurs ressources pédagogiques en se basant sur les



ontologies. Cette approche concerne aussi bien le Web sémantique et l'ingénierie des connaissances que l'ingénierie pédagogique. Memora permet d'une part de capitaliser les ressources, les informations, les connaissances dans le cadre d'un apprentissage automatique, et d'autre part, de mieux les indexer et de gérer les relations qui existent entre elles. L'inconvénient de ce projet est qu'il n'y a aucune précision sur le parcours de ces ressources.

### 3.6.2 SCARCE

SCARCE (SemantiC and Adaptive Retrieval and Composition Environment) (Garlati 2004) est un environnement pour la création d'hypermédias adaptatifs, basé sur le web sémantique. Cet environnement repose sur la notion de documents virtuels, Il permet de réaliser de l'annotation de liens, du guidage direct, du masquage partiel ou total de liens et du tri de liens.

### 3.6.3 Personal Reader

Le modèle Personal Reader (Delog *et al*, 2004) s'intéresse à l'intégration de contenus extérieurs au système. En plus de l'adaptation classique sur les ressources internes au système, il propose de faire des suggestions de liens vers des ressources trouvées sur le web, en utilisant les métadonnées de ces ressources. Les données du système sont représentées en RDF. Personal Reader présente donc une approche très orientée vers le web sémantique, l'utilisation de métadonnées et l'utilisation de ressources provenant de différentes sources, absente dans la plupart des systèmes d'hypermédias adaptatifs. Le modèle de Personal Reader peut être utilisé pour fournir des applications portant sur différents domaines notamment dans le e-Learning.

### 3.6.4 Le projet QBLS

Le projet QBLS (Question Based Learning System) (Dehors *et al.*, 2005) utilise une ontologie du domaine limitée à un thésaurus. Les concepts du domaine sont des instances des classes modélisant les types de savoirs clés du cours. Pour l'apprenant, QBLS est un outil d'aide à la résolution de questions de Travaux Dirigés (TD) à partir d'éléments de cours annotés sémantiquement.

Pour l'enseignant, QBLS est vu non seulement comme un outil permettant de diffuser son support électronique sous une forme facilitant la navigation, mais également comme un moyen d'inciter les apprenants à aller chercher activement les connaissances.

### 3.6.5 Autres travaux

Le projet de composition dynamique de documents pédagogiques (Ranwez et Crampes, 2003): Ce projet utilise une ontologie pour repérer des briques d'information pertinente. Le contenu des briques est validé grâce à l'ontologie du domaine. Ainsi, la vérification de la pertinence consiste à associer à chaque brique un ou plusieurs fragments significatifs de cette ontologie, traduisant la sémantique contenue dans la brique. Le repérage d'information est réalisé en fonction d'objectifs spécifiés par un apprenant. Parallèlement, l'ontologie est utilisée pour organiser les briques dont le contenu est pertinent par rapport aux attentes d'un apprenant. Les auteurs du projet ont testé deux méthodes différentes : l'une en fonction de grammaires formelles, et l'autre par association de deux ontologies (du domaine et pédagogique). Celle ayant démontré le plus de souplesse est la méthode basée sur les ontologies.

(Bouzeghoub et al., 2005) utilise une « ontologie de domaine » qui représente l'ensemble des concepts décrivant les connaissances du domaine à appréhender en vue de l'indexation sémantique des ressources. Cette description permet d'offrir des outils de recherche performants et favorise également la réutilisation. Ce modèle permet d'obtenir des ressources par assemblage de ressources existantes en utilisant des graphes et des opérateurs de décision.

(Gasevic et Hatala, 2005) considère différentes ontologies pour la recherche de ressources pédagogiques dans une banque de ressource distante. L'ontologie source prend en compte le contexte du cours présenté alors que l'ontologie cible décrit la banque de ressource. Une ontologie de correspondance sert à décrire la correspondance ou la similarité entre les concepts de l'ontologie source et ceux de l'ontologie cible.

(Hernandez et al, 2008) prend en compte, sous forme d'ontologies, les théories de l'éducation ainsi que les contextes d'apprentissage et d'utilisations des ressources pédagogiques.

### 3.7 Synthèse

Nous remarquons que l'utilisation des ontologies au sein des applications et environnements e-Learning ne peut que croître. Seulement, elle ne vise, pour le moment, que la gestion des connaissances pédagogiques laissant de côté le raisonnement sur ces connaissances.

Le contenu proposé par ces systèmes reste statique et ne s'adapte pas directement aux profils des apprenants. Le contenu sémantique doit faire l'objet d'une attention particulière. Les apprenants doivent avoir la liberté de sélectionner des concepts précis qu'ils souhaitent voir apparaître dans leurs documents. Ces concepts doivent être formellement identifiés pour assurer que le document généré répond aux attentes des apprenants. Par ailleurs, ces derniers devraient même être en mesure de choisir la structure des documents générés. Souhaitent-ils que le document soit composé d'une définition suivie d'un exemple? d'un exemple suivi d'une illustration? ou d'un exercice? toutes ces stratégies doivent être intégrées dans les systèmes.

Par ailleurs, nous remarquons aussi que dans tous ces travaux la notion d'usage d'une ressource pour un style d'apprentissage (préférence) n'est pas prise en compte. En effet, le fait de spécifier pour quel style d'apprentissage le contenu d'une ressource est plus convenable permet d'augmenter l'adaptabilité et l'usage de cette dernière. De notre côté, afin d'obtenir cette qualité demandée dans un système hypermédia adaptatif, nous enrichissons nos ontologies décrites par la prise en compte de cet aspect tout en respectant les normes actuelles.

### 3.8 Conclusion

Dans ce chapitre , nous nous sommes tout d'abord intéressés à la nouvelle génération du Web sémantique. Nous savons bien qu'une application e-Learning exige un certain nombre de défis concernant le processus d'apprentissage : rapide, juste à temps et pertinent. Alors que les propriétés clés du Web Sémantique : sens partagé commun, métadonnées traitables par les machines. Toutes ces propriétés apparaissent suffisamment puissantes pour satisfaire les exigences du e-Learning. Grâce à l'utilisation des standards de représentation des connaissances RDF, RDFS et OWL (Horrocks, 2004), (Smith, 2010) le matériel e-Learning peut être sémantiquement annoté et la navigation à travers le matériel d'apprentissage peut être activé par un background ontologique. Les ontologies jouent un rôle très important (Psyché, 2003): elles fournissent le vocabulaire et les structures sémantiques associées aux sources d'informations qui peuvent rendre l'accès au contenu du web plus intelligent.

## **Partie 2 : MEDYNA, environnement hypermédia adaptatif dynamique**

# Chapitre 4 : Conception et modélisation de MEDYNA

## 4.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous nous intéressons à la construction de notre environnement de type hypermédia adaptatif dynamique MEDYNA. L'objectif principal que nous voulons atteindre est de proposer une solution qui permettra d'améliorer la qualité des contenus pédagogiques, d'aider l'enseignant à créer ses ressources et d'offrir un apprentissage sur mesure aux apprenants.

Cette plateforme reposera sur des ontologies prédéfinies, un gestionnaire d'ontologies (permettant extension et évolution) et, enfin, sur un moteur d'inférence. L'objectif étant est que le créateur d'un hypermédia adaptatif particulier puisse très simplement, à partir de la plateforme et de ses ontologies prédéfinies, obtenir un système qui répond à ses besoins spécifiques tout en réutilisant au maximum propriétés et règles d'adaptation.

Nous allons définir conceptuellement notre environnement MEDYNA. Nous allons commencer par nous intéresser à l'image de l'apprenant dans notre environnement. Ensuite nous allons analyser les différentes connaissances du domaine, surtout comment sont caractérisées les unités d'apprentissage. Enfin, nous allons expliciter le comportement du générateur de l'hypermédia.

## 4.2 Cadre de recherche et méthodologie de conception

L'environnement MEDYNA est développé pour assurer les fonctions suivantes:

1. Identification du mode d'apprentissage préféré de l'apprenant basé sur une approche de modèle de style. Nous nous sommes intéressés au modèle Myers-Briggs Type Indicator (MBTI).
2. Représentation et création des ressources pédagogiques basées sur les modèles et les technologies du web sémantique. Notre recherche s'est orientée naturellement vers les ontologies. En effet, les ontologies présentées au chapitre 3, nous permettent de modéliser un ensemble de connaissances.
3. Recherche, sélection et assemblage des ressources pédagogiques pertinentes au profil apprenant basées sur des règles d'inférences implémentées.
4. Génération et présentation des contenus adaptatifs, à travers les méthodes et techniques des hypermédias adaptatifs du chapitre 2.

Nous voulons présenter des situations d'apprentissage pour lesquelles notre approche serait utile et apporterait une valeur ajoutée par rapport aux approches et systèmes étudiés dans la section 3.6.

## 4.3 Objectifs de la démarche

Afin de présenter les aspects conceptuels et fonctionnels de l'environnement MEDYNA, il paraît maintenant utile de récapituler les objectifs que nous nous sommes fixés dans cette thèse. Tous ces objectifs constituent des axes d'améliorations par rapport aux systèmes étudiés. L'objectif principal est l'obtention d'un hypermédia adaptatif dynamique plus amélioré. Nous visons dans notre travail à satisfaire essentiellement les objectifs suivants :

- Proposer un modèle complet incluant différentes ontologies descriptives.
- Mettre en place un mécanisme d'interactions qui met l'apprenant au centre du système afin d'identifier ses styles d'apprentissage.
- Permettre à l'apprenant de devenir actif dans le processus de formation et qui en même temps le responsabilise.
- Offrir une interface graphique ergonomique permettant à l'utilisateur (enseignant/apprenant) de visualiser les contenus pédagogiques.

Nous voulons offrir à l'apprenant un mécanisme d'apprentissage par la découverte sans pour autant perdre le contrôle sur celui-ci. L'environnement MEDYNA doit pouvoir fournir les moyens de présenter les notions ou les ressources pédagogiques qui se rapprochent le plus et s'adaptent aux styles d'apprentissage de l'apprenant. D'ailleurs, un facteur important qui est souvent masqué ou non pris en considération dans la plupart des systèmes étudiés est le style (les préférences) d'apprentissage de l'apprenant. Donc même avec un outil performant et un contenu très élaboré, si le mode d'apprentissage préféré de l'apprenant n'est pas pris en considération, il y a alors de fortes chances d'aboutir à des situations d'échec. Nous avons donc incorporé dans notre modèle apprenant une approche de modèle de style d'apprentissage. Car nous savons qu'un style d'apprentissage est la façon dont une personne perçoit et organise l'information. De ce fait, nous allons rapprocher le plus le contenu aux préférences de l'apprenant. Le but est de pouvoir utiliser cet aspect en tant que critère d'adaptation afin de suivre et contrôler les apprenants. Dans ce qui suit nous commençons d'abord par décrire le style d'apprentissage d'un apprenant ensuite le modèle adopté.

#### 4.4 Style d'apprentissage (Behaz, 2012a)

Le style d'apprentissage peut être défini comme étant «les attitudes et les comportements qui déterminent la façon préférée d'une personne pour apprendre» (Honey, 2000). Un survol de la littérature met rapidement en



évidence la pluralité et la diversité des modèles de style d'apprentissage. Ces différents modèles sont regroupés en trois typologies:

- Les modèles de style d'apprentissage qui s'intéressent aux préférences pour les conditions d'enseignement et d'apprentissage .
- Les modèles de style d'apprentissage qui s'intéressent à la manière dont l'apprenant traite l'information, en termes de moyens privilégiés (Honey, 2000)
- Les modèles de style d'apprentissage qui traitent de la personnalité de l'apprenant. Exemple : Myers et Briggs (Myers, 1998).

Différents systèmes hypermédias adaptatifs se sont basés sur les styles d'apprentissage, nous citons par exemple les systèmes TANGOW (Paredes, 2004), Heritage Alive Learning System (Cha, 2006), et ceux développés dans (Graf, 2007). Ces systèmes utilisent quatre dimensions (Sensing/Intuitive, Visual/Verbal, Sequential/Global, Active/Reflective). Nous citons aussi le système iWeaver (Razmerita, 2005) utilisant cinq préférences de perception (Auditory, Visual (Pictures), Visual (Text), Tactile Kinesthetic, Internal Kinesthetic), et quatre préférences psychologiques (Impulsive, Reflective, Global, Analytical). Le système INSPIRE (Papanikalaou, 2003) quant à lui utilise le modèle de Honey et Mumford qui comprend quatre styles d'apprentissage (Actif, Réfléchi, Théoricien, Pragmatique).

Dans le cadre de notre approche, nous nous sommes intéressés au modèle Myers-Briggs Type Indicator.

#### 4.4.1 Description du modèle MBTI

Le MBTI s'appuie sur le travail de Carl Gustav Jung et celui des auteurs de l'instrument, Isabel Briggs Myers et sa mère, Katharine Cook Briggs. Ses travaux ont alors abouti au **Myers Briggs Type Indicator** ou **MBTI**. Le MBTI est un outil qui permet à un individu d'être conscient de ses propres préférences comportementales. Selon cette théorie, chacun possède une préférence naturelle. Lorsqu'une personne utilise ses pôles préférés, elle

réussit généralement mieux et elle se sent plus compétente, naturelle et dynamique.

Cet indicateur est utilisé depuis de nombreuses années dans les pays anglo-saxons, notamment dans l'armée et dans les écoles afin de diriger les étudiants vers les études universitaires qui correspondent le mieux à leur profil.

Le MBTI repose sur le principe suivant lequel les différences de comportement d'une personne à l'autre peuvent être exprimées en termes de préférences entre des polarités. Quatre oppositions bipolaires définissent ainsi quatre dimensions principales de la vie psychique (MBTI) (Carolyn, 2001):

**I : Introversi**on (Introvert)    **E : Extraversi**on (Extrovert)

L'échelle E/I indique la préférence d'orienter son attention vers le monde extérieur des gens et des choses (E) ou vers le monde intérieur des idées (I).

**S : Sensation** (Sensing)    **N : iNtuiti**on (iNtuitive)

L'échelle S/N indique la préférence pour la perception des choses, des événements ou des détails du moment présent (S) ou les possibilités, les intuitions du futur (N).

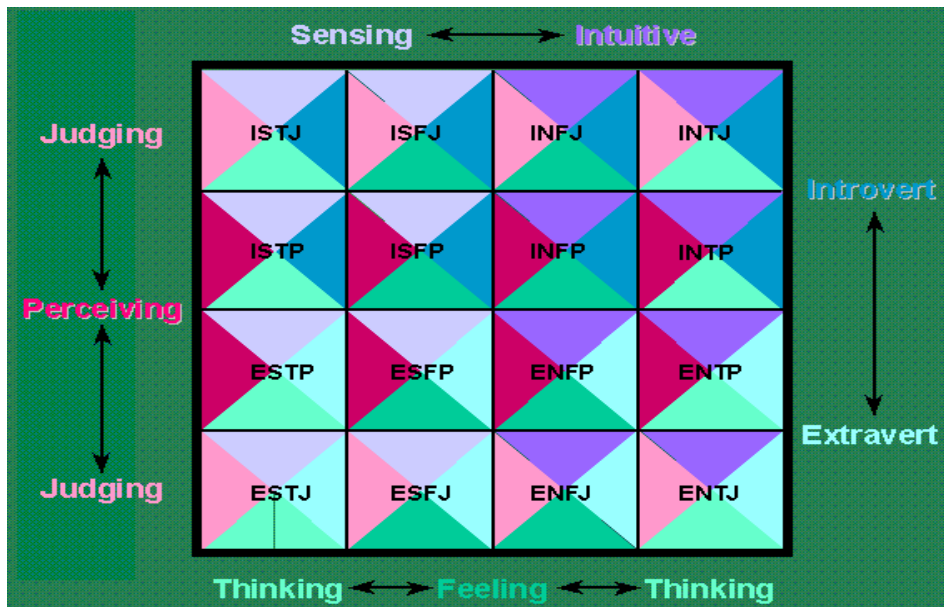
**T : pensée** (Thinking)    **F : sentiment** (Feeling)

L'échelle T/F indique la préférence pour le jugement rationnel basé soit sur une analyse objective et logique (T) soit sur les valeurs subjectives (F).

**J : Jugement** (Judging)    **P : Perception** (perceiving)

L'échelle J/P indique la préférence pour l'organisation et le contrôle des événements extérieurs (J) ou pour l'observation et la compréhension de ces événements (P).

L'indicateur MBTI identifie alors 16 grands types de personnalité à partir des deux préférences possibles sur chacune des quatre dimensions précédentes tout comme nous avons une préférence pour l'utilisation d'une de nos deux mains: ESTJ, ENFP, ISFJ,.... Isabel Myers a classé les 16 types Figure 15 ainsi:



**Figure 15.** les 16 types de personnalité<sup>1</sup>

Par exemple, ENFP représente Extraversion, intuition, Sentiment, et Perception. Cela ne signifie pas qu'une personne ne possède que quatre préférences, mais que les quatre préférences montrent une plus grande présence. Il existe des questionnaires permettant de déterminer le type de personnalité d'une personne.

Par ailleurs, nous avons tous un type de préférence qui domine et façonne nos motivations et objectifs. C'est ce qu'on appelle le type de personnalité dominant. Pour des raisons de simplicité nous réduisons les seize types de personnalités à quatre les plus dominants. Par exemple les types ISTP, INTP, ESTJ et ENTJ, ont une préférence marquée et dominante qui est T : pensée

Le tableau suivant illustre les quatre classes de types de personnalité dominants:

<sup>1</sup> <http://www.16-types.fr/16types.htm>

Type de personnalité dominant	Description
S= {ISTJ, ISFJ, ESTP, ESFP}	Les personnes qui se concentrent sur les faits et les détails précis, ils ont besoin de souplesse, de possibilités d'exploration.
N={INFJ, INTJ, ENFP, ENTP}	Les personnes qui remarquent tout ce qui est nouveau et différent, sont attirées par les idées originales.
F = {ISFP, INFP, ESFJ, ENFJ}	Les personnes qui préfèrent passer immédiatement à l'action et apprendre sur le tas.
T = {ISTP, INTP, ESTJ, ENTJ}	Les personnes qui préfèrent recevoir des instructions complètes et précises avant de commencer à résoudre un problème. Ils sont motivés par la réalisation de ce qu'ils apprennent.

**Tableau 5.** Classes de types de personnalité dominants

#### 4.4.2 Parcours d'apprentissage

Dans le cadre de notre approche, pour assimiler et concrétiser les concepts théoriques un apprentissage est organisé en quatre phases: La lecture de la théorie par une définition d'un concept, une illustration pour clarifier au mieux la théorie, un exemple pour réflexion, et enfin la résolution d'un exercice. L'ordre du parcours des quatre phases est adapté en fonction de l'identification du type de personnalité dominant d'un apprenant selon l'indicateur MBTI. Son type de personnalité dominant traduira sa préférence pour l'une des quatre phases qui rythment l'apprentissage. Ainsi pour chaque

classe de type dominant nous avons défini 4 parcours d'apprentissage distincts donc 4 styles d'apprentissage Figure 16 à savoir:

**Parcours théorique:** commence par une définition présentant théoriquement le concept suivi d'une illustration sous forme d'image ou graphique suivi d'un exemple pour apporter plus de précision et enfin un exercice d'application. Ce parcours d'apprentissage est plutôt adapté au type dominant T.

**Parcours pratique:** commence directement par un exercice à résoudre, suivi d'un exemple et une illustration, puis d'une définition pour apporter les informations complémentaires pour la résolution de l'exercice. Ce parcours d'apprentissage est plutôt adapté au type dominant F.

**Parcours ascendant (réfléchi):** commence par un exemple suivi d'une définition théorique et d'une illustration et enfin d'un exercice. Ce parcours d'apprentissage est plutôt adapté au type dominant S.

**Parcours actif:** commence par une illustration suivie d'une définition théorique puis d'une présentation d'un exemple pour terminer sur un exercice. Ce parcours d'apprentissage est plutôt adapté au type dominant N.

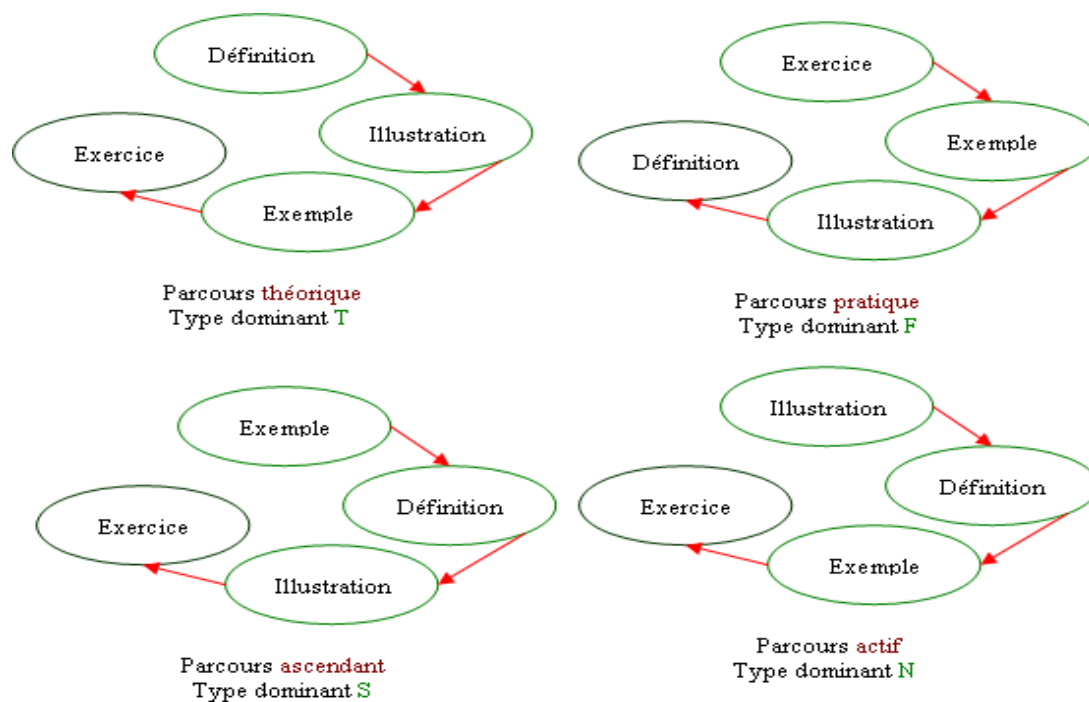


Figure 16. Parcours dominants

## 4.5 Construction des ontologies

Toute formation quel que soit le domaine enseigné repose sur les éléments suivants: Les acteurs (formateurs, apprenants), le domaine (module) d'enseignement sous-jacent et les ressources pédagogiques utilisées pour l'apprentissage. Nous allons modéliser ces éléments sous forme d'ontologies décrivant le domaine de l'e-Learning des enseignements en Informatique. L'utilisation d'ontologies nous permet de lever les ambiguïtés dans les échanges entre les personnes, entre les personnes et les systèmes, et entre les systèmes. Elle nous permet aussi de définir les notions à appréhender lors de la formation, ces notions vont nous servir d'index pour accéder aux ressources pédagogiques traitant de ces dernières.

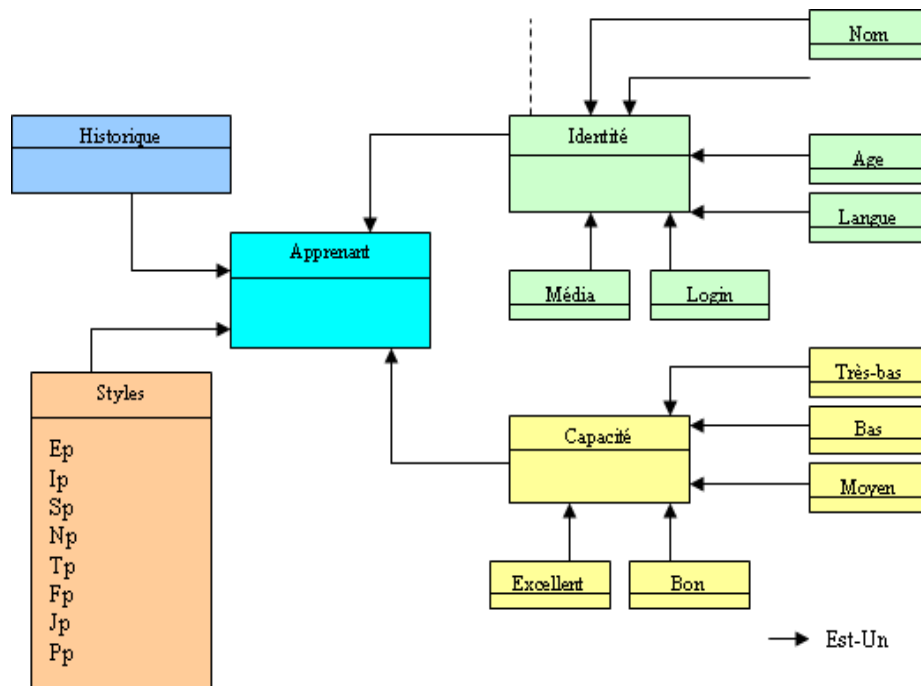
### 4.5.1 Ontologie Apprenant (Behaz, 2009a), (Behaz, 2009b)

Plusieurs études montrent que la différence entre les bonnes et les mauvaises performances est lié aux différents traits de personnalité des apprenants. Comme il est citées auparavant chapitre 2; Il y a un large spectre de caractéristiques des apprenants qui peuvent être pertinentes dans ce que l'apprenant va réaliser (aptitudes cognitives, style cognitif, traits de personnalité etc). Nous pensons beaucoup que les traits de personnalité des apprenants comptent pour une large part dans le choix de l'orientation d'apprentissage qui est relié aux aptitudes techniques.

En effet, plusieurs travaux ont proposé des solutions à base d'ontologies pour décrire des profils apprenants. (Razmerita, 2005), (Brusilovsky, 2007) et (Zuhadar, 2009) ont élaboré des modèles pour la représentation des connaissances des apprenants. Seulement un facteur important qui est souvent masqué ou non pris en considération est la préférence d'apprentissage de l'apprenant.

Dans le cadre de cette thèse, le modèle apprenant proposé est défini comme une ontologie qui comprend diverses caractéristiques d'un apprenant, à base

de concepts, sous concepts et relations entre les différents concepts. Nous proposons de décrire un apprenant sous 4 facettes Figure 17.



**Figure 17.** Ontologie Apprenant

Ces facettes sont décrites comme des notions abstraites dans l'ontologie.

- La première facette "**Identité**" est chargée de représenter les informations concernant un apprenant particulier. Elle est composée d'attributs prédéfinis indispensables et communs à tous les utilisateurs : nom, prénom, identifiant, mot de passe, âge, organisme, langue, type de média.
- La deuxième facette "**Préférences**" chargée de représenter les préférences d'apprentissages chez les apprenants. Cette composante se modélise sous forme d'un vecteur conceptuel  $V_p = (Ep, Ip, Sp, Np, Tp, Fp, Jp, Pp)$ , ce vecteur permet de spécifier le style psychologique MBTI de l'apprenant et donc de renseigner sur ces préférences d'apprentissages. Par exemple les préférences d'un apprenant  $A_i$  sont  $V_p = (25\%, 5\%, 3\%, 17\%, 6\%, 24\%, 5\%, 15\%)$  donc de type ENFP qui représente Extraversion, Intuition, Sentiment, et Perception. Cela ne

signifie pas qu'une personne ne possède que quatre préférences, mais que les quatre préférences montrent une plus grande présence.

- La troisième facette "**Capacité**" (connaissance) chargée de représenter ou de donner un niveau de connaissance d'un apprenant pour un concept. Les valeurs possibles sont: très bas, bas, moyen, bon, excellent cette échelle nous permet d'avoir plus de précision sans qu'elle soit trop profonde, nécessaire à l'adaptation.
- La quatrième facette "**Historique**" est chargée de garder trace de l'état des historiques d'un apprenant. Mémorisation de la navigation et des ressources lues. Cette représentation permet de donner la date du parcours d'une ressource ou encore les chemins de parcours dans l'ordre de navigation.

Contrairement à certains modèles, nous avons choisi de faire intervenir les notions d'historique des pages parcourues et d'historique lié à un concept. La notion d'historique nous paraît intéressante : elle doit permettre à l'apprenant de parcourir à nouveau des pages déjà parcourues, composées des mêmes ressources atomiques que lors du premier parcours.

Chaque combinaison de tous ces attributs va nous permettre de décrire différentes stratégies d'adaptation. Nous avons enrichi notre ontologie apprenant par la prise en compte du concept styles (préférences) d'apprentissage.

#### 4.5.2 Ontologies de domaine élaborées (Behaz, 2011)

Afin de satisfaire le besoin d'identification des concepts tout en respectant les contraintes formulés par les apprenants, nous n'avons pas d'autres choix que d'utiliser un formalisme de description plus puissant basé sur la sémantique. Le formalisme des ontologies nous semble adapté pour modéliser la sémantique d'un domaine. Nous avons donc choisi d'utiliser les ontologies pour les raisons suivantes:



- La hiérarchie de concepts formalisée dans l'ontologie permet de définir une structure hiérarchique des documents générés.
- Les instances sont des objets reliés à au moins un concept, les valeurs des propriétés doivent être renseignés. ces propriétés nous permettent de déduire certains rôles comme proposé par Ranwez (Ranwez,2003).
- Certaines propriétés ont des caractéristiques particulières comme la transitivité, la symétrie etc. De nouveaux objets peuvent être ajoutés aux ontologies par déduction. cela va nous faciliter le travail de modélisation car il n'est pas utile de décrire toutes les relations au sein du modèle.
- les opérateurs ensemblistes vont permettre aussi à un moteur d'inférence de réaliser des déductions automatiques.
- Enfin nous savons qu'une ontologie est implémentée sous la forme d'un graphe connexe et fini qui garantit que la recherche à travers le modèle ne bouclera pas indéfiniment.

Nous souhaitons que l'apprenant joue un rôle actif dans sa propre formation en accédant selon ses besoins par lui-même aux informations susceptibles d'initier un savoir ou bien, le renforcer. L'apprenant reste maître de ses choix et de son parcours.

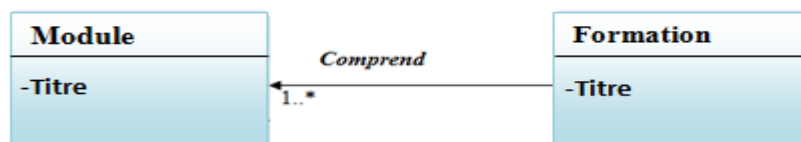
Pour que le système puisse proposer un ensemble de ressources bien sélectionnées et organisées selon son profil, il fallait constituer un corpus de ressources validées par un l'ensemble des enseignants en les indexant sur les notions (concepts) des modules (cours) proposés, les mettre en relation dans des ontologies qu'il est possible de parcourir de façon non linéaire.

Pour les besoins de notre recherche, nous avons défini trois types d'ontologies: ontologie thématique, ontologie domaine d'application et ontologie des objets pédagogiques décrites comme suit:

#### 4.5.2.1 Ontologie "Thématique"

Cette ontologie contient les connaissances les plus génériques, portant sur des éléments contributifs à la formation par exemple le nom de la formation, les modules d'enseignements spécifiques à chaque formation.

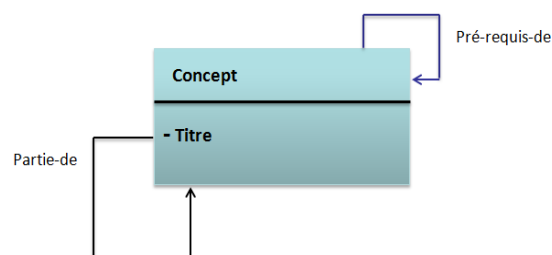
Les instances de cette ontologie sont principalement destinées aux formateurs qui veulent savoir s'il existe déjà des cours sur un module d'enseignement, ou s'ils veulent proposer d'autres formations. L'ontologie Thématique Figure 18 permet de représenter les objets pédagogiques par rapport aux thématiques qu'ils abordent dans le cadre d'une ou plusieurs formations (licence, Master, Doctorat, Ingénierat). Chaque formation comprend un ou plusieurs modules d'enseignement (Base\_de\_données, Réseaux, Système\_exploitation,...) Chaque module aborde une ou plusieurs notions.



**Figure 18.**Diagramme de l'ontologie Thématique

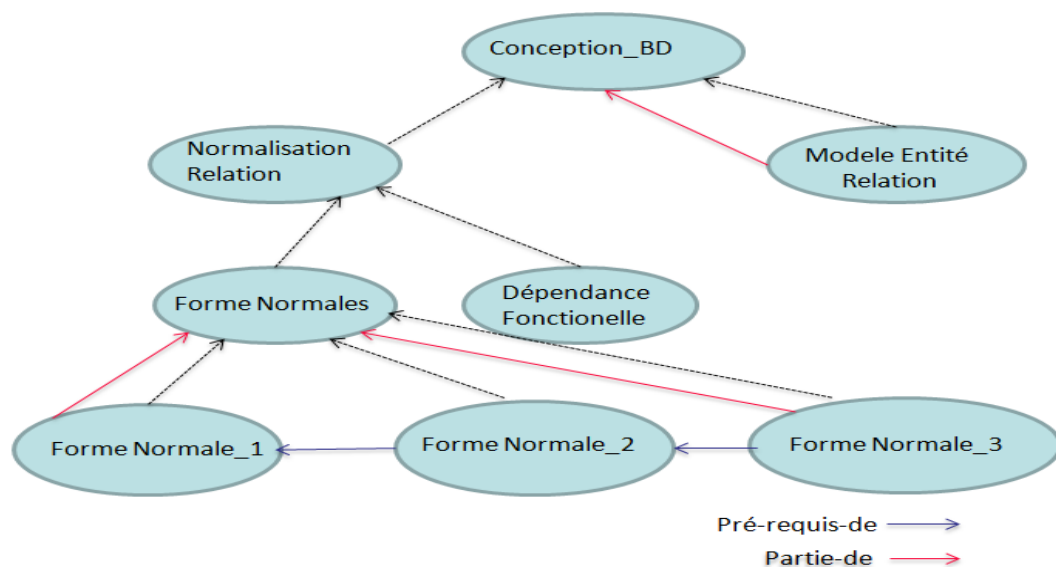
#### 4.5.2.2 Ontologie "Domaine d'application"

Cette ontologie porte sur les notions d'un module d'enseignement permettant de modéliser les connaissances d'un domaine d'enseignement Figure 19. Nous avons décomposé le cours en notions de granularités appropriées. Ces grains de connaissances permettent un apprentissage plus souple et moins contraignant, contrairement à un découpage en chapitre ou section.



**Figure 19.** Diagramme de l'ontologie Domaine d'application

Ces notions sont décrites par un graphe où les nœuds sont les notions (concepts) abordés par le module d'enseignement et les arcs les relations sémantiques entre elles. Par exemple les concepts de l'ontologie de domaine "Base de données" sont: Clé, Tuple, Formes-Normales, Forme-Normale-3 .... Cette ontologie est utilisée pour visualiser sous forme d'un arbre de représentation graphique permettant à l'utilisateur de sélectionner un concept. Dans la Figure 20 nous représentons une partie de cette ontologie



**Figure 20.** Une partie de l'ontologie de domaine "Base de données"

En plus de la relation de subsumption engendrant une structure hiérarchique entre les concepts et sous concepts de l'ontologie de domaine nous avons introduit d'autres relations entre concepts comme suit :

- La relation **pré-requis-de** : cette relation à caractère pédagogique lie un concept X à un autre concept Y de la même ontologie. Elle est importante: en effet, même si l'apprenant peut naviguer à son gré dans l'ontologie, il faut cependant lui indiquer qu'un concept X requiert la connaissance préalable d'un autre concept Y. Par exemple le concept "Forme-Normale-3" requiert la connaissance du concept "Forme-Normale-2" Cette relation a comme propriété la transitive.
- La relation **partie-de** : Un concept X partie-de concept Y si X est une notion faisant partie de Y. Cette relation est aussi importante: en effet

elle nous permet de décomposer un concept en concepts plus simples et présenter à l'apprenant des objets pédagogiques moins complexes et plus adaptés à son niveau de connaissance. Cette relation est antisymétrique

Concept	Sur Concept	Désignation	Définition
Forme_Normale_1	Formes_Normales	Première forme normale	Forme_Normale_1 <b>est-Partie-de</b> Formes_Normales Forme_Normale_1 <b>pré_requis</b> attribut
Forme_Normale_2	Formes_Normales	Deuxième forme normale	Forme_Normale_2 <b>est-Partie-de</b> Formes_Normales Forme_Normale_2 <b>pré_requis</b> Forme_Normale_1
Domaine	Modele_Relationel	Domaine	Domaine <b>est-Partie-de</b> Modele_Relationel Domaine <b>pré_requis</b> Modele_Relationel

**Tableau 6.** Partie de description de relations entre concepts

Nous montrons dans ce tableau une partie de la description de l'ontologie de domaine, module d'enseignement "Base de données".

La nécessité de visualiser cette ontologie sur l'espace restreint de l'écran nous contraint à la simplicité de ces relations. Cette ontologie de domaine est présentée d'une façon concrète et visuelle qui aide l'apprenant à construire une image mentale cohérente de l'ensemble des connaissances présentes dans le module en question. Elle permet aussi de guider implicitement l'apprenant à naviguer plus facilement au sein des connaissances.

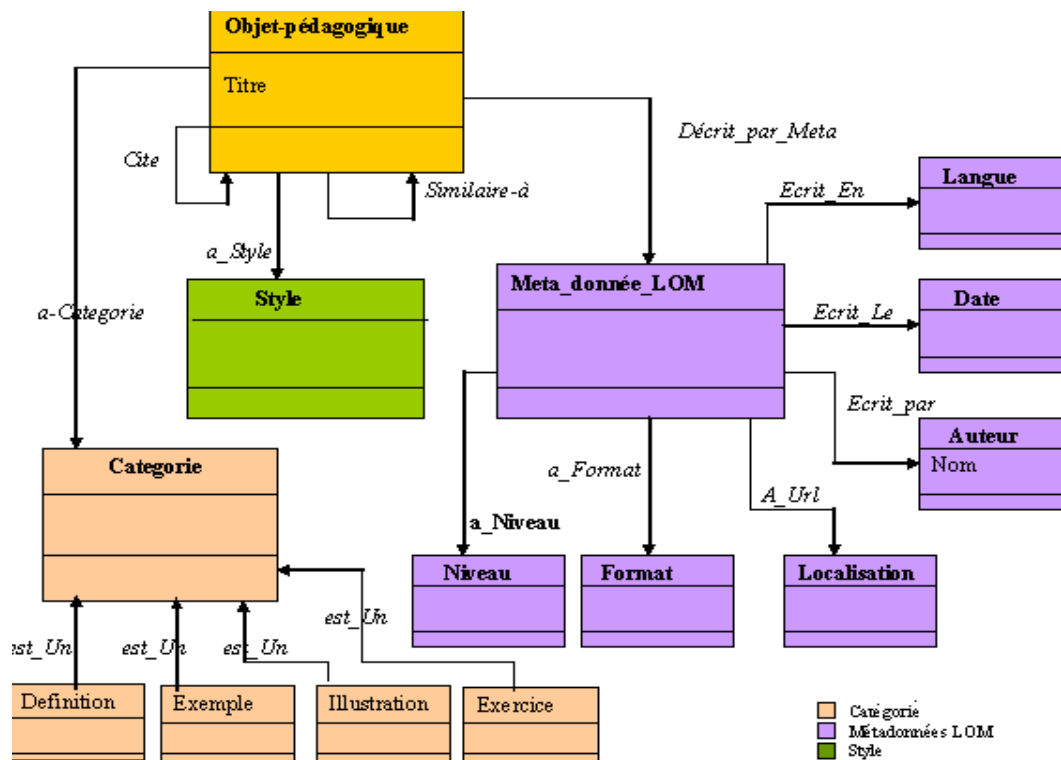
#### **4.5.2.3 Ontologie "Objet pédagogique"**

Dans la suite de cette thèse nous préférons le terme objet pédagogique au terme ressource pédagogique. Un objet pédagogique dans notre cas fait référence à différents niveaux de granularités (une définition, un exercice, une image,...). Cet objet doit être retrouver et intégrer dans les documents

personnalisés selon le profil apprenant. L'ensemble des objets pédagogiques permettent de véhiculer et transmettre des contenus d'enseignements.

La méthode de création de l'ontologie des objets pédagogiques diffère donc de la méthode utilisée pour les deux autres ontologies (thématique, domaine) ceci s'explique en grande partie de la mise en place d'une ontologie qui doit rassembler le maximum de concepts liés à la sémantique des objets pédagogique et les liens entre ces derniers. L'ontologie des objets pédagogiques est prépondérante dans la mesure où elle est utilisée par l'ontologie de domaine dans le cadre d'un apprentissage.

Chaque concept du domaine d'enseignement indexe des objets pédagogiques de différentes Catégories (Définition, Exemple, Illustration, Exercice) de différents niveaux (Bas, Moyen, Expert) de différents types (Image, Texte) chaque objet possède des valeurs de styles différents selon l'usage de chaque objet. Nous avons essayé de créer cette ontologie aussi exhaustive que possible. Plusieurs facettes sont proposées pour la description d'un objet pédagogique Figure 21.



**Figure 21.** Ontologie objet pédagogique

La première facette "**Métadonnée-LOM**" Permet de décrire les principales caractéristiques de l'objet pédagogique (auteur, date, langue, format, niveau, localisation, ...) Cette partie est comparable aux métadonnées décrites dans la norme LOM. Mais aux besoins de notre application et pour faciliter l'analyse nous avons défini un sous-ensemble de vocabulaire. Cette description LOM est rattachée à chaque objet pédagogique. Les métadonnées associées permettent de renseigner, d'une manière bien classifiée, les différentes informations nécessaires sur chaque objet d'apprentissage, de façon à ce que les recherches ultérieures soient rendues plus efficaces.

La deuxième facette "**Catégorie**" permet de classer les objets pédagogiques en différentes catégories (Définition, Exemple, Illustration, Exercice) en se basant sur leurs contenus.

La troisième facette "**Style**" permet de prendre en compte les différents styles d'apprentissage de l'objet pédagogique. Cette facette permet de spécifier que le contenu de l'objet pédagogique est plutôt adapté pour un style d'apprentissage donné donc pour un style psychologique MBTI. Par exemple l'objet pédagogique de catégorie définition du concept "Clé", ayant le vecteur conceptuel  $V_s = (I:2\%, E:18\%, S:20\%, N:6\%, T:25\%, F:5\%, J:20\%, P:4\%)$ , indique que cet objet est plus adapté à un type MBTI **ESTJ** donc pour un apprenant qui préfère terminer sa tâche avant de passer à la suivante, qui privilégie l'aspect bien structuré etc. L'affectation des paramètres d'un objet est effectuée par le concepteur (ou un annotateur) connaissant le contenu et l'usage possible. Cette affectation est réalisée via une interface ergonomique (formulaires, questionnaire, etc.) masquant les détails techniques lors de la déposition d'un objet pédagogique. Par la suite, la valeur d'un vecteur  $V_s$  d'un objet peut être modifiée (ou ajustée) manuellement par le concepteur de l'objet ou d'une manière automatique par le système. Cette modification se base sur les traces d'usages ultérieurs de cet objet par les différents profils d'apprenants.

Nous définissons des liens sémantiques entre ces objets pédagogiques à savoir:

- Le lien Similaire-à : qui dénote que la sémantique de l'objet A est similaire à celle de l'objet B ce type de lien est symétrique et transitif.
- Le lien Cite : l'objet A Cite l'objet B si A contient une référence ou lien vers B. Ce lien est antisymétrique.

#### ***4.5.2.4 Liaison entre les ontologies proposées***

Les trois ontologies élaborées Thématique, Domaine application et objet pédagogique sont liées par des relations sémantiques suivantes comme le montre la Figure 22:

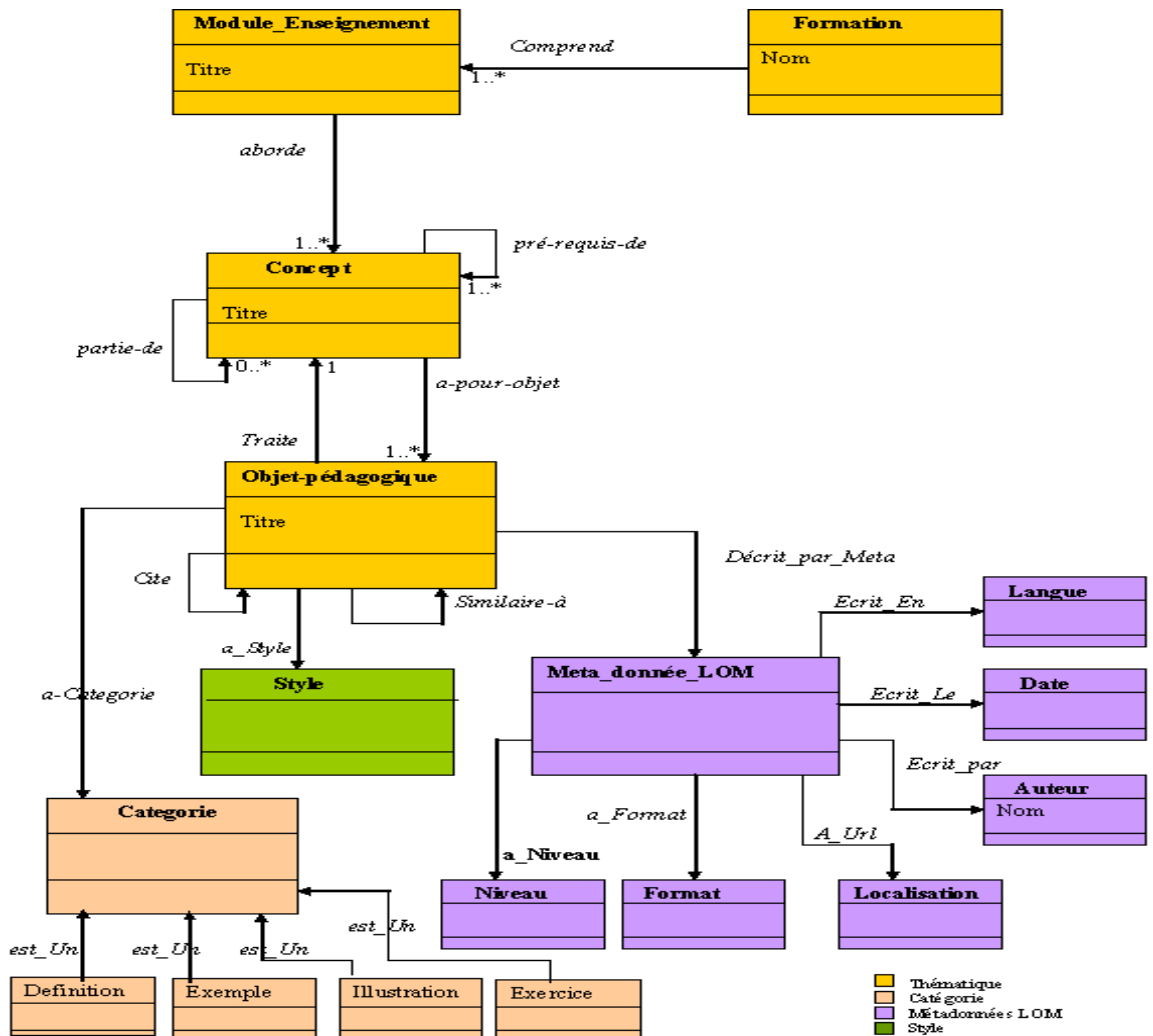
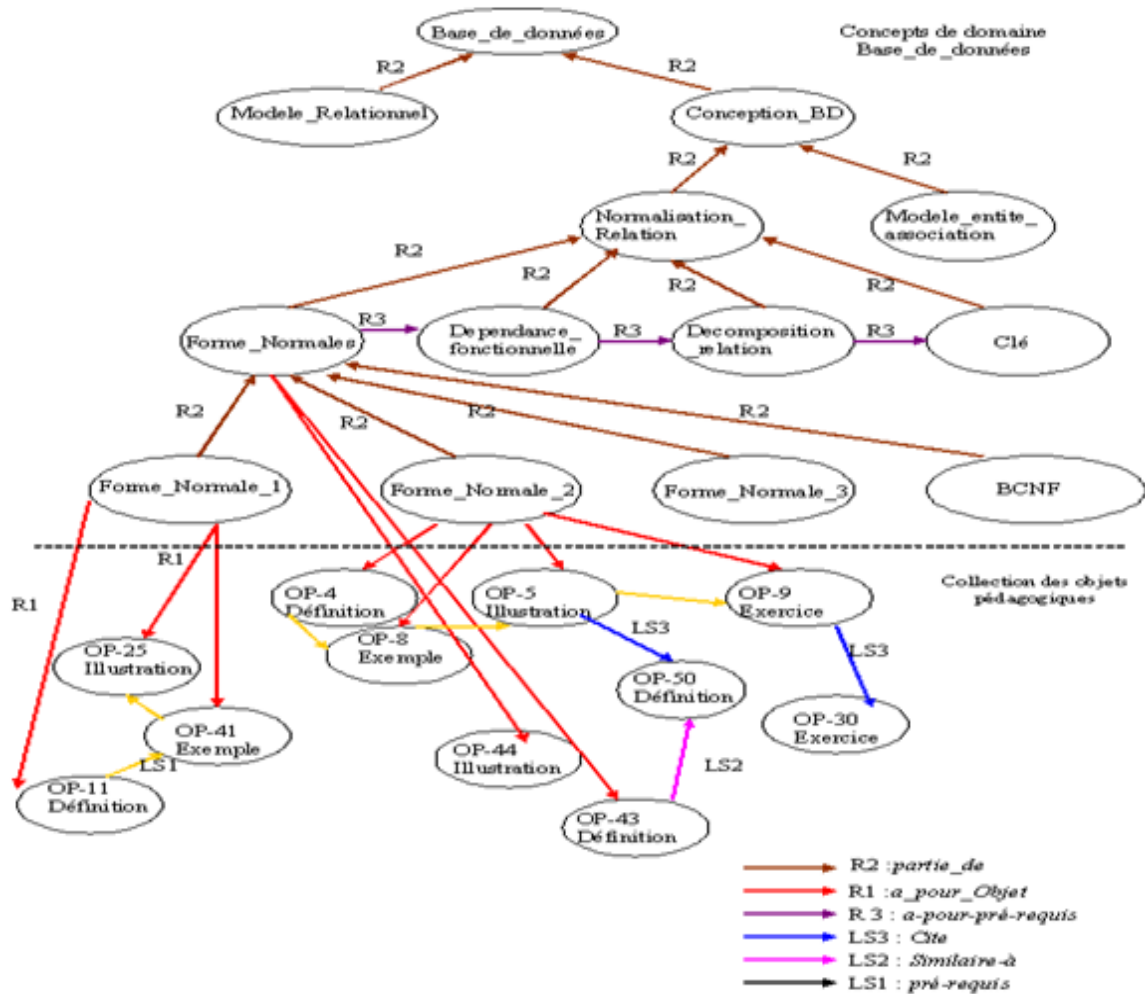


Figure 22. Modèle ontologique complet

- La relation **aborde** : Cette relation permet de lier les individus de la classe Module de l'ontologie Thématique avec les individus de la classe concept de l'ontologie de domaine d'application et permet de dire que chaque module a un ou plusieurs concepts.
- La relation **a-pour-objet** : Cette relation lie un concept X de l'ontologie de domaine à un ou plusieurs objets pédagogiques. Elle permet à l'apprenant d'accéder immédiatement aux connaissances pour assimiler le concept.
- Le lien **Traite** : Ce lien permet de lier un objet pédagogique à un concept de l'ontologie de domaine



La Figure 23 illustre bien un exemple d'un extrait de l'ontologie du modèle complet cas d'un du domaine d'application "Base\_de\_données". Nous présentons une collection d'objets pédagogiques associés pour chaque concept ainsi que les relations sémantiques élaborées.

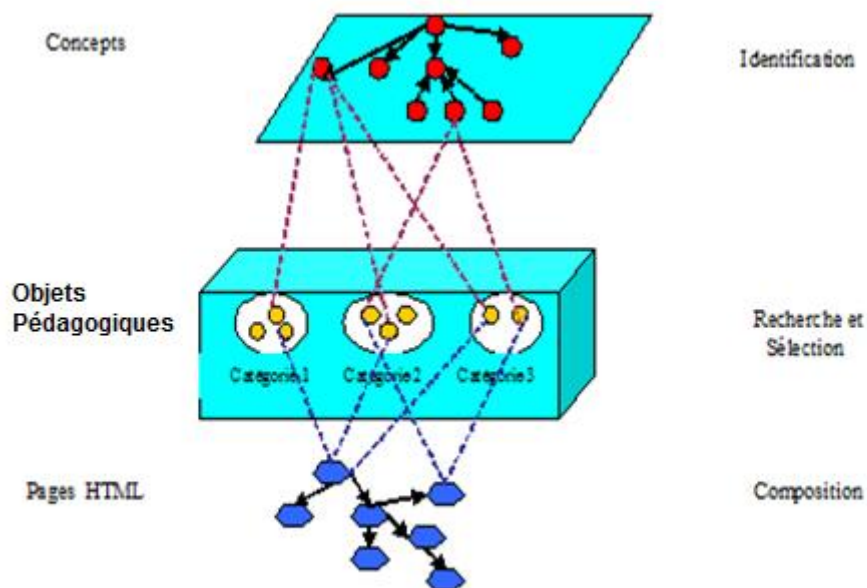


**Figure 23.** Extrait de l'ontologie du domaine "Base\_de\_données"

Toutes ces relations ontologiques permettent de structurer l'ensemble de ces concepts par les liens qu'elles instaurent et par la sémantique attachée à chacun d'eux. Les propriétés de ces relations permettent par la suite une recherche intelligente et des raisonnements élaborés par des mécanismes d'inférence.

## 4.6 Processus d'adaptation et mécanismes d'inférences (Behaz, 2012b)

Après avoir identifié le type de personnalité d'un apprenant selon le test MBTI, le système calcule et stocke les résultats des préférences dans le modèle de l'apprenant. Rappelons que ces préférences sont représentées ici sous forme de vecteurs. Ensuite l'apprenant définit le concept sur lequel il veut rechercher les objets pédagogiques qui traitent le concept en question. Le processus d'adaptation se réalise comme suit Figure 24:



**Figure 24.** Processus de recherche et sélection

- Recherche: identification des objets pédagogiques pertinents au concept introduit.
- Sélection: le choix des objets satisfaisants au mieux le type de personnalité MBTI de l'apprenant.
- Composition: le choix d'un parcours d'apprentissage en fonction du type de personnalité dominant d'un apprenant.

### 4.6.1 Recherche

Lorsque l'apprenant a défini le concept, le moteur de recherche construit une requête vers la base des objets pédagogiques. L'annotation proposée connecte systématiquement les objets à leurs concepts. Cette opération renvoie les identificateurs des objets pédagogiques pertinents au concept introduit.

Pour améliorer le processus de recherche un moteur d'inférence y est incorporé. Celui-ci se base essentiellement sur les liens sémantiques entre les objets pédagogiques dans l'ontologie proposée et sur les règles d'inférence utilisées.

Nous savons qu'OWL possède une base théorique formelle (la logique de description) ce qui permet l'implantation de logiciels appelés moteurs d'inférences ou raisonneurs. Ces moteurs (ou raisonneurs) sont capables de traiter une ontologie OWL pour déduire des faits qui ne sont pas explicitement déclarés (Knublauch, 2004), (Sancho, 2010), (Parsia, 2011). C'est-à-dire, dans notre cas, le moteur d'inférence permet d'inférer de nouveaux objets pédagogiques à partir d'objets pédagogiques jugés pertinents pour une requête de l'apprenant et cela en se basant sur les liens sémantiques définis plus haut et des règles SWRL (Semantic Web Rule Language) élaborées.

Une règle SWRL présente la forme suivante :

$$b_1 \wedge \dots \wedge b_n \rightarrow a_1 \wedge \dots \wedge a_n$$

Où  $b_1 \wedge \dots \wedge b_n$  est le corps ou antécédent de la règle et  $a_1 \wedge \dots \wedge a_n$  est l'entête ou conséquent. Les termes  $a_1, \dots, a_n, b_1, \dots, b_n$  sont des atomes.

Un atome peut représenter une relation (prédicat binaire) ou un concept (prédicat unaire). L'interprétation de la règle est la suivante : si les conditions spécifiées dans l'antécédent sont vérifiées, alors on peut déduire que les propositions spécifiées dans le conséquent sont vérifiées aussi. Il existe d'autres syntaxes, notamment une syntaxe XML basée sur celle d'OWL, ce qui permet d'inclure les règles SWRL associées à une ontologie dans le même fichier XML que l'ontologie. L'utilité de ces règles est d'exprimer des relations

qui seraient trop compliquées, voire impossibles, à exprimer avec OWL-DL seulement.

Pour mettre en œuvre des règles de raisonnement, nous nous sommes basés sur les liens sémantiques entre objets et concepts. La table 7 présente les règles d'inférence SWRL créées. Les éléments  $x$ ,  $y$  et  $c1$ ,  $c2$  qui sont précédés d'un point d'interrogation, sont des variables qui représentent des individus.

Par exemple dans la règle 1: concept  $c1$  *est-partie-de* concept  $c2$  et objet  $x$  *traite* le concept  $c2$  nous pouvons déduire le résultat suivant : objet  $x$  *traite* le concept  $c1$ .

Numéro Règle	Description
Règle 1	$\text{partie-de}(?c1, ?c2) \wedge \text{traite}(?x, ?c2) \rightarrow \text{traite}(?x, ?c1)$
Règle 2	$\text{pré-requis-de}(?c1, ?c2) \wedge \text{a-pour-objet}(?c1, ?x) \wedge \text{a-pour-objet}(?c2, ?y) \rightarrow \text{cite}(?y, ?x)$
Règle 3	$\text{a-pour-objet}(?c1, ?x) \wedge \text{cite}(?x, ?y) \rightarrow \text{a-pour-objet}(?c1, ?y)$
Règle 4	$\text{traite}(?x, ?c1) \wedge \text{traite}(?y, ?c2) \wedge \text{sameAs}(?c1, ?c2) \rightarrow \text{similaire-a}(?x, ?y)$
Règle 5	$\text{traite}(?x, ?c1) \wedge \text{similaire-a}(?x, ?y) \rightarrow \text{traite}(?y, ?c1)$
Règle 6	$\text{similaire-a}(?x, ?y) \wedge \text{cite}(?y, ?x) \rightarrow \text{cite}(?x, ?y)$
Règle 7	$\text{cite}(?x, ?y) \wedge \text{cite}(?y, ?x) \rightarrow \text{similaire-a}(?x, ?y)$

**Tableau 7.** Les règles d'inférence utilisées

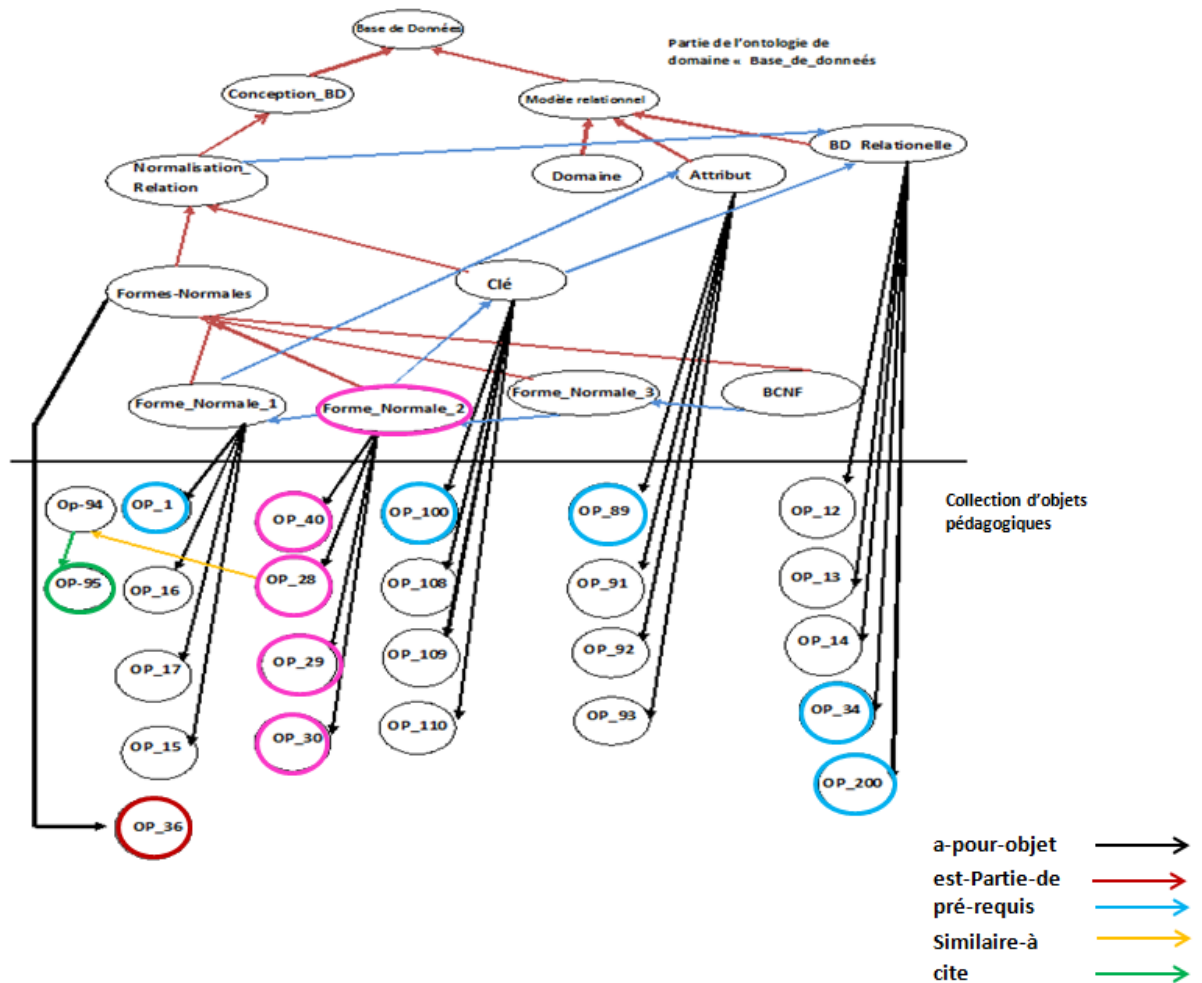
Nous remarquons que dans la règle 4 nous avons utilisé une règle spéciale  $\text{sameAs}(?c1, ?c2)$  qui sert à déclarer que les deux individus  $c1$  et  $c2$  de la classe concept de l'ontologie décrite sont les mêmes. Ceci est nécessaire du fait qu'OWL n'utilise pas l'hypothèse du nom unique.

#### 4.6.1.1 Exemple illustratif de recherche par inférence

Reprenons l'exemple de l'ontologie de domaine « Base\_de\_données » décrite dans la section 4.5.2.4. Nous décrivons dans ce qui suit le processus de

recherche par inférence d'objets pédagogiques pertinents rattachés à cette ontologie.

Un apprenant désire rechercher tous les objets pédagogiques en rapport avec le concept "Forme\_Normale\_2". Ce concept est lié à d'autres concepts (Formes\_Normales, Forme\_Normale\_1, Clé, Attribut, BD\_Relationelle) par différents liens sémantiques (pré-requis, partie-de), des objets pédagogiques sont donc attachés à ces concepts grâce à d'autres liens sémantiques (traite, cite, similaire-a) ou bien par les propriétés (transitivité, symétrique) de tous ces liens, comme le montre la Figure 25 :



**Figure 25.** Une partie des concepts liés à des objets pédagogiques

Le résultat de la recherche sur le concept « Forme\_Normale\_2 » est le suivant :

Les objets pédagogiques OP\_40, OP\_28, OP\_29, OP\_30 car ils sont attachés explicitement au concept recherché. Les objets pédagogiques OP-36 attaché au concept Formes\_Normales dont le concept Forme\_Normale\_2 en fait partie. Les objets pédagogiques OP\_1, OP\_100, OP\_200, OP\_89, OP\_34 attachés aux concepts (clé, Attribut, Forme\_Normale\_1, BD\_Relationelle) qui sont liés au concept recherché par la relation pré-requis. Enfin les objets pédagogiques 94 et 28 sont similaires, pour éviter la redondance des objets, l'objet pédagogique 94 n'apparaît pas dans la liste des résultats, mais cet objet 94 cite l'objet pédagogique 95 ce qui implique son apparition dans la liste de recherche.

#### 4.6.2 Sélection

Le résultat de l'étape précédente est une liste d'objets retrouvés explicitement ou inférés implicitement. Cette liste est donc soumise à un autre module qui compare l'usage sémantique de chaque objet de la liste avec la description des préférences d'apprentissage de l'apprenant.

Cette comparaison est réalisée en utilisant une distance D qui calcule la distance (au sens vectoriel), on ramène ainsi une proximité sémantique à une mesure de distance géométrique.

Etant donné les deux vecteurs,  $V_p = (P_L, P_E, P_S, P_N, P_T, P_F, P_J, P_P)$  décrivant les préférences d'apprentissage de l'apprenant  $A_i$  et le vecteur  $V_s = (S_L, S_E, S_S, S_N, S_T, S_F, S_J, S_P)$  décrivant les styles de l'objet  $Obj$ . La mesure de similitude correspond au calcul de distance entre vecteurs (le vecteur des préférences de l'apprenant  $V_p$  et les vecteurs  $V_s$  des styles des objets pédagogiques retrouvés dans l'étape précédente.

Différentes mesures peuvent être utilisées. Nous avons retenu la mesure de cosinus.

$$D = \text{Cos}(V_{p_{A_i}}, V_{s_{Obj}}) = \frac{\sum_{i=1}^8 P_i \sum_{i=1}^8 S_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^8 P_i^2 \sum_{i=1}^8 S_i^2}}$$

Une autre liste d'objets est alors proposée à l'apprenant. Cet ensemble d'objets se rapproche le plus des préférences d'apprentissage de l'apprenant. Ceci assure donc une meilleure assimilation des connaissances au rythme et aux capacités de compréhension de chaque apprenant.

### 4.6.3 Composition

Cette étape correspond à l'agencement (ordonnancement) des différents objets pédagogiques sélectionnés de l'étape précédentes au sein des documents. Il est important que ces objets soient organisés de façon à présenter un ensemble cohérent et selon les contraintes exprimées par l'apprenant. Les objets pédagogiques sont assemblés selon une stratégie didactique clairement définies en section 4.4.2. Cette stratégie dépend du type de personnalité dominant de l'apprenant.

L'identification du type de personnalité dominant d'un apprenant selon l'indicateur MBTI traduira sa préférence pour un parcours d'apprentissage adaptatif à savoir parcours théorique, pratique, ascendant ou actif.

- Parcours Théorique : Définition → Illustration → Exemple → Exercice
- Parcours Pratique : Exercice → Exemple → Illustration → Définition
- Parcours Actif : Illustration → Définition → Exemple → Exercice
- Parcours Ascendant : Exemple → Définition → Illustration → Exercice

Il faut rappeler que ces parcours proviennent de nos lectures. Nous remarquons que l'ordonnancement des objets devient un facteur clef de l'étape de composition. C'est pour cette raison que la notion de catégorie exprimée dans l'ontologie "Objet pédagogique" est importante et conditionne le processus de composition. Cet ordonnancement s'appuie aussi sur les caractéristiques sémantiques et physiques de chaque objet.

Un problème peut survenir si le nombre présents d'objets pédagogiques augmentent après l'étape de recherche et sélection. La solution à ce problème est de charger moins d'objets en utilisant plus de filtres. Nous avons donc

utilisé certains filtres lors de l'étape de composition. Ces filtres ne peuvent être utilisés que lorsque l'ordonnancement des objets a commencé. Les filtres suivants sont pris en compte dans le processus : la langue et le niveau de l'objet. Le filtre de la langue permet d'écarter d'emblée les objets qui ne correspondent pas à la langue demandée par l'apprenant. Le filtre de niveau permet de sélectionner les objets selon le niveau de compréhension de chaque apprenant.

#### 4.6.4 Génération du document XML

A la fin des deux étapes précédentes (recherche, sélection) le système dispose d'un ensemble d'objets pédagogiques qui correspondent tous sémantiquement et physiquement aux besoins de l'apprenant. Il faut alors les organiser dans la page de l'hypermédia de façon à respecter les relations de précédences (Pré requis) imposées par les relations prédéfinies dans l'ontologie du domaine.

Une fois que le moteur de génération a construit le contenu d'une page, il faut que le système détermine les liens hypertextes permettant à l'apprenant d'accéder à d'autres concepts en rapport avec la page courante. Nous prenons en considération les relations définies dans l'ontologie de domaine. Le système masque les liens hypertextes dont les pages cibles sont en inadéquation avec le modèle de l'apprenant (trop compliqués ou trop simples). L'annotation des liens hypermédia est réalisée en utilisant différentes couleurs.

La façon dont le document est présenté à l'écran constitue la dernière étape dans le processus d'adaptation. Dans cette partie, la technologie est déjà arrivée à maturité et n'y a aucune difficulté particulière à surmonter. Nous utilisons les feuilles de styles dont les spécifications ont été proposées par le



W3C<sup>1</sup> et qui sont compatibles avec tous les navigateurs web de dernière génération. Les deux principales technologies de présentation des documents sont les feuilles de styles en cascade CSS<sup>2</sup> et les transformations par le biais du langage étendu pour les feuilles de style XSL<sup>3</sup>.

L'utilisation de XSL implique l'utilisation du XML<sup>4</sup> pour la représentation des documents à composer. A la fin de la troisième étape (dans laquelle les objets sont ordonnancés et structurés au sein du document), il faut donc disposer d'un fichier XML dont la structure est interprétée par XSL. Une spécification de schéma XML doit être implémentée, elle contiendra la grammaire nécessaire à la représentation des documents.

## 4.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté notre démarche méthodologique développée pour la modélisation de notre environnement MEDYNA. Cette démarche est constituée principalement de trois étapes allant de la description ontologique des différentes connaissances à une identification des styles d'apprentissage de l'apprenant par l'indicateur MBTI jusqu'aux mécanismes d'inférences pour la recherche et la sélection des objets pédagogiques pertinents. Notre système hypermédia adaptatif est dynamique car le contenu est créé sur mesure à partir d'éléments existants (profil apprenant, objets pédagogiques). L'apprenant est guidé par la navigation hypertextuelle des différents concepts des modules d'enseignement annotés par des ontologies. L'environnement MEDYNA est caractérisé par:

---

<sup>1</sup> W3C, World Wide Web Consortium

<sup>2</sup> CSS, Cascading Style Sheets: <http://www.w3.org/Style/CSS/>.

<sup>3</sup> XSL, Extensible Stylesheet Language : <http://www.w3.org/Style/XSL/>.

<sup>4</sup> XML, XML Schema: <http://www.w3.org/XML/Schema>.

- Un outil d'édition d'objets pédagogiques. Ces objets sont indexés sur les éléments des notions d'un domaine d'application (module d'enseignement).
- Absence de la supervision d'un enseignant, l'apprenant est libre dans sa progression d'apprentissage tout en étant assisté par le système.
- Le système est conçu pour être adaptatif, un des plus grands défis, c'est-à-dire rendre les contenus de formation adaptés aux styles d'apprentissage des apprenants, à leur niveau de connaissances, etc.
- Le système permet de localiser les contenus pertinents et développer des possibilités de navigation adaptés aux besoins et attentes des apprenants.

L'approche présentée apporte une certaine intelligence dans le processus de recherche, mais aussi plus de pertinence grâce à l'utilisation des ontologies développées (Thématique, Domaine, Objet pédagogique) comme technique d'indexation et par l'exploitation des liens sémantiques entre les concepts et les objets pédagogiques. Par ailleurs, afin d'augmenter l'expressivité de la recherche pertinente nous avons incorporé un ensemble de règles en exploitant la sémantique des liens par des mécanismes d'inférences qui permettent des raisonnements élaborés. Un premier prototype concrétisant notre approche sera développé dans le chapitre suivant. Le cours "Base de données" de la formation "Master" dispensé dans notre université a servi de domaine d'application. Dans la suite de cette thèse, nous présentons l'environnement développé pour valider nos idées.

# Chapitre 5 : Réalisation de MEDYNA et Implémentation

## 5.1 Introduction

Afin de tester la fiabilité de notre approche, nous avons développé un environnement qui met l'accent sur la visualisation et la navigation au sein des différentes ontologies et ceci pour faciliter l'accès et la recherche pertinente des objets pédagogiques. Cet environnement intègre trois outils nécessaires aux activités d'apprentissage par exploration à savoir: un outil d'édition et d'enrichissement des objets pédagogiques, un outil d'identification des styles psychologiques des apprenants et enfin, un outil de recherche par inférence et composition des objets pédagogiques se rapprochant au plus au profil apprenant. Les ontologies élaborées interviennent dans plusieurs phases.

## 5.2 Architecture du système MEDYNA

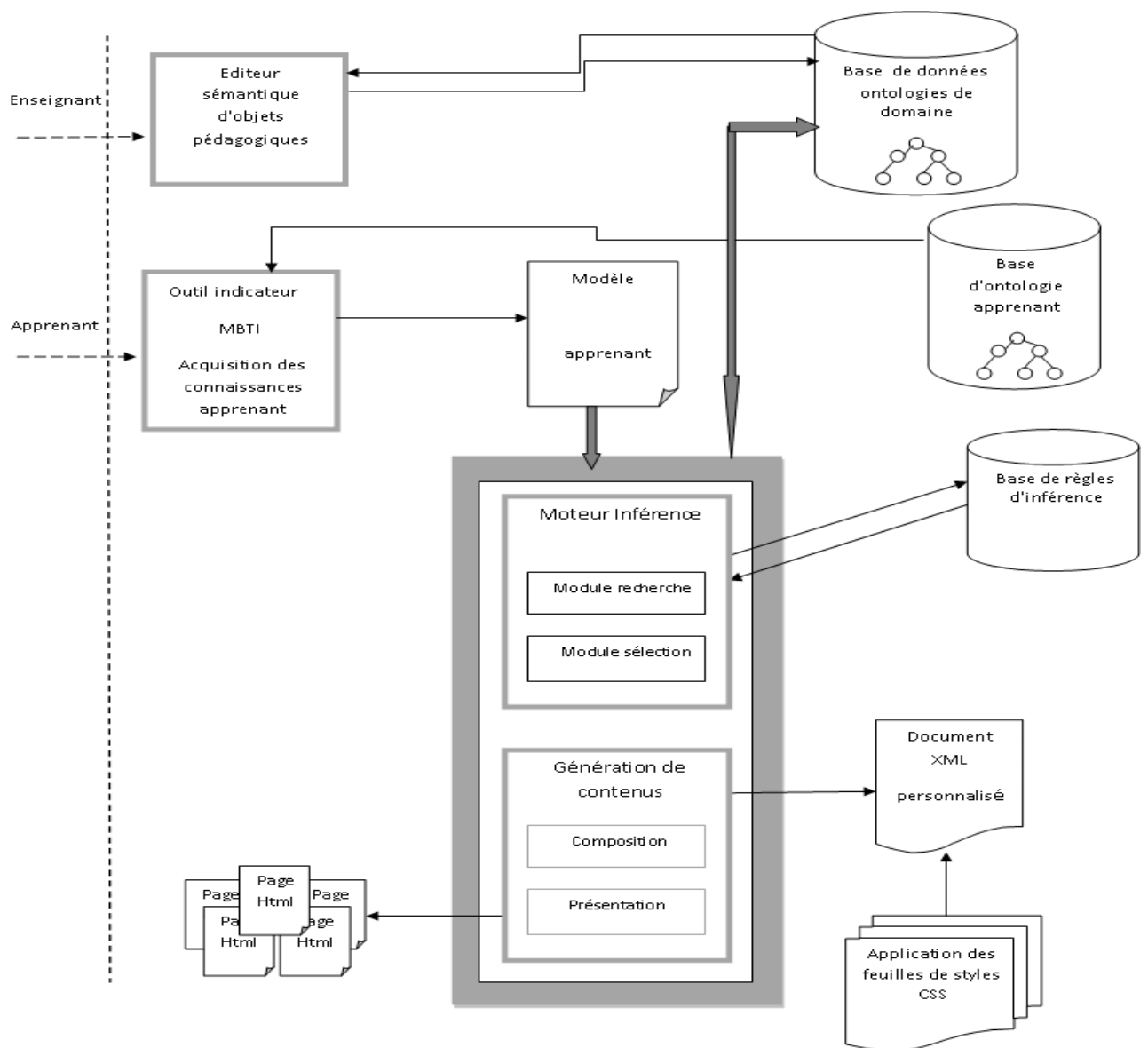
Le système MEDYNA que nous proposons est de type hypermédia adaptatif dynamique. Il permet la construction dynamique des contenus en adaptant l'offre de formation en fonction des profils et des réactions des apprenants.

Nous proposons une architecture ouverte pour l'indexation, la recherche, la sélection et la composition des objets pédagogiques selon les caractéristiques des apprenants en prenant en compte surtout leurs styles d'apprentissage. Les documents présentés sont dynamiques et personnalisés car ils sont créés à partir d'objets pédagogiques sélectionnés en fonction des besoins des apprenants. Les besoins des apprenants sont pris en compte par le biais des notions qu'ils souhaitent étudier et de filtres qu'ils sélectionnent.

L'architecture de notre système, selon les modèles proposés, est composée d'un ensemble d'outils conviviaux, faciles à utiliser, selon les usagers qui manipulent le système à savoir les enseignants auteurs des objets pédagogiques qui les rédigent, et les apprenants qui les utilisent (consultation) en vue d'un apprentissage. Les enseignants trouvent donc un moyen de diffuser, à grande échelle, leur savoir. Les apprenants quant à eux, trouvent un nouveau moyen (autre que le livre), pour se documenter et s'auto former. Notre système assure les grandes fonctions de tout tutorial intelligent. L'aspect intelligent dans notre système se traduit par la recherche par inférence et la génération dynamique des contenus selon les spécificités caractérisant les apprenants.

La Figure 26 illustre explicitement l'architecture logicielle de notre Environnement MEDYNA. Le système incorpore tous les composants généralement rencontrés dans l'architecture des systèmes hypermédias adaptatifs dynamiques. Il est composé de quatre modules :

- Un **module éditeur**: permettant l'édition sémantique des objets pédagogiques. Cet outil permet l'enrichissement des notions associées aux modules d'enseignement par des objets pédagogiques de différentes natures. A l'aide de cet outil les enseignants peuvent intégrer tous les paramètres et attributs lors de la création de leurs objets pédagogiques. Ces attributs serviront de base à l'adaptation : ainsi nous pourrions filtrer ces objets en fonction du niveau de difficulté, de la langue ou du format... Notre souci majeur dans la conception de cet outil était de faciliter au maximum la tâche de l'enseignant, en le déchargeant complètement de la programmation et de réduire son rôle juste à la saisie des connaissances de la matière à enseigner.
- Un **module d'indicateur MBTI** : permet la détection et le calcul des valeurs des types psychologiques d'un apprenant selon des questionnaires appropriés;

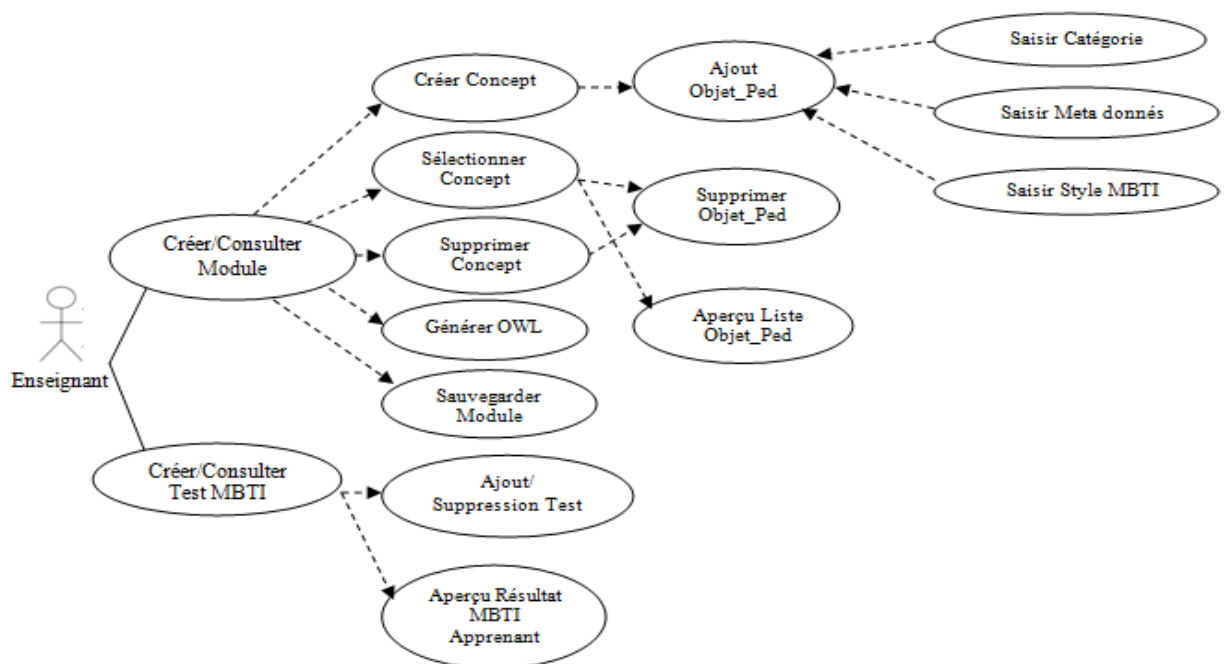


**Figure 26.** Architecture de l'environnement MEDYNA

- Un **modèle apprenant** : qui contient les connaissances (identité, capacité, styles...) d'un apprenant donné. Le modèle apprenant varie selon son comportement ou interaction avec notre système. Un apprenant désirant suivre un module d'enseignement à travers notre système d'apprentissage doit pouvoir le choisir conformément aux compétences qu'il souhaite acquérir. Une fois une notion du module est choisie, des phases de recherche, sélection et composition des objets pédagogiques sont déclenchées;

- Un **moteur d'inférence** : permet la recherche et la sélection des objets pédagogiques en utilisant l'ensemble de règles d'inférences élaborées par le langage SWRL (Semantic Web Rule Langage);
- Un **générateur de contenus** : permet la composition dynamique et la présentation de l'hypermédia par des objets pédagogiques les plus adaptées aidant l'apprenant dans son apprentissage, tout en renforçant son intérêt. Les traitements de présentation concernant la mise en forme des documents XML sont réalisés par des feuilles de styles CSS. Ceci permet la représentation du document en HTML sur le navigateur de l'apprenant;
- Et une « **interface** » permettant de dialoguer soit avec l'auteur de l'objet pédagogique en mode enseignant ou bien avec l'apprenant en mode apprenant.

Les scénarios d'utilisation de l'environnement MEDYNA par l'enseignant se présentent comme suit Figure 27:

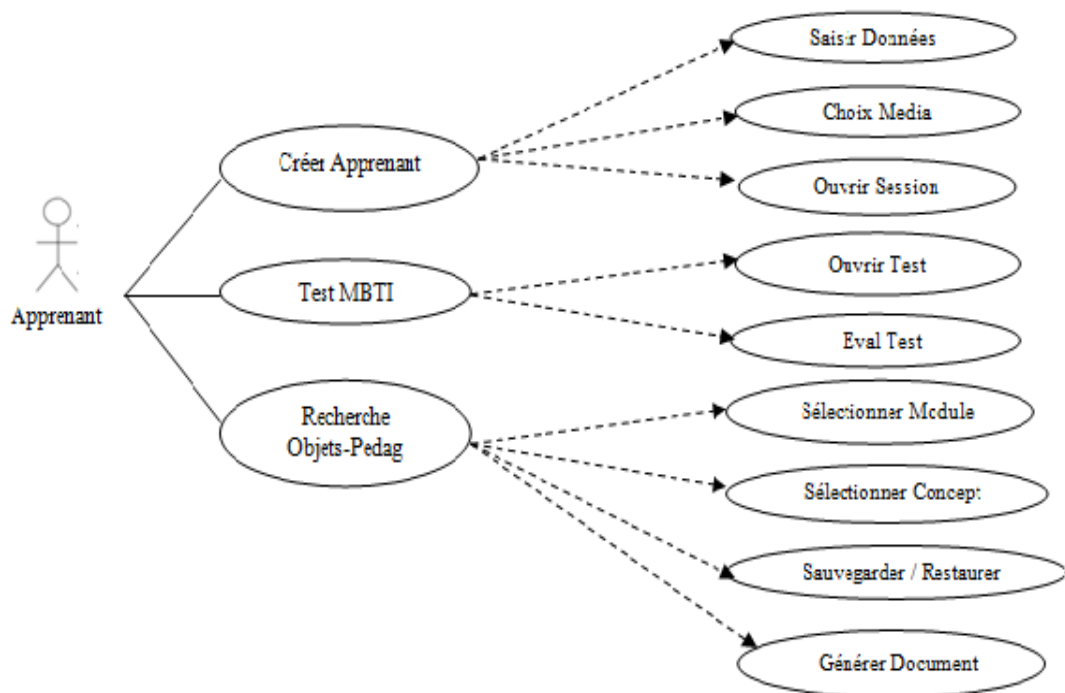


**Figure 27.** Diagramme de cas d'utilisation de MEDYNA par l'enseignant

- Créer ou Consulter un module d'enseignement qui se traduit par plusieurs tâches. Créer un concept, le consulter, le sauvegarder et générer un fichier Owl. L'enseignant peut également ajouter des objets pédagogiques pour chaque concept, il doit saisir pour chaque objet sa catégorie ses métadonnées et un vecteur de styles MBTI.
- Créer ou consulter le test MBTI pour ajouter ou supprimer des tests. Il peut afficher un aperçu des résultats de chaque apprenant pour le test.

Aussi, les scénarios d'utilisation de l'environnement MEDYNA par l'apprenant se présentent comme suit Figure 28:

- Saisir ses données pour une première utilisation du système, ouvrir une session de travail et choisir le media approprié .
- L'apprenant peut également ouvrir un test MBTI pour détecter ses styles d'apprentissage préférés.
- Selon les tâches précédentes l'apprenant peut activer le module de recherche de tous les objets pédagogiques par activation d'un concept.

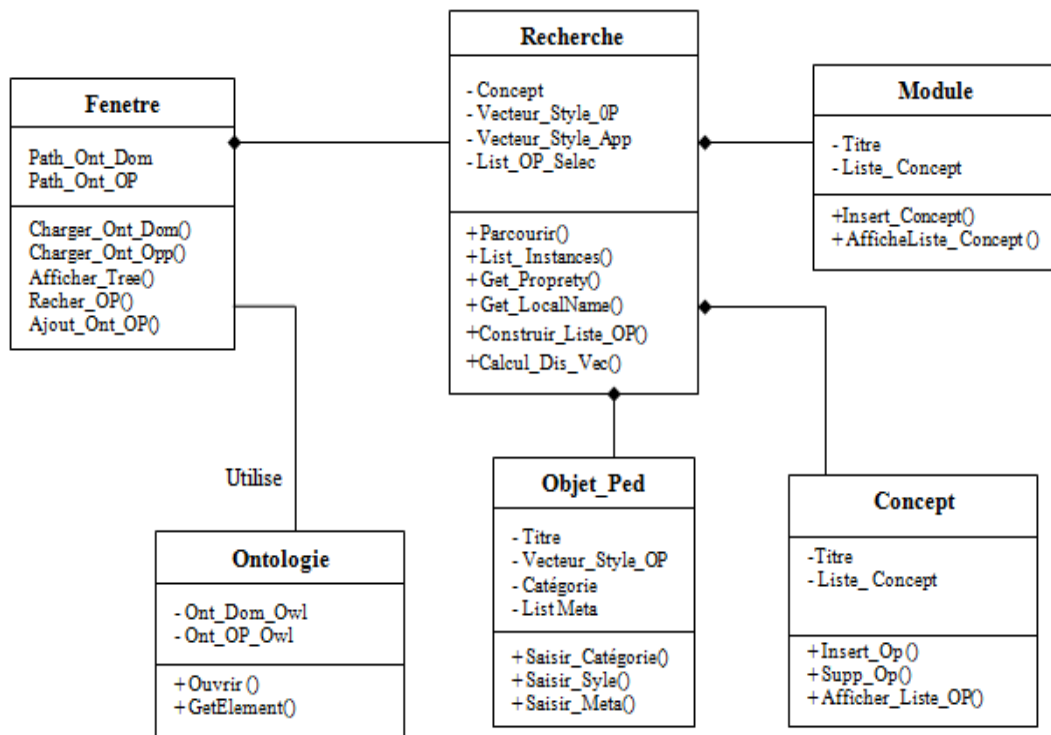


**Figure 28.** Diagramme de cas d'utilisation de MEDYNA par l'apprenant

### 5.3 Aspect statique: diagrammes de classes

Les diagrammes de classes montrent la structure interne du système MEDYNA. Si nous prenons par exemple le moteur de recherche, nous distinguons six classes Figure 29.

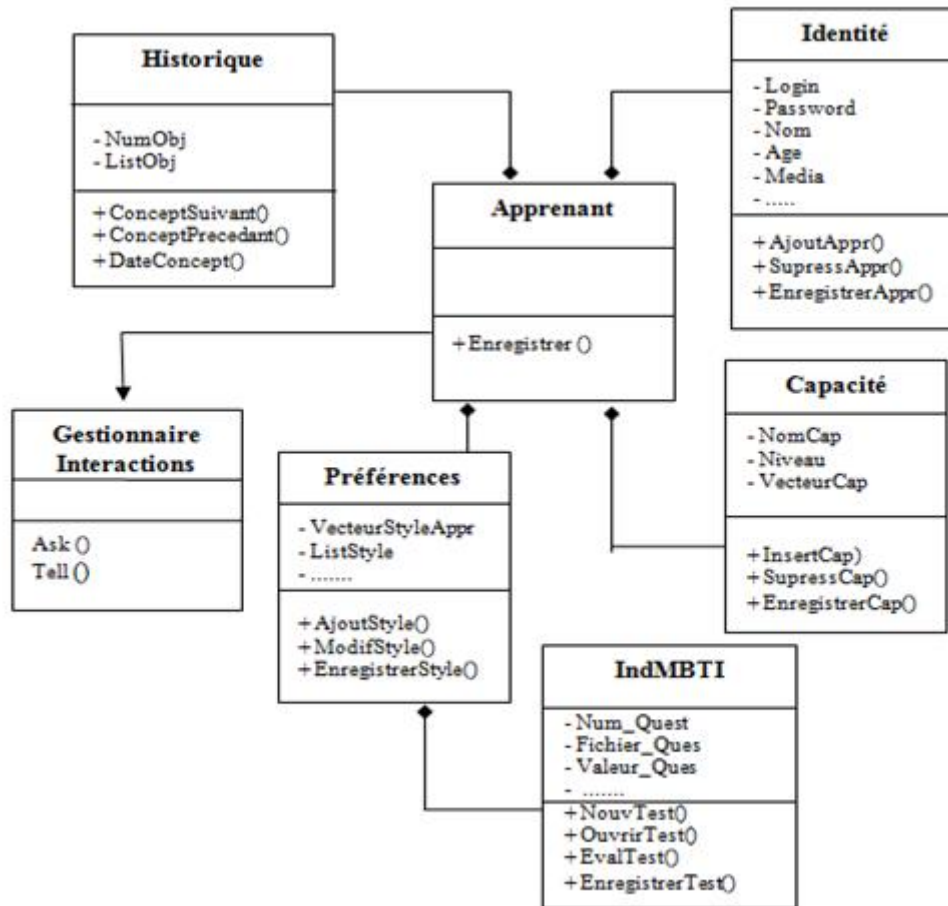
Chaque classe est décrite par des attributs et des méthodes. L'enseignant interagit qu'avec la classe Fenêtre, à travers cette classe qu'il peut manipuler les autres classes, du fait qu'elle est reliée par des relations de composition aux classes Recherche, Concept et Objet\_Ped.



**Figure 29.** Diagramme de classes du module Recherche

De même si nous prenons le module apprenant, l'aspect statique se traduit par sept classes illustré par la Figure 30. A travers la classe Apprenant que les utilisateurs peuvent manipuler les autres classes.





**Figure 30.** Diagramme de classes du module Apprenant

## 5.4 Les outils de développement

Nous avons implémenté le système sous forme d'une application Web. Pour cela nous avons utilisé le langage Java et les Servlets qui permettent une grande flexibilité et la portabilité de l'application. Celle-ci rentre dans le cadre de la nouvelle génération du Web (le Web sémantique). En effet nous avons utilisé le langage OWL pour représenter les ontologies. Une des raisons du succès d'OWL et des technologies du Web Sémantique est l'existence de nombreux outils pour la gestion des ontologies. En effet, on dispose de bibliothèques, d'interfaces de programmation (API en anglais), d'éditeurs, de moteurs d'inférence et de règles, etc. qui facilitent la création et l'édition d'ontologies et de règles, leur accès depuis un programme, l'exécution du raisonnement et le traitement de règles. De plus, une grande partie de ces

logiciels ont des licences libres, ce qui permet de les obtenir, de les étudier, de les modifier et de les partager plus facilement.

### 5.4.1 Outil d'édition d'ontologies OWL

L'éditeur Protégé<sup>1</sup> (Knublauch, 2004), développé par l'Université de Stanford en collaboration avec l'Université de Manchester, permet la création et l'édition d'ontologies OWL Figure 31. Son code source libre, est écrit en Java, et admet des extensions sous forme de plugins. Il existe de nombreux plugins, par exemple pour la visualisation des ontologies et pour l'édition des règles SWRL (Horrocks, 2004) associées. La dernière version stable disponible actuellement est la 3.4.4, mais la version bêta 4.1 est disponible également.

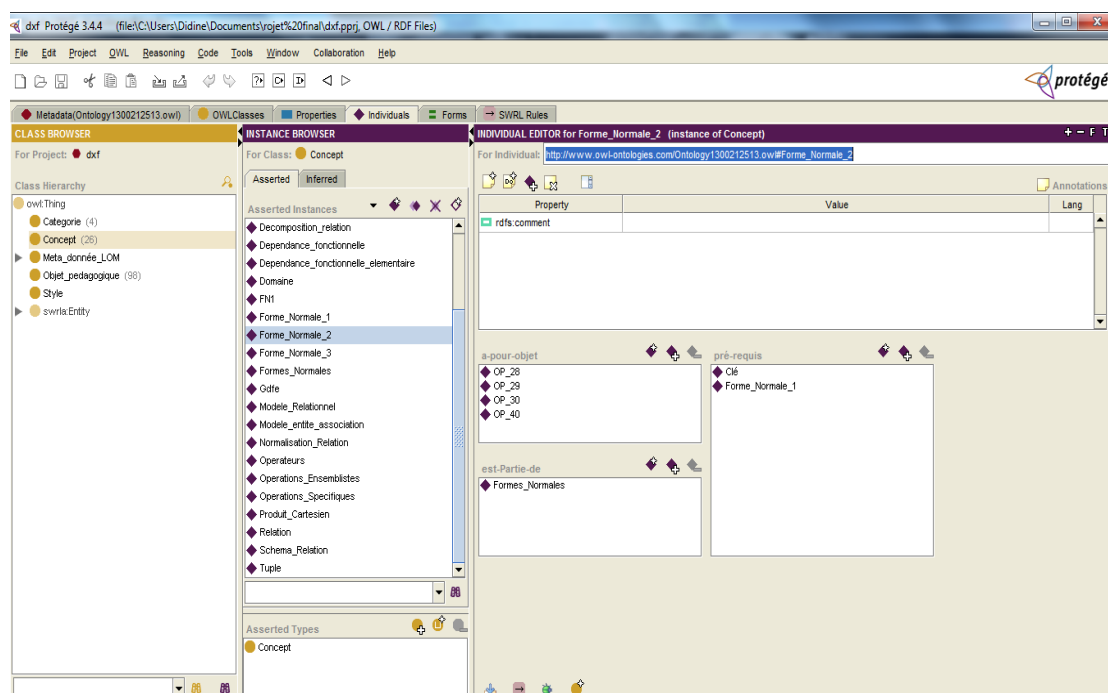


Figure 31. Outil d'édition d'ontologie protégé

Nous présentons une partie du code OWL généré pour la création de notre ontologie *Thématique* Figure 32. Nous remarquons la relation *ObjectProperty comprend* entre la classe *Formation* et la classe *Module*

---

<sup>1</sup> <http://protege.stanford.edu/>

```

<?xml version="1.0"?>
xmlns:protege="http://protege.stanford.edu/plugins/owl/protege#"
.....
  xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#"
  <owl:Ontology rdf:about="Thematique"/>
  <owl:Class rdf:ID="Module"/>
  <owl:Class rdf:ID="Formation"/>
  <owl:ObjectProperty rdf:ID="Comprend">
    <rdfs:range rdf:resource="#Module"/>
    <rdfs:domain rdf:resource="#Formation"/>
  <!-- Created with Protege (with OWL Plugin 3.4.4, Build 579)
  http://protege.stanford.edu -->

```

**Figure 32.** Partie du code OWL de l'ontologie Thematique

Dans la Figure 33 une partie du code OWL généré pour décrire la relation *Similaire-à* entre deux objets pédagogiques. Cette relation est symétrique et transitive. Une autre relation *a-pour-objet* qui est l'inverse de la relation *traite*.

```

<owl:ObjectProperty rdf:ID="Similaire-à">
  <rdfs:range rdf:resource="#Objet_pedagogique"/>
  <owl:inverseOf rdf:resource="#Similaire-à"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="#Objet_pedagogique"/>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#SymmetricProperty"/>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#TransitiveProperty"/>
</owl:ObjectProperty>
.....
<owl:ObjectProperty rdf:ID="a-pour-objet">
  <owl:inverseOf>
    <owl:FunctionalProperty rdf:ID="traite"/>
  </owl:inverseOf>
  <rdfs:range rdf:resource="#Objet_pedagogique"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="#Concept"/>
</owl:ObjectProperty>

```

**Figure 33.** Partie du code OWL des propriétés sémantiques

## 5.4.2 Outil d'édition de règles SWRL

Le SWRLTab est un environnement de développement pour travailler avec les règles SWRL (Semantic Web Rule Language) dans Protege-OWL. Il prend en charge le montage et l'exécution des règles SWRL. Il fournit un ensemble de bibliothèques qui peuvent être utilisées dans les règles, y compris les bibliothèques d'inter opérer avec des documents XML, des feuilles de calcul, et des bibliothèques mathématiques (Sancho, 2010).

Si nous prenons la règle SWRL numéro 6:  $\text{similaire-a}(?x, ?y) \wedge \text{cite}(?y, ?x) \rightarrow \text{cite}(?x, ?y)$  Le code généré par SWRLTab est le suivant Figure 34:

```
<swrl:Imp rdf:ID="Rule-6">
  <swrl:body> <swrl:AtomList> <rdf:first> <swrl:IndividualPropertyAtom>
    <swrl:argument2> <swrl:Variable rdf:ID="y"/> </swrl:argument2>
    <swrl:propertyPredicate rdf:resource="#Similaire-à"/>
    <swrl:argument1> <swrl:Variable rdf:ID="x"/> </swrl:argument1>
  </swrl:IndividualPropertyAtom>
</rdf:first> <rdf:rest> <swrl:AtomList>
  <rdf:rest rdf:resource="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#nil"/>
  <rdf:first> <swrl:IndividualPropertyAtom>
    <swrl:argument1 rdf:resource="#y"/>
    <swrl:argument2> <swrl:Variable rdf:ID="z"/></swrl:argument2>
    <swrl:propertyPredicate rdf:resource="#cite"/>
  </swrl:IndividualPropertyAtom> </rdf:first> </swrl:AtomList> </rdf:rest>
</swrl:AtomList> </swrl:body>

  <swrl:head> <swrl:AtomList> <rdf:first> <swrl:IndividualPropertyAtom>
    <swrl:propertyPredicate rdf:resource="#cite"/>
    <swrl:argument1 rdf:resource="#x"/>
    <swrl:argument2 rdf:resource="#z"/>
  </swrl:IndividualPropertyAtom>
</swrl:head>
```

Figure 34. Code Owl généré pour une règle SWRL

### 5.4.3 Outils de traitement des ontologies OWL et de règles SWRL

Il existe de nombreuses bibliothèques logicielles pour accéder par programme aux ontologies OWL, elles fournissent des fonctions qui permettent de créer une ontologie, de la lire, de créer le modèle en mémoire correspondant, de le modifier et de l'enregistrer. La plupart de ces bibliothèques sont implantées avec le langage Java. Les principales bibliothèques pour le traitement des ontologies OWL sont: OWL API<sup>1</sup> et Protégé-OWL API<sup>2</sup>.

Par ailleurs, Il existe aussi des logiciels qui sont capables, par déduction, d'extraire des connaissances implicites contenues dans une ontologie, tels que Jena API<sup>3</sup> , Pellet<sup>4</sup> ou Bossam<sup>5</sup>. Ces logiciels peuvent s'exécuter comme une application indépendante ou être appelés depuis un autre programme.

### 5.4.4 Choix retenus

Nous résumons nos choix retenus pour la création et le traitement d'ontologies et de règles SWRL dans le tableau 9.

Outil/langage	Choix
Création/édition d'ontologies	Protégé 3.4.4
Création/édition de règles SWRL	Plugin SWRLTab pour Protégé
Accès par programme aux ontologies	Jena Api
Moteur d'inférence	Pellet 2.2.2
Version d'OWL	OWL 2

**Tableau 9.** Choix d'outils pour la création et le traitement des ontologies

---

<sup>1</sup> <http://owlapi.sourceforge.net>

<sup>2</sup> <http://protege.stanford.edu/plugins/owl/api/>

<sup>3</sup> <http://jena.sourceforge.net/>

<sup>4</sup> <http://clarkparsia.com/pellet/>

<sup>5</sup> <http://bossam.wordpres.com/>

Les choix retenus sont les suivants : Protégé 3.4.4 pour la création et l'édition d'ontologies, avec le plugin SWRLTab pour l'édition des règles SWRL, Protégé-OWL API pour l'accès par programme aux ontologies, Pellet comme moteur d'inférence pour l'exécution des règles. Ce choix a été conditionné par le besoin d'utiliser certains built-ins SWRL qui sont disponibles seulement dans la version 3.4 de Protégé. Nous avons toutefois retenu Pellet pour les autres tâches de raisonnement telles que la vérification de la cohérence de l'ontologie ou sa classification car il est plus complet et plus puissant pour effectuer ces tâches. L'accès à Jena API est très simple grâce aux ponts spécifiques disponibles.

### 5.4.5 Outils pour la génération de l'hypermédia

En ce qui concerne l'adaptation du générateur de contenus, nous avons opté pour la solution des pages dynamiques. Avec un modèle de données au niveau du serveur. A cet effet, une architecture client/serveur est implémentée, imposant l'utilisation d'un serveur fiable. Notre démarche nous a conduit à utiliser Tomcat<sup>1</sup>, un générateur de servlets Java. Le serveur Tomcat est démon http similaire à Apache mais écrit en Java. Il permet l'exécution de Java Server Pages.

Les Servlets autrement dit JSP permettent de créer des programmes Java des pages actives dont le contenu est calculé lorsque la page est demandée. Ce calcul peut s'appuyer sur toutes les données recueillies auprès de l'apprenant et peut donc s'adapter aux préférences qu'il a pu exprimer.

Nous avons fait en sorte que le résultat de ces pages (HTML) passe par une couche de filtrage. Cette couche de filtrage est un programme Java permettant de réaliser quelques effets intéressants comme :

- Masquage ou remplacement de zones

---

<sup>1</sup> [www.apache.org](http://www.apache.org)

- Insertion de liens
- Ajout d'annotation

L'adresse où se trouve le document XML est transmise au serveur pour être exploitée à travers un filtrage. On appliquera ensuite au fur et à mesure sur tous les objets pédagogiques sélectionnés certaines transformations surtout pour les liens. Le système masque les liens hypertextes dont les pages cibles sont en inadéquation avec le modèle de l'apprenant (trop compliqués ou trop simples). Ainsi nous réduisons au maximum le nombre de liens hypertextes qui vont être affichés.

## 5.5 Prototype

Afin que le prototype soit réalisé dans un délai raisonnable avec un comportement satisfaisant, il faut limiter le périmètre fonctionnel

Ce prototype est encore à un stade expérimental au niveau de l'université de Batna. Nous confirmons l'importance du nombre d'objets pédagogiques impliqués pour pouvoir prétendre avoir un système qui s'adapte réellement à l'apprenant. Un atout important est la finesse des descriptions des objets disponibles pour faciliter l'accès. Aussi, la prise en compte des styles (préférences) d'apprentissage en tant que critère d'adaptation nous a beaucoup facilité l'assimilation des connaissances pédagogiques.

## 5.6 Scénarios d'utilisation

Nous présentons l'environnement MEDYNA et ses scénarios d'utilisation à travers des exemples tirés de la formation "Master" module d'enseignement "Base de données". Nous détaillons les différentes fonctionnalités offertes par notre environnement destinées aux utilisateurs (enseignants, apprenants). Ils peuvent éditer, enrichir, ou ajouter des objets pédagogiques aux notions comme ils peuvent aussi chercher, sélectionner ces objets par rapport à leurs styles d'apprentissage.

### 5.6.1 Edition des objets pédagogiques par les enseignants

Un outil d'édition pour les enseignants a été développé pour contribuer à alimenter les notions par des objets pédagogiques. La Figure 35 montre une capture d'écran de l'interface de création d'un nouvel objet pédagogique. Une fois cet objet saisi et validé, il sera en temps réel accessible.

Dans cette interface, plusieurs spécifications ont été définies:

- Partie haute de l'écran: l'enseignant peut cliquer sur le bouton Formation afin de spécifier selon ses choix la formation désirée (Master, Doctorat..). Les Modules enseignés concernant chaque formation sont récupéré à travers l'ontologie Thématique OWL élaborée, une fois le choix du module concerné, il va y avoir le chargement de l'ontologie de domaine ici "Base de Donnée".
- Partie droite de l'écran: L'arborescence permet une visualisation claire des notions auxquelles l'objet pourra être rattaché. L'attachement de l'objet se fait simplement par un double clic sur la notion sélectionnée dans l'arbre ici "Forme\_Normale\_2".
- Partie gauche de l'écran: Partie réservée aux informations concernant le nouvel objet. Pour ajouter cet objet, il suffit de remplir les champs des métadonnées (LOM) modélisées par le biais de l'ontologie "Objet pédagogique". L'objet en question sera indexé.



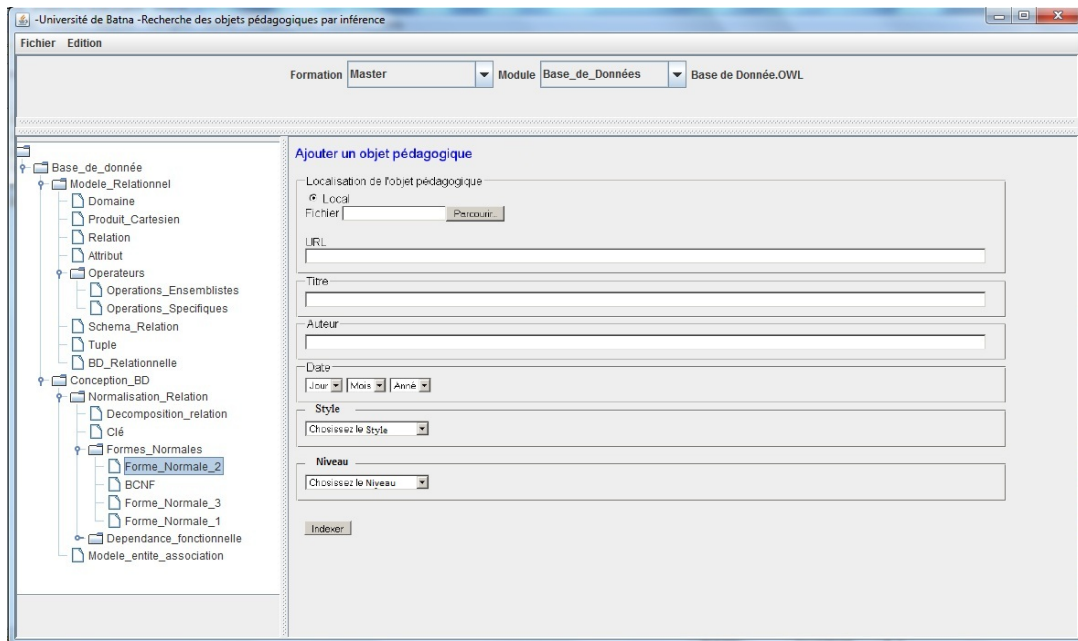


Figure 35. Ecran de saisie d'un objet pédagogique

### 5.6.2 Identification des styles d'apprentissage des apprenants

La Figure 36 montre une capture d'écran d'un nouvel apprenant au système. cette interface permet l'édition et la mise à jour des données concernant l'apprenant pour identification. Elle permet également de spécifier le choix des médias désirés.

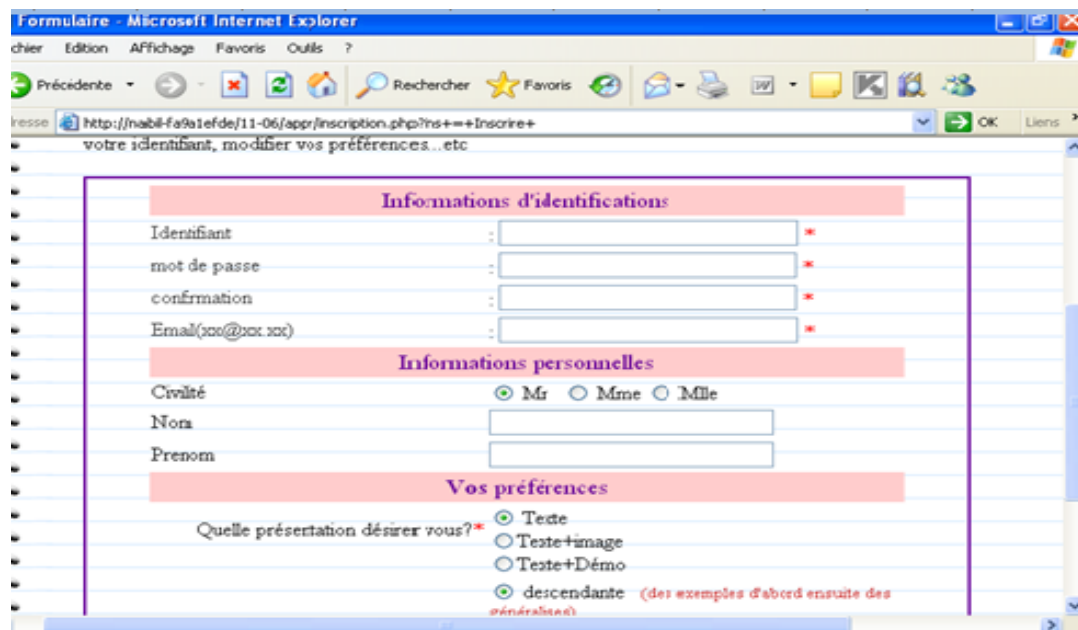


Figure 36. Saisie des informations concernant un apprenant

Une fois l'enregistrement d'un nouvel apprenant est effectué, un questionnaire lui est proposé pour déterminer son type psychologique. La figure 37, montre une capture d'écran d'une partie du questionnaire MBTI de détection des préférences psychologiques de l'apprenant. Une fois rempli et validé par l'apprenant, le système calcul et enregistre le résultat dans le modèle apprenant.

The screenshot shows a web browser window with the address bar displaying a local URL. The page has a decorative background with pink floral patterns. At the top, there are navigation tabs for 'Accueil', 'Formation', 'Recherche', and 'Contact'. The main heading is 'Les préférences psychologiques'. Below this, a sub-heading reads 'Cocher la reponse qui vous convient'. The form is divided into two columns and three rows of sections:

- Extraversion (E):**
  - Je suis plutôt orienté vers l'action.
  - Je m'exprime sur beaucoup de sujet.
  - Je suis facilement distraité.
- Introversion (I):**
  - Je suis plutôt orienté vers réflexion.
  - Je m'exprime sur le sujet que je connais bien.
  - J'ai une bonne concentration.
- Sensation (S):**
  - Je suis pratique.
  - J'aime perfectionner mes compétences.
  - Je m'attache aux faits.
- Intuition (N):**
  - Je suis créatif et théorique.
  - J'aime acquérir de nouvelles compétences.
  - Je m'attache aux idées.
- Jugement (J):**
  - J'aime l'organisation et la planification.
  - J'aime planifier ma vie et la maîtriser.
  - J'aime prendre les décisions et terminer les actions.
- Perception (P):**
  - J'aime plutôt vivre d'une façon flexible et spontané.
  - Je cherche à comprendre plutôt qu'à maîtriser.
  - Je préfère lancer des projets, vivre de expérience et m'adapter au moment présent.

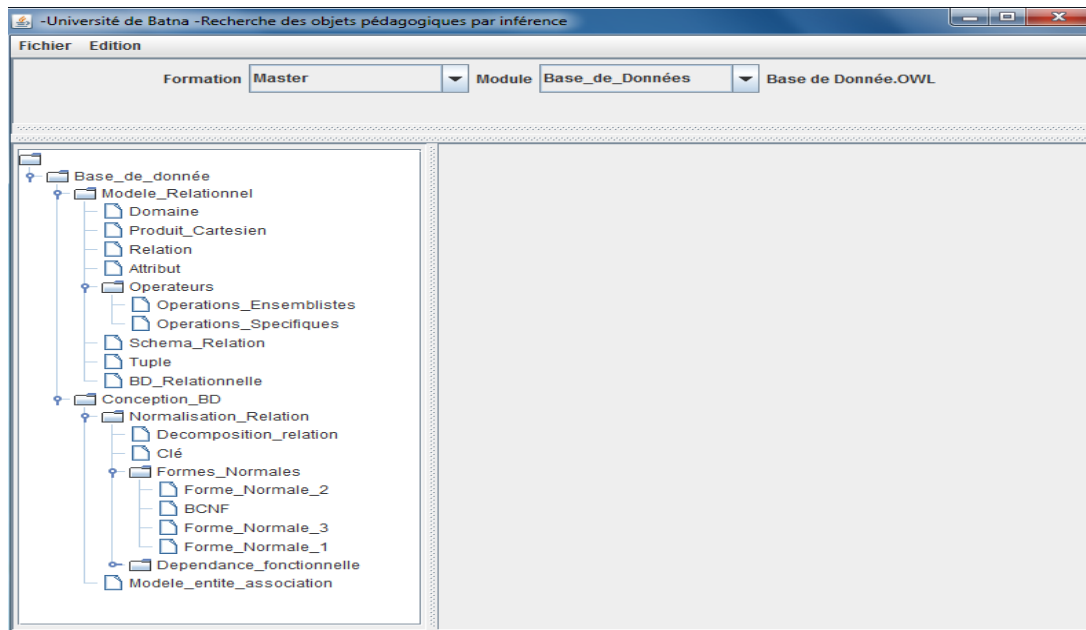
At the bottom of the form, there is a red button labeled 'Valider'.

**Figure 37.** Formulaire d'indicateur MBTI

### 5.6.3 Recherche des objets pédagogiques pertinents

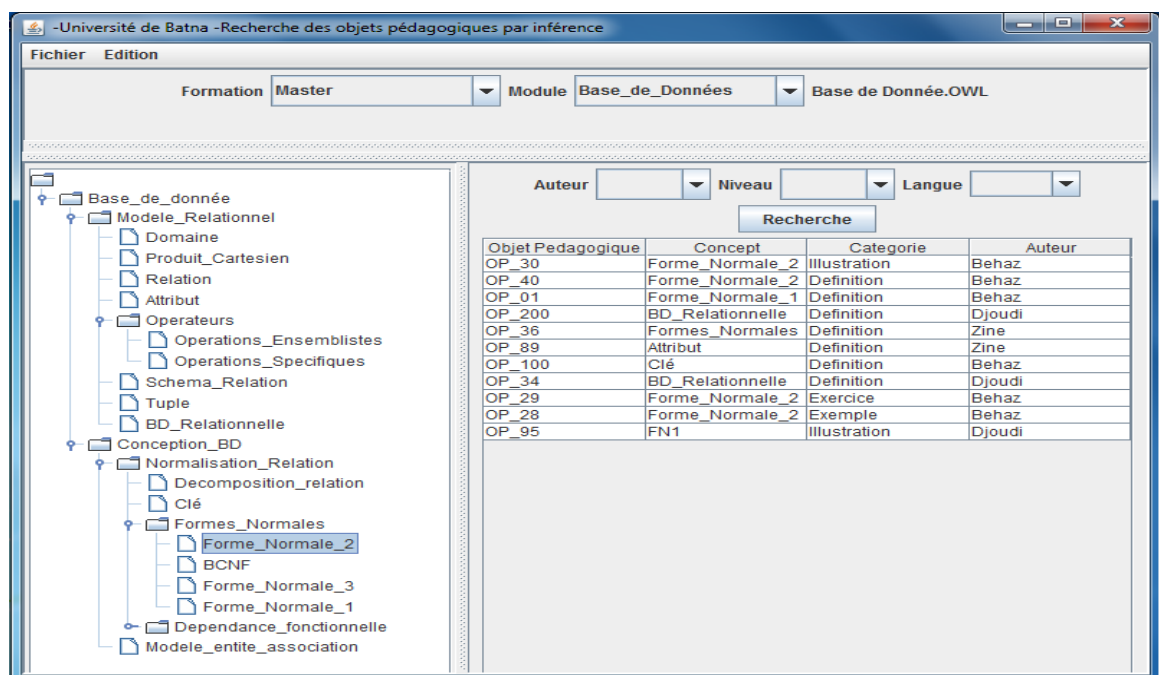
Pour accéder à notre outil de recherche, l'apprenant doit cliquer aussi sur le bouton Formation en haut de l'interface comme le montre la Figure 38 afin de spécifier selon ses choix la formation désirée ici "Master". Les Modules enseignés concernant cette formation sont récupérés, une fois le choix du module concerné, il va y avoir le chargement de l'ontologie de domaine ici aussi "Base\_de\_Donnée".

L'apprenant sera donc libre de naviguer verticalement dans la partie de gauche entre les différents concepts (notions) visualisés du domaine en question. Nous ne souhaitons pas qu'il ait à se servir du clavier pour formuler des requêtes.



**Figure 38.** Choix d'une Formation

Après avoir cliqué sur le concept en question ici par exemple le concept « Forme\_Normale\_2 » du module « Base\_de\_données », il va y avoir le déclenchement d'une série de règles d'inférences pour rechercher tous les types d'objets pédagogiques. Au début on aura dans la zone de droite de l'interface tous les objets qui sont liés explicitement ou implicitement inférés au concept comme le montre la Figure 39 :

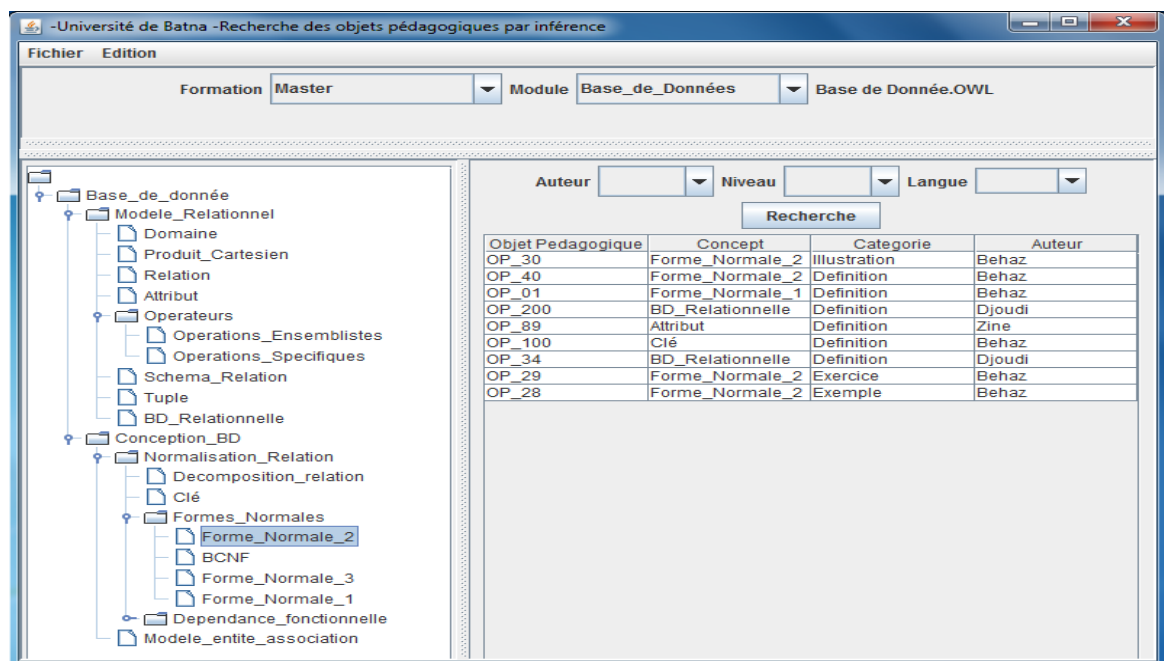


**Figure 39.** Résultat de recherche après inférence

Le résultat de l'étape précédente est une liste  $L_{Objets}$  (OP\_30, Op\_40, OP\_1, ...) qui est soumise à un autre module qui compare l'usage sémantique de chaque objet  $OP_j$  de la liste  $L_{Objets}$  avec la description des préférences d'apprentissage de l'apprenant. Ceci par application de mesure de cosinus.

$$D = \text{Cos}(Vp_{Ai}, Vs_{Obj}) = \frac{\sum_{i=1}^8 P_i \sum_{i=1}^8 S_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^8 P_i^2 \sum_{i=1}^8 S_i^2}}$$

Une autre liste  $L'_{Objets}$  est alors proposée à l'apprenant Figure 40. Cet ensemble d'objets se rapprochent le plus des styles d'apprentissages de l'apprenant. Ceci assure donc une meilleure assimilation des connaissances au rythme et aux capacités de compréhension de chaque apprenant.



**Figure 40.** Résultat final après sélection

#### 5.6.4 Génération de document hypermédia adaptatif

Dans les figures (Figure 41) et (Figure 42) une génération dynamique d'un même concept "Réseau" présenté à des apprenants de profils différents un de niveau de connaissances moyen qui préfère terminer sa tâche avant de passer à la suivante, qui privilégie l'aspect bien structuré donc le type de préférence ENTJ. Un autre apprenant de niveau excellent qui a besoin de souplesse, de

possibilités d'exploration, le type de préférence ESTP. Nous remarquons une adaptation tant au niveau de contenu que liens est effectivement réalisée. En effet, le contenu est généré différemment, plus de détails pour un apprenant moyen, moins de détails pour un apprenant excellent.



Figure 41. Document généré pour apprenant: "Moyen" et "type ENTJ "

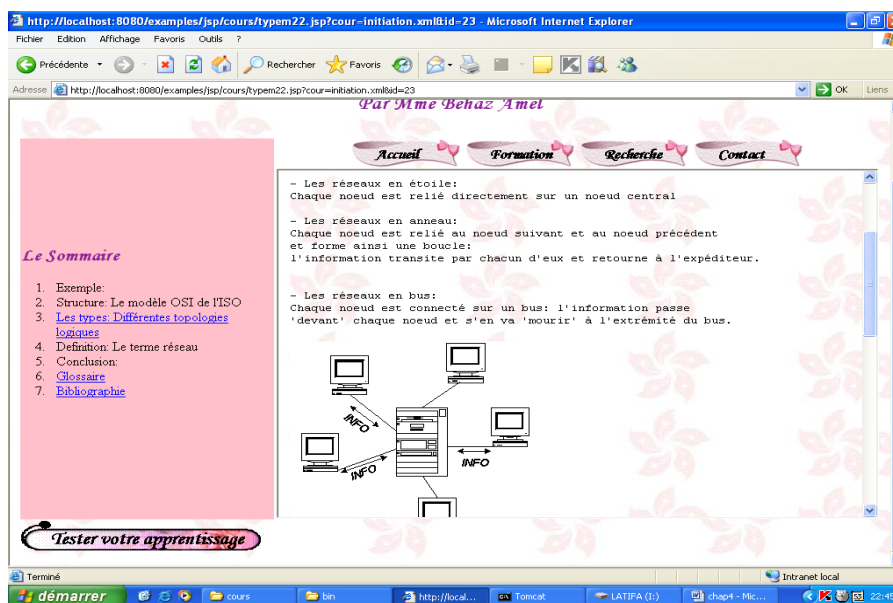


Figure 42. Document généré pour apprenant: "excellent" et "type ESTP "

Nous remarquons dans les figures 43 et 44 l'annotation des liens que nous proposons. Cette annotation est réalisée en utilisant différentes couleurs pour souligner le degré de pertinence des objets vers lesquels pointent les notions.



Figure 43. Liens moins compliqués



Figure 44. Liens trop compliqués

## 5.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit la réalisation de l'environnement MEDYNA où plusieurs outils et API de développement ont été intégrés. Ces outils ont permis de réaliser les fonctionnalités et les choix des modèles élaborés dans le chapitre 4. Nous avons présenté l'architecture adoptée, les fonctionnalités assurées par notre environnement et enfin, un prototype est décrit à travers des scénarios d'utilisation.

MEDYNA est un environnement numérique d'aide à l'apprentissage guidé par les ontologies. Cet environnement a permis de mettre l'apprenant en situation d'explorer les contenus des notions sans lui imposer des contraintes fortes. L'utilisation des relations sémantiques a permis aussi de bien restituer les objets pédagogiques pertinentes qui se rapprochent aux styles d'apprentissage des apprenants.

Dans le chapitre suivant, nous présentons les expérimentations effectuées.

# Chapitre 6 : Evaluation et retour d'expérience

## 6.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous décrivons le protocole d'évaluation utilisé dans nos tests, à savoir le dispositif expérimental et le test d'utilisabilité. Nous analysons les résultats obtenus. Enfin, nous présentons un bilan résultat de ces tests.

## 6.2 Dispositif expérimental

### 6.2.1 Principes et critères du test d'utilisabilité

Le test d'utilisabilité est une méthode efficace pour évaluer un logiciel car il permet d'observer directement la façon dont l'utilisateur se sert de l'application et ainsi d'identifier concrètement les véritables problèmes qu'il rencontre en situation d'utilisation. L'intérêt du test d'utilisabilité est de déterminer de façon objective l'utilisabilité de l'environnement. Ce test est l'occasion de voir l'utilisateur, enseignant ou apprenant, en situation et d'observer les problèmes qu'il rencontre, les questions qu'il se pose, ainsi que les fonctionnalités qu'il apprécie ou pas.

La norme ISO 9241-11 définit l'utilisabilité de la manière suivante : « Un système est utilisable lorsqu'il permet à l'utilisateur de réaliser sa tâche avec efficacité, efficience et satisfaction dans le contexte d'utilisation spécifié ». En d'autres termes, on considère qu'un logiciel est utilisable lorsque l'utilisateur peut réaliser sa tâche (efficacité), qu'il consomme un minimum de ressources pour le faire (efficience) et que le système est agréable à utiliser (satisfaction). Tester l'utilisabilité d'un système consiste donc à valider ces trois critères :

- Efficacité : Vérifier que les objectifs visés par l'utilisateur sont atteints.



- Efficience : Mesurer les ressources nécessaires pour atteindre ces objectifs, par exemple le temps que l'utilisateur met pour réaliser son objectif.
- Satisfaction : Déterminer si le système est agréable à utiliser, par exemple, le critère de satisfaction peut être inversement proportionnel au nombre de remarques négatives émises par les utilisateurs.

Il s'agit effectivement des points les plus représentatifs dans le cas général. Cependant, il peut être utile, selon les spécificités de l'application, d'évaluer d'autres aspects du logiciel :

- Sécurité : Nombre d'erreurs commises par l'utilisateur et rapidité de correction des erreurs.
- Facilité d'apprentissage : Compréhension correcte et assimilation rapide du mode de fonctionnement du logiciel.
- Navigation : La façon dont l'utilisateur navigue dans l'interface, les informations qu'il recherche ou les commandes dont il se sert le plus souvent.

### 6.2.2 Profils utilisateurs

D'après Nielsen (Nielsen, 2003) un test d'utilisabilité mené sur 5 utilisateur permet d'expérimenter l'environnement à 80% sur l'utilité perçue. En effet, ce n'est pas en augmentant le nombre d'utilisateur que l'on peut lever les problèmes d'utilisabilité. Mais, en augmentant le nombre d'objets pédagogiques impliqués dans une formation donnée qui permet d'augmenter la pertinence des résultats. Ainsi, pour tester notre environnement MEDYNA nous avons travaillé:

Coté enseignants: 10 enseignants des départements informatique et mathématiques à l'université de Hadj Lakhder (Algérie) pour deux niveaux d'études licence et master. Ces 10 enseignants ont été divisé en 2 groupes de 5. Chaque groupe nous sert à évaluer 2 critères d'utilisabilité.

- Efficacité de l'enseignant pour la création ou enrichissement des concepts des modules d'enseignements par des objets pédagogiques appropriés. le temps que passe l'enseignant pour terminer son travail.
- Facilité qu'a l'enseignant à utiliser l'interface du système.

Coté apprenants: 15 apprenants des mêmes départements appartenant aussi à deux niveaux d'études: 5 étudiants en master 2 (SRI) et 10 étudiants en 2<sup>eme</sup> années licence mathématique informatique. chaque groupe nous sert à évaluer 3 critères d'utilisabilité.

- Efficacité de l'apprenant à atteindre son objectif de formation;
- Satisfaction de l'apprenant de l'interface du système MEDYNA;
- Facilité qu'à l'apprenant à apprendre et assimiler le mode de fonctionnement du système MEDYNA.

### 6.2.3 matériels utilisés

Le test d'utilisabilité se passe dans une salle de travaux pratiques équipée de 20 postes de travail. Chaque utilisateur est affecté à un poste de travail sur lequel on a installé MEDYNA.

### 6.2.4 Déroulement du test

le test se passe comme suit:

Coté enseignants

- Présentation de l'environnement graphique et de l'intérêt de MEDYNA en utilisant un data show.
- Les enseignants sont invités à créer des modules d'enseignements spécifiés à des formations données. Pour chaque module sont invités à créer les concepts correspondants et enrichir ces derniers par des objets pédagogiques associés.

Coté apprenants

- Présentation de l'environnement graphique et de l'intérêt de MEDYNA en utilisant un data show.
- Les apprenants sont invités à répondre aux questionnaires MBTI afin d'identifier les types psychologiques et d'établir par la suite des préférences d'apprentissage.
- Les apprenants sont ensuite invités à explorer l'environnement MEDYNA pendant 1h30 pour apprendre sur les notions des modules choisis sans aucune consigne sur l'ordre d'exploration.

### 6.3 Résultats obtenus

À la fin de chaque test un questionnaire a été proposé à tous les apprenants pour savoir ce qu'ils pensaient de l'environnement MEDYNA et de l'approche d'apprentissage par exploration. Ce questionnaire est composé principalement de plusieurs parties: le profil de l'apprenant (types psychologiques, parcours d'apprentissage), la recherche des objets pédagogiques et la façon de présenter l'information.

Pour le profil apprenant l'idée est de savoir :

- Si les types psychologiques réels correspondent aux types psychologiques calculés par l'outil MBTI.

Réponse	Nombre apprenants	%
Oui	8	53.34
Un peu	3	20
Non	4	26.67

- Si le parcours d'apprentissage déduit par le système correspond réellement au parcours désiré par l'apprenant.

Réponse	Nombre apprenants	%
Oui	6	40
Un peu	4	26.67
Non	5	33.34

Pour la recherche l'idée est de savoir :

- Si les apprenants ont trouvés les objets pédagogiques recherchés par le système pertinents.

Réponse	Nombre apprenants	%
Oui	8	53.34
Un peu	5	33.34
Non	2	13.33

- S'ils ont trouvé que le système sélectionne effectivement les objets dont les styles se rapprochent le plus à ceux qui ont été calculé.

Réponse	Nombre apprenants	%
Oui	6	40
Un peu	6	40
Non	3	20

Pour la présentation l'idée est de savoir :

- Si les apprenants ont apprécié la présentation arborescente des notions d'un module d'enseignement guidé par les ontologies

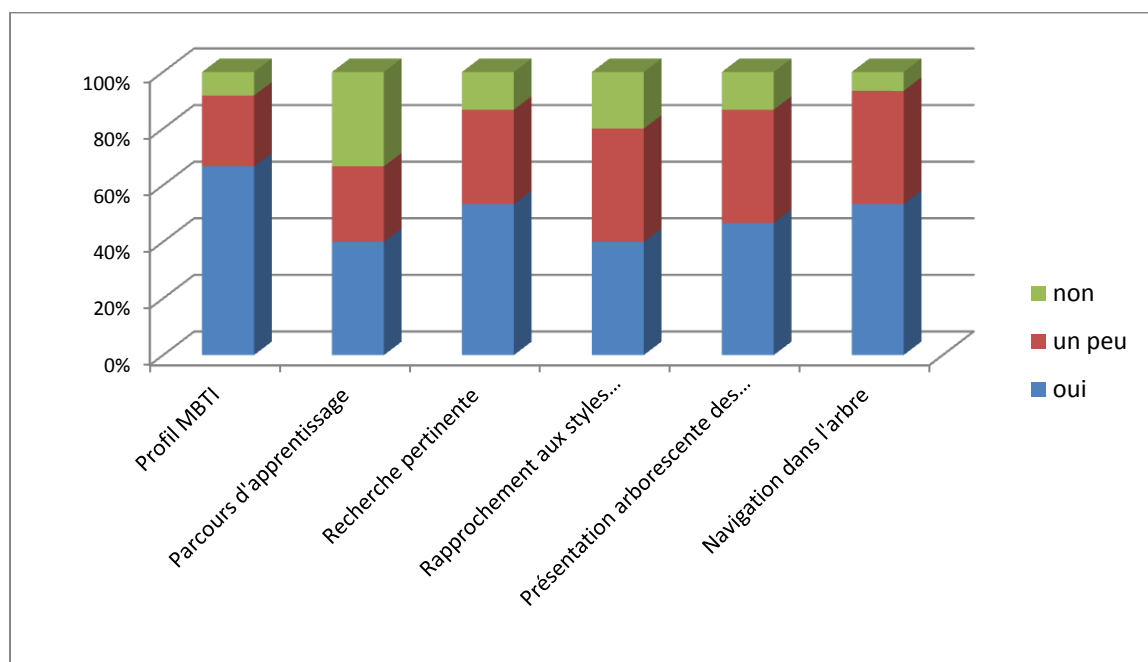
Réponse	Nombre apprenants	%
Oui	7	46.67
Un peu	6	40
Non	2	13.33

- Si la manière d'effectuer une recherche sur une notion (concept) par navigation dans l'arbre est agréable.

Réponse	Nombre apprenants	%
Oui	8	53.34
Un peu	6	40
Non	1	6.66

## 6.4 Synthèse des résultats

L'histogramme de la Figure 45 synthétise les résultats obtenus:



**Figure 45.** Résultats des tests

L'analyse de cet histogramme nous permet de tirer les conclusions suivantes:

- La plupart des apprenants ont apprécié l'ergonomie de l'interface MEDYNA et ont compris son fonctionnement ;
- La plupart des apprenants ont trouvé que les styles calculés par l'outil MBTI correspondent beaucoup à leurs styles réels;
- Aussi, les apprenants ont apprécié pour la plupart les parcours d'apprentissage déduits par le système;
- La structure graphique d'un module d'enseignement a permis aux apprenants de mieux conceptualiser le domaine des connaissances;
- L'apprentissage guidé par les notions du domaine n'a pas gêné les apprenants qui ont trouvé naturelle cette approche d'exploration.

## 6.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les résultats des expérimentations faites sur l'environnement d'apprentissage adaptatif MEDYNA. Ces expérimentations ont permis de tester l'utilisabilité de l'environnement, les styles d'apprentissage calculés, la recherche et la présentation des objets pédagogiques pertinents. Les retours obtenus sont satisfaisants:

- L'apprentissage de MEDYNA n'est pas assez facile. Mais une fois maîtrisé, le produit révèle des fonctionnalités assez intéressantes.
- L'interface est intuitive, bien qu'elle soit relativement lente à réagir. Ceci est dû à la lourdeur de la machine virtuelle Java.
- Le système est loin de fournir tous les outils, il faut y intégrer les messageries, les forums...
- Le nombre de fonctions pédagogiques est impressionnant.
- Il y'a effectivement des documents adaptés aux profils des apprenants, ainsi que des liens imposés sur la page personnelle.
- Les icônes traduisent bien leurs fonctions. Mais on met un peu de temps à comprendre à quoi servent certaines commandes.

## Conclusion générale et perspectives

MEDYNA est un environnement hypermédia adaptatif dynamique qui a été développé pour la création et la recherche d'objets pédagogiques. Cet environnement fournit aux apprenants un parcours guidé par les préférences d'apprentissage. Il suffit que l'apprenant choisisse la notion cible qui l'intéresse pour qu'un parcours d'apprentissage lui soit généré automatiquement. Les objets pédagogiques ainsi fournis à l'apprenant sont les résultats d'une recherche intelligente (inférence) par exploration de liens sémantiques dans les ontologies décrites.

### Bilan des travaux et apports de la thèse

Ce projet de thèse a été effectué selon une démarche comportant quatre phases principales :

1. Identification du mode d'apprentissage préféré de l'apprenant basé sur une approche de modèle de style. Nous nous sommes intéressés au modèle Myers-Briggs Type Indicator (MBTI).
2. Représentation et création des objets pédagogiques basés sur les modèles et les technologies du web sémantique. Notre recherche s'est orientée naturellement vers les ontologies.
3. Recherche et sélection des objets pédagogiques pertinents au profil apprenant basés sur des règles d'inférences SWRL implémentées.
4. Composition et présentation des contenus adaptatifs, à travers les méthodes et techniques des hypermédias adaptatifs.

Ces quatre phases sont développées ci-dessous :

## **Identification du mode d'apprentissage**

Nous avons développé un outil d'indicateur qui permet la détection et le calcul des valeurs des types psychologiques d'un apprenant selon le modèle MBTI. Nous pensons que les seize types de personnalités (ENFP, ESTJ, ISFJ,...) vont déterminer les façons préférées pour apprendre. Cela ne signifie pas qu'un apprenant ne possède que quatre préférences, mais que les quatre préférences montrent une plus grande présence dans nos calculs. Nous voulons utiliser cet aspect comme critère majeur d'adaptation des contenus. Les types les plus dominants vont traduire l'ordre de parcours des objets pédagogiques et ceci, afin de rythmer et personnaliser l'apprentissage aux apprenants.

## **Représentation des connaissances:**

Nos choix conceptuels pour la description et la gestion des connaissances dans MEDYNA sont orientés vers le formalisme des ontologies, noyau central et fondateur du Web sémantique. Ces ontologies permettent d'avoir des descriptions partagées et communes, donc réutilisables et aisément adaptables pour répondre à différents besoins de formation. L'architecture des connaissances que nous avons proposé est organisée à deux niveaux : D'une part, nous avons une ontologie "Apprenant" qui décrit les concepts relatifs aux caractéristiques des apprenants. D'autre part, nous avons des ontologies pour décrire les connaissances du domaine à savoir : ontologie "Thématique", ontologie du "Domaine d'application" et ontologie "Objet pédagogique". Des liens sémantiques entre concepts des ontologies ont été finement décrits.

## **Recherche et sélection d'objets pédagogiques**

L'approche présentée apporte une certaine intelligence dans le processus de recherche d'objets par l'exploitation des liens sémantiques entre les concepts et entre les objets pédagogiques. Par ailleurs, afin d'augmenter l'expressivité de la recherche pertinente nous avons incorporé un ensemble de règles SWRL



en exploitant la sémantique des liens par des mécanismes d'inférences qui permettent des raisonnements élaborés.

La phase de sélection des objets pédagogiques se rapprochant le plus aux préférences des apprenants est traduite par l'utilisation d'une mesure de distance géométrique (au sens vectoriel). Cette mesure permet de calculer une proximité sémantique entre vecteurs (le vecteur des préférences de l'apprenant  $V_p$  et les vecteurs  $V_s$  des styles des objets pédagogiques retrouvés après la phase de recherche.

### **Composition et présentation**

La description des connaissances et la recherche des objets pédagogiques nous a permis de générer un hypermédia adapté aux caractéristiques et préférences de l'apprenant. Pour nous, un cours adapté est considéré comme une entité composée d'une structure adaptative et d'un contenu adaptatif.

La structure adaptative est un plan hiérarchique défini par un parcours d'apprentissage préféré de l'apprenant. La préférence pour un parcours d'apprentissage adaptatif à savoir parcours théorique, pratique, ascendant ou actif est traduite par l'identification du type de personnalité dominant d'un apprenant selon l'indicateur MBTI. La structure du cours ainsi construite constitue un moyen de guidage pour assister les apprenants.

Le contenu adaptatif est un ensemble d'objets pédagogiques recherchés et sélectionnés selon les caractéristiques et contraintes des apprenants. Ces objets seront assemblés et composés dans un document XML selon les stratégies pédagogiques préférées. Aussi, la création des feuilles de styles CSS nous a permis de définir une manière d'adapter et de présenter chaque élément composant la structure du cours.

## **Conclusion**

Nous avons tenté de décrire un environnement numérique de type hypermédia adaptatif dynamique. Ce système se base sur l'intégration de

nouveaux paramètres de nature sémantique aux contenus pédagogiques et sur des outils de fonctionnalités différentes. Les outils développés sont utilisés soit pour la création et l'ajout des objets pédagogiques liés aux ontologies de domaines OWL, soit la diffusion et l'adaptation de ces objets en fonction des styles et caractéristiques de l'apprenant. L'objectif principal est que le créateur d'un hypermédia adaptatif particulier puisse très simplement, à partir de la plateforme et de ses ontologies prédéfinies, obtenir un système qui répond à ses besoins spécifiques tout en réutilisant au maximum propriétés et règles d'adaptation.

Nous voulons offrir à l'apprenant un mécanisme d'apprentissage par la découverte sans pour autant perdre le contrôle sur celui-ci. L'environnement MEDYNA doit pouvoir fournir les moyens de présenter les notions ou les objets pédagogiques qui se rapprochent le plus et s'adaptent aux styles d'apprentissage de l'apprenant. Nous souhaitons que l'apprenant joue un rôle actif dans sa propre formation en accédant selon ses besoins par lui-même aux informations susceptibles d'initier un savoir ou bien, le renforcer. L'apprenant reste maître de ses choix et de son parcours.

Notre système hypermédia adaptatif est dynamique car le contenu est créé sur mesure à partir d'éléments existants (profil apprenant, objets pédagogiques). L'apprenant est guidé par la navigation hypertextuelle des différents concepts des modules d'enseignement annotés par des ontologies.

L'approche présentée apporte une certaine intelligence dans le processus de recherche, sélection et composition des objets pédagogiques mais aussi plus de pertinence grâce à l'utilisation des ontologies et des règles d'inférence développées.

L'évaluation de notre approche en utilisant MEDYNA auprès des apprenants de l'université de Batna s'est traduite par un test d'utilisabilité. Le but de ce test est de voir comment MEDYNA a permis aux apprenants d'appréhender seuls les notions d'un module d'enseignement.

## Perspectives

Nous sommes conscients que notre travail est loin d'être complet et qu'il pourra évoluer dans un futur plus ou moins proche. Il est loin d'être achevé et nécessite encore beaucoup d'efforts et de persévérance. Les étapes suivantes sont pour nous décisives et consistent à nous préparer à affronter l'évolution des besoins des enseignants et des apprenants. Pour terminer, voici une liste de propositions qui sont autant d'améliorations possibles:

- Le profil de l'apprenant doit s'accompagner de métriques qui permettront de mesurer l'assimilation des connaissances. Pour évaluer les progrès des apprenants, notre environnement doit gérer un système d'évaluation par QCM.
- Pour rompre l'isolement de l'apprenant, nous proposons une approche de collaboration qui consiste à utiliser les connaissances du système sur les différents apprenants (stockées dans leurs modèles) pour former un groupe de travail. Par exemple les apprenants qui ont des objectifs ou styles d'enseignement similaires sont identifiés par le système et sont regroupés et proposés à l'apprenant qui sollicite de la collaboration.
- Effectuer une analyse des traces d'utilisation des différents objets pédagogiques par l'apprenant. Ceci va permettre sûrement d'affiner et de compléter la description de son style d'apprentissage préféré.
- Enfin, d'une part, nous pourrions effectuer des expérimentations à grande échelle. D'autre part, nous souhaitons également évaluer notre système en le comparant à d'autres systèmes basés sur des ontologies telles que celles présentées dans la section 3.6 du chapitre 3.

Nous affirmons encore que le degré d'adaptation d'un système d'apprentissage va dépendre de la qualité des traitements en interne mais aussi de la qualité des descriptions des objets pédagogiques, et des apprenants. Ce n'est qu'après cela que nous pourrions réellement prétendre que nos modestes contributions auraient apporté une pierre à l'édifice.

# Bibliographie

Abel, M.-H., Benayache, A., Lenne, D., Moulin, C. (2005) " E-MEMORAe: A contentoriented environment for e-learning" , In E-Learning Networked Environments and Architectures: A Knowledge Processing Perspective, Eds Springer

Abel M.-H., Lenne D., Moulin C. et Benayache (2003) A. Gestion des ressources pédagogiques d'une e-formation. Document Numérique 7(1-2): 111-128.

Abi Chahine C., Kotowicz J-P., Chaignaud N., Pécuchet J-P. (2009) Conception d'un outil d'aide à l'indexation de ressources pédagogiques": EIAH09 Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain, Le Mans 2009.

ALGORA

[http://ressources.algora.org/frontblocks/news/papers.asp?id\\_papers=1266](http://ressources.algora.org/frontblocks/news/papers.asp?id_papers=1266),  
(consulté en juillet 2010)

Arnaud P. (2004) " La gestion des ressources avec les métadonnées", Journée "Normes et standards éducatifs", 26 mars 2004, Lyon, France.

Balpe J-P., Lelu A., Papy F., Saleh I., (1996) « Techniques avancées pour l'hypertexte » Hermes

Basque J., Paquette G., Pudelko B. et al., (2008) "Collaborative Knowledge Modeling with a Graphical Knowledge Representation Tool: A Strategy to Support the Transfer of Expertise in Organizations.," Knowledge Cartography. Mapping Techniques and Software Tools., A. Okada, S. B. Shum and T. Sherborne, eds., London: Springer-Verlag,.

Benayache, A., Abel, M.-H. (2005) " Using knowledge management method for elearning" , In Methods and Technologies for Learning, Eds WIT Press, 2005, ISBN 1-84564-155-8.

- Benayache, A., "construction d'une mémoire organisationnelle de formation et évaluation dans un contexte elearning : le projet MEMORAE" thèse de doctorat université de technologie de Compiègne 5 décembre 2005.
- Berners-Lee T., Hendler J., Lassila O. (2001) "The Semantic Web" In *Scientific American*, pp. 20-88.
- Berners-Lee T. (1998) "Semantic Web road map" In Internal note, World Wide Web Consortium, Sep. 1998, <http://www.w3.org/DesignIssues/semantic.html>
- Blackboard <http://www.blackboard.com> (consulté en 2010)
- Bouzeghoub A., Defude B., Duitama J.F., Lecocq C. (2005) Un modèle de description sémantique de ressources pédagogiques basé sur une ontologie de domaine. *Sticef Volume 12*, 2005.
- Brusilovsky P., Millan E. (2007) "User models for adaptative hypermedia and adaptative educational system". In *the adaptative web*, LNCS 4321 pp 3-53.
- Brusilovsky P. Nejd, (2005) « Adaptive hypermedia and Adaptive Web », In: M. P. Singh (ed.) *Practical Handbook of Internet Computing*. Baton Rouge: Chapman Hall & CRC Press, pp. 1.1-1.14.
- Brusilovsky P., Vassileva J. (2003) "Course sequencing techniques for large-scale webbased education" In *International Journal of Continuing Engineering Education and Lifelong Learning*, 2003, vol 13, pp 75-94.
- Brusilovsky, P., Eklund, J., & Schwarz, E. (1998, Avril 14-18). Web-based education for all: A tool for developing adaptive courseware. In *Proceedings of Seventh International World Wide Web Conference, Computer Networks and ISDN Systems*, 30(1-7), 291-300.
- Brusilovsky, P. (1996). Methods and techniques of adaptive hypermedia. *User Modeling and User Adapted Interaction*, vol. 6 (2-3), pp. 87-129.
- Carolyn, S., (2001). Myers Briggs Type Preferences in Distance Learning Education. *International Journal of Educational Technology*, 2(2).
- Cha, H. J., Kim, Y. S., Park, S. H., Yoon, T. B., Jung, Y. M. et Lee, J. H. (2006) Learning Styles Diagnosis Based on User Interface Behaviors for the Customization of Learning Interfaces in an Intelligent Tutoring System. *Proc. ITS 06*, Springer.

- Corby et Al (2004) « Querying the Semantic Web with the Corese conception & development search Engine», proceeding of European Conference on Artificial Intelligence ECAI,.
- Mielnikoff M., (2005) "Qu'est ce que l' E-Learning"  
<http://dissertationsgratuites.com/dissertations/Elearning/124760.htm>  
 (consulté en juillet 2010)
- De Bra P., Nejdj W., (2004) « Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems », Third International Conference, AH 2004, Eindhoven, The Netherlands, August 23- 26.
- Dehors S. (2005) « QBLS : web sémantique de formation pour un apprentissage par questionnement», EIAH Montpellier.
- Delestre N. (2000). METADYNE, un Hypermédia Adaptatif Dynamique pour l'Enseignement », Thèse de l'Université de Rouen, Soutenue le 20 Janvier 2000.
- Dolog, P., Henze, N., Nejdj, W., & Sintek, M. (2004). "The personal Reader: Personalizing and Enriching Learning Resources using Semantic Web Technologies". International Conference on Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-based Systems.
- Desmoulins C. et Grandbastien M. (2002) "Ontologies pour la conception de manuels de formation à partir de documents techniques", STE, 9 (3-4), pp.291-340.
- Djoudi, M. (2011). "Environnements numériques de travail support à la qualité en enseignement universitaire". ICIST 2011 : 1st International Conference on Information Systems and Technologies, ISBN : 978-9931-9004-05, Tebessa, Algeria, April 24-26.
- Djoudi M., (2009) "eLEARNING IN ALGERIA: Experiences On E-Learning in Algerian Universities". , e-LEARNING Pratices, Cases on Challenges Facing E-Learning and National Development, ISBN 978-975-98, Vol. 1, Anadolu University, Eskisehir-Turkey, 1-31 (2009).
- DublinCore [http://dublincore.org/Dublin core metadata](http://dublincore.org/Dublin%20core%20metadata) (Consulté nov 2010).
- Duitama F., Defude B., Bouzeghoub A., and Carpentier C.,(2005) « A framework for the generation of adaptive courses based on semantic metadata », Multimedia Tools and Applications, 25-3 :377-390.

- Fontaine D., Benayache A., et Abel M., (2006) "L'accès aux ressources d'une formation guidé par des ontologies" *International Journal of Technologies in Higher Education* 3(3).
- Gérin-Lajoie D., Wilson D. (1999) "Technologies et facilitation de l'apprentissage", <http://mail.village.ca/refad/recherche/Technologies/>, site consulté en juillet 2009.
- Ghebghoub O., Djoudi M., (2006) Ontologies et web sémantique en enseignement à distance. 23ème Congrès de l'Association Internationale de Pédagogie Universitaire (AIPU), Monastir (Tunisie), 15-18 mai.
- Graf, S. (2007) *Adaptivity in Learning Management Systems Focussing on Learning Styles*, PhD Thesis. Vienna University of Technology, Austria.
- Hammache A., Ahmed-Ouamer R. (2009) *Système d'inférence pour une indexation de documents basée sur une ontologie de domaine*. Document numérique.
- Henze, N., Dolog, P., and Nejdl, W. (2004) Reasoning and Ontologies for Personalized E-Learning in the Semantic Web. *Educational Technology & Society*, 7(4), pp. 82-97
- Hernandez N., Mothe J., Ralalason B., Ramamonjisoa B., Stolf P. (2008) "A Model to Represent the Facets of Learning Objects". *Interdisciplinary Journal of Knowledge and Learning Objects*, Informing Science Institute, Volume 4, Santa Rosa-USA.
- Hernandez N. (2005) *Ontologies de domaine pour la modélisation du contexte en Recherche d'Information*. Thèse de doctorat université Paul Sabatier.
- Honey, P., Mumford A., (2000). *The Learning Styles Helper's Guide*. Maidenhead : Peter Honey Publications Ltd.
- Horrocks I., Patel-Schneider P. F., Boley H., Tabet S., Grosz B., et Dean M. (2004) : *SWRL : A Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML*. W3C MemberSubmission 21 May.
- Iksal S., Garlatti S., Ganier F., and Tanguy P. (2001) « Semantic composition of special reports on the web. a cognitive approach ». In Balpe J.-P., Leleu-Merviel S., Saleh I., and Laubin J.-M., editors, *Actes de H2PTM'01*, pages 363–378.

Hermès Science Publications, Hypertextes, hypermédias : nouvelles écritures, nouveaux langages.

Iles N., Chikh A., Mothe J., et Chouiti S.M. (2008) Un modèle distribué d'entrepôt pédagogique Utilisation de métadonnées LOM et annotations sémantiques Actes CEMAFORAD 4, Strasbourg.

IMS <http://www.imsglobal.org/profiles/index.html>. Ims learner information package spécification. (Consulté octobre 2010).

Jacquot C., (2006) "Modélisation logique et générique des systèmes d'hypermédias adaptatifs ", thèse de doctorat en Sciences de l'Université Paris-Sud XI Orsay.

Knublauch H., Ferguson R. W., Noy N. F. et Musen M. A (2004). : The Protégé OWL plugin :An open development environment for semantic web applications. pages 229- 243. Springer.

Koch N., Wirsing M. (2001): The Munich reference model for adaptive hypermedia applications. pages 213-222.

Laublet Ph., Reynaud C., Charlet J., (2003) "Sur quelques aspects du Web sémantique", In WS-SHS-2003, Paris, 7 Mai 2003.

Lando P. (2006)« Conception et développement d'applications informatiques utilisant des ontologies : application aux EIAH» RJC-EIAH

Laroussi M., (2001) Conception et réalisation d'un système didactique hypermédia adaptatif : CAMELEON. Thèse de doctorat, Université Manouba, Tunisie.

LOM <http://ltsc.ieee.org/wg12/>. Learning object metadata (consulté octobre 2010).

Michel, et C., Touissi, S. (2002) "Etude de l' organisation et caractérisation de l' information pédagogique pour le Web pour construire des hypermédias adaptatifs diffusés sur le Web", In actes du CIDE' 05, Hammamet - Tunisie, 20-23 octobre 2002, pp. 153-167.

Myers I., (1998). Guide to the Development and Use of the Myers-Briggs Type Indicator. CPP, Inc., 3rd édition.

Nielsen j., (2003)."Test d'utilisabilité" <http://www.usabilis.com/methode/test-utilisateur.htm> (consulté juin 2012)



- Oillo, D. et P. Barraqué (2000). « Universités virtuelles, universités plurielles », in Samier, H. (ed.) *L'université virtuelle*. Paris : Hermès Science Publications. pp. 17-36.
- Ollivier, B. et F. Thibault (2004). « Technologies, éducation et formation », in Hèrmes 38. *Cognition, Communication, Politique. Les sciences de l'information et de l'information: savoirs et pouvoirs*. Paris : CNRS Éditions. pp. 191-198.
- Paule Ruiz M. P., Fernández Díaz M. J., Ortín Sole F., Pérez J. R. (2008) "Adaptation in Current E-Learning Systems", *Computer Standards & Interfaces*, Elsevier, vol. 30, issue 1-2, pp 62-70.
- Papanikolaou, K. A., Grigoriadou, M., Kornilakis, H., et Magoulas, G. D. (2003) Personalizing the Interaction in a Web-based Educational Hypermedia System : The Case of INSPIRE. *UMUAI*, 13, pp.213-267.
- Paredes, P. et Rodriguez, P. (2004) A Mixed Approach to Modelling Learning Styles in Adaptive Educational Hypermedia. *Advanced Technology for Learning*, 1 (4), pp. 210-215.
- Parsia B., Sirin E., Grau B. C., (2011) Ruckhaus E. et Hewlett D. "Cautiously approaching SWRL" <http://mindswap.org/papers/CautiousSWRL.pdf>. (consulté en octobre 2011)
- Psyché V., Mendes O., et Bourdeau J. (2003) "Apport de l'ingénierie ontologique aux environnements de formation à distance", In *STICEF*, Vol. 10, ISSN : 1764-7223.
- Ranwez S., (2000) "Composition Automatique de Documents Hypermédias Adaptatifs à partir d'Ontologies et de Requêtes Intentionnelles de l'Utilisateur" Thèse de doctorat Université de Montpellier.
- Ranwez S. et Crampes M. (2003) "Instanciation d'ontologies pondérées et calcul de rôles pédagogiques - Principe et mise en œuvre", *STE-9/2002*, pp. 341-370.
- RDF World Wide Web Consortium (1999) "Resource Description Framework (RDF) Model and Syntax Specification", W3C Recommendation, 22 February 1999.
- RDFS World Wide Web Consortium (1999) "RDF Schema Specification 1.0", W3C Recommendation, Mars 2000 .

- Razmerita, L., (2005). User modeling and personalization of the Knowledge Management Systems, book chapter, in *Adaptable and Adaptive Hypermedia*, to be published by Idea Group Publishing.
- Rety, J-H., J-C. Martin, N. Bensimon, C. Pelachaud (2003). « Coopération entre un hypermédia adaptatif éducatif et un agent pédagogique », in Balpe, J-P., I. Saleh, D. Lepage, et F. Papy (ed.) *Hypertextes, hypermédias : créer du sens à l'ère numérique*. H2PTM'03. Paris : Hèrmes Science Lavoisier. pp. 191-200.
- Yessad A., (2009) *Construction d'un Environnement Pédagogique Adaptatif basé sur les modèles et Techniques du Web Sémantique*, Thèse de doctorat Université d'Annaba
- Reyes, E., Saleh I., (2007) « hypermedia semantic pedagogical content » 3rd. International conference on Technology, Knowledge and society. Cambridge University. Cambridge, Angleterre.
- Sancho G. (2010) "Adaptation d'architectures logicielles collaboratives dans les environnements ubiquitaires. Contribution à l'interopérabilité par la sémantique". Thèse de doctorat en Sciences de l'Université de Toulouse décembre 2010.
- Scorm <http://www.adlnet.org/>. (Consulté octobre 2010).
- Sigala M. (2008) "Integrating Web 2.0 in E-Learning Environments: A Socio-Technical Approach". *International Journal of Knowledge and Learning*, Vol. 3, No. 6, pp. 628-648,.
- Smith M. K., Welty C., et McGuinness D. L. (2004) : *OWL Web Ontology Language Guide*. W3C Recommendation, février 2004. Url : <http://www.w3.org/TR/owl-guide> (Consulté octobre 2011).
- Stash N, Cristea A, and Paul De Bra. (2005) *Explicit intelligence in adaptive hypermedia : Generic adaptation languages for learning preferences and styles*. International Workshop on Combining Intelligent and Adaptive Hypermedia Methods/Techniques in Web-based Education Systems.
- Todd C.R. Myers-Briggs Type Indicator. *The Skeptic's Dictionary*. <http://skepdic.com/myersb.html>. (Consulté Octobre 2008).

- Vargas V., et Lytras, (2008) " Personalized Learning Using Ontologies and Semantic"  
M.D. Lytras et al. (Eds.): WSKS 2008, LNAI 5288, pp. 177-186, 2008. Springer-Verlag Berlin Heidelberg Web Technologies.
- Vassileva, J. (1997). Dynamic Courseware Generation on the www. Proceedings of the workshop: Adaptive Systems and User Modeling on the World Wide Web. Sixth International Conference On User Modeling.
- Vidal P., Broisin J., Duval E, Ternier S. (2004) Normalisation et standardisation des objets d'apprentissages : l'expérience ARIADNE. Colloque « miage et e-mi@ge », ESG, 48-64.
- Woukeu A, Wills G, Grainne Conole, Leslie Carr, Simon Kampa, and Wendy Hall. (2003) Ontological hypermedia in education : A framework for building web-based educational portals. Proceedings of ED-MEDIA.
- Zhuhadar L., Nasraoui O., and Wyatt R. (2009) "Dual representation of the semantic user profile for personalized web search in an evolving domain," in Proceedings of the AAAI Spring Symposium on Social Semantic Web, Where Web 2.0 meets Web 3.0 pp. 84- 89.

# Liste des publications personnelles

## Publications dans des revues internationales

1. Behaz, A., Djoudi, M. (2012a). "Adaptation of learning resources based on the MBTI theory of psychological types". *International Journal of Computer Science Issues (IJCSI)*, ISSN : 1694-0814, Vol. 9, No. 2, January, pp 135-141.
2. Merzougui, G., Djoudi, M., Behaz, A. (2011a). "Conception and Use of Ontologies for Indexing and Searching by Semantic Contents of Video Courses". *International Journal of Computer Science Issues (IJCSI)*, ISSN : 1694-0814, Vol. 8, No. 6, November, pp 59-67.
3. Behaz, A., Djoudi, M. (2011). "Ontological Representation Models for Adaptive Hypermedia Construction". *International Review on Computers and Software (IRECOS)* ISSN: 1828-6003, Vol. 6, No. 2, March, pp 199-205.
4. Behaz, A., Djoudi, M. (2009). "Modélisation ontologique pour la création d'un hypermédia adaptatif". *International Journal of Information Sciences for Decision Making (ISDM)*, ISSN : 1265-499X, Vol. 39, Mai.
5. Behaz, A., Djoudi, M. (2005). "Génération dynamique de documents hypermédias adaptatifs dans un environnement numérique de travail". *Revue Africaine de la Recherche en Informatique et Mathématiques Appliquées (ARIMA)*, ISSN 1638-5713, Vol. 3, November, pp 25-53.
6. Membre du comité scientifique International élargi de la **Revue Internationale des Technologies en Pédagogie Universitaire (RITPU)** ISSN: 17087570 <http://www.ritpu.org/spip.php?article19>

## Communications dans des conférences internationales

7. Behaz, A., Djoudi, M. (2011b). "Adaptation des ressources pédagogiques basée sur la théorie MBTI des types psychologiques et les ontologies". ICIST 2011 : 1st International Conference on Information Systems and Technologies, ISBN : 978-9931-9004-05, Tebessa, Algeria, April 24-26.
8. Talhi, S., Ouadfel, S., Behaz, A., Djoudi, M. (2010). "Co-authoring an Adaptive Educational Hypermedia". Fifth IEEE International Conference on Digital Information Management, ICDIM 2010, ISBN: 978-1-4244-7572-8, Lakehead University, Thunder Bay, Canada, pp: 552-557, July 5-8, pp: 552-557.
9. Behaz, A., Djoudi, M. (2009a). "Modèles de représentation sémantique des ressources et profils apprenants pour la construction d'hypermédias adaptatifs". Rétrospective et perspective H2PTM'09, Lavoisier, ISBN: 978-2-7462-2491-9, Paris, 1 et 2 Octobre, pp:165-177.
10. Behaz, A., Djoudi, M. (2009b). "Contribution de génération d'un hypermédia d'enseignement adaptatif à base d'ontologies". 3emes Journées Francophones sur les ontologies JFO 2009 - Poitiers, 3-4 Décembre.
11. Behaz, A., Djoudi, M. (2009c). "Processus d'adaptation sur un modèle apprenant basé sur une ontologie". Colloque international sur les TICE et les méthodes d'enseignement/apprentissage des langues, Tipaza, Algérie, 30 mai - 1 juin.
12. Behaz, A., Djoudi, M. (2009d). "Modélisation ontologique pour la création d'un hypermédia adaptatif". Colloque international Tice Méditerranée Ticemed 2009, Milano Italia, 28 - 29 mai.

13. Behaz, A., Djoudi, M. (2009e). "Approche de modélisation d'un apprenant à base d'ontologie pour un hypermédia adaptatif pédagogique". Conférence Internationale sur l'Informatique et ses Applications, CIIA'09, Saida, Algérie, 3-4 mai.
14. Talhi, S., Ouadfel, S., Behaz, A., Merzougui, G., Djoudi, M. (2009f). "Séquencement d'objets pédagogiques dans un environnement hypermédia adaptatif". Conférence Internationale sur l'Informatique et ses Applications, CIIA'09, Saida, 3 - 4 mai.
15. Behaz, A., Djoudi, M. (2008). "Modélisation de l'apprenant dans les systèmes hypermédias adaptatifs". International Conference on Web and Information Technologies "ICWIT '08" International Conference on Web and Information Technologies "ICWIT '08", Sidi Bel Abbas (Algérie), 29-30 Juin.
16. Behaz, A., Djoudi, M. (2007). "Création dynamique de documents hypermédias adaptatifs". 10 ème Colloque International sur le Document Electronique, CIDE'10, Nancy France., 2 - 4 juillet.
17. Behaz, A., Djoudi, M. (2006). "MEDYNA : Un environnement numérique de travail de type hypermédia adaptatif dynamique". Colloque International sur l'Informatique et ses Applications, IA'2006, Ouajda, Maroc, October.
18. Behaz, A., Merzougui, G., Djoudi, M. (2005a). "Edition sémantique pour la production de différents formats de sortie HTML, PDF et SMIL à partir d'un même document de base". Congrès International en Informatique Appliquée, CIIA'05, Bordj Bou Arréridj, Algérie., November 19-21 .
19. Behaz, A., Merzougui, G., Djoudi, M. (2005b). "Approche de production de documents pédagogiques multimédias multi-formats". Séminaire Euro-Mditerranéen pour l'Approfondissement de la Formation à Distance, SEMAFORAD, Bejaia, Algérie., 12-14 Nov.

## Communications dans des congrès nationaux (avec comité de lecture)

20. Behaz, A., Zine M k., Djoudi, M. (2012b). " Un système d'inférence basé sur les ontologies pour la recherche d'objets pédagogiques pertinents" 1er Séminaire National sur les Technologies Educatives SNTE' 2012, Guelma, Algérie., 6-7 Mars.
21. Merzougui, G., Hidar, M., Behaz, A., Djoudi, M. (2009). "Description de Contenu de Cours Vidéo pour une Indexation par la Sémantique". Journées Scientifiques sur l'Informatique et ses Applications, JSIA'2009, Guelma, Algérie., 3 - 4 Mars.
22. Behaz, A., Djoudi, M. (2006). "Création et adaptation de documents pédagogiques hypermédias dans un environnement numérique de travail". Journées d'étude sur les TIC, JeTIC2006, Bechar, Algérie, 15-16 Avril.

# Annexes

## Annexe 1 : Parties du code OWL

### Code OWL Ontologie Thématique

#### *// Entête*

```
<?xml version="1.0"?>
<rdf:RDF
  xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
  xmlns:protege="http://protege.stanford.edu/plugins/owl/protege#"
  xmlns:xsp="http://www.owl-ontologies.com/2005/08/07/xsp.owl#"
  xmlns:owl="http://www.w3.org/2002/07/owl#"
  xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#"
  xmlns:swrl="http://www.w3.org/2003/11/swrl#"
  xmlns="http://www.owl-ontologies.com/Ontology1293984383.owl#"
  xmlns:swrlb="http://www.w3.org/2003/11/swrlb#"
  xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#"
  xml:base="http://www.owl-
  ontologies.com/Ontology1293984383.owl">
```

#### *// Déclaration de classes*

```
<owl:Ontology rdf:about=""/>
  <owl:Class rdf:ID="Module"/>
  <owl:Class rdf:ID="Formation"/>
  <owl:ObjectProperty rdf:ID="Comprend">
    <rdfs:range rdf:resource="#Module"/>
    <rdfs:domain rdf:resource="#Formation"/>
  </owl:ObjectProperty>
```

#### *// Déclaration d'individus et relation entre individus*

```
<Formation rdf:ID="Ingénieur">
  <Comprend>
```



```

    <Module rdf:ID="Système_Expert"/>
  </Comprend>
  <Comprend>
    <Module rdf:ID="Théorie_de_Langage"/>
  </Comprend>
  <Comprend>
    <Module rdf:ID="Compilation"/>
  </Comprend>
  <Comprend>
    <Module rdf:ID="Algorithmique"/>
  </Comprend>
  <Comprend>
    <Module rdf:ID="Architecture_des_Ordinateurs"/>
  </Comprend>
</Formation>

```

## Code OWL Ontologie Domaine "Base\_de\_données

### *// Déclaration de classes*

```

  <owl:Class rdf:ID="Base_de_donnée"/>
  <owl:Class rdf:ID="Dependance_fonctionnelle_elementaire">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Dependance_fonctionnelle"/>
  </owl:Class>
  <owl:Class>
    <owl:unionOf rdf:parseType="Collection">
      <owl:Class rdf:about="#Operations_Ensemblistes"/>
      <owl:Class rdf:about="#Operations_Specifiques"/>
    </owl:unionOf>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:about="#Conception_BD">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Base_de_donnée"/>
    <owl:disjointWith>
      <owl:Class rdf:about="#Modele_Relationnel"/>
    </owl:disjointWith>
  </owl:Class>
  <owl:Class>
    <owl:unionOf rdf:parseType="Collection">
      <owl:Class rdf:ID="Produit_Cartesien"/>
      <owl:Class rdf:about="#Operateurs"/>
    </owl:unionOf>
  </owl:Class>

```

```

    <owl:Class rdf:about="#BD_Relationnelle"/>
    <owl:Class rdf:about="#Attribut"/>
    <owl:Class rdf:ID="Schema_Relation"/>
    <owl:Class rdf:ID="Tuple"/>
    <owl:Class rdf:about="#Domaine"/>
    <owl:Class rdf:about="#Relation"/>
  </owl:unionOf>
</owl:Class>
.....

```

*// Déclaration de relations entre Concepts de l'ontologie de domaine*

```

<owl:ObjectProperty rdf:ID="Partie_de">
  <rdfs:range rdf:resource="#Concept"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="#Concept"/>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="Pre_requis">
  <rdf:type
  rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#TransitiveProperty"/>
  <rdfs:range rdf:resource="#Concept"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="#Concept"/>
</owl:ObjectProperty>

```

Code OWL Ontologie Objet\_pédagogique

*// Entête*

```

<?xml version="1.0"?>
<rdf:RDF
  xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
  xmlns:protege="http://protege.stanford.edu/plugins/owl/protege#"
  xmlns="http://www.owl-ontologies.com/Ontology1300212513.owl#"
  xmlns:xsp="http://www.owl-ontologies.com/2005/08/07/xsp.owl#"
  xmlns:owl="http://www.w3.org/2002/07/owl#"
  xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#"
  xmlns:swrl="http://www.w3.org/2003/11/swrl#"
  xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#"
  <owl:Ontology rdf:about="" />
  .....

```

## // Déclaration de Classes

```
....  
<owl:Class rdf:ID="Objet_pedagogique"/>  
  <owl:Class rdf:ID="Categorie"/>  
<owl:Class rdf:ID="Méta_donnée_LOM"/>  
  <owl:Class rdf:ID="Style"/>  
    <owl:Class rdf:ID="Date">  
      <rdfs:subClassOf>  
        <owl:Class rdf:ID="Méta_donnée_LOM"/>  
      </rdfs:subClassOf>  
    </owl:Class>  
<owl:Class rdf:ID="Langue">  
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Méta_donnée_LOM"/>  
</owl:Class>  
  <owl:Class rdf:ID="Auteur">  
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Méta_donnée_LOM"/>  
</owl:Class>  
  <owl:Class rdf:ID="Niveau">  
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Méta_donnée_LOM"/>  
</owl:Class>  
.....
```

## // Déclaration de relations

```
....  
owl:ObjectProperty rdf:ID="Similaire-à">  
  <rdfs:range rdf:resource="#Objet_pedagogique"/>  
  <owl:inverseOf rdf:resource="#Similaire-à"/>  
  <rdfs:domain rdf:resource="#Objet_pedagogique"/>  
  <rdf:type  
rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#SymmetricProperty"/>  
  <rdf:type  
rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#TransitiveProperty"/>  
</owl:ObjectProperty>  
<owl:ObjectProperty rdf:ID="a-pour-objet">  
  <owl:inverseOf>  
    <owl:FunctionalProperty rdf:ID="traite"/>  
  </owl:inverseOf>  
  <rdfs:range rdf:resource="#Objet_pedagogique"/>  
  <rdfs:domain rdf:resource="#Concept"/>
```

```

</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="est-Partie-de">
  <rdfs:domain rdf:resource="#Concept"/>
  <rdfs:range rdf:resource="#Concept"/>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="cite">
  <rdfs:domain rdf:resource="#Objet_pedagogique"/>
  <rdfs:range rdf:resource="#Objet_pedagogique"/>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="ecrit_Par">
  <rdfs:range rdf:resource="#Auteur"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="#Objet_pedagogique"/>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="ecrit_En">
  <rdfs:range rdf:resource="#Langue"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="#Objet_pedagogique"/>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="a_Niveau">
  <rdfs:domain rdf:resource="#Objet_pedagogique"/>
  <rdfs:range rdf:resource="#Niveau"/>
</owl:ObjectProperty>
.....

```

### *// Insertion d'individus*

```

....
<Objet_pedagogique rdf:ID="OP_31">
  <a_Niveau>
    <Niveau rdf:ID="Bas"/>
  </a_Niveau>
  <ecrit_En>
    <Langue rdf:ID="Anglais"/>
  </ecrit_En>
  <a_categorie>
    <Categorie rdf:ID="Definition"/>
  </a_categorie>
  <ecrit_Par>
    <Auteur rdf:ID="Behaz"/>
  </ecrit_Par>
</Objet_pedagogique>

```

```
<Objet_pedagogique rdf:ID="OP_32">
  <ecrit_Par rdf:resource="#Behaz"/>
  <a_Niveau rdf:resource="#Bas"/>
  <a_categorie>
    <Categorie rdf:ID="Exemple"/>
  </a_categorie>
  <ecrit_En rdf:resource="#Anglais"/>
</Objet_pedagogique>
....
```

*// Insertion de règle SWRL*

```
....
<swrl:Imp rdf:ID="Rule-3">
  <swrl:body>
    <swrl:AtomList>
      <rdf:first>
        <swrl:IndividualPropertyAtom>
          <swrl:argument2>
            <swrl:Variable rdf:ID="y"/>
          </swrl:argument2>
          <swrl:propertyPredicate rdf:resource="#Similaire-à"/>
          <swrl:argument1>
            <swrl:Variable rdf:ID="x"/>
          </swrl:argument1>
        </swrl:IndividualPropertyAtom>
      </rdf:first>
      <rdf:rest>
        <swrl:AtomList>
          <rdf:rest rdf:resource="http://www.w3.org/1999/02/22-
rdf-syntax-ns#nil"/>
          <rdf:first>
            <swrl:IndividualPropertyAtom>
              <swrl:argument1 rdf:resource="#y"/>
              <swrl:argument2>
                <swrl:Variable rdf:ID="z"/>
              </swrl:argument2>
              <swrl:propertyPredicate rdf:resource="#cite"/>
            </swrl:IndividualPropertyAtom>
          </rdf:first>
```

```

        </swrl:AtomList>
    </rdf:rest>
</swrl:AtomList>
</swrl:body>
<swrl:head>
    <swrl:AtomList>
        <rdf:first>
            <swrl:IndividualPropertyAtom>
                <swrl:propertyPredicate rdf:resource="#cite"/>
                <swrl:argument1 rdf:resource="#x"/>
                <swrl:argument2 rdf:resource="#z"/>
            </swrl:IndividualPropertyAtom>
        </rdf:first>
        <rdf:rest rdf:resource="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-
syntax-ns#nil"/>
    </swrl:AtomList>
</swrl:head>
</swrl:Imp>
.....

```

## Annexe 2 : Intégration des API Jena et Pellet

Pour pouvoir extraire et raisonner sur les données des fichiers OWL créés on doit intégrer les bibliothèques Jena et Pellet, car on a besoin de travailler avec un modèle (Model) : c'est un conteneur pour les déclarations RDF. La classe de modèle est dans le package : `com.hp.hpl.jena.rdf.model` on doit donc l'importer.

Après cela, les utilisateurs sont confrontés au problème de compatibilité des versions de Jena et Pellet . La solution serait donc de supprimer le fichier JAR `pellet-cli`. Après cela, toutes les versions de Jena fonctionne très bien avec Pellet.

La lecture de l'ontologie `Thematique` ne contient aucune inférence, nous n'avons donc pas utilisé Pellet, nous pouvons lire l'ontologie sans raisonneur comme suit:

```
final String FileName= "file:C:/Users/Behaz/Documents/Projet  
final/thematique.owl";
```

Par contre, dans l'ontologie Objet pédagogique, nous avons utilisé le raisonneur pour obtenir des inférences sur les objets pédagogiques

```
OntModel m = ModelFactory.createOntologyModel(  
OntModelSpec.OWL_MEM, null );  
m.read(FileName)
```

## Annexe 3 : Code source

//Partie du code source ajout d'objets pédagogiques

```
import java.awt.GridLayout;  
import java.awt.event.ActionEvent;  
import java.awt.event.ActionListener;  
import java.io.BufferedWriter;  
.....  
import com.hp.hpl.jena.ontology.Individual;  
import com.hp.hpl.jena.ontology.OntClass;  
import com.hp.hpl.jena.ontology.OntModel;  
import com.hp.hpl.jena.ontology.OntModelSpec;  
.....  
import com.hp.hpl.jena.util.iterator.ExtendedIterator;  
public class Fenetre extends JFrame {  
    private JTextField jtf = new JTextField(" Entrer un Nom");  
    private JLabel label = new JLabel("Name Of OP");  
    private JComboBox comb2=new JComboBox();  
    private JComboBox comb3=new JComboBox();  
        public Fenetre()          final String base =  
"http://www.owl-ontologies.com/Ontology130413.owl#";  
.....  
    OntClass Object =model.getOntClass("http://www.owl-  
ontologies.com/Ontology1300212513.owl#Objet_pedagogique");  
        final Individual ind0 = model.createIndividual(  
"http://www.owl-ontologies.com/Ontology1300212513.owl#"+ d ,  
Object);  
        .....  
    OntClass Auteur= model.getOntClass("http://www.owl-  
ontologies.com/Ontology1300212513.owl#Auteur");/* inserer  
l'auteur de l'objet crée */  
        .....
```

```

        OntClass concept= model.getOntClass("http://www.owl-
ontologies.com/Ontology1300212513.owl#Concept"); /* lier l'objet
insi créé au concept correspondant */

        ExtendedIterator listconcept = concept.listInstances();

        while (listconcept.hasNext())
        {
            OntResource thisconcept = (OntResource)
listconcept.next();
            comb3.addItem(thisconcept.getLocalName());
        }
        .....

```

## //Partie du code source Recherche d'objets par inférence

```

import javax.swing.*;
import javax.swing.event.TreeSelectionEvent;
import javax.swing.event.TreeSelectionListener;
import javax.swing.table.DefaultTableModel;
.....
import org.mindswap.pellet.jena.PelletReasonerFactory;
import com.hp.hpl.jena.ontology.Individual;
import com.hp.hpl.jena.ontology.OntClass;
import com.hp.hpl.jena.ontology.OntModelSpec;
import com.hp.hpl.jena.ontology.OntResource;
import com.hp.hpl.jena.rdf.model.ModelFactory;
.....
import java.util.List;
import java.util.Vector;
.....
JButton btl=new JButton("Recherche");
    JComboBox combobox7=new JComboBox();
    JLabel label4=new JLabel("Date");
    JComboBox combobox44=new JComboBox();
    JLabel label5=new JLabel("Niveau");
    JLabel label9=new JLabel("Langue");
    JComboBox combobox9=new JComboBox();
    JComboBox combobox5=new JComboBox();
    JLabel label6=new JLabel("Categorie");

```



```

.....
private JLabel label3=new JLabel("Base de Donnée.OWL");
private JLabel labels=new JLabel("Compilation.OWL");
.....
final String FileName= "file:C:/Users/Behaz/Documents/Projet
final/thematique.owl";

    final String FileName3= "file:C:/Users/Behaz/Documents/Projet
final/dxf.owl";

OntModel m = ModelFactory.createOntologyModel(
OntModelSpec.OWL_MEM, null );

OntModel modell=
ModelFactory.createOntologyModel(PelletReasonerFactory.THE_SPEC);
.....
public Fenetre(){

    m.read(FileName); /* lire l'ontologie par le modele m*/

        this.setTitle("-Université de Batna -Recherche des
objets pédagogiques par inférence"); /*le titre de l'interface*/

        this.setSize(800, 588);

.....
while (instancesd.hasNext())

{Individual thisInstanced = (Individual) instancesd.next();
/*parcourir tout les individu de la classe Formation*/

    if(comb.getSelectedItem().equals(thisInstanced.getLocalName())){
/* tester le choix de la formation choisie par l'utilisateur avec
les individus de la classe formation*/

comb1.removeAllItems(); /* vider le combobox de module , si
l'user fait un nouveau choix (nouvelle formation l ancien
resultat de la formation précédente sélectionner sera vider */

chargercomb1(thisInstanced); /* charger le combobox Module
selon la formation sélectionner par l'user, la methode prend
comme parametre l'individu sélectionner par l'user */

.....
String FL1="file:C:/Users/Behaz/Documents/Projet
final/BaseRssd.owl"; /* charger l'ontologie de domaine base de
données*/

.....
public void afficherTree( String FN){ /* cette méthode
affiche l'arbre graphique pour l'ontologie de domaine*/

    final JTree arbre;

        final String FileName= FN;

        final OntModel m = ModelFactory.createOntologyModel(
OntModelSpec.OWL_MEM, null );

        m.read(FileName);

            DefaultMutableTreeNode racine = new
DefaultMutableTreeNode(" ");

```

```

        ExtendedIterator classes =
m.listHierarchyRootClasses();
.....
OntClass Op=modell.getOntClass("http://www.owl-
ontologies.com/Ontology1300212513.owl#Objet_pedagogique");
/* lire la classe Objet pédagogique*/

    ExtendedIterator OpInstance = Op.listInstances();
list8.clear();
.....
Property RK= modell.getProperty("http://www.owl-
ontologies.com/Ontology1300212513.owl#traite");          /* chaque
objet pédagogique traite un concept, cette methode permet de
récupérer les objets qui traitent chaque concept */
NodeIterator valuesw = OpIndiv.listPropertyValues(RK);
.....
while (valuesw.hasNext())
{OntResource value = (OntResource) valuesw.next();
if (node.toString().equals(value.getLocalName())){
list8.add(new String(OpIndiv.getLocalName() ));
System.out.println("objet Pédagoique " +
OpIndiv.getLocalName());
.....
Property dfry = modell.getProperty("http://www.owl-
ontologies.com/Ontology1300212513.owl#traite");
NodeIterator valuesxc = OpIndiv.listPropertyValues(dfry);
    while (valuesxc.hasNext()) {
        OntResource valuexx = (OntResource) valuesxc.next();
        System.out.println("Property Traite " + valuexx.getLocalName());

        Property rry = modell.getProperty("http://www.owl-
ontologies.com/Ontology1300212513.owl#a_categorie");          /*
récupérer la catégorie de chaque objet pédagogique */
NodeIterator vct = OpIndiv.listPropertyValues(rry);
while (vct.hasNext()) {
OntResource vctr = (OntResource) vct.next();

Property kkh= modell.getProperty("http://www.owl-
ontologies.com/Ontology1300212513.owl#ecrit_Par");          /*
récupérer l'auteur de chaque objet pédagogique */
NodeIterator jxt = OpIndiv.listPropertyValues(kkh);
while (jxt.hasNext()) {
OntResource bbh = (OntResource) jxt.next();

model0.addRow(new String[]
{OpIndiv.getLocalName(),valuexx.getLocalName(),vctr.getLocalName(
),bbh.getLocalName() });          /* mettre dans le modele la liste
des objets pédagogiques liés au concept sélectionné avec leur
propriétés : auteur, catégorie , concept */

```

## Annexe 4 : Questionnaires

## Annexe 5 : Fiches d'évaluation