

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
**Université Kasdi Merbah de Ouargla (ALGERIE)**

# **Mémoire**

*En vue de l'obtention du diplôme de*

**Magistère**

*Spécialité :*

**Informatique**

*Option :*

**Informatique et Communication Electronique**

## **Modélisation à base d'ontologie d'une plate-forme de E-Learning**

*Présenté le 28 mai 2009*

*Par*

***Khalida Farida KHELILI***

Devant le jury composé de :

<i>Président</i>	<b>Dr Fatima-Zohra Laallam</b>	MC. Université de Ouargla
<i>Examineurs</i>	<b>Dr Chabane Khentout</b>	MC. Université de Sétif
	<b>Dr Lamri Doudi</b>	MC. Université de Sétif
<i>Rapporteur</i>	<b>Dr Mahieddine Djoudi</b>	MC. Université de Poitiers
<i>Co-Rapporteur</i>	<b>Dr Samir Zidat</b>	MC. Université de Batna

# Remerciements

## Un grand merci a ....

Un grand Merci à **DIEU** tout puissant pour l'aide et le courage qu'Il m'a donné pour accomplir mon travail et terminer ce mémoire, et .... **MERCI** pour tout ce qui est impossible de citer dans ce mémoire.

## Un grand Merci à ....

**Mr Mahieddine Djoudi** d'avoir accepté d'être rapporteur de ce mémoire, je le remercie aussi pour ses conseils, sa patience et sa compréhension.

**Mr Samir Zidat** d'avoir accepté d'être co-rapporteur de ce mémoire, je le remercie aussi pour ses encouragements pour la réalisation de ce travail.

**Madame Fatima-Zohra Laallam** d'avoir accepté de présider le jury de mon mémoire, je la remercie aussi pour sa gentillesse, et ses conseils de grande sœur dans les moments difficiles.

**Mr Chabane Khentout et Mr Lamri Doudi** d'avoir accepté d'être examinateur de mon mémoire, merci pour leur lecture.

Je tiens à remercier sincèrement aussi Mr **Herrouz Abdelhakim** pour le travail remarquable qu'il a fait pour l'ouverture du projet de post-graduation, pour le temps immense qu'il a consacré et sa sincérité toute au long de ces trois années. Je le remercie aussi pour ses conseils et sa bienveillance, ... **MERCI** infiniment pour tout.

Un **GRAND MERCI** qui ne sera jamais assez suffisant pour exprimer ma grande reconnaissance et gratitude à ma chère **MERE** pour tout ce qu'elle a fait pour moi, pour ses sacrifices, pour l'amour quelle me donne toujours et la tendresse infinie, pour les moments qu'elle a passé avec moi loin de sa maison pour ne pas me laisser travailler seule.

**Un grand MERCI** aussi aux membres de ma famille qui m'ont donné un grand soutien et encouragement pour réaliser ce travail, aucune expression de remerciement ne sera jamais assez pour eux. Je tiens à remercier spécialement :

**Ma chère grande sœur NACIRA** pour ses sacrifices, pour ses conseils et sa grande patience, pour son aide, et sa présence, pour son grand amour, et ... merci de m'avoir supporté dans les moments de saute d'humeur où j'étais (insupportable), merci pour le soutien moral infini, ... **MERCI, MERCI** infiniment pour tous.

**MA chère sœur NADIA** pour son amour, sa présence toujours pour moi, et sa compréhension, merci pour son soutien moral, .... **MERCI** infiniment pour tous.

Mes chers trois frères **TAHAR, KARIM, et TAREK** pour leur présence toujours pour moi, pour leurs conseils et leur soutien moral. Merci infiniment à mon grand frère **TAHAR** pour ses grandes sacrifices pour nous tous, et sa présence toujours pour nous.

Mon cousin **ABDELHAFIDH** pour son aide et sa présence pour moi dans les moments où il n'y avait personne pour m'aider.... **MERCI** infiniment.

Et enfin, un grand **MERCI** à mes collègues de post-graduation et amis **SALIM et MOUNIRA**, merci pour leurs encouragements infinis, et pour leur présence dans les moments de découragement et de blocage, leur présence a fait une différence ... **MERCI**.

# Résumé

De nos jours avec l'avènement de l'Internet, les nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication "TIC" améliorent profondément nos façons de nous informer, de communiquer et de nous former. Cette émergence technologique fait apparaître 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, diffusées par l'intermédiaire d'un réseau (Internet ou Intranet) ou d'un autre média électronique. Cet accès permet de développer les compétences des apprenants, tout en rendant le processus d'apprentissage indépendant du temps et du lieu.

Ce mémoire propose de bénéficier de ces nouvelles TICs par l'intégration des concepts innovants du Web sémantique et des ontologies dans le domaine de l'apprentissage médiatisé sur le Web, on prenant comme exemple le domaine d'enseignement universitaire qui repose sur le système LMD (Licence, Master, Doctorat).

Pour mettre en œuvre notre mémoire, nous proposons la conception d'un système d'aide permettant d'apporter aux acteurs pédagogiques l'assistance dont ils ont besoin lors d'une formation universitaire en ligne, il s'agit de la modélisation d'une plate-forme d'enseignement universitaire à distance nommé : PF-EUAD.

PF-EUAD exploite une ontologie conceptualisant le domaine d'une formation universitaire à savoir l'enseignant, l'étudiant et l'administrateur ainsi que toutes les informations importantes et nécessaires à la formation (les modules, les groupes, les unités, les notes, les groupes, les unités d'enseignement, etc) dont nous assurons la construction selon une approche d'IO.

Nous avons privilégié une approche d'ingénierie ontologique (IO) basée sur le Web sémantique afin de profiter des technologies bien établies et standardisées qui en découlent, à savoir les langages Web basés sur la syntaxe XML, les services Web et les annotations sémantiques.

Notre contribution se résume en deux points :

(1) La conception et la formalisation d'une ontologie, utilisée pour modéliser les informations liées à l'apprentissage, et l'enseignement universitaire selon le système LMD, nommé onto-EUAD. Cette ontologie est formalisée grâce à l'utilisation d'un outil d'édition d'ontologie;

(2) La modélisation d'un système PF-EUAD, un système qui exploite l'ontologie onto-EUAD déjà réalisée et formalisée, et qui propose un ensemble de services aux acteurs d'une formation universitaire à distance.

## Mots clés :

E-learning, , Web Sémantique, Ontologie, annotation, Documents pédagogiques, LMD.

# ملخص

في هذه الأيام مع تطور شبكة الانترنت, ساعدت التكنولوجيا الحديثة للمعلوماتية و الاتصال أي ما يعرف بال.ن.تيك في المساعدة على تطوير أساليب التعليم و الاتصال و المعرفة.

هذا التطور التكنولوجي أدى إلى تطوير نوع جديد من التعليم يعرف بالتعليم الإلكتروني (*e-learning*) و الذي يعتمد على الحصول على المعلومات عن طريق الشبكة ( شبكة الانترنت أو الانترنت). هذه الطريقة في الحصول على المعرفة أدت إلى تطوير قدرات المستعملين (طلبة, أساتذة, أو طالبي معرفة أو ثقافة عامة) , كما أدت إلى جعل سيرورة التعلم غير مرتبطة بوقت محدد أو بمكان معين.

في هذه المذكرة نحاول أن نستفيد من هذه التكنولوجيا الحديثة وذلك باستعمال المفاهيم الجديدة الخاصة بالشبكة الدلالية (*Web sémantique*) و الانطولوجيا في مجال التعليم عن بعد (باستعمال الشبكة العنكبوتية). المجال المختار من أجل الدراسة يتمثل في مجال التعليم العالي (الجامعة) الذي يركز على نظام (ل.م.د).

من أجل تحقيق أهداف هذه المذكرة نقترح تصميم نظام يساعد المتعلمين على تحصيل المعلومات من خلال الشبكة, هذا النظام يستعمل انطولوجيا خاصة . هذه الانطولوجيا تحتوي على أهم المعلومات الخاصة بالنظام الجامعي (الأستاذ, الطالب, المواد, الوحدات.....), و التي يتم انجازها بطريقة منهجية مختارة من مجموعة الطرق المقدمة في الدراسة النظرية لهذه المذكرة.

إن استعمالنا لتكنولوجيا الانطولوجيا المرتكزة على مفاهيم الشبكة العنكبوتية الدلالية يعزى إلى طلب الاستفادة من التكنولوجيا المنظمة و المهيكلة لهذه الأخيرة مثل اللغات المرتكزة على XML .

يتمثل انجازنا في هذه المذكرة في تحقيق ما يلي :

1. تصميم انطولوجيا خاصة من أجل تمثيل المعلومات الخاصة بنظام التعليم الجامعي المرتكز على نظام (ل.م.د). تخزين هذه الانطولوجيا على جهاز الحاسوب من أجل استغلالها.

2. تصميم نظام خاص يقوم باستغلال هذه الانطولوجيا و يساعد المستعملين في الحصول على المعلومات التي تتوفر بواسطتها.

**مفاتيح :**

التعليم عن بعد, انطولوجيا, الشبكة الدلالية, المراجع البيداغوجية, نظام ل . م . د.

# Table des matières

<b>TABLE DES MATIERES</b> .....	<b>6</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	<b>10</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	<b>12</b>
INTRODUCTION .....	12
MOTIVATIONS.....	14
CONTRIBUTIONS.....	15
ORGANISATION DU MEMOIRE.....	16
<b>PARTIE 1 : ETAT DE L'ART</b> .....	<b>18</b>
<b>CHAPITRE 1 : E-LEARNING ET PLATES-FORMES PEDAGOGIQUES</b> .....	<b>19</b>
1.1 LES NTICS AUX SERVICES DE L' APPRENTISSAGE .....	19
1.2 LES SYSTEMES DE FORMATION A DISTANCE : DEFINITION ET EVOLUTION .....	20
1.2.1 <i>Un peu d'histoire</i> .....	20
1.2.2 <i>Définition</i> .....	22
1.2.3 <i>Les modèles de FAD</i> :.....	22
A) La formation ouverte .....	22
B) La formation ouverte et à distance (FOAD).....	23
C) La Blended formation .....	23
1.3 LE E-LEARNING : UN NOUVEAU MODELE DE FORMATION A DISTANCE :.....	23
1.3.1 <i>Définitions et exigences du e-learning</i> .....	23
1.3.2 <i>Objets d'apprentissage (Learning Objects : LO)</i> :.....	25
1.3.3 <i>Standardisation dans le domaine de e-learning</i> .....	26
1.3.4 <i>Description des objets d'apprentissage</i> .....	27
1.3.4.1 Les métadonnées : Définition .....	27
1.3.4.2 Les spécifications existantes.....	28
1.4 PLATES-FORMES PEDAGOGIQUES .....	30
1.4.1 <i>Définition et principes</i> : .....	31
1.4.2 <i>Quelques modèles de plates-formes</i> .....	32
1.4.3 <i>Les systèmes de e-learning</i> :.....	33

1.4.4	<i>Les principales fonctionnalités requises dans un environnement de e_learning :</i>	35
1.4.5	<i>Usage de plate-forme :</i>	36
1.5	CONCLUSION	37
<b>CHAPITRE 2 : LES ONTOLOGIES POUR LE E-LEARNING</b>		<b>38</b>
2.1	NOTION D'ONTOLOGIE : DEFINITIONS ET PRINCIPES :	38
2.1.1	<i>Origine des ontologies</i>	38
2.1.2	<i>Ontologies en Ingénierie de Connaissance</i>	39
2.1.3	<i>Composantes d'une ontologie :</i>	40
2.2	TYPLOGIE D'ONTOLOGIES :	41
2.3	DEVELOPPEMENT D'UNE ONTOLOGIE :	45
2.3.1	<i>Principes de développement d'une ontologie :</i>	46
2.3.2	<i>Cycle de vie d'une ontologie :</i>	47
2.3.3	<i>Méthodologies de conception d'ontologie :</i>	50
2.3.4	<i>Environnement et outils de modélisation des ontologies :</i>	51
2.4	LES ONTOLOGIES ET LE E-LEARNING :	53
2.4.1	<i>Les besoins pour les environnements de formation à distance</i>	53
2.4.2	<i>E-learning et apports des ontologies</i>	54
2.4.3	<i>Rôles des ontologies pour les applications e-learning :</i>	55
2.4.4	<i>Travaux existants des ontologies pour le E-learning</i>	57
2.5	CONCLUSION :	58
<b>CHAPITRE 3 : WEB SEMANTIQUE ET SES RESSOURCES</b>		<b>59</b>
3.1	INTRODUCTION	59
3.2	QU'EST CE QUE LE WEB SEMANTIQUE	60
3.3	LES SOLUTIONS TECHNIQUES PREVUES POUR LE WS :	63
3.3.1	<i>Méta-données et Annotations</i>	63
3.3.1.1	<i>Métadonnée :</i>	64
3.3.1.2	<i>Annotation :</i>	64
3.3.2	<i>Ontologie et Web sémantique:</i>	65
3.4	ARCHITECTURE DU WEB SEMANTIQUE : LE MODELE EN COUCHE	67
3.4.1	<i>Niveau «Nommage/Adressage » :</i>	67
3.4.2	<i>Niveau Syntaxique (structuration des données brutes) :</i>	68
3.4.3	<i>Niveau Sémantique</i>	69
3.5	LES LANGAGES DU WEB SEMANTIQUE	71

<b>3.5.1 Langages de description de ressources</b> .....	71
3.5.1.1 Langage de Métadonnées .....	71
3.5.1.2 XML (Extensible Markup Language)/XML(S) : .....	73
3.5.1.3 RDF-RDF/S : Formalisme pour la description de ressources .....	74
3.5.1.4 Topic Maps.....	77
<b>3.5.2 Langages de représentation des connaissances</b> : .....	78
3.5.2.1 Langages pour représenter des ontologies .....	78
3.5.2.2 Les graphes conceptuels.....	80
<b>3.6 WEB SEMANTIQUE ET LE E-LEARNING</b> .....	81
<b>3.6.1 Applications du Web Sémantique</b> : .....	81
<b>3.6.2 Web sémantique et le E-learning</b> : .....	81
<b>3.6.3 Scénarios de E-learning envisagés</b> : .....	82
<b>3.7 CONCLUSION</b> : .....	84
<b>PARTIE 2 : CONCEPTION D'ONTOLOGIE ET DU SYSTEME L'EXPLOITANT</b> .....	85
<b>CHAPITRE 4 : CONCEPTION DE L'ONTOLOGIE</b> .....	86
4.1 INTRODUCTION .....	86
4.2 MODELISATION DE L'ONTOLOGIE CONCEPTUELLE.....	87
<b>4.2.1 Choix d'une méthodologie de construction de l'ontologie</b> : .....	87
<b>4.2.2 Etapes de construction</b> : .....	88
<b>4.2.3 Respect des principes de construction</b> .....	92
4.3 PRESENTATION DE L'ONTOLOGIE CONCEPTUELLE .....	93
<b>4.3.1 Liste des concepts</b> .....	93
<b>4.3.2 Liste des attributs</b> .....	99
<b>4.3.3 Liste des relations</b> .....	105
<b>4.3.4 Représentation hiérarchique de l'ensemble de concepts et de relations</b> : .....	108
4.4 SCHEMA RESUMANT LA PHASE DE MODELISATION DE L'ONTOLOGIE .....	110
4.5 CAS D'UTILISATION ENVISAGES .....	110
4.6 CONCLUSION.....	113
<b>CHAPITRE 5 : MODELISATION DE LA PLATE FORME</b> .....	114
5.1 INTRODUCTION.....	114
5.2 CARACTERISTIQUES DE L'ONTOLOGIE : .....	115
5.3 FORMALISATION DE L'ONTOLOGIE : .....	115
<b>5.3.1 Outil et langage de formalisation utilisés</b> .....	116

5.3.1.1 Outil d'édition d'ontologie : .....	116
5.3.1.2 Langage de formalisation de l'ontologie:.....	117
<b>5.3.2 Etapes d'édition de l'ontologie : .....</b>	<b>118</b>
<b>5.3.3 Évaluation de l'ontologie formelle :.....</b>	<b>123</b>
<b>5.3.4 Fragments du code de l'ontologie éditée :.....</b>	<b>123</b>
<b>5.4 OPERATIONNALISATION DE L'ONTOLOGIE :.....</b>	<b>127</b>
<b>5.4.1 Conception du système :.....</b>	<b>128</b>
5.4.1.1 Acteurs du système :.....	128
5.4.1.2 Diagrammes des cas d'utilisation du système : .....	130
5.4.1.3 Présentation des packages du système :.....	131
5.4.1.4 But de chaque cas d'utilisation du système : .....	133
5.4.1.5 Etapes d'exécution de quelques parties de packages :.....	136
<b>5.4.2 Outils d'implémentation de la plate forme.....</b>	<b>137</b>
<b>5.4.3 Architecture de l'application.....</b>	<b>139</b>
5.5 CONCLUSION :.....	140
<b>CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES.....</b>	<b>141</b>
CONCLUSION .....	141
PERSPECTIVES.....	143
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>144</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>152</b>
ANNEXE 1 : PARTIE DU CODE SOURCE.....	152

# Liste des figures

<b>Figure 1.</b>	<i>Différents sous domaines permettant l'analyse d'une plate-forme de formation</i>	31
<b>Figure 2.</b>	<i>schéma de classification des ontologies</i>	45
<b>Figure 3.</b>	<i>cycle de vie d'une ontologie [Mestiri 07]</i>	48
<b>Figure 4.</b>	<i>Le cycle de vie d'une ontologie pour [Fernandez 97]</i>	48
<b>Figure 5.</b>	<i>Schéma résumant le cycle de vie</i>	49
<b>Figure 6.</b>	<i>étapes de la conception d'une ontologie avec OntoSpec</i>	51
<b>Figure 7.</b>	<i>Web statique et Web sémantique</i>	61
<b>Figure 8.</b>	<i>Les extensions du Web sémantique par rapport au Web actuel</i>	62
<b>Figure 9.</b>	<i>Architecture en couches du Web sémantique</i>	67
<b>Figure 10.</b>	<i>Exemple d'utilisation des espaces de nommage</i>	69
<b>Figure 11.</b>	<i>exemple de schéma XML</i>	74
<b>Figure 12.</b>	<i>Exemple 1 de triplet RDF</i>	75
<b>Figure 13.</b>	<i>Exemple 2 de triplet RDF</i>	75
<b>Figure 14.</b>	<i>Un graphe RDF représentant Eric Miller</i>	76
<b>Figure 15.</b>	<i>le document RDF/XML du graphe de représentation d'Eric Miller</i>	76
<b>Figure 16.</b>	<i>Classe RDF</i>	77
<b>Figure 17.</b>	<i>les sous langages du langage OWL [Drumond 05]</i>	80
<b>Figure 18.</b>	<i>les possibles utilisations du Web Sémantique pour la réalisation des exigences du E-Learning</i>	83
<b>Figure 19.</b>	<i>Représentation hiérarchique des concepts de l'ontologie</i>	108
<b>Figure 20.</b>	<i>Etapes d'ontologisation (conception de l'ontologie)</i>	110
<b>Figure 21.</b>	<i>Diagramme des cas d'utilisations</i>	111
<b>Figure 22.</b>	<i>Interface principale d'édition d'ontologie sous protégé 2000</i>	119
<b>Figure 23.</b>	<i>Édition des concepts de l'ontologie</i>	120
<b>Figure 24.</b>	<i>Édition des relations de l'ontologie</i>	120
<b>Figure 25.</b>	<i>Édition des attributs des concepts de l'ontologie</i>	121
<b>Figure 26.</b>	<i>spécification des cardinalités</i>	122
<b>Figure 27.</b>	<i>génération de la documentation HTML de l'ontologie</i>	123
<b>Figure 28.</b>	<i>Fragment de code OWL généré par protégé 2000</i>	125
<b>Figure 29.</b>	<i>fragment de code java pour la classe Enseignant</i>	126
<b>Figure 30.</b>	<i>Acteurs primaires</i>	129
<b>Figure 31.</b>	<i>Acteurs secondaires</i>	129
<b>Figure 32.</b>	<i>Diagramme de cas d'utilisation de l'enseignant</i>	130
<b>Figure 33.</b>	<i>Diagrammes de cas d'utilisation des utilisateurs étudiant et Staff administrative</i>	130
<b>Figure 34.</b>	<i>Diagramme de cas d'utilisations de l'administrateur système</i>	131
<b>Figure 35.</b>	<i>Diagramme de cas d'utilisation de gestionnaire d'ontologie</i>	131
<b>Figure 36.</b>	<i>Quatre package pour implémenter notre système</i>	132
<b>Figure 37.</b>	<i>Architecture du système</i>	139

**Liste des tableaux :**

**Tableau1 :** Tableau montrant la liste des concepts et la définition de chaque concept .....99

**Tableau2:** Tableau de la liste des attributs pour chaque concept de l'ontologie .....104

**Tableau3:** Tableau de la liste de relations de l'ontologie .....108

# Introduction générale

## Introduction

*Le domaine d'intérêt (ou d'application) :* Le domaine de l'éducation a constamment évolué, dès l'instant où les premiers ordinateurs sont sortis des laboratoires pour entrer massivement dans les salles de classe. Ainsi, en rétrospective, le *eLearning* résulte d'une évolution de ce domaine qui a commencé dans les années 1950-1960 avec l'« Enseignement Programmé » des débuts de l'usage des ordinateurs. Le projet PLATO (*Programmed Logic for Automated Teaching Operations*) est un exemple de cette période. PLATO fut la première mise en œuvre d'une activité pédagogique avec ordinateur au début des années 1960. Par la suite, on s'est intéressé à l'automatisation de l'enseignement en remplaçant l'enseignant humain par un enseignement auto programmé grâce aux systèmes d'« Enseignement Assisté par Ordinateur » (EAO). Une expérience de cette époque est le projet *Computer Curriculum Corporation* en 1966-68. Dans les années 1970, on a progressivement introduit des techniques d'Intelligence Artificielle (IA), telles que la représentation des connaissances mise en œuvre par les « Systèmes Tutoriels Intelligents » (STI) ou les systèmes d'EIAO (dans l'acception systèmes « Enseignement Intelligemment Assisté par Ordinateur »), afin d'assurer plus d'autonomie et d'interactivité. Par la suite, la tendance est aux « Environnements Interactifs d'Apprentissage avec Ordinateur » (autres EIAO), l'accent étant mis sur l'importance fondamentale de l'interactivité des systèmes.

Ces derniers ont ensuite fusionné avec les « Hypermédias et Apprentissage » pour donner naissance aux « Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain » (EIAH) dans une vision plus large.

Une des idées centrales en recherche de nos jours en éducation est de développer des modèles computationnels de processus d'enseignement et d'apprentissage surtout dans le domaine d'enseignement supérieur (universités). En ce sens, l'ingénierie ontologique (IO), dont l'une des caractéristiques principales est qu'elle offre une représentation formelle

(*computable, machine-readable*), apparaît dans les années 1990 comme étant la nouvelle tendance, la technique d'IA prometteuse pour représenter ces modèles cognitifs, en plus d'être l'un des fondements du Web sémantique. Une ontologie est un ensemble de termes (y compris un vocabulaire), des interrelations sémantiques, des règles simples d'inférence et de la logique dans certains cas. Plusieurs autres définitions existantes peuvent aussi expliquer les différentes approches d'IO. Elles sont présentées dans l'état de l'art au chapitre II.

*Une technologie bien établie:* avec l'avènement de l'Internet, les nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication "TIC" améliorent profondément nos façons de nous informer, de communiquer et de nous former. Cette émergence technologique fait apparaître 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, diffusées par l'intermédiaire d'un réseau (Internet ou Intranet) ou d'un autre média électronique. Cet accès permet de développer les compétences des apprenants, tout en rendant le processus d'apprentissage indépendant du temps et du lieu.

De nombreux documents, et plus généralement de nombreuses ressources, peuvent être utilisés dans le cadre d'une formation en ligne ou e-learning. Certaines de ces ressources sont produites "en interne" par les différents acteurs impliqués dans la formation, d'autres sont disponibles sur le web : cours en ligne, supports de cours, transparents supports de présentations orales, bibliographies, foires aux questions, notes de lectures, etc. Le problème de leur accès et de leur gestion se trouve ainsi posé, renforcé par le nombre croissant de ressources disponibles. Les TICs peuvent contribuer à la diffusion des connaissances et des informations pour en favoriser le partage. Cependant, pour éviter la surinformation, des nouvelles techniques doivent être réalisées afin de fournir la bonne information au bon moment.

Cela a conduit à des initiatives visant à constituer des nouvelles techniques pour l'accès et la gestion de ressources dans le Web. En effet, certaines techniques informatiques traditionnelles sont soutenues par des techniques plus poussées exploitant les possibilités qu'offre le Web, et sa nouvelle génération, le Web sémantique, qui apparaît comme une technologie prometteuse pour l'implémentation du e-learning, et pour résoudre les problèmes d'accès et de gestions de ressources.

Le Web sémantique offre une base sémantique pour la communication entre agents humains et artificiels. Un des atouts majeurs du Web sémantique (à savoir qu'il fournit une compréhension partagée) est qu'il est basé sur les ontologies qui en constituent l'épine dorsale. « Ontologies applied to the Web are creating the Semantic Web » [Fensel, + 01].

Afin de représenter l'information sur le Web sémantique et de la rendre simultanément interopérable aussi bien syntaxiquement que sémantiquement à travers les applications, il est nécessaire d'utiliser des langages spécifiques. Certains d'entre eux sont dits de « haut niveau », d'autres de « bas niveau », mais la plupart d'entre eux sont basés sur les caractéristiques techniques de XML (eXtensible Markup Language), XML Schemas, RDF (Resource Definition Framework), RDF Schemas ou OWL (Ontology Web Language), ces cinq langages étant développés sous les auspices du W3C et utilisant la syntaxe XML.

Il ne suffit pas cependant 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. Pour que l'apprenant puisse utiliser les nombreuses ressources mises à sa disposition avec efficacité, il faut satisfaire deux exigences à priori antinomiques, à savoir celle qui vise à lui accorder une certaine liberté de choix, et celle qui lui évite de se disperser en égard à ses connaissances du moment.

Pour cela, la création d'une plate-forme qui assiste son processus d'apprentissage ou formation paraît comme une solution pratique et efficace afin de lui éviter les problèmes de surinformation et de désorientation posés par la grande masse d'informations disponibles sur le Web.

Cette solution a été prise par les universités dans le but de pouvoir disposer d'un système d'enseignement universitaire à distance afin d'aider ceux qui ne pouvaient pas avoir la possibilité de profiter pleinement de la formation au présentiel, et pour arriver enfin à la réalisation du projet d'université virtuelle.

## Motivations

La recherche s'oriente de nos jours vers l'enseignement à distance (EAD) et plus particulièrement sur le e-learning, c.a.d réaliser un EAD à travers un réseau (Internet ou

Intranet). En effet, avec l'émergence des Technologies de l'Information et de la Communication (TIC), une nouvelle approche de formation, ou plus exactement un nouveau mode d'apprentissage, est apparu. Souvent appelé "e-learning", ce mode est basé sur l'accès à des formations en ligne, interactives et parfois personnalisées, diffusées par l'intermédiaire d'un réseau (Internet ou intranet) ou d'un autre média électronique. Cet accès permet de développer les compétences des apprenants, et lui crée même un processus d'apprentissage indépendant du temps et du lieu.

Pour ces raisons les universités afin de profiter de ce nouveau style d'apprentissage ont opté pour la solution de diffuser les ressources d'apprentissage via des supports électroniques et des réseaux Intranet et Internet. De plus, dans l'objectif de cerner et de gérer l'information et la formation, il a été indispensable de trouver une solution efficace et réalisable. Cette solution peut être l'utilisation des plates-formes pédagogiques qui assistent les acteurs d'une formation universitaire à distance à savoir (l'enseignant, l'étudiant, et l'administrateur) dans une formation.

Ces motivations ont inspiré le travail de ce mémoire, dont le but est la modélisation d'une plate forme de e-learning, à base de services offerts par l'ingénierie ontologique.

*Problématique.* Notre problématique se devise en deux parties :

*Première partie :* la représentation du système de formation universitaire à distance selon le schéma LMD en Algérie par l'utilisation des techniques d'ingénierie ontologique.

*Deuxième partie :* modélisation d'une plate-forme qui assiste les acteurs d'une formation universitaire à distance, et qui utilise la représentation ontologique déjà réalisée.

## Contributions

Le but ultime de ce mémoire est de montrer l'utilisation d'une approche d'IO dans la modélisation d'un systèmes qui gère une formation universitaire à distance. Nous avons deux objectifs :

Le premier objectif consiste à réaliser la conception et la formalisation d'une ontologie qui définit le système universitaire selon le schéma LMD (licence, Master, Doctorat).

Le deuxième objectif: consiste à réaliser un système qui utilise cette ontologie et qui assiste les utilisateurs pour l'exploitation de cette ontologie.

Concernant le deuxième objectif, le système réalisé doit offrir quatre services : (1) le service de navigation et d'exploration de l'ontologie, (2) le service de recherche (par requêtes), (3) le service d'annotation de documents et (4) le service d'inscription/validation.

– Le premier service doit permettre aux utilisateurs d'explorer le contenu de l'ontologie suivant des options différentes : en explorant la documentation relative à l'ontologie (cette documentation en OWL présente la même forme qu'une documentation de classes JAVA) ; et en explorant la structure hiérarchique des classes de l'ontologie ; à travers lesquels l'utilisateur se déplace en suivant des hyperliens. Chacune de ces options offre différentes possibilités d'exploration de l'ontologie sous différents angles.

– Le second service doit permettre au concepteur d'effectuer une recherche par requête suivant deux options : La première option permet au concepteur d'effectuer une recherche à partir d'une liste de requêtes prédéfinies. La seconde option lui permet d'effectuer une requête à partir de critères de sélections prédéfinis.

– Le troisième service doit permettre aux utilisateurs appropriés d'effectuer l'opération d'annotation : (annotation de document ou annotation de module ou d'enseignant ou d'utilisateurs).

– Le quatrième service doit permettre aux étudiants de s'inscrire dans la plate-forme pour qu'ils puissent profiter de ses services.

## Organisation du mémoire

Ce mémoire est divisé en deux grandes parties :

La première partie est consacrée à une étude bibliographique qui précise le contexte de notre travail, les notions et les concepts que nous allons utiliser au cours de ce mémoire. Etant donné que notre travail concerne la formation universitaire à distance (e-learning), et qui profite des nouvelles Technologies de l'information et de la communication (les NTICs),

nous avons tenu à faire un état de l'art dans différents domaines participant à la réalisation de ce travail : Elearning, Web Sémantique et Ingénierie ontologique.

En effet, dans le cadre de ce mémoire, nous avons concentré nos recherches sur les technologies permettant un apprentissage à temps, pertinent, dynamique et à distance. Pour cela, le premier chapitre sera consacré à la présentation des systèmes éducatifs et leurs évolutions vers des systèmes de formation en ligne, ainsi que les outils d'implémentations notamment les plates-formes pédagogiques. Dans le deuxième chapitre, nous présentons les ontologies et leurs importances et usages dans les applications e-learning, et les besoins nécessaires à leur réalisation dans une optique de rapprochement avec le monde du e-learning.

Dans le troisième chapitre, nous décrivons comment le Web Sémantique (WS) peut être utilisé comme une technologie prometteuse pour réaliser des applications e-learning répondant aux besoins définis précédemment, tout en présentant les objectifs du WS. Nous discutons aussi les langages candidats pour ce dernier, comme nous présentons le rapprochement entre WS et e-learning.

La deuxième partie est consacrée à la présentation de la conception et l'opérationnalisation de l'ontologie conçue dans le cadre de ce mémoire nommé (onto-EUAD). La conception de cette ontologie a été faite selon une méthodologie présentée dans la partie état de l'art. L'opérationnalisation de cette ontologie est réalisée à partir de la modélisation d'un système qui l'exploite (plate-forme d'enseignement universitaire à distance : PF-EUAD).

Le chapitre 4 définit la première phase appelée ontologisation, la deuxième phase qui est l'opérationnalisation de l'ontologie et qui définit la méthode de passage d'une ontologie conceptuelle à une ontologie opérationnelle exploitable par une machine, est abordée dans le chapitre cinq (5) : formalisation et opérationnalisation de l'ontologie. Nous abordons aussi dans ce même chapitre la modélisation d'un système qui intègre cette ontologie et qui assiste les utilisateurs pour son exploitation.

# *Partie 1 : Etat de l'art*

*"Le commencement de toute science, c'est l'étonnement  
de ce que les choses sont ce qu'elles sont."  
- Aristote -*

Cette partie est consacrée à une étude bibliographique qui précise le contexte de notre travail.

Le premier chapitre sera consacré à la présentation des systèmes éducatifs et leur évolution vers des systèmes de formation en ligne, ainsi que les outils qui l'utilisent pour réaliser cela , et on se focalise sur l'utilisation de plates formes pédagogiques.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons les ontologies et leurs importances et usages dans les applications e-learning, et les besoins nécessaires à leur réalisation dans une optique de rapprochement avec le monde du e-learning.

Dans le troisième chapitre, nous décrivons comment le Web Sémantique (WS) peut être utilisé comme une technologie prometteuse pour réaliser des applications e-learning répondant aux besoins définis précédemment. Nous présentons les objectifs du WS, ainsi que nous discutons ses langages candidats. A la fin nous présentons le rapprochement entre WS et e-learning.

# Chapitre 1 : E-learning et plates-formes pédagogiques

*"The next big killer application for the Internet is going to be education.*

*Education over the Internet is going to be so big it is going*

*to make e-mail look a rounding error."*

– Jihon Chambers

Ce chapitre présente un rapide état de l'art sur les systèmes de formation à distance et les plates-formes pédagogiques. Commencant par l'influence de déploiement des nouvelles technologies de l'information et de la communication sur les systèmes de formation, passant ensuite à l'évolution des systèmes de formation à distance. Puis, le modèle de formation à distance « e-learning » est détaillé. En se focalise sur l'organisation et la description des objets pédagogiques, par l'utilisation de notion de méta-données et à l'aide des spécifications existantes (ARIADNE, IMS, SCORM). Enfin, les principes et les modèles de plates-formes de formation à distance sont présentés.

## 1.1 Les NTICs aux services de l'apprentissage

La notion de nouvelles technologies de l'information et de la communication, communément abrégées NTIC, est apparue avec le développement des réseaux et du multimédia, principalement l'Internet. Les NTIC peuvent être définies comme un ensemble de technologies utilisées pour traiter, modifier et échanger de l'information, plus spécifiquement des données numérisées. La naissance des NTIC est due notamment à la convergence de l'informatique, des télécommunications, du multimédia et de l'audiovisuel [Fournier Fall 06].

Parmi les avantages de l'entrée en culture des NTIC, la possibilité de rassembler dans un lieu virtuel commun des compétences diverses. L'accessibilité accrue à "l'autre" par le biais du réseau Internet est l'un des avantages prédominants, car elle ouvre à chacun une fenêtre sur le monde et permet d'envisager la notion de "village global". Plus encore, cette

accessibilité grandissante facilite les échanges et transforme radicalement le rapport de l'être humain avec l'information [Brassard 99].

De ce fait, les domaines de l'éducation et de l'enseignement peuvent offrir un terrain propice à l'utilisation des NTIC, c'est pourquoi tout un volet des nouvelles technologies de l'information et de la communication liées à l'enseignement s'est développé au cours de ces dernières années [Fournier Fall 06].

On peut considérer un système de formation médiatisé par les N.T.I.C. comme un espace de formation à la fois à distance, et matériellement très présent, il permet l'utilisation d'outils pédagogiques souples, diversifiés et évolutifs, ce qui favorise un auto-apprentissage individualisé. Chaque utilisateur travaille sur une machine, à son rythme et selon des méthodes variées [Bodet, + 07]. Ces tâches peuvent s'effectuer à domicile, ce qui autorise la mise en œuvre de formes d'auto-apprentissage de groupe. Les utilisateurs disposent d'une ou de plusieurs machines, ils sont rassemblés dans un lieu unique ou relié en réseau. Les formateurs, au fort rôle d'animateurs, peuvent organiser des séances d'échanges directs ou indirects en face à face, si la situation le permet, ou à distance, en utilisant des outils de type visioconférence ou de multi conversation informatique, voire simplement de téléphone [Serizel 04].

En effet, l'un des termes couramment utilisés dans le domaine des (NTIC) est celui de formation à distance (FAD) que nous allons détailler dans la section suivante. Cette notion recouvre un champ important et, même si elle acquiert aujourd'hui une signification nouvelle avec l'essor des NTIC (e-formation, e-learning), son avènement n'en demeure pas moins lié à l'apparition des premiers moyens modernes de transport et de communication [Fournier-Fall 06].

## 1.2 Les systèmes de formation à distance : définition et évolution

### 1.2.1 Un peu d'histoire

En 20 ans, la formation à distance (FAD) est passée d'un enseignement par correspondance sous forme papier à une formation en ligne dans laquelle les nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC) jouent un rôle prépondérant. En particulier, elle

entraîne une redéfinition du rôle de l'enseignant, même si ce rôle est encore aujourd'hui assez variable selon les formations et les institutions.

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. Ensuite, l'application des techniques de raisonnement offertes par l'Intelligence Artificielle (IA) et les Systèmes Experts (SE), dans le système éducatif, ont permis d'introduire un niveau d'interaction plus élevé entre l'apprenant et le système. Ce qui a donné naissance aux systèmes d'Enseignement Intelligemment Assisté par Ordinateur (EIAO) qui pallient les nombreux inconvénients des systèmes EAO. De plus, les recherches effectuées afin d'adapter l'apprentissage au niveau de connaissances de l'apprenant a 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 [Benayache 05].

Dans nos jours la formation à distance (FAD) a pris une importance de plus en plus grandissante dans la société contemporaine. Ceci correspond certainement à une double évolution sur le plan technologique mais aussi sur celui des besoins pédagogiques. Du fait de la complexification de la société, les besoins en formation et en apprentissage obligent d'une part, à imaginer une formation tout au long de la vie et d'autre part, à mettre en place des formations davantage adaptées aux aspirations de leurs bénéficiaires.

Les aspirations des apprenants se situent à deux niveaux : il s'agit premièrement de prendre en compte la spécificité des objectifs d'apprentissage et des styles d'apprentissage ; et deuxièmement la formation doit prendre impérativement en compte la variété des espaces et

des temps d'apprentissage. La FAD connaît elle-même des mutations profondes dues à l'avènement des grands réseaux informatiques et des Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication (NTIC), on a désormais une FAD en ligne. En même temps qu'il convient de se réjouir de cette évolution, la FAD en ligne parce qu'elle est entièrement à distance vient souligner avec acuité des problèmes d'ores et déjà identifiés à savoir l'isolement sociologique de l'apprenant ; la perte de motivation ; l'autonomisation de l'apprenant ; la prise d'identité dans le groupe ; l'appréciation de la progression pédagogique du groupe ; etc [Mbala, Reffay, Tatiétsé 03].

### **1.2.2 Définition**

Pour une définition des FAD on peut se référer au glossaire publié par le gouvernement français en matière de NTIC, où le terme générique de formation à distance couvre « l'ensemble des dispositifs techniques et des modèles d'organisation qui ont pour but de fournir un enseignement ou un apprentissage à des individus qui sont distants de l'organisme de formation prestataire de service » [Fournier Fall 06].

### **1.2.3 Les modèles de FAD :**

Plusieurs modèles de formation à distance coexistent en fonction de la place accordée à ce distanciel. Principalement on peut citer trois modèles [Fournier fall 06]:

#### ***A) La formation ouverte***

La formation ouverte ou Open Learning, est venue compléter le champ lexical de FAD. Cette dénomination désigne des formations utilisant les technologies de communication de masse comme l'imprimé, la radio- ou la télédiffusion. Les étudiants accèdent librement aux ressources pédagogiques, elle leur permet des entrées et des sorties permanentes. Elle correspond à un mode d'organisation pédagogique diversifié qui s'appuie sur des apprentissages à distance, en auto-formation. En formation ouverte, l'apprenant peut alterner des séquences individuelles et collectives. L'auto-formation est un processus par lequel l'individu détermine son itinéraire d'apprentissage (rythme, contenu, temps de travail) de façon autonome et en étant éventuellement en relation avec un tuteur ou un groupe structuré.

## **B) La formation ouverte et à distance (FOAD)**

(FOAD), correspondant à la formulation anglaise *Open and Distance learning* (ODL) et qualifiant des dispositifs de formation à distance largement accessibles et individualisés, qui s'appuient sur différents supports et situations pédagogiques (cours par correspondance, formation en ligne, cours radio- ou télédiffusés, campus virtuel, etc.). Le champ des formations couvert par ce terme est cependant très vaste, c'est pourquoi certains auteurs préfèrent l'utiliser au pluriel – formations ouvertes et à distance – afin de mieux marquer cette hétérogénéité. Un célèbre exemple de formation ouverte est celle dispensée par l'Open University, créée en 1969 au Royaume-Uni. Cette université a, dès sa fondation, permis à toute une frange d'adultes actifs d'accéder à l'enseignement universitaire. Le succès de l'Open University ne s'est aucunement étiolé avec le temps, puisqu'elle accueille à l'heure actuelle plus de 160'000 étudiants par année et qu'elle a servi de modèle à l'instauration de ce genre d'établissement dans de nombreux pays du globe.

## **C) La Blended formation**

Blended formation ou formation mixte, correspond à un système de formation hybride qui combine des modalités pédagogiques diversifiées, alternant formation à distance et formation en présentiel.

Finalement, on peut dire que l'évolution technologique de la fin du 20ème siècle, et l'explosion des nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC) a favorisé l'émergence de supports novateurs en matière d'enseignement à distance. L'outil Internet a ainsi donné naissance à une nouvelle forme de formation à distance, le e-learning ou, en français, le « e-formations » ou « formations virtuelles », très en vogue à l'heure actuelle dans les différentes parties du monde, y compris en Algérie.

## **1.3 Le e-learning : un nouveau modèle de formation à distance :**

### **1.3.1 Définitions et exigences du e-learning**

Le processus d'apprentissage traditionnel peut être caractérisé par [Benayache 05] :

- Une autorité centralisée : le contenu est sélectionné par l'enseignant ;

- Une forte livraison des informations et connaissances : les enseignants transmettent les informations et connaissances aux apprenants ;
- Un manque de personnalisation : le contenu pédagogique doit satisfaire les besoins de l'ensemble des apprenants ;
- Un processus d'apprentissage statique et linéaire : un contenu inchangé. Le coût cher, la lenteur et parfois le manque de concentration sont les principales conséquences d'une telle organisation sur l'apprentissage. Cependant, les marchés d'apprentissage de nos jours demandent des méthodes *just-in-time* pour assister le besoin de savoir *need-to-know* des apprenants.

De ce fait, il paraît clair qu'un nouveau mode d'apprentissage guidé par les exigences de rapidité, du juste à temps, et d'accès non linéaire est nécessaire. Bien que la rapidité ne demande pas seulement un contenu adéquat du matériel d'apprentissage (très spécifique), elle demande aussi des mécanismes puissants pour organiser un tel matériel.

Ainsi, l'apprentissage doit être un service en ligne personnalisé, initié par les profils des utilisateurs et les besoins pédagogiques. Ceci peut être résolu par un système d'apprentissage de type e-learning, *orienté apprenant, personnalisé* avec un processus d'apprentissage *non linéaire et dynamique*.

*E-learning et E-formation* : selon une définition proposée par le ministère français de l'éducation nationale, la e-formation est à l'origine un sous-ensemble de la FOAD, qui s'appuie sur les réseaux électroniques. Aujourd'hui le concept d'e-learning est de plus en plus employé, attestant de l'évolution fondamentale de ce domaine de formation [Educnet 08]. La lettre *e* étant l'abréviation d'*électronique*.

Parmi les définitions les plus répandues en littérature du e-learning est celle de Drucker : "*e-Learning is just-in-time education integrated with high velocity value chains. It is the delivery of individualized, comprehensive, dynamic learning content in real time, aiding the development of communities of knowledge, linking learners and practitioners with experts*" [Drucker 00].

L'objectif du elearning est de remplacer les anciennes façons temps/place/contenu de l'apprentissage prédéterminé par des processus d'apprentissage : à temps, à la place de travail et à la demande. Le e-learning est basé sur plusieurs piliers : management, culture et Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) [Benayache 05]. Cependant, il ne désigne pas uniquement l'utilisation des NTIC pour la formation. Il représente "*l'ensemble*

*des outils et des informations qui permettent d'améliorer la performance 'via' l'utilisation d'Internet et des technologies de l'information."* [Cigref 01].

En effet, le *e-learning* comprend aussi bien des outils et des applications pédagogiques que des contenus pédagogiques. Il concerne autant les jeunes qui utilisent ces supports électroniques à des fins pédagogiques que les adultes qui perfectionnent leur formation ou mettent à jour leurs connaissances.

Le *e-learning* est un processus d'apprentissage à distance, qui repose sur la mise à disposition de contenus pédagogiques via un réseau de type Internet ou Intranet et permet ainsi à une ou plusieurs personnes de se former à partir d'un ordinateur. Les supports multimédias utilisés peuvent combiner du texte, des graphismes, du son, de l'image de synthèse, de l'animation et même de la vidéo. Ces différents supports créent une nouvelle approche pédagogique, avec l'emploi de méthodes plus attrayantes où l'interactivité joue un grand rôle, aussi avec une possibilité de s'adapter encore mieux avec le processus d'apprentissage de l'apprenant. L'utilisateur peut se former à son rythme, en fonction de ses besoins et de ses disponibilités, ce qui est particulièrement important à cette époque où la formation se décline tout au long d'une vie. Le *e-learning* est une vraie démarche de l'université qui doit être conduite comme un projet important pour avoir une chance d'aboutir favorablement [Bodet, Daoud, Amalric 05].

Finalement on peut dire que le *e-learning* n'est pas simplement une innovation ou un renouveau dans l'enseignement, il dénote un véritable changement de paradigme pédagogique. Il ne s'agit pas uniquement pour un enseignant de déposer le texte de ses cours sur Internet et pour l'étudiant de se servir d'un ordinateur. Le *e-learning* implique en effet de nombreuses révolutions en matière de stratégies et compétences d'apprentissage et d'enseignement, d'organisation institutionnelle et de politique éducative globale.

### **1.3.2 Objets d'apprentissage (Learning Objects : LO) :**

Un objet pédagogique aussi appelé un objet d'apprentissage, en anglais Learning Object (LO), est défini selon le LTSC (Learning Technology Standards Committee) du IEEE comme: *"Learning Objects are defined here as any entity, digital or non-digital, which can be used, re-used or referenced during technology supported learning. Examples of technology-supported learning include*

*computer-based training systems, interactive learning environments, intelligent computer-aided instruction systems, distance learning systems, and collaborative learning environments. Examples of Learning Objects include multimedia content, instructional content, learning objectives, instructional software and software tools, and persons, organizations, or events referenced during technology supported learning" [LOM 06].*

En effet, un LO est un ensemble d'informations réutilisables, utilisables comme "brique de construction" pour l'élaboration de contenu d'apprentissage [Dunaud, + 05]. Il peut prendre la forme de tout type d'élément intervenant dans l'apprentissage ; il peut faire référence à des directives pour aider l'apprenant dans son cours ou à du suivi de l'apprenant, il peut également être réutilisé pour différentes fins, différentes plates-formes (§ 1.5), ou différents publics. Par exemple, une séquence vidéo peut aussi bien servir dans un cours que dans le cadre d'un test, mais peut également être insérée dans différentes plates-formes [Benayache 05].

Il existe plusieurs synonymes au terme LO dans la littérature, dont on peut citer [Dehors 07]:

- "knowledge object", "Components of instruction" : objet d'apprentissage ;
- "pedagogical documents" : document pédagogique ;
- "educational software components" : composante de logiciel d'éducation ;
- "online learning materials" : matériel d'apprentissage en ligne ;
- "teaching material", "learning items": matériel d'enseignement ;
- "instructional primitives" : instruction primitives;
- "ressources".

### **1.3.3 Standardisation dans le domaine de e-learning**

Avec l'émergence des Technologies de l'Information et de la Communication (TIC), des normes et standards dans le domaine éducatif sont en développement. Plusieurs organisations connues comme l'ISO (*International Organization for Standardization*) au niveau international, ou (l'AFNOR : l'association Française de Normalisation), l'IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) et le CEN (*Comité Européen de Normalisation*) sont auteurs de plusieurs travaux de recherche et de développement, dont les résultats commencent à apparaître : ARIADNE, IMS, Dublin Core, LOM, etc.

L'archivage et la production de ressources numériques dans les systèmes éducatifs se traduit, généralement, par un jeu de méta-données (§ 2 et §3). Ce jeu s'exprime souvent par une fiche

de bibliothèque électronique regroupant l'ensemble des informations pertinentes caractérisant le document : titre, auteurs, format, date d'édition, etc. Le développement à grande échelle des plates formes d'apprentissage à distance dans des environnements techniques différents nécessite d'avoir [Benayache 05] :

- un format standard, universel, pour ces méta-données dans le but de faciliter l'échange et l'accessibilité,
- 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. Par exemple, les protocoles HTTP (*HyperText Transfer Protocol*), URL (*Uniform Resource Locator*) et HTML (*HyperText Mark-up Language*) normalisent le protocole pour la demande, l'identification et la structure des documents dans le WWW.

### **1.3.4 Description des objets d'apprentissage**

L'objectif principal des comités de normalisation est de spécifier la syntaxe et la sémantique des méta-données décrivant un objet pédagogique, ou *Learning Object* (LO).

Afin de bien comprendre la description des objets pédagogiques, nous évoquons tout d'abord la notion de méta-données, puis nous décrivons quelques spécifications existantes : ARIADNE, IMS, et SCORM [Benayache 05] :

#### ***1.3.4.1 Les métadonnées : Définition***

Le terme "méta" vient du grec et dénote quelque chose de nature plus élevée ou plus fondamentale. La première définition attribuée au terme "méta-donnée" est issue des recherches sur les bases de données "les méta-données sont des données sur les données". Depuis, la complexité et la variété des systèmes d'information ayant accru, les méta-données constituent des structures et descriptions émises à un niveau d'abstraction supérieur (méta) et relatives à un niveau inférieur (ou référence).

On utilise généralement les méta-données pour parler d'information descriptive à propos de ressources du Web. Toutefois les méta-données peuvent répondre à de nombreux objectifs, que ce soit l'identification d'une ressource satisfaisant un besoin particulier d'information,

l'évaluation de sa pertinence ou enfin pour garder la trace des caractéristiques d'une ressource à des fins d'entretien ou d'utilisation à long terme. De nos jours, différentes communautés d'utilisateurs comblent de tels besoins en utilisant une grande variété de normes de méta-données.

Afin de décrire une ressource on utilise des méta-données. Une notice contenant un ensemble d'attributs, ou éléments, nécessaires pour décrire la ressource en question est établie. Par exemple, dans les bibliothèques, on utilise un ensemble de notices de méta-données comprenant des éléments spécifiques tels que : auteur, titre, date de création ou de publication, sujet et cote, afin de retrouver un livre ou un document.

Le lien entre une notice de méta-données et la ressource qu'elle décrit peut être fait de deux façons :

- Les méta-données peuvent être contenues dans une notice séparée du document, comme c'est le cas pour une notice dans un catalogue de bibliothèque.
- Les méta-données peuvent être intégrées dans la ressource elle-même.

Plusieurs organismes issus de domaines thématiques divers ont proposés normes et formalismes de modélisation : Dublin Core, le FGDC (*Federal Geographic Data Committee*), le Comité Technique de l'ISO, etc.

Parmi les formalismes de modélisation de méta-données dans le domaine de e-learning : le Dublin Core Education et le LOM qui seront présentés plus en détail dans le chapitre suivant.

#### *1.3.4.2 Les spécifications existantes*

✓ **ARIADNE I & II** : « Alliance for Remote Instructional Authoring and Distribution networks for Europe » : a eu lieu dans le contexte du programme "Telematics for Education and Training" au sein du quatrième programme cadre de l'Union européenne en deux phases entre 1996 et 2000. ARIADNE est un projet de recherche et développement portant sur la formation flexible et à distance. Son objectif consistait à encourager le partage et la réutilisation de documents pédagogiques hypermédias ainsi que d'outils de création, d'indexation, de gestion et d'accès à de tels documents. Un réseau de "groupes" de savoirs reliés entre eux servait de dépositaire à partir duquel des programmes d'enseignement

pouvaient être bâtis et distribués. Le projet regroupait plus de 30 partenaires sous la coordination du Laboratoire d'Enseignement Assistée par Ordinateur (LEAO) de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL).

✓ **Instructional Management Systems (IMS)** : créé en 1997, IMS rassemble des établissements éducatifs dont le MIT et l'Université Carnegie Mellon, des entreprises telles que Apple, IBM, Microsoft, des agences gouvernementales telles qu'Industrie Canada et des sociétés de développement telles que Canvas Learning et Blackboard. Il est centré sur la FOAD (formation ouverte et à distance) et part des méta-données du DC en les étendant. La standardisation recherchée par le consortium IMS concerne les domaines suivants :

- L'enregistrement des informations sur les apprenants.
- L'échange des données pour les systèmes d'administration.
- La description des matériaux pédagogiques, afin de faciliter la publication et la recherche sur le Web.
- L'interopérabilité des matériaux entre eux.
- L'interopérabilité des plates-formes avec les matériaux et le système d'information des organisations.

IMS a permis d'établir un ensemble de spécifications pour structurer un contenu pédagogique, modéliser un étudiant, ou modéliser à un niveau général comment décrire, référencer et échanger des connaissances, des compétences, des tâches ou des qualifications. Les différents groupes de travail appartenant au consortium approfondissent de multiples aspects liés à la formation en ligne :

- Compétences professionnelles, gestion des contenus, définition des profils d'apprenants, méta-données, ingénierie pédagogique, accessibilité (pour les handicapés, etc.), et aussi les bibliothèques virtuelles.

✓ **Sharable Content Object Reference Model (SCORM)** : Le SCORM "*Sharable Content Object Reference Model*" ou en français "Modèle de référence pour le partage de contenus" a été développé en 1997 par ADL Co-Laboratory, l'*University of Wisconsin* et le *Technical College System* pour l'armée Américaine. L'idée est de développer une stratégie mondiale

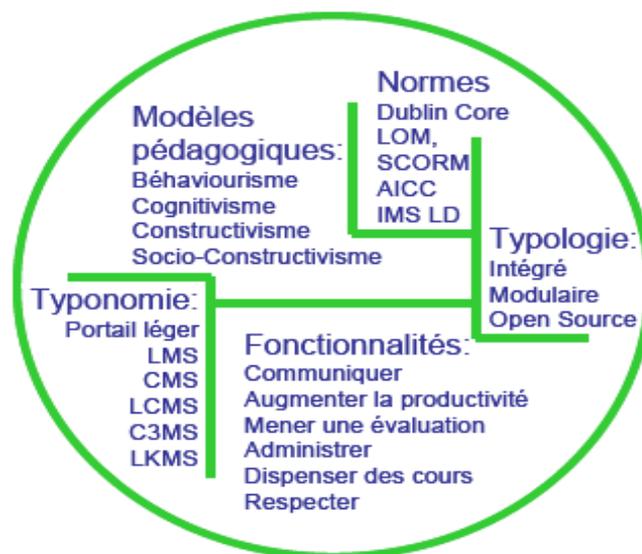
d'utilisation des TICs appliquées à l'éducation, mais aussi de promouvoir la coopération entre les gouvernements, les universitaires et les entreprises pour développer des standards pour la formation à distance. Cette initiative a défini des fonctionnalités pour les contenus pédagogiques comme la réutilisabilité, l'accessibilité, la durabilité et l'interopérabilité pour influencer les pratiques, promouvoir l'usage des nouvelles technologies et fournir une base économique viable pour l'investissement.

SCORM est fondé avec la collaboration des importants organismes en standardisation dans le domaine de E-learning: ARIADNE, IMS, IEEE, AICC et d'autre partenaire dans le domaine industriel: IBM, Microsoft et American military. C'est un standard industriel très effectif pour les applications LMS, et la plupart des plates formes dans le marché est réalisée pour accepter des contenus en format SCORM [Dehors 07].

## 1.4 Plates-formes pédagogiques

Avec l'avènement de l'Internet et du web, l'enseignement à distance n'est plus le privilège des grandes institutions, comme ça a été le cas dans les premiers temps d'utilisation de ce mode d'enseignement. Au cours de ces dernières années, même les universités de taille modeste peuvent désormais assurer une formation à distance, grâce à des plates-formes de e-learning qui fleurissent régulièrement à travers le monde. A l'heure actuelle, de plus en plus d'universités utilisent ces plates-formes pour diffuser leurs programmes et cours à des étudiants distants. Ces plates-formes permettent de gérer les inscriptions et les problèmes administratifs, de diffuser les cours et de mettre en place un encadrement pédagogique. Elles s'adressent aussi bien à des entreprises qu'à des universités [Talhi 07]. De ce fait, les plates-formes de formation sont devenues au cœur du développement de la formation en ligne [George, Derycke 05].

Les sous-domaines, illustrés par la Figure 1 concernent les fonctionnalités permettant de définir une plate-forme de formation et les différentes dénominations utilisées dans leur pratique et dans les travaux de recherche universitaires [Caron 07]. Ces différents sous-domaines peuvent servir aussi lors de l'évaluation d'une plate-forme de formation. Certains d'entre eux sont déjà définis précédemment, quelques autres le seront dans ce qui suit.



*Différents sous domaines permettant l'analyse d'une plate-forme de formation*

### 1.4.1 Définition et principes :

Selon l'office de la langue française : Une plate-forme de formation est un « système informatique destiné à automatiser les diverses fonctions relatives à l'organisation des cours, à la gestion de leur contenu, au suivi des progrès des participants et à la supervision des personnes responsables des différentes formations » (Office de la langue française, 2005) [Caron 07]. Notons qu'actuellement les activités pédagogiques sont davantage mises en avant, ce qui conduit à compléter la définition ci-dessous : une plate-forme peut être vue comme un système qui permet de gérer et de donner accès à un ensemble d'activités et de ressources pédagogiques [Caron 07].

En effet, une plate-forme pédagogique est un logiciel qui assiste la conduite des formations ouvertes et à distance. Elle est basée sur des techniques de travail collaboratif et regroupe les outils nécessaires aux trois principaux acteurs de la formation : apprenant, tuteur, administrateur. Elle fournit 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 [Benayache 05].

Les plates-formes ont donc pour objectif de proposer un ensemble de fonctionnalités permettant de mener à bien un dispositif de formation (distant ou non). Il est possible de lister ces fonctionnalités. Nous nous baserons pour cela sur la liste à partir de laquelle le site de comparaison *EduTools* a été conçu [Caron 07]. Cet organisme propose de comparer les plates-formes de formation selon six fonctionnalités principales :

1. **Communiquer** : forum, mail, blog...
2. **Augmenter la productivité** des apprenants : signet, recherche, calendrier...
3. **Mener une évaluation** dans le groupe ou individuel : groupe de travail, portfolio, autotest...
4. **Administrer** les personnes : authentification, inscription au cours...
5. **Dispenser des cours** : Suivi des élèves, Gestion des parcours, gestion des cours, test.
6. **Respecter de la charte de la plateforme** : accessibilité, design des cours, respect des normes.

Ces fonctionnalités permettent de comparer, différentes plates-formes de formation sur le plan technique.

### 1.4.2 Quelques modèles de plates-formes

Avec l'évolution des techniques, des infrastructures de réseau et des normes, le nombre de plates-formes et environnements de formation a augmenté de manière significative, et ce de façon assez rapide. A chaque contexte de formation peut correspondre un ensemble de fonctionnalités adaptées et donc une plate-forme potentielle. Cependant, dans un choix raisonné d'une plate-forme, il semble indispensable de bien définir un cahier de charges pour le projet de la formation envisagée et ses objectifs. C'est pour cela que plusieurs tentatives de standardisation de ces environnements ont été proposées.

Aujourd'hui il existe plusieurs types de plates-formes de formation en ligne, LMS, LCMS et autres systèmes de gestion de contenu et de parcours de formation, on peut les séparer en trois catégories:

- plates-formes open-source,
- plates-formes publiques ou gratuites et
- plates-formes commerciales.

Parmi les nombreux modèles de plates-formes développées pour la mise en place d'une formation à distance en ligne, on peut citer, pour celles qui sont gratuites et open source : Claroline, Ganesha, Moodle et Prométhé, etc ... et pour celles qui sont commerciales : ACOLAD, Oppia, WBTmanager, etc ...

Sur ces plates-formes, les cours se composent souvent par l'agrégation de plus petites ressources. L'intérêt principal est que l'utilisation du matériel pour l'étudiant peut être personnalisée, dépitée, etc. Nous citons quatre systèmes comme exemple, où le LMS standard est utilisé en grande partie. On donne juste une vue générale de ces systèmes. Tous ces systèmes acceptent les modules SCORM en tant que LO [Dehors 07]:

- Blackboard: Une plate-forme commerciale offrant plusieurs services qui peuvent être combinés pour établir des applications d'apprentissage (LMS, CMS, etc.).
- Moodle: Une plate-forme open source, elle offre un service comme «gestion des cours». Elle intègre également des outils de communication, supporte des tests synchronisés, etc...
- WEBCT: elle est maintenant la propriété de la compagnie Blackboard, elle offre un système de gestion de cours.
- Ganesha : une plate-forme aussi Open source.

Dans des types plus expérimentaux de LMS, comme le ITS (Intelligent Tutoring Systems) ou bien le AH (Adaptive Hypermedia) des fonctionnalités adaptatives sont encore en développement.

### **1.4.3 Les systèmes de e-learning :**

Depuis quelques années, de nombreuses initiatives visant à constituer des ensembles de ressources pédagogiques, dans le but de les partager et de les réutiliser, ont vu le jour. L'alimentation de ces ensembles est souvent basée sur un réseau de contributeurs, qui en contrepartie de leur contribution peuvent bénéficier de l'ensemble des ressources. En effet, il existe plusieurs approches de distribution d'objet d'apprentissage, qui permettent de classer les plates-formes d'apprentissage. Différents types de systèmes sont proposés, on distingue entre autres [Batchakui + 06] [Benayache 05] :

- **LMS**: Learning Management System, ou système de gestion d'apprentissage, il permet de gérer toutes les activités d'une formation telle l'inscription à la formation, le suivi de la progression de l'apprenant au cours de la formation, la distribution des ressources, l'animation de la formation, la communication et la collaboration entre participants. Les LMS ne créent pas de contenu d'où la nécessité d'outils de création et de partage de contenu qui permettent de compléter la solution LMS. Des exemples de LMS sont : WebCT, Ingenium, WBT Manager, Ganesha, Claroline, Moodle, etc [Caron 07].
  
- **Les CMS**: Content Management System, ou système de gestion du contenu, permettent d'administrer et de créer les contenus en ligne. Un contenu est composé d'un ensemble d'informations appelées objets d'apprentissage dans le contexte du e-learning. Des exemples de CMS : Blackboard est une plate-forme commerciale, elle offre plusieurs services pouvant être combinés pour construire une application d'apprentissage complète [Dehors 07], SPIP (SPIP) (système de publication pour Internet), Joomla, Typo3 sont aussi des systèmes de gestion de contenus assez répandus [Caron 07].
  
- **LCMS** : Learning Content Management Système, Système d'apprentissage, et de gestion du contenu. Il inclut les outils de développement du contenu, et vient solutionner la longue tentative d'intégration des outils auteurs aux environnements actuels d'e-learning. Ils permettent à des experts d'un domaine, à des développeurs, de coopérer (via le Web) pour créer des contenus éducatifs (ou Learning Contents) aussi réutilisables que possible. ASPEN est un exemple d'environnement entrant dans cette catégorie, aussi TopClass (TopClass), et SimplyLearn (Simplylearn) [Caron 07].
  
- **LOR** : les Learning Objet Repository rentabilisent les investissements dans le domaine de l'éducation. Ils structurent le contenu d'apprentissage, en vue de leur réutilisation future. Ils introduisent un niveau de granularité des objets d'apprentissage, qui consiste à subdiviser les objets d'apprentissage en sous groupes d'objets, réutilisables selon des catégories ou des caractéristiques particulières. Ce concept vient résoudre les problèmes de partage et de réutilisation des objets d'apprentissage. Il augmente l'efficacité de la distribution du contenu partagé des ressources d'apprentissage, incluant des milliers de cours et des centaines de milliers de contenus d'apprentissage [Batchakui + 06]

#### **1.4.4 Les principales fonctionnalités requises dans un environnement de e\_learning :**

Un environnement de e-learning doit assurer plusieurs fonctionnalités comme :

- ✓ il capitalise et fédère des activités pédagogiques dont il assure la gestion et la diffusion,
- ✓ il diffuse l'information la plus pertinente pour l'utilisateur,
- ✓ il est interactif (comme son contenu) afin de favoriser certains modes de diffusion, de navigation et de recherche, déterminés à partir des profils utilisateurs. Il offre ainsi la possibilité à tous les utilisateurs de participer à la structuration du contenu et de fournir des outils de visualisation/représentation des connaissances/savoirs qu'il contient ;
- ✓ il est pédagogiquement adapté (auto-adaptation) aux besoins des apprenants identifiés et regroupés grâce à différents profils (profils d'intérêts ou d'objectifs, de niveau de connaissances-compétences); il est personnalisable ;

Tandis que pour ce qui concerne les activités pédagogiques (les contenus), des difficultés portent principalement sur :

- ✓ comment susciter et garantir des contenus de qualité en conservant une diversité de sources et de points de vue et sans diminuer la richesse et la variété de l'information;
- ✓ comment avoir des informations sur les connaissances (leur type, leur niveau, ...) qui sont abordées dans les différentes activités et permettre leur mise à jour ;
- ✓ comment faciliter le partage, la capitalisation et la réutilisation de ressources pédagogiques au sein de différentes activités (proposées par différents formateurs) ou entre les systèmes de téléformation (contraintes d'interopérabilité)
- ✓ comment faire adapter automatiquement le contenu au profil de l'utilisateur ;
- ✓ comment structurer la navigation des apprenants dans les différentes activités pédagogiques sans altérer la liberté d'accès à l'information, universités ouvertes;
- ✓ comment faire face à l'inadéquation de la législation des droits de recopie, des droits d'auteurs, des règles de rémunération actuelles.

### **1.4.5 Usage de plate-forme :**

L'usage de plate-forme 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. Ainsi, une plate-forme peut comporter des fonctionnalités relatives à la gestion des compétences, à la gestion des ressources pédagogiques, à la gestion de la qualité de la formation, etc. [Benayache 05].

## 1.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'évolution des systèmes de formation à distance et des plates-formes d'apprentissage en ligne.

Nous nous sommes intéressés aux problèmes de gestion, d'organisation et d'accès aux ressources pédagogiques. En particulier, nous avons donné l'exemple de l'utilisation des méta-données pour l'organisation des ressources.

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 plates-formes pédagogiques.

Pour que l'apprenant puisse utiliser l'ensemble des ressources mises à sa disposition via une plate-forme avec efficacité, il faut satisfaire deux exigences, à savoir celle qui vise à lui accorder une certaine liberté de choix, et celle qui lui évite de se disperser. Les plates-formes pédagogiques sont plutôt destinées aux concepteurs d'activités pédagogiques ou aux enseignants pour qu'ils mettent en place rapidement des formations adaptées. Notre problématique se place dans la perspective de créer un modèle de plate-forme de e-learning qui puisse satisfaire les besoins des enseignants, des apprenants et même ceux de l'administration universitaire.

Une application e-learning est mise en ligne via l'utilisation du Web. De ce fait, elle partage le même problème de pertinence avec le Web. Parmi les initiatives visant à résoudre ce problème, nous trouvons la notion du "Web Sémantique" [Berners-Lee, 01] qui repose lui aussi sur la notion d'ontologie. Dans les chapitres suivants, nous présentons les liens qui unissent les applications e-learning et les ontologies d'un côté et le Web Sémantique d'un autre côté.

# Chapitre 2 : Les ontologies pour le E-learning

*"The question of whether computers can think is like the question of whether submarines can swim."*

– EW Dijkstra

La modélisation conceptuelle pour l'exploitation du Web aux fins du téléapprentissage est devenue une nécessité. Une telle modélisation peut être réalisée en se basant sur une approche spécifique, c'est celle de l'ingénierie ontologique (IO) [Psyché, 03].

En effet, l'utilisation des ontologies est une piste privilégiée pour l'analyse, la conception et le développement des applications e-learning sur le Web.

Le présent chapitre décrit la notion d'ontologie, ainsi que l'utilité des ontologies et de l'ingénierie ontologique pour concevoir des applications e-learning.

Afin de bien argumenter cette utilité, nous commençons par définir les ontologies, et les typologies d'ontologie. Puis nous présentons les principes, les méthodologies, et les outils de développement d'une ontologie. Enfin, nous présentons différentes possibilités d'utilisation des ontologies pour des applications e-learning.

## 2.1 Notion d'ontologie : Définitions et Principes :

### 2.1.1 Origine des ontologies

Le terme Ontologie est un terme grec composé des mots : « ontos » et « logos » qui veulent dire respectivement l'essence de l'être [Bahloul 06]. À l'origine, l'Ontologie est une branche de la philosophie dans laquelle les philosophes ont tenté de rendre compte de l'existant de façon formelle [Mizoguchi 04]. Ce terme, qui hérité d'une tradition philosophique, est apparu dans le domaine informatique grâce au projet ARPA Knowledge Sharing Effort en 1991 [Bahloul 06].

En effet, la plupart des chercheurs sont d'accord pour considérer que la notion d'ontologie est dérivée de celle de la philosophie où on : « étudie l'être en tant qu'être », « *Partie de la métaphysique qui s'applique à l'être en tant qu'être, indépendamment de ses déterminations particulières* » (Le Petit Robert) [Charlet 02]. On étudie l'être ou l'existence aussi bien que ses catégories de base en essayant de découvrir quelles entités, quels types d'entités et quelles relations entre des entités existent.

Dans les écrits scientifiques contemporains, le terme ontologie recouvre deux usages dont le premier appartient à la philosophie classique et le second plus récent, aux autres sciences cognitives. De ce fait, la convention veut que la notation *Ontologie* (avec un *O* majuscule) soit attribuée au domaine issu de la philosophie et *ontologie* aux autres [Psyché 03]. Pris dans son sens le plus large, le terme ontologie est plus ou moins synonyme de : *théorie ou conception du réel* [Psyché, 03].

En informatique, "ontologie" est un objet et non une science. C'est le résultat d'une tentative de formulation exhaustive et rigoureuse de la conceptualisation d'un domaine.

Les ontologies sont apparues au début des années 90 dans la communauté Ingénierie des connaissances, dans le cadre des démarches d'acquisition des connaissances pour les systèmes à base de connaissances (SBC) [Charlet, Bachimont, Troncy 04]. Les ontologies sont étudiées aussi par les chercheurs travaillant en intelligence artificielle, sur la représentation de la connaissance, et maintenant, sur le Web sémantique.

## **2.1.2 Ontologies en Ingénierie de Connaissance**

Avec l'émergence de l'ingénierie des connaissances et du web sémantique, le terme « Ontologie » a pris une toute autre tournure - par rapport aux sciences philosophiques - pour désigner la problématique de représentation et de manipulation des connaissances dans un système informatique [Psyché + 03].

L'ontologie est comprise comme un système de concepts fondamentaux qui sont représentés sous une forme compréhensible par un ordinateur. La première définition de l'ontologie dans le domaine de l'informatique (IA) est présentée par (Neches et al., 1991) : « *Une ontologie définit les termes et les relations de base comportant le vocabulaire d'un domaine aussi bien que les règles pour combiner des termes et les relations afin de définir des extensions du vocabulaire* » [Thành

Lê 06]. La définition la plus citée, est celle de [Gruber 93]: « *Une ontologie est une spécification explicite et formelle d'une conceptualisation d'un domaine de connaissance* ». Depuis cette définition et beaucoup d'autres définitions d'ontologie ont été proposées dans la littérature [Psyché 07] :

« D'après Gómez-Pérez [Gómez-Pérez, + 99], des auteurs ont également fourni une définition fondée sur la méthode qu'ils ont utilisée pour construire leur ontologie. Pour Swartout (Swartout B. et al., 1997), par exemple, « *an ontology is a hierarchically structured set of terms for describing a domain that can be used as a skeletal foundation for a knowledge base* ». Dans le même ordre d'idées, Bernaras (Bernaras A., Laresgoiti I. et Corera J., 1996) propose la définition suivante: « *an ontology provides the means for describing explicitly the conceptualization behind the knowledge base* » ».

En mettant l'accent sur l'importance du partage et la réutilisation des connaissances, la définition de Gruber, a été reprise et modifiée par Studer : « *Une ontologie est une spécification formelle d'une conceptualisation partagée* » [Borst 97].

Mizoguchi, définit une ontologie [Mizoguchi 04] en se focalisant sur le partage et la réutilisation de concept en utilisant la sémantique computationnelle, par « *Une ontologie est un système conceptuel qui permet de partager et de réutiliser des concepts grâce à une sémantique computationnelle* ».

### **2.1.3 Composantes d'une ontologie :**

L'ontologie n'est en fin de compte qu'une modélisation du monde réel en concept et relation entre ces concepts se référant à un domaine.

Ainsi, une ontologie peut être vue comme un treillis de concepts et de relations entre ces concepts destinés à représenter les objets du monde sous une forme compréhensible aussi bien par les hommes que par les machines. Si certaines divergences relatives à la structure (degré de la formalisation) de l'ontologie ont été constatées, les composantes principales d'une ontologie sont : des concepts et des relations ainsi que des propriétés et des axiomes. Les principales composantes qu'on peut distinguer sont donc les suivantes [Psyché 07], [Bahloul 06]:

- **Les concepts** : sont des notions (ou objets) permettant la description d'une tâche, d'une fonction, d'une action, d'une stratégie ou d'un processus de raisonnement, etc. Ils peuvent être abstraits ou concrets, élémentaires ou composés, réels ou fictifs. Habituellement, les concepts sont organisés en taxonomie. Une taxonomie est une hiérarchie de concepts (ou d'objets) reliés entre eux en fonction de critères sémantiques particuliers.
- **Les propriétés** : (ou attributs) sont des restrictions des concepts ou des relations.
- **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  $n$  ensembles, c'est-à-dire  $R: C_1 \times C_2 \times \dots \times C_n$ . Elles expriment les associations entre les différents concepts définis dans la taxonomie. Les différents types de relations qui peuvent exister sont : « *Spécialisation/Généralisation* », « *Agrégation ou Composition* », « *associé à* », « *composé de* », Etc. Des exemples de relations binaires sont : *sous-concept-de*, *connecté-à*, *sorte-de*, etc.
- **Fonctions** : Les fonctions sont des cas particuliers de relations dans lesquelles le **nième** élément de la relation est unique pour les  $n-1$  précédents. Formellement, les fonctions sont définies ainsi,  $F: C_1 \times C_2 \times \dots \times C_{n-1} \rightarrow C_n$ . Comme exemple de fonction binaire, nous avons la fonction (*mère-de*).
- **Axiomes** : Constituent des assertions considérées toujours comme vraies. Les axiomes de l'ontologie permettent de définir la sémantique des termes (classes, relations), leurs propriétés et toutes contraintes quant à leur interprétation. Ils sont définis à l'aide de formules bien formées de la logique du premier ordre en utilisant les prédicats de l'ontologie.
- **Instances** : ce sont des exemples particuliers de concepts. Elles sont utilisées pour représenter des éléments.

## 2.2 Typologie d'ontologies :

Il existe de nombreuses sortes d'ontologies, destinées à des utilisations très variées. L'un des problèmes fréquemment rencontrés par les utilisateurs potentiels d'ontologies, en

particulier dans le E-learning, est celui de la diversité des appellations de ces ontologies (et des finalités sous-jacentes).

Les ontologies peuvent être de nature très diverse. Afin de mieux s'y retrouver, un certain nombre de classifications ont été proposées. Le but de cette partie est d'avoir un état de l'art sur ces classifications. La plus courante des classifications d'ontologies est la classification selon l'objet de conceptualisation [Psyché, + 03]. On peut ainsi distinguer sept catégories [Aubry 07] :

- 1- **Ontologie de représentation des connaissances** : ce type d'ontologies regroupe les concepts (primitives de représentation) impliqués dans la formalisation des connaissances. Un exemple est l'*ontologie de Frame* qui intègre les primitives de représentation des langages à base de *frames* : classes, instances, facettes, propriétés/*slots*, relations, restrictions, valeurs permises, etc.
- 2- **Ontologie supérieure ou de Haut niveau (ou générale)** : Cette ontologie est une ontologie générale. Son sujet est l'étude des catégories des choses qui existent dans le monde, soient les concepts de haute abstraction tels que: les entités, les événements, les états, les processus, les actions, le temps, l'espace, les relations, les propriétés, de notion mathématiques etc [Psyché, + 03]. Ces concepts ne dépendent pas d'un problème ou d'un domaine particulier, et doivent être, du moins en théorie, consensuels à de grandes communautés d'utilisateurs [Lando 06].

Plusieurs ontologies ont été développées pour décrire des concepts généraux ou des domaines particuliers. Parmi les ontologies générales il y a i) Cvc développée avec le modèle logique, en utilisant le langage CycL. Cette ontologie a la possibilité de construire des applications pour l'extraction des connaissances, la recherche intelligente et la traduction, etc. ; et ii) KR Ontolog qui utilise le modèle de treillis et le FCA (Formal Concept Analysis) pour représenter l'ontologie [Bahloul 06]. D'autres exemples d'ontologies de haut niveau sont « Dolce ou Sumo » [Lando 06].

- 3- **Ontologie Générique** [Psyché 07] : Cette ontologie aussi appelée, **méta-ontologies** ou *core ontologies*, véhicule des connaissances génériques moins abstraites que celles véhiculées par l'ontologie de haut niveau, mais assez générales néanmoins pour être

réutilisées à travers différents domaines. Elle peut adresser des connaissances factuelles (*Generic domain ontology*) ou encore des connaissances visant à résoudre des problèmes génériques (connaissances procédurales) appartenant à ou réutilisables à travers différents domaines (*Generic task ontology*). Deux exemples de ce type d'ontologies sont : 1) l'ontologie météorologique contenant des relations, *Partie-de* et 2) l'ontologie topologique contenant des relations, *Associé-à*.

- 4- Ontologie de Tâches** : une ontologie de tâche décrit le vocabulaire concernant une tâche générique (ex. : enseigner, diagnostiquer...), [Lando 06]. En effet, ce type d'ontologies est utilisé pour conceptualiser des tâches spécifiques dans les systèmes, telles que les tâches de diagnostic, de planification, de conception, de configuration, de tutorat, soit tout ce qui concerne la résolution de problèmes [Psyché + 03]. Elle régit un ensemble de vocabulaire et de concepts qui décrit une structure de résolution des problèmes inhérente aux tâches et indépendante du domaine. Deux exemples d'utilisation de l'ontologie de tâche dans le domaine de l'éducation sont les suivants : 1) l'ontologie de formation par ordinateur - *Computer Based Training Ontology* - qui régit un ensemble de concepts spécifiques à un système d'apprentissage inhérent à des ontologies de tâche ; et 2) l'ontologie des objectifs d'apprentissage - *Learning Goal Ontology* - qui décrit les rôles des apprenants et des agents dans le cadre d'un apprentissage collaboratif [Psyché + 03]. Certains auteurs emploient le nom « ontologie du domaine de la tâche » pour faire référence à ce type d'ontologie [Hernandez 05].
- 5- Ontologie du Domaine** : une ontologie de domaine décrit le vocabulaire ayant trait à un domaine générique (ex. : l'enseignement, la médecine...) [Lando 06]. En effet, cette ontologie régit un ensemble de vocabulaire et de concepts qui décrit un domaine d'application ou monde cible. Elle permet de créer des modèles d'objets du monde cible. L'ontologie du domaine est une méta-description d'une représentation des connaissances, c'est-à-dire une sorte de méta-modèle de connaissance dont les concepts et propriétés sont de type déclaratif. La plupart des ontologies existantes sont des ontologies du domaine. Dans le contexte de la formation à distance, un domaine serait par exemple : le téléapprentissage [Psyché 07]. De nombreuses autres ontologies de domaine ont été développées dans le domaine de la modélisation de l'entreprise [Bahloul 06] comme : *Enterprise Ontolog* et *Tove*, ou aussi dans le domaine médical comme : *UMLS*.

6- **Les ontologies de tâches-domaine** : ce sont des ontologies de tâches spécifiques à un certain domaine. Un exemple d'une telle ontologie est celui d'une ontologie des termes liés à la planification chirurgicale [Aubry 07].

7- **Ontologies d'application** : ces ontologies sont les plus spécifiques. Les concepts correspondent souvent aux rôles joués par les entités du domaine tout en exécutant une certaine activité. Elles peuvent contenir des extensions spécifiques telles les méthodes et tâches [Bahloul 06]. Elles contiennent toutes les définitions nécessaires pour décrire la connaissance requise pour une application particulière. Il s'agit donc ici de mettre en relation les concepts d'un domaine et les concepts liés à une tâche particulière, de manière à en décrire l'exécution [Lando 06].

D'autres classifications se présentent dans la littérature, chacune repose sur un critère différent des autres, on peut citer [Aubry 07] :

1- Mizoguchi propose une classification des ontologies en les classant en ontologies «*lightweight*» (« poids-léger ») et ontologies «*heavyweight*» (« poids-lourd »). Les ontologies *lightweight* contiennent typiquement une simple hiérarchie de concepts ainsi que des relations entre ces concepts. D'un autre côté, les ontologies *heavyweight* sont définies de manière plus précise, en déterminant des propriétés avancées sur ces concepts permettant des inférences.

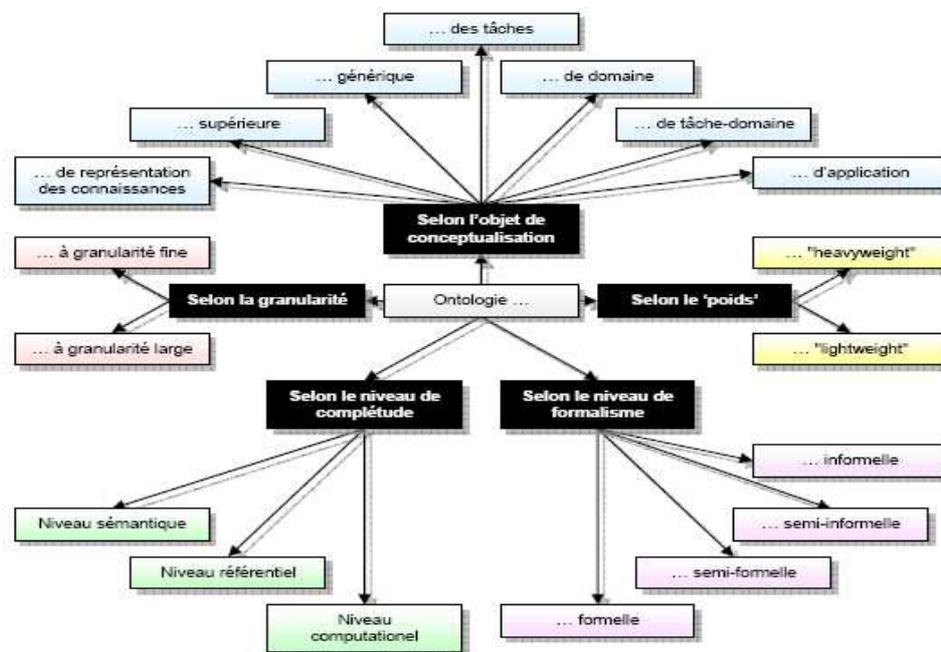
2- Les ontologies peuvent être classées aussi selon leur niveau de granularité (fine ou large) [Psyché + 03]. Plus la granularité est fine, plus les concepts modélisés vont correspondre à des notions spécifiques. Typiquement, une ontologie de haut niveau propose un niveau de granularité très large.

3- Une autre propriété permettant de classer les ontologies est le niveau de complétude où on peut voir trois niveaux dans cette classification de la manière suivante : le niveau sémantique correspond à une ontologie dont les termes sont clairement distincts les uns des autres, le niveau référentiel, à des termes dont on connaît en plus l'extension, le niveau opérationnel correspond quant à lui, à des ontologies inférables.

4- On peut aussi classer les ontologies selon le niveau de formalisme du langage que l'on utilise pour les modéliser. A ce niveau quatre types d'ontologies :

- Les ontologies informelles, exprimées en langage naturel.
- Les ontologies semi-informelles, écrites dans un langage naturel, mais sous une forme limitée et structurée, permettant d'augmenter la clarté et la lisibilité.
- Les ontologies semi-formelles, exprimées dans un langage artificiel défini de manière formelle.
- Les ontologies strictement formelles, définies elles aussi dans un langage artificiel, mais avec des théorèmes et des preuves sur des propriétés de l'ontologie, telles que la robustesse ou la complétude.

On peut résumer les dimensions de classification d'une ontologie par la figure suivante :



*schéma de classification des ontologies*

Nous pouvons dire qu'une ontologie computationnellement sémantique est nécessairement formelle.

### 2.3 Développement d'une ontologie :

Il existe trois méthodes possibles de création d'une ontologie [Bahloul 06] : une ontologie peut être construite d'une façon manuelle, automatique ou mixte. Dans le mode

manuel, les experts réalisent l'ontologie en s'appuyant sur des techniques classiques de collecte et d'analyse des connaissances. La création d'une ontologie d'une manière automatique se base sur des méthodes formelles et des techniques d'extraction des connaissances en employant des outils linguistiques et statistiques. Enfin, dans le mode mixte, les ontologies sont construites par des techniques automatiques tout en intégrant des méthodes permettant d'étendre des ontologies ayant été construites manuellement. Quel que soit le mode choisi, l'élaboration de toute ontologie doit s'appuyer sur un certain nombre de règles qu'il est nécessaire de respecter et une méthodologie de construction d'ontologies.

### 2.3.1 Principes de développement d'une ontologie :

La construction d'une ontologie suppose certaines obligations qui découlent du choix d'utiliser certains concepts plutôt que d'autres pour représenter un phénomène [Ranwes 00]. En effet, il existe un ensemble de critères et de principes qui ont fait leurs preuves dans le développement des ontologies et qui peuvent être résumés en ce qui suit, [Charlet, + 03]:

- **Clarté** : les ambiguïtés doivent être réduites. Quand une définition peut être axiomatisée, elle doit l'être. Dans tous les cas, des définitions en langage naturel doivent être fournies [Gruber 93].
- **Cohérence** : une ontologie doit être cohérente. Les axiomes doivent être consistants. La cohérence des définitions en langage naturel doit être vérifiée autant que faire se peut.
- **Extensibilité** : l'ontologie doit être construite de telle manière que l'on puisse l'étendre facilement, sans remettre en cause ce qui a déjà été fait [Gruber 93].
- **Biais d'encodage minimal** : l'ontologie doit être conceptualisée indépendamment de tout langage d'implémentation. Le but est de permettre le partage des connaissances (de l'ontologie) entre différentes applications utilisant des langages de représentation différents.
- **Engagement ontologique minimal** : une ontologie doit faire un minimum d'hypothèses sur le monde : elle doit contenir un vocabulaire partagé mais ne doit pas

être une base de connaissances comportant des connaissances supplémentaires sur le monde à modéliser.

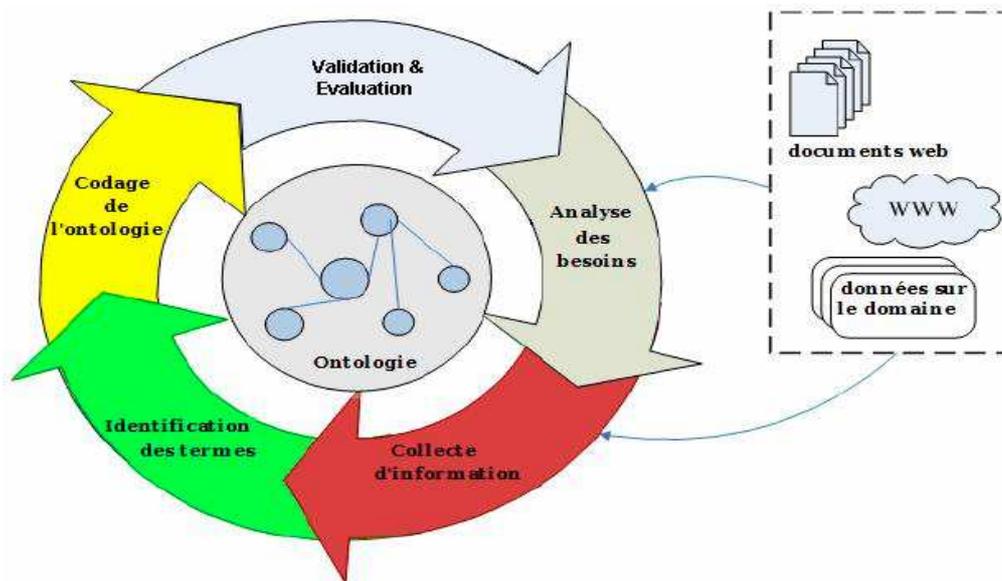
D'autres chercheurs proposent d'autres principes [Psychet , + 03]:

- **Principe de distinction ontologique** : les classes dans une ontologie devraient être disjointes. Le critère utilisé pour isoler le noyau de propriétés considérées comme invariables pour une instance d'une classe est appelé le critère d'*Identité*.
- **Modularité** : ce principe vise à minimiser les couplages entre les modules.
- **Diversification des hiérarchies** : ce principe est adopté pour augmenter la puissance fournie par les mécanismes d'héritage multiple. Si suffisamment de connaissances sont représentées dans l'ontologie et que suffisamment de différentes classifications de critères sont utilisées, il est plus facile d'ajouter de nouveaux concepts (puisque'ils peuvent être facilement spécifiés à partir des concepts et des classifications de critères pré-existants) et de les faire hériter de propriétés de différents points de vue.
- **Normaliser les noms** : ce principe indique qu'il est préférable de normaliser les noms aussi autant que possible.

### 2.3.2 Cycle de vie d'une ontologie :

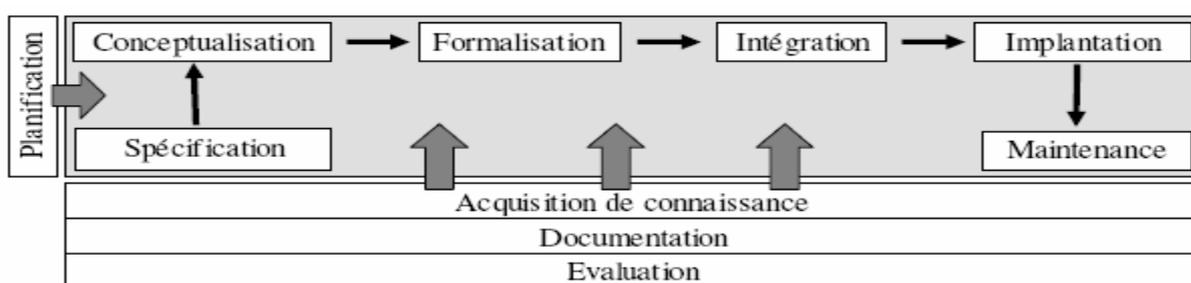
Étant donné que les ontologies seront utilisées comme composantes de systèmes logiciels, leur développement doit s'appuyer sur les mêmes principes que ceux utilisés en génie logiciel. En particulier, elles doivent être considérées comme des objets techniques évolutifs et posséder un cycle de vie spécifique [Benayache O5].

La construction d'une ontologie doit passer par différentes phases, à commencer par l'analyse des besoins, jusqu'à la validation et l'évaluation, et ce, comme le montre la figure suivante :



*cycle de vie d'une ontologie [Mestiri 07]*

La Figure 4 représente les différentes activités présentées par Fernandez *et al.* (1997) qui expliquent que le cycle de vie préconisé est un cycle par prototypes : "la vie d'une ontologie passe par les états suivants : spécification, conceptualisation, formalisation, intégration, implantation, et maintenance. Le cycle de vie par évolution de prototypes permet à l'ontologiste de retourner de n'importe quel état à n'importe quel autre si une certaine définition manque ou est erronée. Ainsi, ce cycle de vie permet l'inclusion, le déplacement ou la modification de définitions n'importe quand durant le cycle de vie de l'ontologie. L'acquisition, la documentation et l'évaluation de connaissances sont des activités de support qui sont effectuées pendant la majorité de ces états." [Benayache 05].



*Le cycle de vie d'une ontologie pour [Fernandez 97]*

Fernandez insiste sur le fait que les activités de documentation et d'évaluation sont nécessaires à l'étape du processus de construction d'ontologie, l'évaluation précoce permettant de limiter la propagation d'erreurs.

La Figure 5 donne un schéma résumant le cycle de vie complet d'une ontologie choisi dans le document de [Dieng-Kuntz, Grandbastien, Hérin 05] ; il rassemble sept activités :

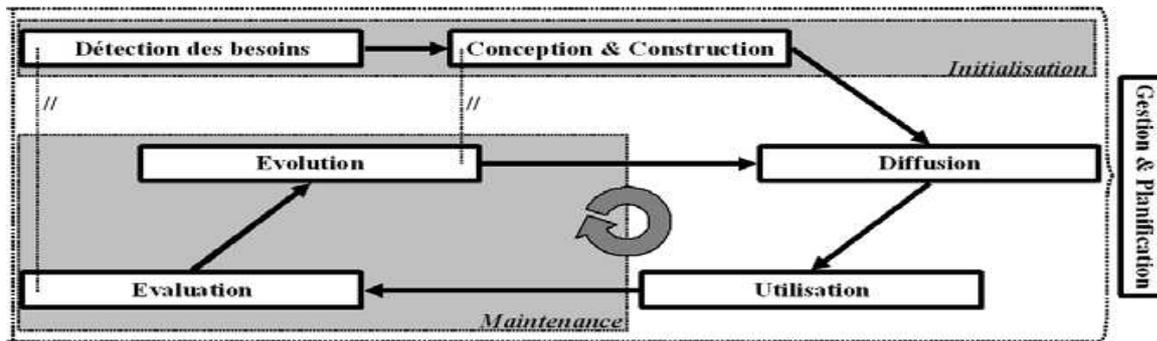


Schéma résumant le cycle de vie

- L'activité de *Détection* des besoins lors de la conception et l'activité d'*Evaluation* lors du cycle de vie ont en commun un certain nombre de tâches et de méthodologies de recueil (entretiens, questionnaires, sondages) et d'identification/analyse (ex : modélisation par scénarii). En complément la phase de détection des besoins demande un état des lieux initial approfondi car elle ne peut reposer sur des études précédentes ou des retours d'utilisation comme c'est le cas pour l'évaluation.
- La phase de *Conception initiale* et la phase d'*Evolution* lors du cycle de vie ont en commun un certain nombre d'activités : spécification des solutions ; acquisition des connaissances nécessaires; conceptualisation/modélisation; formalisation; intégration de ressources existantes ; implantation.
- La phase de *Diffusion* s'intéresse au déploiement et mise en place de l'ontologie particulièrement dans le cas de solutions distribuées mais aussi du point de vue de l'information des utilisateurs sur la mise à disposition ou mise à jour de l'ontologie.
- La phase d'*Utilisation* regroupe toutes les activités reposant plus ou moins directement sur la disponibilité de l'ontologie, par exemple : l'annotation, la résolution de requête, l'application d'inférences, etc.
- L'activité permanente de *Gestion & Planification* souligne qu'il est important d'avoir un travail de suivi et une politique globale pour détecter ou déclencher, préparer et évaluer les itérations du cycle et s'assurer du maintien du consensus.

### 2.3.3 Méthodologies de conception d'ontologie :

La construction d'une ontologie n'est pas une activité aisée, d'autant plus qu'il n'existe pas une méthodologie communément admise, comme c'est le cas dans le domaine des bases de données par exemple, avec la démarche Entité/Association. En effet, le processus de construction d'une ontologie est un processus complexe, impliquant plusieurs intervenants dans les différentes phases du processus. La gestion de cette complexité exige la mise en place de processus de gestion, afin de contrôler les coûts et le risque, et d'assurer la qualité tout au long du processus de construction, et aussi l'intégration souvent d'un expert du domaine.

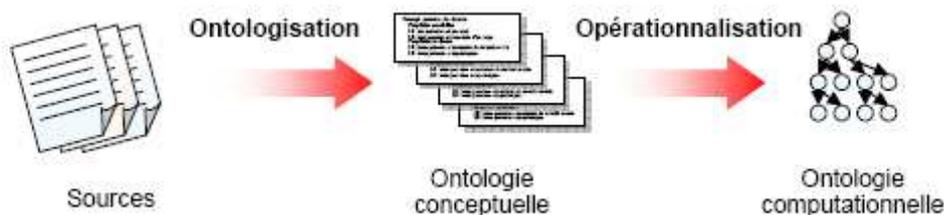
Une méthodologie étant considérée comme ensemble de principes de construction systématiquement reliés, appliqués avec succès par un auteur dans la construction d'ontologies. Les méthodes de conception d'ontologie permettent de donner un cadre à la spécification et au développement de l'ontologie. On trouve un grand nombre de méthodes [Mizoguchi 04], permettant soit de créer les ontologies à partir de zéro (collaborativement ou non), soit de créer une ontologie à partir d'ontologies existantes (par ré-ingénierie ou fusion) [Psyche, + 03]. Les travaux sur la construction des ontologies ont débuté dans les années 1990 : « (Gruber, 1995)(Ushold et King, 1995) (Fernandez, 1997)(Guarino, 1998)(Corcho et al., 2003)(Jarrar et Meersman, 2002)(Aussenac-Gilles et al., 2000) », plusieurs méthodologie sont proposée : (Les méthodes METHONTOLOGY élaborée en 1998 par [Gomez-Pérez, 1998], la méthode de Bachimont (Bachimont, 2000), la méthode de (Staab et al., 2001), La méthode OntoSpec [Kassel, 2002], ...) [Benayache 05].

Malgré le nombre important de ces méthodes et de démarches proposées, aucune n'a pu vraiment s'imposer. Pour une description plus détaillée des méthodes et outils de la construction d'ontologies, nous renvoyons le lecteur à l'état de l'art donné dans [Benayache 05] et [Diallon 06] [Psyché 07]. Nous présentons ici une de ces méthodes : la méthode OntoSpec [Kassel 02]. Cette méthode est basée sur deux étapes :

- Une première phase d'**ontologisation**, qui correspond à « l'acquisition et la modélisation des connaissances ontologiques ». Dans cette phase, on part d'un ensemble de sources (documents, interviews d'experts ...) et on définit en langage naturel chaque concept mis en place dans l'ontologie. Cette étape aboutit à une *ontologie conceptuelle*,

indépendante de l'implémentation machine, pour laquelle la définition de chaque concept contient les éléments suivants [Aubry 07] :

- Les propriétés essentielles, qui sont les conditions nécessaires pour qu'une entité appartienne à une classe donnée.
  - Les propriétés incidentes, qui sont les propriétés qui, bien que s'appliquant aux membres de la classe, n'en définissent pas les éléments
- Une deuxième phase d'**opérationnalisation**, permettant de passer de l'ontologie conceptuelle à l'*ontologie computationnelle*. Cette étape correspond aux choix de représentation, ainsi qu'à la transposition des affirmations réalisées dans l'ontologie conceptuelle vers le formalisme informatique. La figure 6 montre ces deux étapes :



*étapes de la conception d'une ontologie avec OntoSpec*

### 2.3.4 Environnement et outils de modélisation des ontologies :

Un ensemble d'environnements d'ingénierie ontologique a été développé afin de systématiser l'ingénierie des ontologies. Les plus connus sont : Ontolingua, Ontosaurus, ODE, Protégé 2000 et enfin, Tadzebao et WebOnto, HOZO, KAON (anciennement connu sous le nom de OntoEdit), et OILEd [Psyché 03] :

- **Ontolingua** de l'Université Stanford; le serveur Ontolingua est le plus connu des environnements de construction d'ontologies en langage Ontolingua. Il consiste en un ensemble d'outils et de services qui supportent la construction en coopération d'ontologies, entre des groupes séparés géographiquement [Psyché 07].

- **OILEd** de l'*Information Management Group* de l'Université de Manchester se veut un éditeur freeware d'ontologies, destiné à supporter le développement d'ontologies de petite et moyenne tailles, basées sur le standard DAML+OIL. OILEd n'est pas un environnement de

développement d'ontologies offrant des fonctionnalités supportant le cycle complet de conceptualisation et opérationnalisation [Psyché + 03].

- **Protégé -2000** du département d'Informatique Médicale de l'Université Stanford; Protégé -2000 successeur de ProtégéWin, Protégé est une plate-forme *Open Source* autonome, qui fournit un environnement graphique d'édition ontologique, ainsi qu'une architecture extensible pour la construction d'outils personnalisés, à base de connaissances. Son architecture modulaire permet aux concepteurs de logiciels d'y ajouter une nouvelle fonctionnalité en créant le plug-in approprié. Protégé fournit également des traducteurs en FLogic, OIL, Ontolingua et RDF(S), et peut entreposer des ontologies dans n'importe quelle base de données relationnelle compatible avec JDBC [Psyché 07]. Protégé 2000 est un outil, une plateforme et une librairie d'ontologies, qui permettent : 1) de construire une ontologie du domaine, 2) de personnaliser des formulaires d'acquisition de connaissances et 3) de transférer la connaissance du domaine [Psyché + 03].

- **Tadzebao et WebOnto** du *Knowledge Media Institute* de l'*Open University*; *WebOnto* permet la navigation, la création et l'édition d'ontologies de façon collective. Les ontologies sont représentées dans le langage de modélisation *OCML*. Les fonctionnalités principales de *WebOnto* sont la gestion d'ontologies en utilisant une interface graphique, l'aide pour la modélisation, l'inspection d'éléments, la prise en compte de l'héritage des propriétés et la vérification de la cohérence, une interface complète ; « dire et demander » (pour les requêtes) et une aide au travail collectif. Une bibliothèque avec plus de 100 ontologies est accessible par l'intermédiaire de *WebOnto* [Psyché 07] [Azouaou + 05]. *WebOnto* et *Tadzebao* sont des outils complémentaires. *Tadzebao* permet aux ingénieurs des connaissances de tenir des discussions sur les ontologies, en mode synchrone et asynchrone, *WebOnto* supporte la navigation collaborative, la création et l'édition d'ontologies sur le Web [Psyché + 03].

- **ODE** du laboratoire d'Intelligence Artificielle de l'Université de Madrid. Les principaux avantages de ODE (*Ontology Design Environment*) sont le module de conceptualisation pour construire des ontologies et le module pour construire des modèles conceptuels *ad hoc* [Azouaou + 05].

- **KAON** (*Karlsruhe Ontology and Semantic Web*) est un environnement *open source* modulaire, basé dans Java, destiné à la conception, au développement et à la gestion d'ontologies.

L'environnement intègre les modules suivants : API, Query, Serveurs (d'ontologie et d'application), Générateur de portails web (basés sur les ontologies), Éditeur d'ontologie (construction et maintenance) [Azouaou + 05].

- **HOZO** du MizLab de l'Université d'Osaka; Hozo est un environnement composé d'un éditeur et d'un serveur d'ontologies. L'éditeur est développé en applets Java afin de pouvoir fonctionner comme un client via l'Internet. Hozo gère les ontologies et ses instances pour chaque programmeur. Chacun peut lire et copier toutes les ontologies et les instances présentes dans Hozo, mais ne peut pas modifier celles développées par d'autres. La vérification de la consistance d'une instance se fait en utilisant les axiomes définis dans l'ontologie. Hozo gère l'exportation des ontologies et modèles en format XML, RDF, DAML+OIL [Psyché + 03].

## 2.4 Les ontologies et le E-learning :

Le E-learning est basé sur des outils informatiques qui visent la diffusion des savoirs et leurs acquisitions par des apprenants. Ainsi, la motivation d'explicitation, de partage et de réutilisation de ses savoirs (connaissances) est centrale pour l'E-learning. Dans ce contexte, les ontologies ont un rôle principal à tenir en tant qu'amplificateur d'intelligence pour le partage et la réutilisation de connaissances. Ceci grâce à la médiation faite par l'ordinateur pour la dissémination des connaissances entre les différents acteurs [Mizoguchi 04]. En effet, l'apport des ontologies pour augmenter l'intelligence dans les environnements de formation à distance ainsi que dans la conception de ces environnements a largement été démontré [Psyché, + 03], [Mizoguchi 04] [Crampes, Bourdeau 04].

### 2.4.1 Les besoins pour les environnements de formation à distance

Parmi les besoins identifiés pour augmenter l'intelligence dans les environnements de e-learning ou formation à distance, il est possible d'identifier les quatre besoins suivants qui induisent le recours à l'ontologie [Psyché + 03] :

- **Besoin d'une représentation formelle** : une caractéristique de la formation à distance est d'exiger un design pédagogique complet, et complètement explicite.

- **Besoin de partager la connaissance** : la question du partage se pose de façon particulière en FAD. Les acteurs (apprenants, concepteurs, tuteurs, gestionnaires) qui interagissent tant avec les environnements de conception qu'avec les environnements d'apprentissage se trouvent face au besoin ou au défi de partager des *choses* du monde dans lequel ils évoluent ensemble : idées, vision, activités, objets, outils.
- **Besoin d'une assistance pour la conception de cours** : une étude sur les systèmes de formation a montré que les systèmes d'assistance à la conception de cours auraient tout à gagner à se doter des fonctionnalités suivantes :
  - a) Fournir aux concepteurs des primitives conviviales afin qu'ils puissent décrire leurs propres idées ;
  - b) Donner des conseils pertinents, basés sur les principes de l'ingénierie pédagogique ;
  - c) Montrer le comportement dynamique des systèmes de formation à un niveau conceptuel afin qu'ils puissent examiner leur validité.

Pour répondre aux besoins des concepteurs, une assistance intelligente basée sur l'ontologie serait la clé. Des efforts de nombreux chercheurs (Bordeau, Mizogochi, ...) ont été orientés vers la conception d'outils répondant à ces exigences (a, b, c).

## 2.4.2 E-learning et apports des ontologies

L'utilisation d'ontologies pour développer des systèmes éducatifs n'est pas récente. Aujourd'hui le recours à une modélisation, partagée par au moins l'ensemble des acteurs d'un système, est quasi incontournable. Le partage entre plusieurs applications reste problématique [Abel + 05]. Dans la majorité des cas, l'ontologie sert à expliciter les buts pédagogiques poursuivis. Il existe des tentatives pour définir des ontologies du e-learning, mais un des problèmes est de savoir ce que le ou les ontologies doivent décrire.

Stojanovic [Stojanovic + 01] propose une ontologie de "cours" qui se décompose en 3 sous parties décrivant le contenu, le contexte et la structure. Le contenu est communément appelé l'ontologie du domaine. Les deux autres parties sont liées à l'aspect pédagogique (structuration en chapitres, nature des parties, etc.).

D'une façon générale, l'apport spécifique de l'ingénierie ontologique (IO) pour le e-learning serait la représentation formelle de connaissances déclaratives, couplée à un mécanisme d'inférence exploitable par les environnements de e-learning. D'un autre côté, dans le cadre du e-learning plusieurs aspects peuvent bénéficier de l'introduction d'ontologies [Abel + 05]:

- Le e-Learning implique des échanges de connaissances.
- Le e-Learning implique la conception et la maintenance de mémoires : indexation du matériel pédagogique, requêtes sur le matériel, etc.
- Le e-Learning implique une connaissance du monde de l'enseignement : descriptions des acteurs et de leurs rôles, des situations, des processus, des flots de documents, etc.

### **2.4.3 Rôles des ontologies pour les applications e-learning :**

Même si le besoin de développer une ontologie est très varié et dépend du domaine d'application, nous pouvons énumérer un certain nombre d'utilités. Dans le cas d'un usage e-learning, l'utilisation d'ontologies peut intervenir pour [Benayache 05] [Mestiri 07]:

- **La connaissance du domaine e-learning :** l'utilisation des ontologies permet d'améliorer le processus d'acquisition de connaissances lors de la construction d'une formation e-learning. Cela se traduit par une meilleure organisation des objets pédagogiques et des connaissances du domaine.
- **Modularité et réutilisabilité des connaissances :** Les ontologies sont surtout utilisées pour la représentation de connaissance et l'application de raisonnements sur ces connaissances. Cependant une ontologie possède des caractéristiques qui, au-delà de cette représentation, favorise la réutilisation et le partage de données. Les ontologies ont le rôle de favoriser la modularité et la réutilisabilité dans les systèmes informatiques. En effet, les ontologies permettent l'étude de conceptualisations, indépendamment du formalisme choisi pour les représenter ainsi que du langage utilisé pour la programmation des applications, de la plate-forme utilisée et des protocoles de communication (protocoles réseaux) [Ranwez 00]. La représentation explicite des connaissances dans un domaine donné sous forme d'une ontologie, permet à son tour une plus grande réutilisation, un partage plus large et une interopérabilité plus étendue.

- **La communication** : les ontologies assurent une communication fiable et hétérogène entre personnes et machines (entre les différents acteurs de la formation, entre les systèmes et entre les acteurs et les systèmes) du fait qu'elle permet de mettre en place un langage ou un vocabulaire conceptuel commun.
- **Le partage et la réutilisation des informations pédagogiques** : l'utilisation des ontologies permet la mise en correspondance des contenus sémantiques des objets pédagogiques utilisés dans différents systèmes. Elle facilite la réutilisation des objets pédagogiques par d'autres systèmes, au moyen d'une traduction automatique.
- **L'indexation et la recherche d'information** : les ontologies peuvent être utilisées comme méta-descripteur pour décrire le contenu sémantique associé aux objets [Benayache 05]. En effet, dans le web sémantique, d'une façon générale, les ontologies sont utilisées pour indexer et décrire les ressources utilisées. Notons que l'apport des ontologies dans les systèmes informatiques basés sur la technologie web sémantique est très considérable et consiste surtout en la réutilisation et le partage des connaissances [Ranwez 00].
- **Le partage et la réutilisation des informations pédagogiques** : l'utilisation des ontologies permet la mise en correspondance des contenus sémantiques des objets pédagogiques utilisés dans différents systèmes. Elle facilite la réutilisation des objets pédagogiques par d'autres systèmes, au moyen d'une traduction automatique.
- **L'interopérabilité (communication entre systèmes)** : elle permet de soutenir la conception des systèmes de formation e-learning. Le degré de formalité requis doit être rigoureusement formel.
- **Mise à jour des informations pédagogiques** : les ontologies peuvent contribuer à rendre le processus de mise à jour des objets pédagogiques qu'elles décrivent, plus facile et plus efficace.
- **La spécification de notions** : les ontologies peuvent être utilisées comme moyen de spécification des notions à appréhender et des relations entre notions d'une formation donnée.

Pour synthétiser, on peut dire que si le rôle principal d'une ontologie est de favoriser le partage et la réutilisation de la connaissance, il faut cependant distinguer plusieurs types d'utilisation qui entraînent des besoins différents [Ranwez 00]:

- Une ontologie peut être utilisée comme un répertoire dans lequel on stocke et organise des connaissances et des informations. Elle peut concerner des données simples, standardisées dans un domaine particulier ou bien des données distribuées ;
- En acquisition de connaissance, les ontologies rassemblent les définitions des termes d'un domaine ce qui permet à plusieurs acteurs de communiquer sans ambiguïté ;
- Enfin, une ontologie peut être utilisée comme la base d'un langage de représentation des connaissances.

#### **2.4.4 Travaux existants des ontologies pour le E-learning**

L'ingénierie ontologique est devenue un thème grandissant et d'actualité au sein des travaux de recherche menés dans l'EIAH [Psyché + 03]. Il y a de plus en plus de projets mettant en œuvre des ontologies traitant différents aspects de la formation à distance via le web. Par exemple [Lazrek, abdelwahed 06]: les ontologies sont utilisées pour la recherche et l'indexation des différentes ressources pédagogiques sur le web. Dans [Benayache 05] est présentée une approche basée sur les ontologies pour la construction d'une mémoire de formation. Les ontologies ont également servi de base de navigation offrant des formes d'acquisition autres que celles proposées dans les cursus des apprentissages classiques qui sont en général du type linéaire. Dans le cadre d'une approche pédagogique basée sur l'écriture collaborative pour la structuration des d'hyperlivres, les ontologies sont utilisées pour supporter diverses inférences. D'autres travaux ont utilisés les ontologies pour la description et la composition des contenus des documents pédagogiques [Lazrek, Abdelwahed 06].

## 2.5 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous nous sommes intéressés aux ontologies et à leurs exploitations dans le domaine de formation e-learning. Conçues pour répondre aux problèmes posés par l'intégration des connaissances au sein des systèmes informatiques, les ontologies apparaissent désormais comme une clé pour la manipulation automatique de l'information au niveau sémantique.

Les résultats d'exploitation des ontologies au sein des applications et environnement e-learning, affichent un potentiel riche et multiple [Benayache 05]. Cela laisse à penser que leur place au sein des systèmes e-learning ne peut que croître. Si l'ensemble des projets utilisant des ontologies vise, dans les premiers moments, la gestion des informations et connaissances pédagogiques, l'application des ontologies à terme pourrait permettre le développement de systèmes e-learning capables non seulement de gérer les données mais aussi de raisonner sur ces données.

On a présenté dans ce chapitre les concepts liés aux ontologies, concepts qui sont en relation avec le e-learning et le Web sémantique, ce dernier qui à plus long terme devraient certainement bénéficier des travaux sur les ontologies spécialement dédiées au e-learning, car les ontologies constituent l'une des bases les plus importantes de l'approche Web sémantique pour le e-Learning.

En effet, dans la perspective du Web sémantique, qui est en voie de devenir une assise pour les environnements de formation à distance, les concepts liés aux ontologies offrent de façon spécifique une *sémantique riche*, mieux que toute autre méthode de représentation des connaissances connue [Psyché, + 03]. Dans le chapitre suivant, nous présentons les objectifs du WS, nous discutons les langages candidats pour le WS et nous présentons le rapprochement entre WS et e-learning.

# Chapitre 3 : Web sémantique et ses ressources

*"The Semantic Web is a vision: the idea of having data on the Web defined and linked in a way that it can be used by machines – not just for display purposes, but for using it in various applications."*

– Tim Berners-Lee

Une application e-learning est mise en ligne via l'utilisation du Web. Compte tenu de la diversité et de la croissance exponentielle des ressources pédagogiques utilisées dans le cadre d'une formation de type e-learning, il est de plus en plus difficile de trouver les documents pédagogiques pertinents. Une application e-learning partage donc le même problème de pertinence avec le Web lorsque les apprenants veulent accéder au savoir mis à leur disposition.

Concevoir et développer des outils spécifiques pour faciliter l'accès aux documents pédagogiques et leur intégration devient une nécessité. Parmi les efforts visant à résoudre le problème de pertinence sur le Web, la notion du "Web Sémantique".

Ce chapitre présente un rapide état de l'art sur la nouvelle génération du Web : le Web sémantique, commençant par sa description, et ses objectifs principaux. Ensuite, les principales technologies prévues pour sa création, à savoir : Méta données, Annotation et ontologie ; son architecture globale, et ses langages candidats, à savoir : XML, RDF, RDFS, OWL, Topic Maps, sont détaillées. Enfin, on donne le rapprochement que nous faisons entre e-learning et Web Sémantique.

## 3.1 Introduction

Le web d'aujourd'hui est un énorme potentiel mal exploité. On trouve de plus en plus toutes sortes de documents, d'informations et de données de formats hétérogènes. Son organisation est guidée par l'offre, par celui qui met des informations à disposition, et non par la demande, ou par les besoins des utilisateurs.

L'information et les services sur le Web sont aujourd'hui peu exploitables par des machines, et de moins en moins exploitables sans l'aide des machines. De plus, trouver les bonnes

ressources, analyser le contenu des pages, dégager les bonnes informations, combiner les différents résultats peut être coûteux en temps ...et parfois fastidieux !

En effet, Le Web actuel est essentiellement *syntactique* [Charlet, Laublet, Reynaud 03], il est composé d'un ensemble de ressources et de liens, les ressources sont désignées par des URIs, et la signification des liens dépend du contexte. La structure des documents (ou ressources au sens large) est bien définie, mais son contenu reste quasi inaccessible aux traitements machines. Seuls les utilisateurs humains peuvent interpréter leurs contenus. Les documents sont adaptés aux humains, pas aux machines.

La nouvelle génération du Web - Le Web sémantique - ou - le Web intelligent - a pour ambition de lever cette difficulté. Les ressources du Web seront plus aisément accessibles aussi bien par l'homme que par la machine, grâce à la représentation *sémantique* de leurs contenus. Il en résulte un espace d'échange de ressources entre machines permettant l'exploitation de grands volumes de données et de services variés, simplifiant le rôle de l'utilisateur dans la recherche et l'exploitation de l'information grâce à [Le Berre 03] : 1) de meilleurs moteurs de recherche. 2) l'intégration facilitée des sources de données ; 3) des possibilités accrues de raisonnement sur les données ; etc ...

## 3.2 Qu'est ce que le Web sémantique

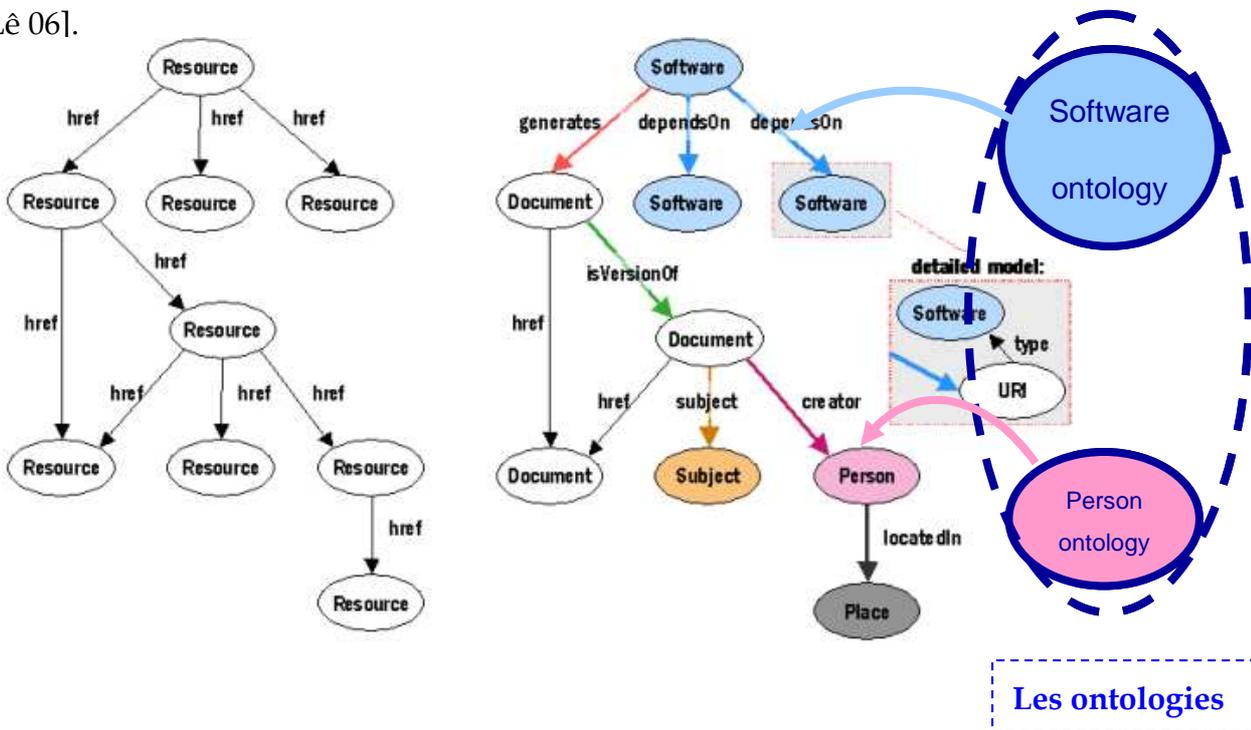
➤ **Définition** : l'expression Web sémantique, lancée la première fois en 1998, est due à Tim Berners-Lee (qui est aussi à l'origine de (Web, URI, HTTP et HTML), a pour objectif de rendre l'information qui circule sur le web appréhendable par la machine.

Voici sa définition donnée dans son article intitulé « le web sémantique » au sein du W3C: *"The Semantic Web is an extension of the current web in which information is given well-defined meaning, better enabling computers and people to work in cooperation."* [Berners-Lee, Hendler, Lassila 01]. " Le Web sémantique n'est pas un Web séparé, mais une extension du Web actuel dans lequel l'information est munie d'une signification bien définie permettant aux ordinateurs et aux personnes de mieux travailler en coopération ".

Elle fait référence à la vision du Web de demain comme un vaste espace d'échange de ressources entre êtres humains et machines permettant une exploitation, qualitativement

supérieure, de grands volumes d'informations et de services variés. A la différence du Web que nous connaissons aujourd'hui, le Web sémantique aide les utilisateurs à se décharger d'une bonne partie de leurs tâches de recherche, de construction et de combinaison des résultats, grâce aux capacités accrues des machines à accéder aux *contenus* des ressources et à effectuer des *raisonnements* sur ceux-ci [Charlet, Laublet, Reynaud 03].

En effet, « Le Web sémantique est une vision du Web à venir, où les informations reçoivent une signification explicite facilitant le traitement et l'intégration automatiques des informations disponibles sur le Web par des machines. » [McGuinness, van Harmelen 04]. En d'autres termes, voir le Web de demain comme un vaste réseau interconnecté par des *liens sémantiques* [Thành Lê 06].



**Web d'aujourd'hui (statique)**

**Web sémantique**

A : Web statique

B : Web sémantique

C : extension apportée par le WS

Web statique et Web sémantique

➤ *Extension du Web sémantique par rapport au Web actuel* : Les figures ci-dessus montrent la structure statique du web d'aujourd'hui et la structure du web sémantique selon [Koivunen, Miller 01] :

La Figure A montre la structure du Web d’aujourd’hui, la figure B montre la nouvelle structure du Web de demain « le web sémantique », et la figure C montre en image les extensions du Web sémantique par rapport au Web actuel. L’approche consiste à : annoter sémantiquement les ressources du Web grâce à l’utilisation des ontologies [Dieng-kuntz 05] (chapitre 2). Tandis que la figure 8 [Thành Lê 06] montre par un tableau les extensions du web sémantique par rapport au web actuel :

Web sémantique	
Web actuel	
Recherche par mot-clé	+ Recherche par la sémantique + Raisonnement
Interprétable par humain	+ Interprétable par machine
HTML/HTTP URL	+ XML/RDF(S)/OWL URI
Ressources (pages web, documents, services...)	+ leurs sémantiques (annotations)

*Les extensions du Web sémantique par rapport au Web actuel*

➤ **Objectifs du web sémantique** : le Web sémantique est conçu pour que le contenu des ressources sur le Web puisse être rendu sémantiquement « compréhensible » et accessible par des logiciels. Les ressources disponibles sur l’Internet telles que des documents, des images, des services ou même les ressources physiques qui ne se trouvent pas sur l’Internet mais leurs références y sont disponibles telles que des livres physiques, des personnes... ont une sémantique associée. Grâce à cette sémantique, l’organisation, la sauvegarde et la recherche d’informations pourraient être réalisées, traitées d’une manière automatique par des logiciels [Thành Lê 06].

Le Web sémantique n’est pas un Web créé ex- nihilo, c’est la continuation logique du Web actuel. L’avantage premier de Web sémantique par rapport au Web sous sa forme actuelle est la présence de documents structurés selon un certain formalisme permettant le traitement automatique de ces documents par des machines. On arrivera donc à générer, traiter et échanger des documents grâce à des logiciels. De plus, les raisonnements et les relations logiques que nous mettons en place entre les différents documents pourront être automatisés

par des **moteurs d'inférence**. Ainsi même des données non explicites mais déductibles de documents existants, seront générés automatiquement, sans intervention humaine. Ceci est d'autant plus intéressant que la quantité de documents est grande. Pour parvenir à ces fonctionnalités, il faut d'abord bien sur réaliser une bonne structuration des documents.

### 3.3 Les solutions techniques prévues pour le WS :

Comme vu précédemment, le Web sémantique vise à rendre les ressources du Web actuel non seulement compréhensibles par les humains (comme c'est le cas pour le Web actuel) mais aussi interprétables par des machines. Parmi les travaux visant à la construction du Web sémantique, l'approche la plus fréquente consiste à décrire ces ressources à l'aide de *métadonnées*, ou *annotations sémantiques*, en utilisant le vocabulaire conceptuel fourni par *une ontologie* [Dieng-kuntz, Grandbastien, Herin 05] :

#### 3.3.1 Méta-données et Annotations

Ce que nous avons dans le Web - statique - sont seulement des données. Il n'existe pas aujourd'hui, un outil qui lit automatiquement toutes ces données et qui nous les présente avec ce que nous voulons exactement. Tous ces moteurs de recherche et robots de recherche font la recherche par mot-clé, tandis que nous voulons des données sur la base d'un contexte sémantique.

Le Web sémantique repose sur des *langages* et *une infrastructure* dont l'objectif est de se donner la possibilité d'enrichir le Web actuel à l'aide d'informations dites « sémantiques », utilisables par des machines, qui faciliteront la recherche et l'usage de ressources Web (pages Web, images, services, etc). Il s'agit donc d'associer à ces dernières des informations structurées descriptives sous la forme de métadonnées ou annotations. Plusieurs dimensions sont alors à considérer : les types de ressources, plus ou moins fragmentées, concernées par les annotations / métadonnées; l'automatisation plus ou moins marquée de la mise en place de ces dernières, la structuration plus ou moins forte de leur « schéma », les tâches qu'elles soutiennent (ou sous-tendent), ou encore l'utilisation plus ou moins « intelligente » qui en est faite par les agents logiciels [Prié, Garlatti 03]. Comme exemples de premières réalisations utilisant les outils du Web sémantique pour des méta-données ou des annotations

sémantique, on peut citer le système Annotea, le logiciel RDFPic, SHOEKNOWLEDGE Annotator, COHSE Annotator et WEBKB [Charlet, + 03].

#### **3.3.1.1 Métadonnée :**

Les méta-données, comme on les a déjà défini au chapitre précédent, sont des données au sujet des données, elles sont compréhensibles et traitables par des machines automatiquement. Ces données ne sont pas seulement relatives aux pages Web, elles peuvent être au sujet de n'importe quelles données [Hang 03].

**Méta-données relationnelles :** Nous utilisons le terme de méta-données relationnelles pour dénoter les annotations qui contiennent des instances de relation.

#### **3.3.1.2 Annotation :**

Selon le dictionnaire officiel québécois, le grand dictionnaire, le terme annotation est défini comme un commentaire ou une explication d'un document ou de son contenu, habituellement ajoutée en note. Il peut s'agir d'une explication, d'une notation, d'une note, d'une remarque, d'un renvoi ou d'un synonyme.

En informatique, ce terme fait référence à l'affectation de notes, qu'on appelle métadonnées, à un texte ou une partie de texte, et ce, d'une manière formelle [Mestiri 07]. De plus, une annotation est à la base une note critique ou explicative accompagnant un texte, et par extension, une quelconque marque de lecture portée sur un document, que celui-ci soit textuel ou image [Charlet, Laublet, Reynaud 03].

Dans ce sens, le W3C (World Wide Web Consortium) a développé plusieurs standards pour structurer ces informations, notamment le HTML, SGML et le XML qui fût encore une fois recommandée pour la technologie du web sémantique. L'annotation sémantique se résume donc en la génération d'informations spécifiques, appelées métadonnées, qui sert à la description d'un document pour un accès et une gestion plus efficace des informations disponibles sur le Web [Ben djafer 05]. Celles-ci peuvent prendre des formes graphiques ou textuelles.

Il existe deux types de modèles d'annotations. Le premier consiste à créer une annotation séparée et détachée de la ressource. Le second, suggère un schéma d'annotation encapsulé [Desmontils 02].

D'un point de vue technique, les annotations sont habituellement vues comme des méta-données, car elles fournissent des informations additionnelles sur un morceau existant de données. Elles peuvent être stockées soit sur le poste de travail de l'utilisateur pour son usage privé, soit sur des serveurs communs [Hung 03].

D'un point de vue plus lié à la pratique de l'annotation / méta-données [Charlet, Laublet, Reynaud 03]:

- une méta-donnée sera plutôt attachée à une ressource identifiée en tant que telle sur le Web – aura plutôt une pertinence a priori et sera plutôt saisie suivant un schéma. Par exemple, la description normalisée d'un service Web, l'auteur d'un document, qui permettront de mettre en place des inférences.

- une annotation sera plus *située* au sein de cette ressource et *écrite* au cours d'un processus d'annotation / lecture. Par exemple, un commentaire libre associé à un fragment d'une page Web – quelques mots, un paragraphe – déterminé au besoin

### 3.3.2 Ontologie et Web sémantique:

La sémantique du contenu des ressources dans le Web sémantique doit être rendue explicite et disponible pour les machines dans une représentation formelle et standardisée. La standardisation peut aider différents programmes à inter-opérer ou échanger des données. La manière de représenter la sémantique est d'utiliser *une ontologie*. Les objets ainsi que les relations existantes entre eux doivent être conceptualisés si l'on souhaite les représenter pour un but quelconque. Une conceptualisation est une vue abstraite, simplifiée du monde que l'on veut représenter. Une ontologie est alors une spécification explicite d'une conceptualisation [Gruber 93].

Les ontologies sont donc centrales pour le Web sémantique qui, d'une part, cherche à s'appuyer sur des modélisations de ressources du Web à partir de représentations conceptuelles des domaines concernés et, d'autre part, a pour objectif de permettre à des

programmes de faire des inférences dessus. Une fois construite et acceptée par une communauté particulière, une ontologie doit en effet *traduire un consensus explicite* et un *certain niveau de partage*, deux aspects essentiels pour permettre l'exploitation des ressources du Web par différentes applications ou agents logiciels [Charlet, Bachimont, Troncy 04].

En effet, une ontologie dans le Web sémantique, définit les termes servant à décrire et représenter un champ de connaissance [Heflin 04]. Une ontologie correspond à un vocabulaire commun contrôlé, organisé, et partagé, et à la formalisation explicite des relations créées entre les différents termes du vocabulaire [Thành Lê 06].

De ce fait, le succès de la notion du Web sémantique dépendra de la rapidité de déploiement des ontologies. Ces dernières constituent une brique de base du Web sémantique ; car elles permettent d'améliorer la recherche, le partage des connaissances relatives à un domaine, et d'assurer la gestion et l'intégration des connaissances Web [Ben Mustapha, Aufaure, Baazaoui 02].

On peut distinguer dans le domaine des ontologies, deux types d'ontologie : une ontologie orientée Web sémantique et une ontologie orientée Concept. Une ontologie orientée Web sémantique est un vocabulaire compréhensible par un ordinateur, et qui définit la signification des métadonnées, elle est utilisée principalement pour réaliser l'interopérabilité sémantique entre les ressources informationnelles grâce aux métadonnées. Ce type d'ontologie peut être qualifié d'ontologie de surface, puisqu'elle ne traite pas nécessairement de la structure conceptuelle profonde du monde-cible [Mizoguchi 04].

Le domaine des ontologies est important parce qu'une ontologie fournit [Mizoguchi 04]:

- 1) une structure conceptuelle de base à partir de laquelle il est possible de développer des systèmes à base de connaissances qui soient partageables et réutilisables,
- 2) l'interopérabilité entre les sources d'information et de connaissances. L'ingénierie ontologique succède à l'ingénierie des connaissances, et l'on s'attend à ce qu'elle devienne une technologie clé pour la prochaine génération des technologies de traitement des connaissances.

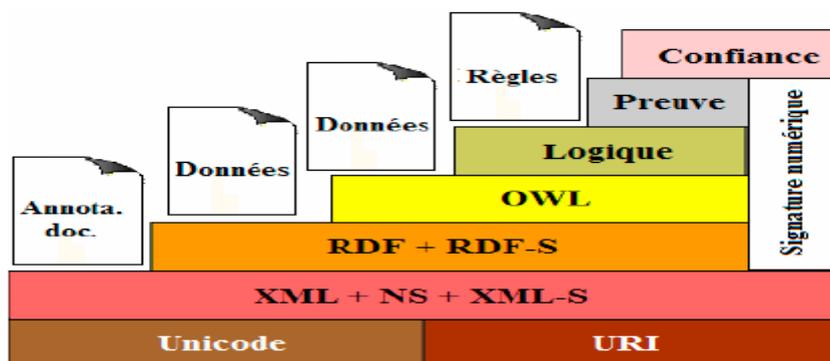
Malgré cela, les ontologies souffrent aussi du problème de l'hétérogénéité qui se trouve déjà dans le Web actuel et le Web sémantique.

### 3.4 Architecture du Web sémantique : le modèle en couche

L'évolution des travaux réalisés dans le cadre du web sémantique est marquée par différents niveaux de complexité. Si les plus élémentaires consistent en une simple affectation de métadonnées aux ressources utilisées, d'autres se basent sur des inférences très alambiquées et permettent l'exploitation de ressources hétérogènes. Quel que soit le niveau de complexité, ces applications reposent toutes sur une architecture en couches communes exprimée par la figure 9, recommandée par le W3C [Berners-Lee + 01]. Il s'agit de la vision schématique du web sémantique proposée par son inventeur Tim Berners-Lee en 2001.

Dans cette section, nous présentons brièvement les composants de base sur lesquels on construit le Web sémantique (Figure 9) :

*Les différentes couches du web sémantique :* dans ce qui suit, nous présenterons plus en détail les différents niveaux de cette architecture :



*Architecture en couches du Web sémantique*

#### 3.4.1 Niveau «Nommage/Adressage » :

➤ *L'URI (Uniform Resource Identifier - identifiant uniforme de ressource) :*

L'URI est employé pour désigner le nom ou l'adresse (ou les deux) d'une ressource dans le Web sémantique sans distinction d'une ressource physique (donc sa représentation est récupérable via l'Internet telle qu'une page web, un service localisé sur un serveur...) ou d'une ressource abstraite (un livre particulier, une idée...). Rappelons que l'URL (Uniform Resource Locator), comme l'URI, est une chaîne courte des caractères mais il n'est employé

que pour référer des ressources (physiques) par leur localisation. Notons aussi qu'une chose qui peut être identifiée avec une URI peut être décrite, ainsi le Web sémantique peut raisonner au sujet des personnes, des endroits, des idées... Les URIs sont utilisés pour identifier (nommer) des ressources, mais sans procédé pour les récupérer.

Le terme URL (*Uniform Resource Locator*) désigne un sous-ensemble d'URI qui identifie les ressources via une représentation de leur mécanisme d'accès, plutôt que par le nom ou autre attribut de cette dernière, comme il en est le cas pour l'URN (*Uniform Resource Name*). L'URL et l'URN sont donc des cas particuliers d'URI [Mestiri 07].

Voici quelques exemples d'URI :

- \_ http : //www.inria.fr/acacia/index.htm (pour une page web)
- \_ http : //www.inria.fr/acacia/OntologyMatching.pdf (pour un article)
- \_ rstp : //www.video.com/france.rm (pour une vidéo)
- \_ urn : issn:2242-4157 (pour un livre)
- \_ tel : +213-07-72-93-85-76 (pour un numéro de téléphone)
- \_ Mailto : [khelilif@yahoo.com](mailto:khelilif@yahoo.com) (pour une adresse mail)

### **3.4.2 Niveau Syntaxique (structuration des données brutes) :**

Le niveau syntaxique est le niveau de la structuration des documents. La spécification de la structure logique des documents repose sur XML (§ 3). Le Web sémantique a adopté XML comme format de structuration des documents [Ouziri 03]. À ce niveau d'architecture, nous ne sommes toujours pas au point d'affecter une sémantique à l'information, c'est-à-dire de la décrire et lui donner un sens. Il s'agit seulement d'une couche syntaxique, de bas niveau, qui permet de structurer les données et les organiser selon un format de message standard, et ce, grâce au langage de balisage extensible XML (*eXtensible Markup Language*).

#### ➤ *L'espace de noms (namespace) :*

Afin d'éviter les conflits de noms, dus au fait que les documents sont en général développés indépendamment les uns des autres, le W3C a mis en place un nouveau standard, baptisé « Namespace », qui veut dire espace de nommage. C'est un contexte ou un conteneur abstrait

contenant des noms, des termes, des mots qui représentent des objets, des concepts dans le monde réel [Bray, Hollander, + 04]. Un nom défini dans un espace de noms correspond à un et seulement un objet, deux objets ou concepts différents sont référencés par deux noms différents dans un même espace de noms [Thành Lê 06]. Selon la définition de W3C, les espaces de nommage fournissent un moyen simple pour qualifier les noms des éléments et des attributs dans le langage XML, en les associant avec des espaces de noms identifiés par URI.

La figure 10 est un exemple extrait des recommandations des espaces de nommage par le W3C, faisant office de type d'élément :

```
<x xmlns:edi= 'http://ecommerce.org/schema'>
<!-- l'espace de nommage de l'élément « prix » est
http://ecommerce.org/schema -->
<edi:prix monnaie='Euro'>32.18</edi:prix>
</x>
```

*Exemple d'utilisation des espaces de nommage*

Notons que dans cet exemple, l'espace de nommage de l'élément « prix » est : <http://ecommerce.org/schema>.

### 3.4.3 Niveau Sémantique

#### A- l'utilisation de méta-données et annotation

Après avoir référencé les ressources avec le protocole URI et structuré les informations avec le XML, l'étape suivante consiste à les annoter, afin de les doter d'un sens interprétable par la machine. C'est justement le rôle de la couche RDF/RDF-S dans l'architecture du Web sémantique.

**RDF (Resource Description Framework)** : RDF est le premier niveau de formalisation de la sémantique pour le Web sémantique. C'est le langage le plus utilisé pour représenter les méta-données [Klyne, Carroll 04]. En effet, RDF est un modèle de méta-données utilisé pour référencer des objets (ressources) et comment ils sont reliés l'un à l'autre. Tandus que RDF schéma est un langage pour décrire des vocabulaires, des propriétés et des classes de ressources dans le modèle RDF, c'est une extension sémantique de RDF [Thành-Lê 06].

## **B-Formalisation du sens (Les ontologies) :**

RDF permet d'ajouter de la connaissance (métadonnées) aux ressources du Web sémantique sans aucune signification ni interprétation. La tâche d'interprétation est assignée à la troisième couche dans l'architecture du Web sémantique. Cette couche est représentée par les ontologies. L'ontologie se trouve au cœur du Web sémantique puisqu'elle permet de fournir le sens de toutes les ressources. DAML et OIL sont parmi les langages utilisés pour mettre en œuvre des ontologies pour le Web sémantique. Le W3C a créé le langage OWL (Ontologie Web language) qui est devenu le plus important langage pour la spécification des ontologies pour le Web sémantique.

## **C-Inférence logique :**

En général, nous utilisons la couche logique pour exprimer les règles d'inférences. L'inférence de nouvelles connaissances fait partie des ambitions du Web sémantique. En effet, le Web sémantique peut être vu comme une base de connaissances [Ouziri O3]. Étant le formalisme le mieux apprécié dans la représentation de la connaissance, la logique descriptive est celle qui est, généralement, la plus adoptée pour la représentation des règles d'inférences centralisée alimentée par des acteurs qui ne se connaissent pas forcément [Mestiri 07].

## **D- Authentification et validité des connaissances (confiance et preuve) :**

Si on utilise des agents pour prendre des décisions à notre place, il faudrait qu'on puisse avoir « confiance » aux résultats. Pour ce faire, il faut que l'agent utilisé puisse:

- expliquer clairement comment il arrive à ses conclusions (preuve).
- garantir la fiabilité et l'origine des informations utilisées (signature digitale).

La couche Preuve a pour but de prouver la pertinence de l'information retournée par les couches de plus bas niveau et des déductions obtenues à partir des inférences. Une des façons de le faire est de garder trace des sources d'information et des raisonnements effectués. Un langage de preuve constitue un moyen simple pour prouver si une déclaration est juste ou pas. Une instance de ce dernier consiste en général en une liste de toutes les étapes d'inférence par lesquelles a transité l'information en question.

Le web est un environnement très ouvert et dynamique. De ce fait, toute personne est donc en mesure d'éditer et de publier des informations de façon très simple. La couche Confiance, dans l'architecture proposée par Tim Bernes-Lee, a pour objectif d'évaluer la fiabilité de l'information et des raisonnements. Cette couche repose sur les signatures numériques, le cryptage des données et sur la fiabilité des sources d'information (agents de confiance, certifications, etc.) [Mestiri 07].

## 3.5 Les langages du Web sémantique

Dans les sections précédentes, nous avons examiné des technologies, des éléments essentiels du Web sémantique tels que les métadonnées, annotations et les ontologies. Pour que ces technologies deviennent utiles et traitables par des machines, elles doivent être exprimées en des notations concrètes en utilisant des langages formels. Dans cette section, nous présentons les langages utilisés dans le WS pour réaliser ce fait.

### 3.5.1 Langages de description de ressources

La description des ressources du Web nécessite des métadonnées et des formalismes pour représenter ces métadonnées.

#### 3.5.1.1 Langage de Métadonnées

Nous nous intéressons ici aux Dublin Core Education et LOM :

 **Dublin Core Education** : Le modèle de métadonnées du Dublin Core [DCMI 05] est un ensemble d'éléments simples mais efficaces pour décrire une grande variété de ressources en réseau. Le modèle du Dublin Core comprend 15 éléments. Cet ensemble de 15 éléments de métadonnées a trait :

- au *Contenu*: Title, Description, Subject, Source, Coverage, Type, Relation
- à la *Propriété intellectuelle*: Creator, Contributor, Publisher, Rights
- à la *Version*: Date, Format, Identifier, Language

Le modèle du Dublin Core a été proposé pour faciliter une recherche de ressources assez simple. Dans la plupart des besoins professionnels, il doit être complété par d'autres schémas de métadonnées.

✚ **LOM (Learning Object Metadata)** : Le standard LOM vise à définir un ensemble minimal de données permettant de gérer, localiser et évaluer un objet pédagogique. Il permet d'étendre localement ces éléments et de les rendre facultatifs. Au plus haut niveau de la hiérarchie sont représentées neuf catégories :

1. **La catégorie *General*** regroupe l'information générale décrivant un objet pédagogique dans son ensemble. Elle contient les informations d'ordre général comme le titre et la langue des matériaux.
2. **La catégorie *Lifecycle*** regroupe les caractéristiques relatives à l'historique et à l'état courant de l'objet pédagogique ainsi que celles des modifications qu'il a subies. Elle gère les informations de version et identifie les entités (personnes ou organisations) responsables des changements de version.
3. **La catégorie *Meta-Metadata*** regroupe les informations sur les métadonnées elles-mêmes et non sur les objets pédagogiques décrits par ces métadonnées.
4. **La catégorie *Technical*** regroupe les exigences et caractéristiques techniques permettant d'exploiter l'objet pédagogique. Elle gère les caractéristiques techniques comme le format du matériau, sa taille ou encore le type d'application nécessaire à son exploitation.
5. **La catégorie *Educational*** regroupe les caractéristiques pédagogiques de l'objet pédagogique.
6. **La catégorie *Rights*** regroupe les informations concernant les droits sur la propriété intellectuelle et les conditions d'utilisation de l'objet pédagogique.
7. **La catégorie *Relation*** regroupe les caractéristiques qui définissent les liens entre objets pédagogiques.

8. La **catégorie *Annotation*** regroupe les commentaires sur l'utilisation pédagogique de l'objet pédagogique ainsi que des informations sur la date de création et à qui ces commentaires sont destinés.

9. La **catégorie *Classification*** décrit l'objet pédagogique dans un système de classification particulier.

Pour chaque catégorie et sous catégorie, le standard LOM précise un certain nombre d'informations dont : nom, explication, taille, exemple de valeur, type de donnée. Ces catégories sont ensuite divisées en sous-catégories, formant ainsi un arbre dont les feuilles représentent des éléments de données types (chaînes de caractères, dates...) [Cueilliez 06]. Le LOM définit aussi les éléments relatifs à la langue dans laquelle les matériaux pédagogiques sont écrits. L'ontologie pédagogique doit récupérer ces éléments à son avantage.

### 3.5.1.2 XML (*Extensible Markup Language*)/XML(S) :

XML est le langage de base, il permet d'indiquer l'organisation logique de l'information d'un document, mais, a priori, ne permet pas d'en décrire le contenu. Structurer l'information revient essentiellement à séparer la mise en forme et le contenu [Mestiri 07]. Il a l'avantage d'être fait pour la communication en réseau et de disposer de nombreux outils [Bajet 03].

XML est vraiment un métalangage pour décrire des langages à balises. Il n'indique ni la sémantique des balises, ni un ensemble prédéfini des balises. En d'autres mots, XML permet de définir des balises et des liens structurels entre elles.

#### ➤ **Composition de ressources - Schémas XML :**

Avant de commencer à organiser les informations dans un document XML, il est impératif de définir la structure de ce dernier, afin de permettre notamment de vérifier sa validité. DTD (*Document Type Definition*) et XML-S (*XML Schema*) sont des langages de description de format de document XML.

Un schéma XML décrit la structure d'une classe de documents XML [Fallside 04]. Voici un exemple du schéma de XML pour décrire un article :

```
<article
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
```

```
xsi:noNamespaceSchemaLocation="article.xsd">
<title>Ontology matching</title>
<numOfPages>15</numOfPages>
</article>
```

*exemple de schéma XML*

Dans cet exemple : xs, xmlns, xsi sont des espaces des noms.

Mais, XML/XML(S) ne permettent pas à une machine de comprendre les balises ou de faire des rapprochements sémantiques. Dans ce qui suit, nous présentons les standards de représentation des connaissances qui enrichissent les informations apportées par XML, à savoir RDF/RDF(S) et OWL.

### **3.5.1.3 RDF-RDF/S : Formalisme pour la description de ressources**

Comme il a été mentionné dans l'architecture du Web sémantique, RDF propose un moyen simple et efficace basé sur la notion de triplet pour modéliser les méta-données rattachées aux ressources du web. C'est la forme sur laquelle se basent les formalismes RDF (RDF, 2004) et même OWL (OWL, 2004).

Dans ce modèle, les ressources qui sont identifiées (référencées) par les URIs, nous pouvons leur faire des déclarations en employant des expressions (assertion ou statement = affirmation/déclaration) sous forme « sujet - prédicat - objet » [Klyne, carroll 04], appelées *des triplets*, (associé des propriétés aux ressources identifier par des URIs:

- ✓ Le sujet est la ressource, la « chose » à décrire.
- ✓ Le prédicat est un attribut ou un aspect de cette ressource, et exprime un lien ou une relation entre le sujet et l'objet.
- ✓ L'objet est l'objet de la relation ou de la valeur de ce prédicat.

Les triplets RDF peuvent se décrire en XML. XML structure les données, RDF leurs associe des métadonnées (ou des propriétés) et les mets en relation [Ouziri 03].

En effet, il est possible de décrire une ressource par une séquence d'assertions représentant ses caractéristiques. La forme habituelle est celle de triplets (sujet, relation, objet) dont le sujet

est un identificateur de la ressource elle-même. Ce langage basé sur XML peut facilement être intégré dans une page HTML.

RDF possède donc une représentation XML. Dans ce langage, un triplet RDF a la structure de base suivante :

```
<rdf:Description rdf:about='URI de la ressource' >
  <propriété> valeur de la propriété </propriété>
</rdf:Description>
```

*Exemple 1 de triplet RDF*

Une fois les déclarations préliminaires faites pour un document RDF, nous pourrions donc rencontrer des exemples basiques d'assertion comme celui ci [Lahaye 04]:

```
<rdf:Description about="http://www.w3.org/Home/Lassila">
  <dc:Creator>Ora Lassila</s:Creator>
</rdf:Description>
```

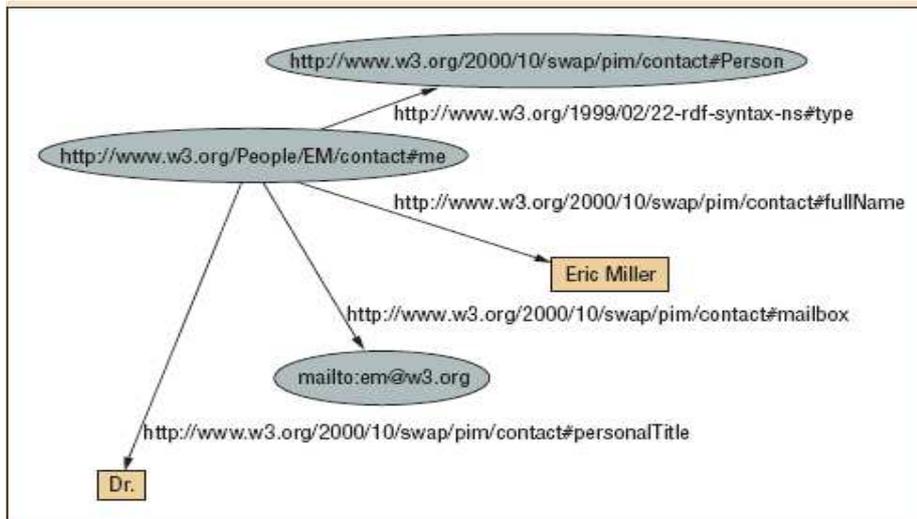
*Exemple 2 de triplet RDF*

Il sera l'expression du triplet :

- Sujet (Resource) : <http://www.w3.org/Home/Lassila>
- Prédicat (Property) : Creator
- Objet (literal) : "Ora Lassila"

Un document RDF est un ensemble de triplets de la forme < sujet, prédicat, objet >. Ce document sera codé en machine par un document RDF/XML ou N3, mais est souvent représenté sous une forme graphique [Bajet 03]. La figure 14 représente une représentation graphique d'un document RDF [Shadbolt, Hall, Berners-Lee 06] :

La représentation d'un ensemble de ressources est alors un graphe où les nœuds sont des URIs spécifiant des ressources ou bien des littéraux (uniquement pour des nœuds feuille). Les arêtes spécifient des relations (ou propriétés) entre ressources ou entre ressources et littéraux. Il est possible de réifier un triplet RDF en un seul nœud ce qui permet de définir des relations d'arité supérieure à deux.



*Un graphe RDF représentant Eric Miller*

RDF permet alors de représenter des métadonnées attachées à des ressources.

Voilà la représentation d'un bout de code de la description XML/RDF d'un document PDF, extrait de l'exemple du graphe au dessus [Manola, Miller 04] :

```
<?xml version="1.0"?>
<rdf:RDF xmlns:rdf=http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#
xmlns:contact="http://www.w3.org/2000/10/swap/pim/contact#">
  <contact:Person rdf:about="http://www.w3.org/People/EM/contact#me">
    <contact:fullName>Eric Miller</contact:fullName>
    <contact:mailbox rdf:resource="mailto:em@w3.org"/>
    <contact:personalTitle>Dr.</contact:personalTitle>
  </contact:Person>
</rdf:RDF>
```

*le document RDF/XML du graphe de représentation d'Eric Miller*

**RDF Schema** : le but général de RDF est de définir un modèle permettant de décrire les ressources sans préjuger du type d'utilisation qu'on pourra en faire. La définition du modèle est également neutre par rapport au domaine d'appartenance des ressources. Pour faciliter la définition des métadonnées, il est possible de définir des classes de ressources. C'est dans cette perspective que les Schémas RDF (RDF/S, 2004) ont été créés. Une collection de classes est appelée un schéma RDF. Les classes sont organisées en hiérarchie, et offrent une

extensibilité grâce à la spécialisation en sous-classes. Au travers de l'acceptation et le partage de schémas, RDF/S facilite la réutilisation des définitions de métadonnées. Les schémas RDF vont garantir que les documents RDF sont sémantiquement consistants [Dieng-kuntz, Grandbastien, Herin 05].

Une classe est instanciée en rdf par rdf:type.

```
<rdfs:Class ID='Nom de la classe' />  
  
<rdf:description rdf:about='URI de la ressource'>  
<rdf:type rdf:resource='#Nom de la classe' />  
</rdf:description>
```

#### *Classe RDF*

Cependant les schémas RDF ont des limitations qui ne permettent généralement pas leur emploi pour la description d'ontologies. Ces limitations concernent par exemple la définition de classes à partir d'opérateurs (intersection, complément) ou à partir de contraintes (restriction sur la cardinalité de propriétés) [Dieng-kuntz, Grandbastien, Herin 05]. Nous présentons dans la section suivante le standard Topic Maps.

#### *3.5.1.4 Topic Maps*

Alors que RDF(S) est une recommandation de W3C (World Wide Web Consortium), Topic Maps est une norme de l'ISO (International Organization for Standardization), issu de HyTime [Baget O3] dont le but est la représentation et l'échange de connaissances, avec une emphase sur la capacité de recherche d'information. Comme RDF(S), Topic Map permet de représenter des informations, des connaissances en employant *des sujets (topics)* (pour représenter des concepts, des personnes, des événements...), c'est une entité à laquelle on attache un identificateur de façon à pouvoir la réutiliser ultérieurement. Prévus initialement pour représenter des ressources, les topics peuvent servir aussi à représenter les entités d'une ontologie [Dieng-kuntz, Grandbastien, Herin 05]. *Des associations* (pour représenter des rapports entre des sujets), et *des occurrences* (pour représenter des rapports entre des sujets et des ressources d'information qui les concernent). Donc, les sujets dans Topic Map correspondent aux classes de RDF(S), les associations aux relations de RDF(S) et les

occurrences aux spécialisations (instancialisation) dans RDF(S). Plusieurs travaux visent à offrir l'interopérabilité entre ces technologies [Garshol 03].

### **3.5.2 Langages de représentation des connaissances :**

#### *3.5.2.1 Langages pour représenter des ontologies*

Un langage d'ontologie est un langage formel permettant de représenter une ontologie. Les ontologies en RDF(S) peuvent être sérialisées en des langages tels que XML ou N3. Cependant, une ontologie est employée pour représenter des connaissances dans un domaine, donc il est nécessaire de disposer d'un langage aussi expressif pour les représenter, et RDF(S) ne répond pas à ces besoins. Par exemple, en utilisant RDF(S), on ne peut pas représenter la cardinalité d'une relation ou exprimer des caractéristiques des relations telles que la transitivité, la symétrie ou la fonctionnalité, ... Ainsi, le W3C a recommandé un langage standardisé plus puissant conçu pour représenter des ontologies dans le Web sémantique.

#### ➤ *OWL (Web Ontology Language)*

Parler de la couche ontologique, revient implicitement à parler des langages ontologiques, dont le plus connu est OWL (Ontology Web Language). Il s'agit d'un vocabulaire XML basé sur le RDF [McGuinness, Harmelen 04], qui permet d'élaborer des ontologies web structurées. Ce langage est recommandé par le W3C comme un standard pour le web sémantique depuis 2004 et constitue un pilier pour le web sémantique, selon Tim Berners-Lee [Berners-Lee 04]. OWL dérive de la fusion des deux langages OIL et DAML.

Le langage d'ontologie Web est conçu pour les applications ayant besoin de traiter le contenu des informations au lieu de les présenter simplement aux humains. Le langage OWL permet une interprétation du contenu Web par les machines supérieure à celle offerte par les langages XML, RDF et le schéma RDF (RDF-S), en fournissant un vocabulaire supplémentaire avec une sémantique formelle [McGuinness, Harmelen 04].

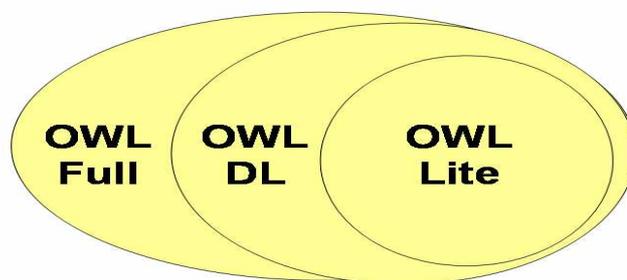
OWL permet de décrire des propriétés et des classes, d'exprimer des relations entre des classes (telles que la disjonction), la cardinalité (par exemple "exactement un"), l'égalité, plus des types des propriétés (propriétés d'objet ou d'annotation...), des caractéristiques des propriétés (par exemple la symétrie, la transitivité), et des classes énumérées. Le langage

d'ontologie Web OWL sert à décrire des concepts (appelés dans ce cas des classes) et des relations ou propriétés. La sémantique formelle OWL indique comment déduire des conséquences logiques, c'est-à-dire les faits qui ne sont pas littéralement présents dans l'ontologie mais qui peuvent en être déduits [Dieng-kuntz, Grandbastien, Herin 05].

OWL se compose de trois sous-langages d'expressivité croissante : OWL Lite, OWL DL et OWL Full. Ils sont destinés à des communautés de développeurs et d'utilisateurs spécifiques [McGuinness, Harmelen 04] :

- **Le langage OWL Lite** est destiné aux utilisateurs ayant besoin principalement d'une hiérarchie de classifications et de contraintes simples. Par exemple, bien que le langage gère les contraintes de cardinalité, il n'admet que les valeurs de cardinalité 0 ou 1. Il devrait être plus facile de mettre en œuvre des outils pour OWL Lite que pour ses parents d'expression plus grande, et OWL Lite trace un chemin de migration rapide vers les thésaurus et autres taxonomies. La complexité formelle de OWL Lite est aussi plus faible que celle de OWL DL.
- **Le langage OWL DL** est destiné aux utilisateurs demandant une expressivité maximale tout en gardant la complétude du calcul (toutes les inférences sont garanties calculables) et la décidabilité (tous les calculs s'achèveront dans un intervalle de temps fini). OWL DL comprend toutes les structures de langage OWL, qui ne sont utilisables toutefois qu'avec certaines restrictions (par exemple, bien qu'une classe puisse être une sous-classe de plusieurs classes, elle ne peut pas être une instance d'une autre). OWL DL est nommé ainsi pour sa correspondance avec la *logique de description* (*N.d.T. description logics*), un champ de la recherche qui étudie la logique sous-tendant la fondation formelle de OWL.
- **Le langage OWL Full** est destiné aux utilisateurs voulant une expressivité maximale et la liberté syntaxique de RDF sans garantie de calcul. Par exemple, dans OWL Full, une classe peut se traiter simultanément comme une collection d'individus ou comme un individu à part entière. OWL Full permet à une ontologie d'augmenter la signification du vocabulaire prédéfini (RDF ou OWL). Un système de raisonnement ne pourra probablement pas gérer un raisonnement complet de toutes les caractéristiques de OWL Full.

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 [Dieng-kuntz, Grandbastien, Herin 05].



*les sous langages du langage OWL [Drumond 05]*

La figure 17 montre explicitement que toutes les ontologies et toutes les expressions valides OWL Lite sont perçues comme des OWL DL légales. Sur la même logique, toutes les ontologies et toutes les expressions OWL DL sont considérées comme des ontologies OWL Full.

La syntaxe d'un document OWL est le plus souvent donnée sous la forme de triplets RDF. À chaque constructeur est associée une sémantique, en théorie des modèles [Bajet 03]. OWL, est dédié aux définitions de classes et de types de propriétés, et donc à la définition d'ontologies. Inspiré des logiques de descriptions, il fournit un grand nombre de constructeurs permettant d'exprimer de façon très fine les propriétés des classes définies.

### ***3.5.2.2 Les graphes conceptuels***

Le formalisme des graphes conceptuels (GC) a été proposé comme un système de logique reposant sur les graphes existentiels (qui permettent de représenter visuellement des expressions logiques) et sur les réseaux sémantiques. Les graphes conceptuels permettent d'exprimer la signification, les faits sous une forme qui est logiquement précise, et à la fois lisible pour les gens, et plus facile à être traitée par la machine. Les GCs ont été mis en application dans plusieurs domaines de recherche tels que la recherche d'information, les systèmes experts, le traitement de langage naturel et le Web sémantique. Les GCs permettent de représenter des relations n-aires, que RDF ne permet pas (seulement relations binaires), que en créant des classes qui représentent la relation n-aire et n attributs [Thành Lê 06].

Enfin, pour synthétiser, on peut dire que notre objectif était de présenter certains langages du web sémantique, et leur utilisation dans le domaine du e-learning. Leur adéquation aux besoins du e-learning s'améliore, certainement parce que de nouvelles nécessités apparaissent. Certes, l'utilisation massive du langage XML favorise la communication entre applications, mais elle met aussi en évidence les modèles conceptuels sur lesquels sont basés certains formalismes. Traduire un langage à l'autre pose de réelles difficultés.

## 3.6 Web sémantique et le E-learning

### 3.6.1 Applications du Web Sémantique :

Via la pénétration profonde des technologies numériques au sein de la société de l'information, cette nouvelle technologie du WS est à la croisée de nombreuses disciplines telles les sciences cognitives, l'apprentissage symbolique, le traitement automatique des langues, les systèmes multi-agents, l'ingénierie des connaissances. Nous présentons ici le domaine d'application abordé dans ce mémoire « le E-learning » :

### 3.6.2 Web sémantique et le E-learning :

La nouvelle génération du Web, appelée Web Sémantique, apparaît comme une technologie prometteuse pour implémenter le e-Learning. Le Web Sémantique constitue un environnement dans lequel les agents humains et machines vont communiquer selon une base sémantique [Berners-Lee 00].

Une application e-learning exige un certain nombre de défis concernant le processus d'apprentissage : rapide, juste à temps, pertinent et moins cher. Les propriétés clés de l'architecture du Web Sémantique (sens partagé commun, ontologies, méta-données traitables par les machines), offertes par un ensemble adéquat d'agents, apparaissent suffisamment puissantes pour satisfaire les exigences du e-learning. Grâce à l'utilisation des standards de représentation des connaissances RDF, OWL et Topic Maps, le matériel e-learning peut être sémantiquement annoté et pour de nouveaux besoins, il peut être réutilisé dans un nouvel objet pédagogique. En fonction de ses besoins, un utilisateur peut accéder

aux informations utiles. Le processus d'accès est basé sur les requêtes WS et la navigation à travers le matériel d'apprentissage activée par un background ontologique.

Dans le Web sémantique, le processus de gestion de contenu pédagogique peut se composer de cinq étapes [Joab + 05]:

- l'identification des ressources (ou parties de ressources) pertinentes qui contiennent les informations nécessaires pour réaliser la requête,
- le traitement de l'information contenue dans les ressources sélectionnées,
- la composition de ces informations et ressources afin de proposer, sous une forme cohérente, les informations souhaitées par l'utilisateur,
- la présentation du résultat, et
- l'évaluation a posteriori de la validité et de la pertinence des informations fournies.

Des modèles et des outils informatiques sont nécessaires à chacune de ces étapes.

### **3.6.3 Scénarios de E-learning envisagés :**

Il est intéressant d'exploiter les techniques actuelles visant au WS pour permettre plusieurs scénarios d'E-learning (ou FAD), parmi ces scénarios on peut citer [Projet Acacia 03] :

- **Scénario 1** : Un utilisateur enseignant souhaite mettre ses cours à disposition sur le Web (avec des annotations adéquates) pour permettre leur consultation par d'autres enseignants ou par des étudiants ou des chercheurs.
- **Scénario 2** : Un utilisateur enseignant ou étudiant, cherche des ressources pédagogiques à consulter ou à utiliser.
- **Scénario 3** : Une entreprise souhaite constituer une formation qui sera ensuite rendue disponible par les membres de l'entreprise sur le Web d'entreprise.
- **Scénario 4** : Un enseignant donne à distance un cours individuel ou collectif reposant sur une ressource pédagogique accessible par les étudiants connectés sur le Web.

Dans le tableau suivant, nous présentons les possibles utilisations du Web sémantique pour la réalisation des exigences du e-Learning. Le tableau présente la vision des auteurs [Stojanovic+ 01] :

Requirements	eLearning	Semantic Web
<b>Delivery</b>	Pull – Student determines agenda	Knowledge items (learning materials) are distributed on the web, but they are linked to commonly agreed ontologie(s). This enables construction of a user-specific course, by semantic querying for topics of interest.
<b>Responsiveness</b>	Reactionary – Responds to problem at hand	Software agents on the Semantic Web may use commonly agreed service language, which enables co-ordination between agents and proactive delivery of learning materials in the context of actual problems. The vision is that each user has his own personalised agent that communicates with other agents.
<b>Access</b>	Non-linear – Allows direct access to knowledge in whatever sequence makes sense to the situation at hand	User can describe situation at hand (goal of learning, previous knowledge...) and perform semantic querying for the suitable learning material. The user profile is also accounted for. Access to knowledge can be expanded by semantically defined navigation.
<b>Symmetry</b>	Symmetric – Learning occurs as an integrated activity	The Semantic Web (semantic intranet) offers the potential to become an integration platform for all business processes in an organisation, including learning activities.
<b>Modality</b>	Continuous – Learning runs in parallel and never stops	Active delivery of information (based on personalised agents) creates a dynamic learning environment.
<b>Authority</b>	Distributed – Content comes from the interaction of the participants and the educators	The Semantic Web will be as decentralised as possible. This enables an effective co-operative content management.
<b>Personalization</b>	Personalized – Content is determined by the individual user's needs and aims to satisfy the needs of every user	A user (using personalised agent) searches for learning material customised for her/his needs. The ontology is the link between user needs and characteristics of the learning material.
<b>Adaptivity</b>	Dynamic – Content changes constantly through user input, experiences, new practices, business rules and heuristics	The Semantic Web enables the use of knowledge provided in various forms, by semantical annotation of content. Distributed nature of the Semantic Web enables continuous improvement of learning materials.

*les possibles utilisations du Web Sémantique pour la réalisation des exigences du E-Learning*

Bien que ce tableau présente une vision personnelle, si nous nous le permettons, de ses auteurs, il montre une vue globale des exigences à satisfaire par un système e-Learning. Toutes les solutions proposées sont basées sur le Web Sémantique et restent vagues [Boutemedjet 04].

### 3.7 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous nous sommes intéressés à la nouvelle génération du Web, appelée Web Sémantique.

Le Web Sémantique peut être défini comme un substrat supportant des fonctions avancées pour la collaboration (homme-homme, homme-machine, machine-machine), qui permet de partager des ressources et de raisonner sur le contenu de ces dernières [Berners-Lee + 01]. Le Web Sémantique apparaît comme une technologie prometteuse pour implémenter le e-learning. L'objectif est d'améliorer les rapports des utilisateurs avec le Web. Le Web Sémantique apparaît comme une technologie prometteuse pour implémenter le e-learning. L'objectif est d'améliorer les rapports des utilisateurs avec le Web.

On peut distinguer deux types d'approche pour le Web Sémantique : l'une qualifiée de "Web computationnellement sémantique" et l'autre de "Web cognitivement sémantique". La première concerne l'automatisation de la recherche au moyen d'agents logiciels. La deuxième s'intéresse à la structuration des contenus et vise une semi-automatisation de certaines tâches [Benayache 05].

Bien que les trois langages (RDF/RDFS, Topic Maps et OWL) aient pris des orientations différentes (statement, sujet, ontologie), ils répondent aux attentes du Web Sémantique. De plus, il est possible de migrer de l'un à l'autre sous certaines conditions. Ainsi, il est possible de migrer [Abel 04] : - de RDF vers OWL DL ou OWL Lite. Il est cependant nécessaire de s'assurer que le document original RDF satisfasse aux contraintes imposées par OWL DL et OWL Lite.

- de Topic Maps vers RDF sous condition, par exemple, de représenter les schémas RDF par des associations.

C'est donc à l'utilisateur de choisir, en fonction de ses besoins, le langage le plus adapté. Finalement, on constate que le Web Sémantique peut être traité comme une plateforme adéquate pour implémenter un système e-learning, du moment qu'il fournit tous les moyens pour le développement d'une ontologie (d'apprentissage), l'annotation basée ontologie du matériel d'apprentissage, leur composition dans des cours et la livraison active des cours à travers des portails d'apprentissage.

# *Partie 2 : conception d'ontologie et du système l'exploitant*

*"C'est pour l'expérience que la science et l'art font  
leur progrès chez les hommes."*

— Aristote

Cette deuxième partie est consacrée à la présentation de l'ontologie conçue dans le cadre de ce mémoire nommée (onto-EUAD). La conception de cette ontologie a été faite en reposant sur une méthodologie de conception d'ontologie. Elle est aussi consacrée à l'opérationnalisation de cette ontologie, et la définition du système qui l'exploite (plate forme d'enseignement universitaire à distance : PF-EUAD).

Dans le chapitre 4 on définit la première phase appelée ontologisation, elle résume les différentes étapes de construction de l'ontologie conceptuelle. La deuxième phase qui est l'opérationnalisation de l'ontologie et qui définit la méthode du passage d'une ontologie conceptuelle à une ontologie opérationnelle qui sera exploitable par une machine, sera abordée dans le chapitre cinq (5) : formalisation de l'ontologie conceptuelle. Nous abordons aussi en détaille dans ce même chapitre les étapes de conception d'un système qui intègre cette ontologie et qui assiste les utilisateurs pour l'exploitation de cette ontologie.

# Chapitre 4 : Conception de l'ontologie

## 4.1 Introduction

La conception d'une ontologie est une tâche complexe et coûteuse. Afin de faciliter cette tâche ils existent un certain nombre de règles fondamentales dans la conception des ontologies, règles auxquelles nous nous référerons plusieurs fois. Elles peuvent paraître dogmatiques, mais elles permettent de prendre des décisions à plusieurs occasions [Noy, + 00]:

- 1. Il n'y a pas qu'une seule façon correcte pour modéliser un domaine - il y a toujours des alternatives viables. La meilleure solution dépend presque toujours de l'application que vous voulez mettre en place et des évolutions que vous anticipez.*
- 2. Le développement d'une ontologie est nécessairement un processus itératif.*
- 3. Les concepts dans une ontologie doivent être très proches des objets (physiques ou logiques) et des relations dans le domaine d'intérêt. Fort probablement ils sont des noms (objets) ou verbes (relations) dans des phrases qui décrivent votre domaine.*

Ce chapitre présente la démarche suivie, en respectant l'ensemble des règles de conception d'ontologie, pour la réalisation de notre ontologie ainsi que les résultats obtenus. La conception de l'ontologie a été faite en reposant sur une méthodologie de conception d'ontologie choisie parmi l'ensemble de méthodologie de conception d'ontologie.

Ce chapitre est divisé en deux parties : la première partie présente le choix de méthodologie de conception d'ontologie et les critères de ce choix, ainsi que les différentes étapes suivies pour la réalisation de l'ontologie.

La deuxième partie présente les résultats obtenus sous la forme d'une ontologie semi-formelle.

Afin de bien comprendre le domaine choisit pour bénéficier de la réalisation de notre ontologie (l'enseignement universitaire à distance selon le schéma LMD), nous avons fait recoure pour le recueil et la définition des termes candidats et importants dans ce domaine, ainsi que la définition des différentes situations d'apprentissage à des enseignants (responsables des formations) dans l'université. L'ensemble des termes choisis -du domaine d'enseignement universitaire- vont nous servir de rassembler les différents constituants de notre ontologie (concepts, relations, et attributs).

## 4.2 Modélisation de l'ontologie conceptuelle

L'ingénierie ontologique ne propose à l'heure actuelle, aucune méthode normalisée ou méthodologie générale de construction d'ontologies, ce qui rend le processus d'élaboration des ontologies long et coûteux. Cependant, certains auteurs ont proposé des méthodologies inspirées de leur expérience de construction d'ontologies [Bahloul 06]. Ces méthodologies proposent à travers un ensemble d'étapes, un cycle de développement d'ontologies (chapitre 2) qui peut être adopté lors de la construction d'une nouvelle ontologie. Il existe également, des méthodologies qui se focalisent sur une des étapes de construction d'ontologies. Parmi ces méthodologies, citons la méthodologie Ontospec, qui met l'accent sur la structuration des hiérarchies de concepts et de relations durant la phase de conceptualisation [Kassel 02].

Un cycle de développement général d'une ontologie se déroule en trois principales étapes qui sont :

- ✓ La conceptualisation ;
- ✓ La formalisation ; et
- ✓ L'implémentation.

Ces étapes sont généralement précédées par une étape d'évaluation des besoins et de délimitation du domaine de connaissances à modéliser [Bahloul 06].

### 4.2.1 Choix d'une méthodologie de construction de l'ontologie :

La méthode adoptée pour la création de notre ontologie se repose sur la méthode MI2O (Méthode Intégré d'Ingénierie Ontologique) [Psyché 07] et sur les conseils donnés dans [Noy,

MacGuinness 00]. La méthode MI2O est développée en ce reposant sur les points forts des principales méthodes de construction d'ontologie. Parmi les points forts intégrés à la méthode : le cycle de vie et les critères de validation et de vérification de METHONTOLOGIE (Fernandez-lopez, + 97), ... [Psyché 07].

Cette méthode comprend deux phases importantes [Psyché 07]: (1) la conceptualisation de l'ontologie ; (2) la formalisation de cette ontologie. Ces deux phases sont précédées par une étape de capture des besoins et d'analyse des sources d'information. Chacune des étapes de notre démarche comprend certaines activités dont les résultats sont présentés ci-dessous.

Pour la réalisation de notre travail nous nous sommes plus particulièrement basés sur les étapes importantes de la phase de conceptualisation de l'ontologie et (2) et de la formalisation de l'ontologie.

#### **4.2.2 Etapes de construction :**

##### **Etape 1 : Capture des besoins et délimitation du domaine à modéliser :**

Avant de commencer le développement d'une ontologie, on définit son domaine et sa portée. C'est à dire répondre à quelques questions de base :

- **Domaine représenté par l'ontologie** : *Quel est le domaine que va couvrir l'ontologie ?* : Le domaine que va couvrir notre ontologie est celui de l'enseignement universitaire à distance, en ce focalisant sur le nouveau schéma LMD.
- **Contexte d'utilisation de l'ontologie** : *Dans quel but utiliserons-nous l'ontologie ?* : Notre ontologie est conçue dans le but d'être intégrée comme une couche de connaissance dans une plate forme d'un système universitaire d'enseignement à distance selon le nouveau schéma LMD (Licence, Master, et Doctorat). L'aidé est de fournir à un utilisateur à distance la possibilité de former ou de s'informer par l'exploitation des connaissances de l'ontologie, via une plate forme réalisée pour l'intégration de l'ontologie, et qui utilise les services offerts par le nouveau Web, le Web sémantique.
- **Utilisateurs** : *Qui vont utiliser et maintenir l'ontologie ?* : Notre ontologie est conçue dans le but d'être utilisée par des étudiants, des enseignants et des administrateurs.

- **But de l'application exploitant l'ontologie** : *A quels types de questions l'ontologie devra-t-elle fournir des réponses ?* : L'application exploitant l'ontologie a pour but de répondre aux questions qui donnent des informations sur la documentation disponible via l'ontologie, ou des informations qui sont en relation avec l'enseignement universitaire tels (les enseignants, les modules, ...), etc ...

En effet, notre ontologie sera construite dans l'esprit de fournir un vocabulaire conceptuel, qui permet l'annotation des documents pédagogiques, des enseignants, des modules, ensuite une application de recherche par leurs métadonnées sera développée.

- **Caractéristiques de l'application exploitant l'ontologie** : *quelle est la caractéristique principale de l'application exploitant l'ontologie ?* : L'application exploitant l'ontologie à une caractéristique principale, c'est l'assistance aux utilisateurs du système (étudiants, enseignants, et administrateurs) dans une formation universitaire à distance.
- **Sources d'information** : *quelle sont les sources d'information ?* : Afin de construire la taxinomie, la détermination des concepts d'un domaine peut s'appuyer sur l'analyse de documents et/ou sur l'interview d'experts du domaine. Ces activités doivent être raffinées au fur et à mesure que la conceptualisation émerge. Les interviews aident à préciser la sémantique d'un concept mis en évidence [Fernandez, +, 97]. Dans le cadre de notre travail, on disposait au début d'un ensemble de termes qui sont couramment utilisés dans le milieu d'enseignement universitaire LMD. A titre d'exemple on peut citer: enseignant, module, support du cours, série de TD, série de TP, semestre, unité... etc. Dans le but de rassembler l'ensemble de tous les termes de notre ontologie, il était nécessaire de faire un recours aux enseignants responsables de formation LMD dans l'université de Ouargla d'un coté, et aux étudiants de classe LMD au département mathématique et informatique d'un autre coté. Comme, j'ai eu quelques idées de ma propre expérience d'étudiante et d'enseignante vacataire a l'université de Ouargla.

## Etape 2 : *Conceptualisation de l'ontologie* :

la phase de modélisation ontologique (conceptualisation) comprend plusieurs étapes qui peuvent avoir lieu en même temps, mais qui, pour des raisons de clarté, sont présentées dans l'ordre suivant :

Étape 2.1 : *Enumérer les termes importants dans l'ontologie* :

Il est utile de noter sous forme de liste tous les termes à traiter ou à définir. Sur quels termes souhaiterions-nous discuter ? Quels sont les propriétés de ces termes ? Que veut-on dire sur ces termes ?

Étape 2.2 : *Définir les classes et la hiérarchie des classes* :

Il existe un certain nombre d'approches possibles pour développer une hiérarchie de classes [Noy, + 00] :

- Un procédé de développement **de haut en bas** (choisi dans notre travail) commence par une définition des concepts les plus généraux du domaine et se poursuit par la spécialisation des concepts. Par exemple nous pouvons commencer en créant des classes pour les enseignants, module, ...
- Un procédé de développement **de bas en haut** commence par la définition des classes les plus spécifiques, les feuilles d'une hiérarchie, et se poursuit avec le regroupement de ces classes en concepts plus généraux.
- Un procédé **combiné** de développement est une combinaison des deux approches, de haut en bas et de bas en haut. Au tout début, les concepts les plus saillants sont définis, ensuite ils sont généralisés ou spécialisés, suivant le cas.

Étape 2.3 : *Définir les propriétés des classes – relations entre concepts et attributs*

Les deux étapes- développement de la hiérarchie des classes et définition des propriétés des concepts - sont étroitement entrelacées. Il est difficile de les faire en ordre linéaire strict. On a créée quelques définitions de concepts dans la hiérarchie, ensuite nous avons procédé à la description des propriétés de ces concepts et ainsi de suite. Ces deux étapes sont les plus importantes dans le processus de la construction d'une ontologie.

En effet, après avoir défini quelques classes, nous devons décrire la structure interne des concepts. On a déjà sélectionné des classes à partir de la liste des termes que nous avons créée pendant l'Étape 2.1 par exemple (Module, Série de TD, Exercice, ...). La plupart des termes restants ont de fortes chances d'être des propriétés de ces classes (des attributs ou des relations entre concepts).

Certains types de propriétés peuvent devenir des attributs dans une ontologie, comme les relations avec d'autres individus. Ce sont les relations entre les membres individuels d'une classe et les autres entités. (ex : auteur de document : représente une relation entre l'enseignant et le document pédagogique)

Toutes les sous-classes d'une classe héritent les attributs de cette classe.

#### Étape 2.4 : Définir les facettes des attributs

Les attributs peuvent avoir plusieurs facettes décrivant la valeur du type, les valeurs autorisées, le nombre de valeurs (cardinalité), et d'autres caractéristiques de valeurs que les attributs peuvent avoir. Parmi les facettes des attributs nous citons :

- La cardinalité des attributs ;
- Le type de valeur des attributs (chaîne de caractère, booléens, nombre, instance, énuméré) ;
- Le domaine d'un attribut : les classes auxquelles un attribut est rattaché, ou les classes dont l'attribut décrit les propriétés sont appelées le domaine de l'attribut.

#### Étape 3 : Évaluation de l'ontologie conceptuelle :

La vérification de notre ontologie a été réalisée de façon non-automatique. Un certain nombre de responsables du domaine ont vu notre travail et ils nous ont données leurs remarques et corrections, ainsi que -et surtout- quelques collègues en poste graduation.

Enfin, on peut dire que dans cette phase de conceptualisation, on ne peut pratiquement pas dissocier les étapes de construction d'une ontologie, car il s'agit d'un processus non linéaire, plusieurs allers-retours ont été nécessaires lors du développement de l'ontologie, pour les raisons suivantes :

> Il n'était pas possible de savoir dès le départ, que les termes collectés sont suffisants pour répondre à l'objectif pour lequel l'ontologie a été construite, on a ajouté des nouveaux termes (concepts, relation ou attributs) lorsque c'était nécessaire, tout de même on a retiré des termes qu'on a jugés inutiles.

> Il n'était pas toujours facile de prédire qu'un terme va jouer le rôle d'une classe ou celui d'un attribut, plusieurs modifications ont été effectuées dans ce sens.

Le résultat de notre travail est la réalisation de l'ontologie conceptuelle. Pour représenter cette ontologie conceptuelle, on a construit (documentation de l'ontologie conceptuelle) :

- ✓ Une liste de concepts ;
- ✓ Une liste d'attributs de chaque classe;
- ✓ Une liste de relations entre classe;
- ✓ Une représentation hiérarchique des concepts ;

#### **Étape 4: Formalisation de l'ontologie :**

Cette étape consiste on l'édition de l'ontologie conceptuelle par un éditeur d'ontologie afin de la rendre exploitable par une machine.

Durant cette phase, il faut avoir recours à un ensemble de langages de formalisation et a un ensemble d'outils de formalisation.

- ❖ *Evaluation de l'ontologie formelle* : après l'édition de l'ontologie il est important d'évaluer sa cohérence par un outil de validation .

Les détails de cette étape font une partie de l'objet du chapitre suivant.

### **4.2.3 Respect des principes de construction**

- ✓ **Clarté et objectivité [Gruber93]** : pour répondre à ce principe, chaque terme utilisé dans cette ontologie est associés par une définition.
- ✓ **Complétude [Gruber93]** : pour répondre à ce principe les définitions des concepts et des relations de notre ontologie ont été associés par des conditions nécessaires, d'autres ont

été associés par des conditions nécessaires et suffisantes, mais bien sûre selon la possibilité de définir ces conditions.

- ✓ **Extensibilité ontologique maximale [Gruber93]** : la définition d'un terme n'explique que le terme lui-même, sa définition ne peut être la même que celle d'un terme plus général, ou d'un terme plus spécialisé.
- ✓ **Principe de distinction ontologique** : les concepts dans cette ontologie sont suffisamment disjoints.
- ✓ **Distance sémantique minimale** : il y a une distance minimale entre les concepts enfants de même parents.

### 4.3 Présentation de l'ontologie conceptuelle

Dans tous les tableaux qui suivent « **est un** » désigne une condition nécessaire, « **si et seulement si** » désigne une condition nécessaire et suffisante.

#### 4.3.1 Liste des concepts

Dans le tableau qui suit on va présenter les concepts de l'ontologie ainsi que leurs définitions et leurs sur concepts :

Concept	Sur concept	Définition du concept
Département	Concept d'application	Département <b>est un</b> concept d'application, c'est la classe qui regroupe tous les concepts de l'ontologie.
Document pédagogique	Concept de département	un document pédagogique <b>est un</b> concept de département, il peut être : un support du cours, une série de TD ou de TP, un diaporama, un examen, un devoir, un corrigé d'une série de TD ou d'un examen ou de devoir, une annonce, une note, description, liens utiles, documentation, ou quiz.

Support du cours	Document pédagogique	<p>un support de cours <b>est un</b> document pédagogique qui contient les connaissances nécessaires à un module.</p> <p>un support du cours est composé d'au moins un chapitre.</p>
Série de TD	Document pédagogique	<p>une série de TD <b>est un</b> document pédagogique qui a pour but l'application des notions présentées dans un cours, elle est destinée à être préparé par les étudiants.</p> <p>Une série de TD est composée d'un ou plusieurs exercices.</p>
Série de TP	Document pédagogique	<p>une série de TP <b>est un</b> document pédagogique, dans lequel l'enseignant demande aux étudiants de développer une (ou plusieurs) application(s) informatique(s), ou de réaliser une (des) expérience(s)...</p> <p>une série de TP est composée de deux parties : partie initiation de TP et partie travail à faire.</p>
Diaporama	Document pédagogique	<p>un diaporama <b>est un</b> document pédagogique, dont le contenu est présenté de manière moins détaillée, créé à l'aide d'un logiciel et présenté à partir d'un ordinateur.</p> <p>un diaporama est composé d'un ou plusieurs diapositifs.</p>
Examen	Document pédagogique	<p>un examen <b>est un</b> document pédagogique qui a pour objectif l'évaluation des étudiants.</p> <p>un examen est composé d'un ou plusieurs exercices.</p>
Corrigé d'examen	Document	le corrigé d'un examen <b>est un</b> document pédagogique

	pédagogique	<p>qui fournit le corrigé type d'un examen qui a déjà eu lieu.</p> <p>le corrigé d'un examen est composé de un ou plusieurs exercices corrigés.</p>
Corrigé de série de TD	Document pédagogique	<p>le corrigé d'une série de TD <b>est un</b> document pédagogique qui fournit le corrigé type d'une série de TD déjà proposée.</p> <p>le corrigé contient un ou plusieurs exercices corrigés.</p>
Devoir	Document pédagogique	<p>Un devoir <b>est un</b> document pédagogique qui a pour but de faire travailler les étudiants à domicile on appliquant des notions présentées dans un cours, il est destiné à être fait par les étudiants.</p> <p>Un devoir est composé de un ou plusieurs questions ou exercices.</p>
Corrigé de devoir	Document pédagogique	<p>le corrigé d'un devoir <b>est un</b> document pédagogique qui fournit le corrigé type d'un devoir déjà proposée.</p> <p>le corrigé contient un ou plusieurs exercices corrigés</p>
Note	Document pédagogique	<p>Une note <b>est un</b> document pédagogique. Elle concerne un module particulier, donnée par un enseignant à un ou plusieurs groupes.</p> <p>Une note peut être une note de devoir, TD, TP, ou d'un examen EMD ou rattrapage.</p>
Annonce	Document pédagogique	<p>Une annonce <b>est un</b> document pédagogique qui donne des informations aux étudiants. Une annonce concerne un module particulier, et elle est faite par un enseignant pour un ou plusieurs groupes d'étudiants.</p>

Description	Document pédagogique	Une description <b>est un</b> document pédagogique qui donne des informations brèves sur un cours, un module, un enseignant, un département, une unité, ou une spécialité.
Liens utiles	Document pédagogique	Liens utiles est un document pédagogique, qui contient une liste des liens URL donnée par l'enseignant concernant un support de cours ou un module.
Documentation	Document pédagogique	Documentation <b>est un</b> document pédagogique. Une documentation contient des documents complémentaires à un support de cours.
Quiz	Document pédagogique	Quiz <b>est un</b> document pédagogique, qui contient des questions d'évaluation pour les étudiants. quiz concerne un module, et réalisé par l'enseignant de ce module.
Enseignant	Concept de département	Un enseignant <b>est un</b> concept de département, c'est la personne responsable de la tâche d'enseignement dans un processus de formation.
Module	Concept de département	Un module <b>est un</b> concept de département, il regroupe des connaissances et des informations liées à une spécialité et adaptée à un niveau et un cycle d'étude. Il est étudié au niveau d'un/ ou plusieurs département, dans un semestre, dans une unité, et il possède un crédit et un coefficient.
Unité	Concept de département	Une unité <b>est un</b> concept de département. Elle contient un ou plusieurs modules, et elle possède un crédit.
Chapitre	Concept de département	Un chapitre <b>est un</b> concept de département, il est le composant de base d'un support du cours il regroupe un ensemble de connaissance nécessaires pour la

		<p>compréhension d'un module.</p> <p>un chapitre est composé d'un ou plusieurs paragraphes.</p>
Paragraphe	Concept de département	<p>Un paragraphe <b>est un</b> concept de département, il est le composant de base d'un chapitre, d'un diapositif, et de la partie initiation dans une série de TP.</p> <p>Chaque paragraphe regroupe des connaissances plus élémentaires, nécessaires pour la compréhension d'un chapitre, d'un diapositif, de la partie initiation dans une série de TP.</p> <p>Un paragraphe peut contenir une ou plusieurs figures.</p>
Figure	Concept de département	<p>Une figure <b>est un</b> concept de département.</p> <p>une figure est la représentation graphique de la connaissance.</p> <p>Une figure peut apparaître dans un paragraphe, dans un exercice ou dans un exercice corrigé.</p>
Exercice	Concept de département	<p>Un exercice <b>est un</b> concept de département.</p> <p>Un exercice est un problème que l'étudiant doit résoudre, ou particulièrement un travail pratique qu'il doit réaliser.</p> <p>Un exercice est le composant de base d'une série de TD, d'un examen, d'un devoir, ou de la partie travail à faire dans une série de TP.</p> <p>Un exercice peut contenir une ou plusieurs figures.</p>
Exercice corrigé	Concept de département	<p>Un exercice corrigé <b>est un</b> concept de département, il représente la solution d'un exercice.</p>

		<p>Un exercice corrigé est le composant de base d'un corrigé d'examen ou d'un corrigé de série de TD, ou de devoir.</p> <p>Un exercice corrigé peut contenir une ou plusieurs figures.</p>
Diapositif	Concept de département	<p>Un diapositif <b>est un</b> concept de département ; il est le composant de base d'un diaporama.</p> <p>un diapositif est composé de un ou plusieurs paragraphes.</p>
Partie initiation de TP	Concept de département	<p>La partie initiation d'un TP <b>est un</b> concept de département ; c'est la partie première dans une série de TP, où l'enseignant explique le sujet du TP, et décrit les outils qui seront utilisés pour réaliser le travail si nécessaire.</p> <p>la partie initiation est composée de un ou plusieurs paragraphes.</p>
Partie travail à faire de TP	Concept de département	<p>La partie travail à faire <b>est un</b> concept de département ; c'est la deuxième partie dans une série de TP ; c'est la partie où l'enseignant doit préciser le travail que l'étudiant doit réaliser. la partie travail à faire est composée de un ou plusieurs exercices.</p>
Papier d'étudiant	concept de département	<p>Papier d'étudiant <b>est un</b> concept de département.</p> <p>L'étudiant envoie un travail demandé par l'enseignant, ou des questions à un enseignant.</p>
Groupe	Concept de département	<p>Groupe <b>est un</b> concept de département. Il donne le numéro de groupe dans un niveau, un cycle, et une spécialité. Il est concerné par un module et un</p>

		document pédagogique.
Utilisateur	Concept de département	Utilisateur <b>est un</b> concept de département, il définit le type d'utilisateur. Il peut être un étudiant, ou staff administrative.
Etudiant	utilisateur	Un étudiant <b>est un</b> type d'utilisateur de l'ontologie
Staff	utilisateur	staff <b>est un</b> type d'utilisateur de l'ontologie

**Tableau montrant la liste des concepts et la définition de chaque concept**

### 4.3.2 Liste des attributs

Dans le tableau qui suit nous allons présenter pour chaque concept ses attributs, et s'il a hérités d'autres attributs d'un concept père :

Concept	Hérite les attributs du concept	Attributs	Commentaires
Département		Année universitaire	
		Université	
		Faculté	
Document pédagogique	Département	URI	Par URI on désigne le chemin d'accès au document(URL).
		Format	Format désigne le format numérique du document (PDF, Word, HTML, PPT)
		Langue	Désigne la langue du document pédagogique

		Date de création	Désigne la date de la création de DP
Support du cours	Document pédagogique	Mots clés	
		Titre	
Série de TD	Document pédagogique	Numéro de série de TD	
Série de TP	Document pédagogique	Numéro de série de TP	
		Titre de série de TP	
Diaporama	Document pédagogique	Titre de diaporama	
		Mots clés de diaporama	
Examen	Document pédagogique	Numéro d'examen	
		Date d'examen	
		Type d'examen	Par type d'examen on désigne s'il est un ECD, EMD, ou rattrapage.
Devoir	Document pédagogique	Numéro de devoir	
		Date de devoir	
Corrigé d'examen	Document pédagogique	Numéro de corrigé d'examen	
		Date d'examen	
Corrigé de devoir	Document pédagogique	Numéro de corrigé de devoir	

Corrigé de série de TD	Document pédagogique	Numéro Corrigé de série de TD	
Note	Document pédagogique	Type de note	Une note peut être une note de devoir, TD, TP, Examen de EMD ou de rattrapage.
Annonce	Document pédagogique	Numéro d'annonce	
		Date d'annonce	
Description	Document pédagogique	Numéro de description	
		Type de description	Le type de description peut être : description de cours, de module, d'enseignant, de département, d'unité, ou d'une spécialité.
		Titre de Description	
		Mots clés	
Documentation	Document pédagogique	Numéro de liste de documentation	
Liens utiles	Document pédagogique	Numéro de liste de liens utiles	
Quiz	Document pédagogique	Numéro de liste de Quiz	
Enseignant	Département	Nom de l'enseignant	
		Prénom	

		Spécialiste on	Définit la spécialité de l'enseignant
		Email	
Module	Département	Nom de module	
		Spécialité	Désigne la spécialité ou le module est enseigné
		Niveau	Définit le niveau ou le module est enseigné : 1 <sup>ere</sup> , 2 <sup>eme</sup> , 3 <sup>eme</sup> , 4 <sup>eme</sup> , 5 <sup>eme</sup> , 6 <sup>eme</sup> , 7 <sup>eme</sup> , ou 8 <sup>eme</sup> année.
		Cycle	Définit le type du cycle : Licence, Master, ou Doctorat.
		Semestre	Semestre 1, ou 2
		Coefficient	Définit le coefficient du module
		Crédit	Définit le crédit du module
		Module avec TD	Est-ce que c'est un module avec des séances de TD
		Module avec TP	Est-ce que c'est un module avec des séances de TP
		Volume horaire	Total entre cours, TD et TP
Unité	Département	Type d'unité	Donne le type de l'unité. Une unité peut être une unité d'enseignement fondamentale (UEF), méthodologique (UEM), de Découverte (UED), ou spéciale (UES)
		Nombre de Module	

		Crédit	Donne le crédit de l'unité
		Coefficient	Donne la somme des coefficients des modules de l'unité
Chapitre	Département	Numéro de chapitre	
		Titre de chapitre	
Paragraphe	Département	Numéro de paragraphe	
		Titre de paragraphe	
		Sous titres	
Figure	Département	Numéro de figure	
		Titre de figure	
		Type de figure	Type de figure : tableau, image, etc.
Exercice	Département	Numéro d'exercice	
Exercice corrigé	Département	Numéro d'exercice corrigé	
Diapositif	Département	Numéro de diapositif	
Partie initiation de TP	Département	Numéro de la partie initiation	
		Titre de la partie initiation	
Partie travail à	Département	Numéro de la	

faire de TP		partie travail à faire	
Utilisateur	Département	Code utilisateur	
		Nom	
		prénom	
		Email	
		Date de naissance	
		Type	Etudiant ou administrateur
Etudiant	Utilisateur	Niveau	Définit le niveau d'étude : 1ere, ..., 8emme année.
		Cycle	Définit le cycle d'étude : Licence, Master, ou Doctorat.
		Spécialité	Définit la spécialité de l'étudiant
		Redoublant	Donne l'information sur l'état de l'étudiant : redoublant ou non.
Staff Administrative	Utilisateur	Tache	Définit la tache attribut à cet utilisateur
Papier d'étudiant	Département	URI	
		Date de remise	
Groupe	Département	Numéro de groupe	
		Niveau	Définit le niveau d'étude : 1ere, ..., 8emme année.
		cycle	Définit le cycle d'étude : Licence, Master, ou Doctorat.
		Spécialité	Définit la spécialité de l'étudiant

**Tableau de la liste des attributs pour chaque concept de l'ontologie**

### 4.3.3 Liste des relations

Dans le tableau qui suit nous allons décrire les relations existantes entre les différents concepts de l'ontologie :

Relation	Prédécesseur	Successeur	Définition
Enseigne	Enseignant	Module	Un enseignant enseigne un module pendant une année universitaire, <b>si et seulement si</b> il est chargé de cours de ce module ou de TD/TP, et il rédige des documents pédagogiques concernant ce module.
Est auteur	Enseignant	Document pédagogique	Un enseignant est auteur d'un document pédagogique, <b>si et seulement si</b> c'est lui qui le rédige.
Enseigne dans	enseignant	Département	Un enseignant enseigne dans un ou plusieurs départements.
Concerne	Document pédagogique	Module	Un document pédagogique concerne un module <b>si et seulement si</b> il est rédigé (a été rédigé) par (qui était) l'enseignant de ce module, et lorsqu'il l'utilise (l'avait utilisé) dans l'enseignement de ce module à ses étudiants.
Est enseigné	Module	département	Un module est enseigné dans un ou plusieurs départements.
A pour ressource	Module	Document pédagogique	Un module a pour ressource un document pédagogique si et

			seulement si il est rédiger pour ce module, par l'enseignant du module, et destiner (ou il a été déjà utilisé pour) dans l'enseignement ou dans l'aide de l'enseignement de ce module.
Appartient à	Module	Unité	Un module appartient à une seule unité
Est composé de chapitre	Support du cours	Chapitre	Un support du cours contient au moins un chapitre.
Est composé de paragraphe	Chapitre	Paragraphe	Un chapitre contient au moins un paragraphe
Contient des figures	Exercice	Figure	Un exercice peut contenir une ou plusieurs figures.
Contient des figures	Exercice corrigé	Figure	Un exercice corrigé peut contenir une ou plusieurs figures.
Contient des figures	Paragraphe	Figure	Un paragraphe peut contenir une ou plusieurs figures.
Est composé d'exercices	Série de TD	Exercice	Une série de TD contient au moins un exercice.
A pour corrigé	Série de TD	corrigé de série de TD	Une série de TD a au plus un corrigé.
Est composé d'exercice corrigé	Corrigé de série de TD	Exercice corrigé	Un corrigé de série de TD contient au moins un exercice corrigé.
Est composé d'exercices	Examen	Exercice	Un examen contient au moins un exercice.

Est composé d'exercices	Devoir	Exercice	Un devoir contient au moins un exercice.
A pour corrigé	Examen	Corrigé d'examen	Un examen a au plus un corrigé.
A pour corrigé	Devoir	Corrigé de devoir	Un devoir a au plus un corrigé.
Est composé d'exercice corrigé	Corrigé d'examen	Exercice corrigé	Le corrigé d'un examen contient au moins un exercice corrigé.
Est composé d'exercice corrigé	Corrigé de devoir	Exercice corrigé	Le corrigé d'un devoir contient au moins un exercice corrigé.
Est composé d'une partie initiation	Série de TP	Partie initiation de TP	Une série de TP contient une et une seule partie initiation.
Est composé d'une partie travail à faire	Série de TP	Partie travail à faire de TP	Une série de TP contient une et une seule partie travail à faire.
Est composé de paragraphes	Partie initiation de TP	Paragraphe	La partie initiation de TP contient au moins un paragraphe.
Est composé d'exercices	Partie travail à faire de TP	Exercice	La partie travail à faire de TP contient au moins un exercice
Est composé de diapositif	Diaporama	Diapositif	Un diaporama contient au moins un diapositif
Est composé de paragraphes	Diapositif	Paragraphe	Un diapositif contient au moins un paragraphe.

Concerne module	Module	Groupe	Un module concerne un ou plusieurs groupes.
Concerne groupe	Document pédagogique	Groupe	Un document pédagogique concerne un ou plusieurs groupes.
Enseigne	Enseignant	Groupe	Un enseignant enseigne un ou plusieurs groupes
Inscrit dans	Etudiant	Département	Un étudiant est inscrit dans un département particulier.
Appartient à	Etudiant	Groupe	Un étudiant appartient à un seul groupe
Réaliser par	Papier d'étudiant	Etudiant	Un papier d'étudiant est réalisé par un étudiant.
Envoyé à	Papier d'étudiant	Enseignant	Un papier d'étudiant est envoyé à un enseignant
Concerne module	Papier d'étudiant	Module	Un papier d'étudiant concerne un module
Concerne unité	Papier d'étudiant	unité	Un papier d'étudiant concerne une unité particulière.

**tableau de la liste du relations de l'ontologie**

#### **4.3.4 Représentation hiérarchique de l'ensemble de concepts et de relations :**

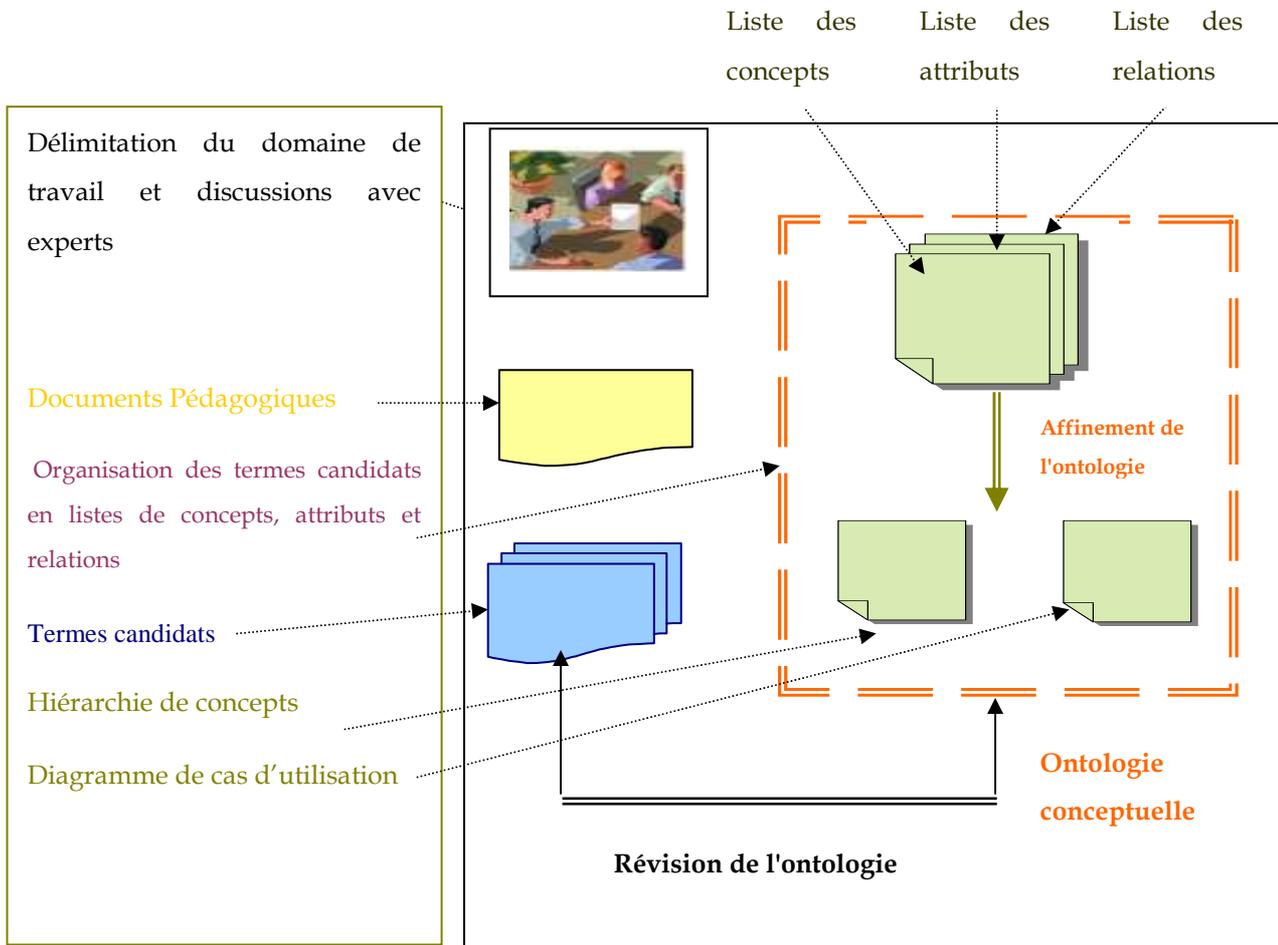
- ✓ **Représentation hiérarchique des concepts :** voici la représentation hiérarchique de l'ensemble des concepts et les sur concepts choisi dans notre ontologie :

*Représentation hiérarchique des concepts de l'ontologie*



## 4.4 Schéma résumant la phase de modélisation de l'ontologie

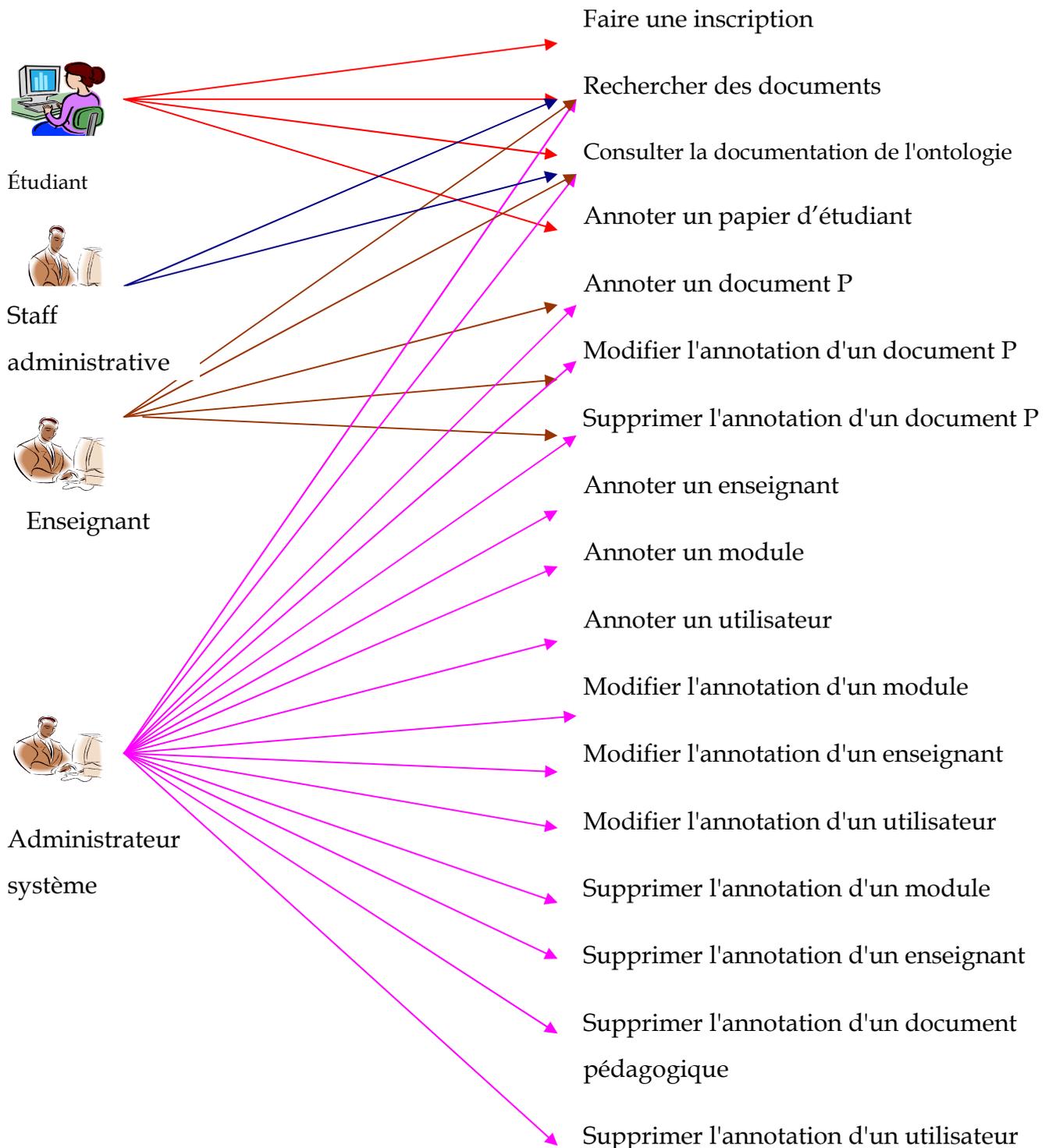
Le schéma suivant résume la phase de l'ontologisation, qui présente la première phase dans le processus de construction d'une ontologie :



*Etapes d'ontologisation (conception de l'ontologie)*

## 4.5 Cas d'utilisation envisagés

Notre application est orientée vers trois utilisateurs : l'administrateur, les enseignants et les étudiants. Les différentes tâches que peut effectuer chaque type d'utilisateur, sont illustrées sur le diagramme des cas d'utilisation suivant :



*Diagramme des cas d'utilisations*

✓ **Utilisateur (Etudiant) :**

1. Faire une inscription ;
2. Rechercher des documents ;

3. Consulter la documentation de l'ontologie ;
4. Envoyé un travail personnelle (annotation de papier d'étudiant).

✓ **Utilisateur (Staff administrative) :**

1. Rechercher des documents Pédagogique ;
2. Consulter la documentation de l'ontologie.

✓ **Enseignant :**

1. Annoter un document pédagogique ;
2. Modifier l'annotation d'un document pédagogique ;
3. Supprimer l'annotation d'un document pédagogique ;
4. Rechercher des documents ;
5. Consulter la documentation de l'ontologie.

✓ **Administrateur**

1. Rechercher des documents ;
2. Consulter la documentation de l'ontologie ;
3. Annoter un document ;
4. Modifier l'annotation d'un document ;
5. Supprimer l'annotation d'un document ;
6. Annoter un enseignant ;
7. Annoter un module ;
8. Annoter un utilisateur ;
9. Modifier l'annotation d'un module ;
10. Modifier l'annotation d'un enseignant ;

11. Modifier l'annotation d'un utilisateur ;
12. Modifier l'annotation d'un document pédagogique ;
13. Supprimer l'annotation d'un module ;
14. Supprimer l'annotation d'un enseignant ;
15. Supprimer l'annotation d'un utilisateur ;
16. Supprimer l'annotation d'un document pédagogique.

## 4.6 Conclusion

Ce chapitre présente le processus de modélisation de l'ontologie conceptuelle réalisée dans ce mémoire. Ce processus se base sur la méthode MI2O développée par [Psyché 07] et les conseils de [Noy, + 00]. Les différentes étapes de la conception de notre ontologie commencent par le choix de méthodologie de conception, puis la représentation de la démarche suivie pour chaque phase de la méthode choisie. Enfin, on a présenté les résultats de la conception de l'ontologie sous forme de tableaux. Un tableau présentant la liste de concepts ainsi que la définition de chaque concept, un autre pour la liste de relations y compris les concepts attachés à chaque relation, et un troisième pour la liste des attributs pour chaque concept ainsi que la définition des attributs importants. Ces tableaux présentent la documentation de l'ontologie.

De plus, une représentation hiérarchique des concepts et des relations de l'ontologie est donnée, et pour présenter les fonctionnalités de chacun des acteurs de notre application on a utilisé un diagramme de cas d'utilisation.

La prochaine étape consiste à rendre cette ontologie formelle et opérationnelle, c'est-à-dire exploitable par une application, c'est ce qu'on va présenter dans le prochain chapitre, en plus de la présentation des détails de conception de l'application exploitant cette ontologie.

# Chapitre 5 : Modélisation de la plate forme

## 5.1 Introduction

Cette étape consiste à encoder l'ontologie au moyen d'un langage de programmation afin de la rendre exécutable par ordinateur. L'ontologie est dite opérationnelle puisque l'application logicielle qui l'exploitera sera développée en fonction des définitions formelles associées aux concepts de l'ontologie. Notamment, les services fournis par l'application logicielle réalisée dépendent complètement de l'ontologie.

Dans ce chapitre on présente le travail de formalisation de notre ontologie, ainsi que la méthode de son exploitation pour un environnement de formation universitaire à distance.

En effet, ce chapitre traduit la mise en œuvre de l'ontologie, notamment son opérationnalisation à travers la conception d'un système d'assistance aux acteurs de l'environnement de formation universitaire à distance à savoir l'enseignant, l'étudiant et le gestionnaire du système (administrateur système). Ce système qui se présente comme une plate forme d'enseignement à distance est nommé (PF-EUAD : plate forme d'enseignement universitaire à distance).

Ce chapitre est divisé en deux parties. Dans la première partie, nous présentons les étapes d'édition de notre ontologie (onto-EUAD) en commençant par présenter les choix de langage d'ontologie ainsi que l'outil d'édition d'ontologie, qui seront respectivement le langage OWL, et l'utilisation d'éditeur d'ontologie protégé 2000. Dans la deuxième partie, nous présentons les spécifications de conception de notre plate forme qui exploite l'ontologie déjà éditée pour plusieurs applications, à savoir l'annotation et la recherche de document.

## 5.2 Caractéristiques de l'ontologie :

- ✓ L'ontologie doit être implémentée on utilisons les technologies du Web sémantique (OWL, RDF/S, etc.) : Choix : OWL.
- ✓ L'ontologie doit être édité par un éditeur d'ontologies ex : « protégé 2000 », ODE, HOZO, .... Choix : Protégé 2000.
- ✓ L'application développée qui intègre l'ontologie, doit permettre principalement l'annotation et la recherche de documents à partir de leurs descriptions fournis par l'ontologie , ainsi que la prise en change de l'inscription d'étudiants et l'exploration de l'ontologie.

## 5.3 Formalisation de l'ontologie :

Durant cette étape, nous avons eu recours à un ensemble de langages et d'outils de formalisation :

- Un ensemble de normes du Web sémantique, les langages bien établis RDF, RFDS et le langage OWL.
- Une palette d'outils : l'éditeur ontologique Protégé- OWL, ainsi qu'un outil pour l'évaluation de l'ontologie formelle dans Protégé-OWL nommé (Pellet).

Le moteur Pellet est beaucoup plus récent. Pellet est un des projets du MINDSWAP Group, un groupe de recherche sur le web sémantique de l'université du Maryland. Il est disponible en Open Source et offre des évolutions fréquentes. Pellet travaille sur des ontologies décrites en RDF ou OWL et permet les requêtes avec RDQL et SPARQL sur la ABox et la TBox.

Cette partie d'édition d'ontologie est devisée en deux phases, la première consiste en l'édition de l'ontologie conceptuelle par un éditeur d'ontologie, et la deuxième consiste en l'évaluation automatique du résultat de l'édition de l'ontologie.

Avant de commencer la précision de chaque étape, on donne une brève présentation d'outil et langage choisis pour la réalisation et la validation de cette première partie.

## 5.3.1 Outil et langage de formalisation utilisés

### 5.3.1.1 Outil d'édition d'ontologie :

Un outil de construction d'ontologie peut être utilisé soit pour construire une nouvelle ontologie, soit pour réutiliser des ontologies déjà existantes. À part les fonctions communes d'édition et de navigation que possèdent en général ces outils, il existe autre fonctions indispensables pour qualifier un outil d'édition ontologique. Il s'agit de [Psyché 07] :

- (1) l'assistance au travail en collaboration pour une ingénierie distribuée entre plusieurs personnes ;
- (2) l'exportation de l'ontologie dans des langages de représentation appropriée tels que XML, RDFS, OWL, etc.;
- (3) une interface graphique pour éditer et visualiser l'ontologie ;
- (4) un langage de représentation le plus abstrait possible, tel que les graphes conceptuels, UML, etc.;
- (5) la possibilité d'importation d'ontologies.

Un ensemble d'éditeurs d'ingénierie ontologique ont été développés afin de systématiser l'ingénierie des ontologies. Selon [Gómez-Pérez, 99], parmi les plus connus sont : **Ontolingua, Ontosaurus, WebODE, Protégé, WebOnto.**

Notre choix c'est porté sur l'éditeur d'ontologie : Protégé 2000, en raison de :

**Protégé 2000** est une plate-forme *Open Source* autonome, qui fournit un environnement graphique d'édition ontologique, ainsi qu'une architecture extensible pour la construction d'outils personnalisés, à base de connaissances. Son modèle de connaissances est compatible avec le protocole OKBC. Son architecture modulaire permet aux concepteurs de logiciels d'y ajouter une nouvelle fonctionnalité en créant le plug-in approprié. Protégé fournit également des traducteurs en FLogic, OIL, Ontolingua et RDF(S), et peut entreposer des ontologies dans n'importe quelle base de données relationnelle compatible avec JDBC. Sa fiche technique est la suivante [Psyché 07]:

- ✓ URL : <http://protege.stanford.edu>

- ✓ Language d'exportation : FLogic, OIL, Ontolingua, RDF(S)
- ✓ Language d'importation : FLogic, OIL, Ontolingua, RDF(S), XML
- ✓ Construction collective et distributive : Non
- ✓ Environnement graphique d'édition d'ontologies : Oui
- ✓ Paradigme de représentation des connaissances : Frame

L'éditeur d'ontologie « **Protégé version 3.4 Beta** », présente notre version de choix pour l'édition de l'ontologie de ce mémoire, avec l'objectif de générer automatiquement le code OWL correspondant à l'ontologie, ainsi qu'une documentation HTML de notre ontologie.

#### *5.3.1.2 Langage de formalisation de l'ontologie:*

Le choix d'un langage de spécification est porté sur le langage OWL, (Ontology Web Language (OWL)).

RDFS paraissait insuffisant pour coder l'ontologie de ce projet, dans la mesure où il ne permet pas d'exprimer des contraintes de cardinalité directement, c'est pour cette raison que notre choix a été orienté vers OWL.

Selon le W3C [Smith, Welty, McGuinness 04], OWL est conçu pour des applications qui doivent non seulement traiter de l'information, mais aussi l'afficher aux humains. Comparativement à XML, RDF et RDF Schéma (RDF-S), OWL offre une meilleure interprétation des contenus Web puisqu'il fournit un vocabulaire additionnel en plus d'une sémantique formelle. En plus, le codage d'une ontologie sous format OWL présente l'avantage de rendre cette ontologie réutilisable, grâce à l'utilisation des propriétés d'équivalence, et de disjonction entre les concepts et entre les relations.

OWL se compose de trois sous-langages (chapitre 3) respectivement de plus en plus expressifs : OWL Lite, OWL DL et OWL Full. Le type de langage OWL choisi est le OWL DL, en raison de: Le langage *OWL Lite* concerne les utilisateurs ayant principalement besoin d'une hiérarchie de classifications et de mécanismes de contraintes simples. Par exemple,

quoique OWL Lite gère des contraintes de cardinalité, il ne permet que des valeurs de cardinalité de 0 ou 1.

Tandis que le langage *OWL DL* concerne les utilisateurs souhaitant une expressivité maximum sans sacrifier la complétude de calcul (toutes les inférences sont sûres d'être prises en compte) et la décidabilité (tous les calculs seront terminés dans un intervalle de temps fini) des systèmes de raisonnement. Le langage OWL DL comprend toutes les structures de langage de OWL avec des restrictions comme la séparation des types (une classe ne peut pas être en même temps un individu ou une propriété, ou encore une propriété être un individu ou une classe). OWL DL se nomme ainsi pour sa correspondance avec la *logique de description* [Amardeilh 07], une logique portant sur un fragment décidable particulier de la logique de premier ordre. Le langage OWL DL, conçu pour gérer le secteur existant de la logique de description, offre les propriétés de calcul souhaitées pour les systèmes de raisonnement.

On ce qui concerne le langage *OWL Full*, ce langage est destiné aux utilisateurs souhaitant une expressivité maximum et la liberté syntaxique de RDF sans garantie de calcul. Par exemple, dans OWL Full, on peut simultanément traiter une classe comme une collection d'individus et comme un individu à part entière.

### **5.3.2 Etapes d'édition de l'ontologie :**

L'éditeur d'ontologie « Protégé version 3.4 beta » avec lequel l'ontologie de ce mémoire est éditée, maintient un espace de nommage unique pour les classes, propriétés (relations : object Propriété, attributs : datatype propriétés). Il est sensible à la casse, et il ne permet pas l'apparition des espaces dans les noms, les seules délimiteurs autorisés sont bien « \_ » et «-».

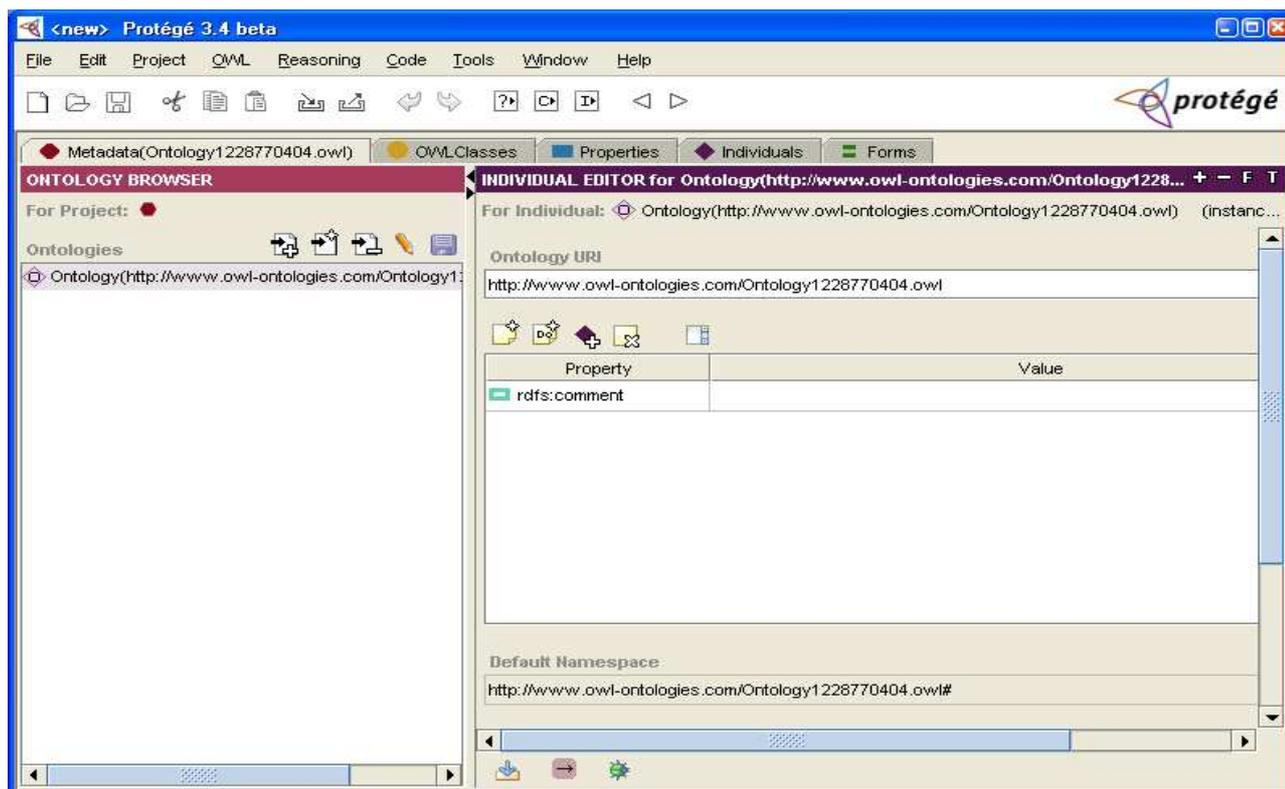
C'est pour ces considérations que les noms déjà présentés dans l'ontologie conceptuelle ont été légèrement modifiés, lors de leurs éditions sous « Protégé ».

Dans ce qui suit on présente les différentes étapes de l'édition de l'ontologie, à partir du lancement de « Protégé » jusqu'au la génération du code OWL et de la documentation HTML correspondante.

### Etape 1 : choix de type de langage de formalisme :

Après le lancement de « Protégé 3.4 beta » sous Windows XP, on commence par la création d'un nouveau projet avec la précision respectivement des : type de projet, espace des noms, et le langage choisi pour l'ontologie.

A la fin de ces spécifications de choix, la fenêtre suivante s'affiche, elle correspond à l'interface principale d'édition de l'ontologie :

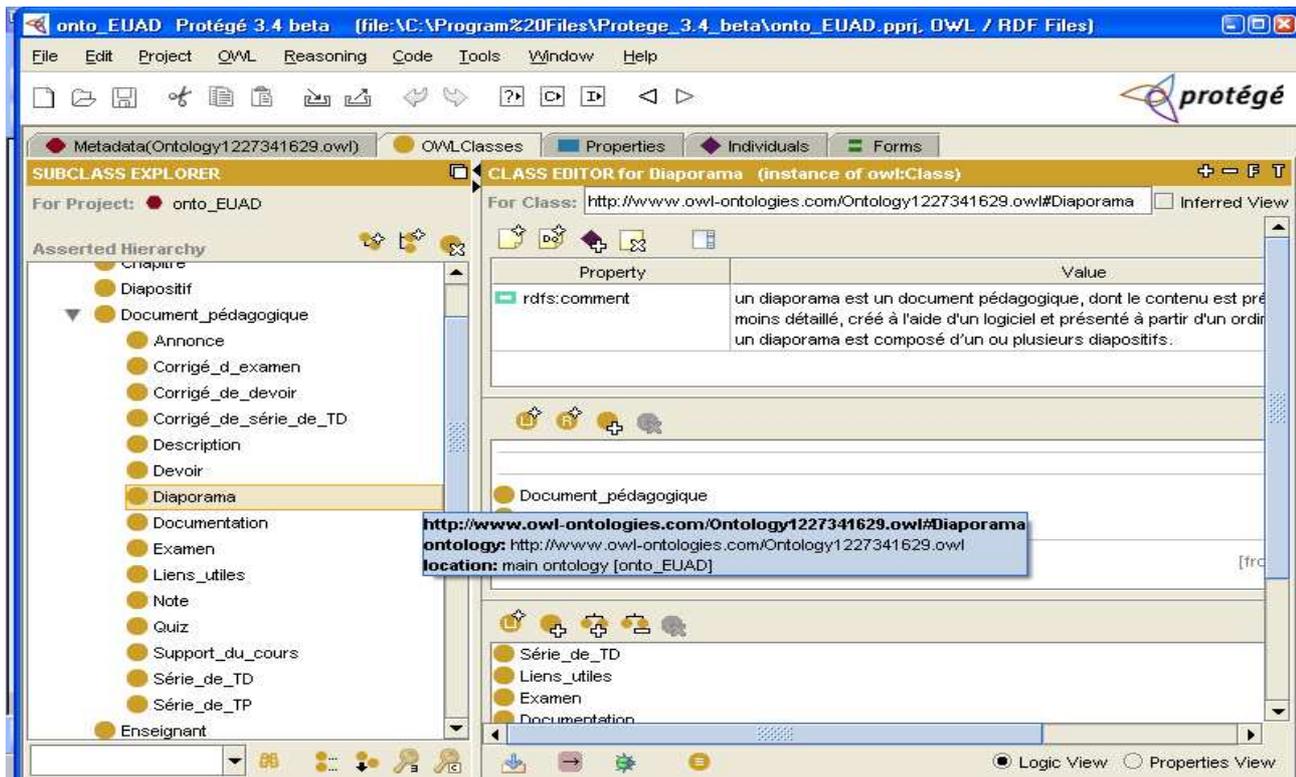


*Interface principale d'édition d'ontologie sous protégé 2000*

### Etape 2 : édition des concepts de l'ontologie :

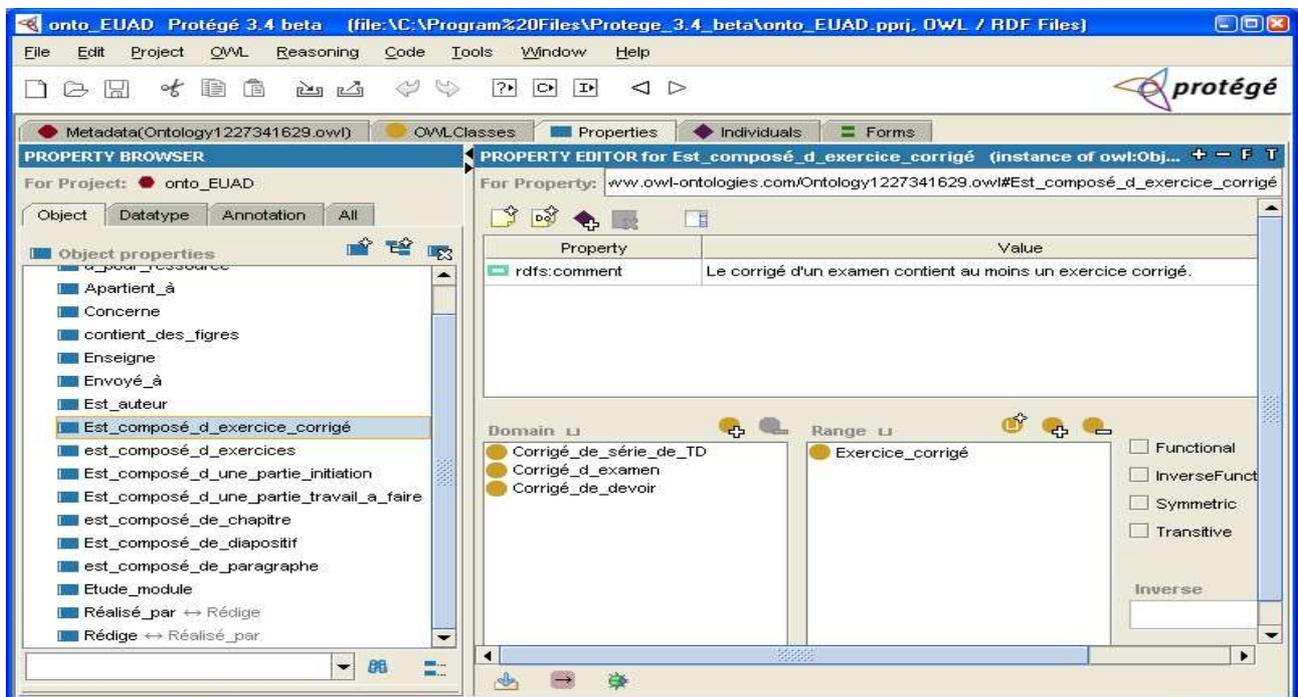
Après avoir spécifié les propriétés du projet, on commence à éditer notre ontologie (**onto-EUAD** : **ontologie d'Enseignement Universitaire à Distance**).

On commence par éditer les classes, ainsi que la définition de chaque classe :



*Édition des concepts de l'ontologie*

**Etape 3 : édition des relations et des relations inverses de l'ontologie :**



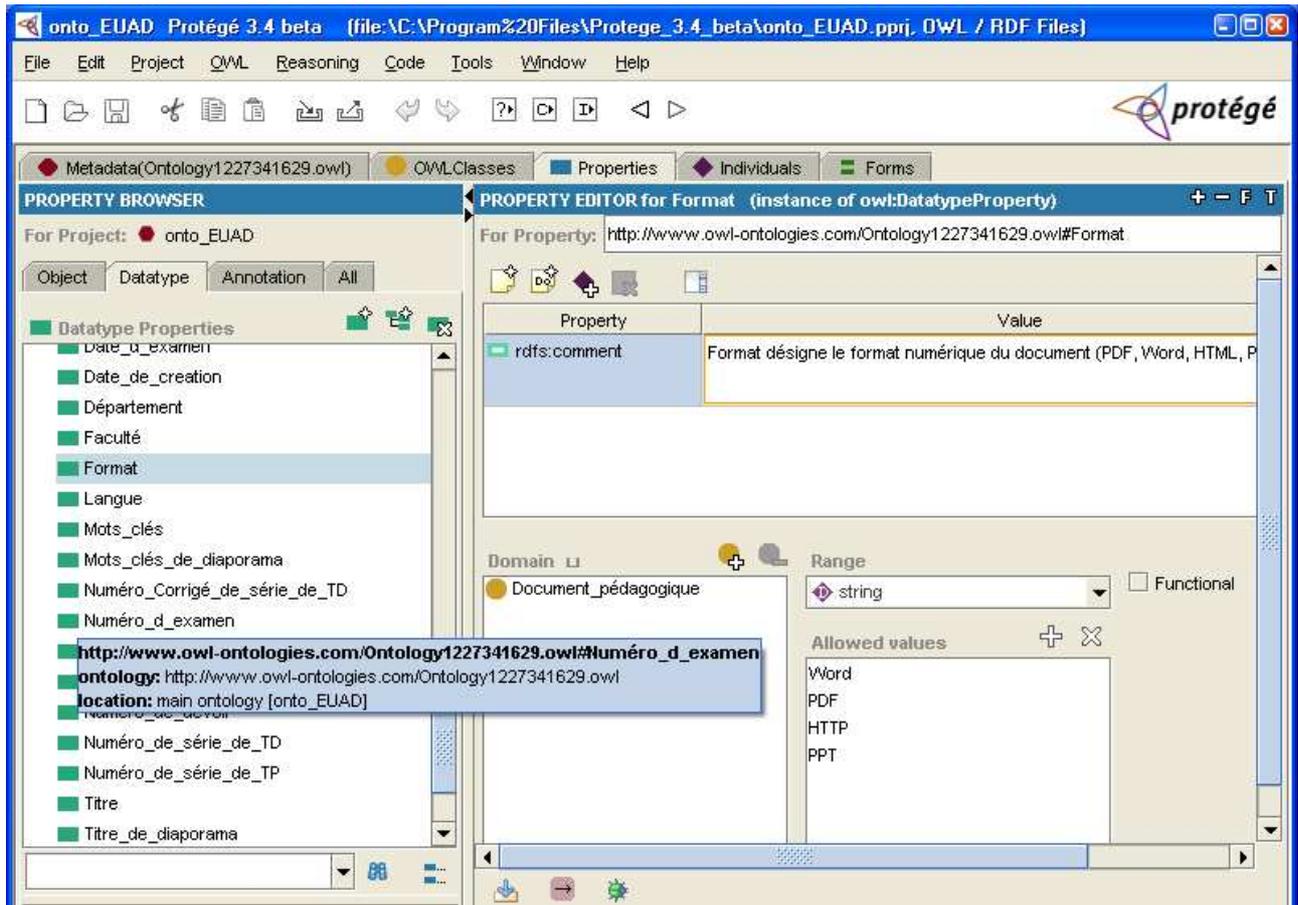
*Édition des relations de l'ontologie*

La troisième étape consiste à éditer les relations et les relations inverses entre les classes, ainsi que les définitions des relations importantes.

Pour chaque relation on précise le domaine et le rang (classes) concernés par cette relation.

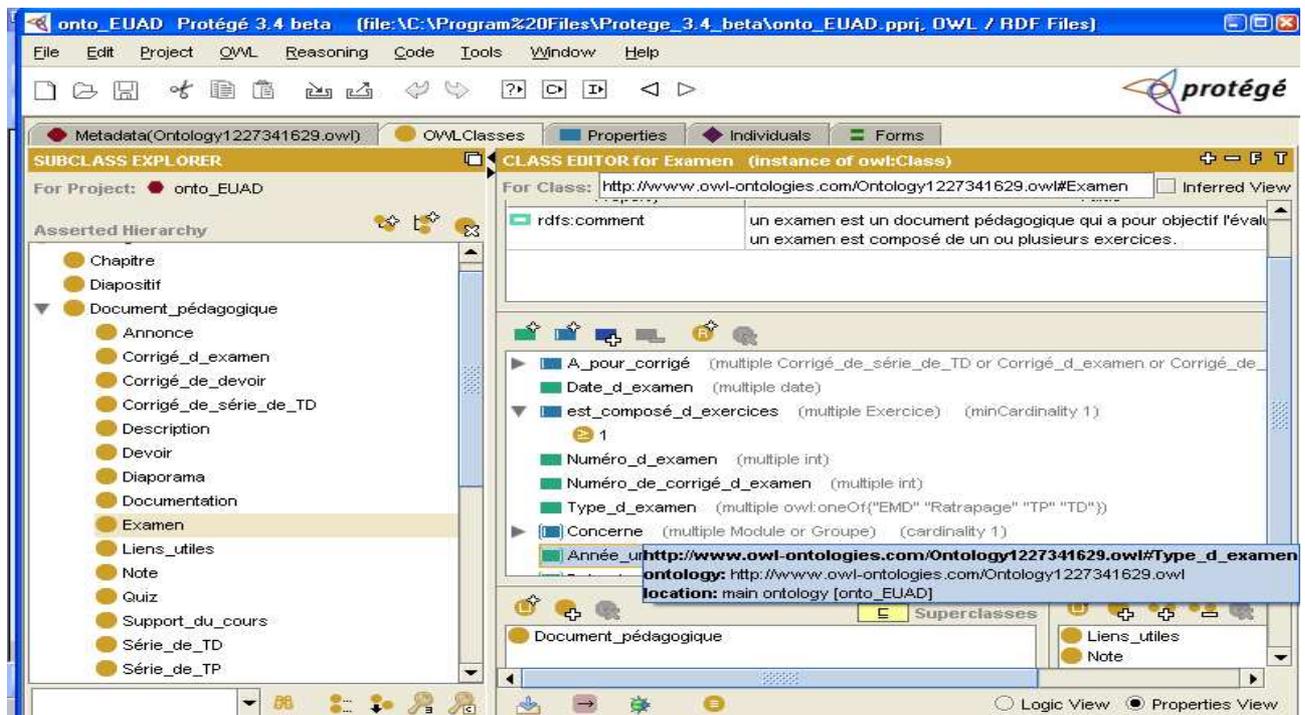
#### **Etape 4 : édition des attributs des concepts de l'ontologie :**

L'étape quatre consiste à éditer les data type propriétés (les attributs) pour chaque classe, toute en spécifiant le type de chaque attribut.



*Édition des attributs des concepts de l'ontologie*

## Etape 5 : spécification des cardinalités :



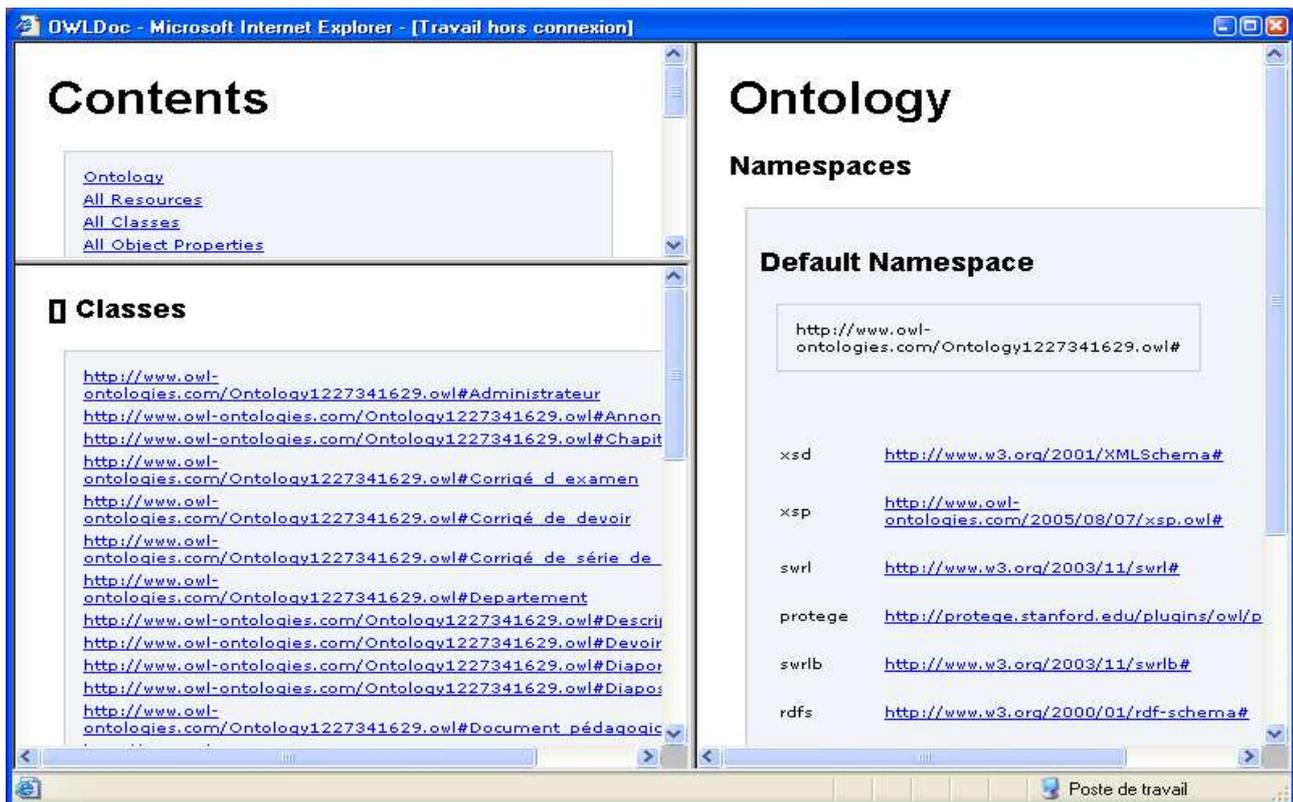
### *spécification des cardinalités*

Dans cette étape les contraintes de cardinalités sont spécifiées pour chaque concept d'application .

## Etape 6 : génération de la documentation HTML de l'ontologie

Après avoir terminé l'édition de l'ontologie, on sauvegarde le projet toute on spécifiant un nom pour le fichier OWL, un nom pour le projet ainsi qu'un emplacement, et un format.

Finalement, on génère la documentation HTML de l'ontologie. La page suivante fait partie de la documentation générée :



*génération de la documentation HTML de l'ontologie*

### 5.3.3 Évaluation de l'ontologie formelle :

L'évaluation de l'ontologie formelle (ou la validation de l'ontologie) est effectuée d'une manière automatique. L'évaluation de la cohérence de l'ontologie a été réalisée à l'aide de pellet 1.5.2, un moteur d'inférence et un plug-in de Protégé-OWL. Il a permis d'effectuer les traitements logiques (détection des incohérences, subsomption) sur notre ontologie en OWL DL.

### 5.3.4 Fragments du code de l'ontologie éditée :

➤ **Code OWL :**

```

<owl:Class rdf:ID="Enseignant">
<rdfs:subClassOf>
<owl:Restriction>
<owl:onProperty rdf:resource="#Est_auteur"/>
<owl:minCardinality rdf:datatype="&xsd:int">1</owl:minCardinality>

```

```

    </owl:Restriction>
</rdfs:subClassOf>
<rdfs:subClassOf rdf:resource="#Département"/>
<rdfs:subClassOf>
    <owl:Restriction>
        <owl:onProperty rdf:resource="#Enseigne"/>
        <owl:minCardinality rdf:datatype="&xsd:int">1</owl:minCardinality>
    </owl:Restriction>
</rdfs:subClassOf>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Module"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Diapositif"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Paragraphe"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Papier_d_&#233;tudiant"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Figure"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Utilisateurs"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Exercice_corrige&#233;"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Groupe"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Document_p&#233;dagogique"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Etudiant"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Exercice"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Chapitre"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Partie_travail_a_faire_de_TP"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Partie_initiation_de_TP"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Unit&#233;"/>
<rdfs:comment rdf:datatype="&xsd:string"
    >un enseignant est un concept d'application, c'est la personne responsable
de la tache d'enseignement dans un processus de formation. </rdfs:comment>
</owl:Class>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="Enseigne">
    <rdfs:domain rdf:resource="#Enseignant"/>

```

```

<rdfs:range>
  <owl:Class>
    <owl:unionOf rdf:parseType="Collection">
      <owl:Class rdf:about="#Groupe"/>
      <owl:Class rdf:about="#Module"/>
    </owl:unionOf>
  </owl:Class>
</rdfs:range>
<rdfs:comment rdf:datatype="&xsd:string"

```

>Un enseignant enseigne un module pendant une année universitaire, si et seulement si il est chargé; de cours et quand il rédige des documents pédagogiques concernant ce module.</rdfs:comment>

*Fragment de code OWL généré par protégé 2000*

➤ **Protégé OWL JAVA code**: Voici un exemple de code java généré par protégé, il correspond à la classe Enseignant :

```

import edu.stanford.smi.protege.owl.model.*;
import java.util.*;
/**
 * Generated by Protege-OWL (http://protege.stanford.edu/plugins/owl).
 * Source OWL Class: http://www.owl-ontologies.com/Ontology1227341629.owl#Enseignant *
 * @version generated on Tue Dec 02 21:52:23 GMT+01:00 2008
 */
public interface Enseignant_ extends Département {
  // Property http://www.owl-ontologies.com/Ontology1227341629.owl#Email
  Set getEmail();
  RDFProperty getEmailProperty();
  Boolean hasEmail();
  Iterator listEmail();
  void addEmail(Object newEmail);
  void removeEmail(Object oldEmail);
  void setEmail(Set newEmail);
  // Property http://www.owl-ontologies.com/Ontology1227341629.owl#Enseigne
  Set getEnseigne();
  RDFProperty getEnseigneProperty();
  boolean hasEnseigne();
  Iterator listEnseigne();
  void addEnseigne(Object newEnseigne);

```

```

void removeEnseigne(Object oldEnseigne);
void setEnseigne(Set newEnseigne);
// Property http://www.owl-ontologies.com/Ontology1227341629.owl#Est_auteur
Set getEst_auteur();
RDFProperty getEst_auteurProperty();
boolean hasEst_auteur();
Itération listEst_auteur();
void addEst_auteur(Document_pédagogique newEst_auteur);
void removeEst_auteur(Document_pédagogique oldEst_auteur);
void setEst_auteur(Set newEst_auteur);
// Property http://www.owl-ontologies.com/Ontology1227341629.owl#Nom
Set getNom();
RDFProperty getNomProperty();
boolean hasNom();
Iterator listNom();
void addNom(String newNom);
void removeNom(String oldNom);
void setNom(Set newNom);
// Property http://www.owl-ontologies.com/Ontology1227341629.owl#Prénom
Set getPrénom();
RDFProperty getPrénomProperty();
boolean hasPrénom();
Iterator listPrénom();
void addPrénom(String newPrénom);
void removePrénom(String oldPrénom);
void setPrénom(Set newPrénom);
// Property http://www.owl-ontologies.com/Ontology1227341629.owl#Spécialiste_on
Set getSpécialiste_on();
RDFProperty getSpécialiste_onProperty();
boolean hasSpécialiste_on();
Iterator listSpécialiste_on();
void addSpécialiste_on(String newSpécialiste_on);
void removeSpécialiste_on(String oldSpécialiste_on);
void setSpécialiste_on(Set newSpécialiste_on);

```

*fragment de code java pour la classe Enseignant*

## 5.4 Opérationnalisation de l'ontologie :

Afin d'exploiter l'ontologie réalisée, il a été indispensable de modéliser un système qui intègre cette ontologie, et qui possède une interface pour assister les utilisateurs pour l'exploitation de l'ontologie (la mise en œuvre de l'ontologie).

Il convient d'annoncer l'opérationnalisation de notre ontologie en énonçant les objectifs et les services visés par cette étape. L'opérationnalisation elle-même, étant réalisée en principe à travers, la conception et l'implémentation d'un système qui exploite cette ontologie.

Notamment, l'ontologie devenait opérationnelle, puisque le système qui l'exploite doit être développé en fonction des définitions formelles de l'ontologie. À ce stade, l'ontologie reste toujours une entité indépendante, puisqu'elle pourrait être utilisée par un autre système.

Le système exploitant l'ontologie doit être tout particulièrement capable de permettre la réalisation des différents cas d'utilisations déjà présentés dans le diagramme des cas d'utilisation (Chapitre 4) à savoir :

- ✓ L'annotation d'un document pédagogique ;
- ✓ La modification ou la suppression d'une annotation d'un document pédagogique ;
- ✓ L'annotation d'un module ;
- ✓ La modification ou la suppression d'une annotation d'un module ;
- ✓ L'annotation d'un enseignant ;
- ✓ La modification ou la suppression d'une annotation d'un enseignant ;
- ✓ L'annotation d'un utilisateur (étudiant) ;
- ✓ La modification ou la suppression d'une annotation d'un utilisateur (étudiant) ;
- ✓ L'annotation d'un papier d'étudiant par un étudiant.

Ainsi que de permettre d'autres services comme :

- ✓ La recherche d'un document pédagogique ;

- ✓ L'exploration de l'ontologie ;
- ✓ La mise a jours de l'ontologie.

Cette section traduit la mise en œuvre de l'ontologie, notamment son opérationnalisation à travers le développement d'un système d'assistance aux individus (acteurs du système) candidats dans une formation universitaire à distance. Elle se divise en deux parties.

Dans la première partie, nous présentons les spécifications de conception de notre système nommé (Plate forme d'enseignement universitaire à distance : PF-EUAD), et dans la deuxième partie, nous présentons l'ensemble des outils et langage aidant à son implémentation.

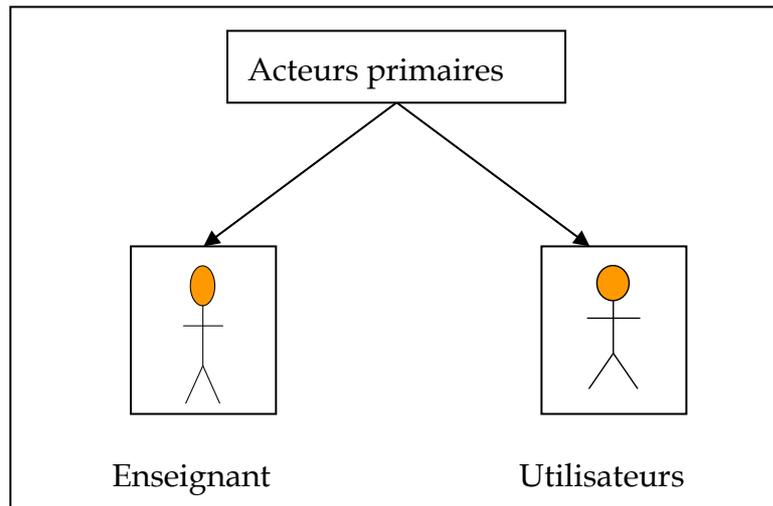
## 5.4.1 Conception du système :

### 5.4.1.1 Acteurs du système :

Comme il a été déjà présenté précédemment (chapitre 4), l'ensemble des acteurs du système se compose de :

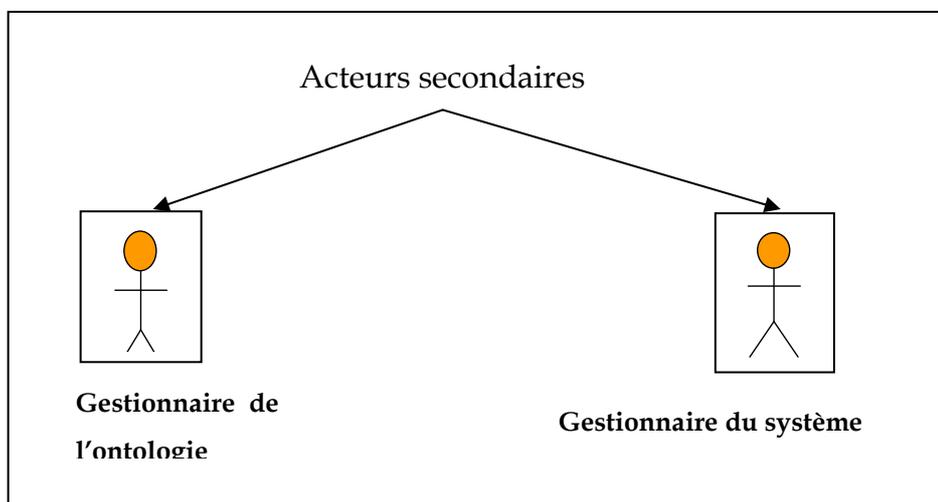
Acteurs primaires : qui présente les acteurs qui utilisent et profitent du système qui sont l'«enseignant » ou responsable pédagogique, et les utilisateurs (étudiant et staff administrative), par l'insertion de documents, ou la recherche d'un document.

- ✓ **Enseignant** : c'est le responsable pédagogique, son rôle principale est de proposer un ensemble de document pédagogique dans la plate forme telle que : support du cours, note, description, liens utiles, etc.
- ✓ **Utilisateurs** :
  - **Etudiant** : profite du système en consultant des documents qui lui sont importants ou même qui sont destinés spécialement pour lui, et par l'envoi d'un document (papier d'étudiant) à un enseignant (travail à remettre). Tous cella doit être précéder par une inscription dans le système pour avoir le droit d'y accéder.
  - **Staff administrateur** : profite du système en faisant une consultation ou une recherche de documents.



*Acteurs primaires*

Acteur secondaire : qui présente l'administrateur système ou le gestionnaire de l'information stockée dans la base de connaissance (l'ontologie) ou en relation avec cette base. Il s'occupe principalement de l'annotation de l'acteur principale « enseignant » et de quelques concepts importants dans l'ontologie tel que : « module, document pédagogique, ... », ou de la mise à jour des informations nécessaires à une bonne utilisation du système par les acteurs primaires. Il est soit administrateur du système (gestionnaire de plate forme), soit gestionnaire de l'ontologie ou ingénieur ontologique.



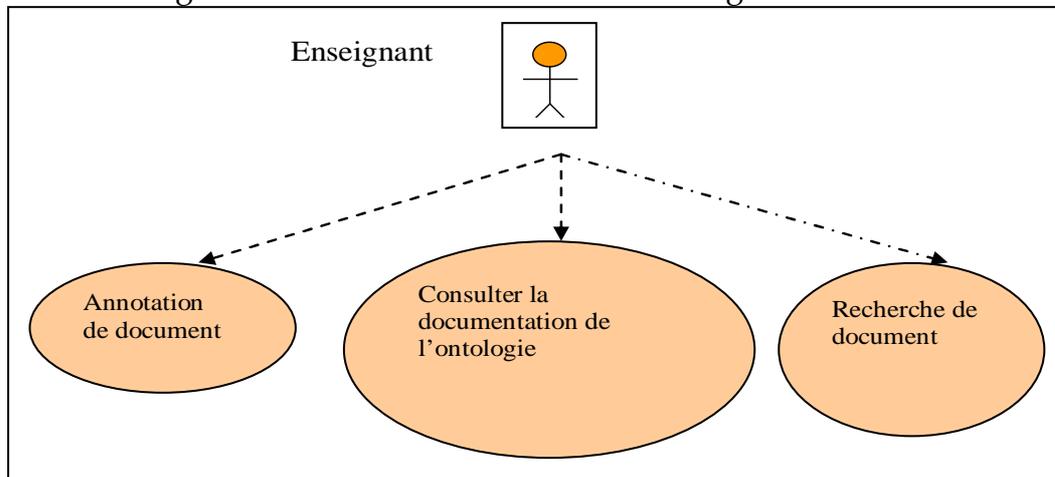
*Acteurs secondaires*

✓ Administrateur système : son rôle principal est l'annotation des concepts importants de l'ontologie (enseignant, module, document pédagogique, ...) par un ensemble de métadonnées.

- ✓ **Gestionnaire de l'ontologie** : Responsable de la mise à jours de l'ontologie (classe, propriétés) et des requêtes prédéfinies.

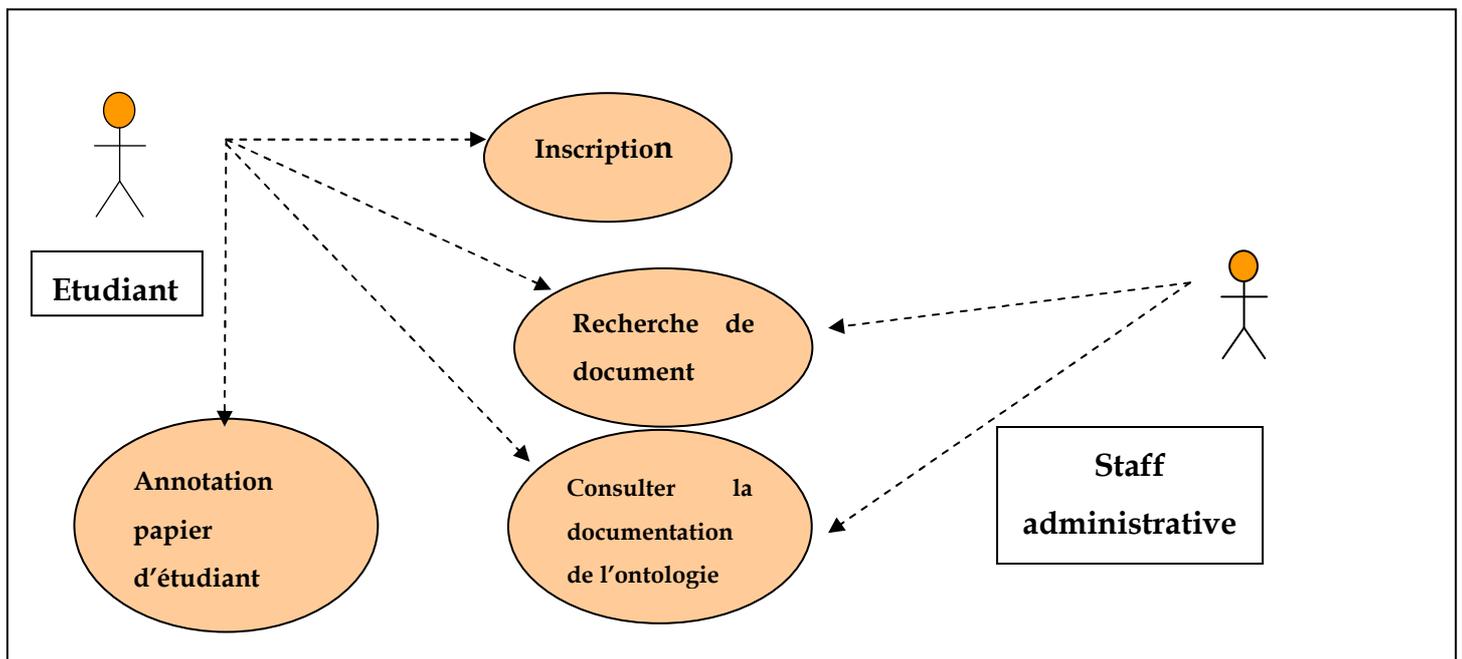
#### 5.4.1.2 Diagrammes des cas d'utilisation du système :

- Diagramme de cas d'utilisations de l'enseignant :



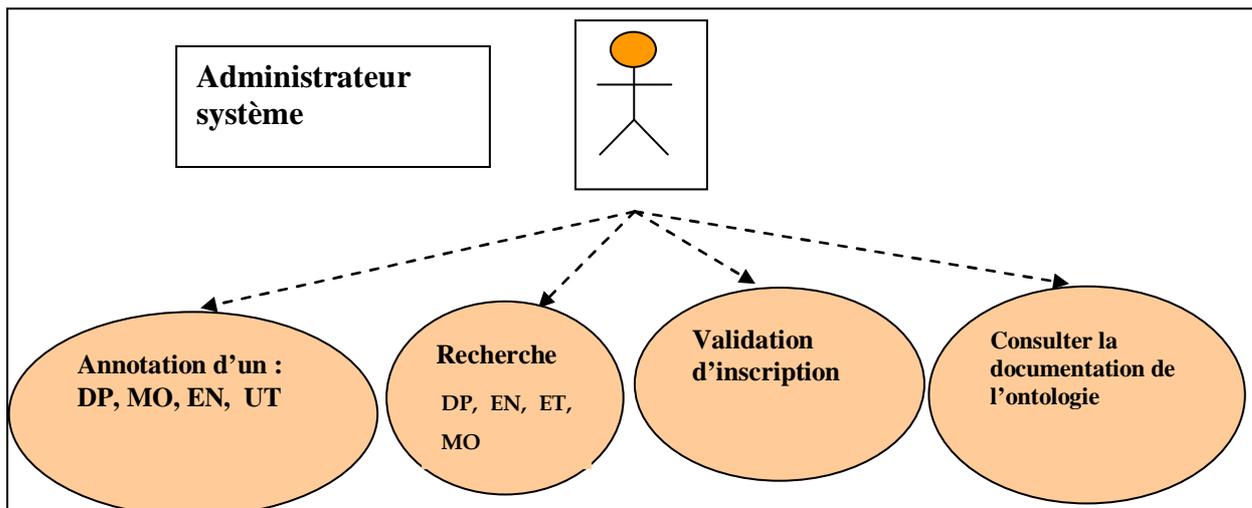
*Diagramme de cas d'utilisation de l'enseignant*

- Diagrammes de cas d'utilisation des utilisateurs : étudiant et Staff administrative :



*Diagrammes de cas d'utilisation des utilisateurs étudiant et Staff administrative*

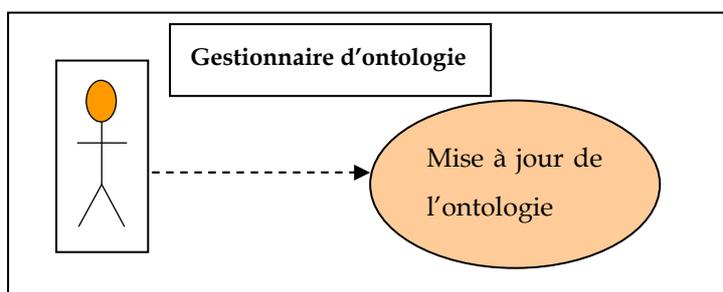
➤ Diagramme de cas d'utilisations de l'administrateur du système



DP : document pédagogique, MO : module, EN : enseignant, ET : étudiant.

*Diagramme de cas d'utilisations de l'administrateur système*

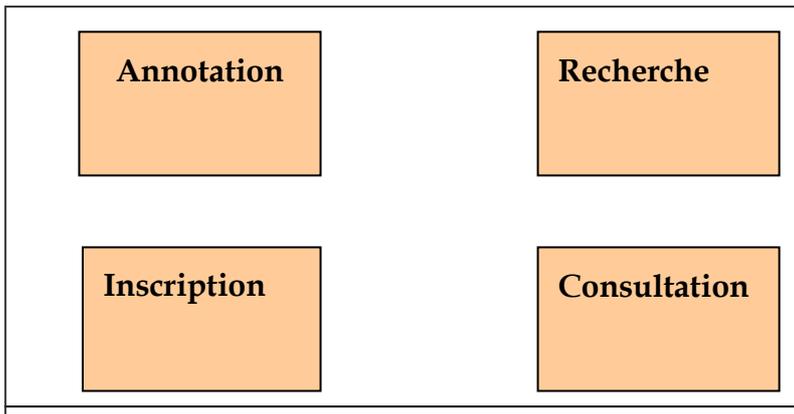
➤ Diagramme de cas d'utilisation de gestionnaire d'ontologie :



*Diagramme de cas d'utilisation de gestionnaire d'ontologie*

**5.4.1.3 Présentation des packages du système :**

Il en résulte les packages : Annotation, Recherche, Exploration, et Inscription/validation, pour l'implémentation du système :



*Quatre package pour implémenter notre système*

➤ **Annotation** : est une opération réaliser par les acteurs du système (Administrateur système, Enseignant, et étudiant). Elle consiste à décrire un ensemble de métadonnées (des informations nécessaires) à une classe de l'ontologie. Elle est composée de :

**1. Annotation** : qui contient :

- Annotation Document pédagogique (réaliser par l'acteur : administrateur système, enseignant) ;
- Annotation Papier d'étudiant (réaliser par l'acteur : étudiant) ;
- Annotation Enseignant (réaliser par l'acteur : administrateur système) ;
- Annotation Module (réaliser par l'acteur : administrateur système) ;
- Annotation Utilisateurs (étudiant), (réaliser par l'acteur : administrateur système) ;

**2. Modification annotation** : consiste on avoir le droit de modifier n'importe quelle annotation déjà faite par l'administrateur système ou l'enseignant.

**3. Suppression annotation** : consiste on avoir le droit de supprimer n'importe quelle annotation déjà faite par administrateur système ou l'enseignant.

➤ **Recherche** : La recherche est une opération réaliser sous la forme de requêtes envoyées au système. Deux types de requêtes peuvent être proposés. Des requêtes

prédéfinis qui sont déjà réalisées avec l'ontologie, et des requêtes paramétrées réaliser par le chercheur. Alors, une recherche peut se faire via :

- 1- **Requête prédéfinie** : Le choix d'une requête de l'ensemble des requêtes prédéfinies dans l'ontologie et proposées par le système; ou par
  - 2- **Requête paramétrée** : elle est réalisée par le chercheur. C'est le système qui assiste le chercheur on lui proposant un ensemble de menus de paramètres à choisir.
- **Inscription/validation** : c'est le package responsable de l'inscription de l'utilisateur du système (étudiant), et la validation de cette inscription par l'administrateur système.
- **Consultation** : Protégé nous permet de générer une documentation HTML de notre ontologie à la fin de son édition. Cette documentation nous permet d'explorer la base de connaissances du système (l'ontologie): les classes de l'ontologie, les sous classe, ainsi que les propriétés des classes : les relations et les attributs. Ce package est composé de :
- 1- **Documentation d'ontologie ;**
  - 2- **Hierarchie de classes.**
- **Autre cas d'utilisation : Mise à jour de l'ontologie** : le gestionnaire de l'ontologie effectuer la mise a jour de l'ontologie en faisant :
- 1- **La mise à jour des classes de l'ontologie;**
  - 2- **La mise à jour des propriétés (relations et attributs) de l'ontologie ;**
  - 3- **La mise à jour des requêtes prédéfinies de l'ontologie ;**
  - 4- **La mise a jours de la documentation HTML de l'ontologie**

#### 5.4.1.4 But de chaque cas d'utilisation du système :

##### ❖ **Annotation :**

1. **Annotation d'un enseignant** : l'administrateur système effectué l'annotation d'un enseignant par la saisi d'un ensemble de métadonnées concernant l'enseignant (le nom, le prénom, l'email, nom de département, ...), il lui affecte aussi un ou plusieurs modules dont il sera responsable, ainsi que les numéros des groupes qui enseigne dans

le cas où il est concerné par un ou plusieurs groupes. Un système ontologique (dans ce cas-ci la plate forme d'EUAD) assiste l'administrateur dans la réalisation de cette tâche.

2. **Annotation d'un document pédagogique par un enseignant** : l'enseignant effectue l'annotation d'un document pédagogique en commençant par saisir son login « identificateur » déjà lui attribué après son annotation par l'administrateur système. Ensuite, il effectue un ensemble de choix (choisir le nom de module que le document pédagogique concerne, choix de type de document pédagogique, est des groupes concernés par ce document), pour terminer par l'annotation de ce document par un ensemble de métadonnées (URI, format, langue,...). Un système ontologique (dans ce cas-ci la plate forme d'EUAD) assiste l'enseignant dans la réalisation de cette tâche. L'administrateur effectue l'annotation de document pédagogique de la même manière, en effectuant l'ensemble de choix, puis l'annotation du document par un ensemble de métadonnées.
3. **Annotation d'un module** : l'annotation d'un module consiste en la saisie par l'administrateur système d'un ensemble de métadonnées concernant le module (nom de module, volume horaire, cycle et niveau d'enseignement de ce module, nom de département où il est enseigné, nom d'unité dont il appartient, l'existence de séance de travaux dirigés ou pratiques ou non, choix de groupes concernés par ce module ...). Un système ontologique (dans ce cas-ci la plate forme d'EUAD) assiste l'administrateur dans la réalisation de cette tâche.
4. **Annotation d'un papier d'étudiant** : un étudiant effectue l'annotation d'un papier d'étudiant en commençant par saisir son identificateur (login) déjà lui attribué par l'administrateur système lors de son annotation (dans l'opération de validation d'inscription). Ensuite, il effectue un ensemble de choix (choisir le nom de module concerné par son papier, et de l'unité, choix de l'enseignant concerné par ce papier), enfin la finalisation de l'opération d'annotation. Un système ontologique (dans ce cas-ci la plate forme d'EUAD) assiste l'étudiant dans la réalisation de cette tâche.

## ❖ Recherche :

5. **Rechercher avec requête prédéfinie** : Les acteurs du système posent une question en sélectionnant une requête prise dans une liste de requêtes prédéfinies, puis en l'envoyant au système. Ces requêtes sont mises à jour par l'ingénieur ontologique. Un système ontologique (dans cas-ci la plate forme d'EUAD) assiste l'utilisateur dans la réalisation de cette tâche.
6. **Rechercher avec paramètres** : Les acteurs du système posent une question on envoyant une requête paramétrée au système. La recherche se fait à la suite d'une sélection de paramètres pris dans des menus de choix permettant de construire la requête, puis d'un envoi de cette requête au système. Remarquez que, dans ce cas, le chercheur peut spécifier lui-même les éléments qui constitueront la requête. Un système ontologique (dans cas-ci la plate forme d'EUAD) assiste l'utilisateur dans la réalisation de cette tâche.

## ❖ Consultation de l'ontologie :

7. **Consultation du schéma des classes de l'ontologie** : Les acteurs du système peuvent explorer le schéma de l'ontologie sous forme : en explorant librement le schéma et la documentation de l'ontologie. Une fonctionnalité automatique (de la plate forme). Un système ontologique (dans cas-ci la plate forme d'EUAD) assiste les acteurs dans la réalisation de cette tâche.

1. **Documentation d'ontologie** : Cette première fonctionnalité de l'exploration permet à l'usagé de se documenter sur les ressources ou termes (classes, propriétés ou individus) de l'ontologie.

Cette fonctionnalité se produit à partir d'OWLDoc, un plug-in de l'éditeur d'ontologie Protégé-OWL. OWLDoc est un outil qui génère à partir d'une ontologie OWL, sa documentation HTML en style JavaDoc. Cette documentation est générée à la suite de la formalisation de l'ontologie.

2. **hiérarchie de classes** : Cette seconde fonctionnalité de l'exploration offre une représentation textuelle de la hiérarchie des classes et sous-classes de l'onto-EUAD. Cette fonctionnalité peut être développée en intégrant un ensemble de classes JAVA issues de l'API « Ontologie » de Jena2. Cette API permis la manipulation des données contenues dans l'ontologie.

## ❖ **Inscription/validation :**

8. **Inscription** : un étudiant envoie une demande d'inscription au système avec précision de ses informations personnelles ainsi que son code d'inscription à l'université, cette demande sera rejetée si il n'a pas le droit de s'inscrire (manque ou incohérence d'informations, code incorrecte, ...), ou accepter par l'administrateur qui va dans ce cas valider cette inscription par l'attribution d'un login à cette étudiant, et l'annotation de ce nouveau utilisateur par un ensemble de métadonnées (code, nom, prénom, groupe, ...).

### *5.4.1.5 Etapes d'exécution de quelques parties de packages :*

#### A) **Annotation** :

La démarche suivie pour l'annotation consistait à :

- ✓ Ajouter les métadonnées décrivant un document au fichier OWL qui code l'ontologie d'application.
- ✓ Stocker les documents dans un emplacement précis (dans un dossier) sur le serveur.
- ✓ Gérer l'accès aux documents grâce à la métadonnée « URI ».

1. **Annotation de document pédagogique par un enseignant** : l'enseignant effectuée l'annotation d'un document pédagogique on commençant par :

- Saisir son login « identificateur » déjà attribué après l'annotation de cet enseignant par l'administrateur système.
- Puis, il choisit le module qui enseigne et que le document pédagogique concerne (ce module est attribué déjà à l'enseignant par l'administrateur lors de l'annotation de l'enseignant).
- Il choisit aussi les groupes concernés par le document pédagogique.
- Ensuite, il choisit le type de document pédagogique (support de cours, note, liens utiles, annonce, ...).
- Il spécifie les caractéristiques du type de document pédagogique choisi (ex : chapitre, paragraphe, figure, exercice, ...).
- Enfin, il annote son document par des métadonnées qui le concerne (URI, ...).

2. **Rechercher avec paramètres** : Les acteurs du système posent une question en envoyant une requête paramétrée au système. Dans ce cas, le chercheur spécifie lui-même les éléments qui constitueront son requête.
- La recherche se fait à la suite d'une sélection de paramètres pris dans des menus permettant de construire la requête :
    - Menu de paramètres concernant le document, (ex : type de document, format de document,..)
    - Menu de paramètre de l'auteur du document, (Nom, prénom, email, enseigne module, ...)
    - Menu de paramètre du module concernant ce document, (ex : nom de module, spécialité, cycle, ...).
  - Après avoir choisi les paramètres de recherche l'acteur envoie sa requête au système et attend les résultats.
  - Le résultat de la recherche est bien l'URI du document trouvée, ou un message indiquant l'inexistence du document recherché.

### 5.4.2 Outils d'implémentation de la plate forme

Un certain nombre de choix ont été effectués pour l'implémentation de la plate forme. Dans ce qui suit, nous énumérons l'ensemble de ces choix en précisant pourquoi ils ont été maintenus.

#### ❖ *Java Server Pages (JSP)*

Les services offerts par notre plate forme ont été développés en Java Server Pages (JSP). Le choix de ce modèle tient compte du fait que les langages d'exportation d'ontologies les plus courants dans les éditeurs sont ceux reposant sur la syntaxe XML (comme RDF, RDFS et OWL). Nous avons donc opté pour un modèle qui puisse traiter du XML et exploiter en même temps la puissance de Java pour le Web. Le JSP était la technologie qui répondait le mieux à nos besoins.

D'une part, le modèle JSP est l'une des composantes principales de la programmation Java. Il combine un langage de balisage tel que HTML avec des fragments de code Java pour produire des applications Web dynamiques.

D'autre part, JSP propose différents moyens de communiquer aux classes, servlets et applets Java, ainsi qu'au serveur Web.

Les Java Server pages (JSP) constituent la technologie Java de pages actives, la technologie JSP est bâtie sur la technologie des servlets.

L'API JSP fait partie de J2EE (Java 2 Entreprise Edition), elle donne aux développeurs les moyens de développer des applications Web de façon simple et puissante.

JSP permet de séparer la logique programmatique (le code java) de la présentation (les balises HTML).

#### ❖ *Jena2 [jena2 08]*

L'environnement Jena2, développé par Hewlett-Packard Labs à Bristol au Royaume-Uni, est une plate forme *Open Source* JAVA pour programmer des applications de Web sémantique. Elle comprend une API ontologique, un système de raisonnement, et un langage de requête (RDQL).

L'API Ontologie offre de l'aide pour l'opérationnalisation d'ontologies formalisées (par ex. en RDFS, en OWL) en classes JAVA. Le raisonneur, un moteur d'inférence contenant un ensemble de règles pour RDFS / OWL, travaille avec l'API ontologique en vue d'inférer des faits additionnels à partir d'une ontologie donnée. Le langage RDQL quant à lui, permet d'effectuer des requêtes à une base ontologique distribuée.

Étant donné ses caractéristiques, l'API Ontologie de Jena2 a été retenu comme choix de conception pour la plate forme EUAD, dans le but de développer la deuxième fonctionnalité de service de consultation de l'ontologie avec cette API. Il s'agit de *Hiérarchie de classes*.

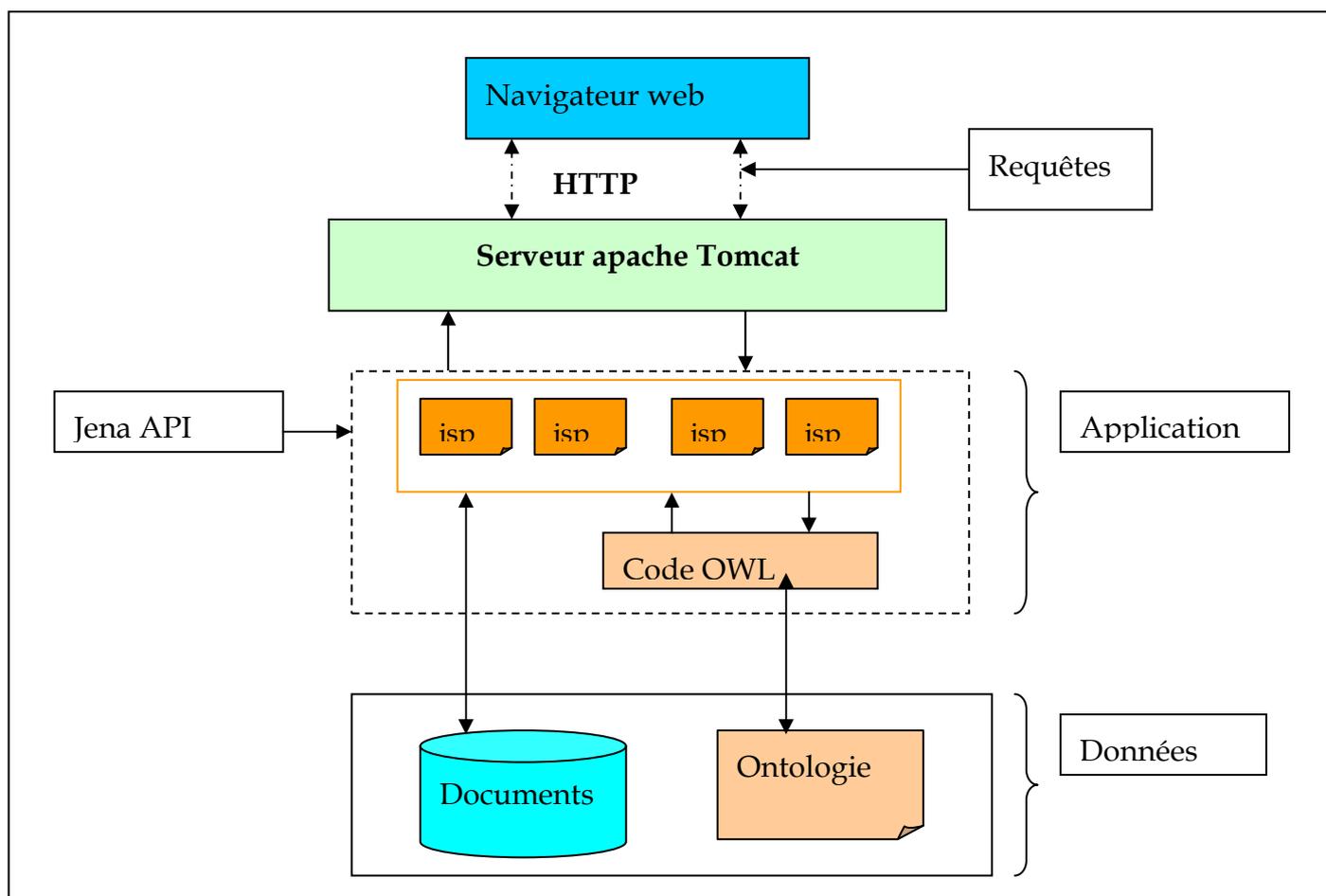
#### ❖ *Tomcat*

Tomcat est le conteneur web le plus utilisé, il est open source et multi plateformes (écrit en Java) et il est Téléchargeable sur <http://jakarta.apache.org/tomcat>. Tomcat possède deux modes de fonctionnement : > Autonome (*standalone*) : Tomcat est aussi un serveur Web, il est capable de servir des pages HTML et d'exécuter des Servlets et des JSP.

> Collaboratif (*in-process* et *out-of-process*): Tomcat peut s'installer comme une extension d'un serveur Web (Apache, Microsoft IIS ou Netscape NetServer), ce qui permet des meilleures performances pour le service des pages HTML

L'environnement Apache Tomcat est le serveur de *Servlets* qui est utilisé dans la référence officielle d'implémentation des technologies *Java Servlet* et *Java Server Pages*. Les recommandations *Java Servlet* et *Java Server Pages* sont développées par Sun (*Java Community Process*) sous le projet Jakarta. Ce conteneur de modules JAVA exécutés sur une application serveur est très stable et peut héberger de nombreuses et vastes applications Web (ensemble de pages Web dynamiques crée en JSP), à partir desquelles on peut effectuer des requêtes clients. Nous avons retenu le choix de Apache Tomcat parce qu'il est développé dans un environnement libre, *Open Source*, collaboratif et est fourni librement sous la licence *Apache Software Foundation*.

### 5.4.3 Architecture de l'application



Architecture du système

## 5.5 Conclusion :

Ce chapitre nous a permis de présenter la formalisation, ainsi que son opérationnalisation de notre ontologie conceptuelle (chapitre 4) à travers la conception du système (PF-EUAD) qui aide à son exploitation.

La formalisation de l'ontologie (rendre l'ontologie utilisable par la machine) a été réalisée par l'édition de l'ontologie conceptuelle par l'éditeur d'ontologie protégé 2000 (version 3.4 beta). Le choix du langage de l'ontologie est réalisé à cette étape.

Au niveau de la modélisation du système, à travers les besoins des acteurs d'une formation universitaire à distance pour l'exploitation de l'ontologie on a défini les fonctions principales du système sous la forme de paquetages de cas d'utilisation. L'ontologie est présentée comme un acteur indépendant du système (une partie de données) avec lequel elle interagit, où les services offerts par ce système s'appuient sur cette ontologie. L'ontologie est présentée

Au niveau de l'implantation, on a donné une présentation aux différents outils aidants à l'implémentation du système à savoir les choix des : langage de programmation (JSP), de l'API jena2, et du serveur Tomcat. On a également présenté l'architecture interne du système qui intègre plusieurs composants en JAVA (JSP, Tomcat, Jena2).

# Conclusion générale et perspectives

## Conclusion

*What we call the beginning is often the end.*

*And to make an end is to make a beginning.*

*The end is where we start from.*

— T. S. Eliot

Dans le cadre de ce mémoire, nous nous sommes intéressés aux problèmes de la gestion et de l'organisation des ressources, informations et documentation, dans une formation universitaire en ligne. En effet, émettre le savoir via le Web entraîne la nécessité d'une organisation des ressources pédagogique, et une bonne gestion d'accès à ces ressources pédagogique. Cette organisation évite aux acteurs d'une formation en ligne de se disperser dans le Web.

Pour mieux gérer et donner accès à un ensemble d'activités et de ressources pédagogiques. d'une formation via le Web, plusieurs solutions sont possibles. Notre choix de solution consiste en l'utilisation d'une plate forme de formation à distance, qui gère les acteurs de formation en ligne, ainsi que le contenu pédagogique diffusé via le Web.

Ainsi, notre objectif est d'accorder à l'utilisateur (le e-étudiant) une large autonomie qui lui permette d'accéder par lui-même aux informations susceptibles d'initier un savoir ou de le renforcer en indépendance du temps et du lieu. Les formations, que nous visons avec une telle solution, sont des enseignements scientifiques dispensés à l'université.

Pour répondre à cet objectif, on a fait le choix de réaliser une ontologie d'application pour conceptualiser le domaine de formation universitaire à distance. Cette ontologie sert à répondre aux besoins des utilisateurs concernant, sur tous, l'accès aux documents pédagogique.

Afin d'exploiter cette ontologie, l'idée c'est porté sur la modélisation d'un système qui intègre cette ontologie, et qui propose un ensemble de services aux utilisateurs.

Notre démarche consistée a :

1. Réaliser une ontologie du domaine universitaire reposant sur le schéma LMD (Licence, Master, Doctorat) on utilisant une méthode formelle.
2. Modélisé un système qui exploite cette ontologie, et qui assiste les acteurs d'une formation universitaire, toute en reposant sur les notions de e-learning.

Cette démarche s'est concrétisée sous la forme de deux résultats :

1. Une ontologie de système d'enseignement universitaire nommé onto-EUAD et formalisée avec l'outil Protégé 2000 et avec le langage OWL DL.
2. la modélisation d'un système qui offre des services d'assistance aux acteurs d'une formation universitaire, nommé PF-EUAD (plate forme d'enseignement universitaire à distance). Ce système offre quatre services : (1) le service de consultation de la documentation de l'ontologie ; (2) le service de recherche (par requêtes) ; (3) le service d'annotation de document ; et (4) le service d'inscription/validation.

## Perspectives

*Imagination is more important than knowledge.*

*Knowledge is limited.*

*Imagination encircles the world.*

— A. Einstein

A terme, notre travail débouche sur quatre perspectives particulièrement intéressantes que nous citons :

1. Dans une première direction, il s'agit de l'expérimentation de notre système après la finalisation de son implémentation afin de valider son utilisation, par des expert de formation.
2. Dans une deuxième direction, il s'agit de continuer à valider notre travail à travers de multiples évaluations. Par exemple, évaluer le système auprès d'un public ayant connaissance des notions de formation à distance, et de formation universitaire. L'idée est de savoir si, en utilisant notre système les apprenants arrivent à satisfaire leurs besoins en formation.
3. Dans une troisième direction, nous devons enrichir l'ontologie: la version actuelle développée principalement pour l'aspect annotation et recherche de documentation pédagogique. L'idée est de satisfaire d'autres besoins dans une université tel que les publications, ...
4. Dans une quatrième direction, il s'agit d'enrichir notre système par d'autres ontologies, il s'agit par exemple de créer des ontologies pour les modules de formation (qui conceptualise un module de formation), et d'étudié la pertinence de l'IO à la diffusion des connaissances afin de vérifier si elle rend l'apprentissage plus efficace.

Ce sont donc des perspectives qui constituent l'objet du travaux futurs, dont la présentation achève l'ensemble de ce mémoire.

# Bibliographie

1. Abel M.-H. (2004) "Utilisation de normes et standards dans le projet MEMORA", *In Distances et savoirs*. Vol 2/4, 2004, pp. 487-511.
2. Abel MH., Thanh-Le Bach, Dehors S., **Dieng-Kuntz R.**, **Gandon F.**, Luong PH., (2005). « Ontologie pour le Web sémantique et le E-learning », La Journée thématique « Web sémantique pour le E-learning » journée finale de l'Action Spécifique du CNRS & COLORS WebLearn, dans le cadre de la plate-forme AFIA'2005. Nice le 31 mai 2005.
3. ALGORA,,(2008). [http://ressources.algora.org/frontblocks/news/papers.asp?id\\_papers=1266](http://ressources.algora.org/frontblocks/news/papers.asp?id_papers=1266),. site consulté en juillet 2008.
4. Amardeilh F., (2007). « Web Sémantique et Informatique Linguistique : propositions méthodologiques et réalisation d'une plateforme logicielle. » thèse de doctorat, décipline: Informatique. Ecole doctorale: connaissance, langage et modelisation. Laboratoire modycy (modeles, dynamiques, corpus) - umr cnrs. Universite paris x - Nanterre. Mai 2007.
5. Aubry S., (2007). Annotations et gestion des connaissances en environnement virtuel collaboratif. thèse présentée pour l'obtention du grade de docteur de l'utc, Spécialité : Technologies de l'Information et des Systèmes. Soutenue le : 28 mai 2007
6. Aussenac-Gilles N. (2007), « Web sémantique », cours, Urfist Toulouse.
7. Azouaou F., Cao TD., Dehors S., Desmoulins C., **Dieng-Kuntz R.**, Faron-Zucker C., Luong PH., (2005). « Les Outils du Web sémantique et du E-Learning », La Journée thématique « Web sémantique pour le E-learning » journée finale de l'Action Spécifique du CNRS & COLORS WebLearn, dans le cadre de la plate-forme AFIA'2005. Nice le 31 mai 2005.
8. Baget J-F., Canaud E., Euzenat J., Hacid MS., (2003). « Les langages du web sémantique », INRIA Rhône-Alpes, LISI, 11/03/2003.
9. Bahloul D., (2006). « Une approche hybride de gestion des connaissances basée sur les ontologies : application au incidents informatiques », thèse de doctorat, université de Lyon.
10. Batchakui B., Tangha C., Nkambou R., Kouamou G., (2006). « Environnement de collaboration basé sur le Grid Learning Services(GLS) pour les communautés de formation à centre d'intérêt

commun ». Laboratoire d'Informatique du Multimédia et d'Applications Ecole Nationale Supérieure Polytechnique de Yaoundé, Cameroun. . Laboratoire de Gestion, Diffusion et Acquisition des connaissances Université de Québec à Montréal, Canada.

11. Benayache A., (2005). « Construction d'une mémoire organisationnelle de formation et évaluation dans un contexte e-learning: le projet MEMORA ». Thèse de Docteur de l'UTC.
12. Ben Jaâfer F., (2005). « Une plate-forme de services web gouvernementaux en ligne dans un environnement web sémantique », Université Laval, Québec, 2005.
13. Ben Mustapha N., Aufaure M., Baazaoui Zghal H., (2002). « Vers une approche de construction de composants ontologiques pour le Web sémantique – synthèse et discussion », Laboratoire RIADI - ENSI Campus Universitaire de la Manouba.
14. Berners-Lee T., (2000). "What the semantic web can represent", 2000, disponible sur: <http://www.w3.org/DesignIssues/RDFnot.html>.
15. Berners-Lee T., (2004). "Semantic Web emerges as commercial-grade infrastructure for sharing data on the web", W3C Issues RDF and OWL recommendation, 2004, disponible sur :
16. Berners-Lee T., Hendler J., Lassila O., (2001). "The Semantic Web ", W3C Recommendation 2001, Scientific American, May 2001.
17. Bodet G., Daoud S., Amalric P.,(2007). E-learning, **Comment réussir la mise en place d'un projet eLearning?** Livre blanc. X-PER TEAM, Février 2007.
18. Borst, W.N. (1997). Construction of Engineering Ontologies for Knowledge Sharing and Reuse, 231 pp., ISBN 90-365-0988-2. September 05.
19. Boutemedjet S., (2004). « Web Sémantique et e-Learning », Cours IFT6261, Université de Montréal, 2004.
20. Brassard C., (1999). « Conception d'un enseignement basé sur le Web en accord avec le modèle en dix dimensions de Reeves, et analyse de la dimension "apprentissage collaboratif ». mémoire présenté a l'université du Québec à Chicoutimi comme exigence partielle de la maîtrise en éducation. Université du Québec a Chicoutimi.
21. Bray T., Hollander D., Layman A., Tobin R., (2004). « **Les espaces de nommage dans XML 1.1** » Recommandation du W3C du 4 février 2004. disponible sur : <http://www.w3.org/TR/2004/REC-xml-names 11- Rec- 20040204>.

22. Caron PA., (2007). « Ingénierie dirigée par les modèles pour la construction de dispositifs pédagogiques sur des plates-formes de formation ». Thèse de Doctorat de l'université des sciences et technologies de Lille.
23. Charlet J., Bachimont B., Troncy R., (2004). « **Ontologies pour le Web sémantique** », Mission de recherche STIM, AP-HP & INSERM ERM 0202, 2004.
24. Charlet J., Laublet P., Reynaud C., (2003). « Web sémantique Rapport final », **Action spécifique 32 CNRS/STIC**, V3 - décembre 2003.
25. Cigref, (2001). "E-learning et e-formation", Rapprt introductif. 1 Cigref : Club informatique des grandes entreprises françaises.
26. Cueilliez O., (2006). « Composition de documents électroniques personnalisés basée sur des ontologies Application au e-Learning », Mémoire d'ingénieur de C.N.A.M.
27. Crampes M. et Bourdeau J. (Eds.) (2004). Numéro spécial - Les ontologies pour les EIAH - Éditorial, *Revue STICEF, Volume 11*, 2004, ISSN : 1764-7223, mis en ligne le 30/12/2004, <http://sticef.org>. (pp. 223-246).
28. Dehors S., (2007). Exploiting Semantic Web and Knowledge Management Technologies for E-learning. Thèse pour obtenir le titre de Docteur en Sciences de l'université de Nice-Sophia Antipolis Discipline : Informatique, Ecole doctorale STIC.
29. Desmontils E., Jacquin C. (2002). « Annotation et indexation de documents électroniques : application au web ». Cours CNAM, Ingénierie des systèmes d'information, <http://www.sciences.univnantes.fr/info/perso/permanents/desmontils/CNAM/>.
30. Diallo G., (2006). « Une Architecture `a Base d'Ontologies pour la Gestion Unifiée des Données Structurées et non Structurées ». THÈSE de Doctorat de l'Université Joseph Fourier - Grenoble I, (Spécialité : Informatique).
31. Dieng-kuntz R., (2005). « Le Web Sémantique pour la Gestion des Connaissances », Projet ACACIA INRIA, Sophia-Antipolis, 15èmes journées de l'Observatoire, Genève, 11 novembre 2005.
32. Dieng-kuntz R., Grandbastien M., Herin D., (2005). La Journée thématique « Web sémantique pour le E-learning » journée finale de l'Action Spécifique du CNRS & COLORS WebLearn, dans le cadre de la plate-forme AFIA'2005. Nice le 31 mai 2005.

33. Drucker P. (2000). Need to Know: Integrating e-Learning with High Velocity Value Chains, A Delphi Group White Paper, <http://www.delphigroup.com/pubs/whitepapers/20001213-e-learning-wp.pdf>.
34. Drummond N., Horridge M., Knublauch H., (2005). Protégé-OWL Tutorial, 8th International Protégé Conference, Madrid, July 2005.
35. Dublin Core DCMI (2005). « Guide d'utilisation du Dublin Core », disponible sur : <http://www.dublincore.org/>.
36. Dunand N., Fernandes E., Spang-Bovey N., (2005). Review: e-learning and standardization. University of Lausanne.
37. Fallside D.C., (2004). « XML Schema tome 0 : Introduction » Recommandation du W3C du 2 Mai 2001, disponible sur : <http://www.w3.org/TR/2001/REC-xml-schema-0-20010502>.
38. Fayed F. M. Ghaleb, Sameh S. Daoud, Ahmad M. Hasna, Jihad M. Jaam and Hosam F. El-Sofany, (2006). « **A Web-Based E-Learning System Using Semantic Web Framework** », Journal of Computer Science 2 (8): 619-626, 2006, ISSN 1549-3636, © 2006 Science Publications.
39. Fernandez, M., Gomez-Pérez, A., Juristo, N. (1997) "METHONTOLOGY : From Ontological Art Towards Ontological Engineering". *Proceedings of the AAAI-97 Spring Symposium Series on Ontological Engineering*, Stanford, CA, USA, p 33-40.
40. Fournier Fall A., (2006). « Enseignement à distance supporté par les NTIC au Sénégal : Vers l'accession d'un public nouveau à l'enseignement supérieur ?. Etude empirique sur le profil des étudiants de l'enseignement à distance supporté par les NTIC au Sénégal ». Thèse de doctorat présentée à la Faculté des lettres de l'Université de Fribourg (Suisse).
41. Garshol, L.M., (2003). "Living with topic maps and RDF". Dans proceedings of XML Europe 2003, 5-8 May 2003, organized by IDEAlliance, London, UK.
42. George S., Derycke A., (2005). Conceptions et usages des plates-formes de formation, *Revue STICEF*, Volume 12, 2005, ISSN : 1764-7223, mis en ligne le 21/03/2006, <http://sticef.org>. Consulté 07/2008.
43. Gruber TR., (1993). « *A Translation Approach to Portable Ontology Specifications* ». Knowledge Acquisition, Vol.5, No. 2, pp.199-220, 1993.

44. Gomez Perez, (1999). "Ontological Engineering: a State of the Art", Expert Update. British Computer Society. Vol. 2. n° 3. (1999), pp. 33 – 43
45. Heflin J., (2004). « Les cas et conditions d'utilisation du langage d'ontologie Web OWL » Recommandation du W3C du 10 février 2004, disponible sur : <http://www.w3.org/TR/2004/REC-Webonto-Rec 20040210>.
46. Herman I., (2007). "Introduction to the Semantic Web", International Conference on Dublin Core and Metadata Applications, Singapore, W3C, 31 08 2007.
47. Hernandez N., (2006). « Ontologies de domaine pour la modélisation du contexte en recherche d'information ». Thèse de doctorat, spécialité Informatique. Université Paul Sabatier de Toulouse.
48. Hung H., (2003). « développement un outil efficace pour annoter des documents », mémoire de fin d'étude, Institut de francophonie de l'informatique, 2003.
49. Joab M., Hérin D., Pompidor P., Sala M., (2005). Web sémantique et E-learning (Web).
50. Kassel G. (2002). OntoSpec : une méthode de spécification semi-informelle d'ontologies. In *Actes des 13<sup>ème</sup> journées francophones d'Ingénierie des Connaissances*, Rouen, mai 2002, p. 75-87.
51. Klyne G., Carroll J., (2004). « Cadre de Description des Ressources (Resource Description Framework ou RDF) : Concepts et Syntaxe Abstraite » Recommandation du W3C - 10 Février 2004, disponible sur : <http://www.w3.org/TR/2004/REC-rdf-concepts-20040210>.
52. Koivunen and Miller (2001). « Semantic Web Activity ». Recommandation du W3C, 2001. <http://www.w3.org/TR/2001/REC>.
53. Lando P., (2006). « Conception et développement d'applications informatiques utilisant des ontologies : application aux EIAH ». 1<sup>res</sup> Rencontres jeunes chercheurs en EIAH, RJC-EIAH.
54. Lahaye P., (2005). « Introduction à RDF » extrait de "Les systèmes de gestion de contenu : description, classification et évaluation", disponible sur : [http://lahayenadeau.free.fr/memoire\\_cms.htm](http://lahayenadeau.free.fr/memoire_cms.htm).
55. Laublet P., Reynaud C., Charlet J., (2003). « sur quelque aspect du Web sémantique », Actes des deuxièmes assises nationales du GdR I3, 2003.
56. Le Berre D., (2003). « Introduction au Web sémantique », cours dea informatique, faculté Jean Pierre.

57. Manola F., Miller E., (2004) « RDF Primer », Recommandation du W3C du 4 février 2004. disponible sur : <http://www.w3.org/TR/2004/REC-rdf-primer-Rec-200402010>.
58. Mbala H., Reffay C., Tatiétsé T.T., (2003). Le paradigme d'agent dans le développement des plates-formes informatiques de formation à distance.
59. McGuinness DL., Harmelen F. (2004). « OWL Web Ontology Language Overview, W3C Recommendation 10 February 2004 » : disponible sur l'URL <http://www.w3.org/TR/2004/REC-owl-features-20040210>, traduit de l'anglais comme : « Vue d'ensemble du langage d'ontologie Web OWL, Recommandation du W3C du 10 février 2004 » par Jean-Jacques Solari, disponible sur l'URL <http://www.yoyodesign.org/doc/w3c/owl-features-20040210>.
60. Mestiri A. (2007). Vers une approche web sémantique dans les applications de gestion de conférences. Mémoire de maîtrise en informatique, Université de Laval, (Québec).
61. Mizoguchi R. (2004), « Le rôle de l'ingénierie ontologique dans le domaine des EIAH », Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University, dans Sticef : Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation, volume 11, 2004.
62. Noy N.F. et McGuinness D.L., (2000). Développement d'une ontologie 101 : Guide pour la création de votre première ontologie. Université de Stanford, Stanford. Traduction de l'anglais par Anila Angjeli, BnF, Bureau de normalisation documentaire. <http://www-ksl.stanford.edu/people/dlm/papers/ontology-tutorial-noy-mcguinness.pdf>. consulté : 09/2008.
63. Ouziri M., (2003). « Utilisation des Topics Maps pour l'interrogation et la génération de documents virtuels : Application au domaine médical » thèse de doctorat, institut national des sciences appliquées de Lyon, 2003.
64. Prié Y., Garlatti S., (2003). « Méta-données et annotations dans le Web sémantique », Web sémantique Rapport final : Action spécifique 32 CNRS / STIC, V3 - décembre 2003.
65. Projet Acacia, (2003). « Web sémantique pour le E-learning », Proposition Color WEB-LEARN, Projet Acacia (INRIA-Sophia Antipolis), Equipe Extraction de connaissances sur le Web (LIRMM), Equipe Main Line (I3S), CERIC (Université de Montpellier III), CREGO (Université de Montpellier II), 2003.

66. Psyché V. (2007). « Rôle des ontologies en ingénierie des EIAH : Cas d'un système d'assistance au design pédagogique ». Thèse présentée comme exigence partielle du doctorat en informatique cognitive. Université du Québec à Montréal.
67. Psyché V., Mendes O., Bourdeau J., (2003). Apport de l'ingénierie ontologique aux environnements de formation à distance. Contribution of Ontological Engineering to Distance Learning Environments, STICEF/Hors série 2003, Technologies et formation à distance.
68. Ranwez C., (2000). « Composition Automatique de Documents Hypermédia Adaptatifs à partir d'Ontologies et de Requêtes Intentionnelles de l'Utilisateur », thèse de doctorat de l'Université Montpellier II, 2000.
69. Serizel J., (2004). Technologies de l'Information et de la Communication dans l'Enseignement (T.I.C.E.), autoformation et accompagnement méditatif. Mémoire de fin de DUHEPS. Université Francois Rabelais - Tours.
70. Shadbolt N., Hall W., Berners-Lee T., (2006). « The Semantic Web Revisited », WSRI : Web Science Research Initiative, 2006.
71. Smith MK., Welty C., McGuinness L., (2004). « Le langage d'ontologie Web OWL Guide » Recommandation du W3C du 10 février 2004. Disponible sur : <http://www.w3.org/TR/2004/REC-owl-guide-20040210>.
72. Stojanovic L., Staab S., Studer R. (2001). "ELearning based on the Semantic Web". In *WebNet2001*, World Conference on the WWW and Internet, October 23-27, 2001, Orlando, Florida - USA.
73. Thành Lê B., (2006). « **Construction d'un Web sémantique multi-points de vue** » Thèse de doctorat, INRIA Sophia Antipolis, projet ACACIA.
74. Talhi S., (2007). Intégration des technologies de coopération et d'intelligence dans les environnements d'apprentissage à distance. Université Hadj Lakhdar de Batna, Faculté des sciences de l'ingénieur. Thèse en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en Sciences en Informatique (Option: Intelligence Artificielle et Génie Logiciel).
75. Zniber N. et Cauvet C. (2007). « Des composants aux services pédagogiques », *TICE Méditerranée 2007*. ISDM n° 29, article n° 437, 10 p., sur le site : [http://isdm.univ-tln.fr/articles/num\\_archives.htm#isdm29](http://isdm.univ-tln.fr/articles/num_archives.htm#isdm29).

## Liens Importants :

- 1- Adl/Scorm, (2008). Advanced Distributed Learning / Sharable Content Object Reference Model. <http://www.adlnet.gov/scorm/>, (consulté en 2008).
- 2- AFNOR (2008). Site de l'association française de normalisation, <http://www.afnor.fr/>, (consulté : 07/2008).
- 3- EducNet (2008). le ministère français de l'éducation nationale, <http://www.educnet.education.fr/superieur/glossaire.htm> , consulté : 07/ 2008.
- 4- IEEE (2008). IEEE-Learning Technology Standards Committee (LTSC), WG12: Learning Object Metadata, <http://ltsc.ieee.org/wg12/>, (consulté : 07/ 2008).
- 5- Ims-ld, (2008). *IMS Learning Design Specification*. Boston : USA. <http://www.imsglobal.org/content/learningdesign/>, (consulté : 08/ 2008).
- 6- IMS, (2003). IMS Learning Design Information Model - Global Learning Consortium Inc., <http://www.imsglobal.org/learningdesign/index.html>, (consulté 2007).
- 7- Jena2, (2008). Disponible sur : <http://jena.sourceforge.net/>.
- 8- LOM, (2006). IEEE Standard for Learning Object Metadata (LOM): <http://ltsc.ieee.org/wg12/>. Consulté en 2007.
- 9- Protégé 2000, (2008). Editeur d'ontologie Protégé 2000. <http://protege.stanford.edu/>
- 10- RDF, (2004). Resource Description Framework, disponible sur : <http://www.w3.org/RDF/>, consulter en 2008
- 11- RDF/S, (2004). Resource Description Framework/ Shema, disponible sur : <http://www.w3.org/TR/rdf-schema> , consulter en 2008
- 12- W3c, (2008). World Wide Web Consortium : <http://www.w3c.org/>
- 13- Websémantique, (2008). Le site websémantique : [http:// websemantique.org/](http://websemantique.org/)
- 14- XML Schema, (2004). <http://www.w3.org/TR/xmlschema-1/>
- 15- XTM. (2001). XML Topic Maps (XTM) 1.0, 2004, from <http://topicMaps.org>.
- 16- Tomcat, (2008). Disponible a l'adresse : <http://jakarta.apache.org/tomcat>.

# Annexes

## Annexe 1 : Partie du code source

Voici une partie du code source RDF/ XML de l'ontologie , généré par protégé 3.4 Beta :

```
<?xml version="1.0"?>
<!DOCTYPE rdf:RDF [
  <!ENTITY owl "http://www.w3.org/2002/07/owl#" >
  <!ENTITY swrl "http://www.w3.org/2003/11/swrl#" >
  <!ENTITY swrlb "http://www.w3.org/2003/11/swrlb#" >
  <!ENTITY xsd "http://www.w3.org/2001/XMLSchema#" >
  <!ENTITY rdfs "http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#" >
  <!ENTITY rdf "http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#" >
  <!ENTITY protege "http://protege.stanford.edu/plugins/owl/protege#" >
  <!ENTITY xsp "http://www.owl-ontologies.com/2005/08/07/xsp.owl#" >
]>
<rdf:RDF xmlns="http://www.owl-ontologies.com/Ontology1227341629.owl#"
  xml:base="http://www.owl-ontologies.com/Ontology1227341629.owl"
  xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#"
  xmlns:xsp="http://www.owl-ontologies.com/2005/08/07/xsp.owl#"
  xmlns:swrl="http://www.w3.org/2003/11/swrl#"
  xmlns:swrlb="http://www.w3.org/2003/11/swrlb#"
  xmlns:protege="http://protege.stanford.edu/plugins/owl/protege#"
  xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#"
  xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
  xmlns:owl="http://www.w3.org/2002/07/owl#">
  <owl:Ontology rdf:about="" />
  <owl:ObjectProperty rdf:ID="A_pour_corrige">
    <rdfs:domain>
      <owl:Class>
        <owl:unionOf rdf:parseType="Collection">
          <owl:Class rdf:about="#Devoir" />
          <owl:Class rdf:about="#Examen" />
          <owl:Class rdf:about="#S&#233;rie_de_TD" />
        </owl:unionOf>
      </owl:Class>
    </rdfs:domain>
  </owl:ObjectProperty>
</rdf:RDF>
```

```

</rdfs:domain>
<rdfs:range>
  <owl:Class>
    <owl:unionOf rdf:parseType="Collection">
      <owl:Class rdf:about="#Corrig&#233;d_examen"/>
      <owl:Class rdf:about="#Corrig&#233;_de_devoir"/>
      <owl:Class
rdf:about="#Corrig&#233;_de_s&#233;rie_de_TD"/>
    </owl:unionOf>
  </owl:Class>
</rdfs:range>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="a_pour_ressource">
  <rdfs:domain rdf:resource="#Module"/>
  <rdfs:range rdf:resource="#Document_pedagogique"/>
</owl:ObjectProperty>
<owl:Class rdf:ID="Annonce">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Document_pedagogique"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Documentation"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Corrig&#233;_de_s&#233;rie_de_TD"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#S&#233;rie_de_TP"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Devoir"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Description"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Quiz"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Diaporama"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Examen"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Corrig&#233;_de_devoir"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Corrig&#233;d_examen"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Liens_utiles"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#S&#233;rie_de_TD"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Support_du_cours"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Note"/>
  <rdfs:comment rdf:datatype="&xsd:string"
    >Une annonce est un document p&#233;dagogique qui donne des
informations aux &#233;tudiants, de la part d&#8217;un enseignant ou
administrateur.
    Une annonce concerne un module particulier, et elle est faite par un
enseignant &#224; un ou plusieurs groupes d &#233;tudiants.</rdfs:comment>
  </owl:Class>
  <owl:DatatypeProperty rdf:ID="Ann&#233;e_universitaire">
    <rdfs:domain rdf:resource="#Document_pedagogique"/>
  </owl:DatatypeProperty>

```

```

<owl:ObjectProperty rdf:ID="Apartient_a">
  <rdfs:domain>
    <owl:Class>
      <owl:unionOf rdf:parseType="Collection">
        <owl:Class rdf:about="#Etudiants"/>
        <owl:Class rdf:about="#Module"/>
      </owl:unionOf>
    </owl:Class>
  </rdfs:domain>
  <rdfs:range>
    <owl:Class>
      <owl:unionOf rdf:parseType="Collection">
        <owl:Class rdf:about="#Groupe"/>
        <owl:Class rdf:about="#Unite"/>
      </owl:unionOf>
    </owl:Class>
  </rdfs:range>
</owl:ObjectProperty>
<owl:Class rdf:ID="Chapitre">
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Restriction>
      <owl:onProperty rdf:resource="#est_compose_de_paragraphe"/>
      <owl:minCardinality
rdf:datatype="&xsd:int">1</owl:minCardinality>
    </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Departement"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Partie_initiation_de_TP"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Exercice_corrige"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Unite"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Enseignant"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Diapositif"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Papier_d_etudiant"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Exercice"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Partie_travail_a_faire_de_TP"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Figure"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Groupe"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Document_pedagogique"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Utilisateurs"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Paragraphe"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Etudiant"/>

```

```

    <owl:disjointWith rdf:resource="#Module"/>
    <rdfs:comment rdf:datatype="&xsd:string"
        >un chapitre est un concept d'application, il est le
        composant de base d'un support du cours il regroupe un ensemble de
        connaissances nécessaires pour la compréhension d'un module.
    un chapitre est composé d'un ou plusieurs
    paragraphes.</rdfs:comment>
</owl:Class>
<owl:DatatypeProperty rdf:ID="Coefficient">
    <rdfs:domain>
        <owl:Class>
            <owl:unionOf rdf:parseType="Collection">
                <owl:Class rdf:about="#Module"/>
                <owl:Class rdf:about="#Unite"/>
            </owl:unionOf>
        </owl:Class>
    </rdfs:domain>
    <rdfs:range rdf:resource="&xsd:int"/>
</owl:DatatypeProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="Concerne">
    <rdfs:domain>
        <owl:Class>
            <owl:unionOf rdf:parseType="Collection">
                <owl:Class rdf:about="#Document_pedagogique"/>
                <owl:Class rdf:about="#Papier_d_etudiant"/>
            </owl:unionOf>
        </owl:Class>
    </rdfs:domain>
    <rdfs:range>
        <owl:Class>
            <owl:unionOf rdf:parseType="Collection">
                <owl:Class rdf:about="#Groupe"/>
                <owl:Class rdf:about="#Module"/>
            </owl:unionOf>
        </owl:Class>
    </rdfs:range>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="contient_des_figures">
    <rdfs:domain>
        <owl:Class>
            <owl:unionOf rdf:parseType="Collection">
                <owl:Class rdf:about="#Exercice"/>
            </owl:unionOf>
        </owl:Class>
    </rdfs:domain>
    <rdfs:range>
        <owl:Class>
            <owl:unionOf rdf:parseType="Collection">
                <owl:Class rdf:about="#Figure"/>
            </owl:unionOf>
        </owl:Class>
    </rdfs:range>
</owl:ObjectProperty>

```

```

        <owl:Class rdf:about="#Exercice_corrige"/>
        <owl:Class rdf:about="#Paragraphe"/>
    </owl:unionOf>
</owl:Class>
</rdfs:domain>
<rdfs:range rdf:resource="#Figure"/>
</owl:ObjectProperty>
<owl:Class rdf:ID="Corrig&#233;_d_examen">
    <rdfs:subClassOf>
        <owl:Restriction>
            <owl:onProperty
rdf:resource="#Est_compose_d_exercice_corrige"/>
            <owl:minCardinality
rdf:datatype="&xsd:int">1</owl:minCardinality>
        </owl:Restriction>
    </rdfs:subClassOf>
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Document_pedagogique"/>
    <owl:disjointWith rdf:resource="#Liens_utiles"/>
    <owl:disjointWith rdf:resource="#Corrig&#233;_de_devoir"/>
    <owl:disjointWith rdf:resource="#S&#233;rie_de_TP"/>
    <owl:disjointWith rdf:resource="#Annonce"/>
    <owl:disjointWith rdf:resource="#Support_du_cours"/>
    <owl:disjointWith rdf:resource="#Description"/>
    <owl:disjointWith rdf:resource="#S&#233;rie_de_TD"/>
    <owl:disjointWith rdf:resource="#Quiz"/>
    <owl:disjointWith rdf:resource="#Corrig&#233;_de_s&#233;rie_de_TD"/>
    <owl:disjointWith rdf:resource="#Note"/>
    <owl:disjointWith rdf:resource="#Devoir"/>
    <owl:disjointWith rdf:resource="#Diaporama"/>
    <owl:disjointWith rdf:resource="#Examen"/>
    <owl:disjointWith rdf:resource="#Documentation"/>
    <rdfs:comment rdf:datatype="&xsd:string"
        >le corrig&#233; d&apos;un examen est un document
p&#233;dagogique qui fournit le corrig&#233; type d&apos;un
examen qui a d&#233;j&#224; eu lieu.
le corrig&#233; d&apos;un examen est compos&#233; de un ou plusieurs
exercices corrig&#233;s.</rdfs:comment>
    </owl:Class>
    <owl:Class rdf:ID="Corrig&#233;_de_devoir">
        <rdfs:subClassOf>
            <owl:Restriction>

```

```

        <owl:onProperty
rdf:resource="#Est_compose_d_exercice_corrige"/>
        <owl:minCardinality
rdf:datatype="&xsd:int">1</owl:minCardinality>
    </owl:Restriction>
</rdfs:subClassOf>
<rdfs:subClassOf rdf:resource="#Document_pedagogique"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Corrig&#233;d_examen"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Quiz"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Corrig&#233;_de_s&#233;rie_de_TD"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#S&#233;rie_de_TP"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Note"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Description"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Support_du_cours"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Diaporama"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Liens_utiles"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Annonce"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Examen"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#S&#233;rie_de_TD"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Documentation"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Devoir"/>
<rdfs:comment rdf:datatype="&xsd:string"
    >le corrig&#233; d&#8217;un devoir est un document
p&#233;dagogique qui fournit le corrig&#233; type d&#8217;un devoir
d&#233;j&#224; propos&#233;.
le corrig&#233; contient un ou plusieurs exercices
corrig&#233;s</rdfs:comment>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="Corrig&#233;_de_s&#233;rie_de_TD">
    <rdfs:subClassOf>
        <owl:Restriction>
            <owl:onProperty
rdf:resource="#Est_compose_d_exercice_corrige"/>
            <owl:minCardinality
rdf:datatype="&xsd:int">1</owl:minCardinality>
        </owl:Restriction>
    </rdfs:subClassOf>
<rdfs:subClassOf rdf:resource="#Document_pedagogique"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Quiz"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Liens_utiles"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Description"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Devoir"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Annonce"/>

```

```

<owl:disjointWith rdf:resource="#S&#233;rie_de_TD"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Diaporama"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Corrig&#233;_de_devoir"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Note"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Support_du_cours"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Documentation"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Corrig&#233;_d_examen"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#S&#233;rie_de_TP"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Examen"/>
<rdfs:comment rdf:datatype="&#233;string"
    >le corrig&#233; d&#233;une s&#233;rie de TD est un document
p&#233;dagogique qui fournit le corrig&#233; type d&#233;une s&#233;rie de TD
d&#233;j&#224; propos&#233;e.
le corrig&#233; contient un ou plusieurs exercices
corrig&#233;s.</rdfs:comment>
</owl:Class>
<owl:DatatypeProperty rdf:ID="Cr&#233;dit_d_unit&#233;">
  <rdfs:domain rdf:resource="#Unite"/>
  <rdfs:range rdf:resource="&#233;int"/>
</owl:DatatypeProperty>
<owl:DatatypeProperty rdf:ID="Cr&#233;dit_de_module">
  <rdfs:domain rdf:resource="#Module"/>
  <rdfs:range rdf:resource="&#233;int"/>
</owl:DatatypeProperty>
<owl:DatatypeProperty rdf:ID="Cycle">
  <rdfs:domain>
    <owl:Class>
      <owl:unionOf rdf:parseType="Collection">
        <owl:Class rdf:about="#Etudiants"/>
        <owl:Class rdf:about="#Groupe"/>
        <owl:Class rdf:about="#Module"/>
      </owl:unionOf>
    </owl:Class>
  </rdfs:domain>
  <rdfs:range>
    <owl:DataRange>
      <owl:oneOf>
        <rdf:List>
          <rdf:first
rdf:datatype="&#233;string">License</rdf:first>
          <rdf:rest>
            <rdf:List>

```

```

                <rdf:first
rdf:datatype="&xsd:string">Master</rdf:first>
                <rdf:rest>
                    <rdf:List>
                        <rdf:first
rdf:datatype="&xsd:string">Doctorat</rdf:first>
                        <rdf:rest rdf:resource="&rdf:nil"/>
                    </rdf:List>
                </rdf:rest>
            </rdf:List>
        </rdf:rest>
    </owl:oneOf>
</owl:DataRange>
</rdfs:range>
</owl:DatatypeProperty>
<owl:DatatypeProperty rdf:ID="Date_d_annonce">
    <rdfs:domain rdf:resource="#Annonce"/>
    <rdfs:range rdf:resource="&xsd:date"/>
</owl:DatatypeProperty>
<owl:DatatypeProperty rdf:ID="Date_d_examen">
    <rdfs:domain>
        <owl:Class>
            <owl:unionOf rdf:parseType="Collection">
                <owl:Class rdf:about="#Corrig&#233;d_examen"/>
                <owl:Class rdf:about="#Examen"/>
            </owl:unionOf>
        </owl:Class>
    </rdfs:domain>
    <rdfs:range rdf:resource="&xsd:date"/>
</owl:DatatypeProperty>
<owl:DatatypeProperty rdf:ID="Date_de_creation">
    <rdfs:domain rdf:resource="#Document_pedagogique"/>
    <rdfs:range rdf:resource="&xsd:date"/>
</owl:DatatypeProperty>
<owl:DatatypeProperty rdf:ID="Date_de_naissance">
    <rdfs:domain rdf:resource="#Utilisateurs"/>
    <rdfs:range rdf:resource="&xsd:date"/>
</owl:DatatypeProperty>
<owl:DatatypeProperty rdf:ID="Date_de_remise">
    <rdfs:domain rdf:resource="#Papier_d_etudiant"/>

```

```

    <rdfs:range rdf:resource="&xsd:date" />
  </owl:DatatypeProperty>
  <owl:Class rdf:ID="Departement" />
  <owl:Class rdf:ID="Description">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Document_pedagogique" />
    <owl:disjointWith rdf:resource="#Support_du_cours" />
    <owl:disjointWith rdf:resource="#Corrig&#233;_de_devoir" />
    <owl:disjointWith rdf:resource="#Annonce" />
    <owl:disjointWith rdf:resource="#S&#233;rie_de_TP" />
    <owl:disjointWith rdf:resource="#Examen" />
    <owl:disjointWith rdf:resource="#Corrig&#233;_d_examen" />
    <owl:disjointWith rdf:resource="#Liens_utiles" />
    <owl:disjointWith rdf:resource="#Corrig&#233;_de_s&#233;rie_de_TD" />
    <owl:disjointWith rdf:resource="#Diaporama" />
    <owl:disjointWith rdf:resource="#Quiz" />
    <owl:disjointWith rdf:resource="#Devoir" />
    <owl:disjointWith rdf:resource="#S&#233;rie_de_TD" />
    <owl:disjointWith rdf:resource="#Note" />
    <owl:disjointWith rdf:resource="#Documentation" />
    <rdfs:comment rdf:datatype="&xsd:string"
      >Une description est un document p&#233;dagogique qui donne des
      informations br&#232;ves sur un module</rdfs:comment>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:ID="Devoir">
    <rdfs:subClassOf>
      <owl:Restriction>
        <owl:onProperty rdf:resource="#A_pour_corrige" />
        <owl:cardinality rdf:datatype="&xsd:int">1</owl:cardinality>
      </owl:Restriction>
    </rdfs:subClassOf>
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Document_pedagogique" />
    <rdfs:subClassOf>
      <owl:Restriction>
        <owl:onProperty rdf:resource="#est_compose_d_exercices" />
        <owl:minCardinality
          rdf:datatype="&xsd:int">1</owl:minCardinality>
      </owl:Restriction>
    </rdfs:subClassOf>
    <owl:disjointWith rdf:resource="#Examen" />
    <owl:disjointWith rdf:resource="#S&#233;rie_de_TD" />
    <owl:disjointWith rdf:resource="#Corrig&#233;_d_examen" />

```

```

<owl:disjointWith rdf:resource="#S&#233;rie_de_TP"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Description"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Diaporama"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Quiz"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Liens_utiles"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Support_du_cours"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Documentation"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Note"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Corrig&#233;_de_devoir"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Annonce"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Corrig&#233;_de_s&#233;rie_de_TD"/>
<owl:versionInfo rdf:datatype="&xsd:string"></owl:versionInfo>
<rdfs:comment rdf:datatype="&xsd:string"
    >Un devoir est un document p&#233;dagogique qui
a pour but de faire travailler les &#233;tudiants &#224; domicile on
appliquant des notions pr&#233;sent&#233;es
dans un cours, il est destin&#233; &#224; &#234;tre fait par les
&#233;tudiants.
Un devoir est compos&#233; de un ou plusieurs questions ou
exercices.</rdfs:comment>
<rdfs:comment rdf:datatype="&xsd:string"></rdfs:comment>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="Diaporama">
<rdfs:subClassOf rdf:resource="#Document_pedagogique"/>
<rdfs:subClassOf>
    <owl:Restriction>
        <owl:onProperty rdf:resource="#contient_des_figures"/>
        <owl:minCardinality
rdf:datatype="&xsd:int">0</owl:minCardinality>
    </owl:Restriction>
</rdfs:subClassOf>
<owl:disjointWith rdf:resource="#S&#233;rie_de_TD"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Liens_utiles"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Examen"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Documentation"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Annonce"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Support_du_cours"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Quiz"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Corrig&#233;_d_examen"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Description"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Corrig&#233;_de_devoir"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#S&#233;rie_de_TP"/>

```

```

    <owl:disjointWith rdf:resource="#Corrig&#233;_de_s&#233;rie_de_TD"/>
    <owl:disjointWith rdf:resource="#Devoir"/>
    <owl:disjointWith rdf:resource="#Note"/>
    <rdfs:comment rdf:datatype="&#x33;string"
        >un diaporama est un document p&#233;dagogique, dont le contenu
est pr&#233;sent&#233; de mani&#232;re moins d&#233;taill&#233;,
cr&#233;&#233; &#224; l&#224; aide d&#224; un logiciel et pr&#233;sent&#233;
&#224; partir d&#224; un ordinateur.
un diaporama est compos&#233; d&#8217;un ou plusieurs
diapositifs.</rdfs:comment>
    </owl:Class>
    <owl:Class rdf:ID="Diapositif">
        <rdfs:subClassOf>
            <owl:Restriction>
                <owl:onProperty rdf:resource="#est_compose_de_paragraphe"/>
                <owl:minCardinality
rdf:datatype="&#x33;int">1</owl:minCardinality>
            </owl:Restriction>
        </rdfs:subClassOf>
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Departement"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Etudiant"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Exercice_corrige"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Exercice"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Figure"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Groupe"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Enseignant"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Unite"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Document_pedagogique"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Module"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Chapitre"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Paragraphe"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Utilisateurs"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Papier_d_etudiant"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Partie_initiation_de_TP"/>
        <owl:disjointWith rdf:resource="#Partie_travail_a_faire_de_TP"/>
        <rdfs:comment rdf:datatype="&#x33;string"
            >un diapositif est un concept d&#224; application, il est le
composant de base d&#224; un diaporama.
un diapositif est compos&#233; de un ou plusieurs paragraphes.</rdfs:comment>
    </owl:Class>
    <owl:Class rdf:ID="Document_pedagogique">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Departement"/>
        <rdfs:subClassOf>

```

```

    <owl:Restriction>
      <owl:onProperty rdf:resource="#Concerne"/>
      <owl:cardinality rdf:datatype="&xsd:int">1</owl:cardinality>
    </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Partie_travail_a_faire_de_TP"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Utilisateurs"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Unite"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Diapositif"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Etudiant"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Exercice"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Papier_d_etudiant"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Enseignant"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Exercice_corrige"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Chapitre"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Groupe"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Figure"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Paragraphe"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Partie_initiation_de_TP"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Module"/>
  <rdfs:comment rdf:datatype="&xsd:string"
    >Un document pédagogique est un concept d'application,
    il peut être : un support du cours, une série de TD ou de TP, un
    diaporama, un examen, un devoir, un corrigé d'une série de TD
    ou d'un examen ou de devoir.</rdfs:comment>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="Documentation">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Document_pedagogique"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Série_de_TD"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Quiz"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Description"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Diaporama"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Corrigé_de_série_de_TD"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Annonce"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Note"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Série_de_TP"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Support_du_cours"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Liens_utiles"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Corrigé_d_examen"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Examen"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Corrigé_de_devoir"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Devoir"/>

```

```

    <rdfs:comment rdf:datatype="&xsd:string"
      >Documentation est un document pédagogique. Une
documentation est un répertoire qui contient des fichiers
complémentaire et un support de cours.</rdfs:comment>
  </owl:Class>
  <owl:DatatypeProperty rdf:ID="D#partement">
    <rdfs:domain rdf:resource="#Document_pedagogique"/>
    <rdfs:range rdf:resource="&xsd:string"/>
  </owl:DatatypeProperty>
  <owl:DatatypeProperty rdf:ID="Email">
    <rdfs:domain>
      <owl:Class>
        <owl:unionOf rdf:parseType="Collection">
          <owl:Class rdf:about="#Enseignant"/>
          <owl:Class rdf:about="#Utilisateurs"/>
        </owl:unionOf>
      </owl:Class>
    </rdfs:domain>
  </owl:DatatypeProperty>
  <owl:Class rdf:ID="Enseignant">
    <rdfs:subClassOf>
      <owl:Restriction>
        <owl:onProperty rdf:resource="#Est_auteur"/>
        <owl:minCardinality
rdf:datatype="&xsd:int">1</owl:minCardinality>
      </owl:Restriction>
    </rdfs:subClassOf>
    <rdfs:subClassOf>
      <owl:Restriction>
        <owl:onProperty rdf:resource="#Enseigne"/>
        <owl:minCardinality
rdf:datatype="&xsd:int">1</owl:minCardinality>
      </owl:Restriction>
    </rdfs:subClassOf>
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Departement"/>
    <owl:disjointWith rdf:resource="#Module"/>
    <owl:disjointWith rdf:resource="#Diapositif"/>
    <owl:disjointWith rdf:resource="#Paragraphe"/>
    <owl:disjointWith rdf:resource="#Papier_d_etudiant"/>
    <owl:disjointWith rdf:resource="#Figure"/>
    <owl:disjointWith rdf:resource="#Utilisateurs"/>
    <owl:disjointWith rdf:resource="#Exercice_corrige"/>

```

```

<owl:disjointWith rdf:resource="#Groupe"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Etudiant"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Document_pedagogique"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Exercice"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Chapitre"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Partie_travail_a_faire_de_TP"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Partie_initiation_de_TP"/>
<owl:disjointWith rdf:resource="#Unite"/>
<rdfs:comment rdf:datatype="&xsd:string"
    >un enseignant est un concept d'application, c'est la
    personne responsable de la t#226;che d'enseignement dans un processus
    de formation.</rdfs:comment>
</owl:Class>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="Enseigne">
    <rdfs:domain rdf:resource="#Enseignant"/>
    <owl:inverseOf rdf:resource="#est_enseignant_par"/>
    <rdfs:range>
        <owl:Class>
            <owl:unionOf rdf:parseType="Collection">
                <owl:Class rdf:about="#Groupe"/>
                <owl:Class rdf:about="#Module"/>
            </owl:unionOf>
        </owl:Class>
    </rdfs:range>
    <rdfs:comment rdf:datatype="&xsd:string"
        >Un enseignant enseigne un module pendant une ann#233e
        universitaire, si et
        seulement si il est charg#233; de cours et quand il r#233;dige des
        documents p#233;dagogiques concernant ce module.</rdfs:comment>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="enseigne_dans">
    <rdfs:domain rdf:resource="#Enseignant"/>
    <rdfs:range rdf:resource="#Departement"/>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="Envoye_a">
    <rdfs:domain rdf:resource="#Papier_d_etudiant"/>
    <rdfs:range rdf:resource="#Enseignant"/>
    <rdfs:comment rdf:datatype="&xsd:string"></rdfs:comment>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="Est_auteur">
    <rdfs:domain rdf:resource="#Enseignant"/>
    <owl:inverseOf rdf:resource="#rediger_par"/>

```

```

<rdfs:range rdf:resource="#Document_pedagogique"/>
<rdfs:comment rdf:datatype="&xsd:string"
    >Un enseignant est auteur d'un document pédagogique, si et
seulement si c est lui qui le redige.</rdfs:comment>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="Est_compose_d_exercice_corrige">
  <rdfs:domain>
    <owl:Class>
      <owl:unionOf rdf:parseType="Collection">
        <owl:Class rdf:about="#Corrig&#233;d_examen"/>
        <owl:Class rdf:about="#Corrig&#233;_de_devoir"/>
        <owl:Class rdf:about="#Corrig&#233;_de_série_de_TD"/>
      </owl:unionOf>
    </owl:Class>
  </rdfs:domain>
  <rdfs:range rdf:resource="#Exercice_corrige"/>
  <rdfs:comment rdf:datatype="&xsd:string"
    >Le corrig&#233; d'un examen contient au moins un exercice
corrig&#233;.</rdfs:comment>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="est_compose_d_exercices">
  <rdfs:domain>
    <owl:Class>
      <owl:unionOf rdf:parseType="Collection">
        <owl:Class rdf:about="#Devoir"/>
        <owl:Class rdf:about="#Examen"/>
        <owl:Class rdf:about="#Partie_travail_a_faire_de_TP"/>
        <owl:Class rdf:about="#Série_de_TD"/>
      </owl:unionOf>
    </owl:Class>
  </rdfs:domain>
  <rdfs:range rdf:resource="#Exercice"/>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="Est_compose_d_une_partie_initiation">
  <rdfs:domain rdf:resource="#Série_de_TP"/>
  <rdfs:range rdf:resource="#Partie_initiation_de_TP"/>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="Est_compose_d_une_partie_travail_a_faire">

```