

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Ferhat Abbas –Sétif-1



Faculté des Sciences  
Département d'informatique

**Thèse**  
de  
**Doctorat en Sciences**

Option : Informatique

Présentée  
Par

**Dounia MANSOURI**

**Thème**

*Réutilisation et partage de l'expérience en conception de modules de formations : Modèles de conception, épisodes de conception et adaptation dans des contextes différents*

Soutenue le : 03/12/2016 devant la commission d'examen :

Président	Pr. Abdallah KHABABA, Université Sétif-1
Rapporteur	Pr. Alain MILLE, Université Lyon 1 - France
Co-rapporteur	Pr. Aboubkeur HAMDI-CHERIF, Université Qassim - Arabie Saoudite
Examineur	Pr. Okba KAZA, Université Biskra
Examineur	Pr. Mohamed TOUAHRIA, Université Sétif-1
Examineur	Dr. Allaoua REFOUFI, Université Sétif-1

---

---

## Remerciements

Toute ma gratitude et mon remerciement vont, tout d'abord, à Dieu le tout puissant qui m'a aidé durant ce travail.

Je tiens à remercier M. Alain MILLE, Professeur à l'université Lyon 1, qui a accepté de diriger ma thèse, pour sa confiance constante, pour sa relecture, ses retours et ses conseils toujours constructifs et sur tout pour la patience dont il a fait preuve envers moi tout au long de la réalisation de cette thèse.

Je remercie sincèrement M. Aboubekour HAMDY-CHERIF, Professeur à l'université de Qassim qui a assuré l'encadrement scientifique de cette thèse. Je le remercie pour son aide efficace, pour sa relecture, ses retours et ses conseils toujours très constructifs.

Je souhaite exprimer ma gratitude et ma reconnaissance aux membres du jury pour avoir bien voulu consacrer une partie de leur temps à ma thèse. Je tiens remercier M. Abdallah KHABABA, Professeur à l'université de Sétif-1 pour avoir accepté d'être président du jury. Je remercie également, M. Okba KAZA, Professeur à l'université de Biskra, M. Mohamed TOUAHRIA, Professeur à l'université de Sétif-1 et M. Allaoua REFOUFI, Maître de conférences à l'université Sétif-1 d'avoir accepté de faire partie du jury de ma thèse.

J'adresse également tous mes remerciements à ma chère collègue Mme Farida Bekouche pour son aide précieuse, sa disponibilité et son encouragement.

Je remercie particulièrement ma très chère mère, mon frère Saadane et toute la famille pour leurs encouragements et leur soutien tout au long de ma thèse.

Enfin, Je voudrais exprimer ma gratitude à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'accomplissement de ce travail.

---

---

## Résumé

L'utilisation des technologies du Web dans les métiers de la formation permet d'envisager de nouvelles approches d'apprentissage. Toutefois la qualité de ces approches dépend de leur capacité à fournir aux apprenants, des contenus pédagogique adaptés à leurs besoins et aussi à leurs préférences.

Pour faciliter l'adaptation des formations à des publics différents et évolutifs, il est nécessaire de choisir des configurations de base qui soient les plus « adaptables » possibles dans le nouveau contexte tout en mettant en évidence les adaptations à réaliser.

Les applications sont particulièrement importantes dans le domaine de l'enseignement à distance « e-learning » qui peuvent nécessiter de telles adaptations quasiment au cas par cas en fonction des acquis des apprenants à une formation, voire à un suivi « dynamique » de leur succès dans la formation.

Dans cette optique, nous proposons une approche qui répond à la problématique : adaptation dynamique des contenus pédagogiques au profil de réussite d'un apprenant.

L'approche proposée dans cette thèse consiste à faire collaborer l'expertise *i.e*, la modélisation du domaine faite par les experts du domaine que sont les enseignants, d'une part et l'expérience *i.e*, les traces d'utilisation du système, d'autre part.

Nos travaux portent donc sur deux domaines complémentaires avec la représentation explicite des connaissances du domaine en utilisant les **ontologies**, permettant une meilleure représentation sémantique et facilitant la communication entre la machine et les utilisateurs, et la réutilisation de l'expérience en utilisant le **paradigme de Raisonnement à Partir de Cas (RàPC)**.

---

Il s'agit, en fait, de la génération automatique de cours adaptés au profil (besoins, connaissances antérieures, préférences) d'un apprenant particulier ; par la réutilisation et le partage d'expériences concrètes issues de précédentes sessions d'apprentissage des apprenants ayant des profils similaires au profil de cet apprenant. Les traces de ces expériences sont exploitées par un mécanisme de RàPC pour proposer à l'apprenant des activités pédagogiques adaptées à son profil et ayant le plus de chance de lui permettre de réussir.

L'approche a été appliquée pour l'enseignement de la méthode MERISE dans le cadre d'un projet campus numérique.

**Mot clés :** Environnement Informatique pour l'Apprentissage Humain (EIAH), apprentissage adaptatif, objets pédagogiques, modélisation apprenant, ontologies, Raisonnement à Partir de Cas (RàPC), réutilisation de l'expérience, partage de l'expérience.

---

## المخلص

ان استعمال تكنولوجيايات الوب في مجال المهن التعليمية يسمح بتصوير مقاربات تعليم جديدة ولجعل التكوين ملائما لفئات مختلفة، يتعين اختيار تصميمات أساسية لتكون قابلة للموائمة مع السياق الجديد، آخذين بعين الاعتبار عمليات التكيف الواجب القيام بها.

وتكتسي التطبيقات أهمية كبرى في مجال التعليم عن بعد والتي قد تتطلب عمليات تكيف حالة بحالة تبعا لمكتسبات المتعلمين، وحتى متابعة "ديناميكة" في نجاحهم في التكوين.

وفق هذا التصور، نقترح – لمعالجة هذه المسألة – إطارا حاسوبيا يتأقلم مع الفئات المختلفة لتقديم تدريبات مكيفة، وذلك بحسب الحالة. ولبناء هذا الإطار نستخدم التفكير المستنبط من القضايا (RàPC) كوسيلة من وسائل حلّ المشكلات حيث يتم استعمال القضايا، أو الحالات، بدلا من عدد هائل من القواعد لتخزين المعرفة، أي الخبرة. ومن المعروف أنّ التفكير المستنبط من القضايا يُعد أحد الخيارات السائدة في مجال الذكاء الاصطناعي (IA) لأنه يقوم بتمثيل المعرفة وباستخدامها في التفكير.

إنّ الدافع الإضافي من رواء هذا الاختيار هو أن عملية التكيف، أو التأقلم، مع مختلف الفئات التدريبية هي عملية مبنية على الآثار التي تتركها المهام والممارسات التدريبية السابقة التي يمرّ بها المتعلم والتي يمكن تخزينها ثم استرجاعها تلقائيا. وعلاوة على ذلك، ولمعالجة المسألة العويصة، والمفتوحة حتى الآن، والمتعلقة بصعوبة الفهرسة التي تعيق التفكير المستنبط من القضايا (RàPC) بخاصة، فإننا نستخدم تبويب المعارف لنمذجة مكونات التعلم وللتأشير عليها حيث تمثّل جوهر التدريبات، ممّا يسهّل كثيرا عملية استرجاع المعرفة وتسريع الحصول على الحالات المشابهة في أثناء البحث عن حل مسألة جديدة.

بناءً على هذا، إنّ الامر يتعلق بتقديم الدورات التدريبية المكيفة التي من شأنها أن تلبي طلبات فئات متنوعة وغير متجانسة من المتعلمين بشكل آلي و بما يساعدهم على تحقيق النجاح.

تم تطبيق هذه المقاربة لتعليم طريقة ميريز في اطار مشروع الحرم الجامعي الرقمي

**مفاتيح :** المحيط الآلي من أجل التعلم البشري، التعلم المكيف، مكونات التعلم، نمذجة المتعلم، تبويب المعارف، التفكير المستنبط من القضايا (RàPC)، إعادة استخدام الخبرات، تبادل الخبرات.

---

---

## *Abstract*

The use of web technologies in the jobs of training leads to the emergence of new learning approaches. However, the success of these approaches depends on their capacity to be provided with courses adapted to learners intentions and learners profiles.

In order to ease the challenging issue of the adaptation of trainings to different and diversified audiences, it is necessary to choose some basic and core configurations that are as flexible as possible to meet different environments while highlighting some local adjustments to be achieved.

In this context, we propose a computational approach addressing this issue by providing an adaptive training delivery framework. The approach relies on case-based reasoning (CBR) as a problem solving method whereby cases are used rather than a prohibitive number of rules to store knowledge, i.e., experience. CBR is indeed accepted as one of the mainstream paradigms in artificial intelligence since it represents both knowledge and reasons about it. This choice is further motivated by the fact that the process of adaptation to different audiences is built on the traces left by previous learning tasks and practices that can be stored and automatically retrieved. Moreover, to address the crucial and pending issue of case indexing in CBR, we use ontologies to model and index the learning objects that represent the trainings core, thus reducing the retrieval process and improving search. An illustration of the approach concerns MERISE teaching in the context of a project of e-learning.

**Keywords:** Web-based learning environment, adaptive hypermedia, learning objects, modeling learner, ontologies, Case-Based Reasoning (CBR), experience sharing, reusing experience.

---

---

## Table des matières

<b>Introduction.....</b>	<b>7</b>
<b>Chapitre 1 : Adaptation et EIAH.....</b>	<b>10</b>
<b>1. Les Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain EIAH.</b>	<b>11</b>
1.1 Qu'est ce qu'un EIAH.....	11
1.2 Importance des EIAH.....	12
1.3 Adaptation en EIAH.....	13
1.3.1 Approches d'adaptation.....	14
A. Approche systémique.....	14
B. Approche processus.....	15
1.3.2 Types d'adaptation.....	16
<b>2. Systèmes hypermédias adaptatifs .....</b>	<b>18</b>
<b>3. Quelques de systèmes hypermédias adaptatifs .....</b>	<b>19</b>
3.1 Le système DCG + GTE .....	19
3.2 Le système INSPIRE .....	21
3.3 Le système METADYNE .....	23
3.4 Le système SERPOLET .....	24
3.5 Le système SIMBADE.....	26
3.6 PIXED .....	28
<b>4. Discussion et problématique .....</b>	<b>31</b>
<b>5. Conclusion .....</b>	<b>34</b>
<b>Chapitre 2 : Présentation des approches d'appui .....</b>	<b>35</b>
<b>1. Ontologies .....</b>	<b>36</b>
1.2 Notion d'ontologie.....	36
1.2.1 Définition.....	36
1.2.2 Composantes d'une ontologie.....	37

1.2.3	Types d'ontologies.....	38
1.2.4	Représentation des ontologies.....	39
1.3	Usages des ontologies.....	40
1.4	Utilisation des ontologies dans les systèmes d'apprentissage .....	41
<b>2.</b>	<b>Raisonnement à partir de cas.....</b>	<b>43</b>
2.1	Présentation.....	43
2.2	Les applications du RàPC.....	43
2.3	Qu'est-ce qu'un cas ?.....	44
2.4	Le cycle du raisonnement à partir de cas .....	45
2.5	Connaissances du RàPC.....	51
2.6	Utilisations du RàPC en EIAH.....	52
<b>3.</b>	<b>Conclusion.....</b>	<b>55</b>
<b>Chapitre 3 : Présentation générale de l'approche proposée.....</b>		<b>56</b>
<b>1.</b>	<b>Principe de l'approche.....</b>	<b>57</b>
<b>2.</b>	<b>Usages et objectifs de l'approche.....</b>	<b>57</b>
<b>3.</b>	<b>Architecture globale du Système d'Apprentissage en Ligne Intelligent, Adaptatif et Situé ALIAS...</b>	<b>59</b>
3.1	Le modèle de domaine.....	60
3.1.1	Représentation des objets pédagogiques et leurs usages	61
3.1.2	Description SCORM et LOM.....	63
3.1.3	Description thématique.....	64
3.1.4	Description des théories pédagogiques.....	65
3.1.5	Le scénario pédagogique.....	66
3.1.6	Le modèle global.....	68
3.2	Le modèle de l'apprenant.....	69
3.2.1	Représentation du MA.....	70
3.2.1.1	Approche de modélisation .....	70
3.2.1.2	Structure de contenu.....	71
3.3	Le modèle d'adaptation.....	73

3.3.1	Elaboration du cas cible.....	74
3.3.2	Remémoration des cas similaires.....	76
3.3.3	Adaptation.....	79
3.3.4	Révision et mémorisation.....	81
<b>4.</b>	<b>Architecture fonctionnelle du système ALIAS.....</b>	<b>82</b>
<b>5.</b>	<b>Conclusion .....</b>	<b>83</b>
 <b>Chapitre 4 : Illustration de l'approche proposée .....</b>		<b>84</b>
<b>1.</b>	<b>Scénarios d'utilisation du système ALIAS .....</b>	<b>85</b>
<b>2.</b>	<b>Éléments de modélisation du fonctionnement du système ALIAS.....</b>	<b>89</b>
2.1	Acteurs du système.....	89
2.2	Diagrammes des cas d'utilisation .....	90
2.2.1	Interactions du système ALIAS avec l'apprenant.....	90
2.2.2	Interaction du système ALIAS avec l'enseignant.....	93
2.3	Diagrammes de séquence .....	94
2.3.1	Cas d'utilisation : Inscription de l'apprenant .....	95
2.3.2	Cas d'utilisation : Initialisation du modèle de l'apprenant .....	96
2.3.3	Cas d'utilisation : Accès au cours adapté.....	96
2.3.4	Cas d'utilisation : Evaluation.....	97
<b>3.</b>	<b>Conclusion.....</b>	<b>98</b>
 <b>Chapitre 5 : Expérimentation de l'approche.....</b>		<b>99</b>
<b>1.</b>	<b>Présentation du projet.....</b>	<b>100</b>
1.1	Cadre général.....	100
1.2	Objectifs du projet.....	100
1.3	Les types d'apprenants.....	101
1.4	Les unités d'enseignements .....	101
<b>2.</b>	<b>Le module MERISE.....</b>	<b>104</b>
<b>3.</b>	<b>Mise en œuvre de l'approche.....</b>	<b>104</b>
3.1	Création de l'ontologie de domaine MERISE.....	105

---

3.2 Génération du cours adapté.....	111
<b>4. Conclusion .....</b>	<b>116</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>117</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>121</b>
<b>Liste des publications personnelles .....</b>	<b>139</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>140</b>
Annexe1 : LOM (Learning Object Metadata), un standard pour la description des objets pédagogiques .....	140
Annexe 2 : Le standard SCORM (Shareable Content Object Reference Model) ..	141
Annexe 3 : IMS-LD (Instructional Management Systems learning Design).....	142
Annexe 4 : Synthèse LOM, SCORM, IMS-LD.....	143

---

---

## Liste des figures

Figure 2.1 : Le cycle du RAPC.....	46
Figure 2.2 : Modèle générique d'un système de RàPC .....	52
Figure 3.1 : Architecture du système ALIAS.....	60
Figure 3.2 : Connaissances utiles pour représenter un objet pédagogique et son usage ..	62
Figure 3.3: Description SCORM et LOM.....	63
Figure 3.4: Description du domaine du thème.....	65
Figure 3.5: Ontologie des théories éducatives.....	66
Figure 3.6 : Description des scénarii pédagogiques .....	68
Figure 3.7 : Modèle intégrant les différents aspects de représentation d'un objet dans son contexte d'utilisation .....	69
Figure 3.8 : Modèle de l'apprenant.....	73
Figure 3.9 : Modèle de cas .....	76
Figure 3.10 : Algorithme d'adaptation .....	80
Figure 3.11 : Le cycle du raisonnement à partir de cas dans ALIAS.....	81
Figure 3.12 : Architecture fonctionnelle du système ALIAS.....	82
Figure 4.1: Formulaire d'inscription.....	85
Figure 4.2 : Formulaire d'authentification.....	86
Figure 4.3 : Formulaire d'initialisation.....	87
Figure 4.4 : Diagramme des cas d'utilisation pour l'apprenant.....	91
Figure 4.5 : Diagramme des cas d'utilisation pour l'enseignant .....	93
Figure 4.6 : Diagramme de séquence du cas d'utilisation inscription.....	96
Figure 4.7 : Diagramme de séquence du cas d'utilisation accès au cours.....	97
Figure 4.8 : Diagramme de séquence du cas d'utilisation test d'évaluation.....	98
Figure 5.1 : Extrait de l'ontologie du domaine MERISE.....	105
Figure 5.2 : Diagramme d'activités du scénario pédagogique choisi.....	107
Figure 5.3 : Données d'adaptation.....	109
Figure 5.4 : Formulaire d'initialisation de l'apprenant X.....	111
Figure A1.1 : Organisation du schéma de métadonnées LOM .....	140
Figure A2.1 : SCORM, le modèle d'agrégation.....	141
Figure A2.2 : SCORM, l'environnement d'exécution.....	141
Figure A3.1 : Architecture de la spécification IMS-LD, Niveaux A, B et C.....	142

---

---

## Liste des tableaux

<i>Tableau 5.1a : Fiche d'organisation des unités d'enseignement ... ..</i>	102
<i>Tableau 5.1b : Fiche d'organisation des unités d'enseignement ... ..</i>	102
<i>Tableau 5.2 : Séquences d'activités pour l'objectif « définir le MCT »... ..</i>	109
<i>Tableau 5.3 : Cas cible X... ..</i>	112
<i>Tableau 5.4 : Cas sources presents... ..</i>	113
<i>Tableau 5.5 : Résultats des calculs de similarité entre le cas cible X et les cas sources... ..</i>	115
<i>Tableau A4.1 : Synthèse entre LOM, SCORM et IMS-LD ... ..</i>	143

## *Introduction*

Les universités et les centres de formation se posent aujourd'hui la question de l'Internet en tant que « moyen de renouveler une relation pédagogique mise à mal par les effectifs et l'hétérogénéité croissante des étudiants » [Reverchon, 2000], [Croizat, 2002], [Selwyn, 2007], [Uduma et al., 2007] et [Paquette et al., 2008]. L'utilisation des technologies du Web dans les métiers de la formation [Der-Thang et al., 2007] et [West et al., 2007] permet d'envisager de nouvelles approches et de nouveaux contextes d'apprentissage. Toutefois la qualité du service pédagogique rendu dépend de la capacité de ces nouvelles approches à fournir aux apprenants, des contenus et des parcours pédagogiques adaptés à leurs besoins et à leurs profils. Le développement de systèmes d'apprentissage adaptatifs vise à répondre à cet objectif. L'enjeu de la recherche est d'une part de savoir identifier et représenter les connaissances concernant le profil et les objectifs de l'apprenant et d'autre part d'identifier, de représenter et de savoir adapter les connaissances concernant les contenus de formation possible à construire pour satisfaire les besoins de l'apprenant.

Les Environnements Informatique pour l'Apprentissage Humain (EIAH) Doivent être conçus pour individualiser l'apprentissage. Dans le cas d'un EIAH, c'est compliqué de penser à l'idée de « transfert » (en effet, il n'y a pas d'enseignant référent particulier) et il convient de prendre radicalement le point de vue de l'apprenant.

Depuis l'avènement de l'Internet, le Web est l'environnement principal d'apprentissage à distance que ce soit dans des versions traditionnelles (e-

learning) ou massives (MOOC<sup>1</sup>). Ce mouvement a favorisé l'émergence de travaux sur la formation ouverte et à distance (FOAD), avec la normalisation des ressources et le développement de technologies standards (HTML, XHTML, XML, RDF<sup>2</sup>, LOM<sup>3</sup>, SCORM<sup>4</sup>, IMD-LD<sup>5</sup>, etc.), ainsi que les usages liés aux plates-formes de formation à distance. Pour faire face aux nécessaires adaptations liées à la variété des contenus, des situations d'apprentissage et des profils des apprenants, les recherches se sont focalisées notamment sur les systèmes hypermédias dynamiquement adaptatifs.

Ces systèmes se distinguent par le fait qu'ils permettent de construire des contenus pédagogiques dynamiquement et qu'ils adaptent ainsi l'offre de formation, en fonction des règles pédagogiques et des interactions des apprenants [Delestre, 1998], [Bouzeghoub, 2005], [Battou, 2008].

Ces travaux cherchent à adapter les contenus comme les parcours à partir de règles expertes mais échouent souvent à prendre en compte les situations singulières, variées et dynamiques. Nous proposons d'explorer les possibilités d'adaptation s'appuyant sur le paradigme de raisonnement à partir de cas (RàPC). Cette approche est intéressante pour deux raisons complémentaires : elle permet d'une part d'adapter à partir des connaissances existantes et d'apprendre continuellement à partir de chaque nouvelle expérience réussie.

Le RàPC est l'un des paradigmes proposés par l'intelligence artificielle (IA) pour la résolution de problème. Il a donc pour particularité de faire intervenir des cas déjà résolus pour résoudre un nouveau problème. Il intègre donc en lui-même un processus d'apprentissage.

Il s'agit, en fait, de la génération automatique de cours adaptés au profil (besoins, connaissances antérieures, préférences) d'un apprenant particulier ; par la réutilisation et le partage d'expériences concrètes issues de précédentes sessions

---

<sup>1</sup>MOOC : Massive Open Online Courses

<sup>2</sup>RDF : Ressource Description Framework

<sup>3</sup>LOM : Learning Object Metadata

<sup>4</sup>SCORM : Sharable content Object Reference Model

<sup>5</sup>IMS-LD : Instructional Management Systems Learning Design

d'apprentissage des apprenants ayant des profils similaires au profil de cet apprenant. Les traces de ces expériences sont exploitées par un mécanisme de RàPC pour proposer à l'apprenant des activités pédagogiques adaptées à son profil et ayant le plus de chance de lui permettre de réussir.

## ***Organisation du document***

Ce document est composé de cinq chapitres.

*Le Chapitre 1* est consacré au positionnement scientifique de nos travaux, ainsi qu'à la précision de notre problématique de recherche. Il s'agit de se focaliser sur l'adaptation en EIAH. Ainsi présentons nous les mécanismes d'adaptation déployés à travers l'étude de quelques systèmes hypermédias adaptatifs. La synthèse de cette étude a mené à la problématique générale de notre travail.

*Le Chapitre 2* présente les approches sur lesquelles s'appuie notre travail. D'une part, les ontologies qui permettent une meilleure représentation sémantique des connaissances, et d'autre part, le paradigme du Raisonnement à Partir de Cas (RàPC) sur lequel se fonde notre stratégie d'adaptation.

*Le Chapitre 3* détaille notre approche. Il présente le principe et les objectifs qui ont guidé à la définition de l'approche ainsi que les éléments qui la compose, notamment l'architecture fonctionnelle du système proposé.

*Le Chapitre 4* est consacré à l'illustration de l'approche proposée à travers des scénarios d'usages.

*Le Chapitre 5* expose une expérimentation de l'approche dans le cadre d'un projet campus numérique.

*La Conclusion* propose une synthèse de ce travail, donne ses limites et précise des perspectives de recherche.

# *Chapitre 1*

## *Adaptation et EIAH*

Ce chapitre dresse un positionnement scientifique de notre travail. Il s'agit de se focaliser en premier lieu sur l'adaptation en EIAH. Nous distinguons deux approches d'adaptation et nous mentionnons les différents types d'adaptation possibles dans un EIAH. Ensuite, nous montrons les mécanismes d'adaptation déployés à travers l'étude de quelques systèmes hypermédias adaptatifs.

Chacun de ces systèmes est décrit selon trois composants essentiels : « modèle de domaine », « modèle de l'apprenant » et « modèle d'adaptation ». Une synthèse de l'étude de ces systèmes qui a mené à la problématique générale de notre travail est également présentée.

# 1. Les Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (EIAH)

Le champ de recherche qu'est l'EIAH s'est développé à la fin des années 70 avec l'application de l'IA (Intelligence Artificielle) au domaine de l'éducation. Ce domaine de recherche a pour but la conception d'environnements informatiques d'apprentissage, généralement individuels, qui utilisent une représentation explicite des connaissances et une modélisation de l'apprenant pour proposer une intervention dynamique du système, adaptée à la situation et aux compétences de l'apprenant.

Ce champ de recherche nécessite la collaboration de disciplines aussi diverses que l'IA, la didactique, les sciences de l'éducation et la psychologie cognitive, dans le but de définir les meilleures conditions pour favoriser l'apprentissage. Les sciences cognitives apportent des connaissances sur le fonctionnement cognitif en situation d'apprentissage, ainsi que des outils d'évaluation, la didactique et les sciences de l'éducation apportent une réflexion approfondie sur les connaissances et leur enseignement. Enfin, l'IA propose toute une gamme d'outils dont le paradigme RàPC pour offrir des interventions et des situations adaptées à l'apprentissage ainsi qu'une interaction souple entre l'apprenant et le système.

## 1.1 Qu'est ce qu'un EIAH

Pour Balacheff [Balacheff, 1997], les EIAH sont des systèmes coopératifs d'apprentissage qui intègrent comme acteurs des enseignants ou formateurs, et des apprenants, et qui offrent de bonnes conditions d'interaction à travers les réseaux entre agents humains et agents artificiels, ainsi que de bonnes conditions d'accès à des ressources formatives distribuées, humaines et/ou médiatisées.

Pour Tchounikine [Tchounikine, 2004], les EIAH sont conçus dans le but de favoriser l'apprentissage humain, c'est-à-dire la construction de connaissances chez un apprenant.

Grandbastien [Grandbastien, 2006] définit un EIAH comme un environnement qui mobilise des agents humains (élève, enseignant, tuteur) et artificiels (agents informatiques) et leur offre des situations d'interaction, localement ou à travers les réseaux informatiques, ainsi que des conditions d'accès à des ressources formatives (humaines et/ou médiatisées). Cette même définition souligne qu'un EIAH comprend les questions scientifiques et technologiques soulevées par la conception, la réalisation et l'évaluation de ces environnements, ainsi que la compréhension de leurs impacts sur la connaissance, la personne et la société.

## 1.2 Importance des EIAH

L'importance des EIAH n'est aujourd'hui plus à démontrer, les multiples recherches et études proposées dans la littérature sont les meilleures preuves. Cette importance est résumée par les points suivants :

- Un EIAH permet d'individualiser l'enseignement : Il s'agit notamment du volet lié à l'adaptabilité et à l'individualisation des contenus pédagogiques aux besoins des différents apprenants. En se basant sur un modèle d'apprenant, un EIAH peut adapter le contenu, la navigation et la présentation du contenu pédagogique à chaque moment de l'apprentissage.
- Un EIAH permet le suivi et la gestion des parcours : des dispositifs logiciels de suivi et de gestion des apprenants et de leurs parcours d'apprentissage peuvent être intégrés dans un EIAH. Ils permettent à la fois de décharger le formateur de tâches de gestion des parcours, de faciliter l'individualisation des apprentissages et l'accès aux ressources formatives en auto-apprentissage [Mellet, 2006].
- Un EIAH permet de faire des économies d'échelle sur les ressources : les recherches effectuées sur le domaine des EIAH ont permis de mettre en place des standards et normes facilitant la réalisation de ressources pédagogiques autonomes, interopérables et réutilisables tout en prenant en compte la diversité des systèmes utilisés. Ceci a permis d'optimiser les ressources pédagogiques réalisées en réduisant les coûts de production et de maintenance.

- Un EIAH permet de mieux penser l'acte d'enseigner : il offre un modèle de décomposition du processus d'enseignement basé sur trois composantes principales : le contenu (sa présentation, sa navigation), le modèle de l'apprenant et la composante d'adaptation. Cela permet de mieux expliciter et mieux représenter le processus afin de l'améliorer.
- Un EIAH nécessite l'exploitation des traces réalisées par ses apprenants : l'exploitation permet non seulement de produire des éléments intéressants pour la modélisation comportementale ou conceptuelle, mais aussi une personnalisation pertinente des EIAH par la production de feedbacks ou évolution des interfaces. Différents procédés liant compréhension, formalisation et action sont pris en compte [Settouti, 2006].
- Un EIAH permet de scénariser l'activité pédagogique de l'apprenant : il offre la possibilité à l'enseignant de définir des parcours adaptés destinés aux apprenants et à leurs objectifs pédagogiques. L'approche par les scénarios permet de bâtir des situations d'apprentissage personnalisées par les enseignants [Ferraris, 2005], [Settouti, 2006].

### 1.3 Adaptation en EIAH

L'adaptation constitue un défi majeur en matière d'EIAH pour des utilisateurs aux profils très divers, tenant des rôles distincts, exprimant des besoins et centres d'intérêt différents, dans des contextes d'apprentissage variés, entre autres. L'adaptation des systèmes d'apprentissage est donc indispensable. Elle permet, notamment, de satisfaire les besoins spécifiques des apprenants, d'accomplir leurs objectifs d'apprentissage et de s'adapter aux contextes spécifiques des différentes communautés. L'adaptation permet aussi de ne pas submerger l'apprenant d'informations qui ne sont pas pertinentes pour lui [Ouraiba et al., 2009].

Selon Boticario et Santos [Boticario et Santos 2007], l'adaptation dans un EIAH consiste à créer une expérience d'apprenant ajustée volontairement aux différentes conditions tels que les contenus disponibles, les caractéristiques personnelles et les centres d'intérêts, les connaissances pédagogiques, les interactions des apprenants, les productions des processus d'apprentissage réels, la similitude avec les pairs,

entres autres. Cette expérience s'étalant sur une période de temps avec une intention d'augmenter la réussite selon certains critères prédéfinis tels que, l'efficacité de l'apprentissage, le score obtenu, le temps écoulé, le coût économique, la participation et la satisfaction des utilisateurs.

Selon Burgos [Burgos, 2008], il y a de nombreux aspects à prendre en considération pour une adaptation efficace, tels que l'interface utilisateur, les ressources d'apprentissage, les processus d'apprentissage, etc. Il existe une vaste collection d'approches d'adaptation dans les EIAH.

### 1.3.1 Approches d'adaptation

Plusieurs approches sont présentées dans la littérature et définissent le type d'adaptation utilisés.

Nous distinguons deux approches principales :

#### A. Approche systémique

Cette approche [Edmonds, 1981], [Balla, 2004] stipule qu'on dispose de trois types de systèmes et qui sont :

- *Un système adapté* : c'est un système qui prend en compte un profil d'apprenant ou un groupe d'apprenants définis préalablement à sa mise en place. Les techniques d'adaptation sont appliquées durant la phase de conception du système c'est-à-dire à l'initialisation du système. Par conséquent l'adaptation n'est pas individualisée.
- *Un système adaptable* : c'est un système qui s'adapte automatiquement à chaque instant, aux modèles apprenants. Le suivi des comportements.
- *Un système adaptatif* : c'est un système qui s'adapte automatiquement à chaque instant, aux modèles apprenants. Le suivi des comportements de l'apprenant, permet de connaître les besoins de ce dernier, en fonction de son environnement, de son état psychologique et de ses connaissances. La mise à jour du modèle de

l'apprenant, est réalisée par le système lui-même, en enregistrant les différentes actions et réactions des apprenants.

## B. Approche processus

Il existe deux types de processus d'adaptation : l'adaptabilité et l'adaptativité [Villanova, 2002] :

- *L'adaptabilité* fait référence à un processus d'adaptation basé sur les connaissances, à propos de l'apprenant et de l'environnement, disponibles ou acquises par le système avant que ne soient engagées les interactions apprenant/système [Villanova, 2002].
- *L'adaptativité* est réalisée au fur et à mesure de l'avancement de l'utilisation du système. Les données pour la réalisation de l'adaptation sont dynamiques et sont mises à jour par les systèmes au cours de l'interaction avec l'apprenant.

En outre, Specht et Burgos [Specht et Burgos, 2007] ont relevé une variété importante de recherches effectuées sur les systèmes hypermédias éducatifs adaptatifs pour développer la façon d'adapter les parcours et les contenus d'apprentissage pour les apprenants. De leur point de vue, des méthodes adaptatives dans des applications hypermédias éducatives peuvent être essentiellement structurées selon quatre questions principales [Specht, 1998] ; deux d'entre-elles nous intéressent particulièrement :

- **Quelles informations le système utilise pour l'adaptation ?** Dans la plupart des applications éducatives adaptatives, un modèle d'apprenant est utilisé comme base de l'adaptation des paramètres. L'adaptation tient compte, non seulement des connaissances de l'apprenant, de ses préférences, de ses intérêts, de ses capacités cognitives, mais aussi de ses tâches et de ses objectifs.
- **Comment le système recueille-t-il l'information pour s'adapter ?** Il existe une variété de méthodes pour recueillir des informations : des méthodes

explicites, par interrogation des apprenants, et/ou des méthodes implicites, par observation et inférence des données d'interaction. On les trouve décrites généralement dans des travaux sur la modélisation des utilisateurs. Jameson en dresse un aperçu [Jameson, 2003].

### 1.3.2 Types d'adaptation

L'étude de la littérature permet d'identifier huit types d'adaptation mis en œuvre dans les systèmes d'apprentissage [Specht et Burgos, 2006]. Les huit types d'adaptation sont présentés ci-dessous [Burgo, 2008], [Ouraiba, 2012] :

1. *Adaptation d'interface* (appelée aussi navigation adaptative et liée à l'utilisabilité et l'adaptativité) où les éléments et les options de l'interface graphique d'utilisateur sont positionnés sur l'écran et leurs propriétés sont définies (couleurs, taille, police, etc.) [Ahmad et al., 2004]. Cela est étroitement lié au soutien des personnes ayant des besoins spéciaux, ayant des handicaps tels que le daltonisme ou une mauvaise audition par exemple [Chin, 2001].
2. *Adaptation de flux d'apprentissage* où le processus d'apprentissage est dynamiquement adaptable pour séquencer le contenu du cours de différentes façons. Le chemin d'apprentissage est dynamique et personnalisable pour chaque utilisateur, et, au moment du lancement du cours, un utilisateur peut prendre un autre itinéraire en fonction de ses capacités.
3. *Adaptation de contenu* où des ressources changent dynamiquement leurs contenus, comme les systèmes éducationnels à base de présentation adaptative [Brusilovsky et Miller, 2001], [De Bra et al., 2004].

Ces trois premiers types d'adaptation constituent la base des systèmes suivants [Brusilovsky et Paylo, 2003].

4. *Support interactif de résolution des problèmes* : qui guide l'utilisateur sur la prochaine étape à prendre afin d'obtenir la bonne solution à un problème.

Ces orientations pourraient provenir d'un tuteur en ligne ou hors ligne ou à partir d'un ensemble de règles prédéfinies.

5. *Filtrage d'information adaptatif* qui consiste à ne fournir que l'information pertinente aux utilisateurs. Un système de filtrage fait parvenir les objets d'apprentissage aux apprenants qui en ont besoin à partir de larges volumes d'objets générés continuellement, voire augmente la quantité d'objets pertinents collectés à partir de différents viviers en ciblant les objets vraiment appropriés [Ouraiba et al., 2008a ; 2008b]. Le filtrage d'informations peut être considéré comme une facilité externe liée à l'activité d'apprentissage et n'est pas une partie réelle de cette activité.
6. *Regroupement adaptatif des utilisateurs* qui permet de créer des groupes spécifiques d'utilisateurs et de soutenir la collaboration en vue de la réalisation de tâches spécifiques. Par exemple, à la suite d'un ensemble de questions, deux groupes se constituent à savoir un groupe de débutants et un autre d'experts.
7. *Évaluation adaptative* où le modèle d'évaluation, le contenu et le déroulement d'un test peuvent être changés en fonction de la performance de l'élève et de l'orientation de l'enseignant [Van Rosmalen et al., 2006].
8. *Temps d'adaptation* avec la possibilité de modifier / adapter un cours par le système ou par le tuteur en temps réel [Van Rosmalen et Boticario, 2005], contrairement aux changements définis dans la phase de conception [Merceron et Yacef, 2003].

Pour chacun de ces types d'adaptation, il existe différentes techniques pointées par Brusilovsky [Brusilovsky, 1993 ; Brusilovsky, 2003] pour les implémenter ; que l'on peut mettre en place quand on conçoit un système hypermédia adaptatif.

Nous étudierons un certain nombre de ces systèmes dans la Section 3 pour montrer les mécanismes d'adaptation déployés.

La section suivante présente les composants essentiels de ces systèmes.

## 2. Systèmes hypermédias adaptatifs

Le but des systèmes hypermédias adaptatifs liés à l'éducation est de proposer des contenus qui correspondent aux besoins de l'apprenant et une présentation adéquate des ressources sélectionnées, en fonction des préférences de l'apprenant. Ces systèmes ont pris une importance toute particulière avec l'arrivée d'Internet, et le développement de technologies standards particulièrement adaptées à la conception d'hypermédias (HTML, XML, RDF, ...).

On retrouve de manière quasi-systématique trois composants essentiels dans les systèmes actuels [Jacquoit, 2006] :

- **Le modèle de domaine** : ce modèle est chargé de représenter les connaissances qui sont mises à disposition des utilisateurs dans le système. Il s'agit des concepts abordés, des ressources disponibles (documents XML, images, vidéos,...), des liens entre ces différents éléments. Le modèle du domaine permet de structurer les différents éléments du domaine afin de faciliter leur adaptation à l'apprenant.
- **Le modèle de l'apprenant** : ce modèle est chargé de prendre en compte les caractéristiques de l'apprenant. Certaines caractéristiques sont indépendantes du domaine d'application telles que les préférences en matière d'affichage, pédagogie préférée, ... D'autres sont liées au domaine : quelles connaissances l'apprenant a-t-il du domaine d'application du système ?
- **Le modèle de l'adaptation** : ce modèle est chargé de modéliser la façon dont le domaine va être présenté à l'apprenant en fonction des caractéristiques personnelles de ce dernier. Il existe différentes méthodes d'adaptation, classées en deux grandes catégories : *l'adaptation de navigation* et *l'adaptation de composition*. L'adaptation de navigation consiste à modifier les liens présentés à l'apprenant en les masquant, en les triant ou en les annotant, à guider entièrement l'apprenant ou à lui proposer un plan du site adapté à son profil. L'adaptation de composition consiste à choisir les ressources les

plus adéquates en fonction du profil de l'apprenant pour composer un document à lui présenter, et à modifier la présentation de ces ressources sur le document.

### 3. Quelques systèmes hypermédias adaptatifs

Après avoir présenté, dans les sections précédentes les bases sur lesquelles repose la conception d'hypermédias adaptatifs, nous allons présenter, dans cette section, leurs architectures basées sur les trois composantes principales : le modèle de domaine, le modèle de l'apprenant et le modèle d'adaptation ainsi que les mécanismes déployés pour la réalisation de l'adaptation, à travers l'étude de quelques systèmes parmi les plus cités dans la littérature.

#### 3.1 Le système DCG + GTE

DCGTE (Dynamic Course ware Generation with Teaching Expertise) est un outil pour la création de cours adaptatifs permettant de produire des contenus d'apprentissage qui sont adaptés, d'une part, aux besoins de l'apprenant et à ses compétences, et d'autre part à l'évolution de l'apprenant dans son acquisition de la connaissance [Vassileva, 1995]. Ce système dispose d'un générateur de cours qui utilise le modèle de l'apprenant, le modèle de domaine et des règles pédagogiques pour générer des plans d'apprentissage adaptés.

- *Le modèle de domaine*

Dans ce système, il y a une séparation entre le domaine d'enseignement et les ressources (appelées « *teaching materials* ») disponibles [Vassileva, 1997]. Chaque ressource est associée par exemple à un type pédagogique bien précis, tel que « introduction à un concept », « exercice », « explication », « test »...mais aussi à un type de média (texte, graphique, animation,...). Le formalisme utilisé pour décrire le sujet d'enseignement est une structure dont les nœuds correspondent aux concepts et les arcs à des relations sémantiques de type généralisation, agrégation ou analogie.

- *Le modèle de l'apprenant*

Dans cette approche, deux types de connaissances sur l'apprenant sont prises en compte. Il s'agit de ses préférences relatives à la forme de présentation de cours et à ses traits psychologiques, et de l'historique de ses tâches et des connaissances qu'il a utilisées avec des annotations sur le degré d'accomplissement. Le modèle de l'apprenant est construit selon une approche individuelle [Vassileva et al., 1994] dans laquelle chaque apprenant possède ses propres caractéristiques. La représentation utilisée est de type modèle overlay en lien avec la structure de domaine. L'acquisition et la gestion de ce modèle sont mises en œuvre selon une approche adaptative.

- *Le modèle d'adaptation*

Au niveau de l'adaptation, le système permet de personnaliser les parcours pédagogiques. Il s'inscrit donc dans une approche où l'adaptation concerne les méthodes. Il s'agit de construire un plan de cours pour réaliser un objectif pédagogique donné. Le système projette un ordre des tâches (donc une méthode) pour apprendre les concepts relatifs à un objectif défini. Ce système utilise des règles d'apprentissage comme technique d'adaptation pour construire un plan de cours adapté aux caractéristiques des apprenants.

### *Synthèse*

*Ce système offre, d'une part, la possibilité de générer des plans de cours adaptés aux besoins de l'apprenant et, d'autre part, une personnalisation de la présentation de contenu. Le point fort concerne la prise en compte des méthodes pédagogiques pour structurer le contenu présenté à l'apprenant. Toutefois, il est à noter que l'approche reste centrée sur les contenus et qu'elle ne fournit pas aux apprenants des activités et des démarches.*

## 3.2 Le système INSPIRE

INSPIRE (INtelligent System for Personalized Instruction in a Remote Environment) est un système qui permet de générer dynamiquement des cours [Papanikolaou et al., 2001]. Il conduit progressivement à la satisfaction des objectifs choisis par l'apprenant.

- *Le modèle de domaine*

Dans INSPIRE, le modèle de domaine est organisé hiérarchiquement en trois niveaux :

- Le niveau « *learning goal* » : décrit un ensemble d'objectifs d'apprentissage. L'apprenant choisit dans cet ensemble l'objectif d'apprentissage qu'il souhaite atteindre. Un ensemble de ressources pédagogiques est automatiquement mis à la disposition de l'apprenant pour la réalisation de l'objectif sélectionné. Chaque objectif est associé à un sous-ensemble de concepts et de relations entre ces concepts.
- Le niveau « *concept* » : décrit les concepts qui devraient être enseignés en fonction de l'objectif sélectionné. Chaque concept est caractérisé par un niveau d'importance. Pour atteindre l'objectif sélectionné, l'apprenant doit avoir acquis tous les concepts ayant un niveau de type « important » associés à cet objectif.
- Le niveau « *educational material* » : décrit les ressources numériques utilisées pour réaliser l'objectif.

INSPIRE utilise des métadonnées pour décrire les ressources. La norme [ARIADNE, 2000] sert de base pour la représentation des métadonnées. Elle distingue trois types de descripteurs : 1) *les caractéristiques pédagogiques* ; 2) *la sémantique de la ressource* ; 3) *des informations générales sur la ressource*.

- *Le modèle de l'apprenant*

L'acquisition et la gestion du modèle de l'apprenant utilisent une approche adaptative. Ce système se base sur une catégorisation des apprenants en

stéréotypes (novice, avancé et expert). L'apprenant est associé à un stéréotype et dispose des adaptations réalisées pour le stéréotype. Le système utilise pour l'adaptation, des connaissances sur les compétences et les objectifs pédagogiques de l'apprenant.

Le modèle de l'apprenant est basé sur une structure de type overlay [Weber et al., 2001] représentée par un arbre ayant différents niveaux d'informations.

Chaque niveau décrit des informations spécifiques sur l'apprenant : 1) le plus haut niveau (le nœud racine) concerne des *informations générales* sur l'apprenant ; 2) les deuxième et troisième niveaux concernent des informations sur son *niveau de connaissances* ; 3) le quatrième niveau contient des informations sur ses *compétences* liées aux « educational materials ».

- ***Le modèle d'adaptation***

Les mécanismes d'adaptation utilisés dans INSPIRE sont issus du domaine des hypermédias adaptatifs [Brusilovsky, 1996]. Il utilise des techniques hypermédias pour concevoir des contenus adaptés à l'apprenant. INSPIRE se base sur les objectifs choisis par l'apprenant, et son niveau de connaissances pour générer des liens entre les pages de contenu et propose un plan de navigation adapté à l'apprenant. Il adapte également la présentation du contenu des pages aux préférences de l'apprenant.

### ***Synthèse***

*Le point fort de ce système concerne la prise en compte d'objectifs pédagogiques dans la conception de contenus pédagogiques (l'approche par objectif est adoptée dans le e-learning). Les objectifs pédagogiques viennent enrichir le modèle de ressources et le modèle de l'apprenant. L'adaptation reste cependant centrée sur les contenus et leur présentation, en effet, les objectifs ne sont pas associés à des activités pour les réaliser mais seulement à des concepts et à des contenus.*

### 3.3 Le système METADYNE

METADYNE [Delestre, 2000] est un système de conception et de distribution de cours qui permet à des enseignants de construire des contenus hypermédias prenant en compte les caractéristiques et les intentions de l'apprenant dans un contexte d'apprentissage. L'architecture de ce système se rapproche globalement de l'architecture standard des hypermédias adaptatifs dynamiques, elle est fondée essentiellement sur un modèle de ressources (modèle de domaine), un modèle de l'apprenant (modèle comportemental et épistémique), et utilise des techniques et des méthodes d'adaptation (les filtres) pour générer des pages hypermédias [Delestre et al., 1997].

- *Le modèle de domaine*

Le modèle de domaine est décrit par une structure logique composée de pages et de liens hypertextes entre les pages [Delestre et al., 1999]. Il s'agit d'un formalisme à base de structure dans lequel les concepts d'enseignement sont reliés les uns aux autres par quatre types de relation : « est composé séquentiellement de », « se dérive en », « nécessite la connaissance de », et « peut être aidé par la connaissance de ».

- *Le modèle de l'apprenant*

Le modèle de l'apprenant de ce système s'inspire du modèle décrit dans [Nicaud, 1994] et [Balacheff, 1992] avec, d'une part, un niveau épistémique qui permet au système de connaître ce que l'apprenant est supposé savoir ou ne pas savoir et, d'autre part, un niveau comportemental qui comporte les préférences, les objectifs, et les compétences de l'apprenant. Il s'agit d'une approche individuelle dans laquelle chaque apprenant est décrit par ses propres caractéristiques.

La gestion du modèle utilise une approche adaptative qui consiste à observer l'apprenant et à tracer ses activités et ses résultats. Dans ce cas, l'apprenant n'est pas sollicité et le modèle est mis à jour automatiquement en fonction de l'observation de l'apprenant. Le système METADYNE [Delestre, 2000] utilise ainsi des mécanismes d'inférence pour générer des

connaissances sur l'apprenant en utilisant les réseaux bayésiens [Villano, 2002].

- *Le modèle d'adaptation*

Dans le système METADYNE, les techniques d'adaptation sont utilisées pour construire un hypermédia virtuel où les pages et les liens sont déterminés en fonction du type de cours que l'apprenant veut suivre, soit en vue d'un examen, soit en vue d'un parcours plus libre. Il s'agit essentiellement d'une adaptation de présentation des liens.

Le système utilise des techniques hypermédias pour construire des contenus adaptés à l'apprenant et ce à l'aide de filtres. Trois types de filtres permettent d'extraire le contenu des pages : 1) le premier est fonction du type cognitif (introduction, définition, exemple, exercice, rappels) ; 2) le deuxième est fonction du niveau cognitif défini par l'enseignant qui associe un contenu à un concept ; 3) et le troisième est fonction du type physique de média (texte, vidéo, animation, photo, son...). Ces filtres peuvent être considérés comme des règles pour la construction des pages et des liens entre les pages.

### *Synthèse*

*Ce système offre comme la majorité des hypermédias adaptatifs la possibilité, d'une part, d'adapter des contenus hypermédias aux besoins évolutifs de l'apprenant et d'autre part, de personnaliser la présentation de contenu. Les techniques d'adaptation utilisées à ces deux effets prennent en compte quelques aspects pédagogiques (type cognitif, le niveau cognitif,...).*

## **3.4 Le système SERPOLET**

Le système SERPOLET (Système d'Enseignement et de Recyclage Par Ordinateur Liant Expertises et Technologies) [Oubahssi, 2005] est devenu une plate-forme pédagogique adaptable aux besoins précis des utilisateurs.

- *Le modèle de domaine*

Dans le système SERPOLET, une ressource est décrite par un ensemble de métadonnées. Les métadonnées utilisées se basent sur les travaux de normalisation réalisés par le LOM (Learning Object Metadata) [LOM, 2002].

- *Le modèle de l'apprenant.*

Le modèle de l'apprenant est basé sur le standard IMS-LIP (Instructional Management Systems - Learner Information Package) [IMS LIP, 2001], qui est une proposition du consortium « IMS Global Learning » faite essentiellement pour répondre à un besoin de standardisation des données relatives à la description des apprenants pour les différents systèmes d'apprentissage. Le modèle de l'apprenant est construit selon une approche stéréotype afin de pouvoir intégrer tous les types d'utilisateurs. Comme la majorité des systèmes, les connaissances sur l'apprenant expriment les compétences, les objectifs, les préférences et l'historique. Et comme pour la majorité des modèles de l'apprenant des systèmes hypermédias adaptatifs, la structure utilisée est de type overlay.

- *Le modèle d'adaptation*

Dans le système SERPOLET, les techniques d'adaptation utilisent des règles pour générer des séquences pédagogiques et l'adaptation porte sur la présentation.

### *Synthèse*

*Le point fort de ce système concerne d'abord, l'utilisation d'un modèle de ressources et d'un modèle de l'apprenant standard dans un souci d'interopérabilité, ensuite l'utilisation d'une approche orientée scénario. Toutefois, les techniques d'adaptation restent relativement pauvres puisqu'elles se concentrent essentiellement sur une génération de liens entre les activités d'apprentissage.*

### 3.5 Le système SIMBADE

**SIMBAD** (Semantic Interoperability for Mobile collaBorative and ADaptive application) est un système de composition de ressources pédagogiques pour fournir des ressources pédagogiques ou des cours personnalisés à l'apprenant en s'appuyant sur son modèle. Le système présenté par Duitama se compose de méthodes d'évaluation des ressources et de différents modèles [Duitama et al., 2005]. Ces modèles sont basés sur des ontologies et sont :

- *Le modèle de domaine*

Le modèle de domaine sert de référentiel pour indexer sémantiquement, tant les apprenants que les ressources. Il s'agit de décrire l'ensemble des concepts pour un domaine de connaissances donné. Ces concepts sont décrits par un graphe où les nœuds sont des concepts et les arcs des relations sémantiques entre concepts.

- *Le modèle de l'apprenant*

L'apprenant est décrit selon deux facettes que sont ses préférences et ses connaissances :

- *Préférences* : décrivent des informations factuelles (nom, adresse email, langues préférées, couleurs préférées, ...) et se modélisent sous forme d'un ensemble de couples attribut-valeur.
- *Connaissances* : décrivent les concepts qu'il connaît qualifiés par un (des) rôle(s) ("introduction", "définition", "description", etc.) et une pondération (évaluation du niveau de l'apprenant pour chaque couple concept-rôle). Cette facette se modélise sous forme de relations vers le modèle de domaine. Le contenu de cette facette va évoluer de manière dynamique et automatique au fur et à mesure que l'apprenant va suivre des cours et donc acquérir de nouvelles connaissances.

- **Le modèle des ressources (méta-données)**

Il s'agit de décrire les ressources pédagogiques en utilisant le modèle du domaine. Chaque ressource possède les parties suivantes:

- *Prérequis* : est l'ensemble des triplets (concept, rôle, niveau).
- *Contenu* : décrit le contenu des ressources. C'est également un ensemble des triplets (concept, rôle, niveau).
- *Fonction d'acquisition* met à jour le modèle d'apprenant. Elle est aussi un ensemble de triplets (concept, rôle, niveau).
- *Caractéristiques éducatives LOM* : ont d'autres caractéristiques factuelles sous forme d'un ensemble (prédicat, valeur).

Ce modèle de description de ressources permet de retrouver les ressources en vue de les réutiliser.

- **Le modèle d'adaptation**

Dans SIMBAD, le processus d'adaptation correspond essentiellement à un filtrage des ressources et peut se découper de la manière suivante :

- *sélectionne (requête R)* : renvoie les identificateurs de ressources correspondant à R ;
- *adapte (ensemble d'identificateurs de ressources I, apprenant A)* : choisit une ressource  $r$  dans  $I$  satisfaisant au mieux le modèle de  $A$  ;
- *présente (ressource  $r$ , apprenant A)* : construit la présentation de  $r$  pour  $A$ .

Ce processus s'enchaîne de manière séquentielle avec un bouclage possible de **adapte** vers **sélectionne**. L'apprenant peut interagir dans ce processus de deux manières. Tout d'abord, **sélectionne** et **adapte** sont définis en partie sous forme de règles. L'ensemble des règles par défaut peut être surchargé par l'apprenant pour mieux adapter le processus. Ensuite, l'apprenant peut choisir la stratégie qui lui convient le mieux pour résoudre sa requête (privilégier la précision, la vitesse).

### *Synthèse*

*Le point fort de ce système est la description sémantique des ressources basée sur une ontologie du domaine de connaissances couvert. Cette description permet d'offrir des outils de recherche plus sophistiqués et favorise également la réutilisation en construisant de nouvelles ressources par assemblage de ressources existantes grâce à un graphe de composition construit à partir de ressources existantes et d'opérateurs de composition. L'adaptation reste cependant centrée sur les contenus en utilisant des règles selon le stéréotype de l'utilisateur. Les méthodes pédagogiques ne sont pas prises en compte pour structurer le contenu à présenter à l'apprenant.*

## 3.6 PIXED

PIXED (Projet d'Intégration de l'eXpérience en Enseignement à Distance) est un environnement interactif d'apprentissage assisté par ordinateur sur le Web intégrant le paradigme de raisonnement à partir de cas (RàPC). Il propose à l'apprenant de suivre un chemin dans l'hyperespace du cours (constitué de documents hypermédias), un chemin adapté selon le modèle d'apprentissage (modèle de l'apprenant) construit pour cet apprenant.

- *Le modèle de domaine*

Le modèle de domaine est représenté par un réseau notionnel. Ce modèle peut être interprété par un réseau sémantique [Heraud, 1999] réduit à exprimer les connaissances nécessaires à des tâches d'apprentissage. Les nœuds du réseau sont des notions définies comme buts d'apprentissage et les arcs reliant les notions sont de deux types : des arcs de précédence indiquant l'ordre didactique des notions à apprendre et des arcs de suffisance destinés à montrer la contribution de la maîtrise d'une notion apprise pour la maîtrise d'une notion à apprendre [Mille, 2013]. Chaque notion peut être reliée à un ensemble d'activités éducatives par une procédure d'annotation.

- *Le modèle de l'apprenant*

Le modèle de l'apprenant (modèle d'apprentissage pour PIXED) satisfait une partie des spécifications PAPI Learner (Public and Private Information for Learners) [Col, 2000] et représente les connaissances à apprendre sous la forme d'un réseau notionnel annoté [Heraud, 1999].

- *Le modèle d'adaptation*

PIXED met en oeuvre l'adaptation du chemin et l'adaptation du contenu :

- *Adaptation du chemin*

PIXED propose un parcours dans l'hyperespace du cours adapté au modèle de l'apprenant et fournit 3 modes de navigation aux apprenants :

1. *Linéaire* : une séquence d'activités éducatives est proposée à l'apprenant sur la base de son modèle d'apprentissage. Le système choisit l'ordre des notions à apprendre et les activités éducatives associées appropriées.
2. *Assisté* : l'apprenant se voit proposer un chemin linéaire avec des possibilités de choix personnels accompagnés d'une carte hyperespace de notions correspondant. Cette carte est composée des notions situées dans la séquence d'activités proposées.
3. *Libre* : la carte de l'hyperespace des notions est le seul moyen de naviguer dans le cours. L'apprenant est libre de choisir les notions qu'il souhaite apprendre (la notion but ne change pas naturellement). Pour chaque notion choisie, il est libre de choisir parmi les activités associées.

- *Adaptation des contenus*

Deux façons d'adapter les contenus sont proposées :

1. Quand il existe un choix d'activités éducatives pour une notion donnée à apprendre, PIXED peut sélectionner laquelle proposer à l'apprenant.
2. Quand un document hypermédia est sélectionné, PIXED réalise une deuxième sorte d'adaptation en masquant certaines parties du document.

Il est à noter que la présentation adaptative est non seulement fondée sur le modèle d'apprentissage de l'apprenant mais aussi sur l'expérience tracée et les annotations disponibles en ligne. Enseignants et apprenants prennent une part active au processus d'adaptation dans la situation même de l'apprentissage.

### **Synthèse**

*PIXED propose une approche originale consistant à re-mobiliser l'expérience d'apprentissage « en situation » [Mille, 2013], s'appuyant sur le paradigme de raisonnement à partir de cas (RàPC). En effet, PIXED se distingue des autres systèmes par l'utilisation de l'expérience concrète du système. Par expérience concrète, nous désignons les épisodes (traces) d'apprentissage que le système enregistre au cours de son utilisation. Cette expérience, ajoutée aux informations que le système possède sur ses utilisateurs, va constituer le squelette des cas utilisés dans un moteur RàPC. L'intégration du paradigme RàPC a pour objectif de répondre à une double problématique : aider la navigation et la construction du domaine par l'expérience.*

*En résumé, Les deux points clés de PIXED sont :*

1. *La réutilisation et le partage de l'expérience concrète en utilisant le RàPC.*
2. *La réutilisation et le partage de représentations du cours.*

*Pour l'adaptation du chemin, le système reste focalisé sur le modèle d'apprentissage de l'apprenant (buts d'apprentissage) sans tenir compte de ses préférences.*

## 4. Discussion et problématique

Les systèmes présentés dans la section précédente ont tous le même objectif qui est celui de fournir un contenu pédagogique adapté aux besoins, caractéristiques et connaissances d'un apprenant. Ils se sont focalisés sur l'apprenant pour réaliser cette adaptation, mais avec des approches et des technologies distinctes pour modéliser et construire le modèle de domaine, le modèle de l'apprenant et le modèle d'adaptation.

- *Pour le modèle de domaine*

La représentation sémantique des contenus des ressources pédagogiques pour une réutilisation efficace, efficiente et dans des contextes différents pour atteindre une meilleure adaptation, est quasiment absente dans ces systèmes. Ce qui ne facilite pas :

1. *la recherche et la réutilisation des ressources (sauf pour SIMBAD),*
2. *l'association des notions du domaine aux activités permettant leur apprentissage (sauf pour PIXED),*
3. *la modélisation des scénarios d'apprentissages et les approches pédagogiques,*
4. *la mise en œuvre du processus d'apprentissage (scénario, objectifs).*

*Nous considérons que la notion d'objet pédagogique et son indexation sémantique doivent être prises en compte pour répondre aux exigences et à la qualité d'un système d'apprentissage en ligne.*

- *Pour le modèle de l'apprenant*

Nous retenons que les systèmes prennent en compte tous, à peu près les mêmes types de connaissances (compétences, préférences,...) Ils se différencient dans la manière de les gérer et de les faire évoluer. Les préférences des apprenants en termes de stratégies et de méthodes

d'apprentissage sont peu prises en compte dans les modèles de l'apprenant. Ces systèmes déterminent les contenus pédagogiques à présenter en fonction des préférences de l'apprenant en matière de média uniquement.

*La richesse du modèle de l'apprenant est déterminante pour offrir des possibilités d'adaptation des formations aux caractéristiques et aux besoins des apprenants. Le modèle de l'apprenant doit prendre en compte les connaissances relatives à son profil vis-a-vis du domaine d'apprentissage (profil d'apprentissage) et à ses préférences en terme pédagogique.*

- ***Pour modèle d'adaptation***

Dans la majorité de ces systèmes, l'adaptation est limitée par le formalisme des règles dont le contrôle est implicite. Une telle représentation de l'adaptation présente deux insuffisances [Jacquiot, 2006] :

- Il ne s'agit pas d'une modélisation explicite de l'adaptation dans sa globalité, puisque le comportement du système mettant en œuvre des stratégies de raisonnement n'est pas explicitement représenté.
- Il ne s'agit pas d'un modèle formel de l'adaptation permettant de raisonner sur l'adaptation elle-même et auquel pourrait être associé un système de preuves formel. Ainsi, il est impossible de raisonner sur la façon dont sont effectuées les déductions ou de vérifier que le système implémenté interprète correctement les règles.

L'adaptation dans la plupart des systèmes hypermédias adaptatifs, est prédéfinie par le développeur du système. Malgré une relative souplesse liée à l'utilisation des techniques d'Intelligence Artificielle, les stratégies de raisonnement restent par définition prévues pendant la conception, ce qui limite les possibilités de comportement du système et introduit une certaine rigidité dans l'interaction. En plus, ces systèmes utilisent leurs propres représentations et des mécanismes persistants internes pour l'adaptation pédagogique. Ceci ne permet

pas la réutilisabilité et l'échange des solutions adaptatives [Specht et Burgos, 2007]. D'ailleurs ces systèmes sont peu utilisés dans les environnements réels d'apprentissage. Plusieurs facteurs sont évoqués dans [Murray, 2004], [Berlanga, 2007], [Ouraiba, 2012]:

- le manque de preuves crédibles de leurs avantages à grande échelle [Murray, 2004];
- le manque d'intérêt des professionnels de l'éducation et de la formation ;
- le temps nécessaire au développement de ces processus complexes ;
- la validité discutable de leurs évaluations, rarement réalisées dans des contextes réels [Weibelzahl, 2005];
- la prolifération de systèmes autonomes et l'absence d'outils génériques proposés [Stash, 2007] ;
- on ne peut exprimer explicitement les méthodes didactiques et les modèles pris en considération. Les méthodes et les contenus sont indissociables [Van Rosmalen, 2008];
- l'insuffisance des informations significatives sur les scénarios d'apprentissage et les contextes réels d'apprentissage;
- les enseignants ne trouvent pas que ces systèmes soient pertinents ; ils ne proposent pas aux apprenants d'expériences d'apprentissage convenables ;
- l'absence des mécanismes de partage et de réutilisation des composants, tels que les stratégies d'adaptation ou des ressources d'apprentissage, entre les différents cours et systèmes.

*Face à ces limites, la problématique est double. D'une part, il est nécessaire de concevoir des outils qui permettent d'adapter les expériences d'apprentissage aux apprenants. D'autre part, il est souhaitable que les ressources et les éléments utilisés dans les conceptions pédagogiques puissent être réutilisés, partagés et échangés entre les différents cours et systèmes.*

Nous proposons dans le cadre de ce travail, une approche pour contourner ces limites. En effet, l'approche proposée dans cette Thèse (présentée dans le Chapitre 3) consiste à faire collaborer l'expertise (*i.e.*, la modélisation du domaine faite par les enseignants) et l'expérience (*i.e.*, les traces d'utilisation du système). Nos travaux ont donc porté sur deux domaines complémentaires avec d'une part, la représentation explicite des connaissances du domaine d'apprentissage et d'autre part la réutilisation de l'expérience d'apprentissage « en situation ».

## 5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons caractérisé les systèmes hypermédias adaptatifs. Nous avons identifié trois composantes principales impliquées dans la réalisation des systèmes adaptatifs hypermédia à savoir le modèle de domaine, le modèle de l'apprenant, et le modèle d'adaptation. Nous avons mené une étude comparative des systèmes : DCGTE, INSPIRE, SERPOLET, METADYNE, SIMBADE et PIXED selon ces trois composantes.

La synthèse de cette étude comparative a mené à la problématique générale de notre travail.

Avant de détailler l'approche proposée pour contribuer à la résolution de cette problématique, nous présentons dans le chapitre suivant les approches qui ont servi de base à notre solution.

## Chapitre 2

### Présentation des approches d'appui

L'approche proposée dans cette Thèse consiste à faire collaborer l'expertise (*i.e.*, la modélisation du domaine faite par les experts du domaine que sont les enseignants) et l'expérience (*i.e.*, les traces d'utilisation du système). Notre travail porte donc sur deux domaines complémentaires avec d'une part, la représentation explicite des connaissances du domaine qui repose sur des ontologies qui permettent une meilleure représentation sémantique et facilitent la communication entre la machine et les utilisateurs, et d'autre part, la réutilisation de l'expérience en utilisant le paradigme de Raisonnement à Partir de Cas (RàPC).

Chacun de ces deux domaines a fait l'objet d'une des deux parties de ce chapitre. Nous consacrons la première partie à la notion d'ontologie. Définition, représentation et typologie ainsi qu'une revue des travaux de la littérature qui utilisent les ontologies dans les systèmes d'apprentissage. La deuxième partie est consacrée aux interactions entre les EIAH et le RàPC. Après avoir rappelé les points essentiels du RàPC, nous citons les applications de cette technique d'Intelligence Artificielle dans les EIAH.

# 1. Ontologies

Nées des besoins de représentation des connaissances, les ontologies visent à établir des représentations à travers lesquelles les machines peuvent manipuler la sémantique des informations, la construction des ontologies demande à la fois une étude des connaissances humaines et la définition de langages de représentation, ainsi que la réalisation de systèmes pour les manipuler. Les ontologies participent donc pleinement aux dimensions scientifiques et techniques de l'Intelligence Artificielle (IA) : scientifiques comme étude des connaissances humaines et plus largement de l'esprit humain, ce qui rattache l'IA aux sciences humaines, et techniques comme création d'artefacts possédant certaines propriétés et capacités en vue d'un certain usage [Elbyed, 2009].

## 1.2 Notion d'ontologie

### 1.2.1 Définition

Parmi les définitions les plus citées dans la littérature en IA est celle de Tom Gruber « Une ontologie est une spécification formelle et explicite d'une conceptualisation partagée » [Gruber, 1993], avec la signification des termes suivants :

- *formelle* : réfère au fait qu'une ontologie doit être compréhensible par la machine, c'est-à-dire que cette dernière doit être capable d'interpréter la sémantique de l'information fournie ;
- *explicite* : signifie que le type de concepts utilisés et les contraintes sur leur utilisation doivent être explicitement définis ;
- *conceptualisation* : se réfère à un modèle abstrait de certains phénomènes dans le monde qui identifie les concepts appropriés de ce phénomène ;
- *partagée* : indique que l'ontologie supporte la connaissance consensuelle, et elle n'est pas restreinte à certains individus mais est acceptée par un groupe.

## 1.2.2 Composantes d'une ontologie

Les connaissances traduites par une ontologie sont à véhiculer à l'aide des éléments suivants [Gomez-Pérez, 1999], [Psyché, 2007] :

- **concepts** (ou classes). Ils correspondent aux abstractions pertinentes d'un segment de la réalité (le domaine du problème), retenues en fonction des objectifs qu'on se donne et de l'application envisagée pour l'ontologie. Ces concepts selon [Gomez-Pérez, 1999] peuvent être classifiés selon plusieurs dimensions: 1) niveau d'abstraction (concrets ou abstraits); 2) atomicité (élémentaires ou composés); 3) niveau de réalité (réels ou fictifs) ;
- **relations** (ou propriétés). Elles traduisent les associations (pertinentes) existant entre les concepts présents dans le segment analysé de la réalité. Elles sont formellement définies comme étant tout sous-ensemble d'un produit de  $n$  ensembles, c'est-à-dire :  $R: C_1 * C_2 * \dots * C_N$  [Gomez-Pérez, 1999]. Par exemple, « généralisation-spécialisation » (ou sous-classe-de ou is-a), « agrégation-composition » (ou partie-de ou part-of); « disjonction »; etc. Ces relations nous permettent d'apercevoir, la structuration et l'interrelation des concepts, les uns par rapport aux autres ;
- **fonctions**. Elles sont des cas particuliers de relations dans lesquelles le  $n^{\text{ième}}$  élément (extrant) de la relation est unique pour les  $n-1$  éléments (intrants) précédents [Gomez-Pérez, 1999]. Formellement, les fonctions sont définies telles que :  $F: C_1 * C_2 * \dots * C_{n-1} \rightarrow C_n$ . Par exemple, « mère-de » et « carré » sont des fonctions binaires. Tandis que, « prix-de voiture-usagée » qui calcule le prix d'une voiture de seconde main en fonction du modèle de voiture, de la date de fabrication et du nombre de kilomètres est une fonction tertiaire ;
- **règles** (ou axiomes). Elles constituent des assertions, acceptées comme vraies, à propos des abstractions du domaine traduites par l'ontologie ;

- *Instances* (ou individus). Elles constituent la définition extensionnelle de l'ontologie; ces objets véhiculent les connaissances (statiques, factuelles) à propos du domaine du problème.

### 1.2.3 Types d'ontologies

Plusieurs typologies d'ontologies ont été proposées dans la littérature [Uschold et al., 1996], [Psyché, 2003], [Furst, 2004], [Lazrek et al., 2007]. Celle définie dans [Psyché, 2003], différencie les ontologies en fonction de l'objet de conceptualisation. Elle est composée principalement de quatre types d'ontologies :

- *Les ontologies de haut niveau.* Il s'agit d'ontologies générales. Elles décrivent des concepts très généraux comme le temps, l'espace, les relations. Ces ontologies sont indépendantes d'un domaine d'application.
- *Les ontologies de tâches.* Elles sont utilisées pour conceptualiser des tâches spécifiques dans un domaine. Elles définissent un vocabulaire qui décrit le processus mettant en évidence les acteurs, les principales opérations relatives à une tâche d'un domaine ainsi que les entrées et les produits de ces opérations; par exemple, des ontologies de tâches ont été définies pour l'apprentissage, telle que « *Learning Goal Ontology* » [Inaba et al., 2000] qui décrit les rôles des apprenants et des agents dans le cadre d'un apprentissage collaboratif.
- *Les ontologies de domaine.* Elles définissent un vocabulaire qui décrit un domaine d'application particulier comme le domaine informatique ou le domaine de l'astronomie [Nauer et al., 2006]. En relation, avec les ontologies de tâches, les ontologies de domaine caractérisent les connaissances du domaine dans lequel les tâches sont réalisées.
- *Les ontologies d'application.* Elles combinent les ontologies de tâches et les ontologies de domaine. Elles permettent de mettre en relation les concepts d'un domaine et les concepts d'une tâche particulière pour en décrire l'exécution.

### 1.2.4 Représentation des ontologies

Actuellement, il existe des langages de normalisation pour représenter des ontologies. Le premier langage spécifié par le W3C a été RDF [Klyne et al., 2004], suivi par le langage OWL qui propose de représenter une ontologie en termes de concepts, de relations entre ces concepts et d'instances.

- **RDF** (Resource Description Framework) [W3C, 2004] : cette norme accroît les possibilités d'exploitation des métadonnées. Créée par le W3C (World Wide Web Consortium), RDF facilite l'insertion et le traitement des métadonnées. Les métadonnées sont des données à propos des données. Par exemple, un catalogue de bibliothèque est une compilation de métadonnées, puisqu'il décrit les publications. Dans le contexte du traitement des documents sur la toile, les métadonnées sont des données décrivant les ressources disponibles. RDF peut être utilisé pour établir des ontologies. RDF est basé sur un modèle pour représenter des propriétés et des valeurs de propriétés données. Un document RDF est un ensemble de triplets de la forme < sujet, prédicat, objet > qui signifie que le sujet  $x$  a comme valeur pour le prédicat (propriété)  $y$  l'objet  $z$ . Les éléments de ces triplets  $(x,y,z)$  peuvent être des URIs (Universal Resource Identifiers) [Berners Lee et al., 1999], des littéraux ou des variables.

Le langage RDF présentait des limites ; le manque d'expression des connaissances ne permettait pas notamment le traitement automatique de l'information. Il a été enrichi pour donner naissance à OWL [Bechhofer et al., 2004].

- **OWL** (Web Ontology Language) [W3C, 2004] est un langage de description d'ontologies conçu pour la publication et le partage d'ontologies sur le web sémantique. Le langage d'ontologie Web OWL est conçu pour des applications qui doivent traiter le contenu des informations plutôt que de simplement les présenter aux humains. Le langage OWL offre aux machines de plus grandes capacités d'interprétation du contenu Web que ce langage y ajoute plus de vocabulaire pour décrire les propriétés et les classes entre autres, les relations entre les classes, cardinalité, égalité,

typage de propriétés plus riche, caractéristiques des propriétés et les hiérarchies des propriétés et des classes. OWL possède des sous-langages de plus en plus expressifs OWL Lite, OWL DL et OWL Full.

## 1.2 Usages des ontologies

Les ontologies ont de nombreux domaines d'application mais leurs finalités peuvent être parfois très différentes. Plusieurs chercheurs tels que [Miszoguchi et al., 2000], [Gruninger et al., 2002], [Psyché et al., 2003], [Benayache, 2005] et [Dicheva et al., 2005] se sont intéressés aux usages des ontologies :

- *Le partage et la réutilisation de connaissances.* Les ontologies peuvent définir un vocabulaire commun pour améliorer la réutilisation des connaissances d'un domaine. Ce vocabulaire peut être partagé et réutilisé par différents utilisateurs pour réduire la confusion conceptuelle et terminologique. Dans un cadre d'enseignement à distance par exemple, les ontologies peuvent permettre de réduire la distance sémantique entre le vocabulaire du concepteur de contenus pédagogiques (enseignant) et celui utilisé par les apprenants.
- *La description sémantique des données.* Dans le contexte du web sémantique, les ontologies peuvent être utilisées pour ajouter des informations sémantiques à des ressources Web (services, pages, documents,...). Ces ontologies permettent le plus souvent d'annoter les ressources en vue de faciliter leur recherche et d'adapter leur sélection en fonction des besoins. En relation avec les travaux de standardisation portant sur les métadonnées utilisées pour décrire les objets pédagogiques, les ontologies peuvent être mises en œuvre pour augmenter la sémantique de ces métadonnées [Hernandez et al., 2008].
- *L'automatisation de tâches.* En relation directe avec la description sémantique des ressources sur le web, les ontologies peuvent être utilisées pour automatiser les tâches de recherche et de composition de services Web [Martin et al., 2004] et [Arenaza, 2006]. En effet, la définition d'un ensemble de termes communs à un ou plusieurs domaines de connaissance facilite

l'exploitation et l'interprétation de ces données par des programmes exécutables, par des outils. Les ontologies aident ainsi à définir des normes de représentation de données sous une forme qui peut être manipulée par des machines.

### 1.3 Utilisation des ontologies dans les systèmes d'apprentissage

Différents travaux de la littérature utilisent les ontologies :

- *Memorae* (MEMoire Organisationnelle Appliquée à l'apprentissage en ligne) [Lenne et al., 2005], [Abel et al., 2003] est un outil d'apprentissage en ligne et d'indexation de ressources. Cet outil met à la disposition des apprenants des ressources pédagogiques, soit au sein d'une banque de ressources locale, soit dans un emplacement distant sur le Web, référencé par son URI (Uniform Resource Identifier).

*Memorae* représente la connaissance du système à l'aide d'ontologies. Une ontologie *de domaine de la formation* décrivant les concepts tels que les personnes (étudiants, tuteurs, secrétaires,...), les documents (livres, supports de présentation, pages Web,...), et une *ontologie d'application* pour les notions à appréhender.

- *Gasevic et Hatala* [Gasevic et Hatala, 2005] proposent un outil permettant aux utilisateurs de formuler des requêtes libres afin de retrouver des ressources pédagogiques particulières. Ce mécanisme permet aussi aux utilisateurs de rechercher de l'information dans une banque de ressources distante.

Gasevic et Hatala [Gasevic et Hatala, 2005] considèrent différentes ontologies pour la recherche de ressources pédagogiques dans une banque de ressources distante. Une ontologie *source* (ontologie de domaine) prend en compte le contexte du cours présenté alors qu'une ontologie *cible* (ontologie d'application) décrit la banque de ressources. Une ontologie de *correspondance* sert à décrire la correspondance ou la similarité entre les concepts de l'ontologie source et ceux de l'ontologie cible.

Gasevic et Hatala [Gasevic et Hatala, 2005] intègrent la notion de scénario pédagogique grâce à une ontologie basée sur la norme IMS-LD (Instructional Management Systems learning Design).

- *Hernandez [Hernandez, 2005]* met l'accent sur la séparation des aspects de tâche et de thème tout en les mettant en relation. Chaque aspect est modélisé par une ontologie de domaine. Tandis que l'ontologie de *thème* spécifie les notions qui doivent être assimilées par des étudiants pour une formation donnée, l'ontologie de *tâche* a pour but de préciser les contextes d'apprentissage en spécifiant les ressources disponibles (ouvrage, logiciel,...), les modules qui composent ces ressources, leur type (cours, exercices, évaluation) ainsi que l'ordre dans lequel ils doivent être étudiés. Cette formalisation permet d'établir les connaissances associées à ces deux aspects à travers des relations sémantiquement riches. Le système d'apprentissage présente cette formalisation à l'utilisateur par un mécanisme d'exploration du corpus pédagogique reposant sur les deux ontologies.

Ces travaux montrent que l'usage des ontologies dans les systèmes pédagogiques actuels permet à la fois l'enrichissement sémantique de la description des ressources requis par le contexte du Web et l'interopérabilité utile pour le partage des ressources pédagogiques. Les recherches récentes montrent aussi un usage des ontologies dans l'assemblage de ces ressources comme dans le système SIMBAD (cf. Section 3.5, Chapitre 1).

*Dans l'approche proposée, nous utilisons les ontologies à la fois pour obtenir une description sémantique des ressources pédagogiques et pour faciliter leur recherche et leur composition afin de générer des cours adaptés aux profils des apprenants. Plus spécifiquement, les domaines des formations en ligne visées sont représentés sous forme d'ontologies qui sont utilisées pour indexer sémantiquement les objets pédagogiques à des fins de partage et de réutilisation déterminants pour l'adaptation.*

## 2. Raisonnement à Partir de Cas

### 2.1 Présentation

Le Raisonnement à Partir de Cas (RÀPC) ou Case Based Reasoning (CBR) est une approche de résolution de problèmes qui utilise des expériences passées pour résoudre de nouveaux problèmes [Leake, 1996].

Les fondements du RàPC Proviennent de travaux en science cognitive menés durant les années 80 [Riesbeck et Schank, 1989]. Ces travaux se basent sur la théorie développée par les psychologues notamment [Bruner et al., 1956] qui s'intéressait à la façon dont se construisent les connaissances (procédurales et déclaratives) par induction à partir d'exemples et de cas.

Les travaux de Schank avaient pour but de déterminer le rôle de la mémoire dans le raisonnement humain. Ils ont mené à la théorie de la mémoire dynamique selon laquelle les processus cognitifs de compréhension, de mémorisation et d'apprentissage utilisent une même structure de mémoire. Cette structure, les « Memory Organization Packets » (MOP), contient les descriptions d'expériences passées et de situations stéréotypées. Le RàPC s'inspire également du raisonnement par analogie dont il est considéré comme un type particulier [Mille, 1995].

### 2.2 Les applications du RàPC

L'approche RàPC peut être utilisée dans différents contextes applicatifs incluant les applications suivantes :

- Résoudre des problèmes de classification, de diagnostic, de configuration, de design et de planification.
- Aider la décision. Actuellement les systèmes de "help-desk" sont la principale application commerciale du RàPC. Ce sont des systèmes qui fournissent aux analystes des recommandations sur les actions à entreprendre dans des situations routinières.

- Préserver et exploiter la connaissance des entreprises. Le domaine de la gestion de connaissance (Knowledge Management) a connu une importante expansion ces dix dernières années.
- Rechercher des informations sur des domaines restreints. Une application de ce type est l'exploitation de documents structurés tels les FAQ (Frequently-Asked Questions).

L'approche RàPC offre de nombreux avantages, elle limite notamment les difficultés afférant à l'acquisition de connaissances et facilite ainsi la construction de bases de connaissances de taille importante. De plus, le RàPC est particulièrement bien adapté pour les applications ayant les caractéristiques suivantes [Heraud, 2002] :

- Une analyse détaillée du domaine n'est pas nécessaire pour obtenir des solutions satisfaisantes et la tâche n'exige pas une solution optimale.
- Un modèle du domaine ne peut pas être élaboré parce que le domaine est mal formalisé (peu de documentation, expert non disponible) ou parce qu'il n'existe pas de principes généraux qui sont éprouvés.
- Les situations sont répétitives et les solutions sont réutilisables. Ces situations sont telles que de petites différences dans le problème entraînent de petites différences dans la solution. De plus, cette adaptation valide à un moment le demeure à un autre moment.

### 2.3 Qu'est-ce qu'un cas ?

Leake et Kolodner [Leake et al., 96] définissent le cas comme un savoir contextualité, représentant une expérience, et qui permet de résoudre un problème, de poursuivre un raisonnement. Tous les événements, les situations ne sont pas de cas. Un cas doit être utile, il doit contribuer à la résolution d'une tâche.

Typiquement un cas contient au moins deux parties : le problème et la solution.

- **Le problème** : c'est la description du problème qui regroupe les buts à atteindre pour la résolution et les contraintes. Ces contraintes sont les conditions qui permettent d'atteindre ces buts.
- **La solution**: c'est-à-dire comment le problème a été résolu et dans quelles circonstances. Il s'agit soit de la solution elle-même, soit du processus qui a mené à la solution.
- Parfois, le cas décrit également les conséquences résultant de l'application de la solution (succès ou échec): **le résultat**. C'est l'état de l'environnement résultant de la solution pour permettre un retour d'informations à l'utilisateur.  
Globalement, on indique si le résultat est une réussite ou un échec (et si oui pourquoi).

## 2.4 Le cycle du RàPC

Raisonnement à partir de cas consiste à résoudre un nouveau problème, appelé *problème cible*, en utilisant un ensemble de problèmes déjà résolus [Riesbeck et Schank, 1989], [Kolodner, 1993]. Un *cas source* désigne un épisode passé de résolution de problèmes et une base de cas un ensemble de cas sources. Un cas source (*srce*,  $Sol(srce)$ ) est un couple composé d'un problème source *srce* accompagné de sa solution  $Sol(srce)$ .

Un système RàPC peut être décrit par un cycle d'étapes mobilisant des connaissances qui permettent d'exploiter les expériences passées. Un modèle générique a été proposé par Agnar Aamodt et Eric Plaza [Aamodt et Plaza, 1994] pour décrire les différentes étapes du processus de résolution RàPC. Ce modèle fut ensuite étendu pour ajouter notamment la phase d'élaboration [Mille, 1999].

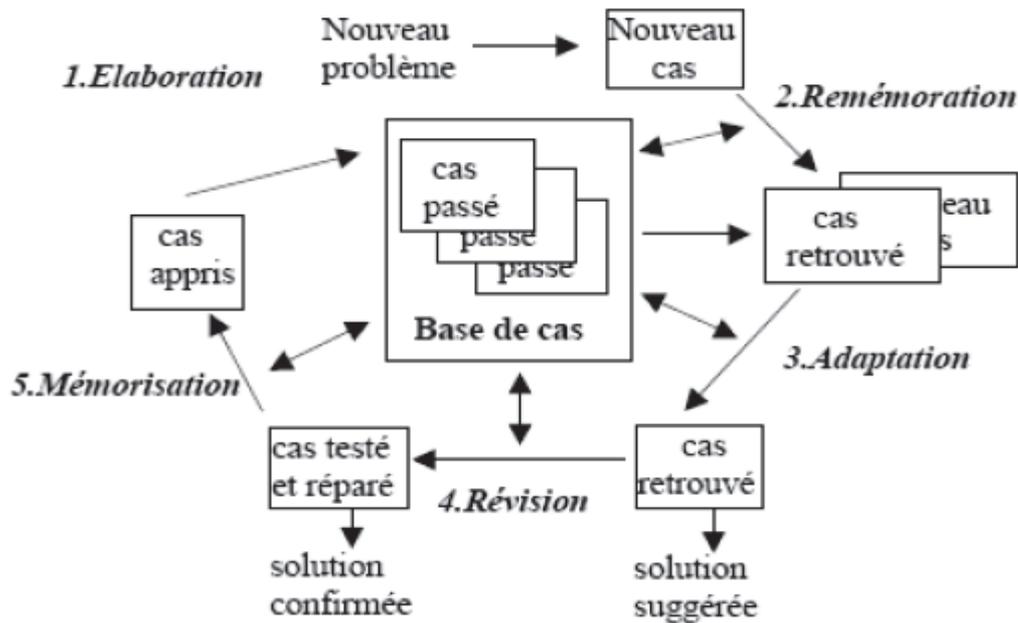


Figure 1 : Le cycle du RAPC [Mille, 1999]

Dans le modèle présenté en Figure 1, on note les phases suivantes : élaboration, remémoration, adaptation, révision et mémorisation.

- **Élaboration** : Cette première phase consiste à créer un cas en complétant et/ou en filtrant la description du problème. Dans cette phase, il est important d'anticiper l'adaptabilité des cas qui seront remémorés en basant l'élaboration sur les connaissances d'adaptabilité [Mille, 1999].
- **Remémoration** : La phase de remémoration consiste à chercher le ou les cas sources jugés les plus similaires à cible noté ( $srce, Sol(srce)$ ). Elle s'appuie souvent sur une organisation de la base de cas par une hiérarchie d'index (un index étant une abstraction ou une généralisation d'un problème source) et/ou sur une mesure de similarité. Pour spécifier la remémoration, il faut spécifier la notion de similarité entre problèmes. Pour ce faire, le principe de la remémoration guidée par l'adaptation est utile [Smyth et Keane, 1996]. Ce principe dit quel cas source le plus proche est celui qui demandera le moins d'effort d'adaptation. Ainsi, la modélisation de la similarité

entre problèmes se ramène à une modélisation de la similarité, au sens de « mesure de la transformation », entre solutions. L'application de ce principe a des conséquences à la fois sur le choix d'une mesure de similarité et sur l'indexation. En particulier, l'indexation a en général pour objectif de généraliser (et/ou abstraire) le problème source en vue de la résolution de problème qui a conduit à la solution du cas source.

- **Adaptation :** La phase d'adaptation dans le cycle du RàPC est le processus proposant une solution à un nouveau problème à partir des solutions appartenant aux cas sources mémorisés [Lopez de Mantaras et al., 2005]. Fuchs et al [Fuchs et al., 1999] considèrent l'adaptation comme un plan dont l'état initial est la solution de départ et l'état final est la solution adaptée. Lieber et al [Lieber et al., 2004] considèrent que la phase d'adaptation consiste à effectuer un raisonnement par analogie : « *sachant que la solution du cas cible est à la solution du cas source ce que le cas cible est au cas source, connaissant le cas source et sa solution ainsi que le cas cible, que vaut la solution du cas cible ?* » L'adaptation termine « l'inférence analogique » en calculant la solution possible au problème du cas cible inspirée de la solution du cas source le plus similaire. Cette phase peut se faire soit *via* une intervention humaine (manuelle) soit d'une manière automatique à l'aide d'algorithmes, de méthodes, de formules, de règles, etc.

Différentes approches ont été proposées dans la littérature pour réaliser l'étape d'adaptation en RàPC [Badra, 2009].

### ***1. Les approches transformationnelle et dérivationnelle de l'adaptation***

Parmi les approches qui ont été proposées pour modéliser l'adaptation, on peut distinguer deux grands types d'approches : l'approche « par transformation » et l'approche « par dérivation ». L'approche par transformation de l'adaptation consiste à déterminer une modification à appliquer à la solution du (ou des) cas source(s) mémorisé(s). L'approche par dérivation de

l'adaptation consiste à adapter la méthode utilisée pour obtenir cette solution.

## 2. *Les approches par décomposition*

L'adaptation est elle-même une tâche de résolution de problèmes. Une stratégie générale de résolution de problèmes consiste à décomposer un problème en sous-problèmes plus simples. L'idée des approches de l'adaptation par décomposition est donc de décomposer la tâche d'adaptation en sous-tâches plus simples.

L'adaptation par combinaison de cas est une forme d'adaptation dans laquelle plusieurs cas sources sont remémorés pour un problème d'adaptation donné puis une solution est composée à partir des solutions Sol (srce) des différents cas sources remémorés.

## 3. *L'adaptation interactive*

L'adaptation interactive consiste à impliquer l'utilisateur dans l'étape d'adaptation. L'intervention de l'utilisateur peut être utilisée pour :

- lui demander d'effectuer l'adaptation manuellement (comme dans le système DIAL [Leake et al.,1996 ; Leake et al., 1997], [Kinely, 2001]), affiner un modèle des préférences de l'utilisateur qui est utilisé dans l'adaptation ( comme dans le système WebAdapt [Leake et Powell, 2007 ; Leake et Powell, 2008]),
- affiner, dans un processus itératif, une solution proposée par le système (comme dans les systèmes IDIOM [Smith et al., 1995], FrakaS et IakA [Cordier, 2008]). Lorsqu'elle est couplée à une acquisition de connaissances, comme dans les systèmes FrakaS et IakA, l'interaction avec l'utilisateur est utilisée pour

incorporer dans le système RàPC de nouvelles connaissances qui sont ensuite utilisées pour régénérer une solution corrigée.

#### 4. *L'adaptation à partir de cas*

L'adaptation à partir de cas consiste à appliquer un processus de raisonnement à partir de cas à la tâche d'adaptation elle-même. L'adaptation est alors réalisée en raisonnant sur un ensemble d'expériences passées d'adaptation.

#### 5. *L'adaptation comme une tâche de recherche*

L'adaptation peut également être formulée comme une tâche de recherche dans l'espace des solutions *Solutions*, où l'état initial est la solution *Sol(srce)* d'un cas source remémoré et l'état final une solution *Sol(cible)* pour le problème cible. Cette recherche s'effectue par l'application d'opérateurs d'adaptation, qui sont des transformations effectués dans l'espace des solutions. Plusieurs types d'opérateurs d'adaptation sont utilisés dans la littérature pour modifier *Sol(srce)* :

- des opérateurs de copie, qui ne réalisent aucune transformation mais se contentent de recopier *Sol(srce)*,
- des opérateurs d'ajustement, qui modifient certaines valeurs de paramètres entrant en jeu dans *Sol(srce)*,
- des opérateurs de substitution, qui modifient *Sol(srce)* en ajoutant, supprimant ou substituant certains de ses constituants,
- des opérateurs de transformation, qui opèrent une modification structurelles dans la solution *Sol(srce)* (en changeant l'ordre des composants par exemple),
- des opérateurs de généralisation-spécialisation, qui exploitent une structuration hiérarchique de la base de

- cas pour généraliser tout ou partie de  $Sol(srce)$  puis respecialiser en une solution pour le problème cible,
- des reformulations, qui représentent un ensemble de liens entre l'espace des problèmes et l'espace des solutions. Certains systèmes comme JUDGE [Bain, 1996] utilisent un petit ensemble d'opérateurs prédéfinis. Mais dans beaucoup de systèmes, une recherche en mémoire est effectuée pour déterminer les informations nécessaires à l'instanciation d'un type opérateur particulier.

C'est cette approche qui est retenue pour réaliser la phase d'adaptation du processus RàPC dans notre système.

- **Révision** : C'est lors de la phase de révision que la solution proposée peut être corrigée, acceptée ou refusée par l'utilisateur. Cette étape permet d'évaluer l'adaptation. Elle permet également de préparer l'apprentissage puisqu'elle fait émerger de nouvelles connaissances : une nouvelle solution (acceptée ou refusée) mais aussi des connaissances d'adaptation si certaines corrections ont été apportées par l'utilisateur [Aamodt, 1991], ou des connaissances de remémoration si celle-ci n'est pas jugée satisfaisante [Fox et Leake, 1994]. Le résultat de l'évaluation de la solution met en évidence une insuffisance de l'adaptation à produire une solution satisfaisante ou de la remémoration à sélectionner le cas adéquat. L'étape de révision permet également d'évaluer l'utilité du cas nouvellement résolu et d'élaborer une stratégie de rétention ou d'oubli des cas selon leur contribution à la compétence du système [Smyth et Keane, 1995].
- **Mémorisation** : La phase de mémorisation permet de prendre en compte l'expérience qui vient d'être réalisée pour servir à des résolutions ultérieures. Ces dernières étapes du raisonnement sont généralement à la charge de l'expert du domaine responsable du système. On peut alors considérer que la fonction de mémorisation qui consiste à ajouter des

nouveaux cas ou modifier des connaissances pour résoudre des situations d'échec correspond à un apprentissage supervisée.

La phase de mémorisation soulève également un certain nombre de problématiques de recherche. Les questions qui se posent sont avant tout de savoir quelles sont les connaissances qui doivent être apprises et comment les apprendre. La plupart des recherches portent sur l'apprentissage des cas passés résolus, des méthodes d'indexation et de l'organisation de la base de cas, mais plus rares sont les recherches qui comme [Aamodt, 1991] s'intéressent à l'apprentissage de connaissances implicites telles que les connaissances de similarité ou d'adaptation.

## 2.5 Connaissances du RàPC

Lors du déroulement de ce cycle, quatre catégories de connaissances en relations étroites sont utilisées :

- *La base de cas* : l'ensemble des expériences structurées qui seront exploitées durant les phases de recherche, d'adaptation et de mémorisation.
- *Le vocabulaire d'indexation* : un ensemble d'attributs descriptifs qui caractérisent la description de problèmes et de solutions du domaine. Ces attributs sont utilisés pour construire la base de cas et jouent un rôle important lors de la phase de recherche.
- *Les mesures de similarité* : des fonctions pour évaluer la similarité entre deux ou plusieurs cas. Ces mesures sont définies en fonction du vocabulaire d'indexation et sont utilisées pour la recherche dans la base de cas.
- *Les connaissances d'adaptations* : des heuristiques du domaine, habituellement sous forme de règles ou d'algorithmes permettant de modifier les solutions et d'évaluer leur applicabilité à de nouvelles situations.

Dans [Lamontagne et Lapalme,2002], les auteurs présentent un modèle générique d'un système de RàPC dans lequel ils combinent le cycle du RàPC avec les connaissances permettant de préserver et d'exploiter les expériences passées. Ce modèle générique est présenté dans la Figure 2.2 ci-dessous.

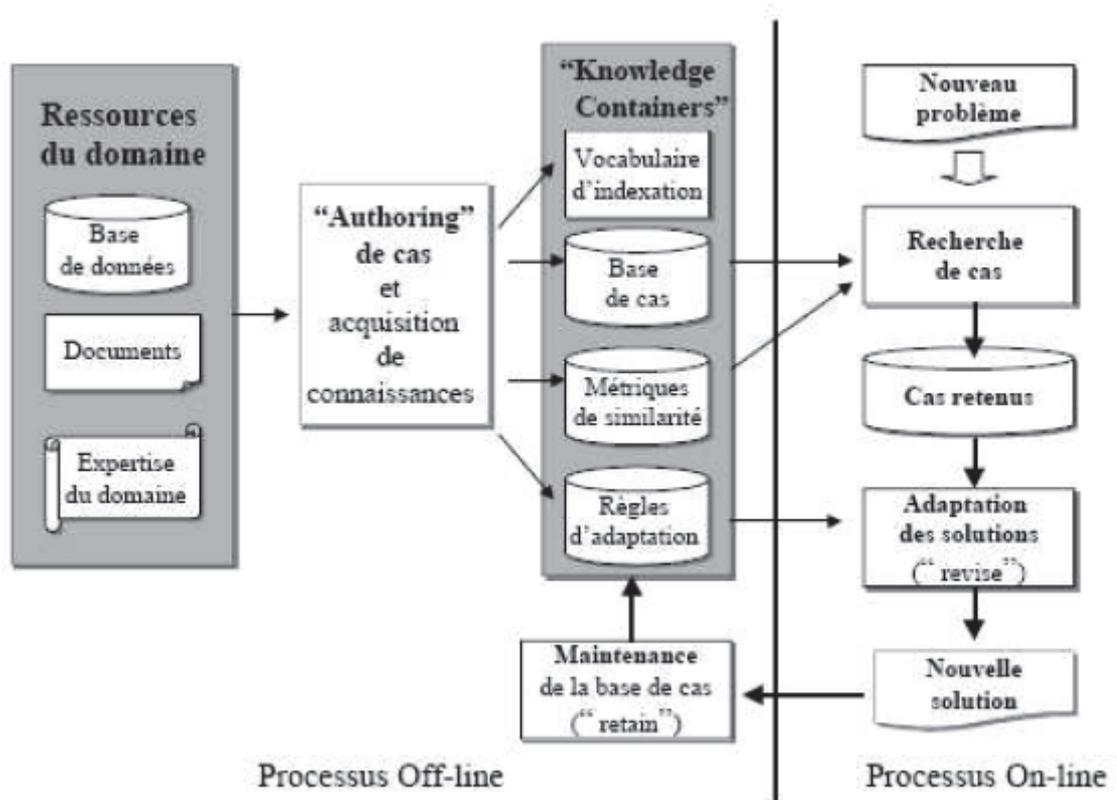


Figure 2.2 : Modèle générique d'un système de RàPC [Lamontagne et Lapalme, 2002]

Nous nous basons sur ce modèle pour la conception de notre système de RàPC pour l'adaptation.

## 2.6 Utilisations du RàPC en EIAH

Le RàPC est une technique utilisée depuis quelques temps dans le domaine des EIAH. Il peut intervenir dans diverses composantes d'un EIAH.

- *RàPC pour résoudre des problèmes*

Le RàPC a d'abord été employé comme résolveur de problèmes. Une application possible consiste à proposer à l'apprenant non seulement la solution du problème comme dans un tuteur classique, mais aussi

l'ensemble des étapes qui ont conduit à la solution (étapes du cycle de RàPC que le résolveur a réalisées pour résoudre le problème donné). C'est ainsi que fonctionne le système CATO [Aleven, 2003], un EIAH qui propose aux étudiants en droit une argumentation complète à partir d'études de cas. Le système de RàPC génère son argumentation à partir d'une base de cas. Toutes les étapes du cycle sont couvertes dans le but de montrer à l'apprenant le processus de raisonnement qui mène à la solution.

- ***RàPC pour modéliser les connaissances de l'apprenant***

La modélisation des connaissances de l'apprenant peut être réalisée grâce au RàPC. Ainsi, il peut permettre de comparer la production de l'apprenant à la solution d'un expert [Shiri et al., 1998], de représenter la progression de l'apprenant [Khan, 2000], ou encore de diagnostiquer ses erreurs [Aka et Frasson, 2002].

- ***RàPC pour sélectionner une stratégie d'apprentissage***

Le RàPC peut également permettre la sélection d'une stratégie d'apprentissage adaptée à l'apprenant [Gilbert, 2000]. Par comparaison du modèle de l'apprenant avec les évaluations d'autres apprenants (formant une base de cas).

- ***Construction d'un parcours dans un hypermédia***

Le RàPC peut aussi permettre de proposer des parcours de navigation adaptés à l'apprenant dans un hypermédia [Funk et Conlan, 2002], [Héraud, 2002] en comparant le modèle de l'apprenant avec les parcours d'autres apprenants qui forment la base de cas.

- ***RàPC pour l'apprentissage des méthodes***

L'apprentissage de méthodes s'applique à certains domaines dans lesquels les apprenants éprouvent des difficultés à mettre en relation les cours théoriques avec la résolution de problèmes en pratique. Le raisonnement à partir de cas paraît donc approprié à ce type d'apprentissage. Dans le cadre du projet AMBRE [Guin-Duclosson et al., 2001], l'apprenant doit choisir un cas proche dans la base de cas pour ensuite l'adapter pour la résolution du

nouveau problème. La base de cas s'agrandit par la mémorisation des exercices que l'apprenant résout.

- *L'enseignement à partir de cas*

Les systèmes fondés sur cette stratégie d'apprentissage proposent un cas proche à l'apprenant lorsque celui-ci est en difficulté lors de la résolution d'un problème, ou lorsqu'il est face à un problème jamais rencontré (d'un nouveau domaine ou d'un nouveau type).

Dans ces systèmes on peut trouver différents niveaux d'interactivité entre l'apprenant et l'environnement informatique [Tourigner et al, 2000]. L'apprenant peut demander au système de lui retrouver un exemple similaire, de lui expliquer comment ce cas a été résolu ; le système peut aussi lui proposer la résolution complète de son exercice comme dans CATO [Aleven, 1997].

Le logiciel SPIEL [Burke et Kass, 1996] est un exemple d'utilisation de l'enseignement à partir de cas. Il propose une aide pour l'apprentissage de conduites sociales adaptées par la remémoration de clips vidéo représentant des cas. La remémoration du clip peut intervenir tout au long de l'interaction entre l'étudiant et un logiciel de simulation, lorsque que le système détecte que l'étudiant a pris un risque ou a rencontré un échec dans l'interaction. Ce système a pour but de mettre en contact les étudiants avec l'expérience des experts.

*L'utilité du RàPC pour notre approche paraît désormais évidente. La réutilisation de l'expérience ou les traces des apprentissages devra permettre de guider l'adaptation du contenu des activités éducatives proposées aux apprenants. Pour cela nous proposons un modèle de réutilisation de l'expérience. Ce modèle de raisonnement, étroitement lié au raisonnement à partir de cas consiste à proposer aux apprenants de suivre les traces similaires des apprenants ayant réussi à atteindre le même objectif. Cette ressemblance est notamment basée sur la similarité des objectifs des apprenants, leurs connaissances et leurs préférences.*

### 3. Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre les approches d'appui sur lesquelles s'appuie notre travail à savoir : les ontologies et le paradigme RàPC.

Les ontologies définissent une terminologie réutilisable et partageable par ceux qui conçoivent les contenus pédagogiques (enseignants) et ceux qui les utilisent (apprenants). Ainsi, et dans un souci de faciliter la recherche et l'adaptation des contenus pédagogiques, nous utilisons les ontologies pour représenter les connaissances relatives aux apprenants, au domaine de la formation et pour modéliser les expériences d'apprentissages constituant les cas d'une base de cas exploitée par un moteur de RàPC pour fournir à l'apprenant un cours adapté à ses besoins, ses connaissances antérieures du domaine et ses préférences.

Le prochain chapitre détaille l'approche que nous proposons à cet effet.

## Chapitre 3

# Présentation générale de l'approche proposée

La conception de nouvelles formations par la reconfiguration d'unités d'enseignements dans des contextes différents est une pratique courante et efficace. Pour faciliter l'adaptation des formations à des publics différents et évolutifs, il est nécessaire de choisir des configurations de base qui soient les plus « adaptables » possibles dans le nouveau contexte tout en mettant en évidence les adaptations à réaliser.

Les applications sont particulièrement importantes dans le domaine de l'enseignement à distance « e-learning » qui peuvent nécessiter de telles adaptations quasiment au cas par cas en fonction des acquis des apprenants à une formation, voire à un suivi « dynamique » de leur succès dans la formation.

Dans cette optique, nous proposons une approche qui répond à la problématique : adaptation dynamique des contenus pédagogiques au profil de réussite d'un apprenant.

L'approche est basée sur un processus d'adaptation qui repose sur l'emploi de la méthodologie du RàPC pour capitaliser et réutiliser des expériences d'apprentissage réelles ayant permis la réussite des apprenants.

Ce chapitre présente le principe et les objectifs qui ont guidé à la définition de l'approche ainsi que les éléments qui la composent. Il s'agit de l'architecture générale du système proposé.

## 1. Principe de l'approche

Dans le but de proposer une formation adaptée à l'apprenant, le processus mis en œuvre est le suivant : identifier les besoins de formation, définir les concepts acquis et les concepts à acquérir de l'apprenant, combler l'écart en adaptant au nouvel apprenant les traces de formation des apprenants qui ont réussi à atteindre le même profil cible à partir d'un profil initial similaire.

Globalement, le processus basé sur le RàPC suit les étapes suivantes [Mansouri et Hamdi-Cherif, 2011] :

*Etape 1* : L'apprenant exprime ses besoins de formation sous la forme d'objectifs d'apprentissages.

*Etape 2* : Le dispositif génère un descriptif de la formation sur lequel figurent les concepts du référentiel du domaine exprimé afin de permettre à l'apprenant de sélectionner les concepts acquis et les concepts requis en exprimant le style d'apprentissage souhaité (préférences).

*Etape 3* : Le dispositif de la formation agit de façon à combler l'écart entre les concepts acquis et les concepts requis (exécution du processus RàPC).

*Etape 4* : A chaque progression dans la formation, une opération d'évaluation permet de mesurer l'écart entre l'objectif prédéterminé que l'apprenant poursuit et le résultat obtenu. Si l'écart est important, les étapes 3 et 4 sont répétées jusqu'à ce que l'apprenant réussisse sa formation.

## 2. Usages et objectifs de l'approche

L'approche proposée est utilisée pour répondre aux besoins d'apprentissage des apprenants sur un sujet d'enseignement. On considère que les utilisateurs sont les enseignants et les apprenants qui souhaitent obtenir des solutions à leurs besoins de formation. Elle vise essentiellement les objectifs suivants :

- *Capitaliser et réutiliser des connaissances pédagogiques*

Dans les systèmes hypermédias adaptatifs dynamiques, plusieurs types de **connaissances** doivent être pris en compte : les connaissances sur le sujet d'enseignement, sur les ressources pédagogiques et les connaissances nécessaires pour prendre en compte les scénarios d'apprentissages, sur les apprenants et sur le processus d'adaptation. Ces connaissances doivent pouvoir être modélisées et capitalisées dans un souci de réutilisation et de partage entre les apprenants et les enseignants.

- *Offrir des possibilités d'adaptation des formations aux caractéristiques et besoins des apprenants.*

L'approche vise à proposer des contenus adaptés aux besoins et attentes de l'apprenant. Moulet [Moulet, 2007] souligne qu'il est nécessaire que tous les objets d'apprentissage (scénario d'un cours, livre, vidéo,...) et tous les acteurs d'apprentissage en ligne, particulièrement l'acteur apprenant soient référenciés sémantiquement. De plus, si le référencement est fait de la même façon sur une base commune, l'adaptation ne sera que plus correcte. Pour tenir compte du référencement sémantique des objets pédagogiques et de l'apprenant, les *ontologies* ont un rôle central dans notre architecture, elles sont utilisées pour décrire le modèle de domaine, le modèle de l'apprenant et le modèle d'adaptation.

- *Utiliser le RàPC pour adapter les contenus de formation aux besoins et préférences des apprenants.*

Dans la majorité des systèmes d'apprentissage adaptatifs, l'adaptation est limitée par le formalisme des règles dont le contrôle est implicite. L'adaptation imaginée, abstraite de toute situation particulière, ne pourra peut-être pas s'appliquer à la situation réelle dans l'environnement. Or le modèle d'adaptation doit d'une part permettre de représenter la situation dans laquelle se trouve l'utilisateur, la façon dont son profil est mis à jour et les techniques d'adaptation à appliquer et d'autre part il doit être flexible. Par conséquent, l'adaptation que nous concevons se fonde sur la

capitalisation d'expérience d'apprentissage en utilisant le **RàPC**. En effet, le modèle d'adaptation exploite des expériences d'apprentissage réelles issues des précédentes sessions d'apprentissage ayant fait leurs preuves et permis la réussite des apprenants. Une expérience réussie, testée et validée mérite d'être partagée afin qu'un plus grand nombre d'apprenants se l'approprient.

Pour atteindre ces objectifs et mettre en place notre approche d'adaptation de la formation au profil (besoins, préférences) de l'apprenant, nous proposons des solutions aux points suivants :

- présenter l'architecture générale du système futur ;
- décrire une structure d'adaptation en dégageant les composantes fonctionnelles qui y contribuent (le modèle du domaine, le modèle de l'apprenant et le modèle d'adaptation) ;
- proposer la stratégie d'adaptation basée sur le processus RàPC permettant de générer un cours adapté aux besoins et préférences de l'apprenant.

### **3. Architecture globale du Système d'Apprentissage en Ligne Intelligent, Adaptatif et Situé (ALIAS)**

Dans cette section nous présentons l'architecture du système ALIAS, ainsi que les différentes composantes qui le constituent à savoir, le modèle de domaine, le modèle de l'apprenant et le modèle d'adaptation. Ces modèles interagissent pour donner lieu à la création de cours adaptés à un apprenant donné. La Figure 3.1 illustre la configuration actuelle du système.

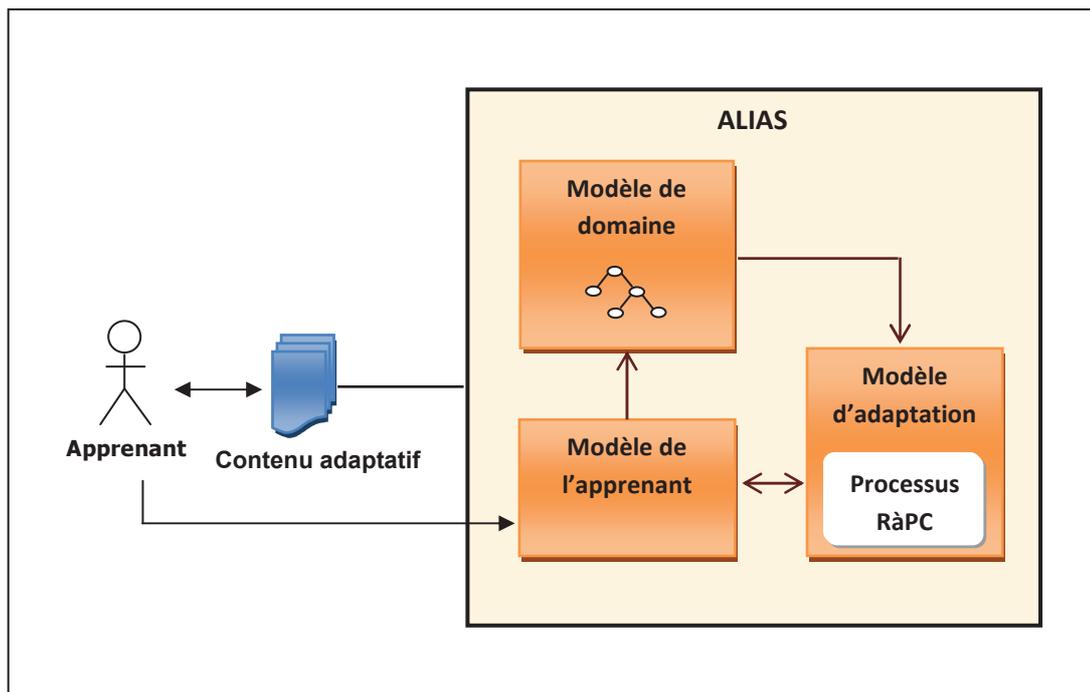


Figure 3.1 : Architecture du système ALIAS.

Dans la suite, nous allons présenter la conception de ces différentes composantes en incluant des spécifications détaillées de leurs différents constituants et les mécanismes mis en œuvre pour la stratégie d'adaptation.

### 3.1 Le modèle de domaine

D'une part, nous voulons disposer d'un système d'apprentissage qui utilise des approches pédagogiques adéquates pour mieux apprendre les notions (concepts) et les connaissances relatives à un domaine d'apprentissage particulier. D'autre part, nous voulons permettre la réutilisabilité des objets pédagogiques et des scénarios pédagogiques (Learning Design ou LD), considérée comme un apport considérable pour l'adaptation. Nous utilisons, pour modéliser le domaine d'apprentissage, le modèle de représentation sémantique et d'utilisation des objets pédagogiques proposé par Hernandez et al [Hernandez et al., 2008] pour les raisons suivantes :

- Le modèle permet une représentation sémantique des contenus et leurs usages dans le cadre d'une formation en ligne grâce à des ontologies

modélisées par le langage UML [Cranefield et Purvis, 1999] tout en respectant les normes de l'apprentissage en ligne.

- L'intérêt d'utiliser des ontologies (démonstré dans le Chapitre 2) réside d'abord dans une représentation non ambiguë de la connaissance.
- Ensuite, en associant les concepts des ontologies aux objets pédagogiques ou aux usages de ces objets (scénario d'apprentissage), il est possible d'induire un raisonnement grâce aux axiomes associés à celle-ci.

### 3.1.1 Représentation des objets pédagogiques et leurs usages

« Un objet pédagogique est défini comme toute entité numérique ou non qui peut être utilisée, réutilisée ou référencée pendant des activités d'apprentissage assistées par ordinateur (enseignement intelligent assisté par ordinateur, environnements d'enseignement interactifs, systèmes d'enseignement à distance, environnements d'apprentissage collaboratif) » [LOM, 2002].

L'application des normes du domaine de la formation en ligne, qui sont considérées comme des langages communs de description des ressources éducatives numérisées [Vidal., 2004], garantit non seulement l'interopérabilité mais également la qualité du système.

Cependant un système d'apprentissage en ligne doit permettre [Hernandez et al., 2006 ] :

- l'accès aux ressources pédagogiques pertinentes grâce à une bonne indexation des ressources [Gasevic et Hatala, 2005], [Psyché et al., 2005], [Lenne et al., 2005], [Abel et al., 2003],
- une interaction et une navigation suivant une pédagogie d'apprentissage adéquate mise en place [Psyché et al., 2005],
- la réutilisabilité des objets et des scénarii pédagogiques [Knight et al., 2005],
- la conception et la mise à jour du contenu des cours par les enseignants [Lenne et al., 2005], [Abel et al., 2003],

- le suivi individualisé des apprenants [IMS-LD, 2003].

Parmi les normes de la formation en ligne, on peut citer SCORM, LOM et IMS-LD. LOM s'intéresse à la description des ressources pédagogiques, SCORM à la structure du contenu des objets, et IMS-LD au scénario d'apprentissage. Ces différentes normes sont détaillées en annexe.

Les objets pédagogiques abordent les concepts d'un domaine donné et sont inclus dans des scénarios pédagogiques. Pour représenter un objet pédagogique, Hernandez et al [Hernandez et al., 2008] considèrent différentes connaissances (cf. Figure 3.2) :

- connaissance sur la ressource elle-même (norme LOM) et sur la structuration de l'objet (norme SCORM) ;
- connaissance sur le thème abordé par l'objet;
- connaissance sur l'ensemble des théories éducatives existantes ;
- connaissance sur le scénario pédagogique (norme IMS-LD).

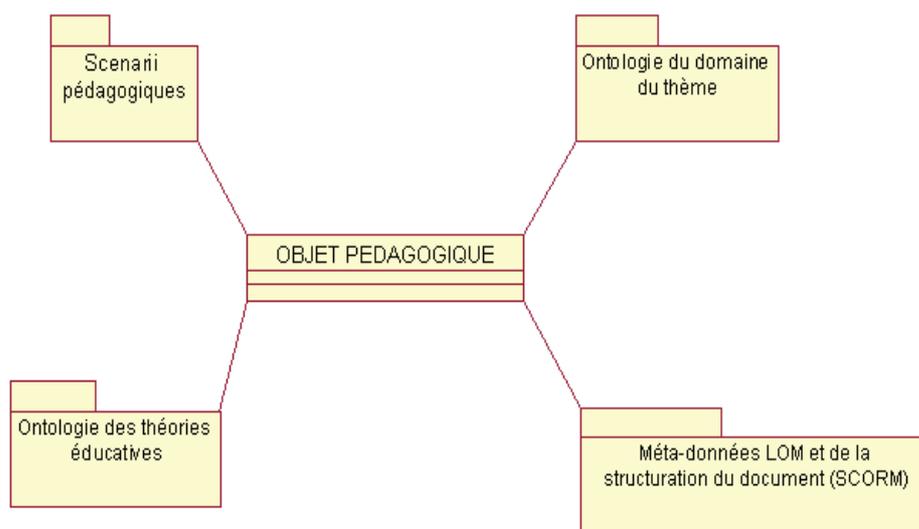


Figure 3.2 : Connaissances utiles pour représenter un objet pédagogique et son usage [Hernandez et al., 2008].

La Figure 3.2 représente le modèle utilisé pour représenter les connaissances relatives aux différents aspects d'un objet pédagogique et de ses usages. Ces aspects sont décrits dans les sections suivantes.

### 3.1.2 Description SCORM et LOM

Un *objet pédagogique* est une unité sémantique de ressource d'apprentissage. Il peut être un exercice, un sujet d'examen, une définition, un exemple, ou bien une leçon, etc. Chaque objet pédagogique peut rassembler des composants élémentaires (comme une image) nommés *Composant* qui peuvent être de format numérique (.DOC, .PDF, .JPG, etc.) ou physique différents. Un objet pédagogique peut par ailleurs être composé d'autres objets pédagogiques.

La description des métadonnées associées à un objet pédagogique correspond à celle qui est prévue par LOM. Duval et al [Duval et al., 2002] et Hernandez et al [Hernandez et al., 2008] proposent l'utilisation d'un *Profile* d'application (contexte). Une description LOM est rattachée à chaque objet pédagogique (qu'il soit élémentaire ou composé). La Figure 3.3 montre une modélisation de cette description.

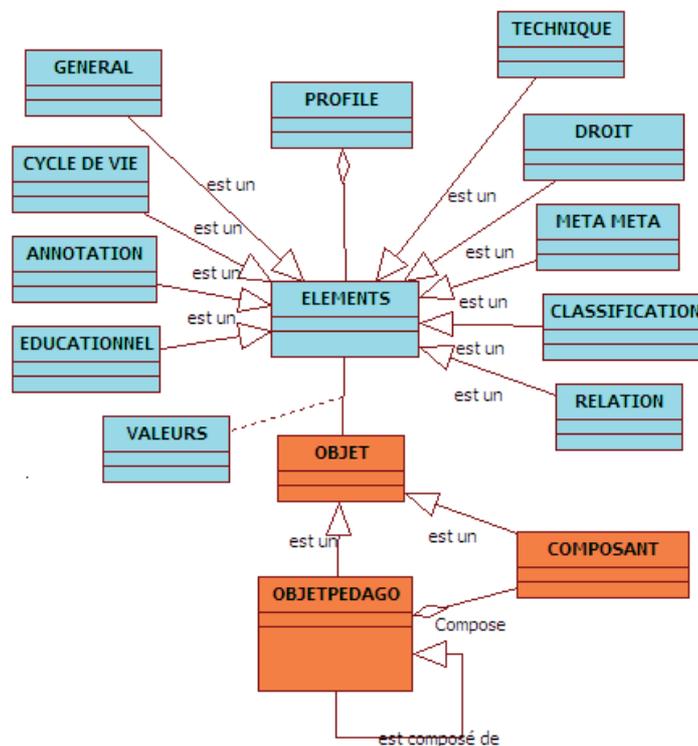


Figure 3.3: Description SCORM et LOM [Hernandez et al., 2008].

Cette modélisation permet d'une part de décrire et d'indexer tout objet pédagogique à l'aide des métadonnées de LOM et d'autre part de structurer chaque objet pédagogique suivant la norme SCORM.

Cependant, selon Hernandez, la représentation sémantique des contenus proposée dans la norme n'est pas suffisante pour permettre leur réutilisation complète ou partielle dans d'autres contextes (favoriser l'adaptation) ou d'autres systèmes. Elle doit être complétée par une représentation thématique des contenus.

### 3.1.3 Description thématique

L'ontologie du domaine du thème permet de représenter les objets pédagogiques par rapport aux thématiques ou *notions* qu'ils abordent dans le cadre de plusieurs *formations* ou de plusieurs *modules*. Les objets pédagogiques sont indexés à partir des concepts d'une ontologie de domaine du thème décrivant les thématiques abordées dans le domaine considéré. Cette ontologie décrit l'ensemble des notions en lien avec le domaine et les représente à partir de leurs liens sémantiques. Par exemple, dans le domaine de l'informatique et plus précisément des bases de données, la notion (concept) de « base de données relationnelles » se « conceptualise » à partir d'un « modèle Entité-Association ».

L'apprentissage d'une notion donnée pouvant demander un certain nombre de pré-requis, les notions correspondant à des pré-requis d'une autre notion sont également représentées dans l'ontologie (par exemple la notion d'« attribut » doit être assimilée pour appréhender la notion de « dépendance fonctionnelle »).

La Figure 3.4 présente la description d'une ontologie de thème.

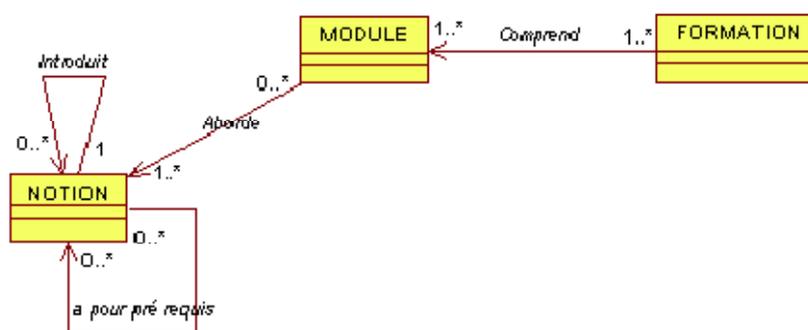


Figure 3.4: Description du domaine du thème [Hernandez et al., 2008]

La représentation sémantique du contenu des objets pédagogiques à l'aide des métadonnées qui prennent leurs valeurs à partir des concepts d'une ontologie du thème présente différents avantages d'utilisation. Ainsi, pour un module donné, les notions à assimiler sont précisées dans l'ontologie de ce thème et les objets pédagogiques relatifs à ce domaine sont indexés à l'aide des concepts de cette ontologie. Le système peut ainsi avoir accès à l'ensemble des objets pédagogiques qui sont indexés à partir des notions spécifiées par le module.

### 3.1.4 Description des théories pédagogiques

L'ontologie des théories éducatives permet de prendre en compte les différents types d'approches pédagogiques qui existent :

- *empiriste* : comprendre une réalité donnée, c'est avant tout savoir de quoi elle est faite, quels sont les faits qui la constituent ;
- *rationaliste* : comprendre une réalité donnée, c'est saisir la loi d'organisation de cette réalité, sa structure, abstraction faite du contenu particulier des faits ;
- *interactionniste* : l'apprentissage est fondamentalement abordé comme le processus par lequel le savoir circule, se construit et se transforme au sein d'une communauté d'un groupe social.

Chaque *pédagogie* appartient à un type d'approche pédagogique (Empiriste, Rationaliste, Interactionniste) [Lebrun, 2002] et est normalement constituée de

plusieurs étapes distinctes à suivre. Une pédagogie choisie pourra donner lieu à plusieurs scénarios pédagogiques (Méthodes).

Une *étape* peut être une phase d'*information*, de *motivation*, d'*interaction*, de *production* ou d'*analyse*. Elle est associée à plusieurs *actes* dans le *scénario pédagogique*. En ce qui concerne l'ontologie des théories pédagogiques, le concept *Pédagogie* décrit l'ensemble des théories d'apprentissages qui peuvent être utilisées pour bien mener des formations.

La Figure 3.5 donne une représentation des théories pédagogiques inspirée d'EML-OUNL [Koper, 2001].

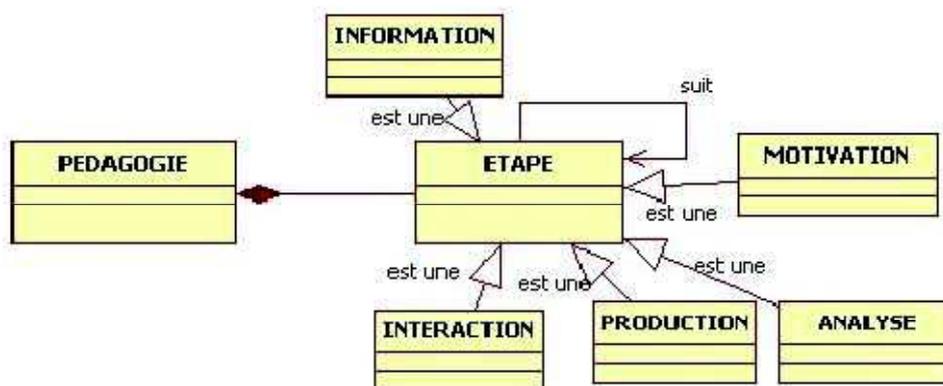


Figure 3.5: Ontologie des théories éducatives [Hernandez et al., 2008]

Les méthodes pédagogiques sont utilisées pour créer un environnement pédagogique et pour préciser la nature de l'activité à laquelle participe l'apprenant pendant le processus d'apprentissage. Parmi ces méthodes, on trouve le plus souvent : l'exemple, l'exercice, l'étude de cas, l'exposé, la simulation, l'illustration, etc.

### 3.1.5 Le scénario pédagogique

IMS-LD propose de modéliser la séquence des activités d'apprentissage attribuées à chaque rôle pour que l'objectif visé par l'apprentissage soit réalisé, tout en suivant une pédagogie bien déterminée. Les connaissances nécessaires pour prendre en compte les scénarii d'apprentissages sont les suivantes :

- Connaissance sur l'ensemble de tous les intervenants ou acteurs qui participent à l'aboutissement d'une formation donnée. Il est représenté par le *Rôle* dans le modèle. Un rôle peut être un « Enseignant », « Apprenant », « Tuteur », ou un « Administratif ». A chaque rôle est associé un ensemble d'activités à réaliser.
- Connaissance sur le déroulement de l'apprentissage d'un cours dans lequel l'objet pédagogique est utilisé (scénario). IMS-LD l'appelle *Méthode*, il peut contenir une ou plusieurs *pièces*. Une Pièce est composée d'*Actes* qui sont exécutés séquentiellement. Les actes sont composés de *Partitions* qui associent un rôle à une activité effectuée dans un *Environnement* composé d'objets pédagogiques et de services (chat, forum, supports de cours, etc.).
- Connaissance sur les activités dans lesquelles l'objet pédagogique est utilisé. Dans le modèle, l'*Activité* décrit les tâches interactives qui se déroulent entre les différents acteurs à travers le système pour l'apprentissage d'une notion donnée. Une *activité* peut être une lecture d'une ressource pédagogique, un test, une simulation, une autoévaluation, un exercice, un dialogue ou interaction directe entre apprenant et tuteur, etc. Elle traite un ensemble de notions et de compétences.
- Connaissance sur le *Contexte d'utilisation* de l'objet pédagogique : la réalisation d'une activité peut utiliser ou manipuler des Objets Pédagogiques comme support ou référentiel dans un contexte d'utilisation donné. Ainsi, un même objet pédagogique peut être considéré ou valorisé différemment d'une activité (d'une formation) à l'autre. Le *Contexte* nous permet de décrire l'usage de l'objet pédagogique dans l'activité.

L'ensemble de ces connaissances est représenté grâce à une ontologie décrite par la Figure 3.6.

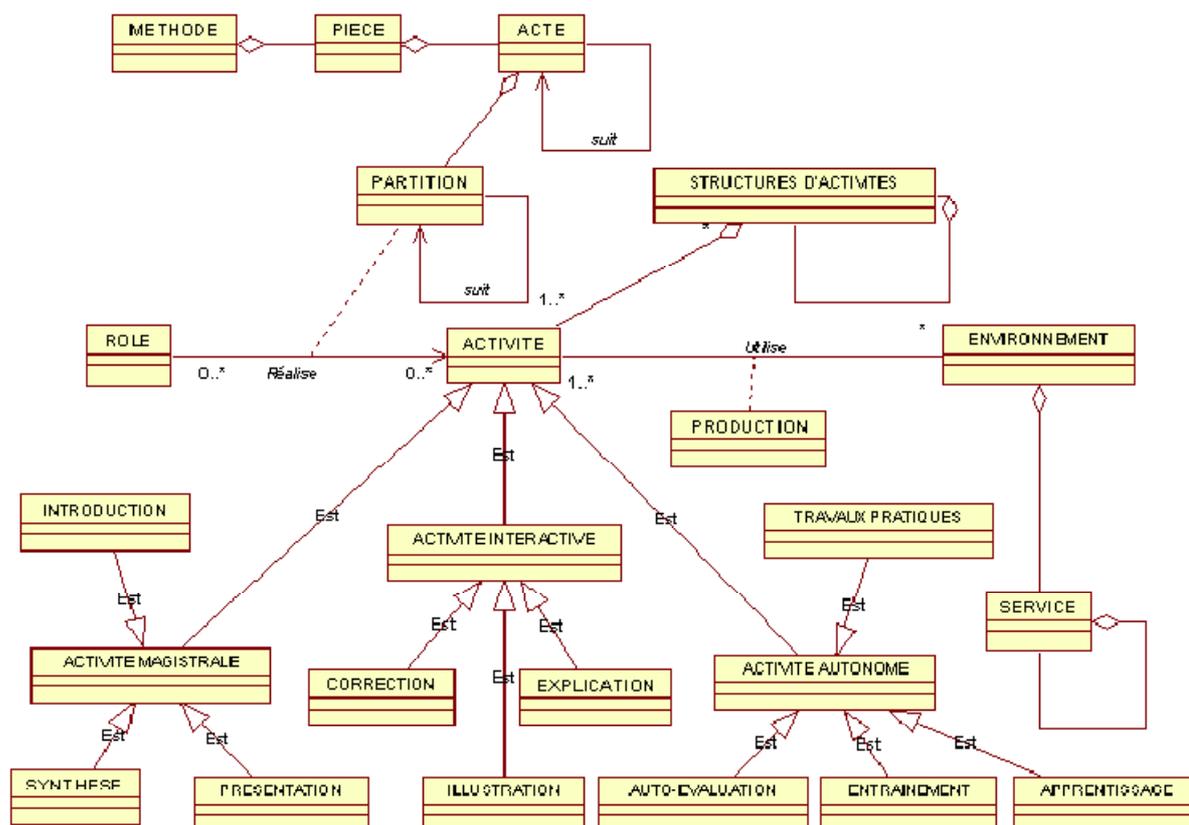


Figure 3.6 : Description des scénarii pédagogiques [Hernandez et al., 2008]

Ainsi, cette ontologie de tâche décrit les différentes activités d'apprentissages et d'enseignements, les organisations mises en place ainsi que les objets pédagogiques utilisés. Elle a été conçue dans le respect de la norme IMS-LD.

Des relations entre concepts sont introduites. Par exemple, le concept *Pédagogie* de l'ontologie des théories éducatives est relié au concept *Méthode* de l'ontologie du scénario pédagogique, cela permet de guider l'auteur (expert) dans la conception d'un cours suivant la pédagogie qu'il a choisie. De même le concept *Notion* de l'ontologie du domaine est relié au concept *Activité* car l'apprentissage d'une notion peut se réaliser dans une ou plusieurs activités.

### 3.1.6 Le modèle global

Les différentes activités d'un cours et leur organisation ainsi que les objets d'apprentissage utilisés sont représentés grâce au lien entre les classes *Activité* et *Objets Pédagogiques*. L'utilisation d'un objet dans différentes activités est spécifiée dans la classe *Contexte*. Les pré-requis des activités sont considérées au travers des

liens avec les notions abordées (dont les instances correspondent aux concepts de l'ontologie de thème). Cela correspond au lien entre les classes *Activité* et *Notion* voir Figure 3.7.

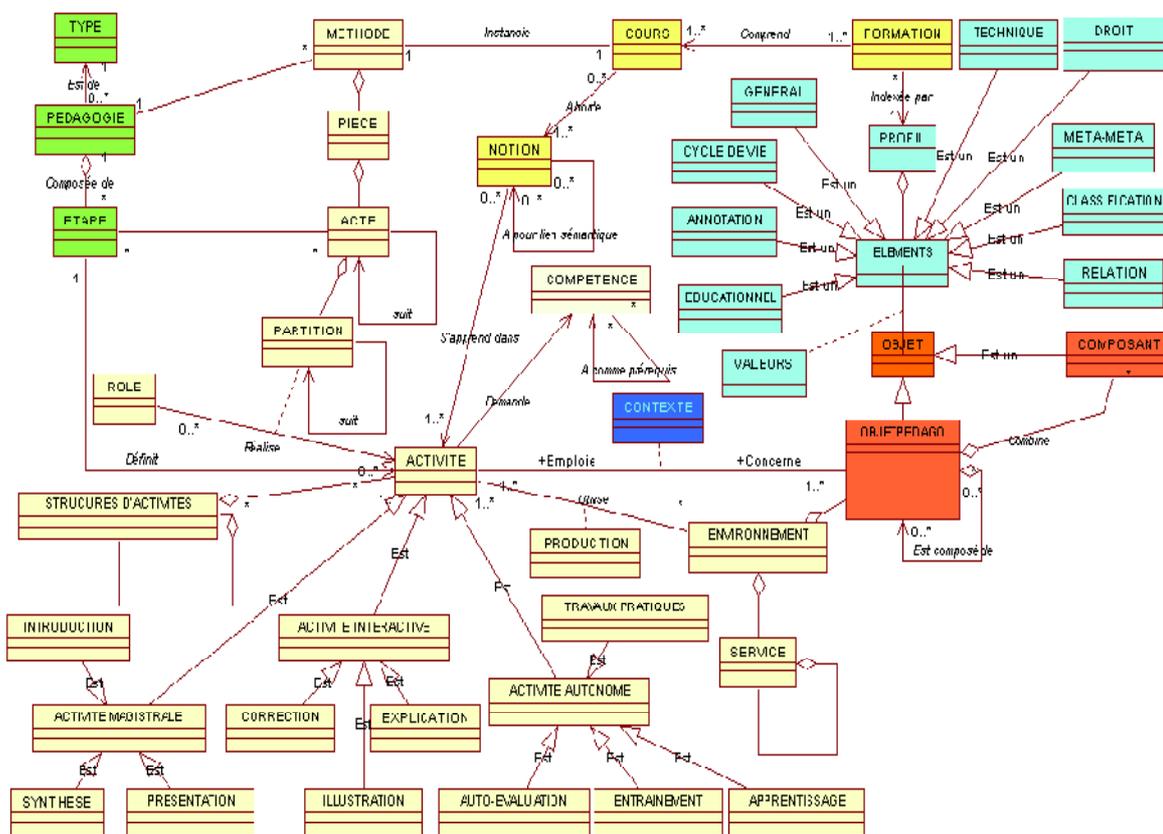


Figure 3.7 : Modèle intégrant les différents aspects de représentation d'un objet dans son contexte d'utilisation [Hernandez et al, 2008]

Le modèle complet est obtenu par la mise en relation des différentes ontologies décrites dans les sections précédentes. Le modèle permet de mettre en œuvre des mécanismes d'accès et de recherche des objets pédagogiques employés par la ou les activités intervenant dans l'apprentissage d'une notion donnée.

### 3.2 Le modèle de l'apprenant

Pour mieux répondre aux besoins de l'apprenant, les chercheurs ont proposé de construire un Modèle de l'Apprenant (MA) qui contient des informations sur l'apprenant, telles son niveau de connaissances dans la matière, les caractéristiques de son processus cognitif, etc. Le MA permet au système de réagir

selon les caractéristiques de l'apprenant et ses interactions avec le système [Brusilovsky et Peylo, 2003].

Le MA permet de mieux s'adapter aux besoins de l'apprenant dans le processus d'apprentissage [Brusilovsky et Peylo, 2003]. Par exemple, le MA peut aider à choisir parmi les expériences d'apprentissages passées, celle qui convient le mieux à l'apprenant.

En effet, le MA fournit des données nécessaires aux autres composantes du système afin de réaliser l'adaptation de la formation à l'apprenant, pour évaluer les connaissances de l'apprenant, pour suivre les progrès des actions de l'apprenant, pour gérer les informations de l'apprenant etc.

Étant donné que le MA est si important pour la qualité d'un EIAH intelligent, il est judicieux de connaître quels éléments nécessaires il faut y incorporer.

### 3.2.1 Représentation du MA

Dans cette section, nous présentons l'approche de modélisation et la structure de contenu du MA que nous proposons.

#### 3.2.1.1 Approche de modélisation

La plupart des MA existants sont basés sur trois méthodes de modélisation :

1. *Modèle sans méprise* (overlay model) [Kavcic, 2004], [Dimitrova et Bontcheva, 2003], [Dimitrova et al., 2000], [Virvou et Manos, 2000], [Stansfield et al., 1976].
2. *Modèle avec méprise* (buggy model) [Kabassi et Virvou, 2003], [Labidi et Sérgio, 2000], [Brown et Burton, 1978].
3. *Modèle hybride* (perturbation model) [Virvou et Manos, 2003], [Labidi et Sérgio, 2000], [Sleeman et al., 1990].

Dans notre contexte, l'apprenant est censé posséder une partie de la connaissance du domaine (concepts acquis) et a besoin d'acquérir de nouveaux concepts (concepts requis). En conséquence, le modèle *sans méprise* (overlay) est

assez approprié pour notre contexte parce que la connaissance de l'apprenant est considérée comme un sous-ensemble de la connaissance du domaine et sans connaissance incorrecte.

Par ailleurs, le développement d'une ontologie sur l'apprenant peut faciliter la communication entre les différents agents du système et ses utilisateurs (apprenant, enseignants, etc.). C'est pourquoi nous choisissons de développer une ontologie pour notre MA.

### 3.2.1.2 Structure de contenu

La structure de contenu décrit la composition du modèle, une spécification sur tous les paramètres du modèle. En général, le MA inclut cinq catégories d'informations sur un apprenant : données personnelles, préférences, état d'apprentissage, interaction entre le système et l'apprenant et connaissances de l'apprenant [Zhang, 2010].

Nous adoptons la même structure pour notre MA.

Nous citons ici les paramètres notamment ceux qui sont spécifiques à notre contexte, qui compose chaque catégorie.

- **Données personnelles :** contient des informations générales sur l'apprenant telles son nom, son prénom, son âge, ses expériences, sa formation, son mot de passe, etc.
- **Préférences :** composée de trois sous catégories :
  - *Préférences relatives à l'adaptation de la présentation des contenus :* contient 1) les préférences multimédias (son, image, vidéo, animation, etc.), 2) les préférences de navigation textuels (nous demandons si l'étudiant préfère lire sur un écran), etc.
  - *Préférences relatives à la nature du contenu :* ce sont des préférences pédagogiques qui permettent de choisir la pédagogie préférée (choix des activités d'apprentissage). Un apprenant dans ce sens peut

choisir de travailler avec plus d'exemples, plus d'exercices, des illustrations, des explications, des simulations, glossaire, etc.;

- *Préférences sur les outils pédagogiques* : offre des choix de certains aspects venant de l'approche socioconstructiviste, comme l'apprentissage collaboratif (forum, chat, etc.).
- **État d'apprentissage**. Les états passés et courant sont classés dans cette catégorie. Plus concrètement, ce type de modèle contient le chemin d'apprentissage, plan d'activité et programme courant (historique).
- **Interaction entre le système et l'apprenant** : La trace des actions de l'apprenant, correspondant aux nombre de visites sur les contenus pédagogiques, le type de contenus, le nombre d'exemples ou d'aides demandés, etc. Cette catégorie est simplement notée **Trace** dans la suite (dans l'ontologie de l'apprenant et l'ontologie de cas).
- **Connaissances de l'apprenant (profil d'apprentissage)** : composée de quatre sous catégories :
  - *Données de la formation* contient les informations spécifiques de la formation : l'identifiant de la formation, identifiant du module et les objectifs pédagogiques.
  - *Compétences* représentent les concepts acquis et les concepts requis relatifs à l'objectif pédagogique.
  - *Niveau cognitif* représente le niveau de connaissance d'un apprenant sur les concepts d'un objectif (Novice, Moyen, Bon).
  - *Evaluation* contient les résultats obtenus par l'apprenant dans les tests relatifs aux concepts requis. Ces résultats permettent de déterminer le nouvel écart.

Dans le modèle décrit par la Figure 3.8, l'ensemble de ces connaissances est représenté grâce à une ontologie :

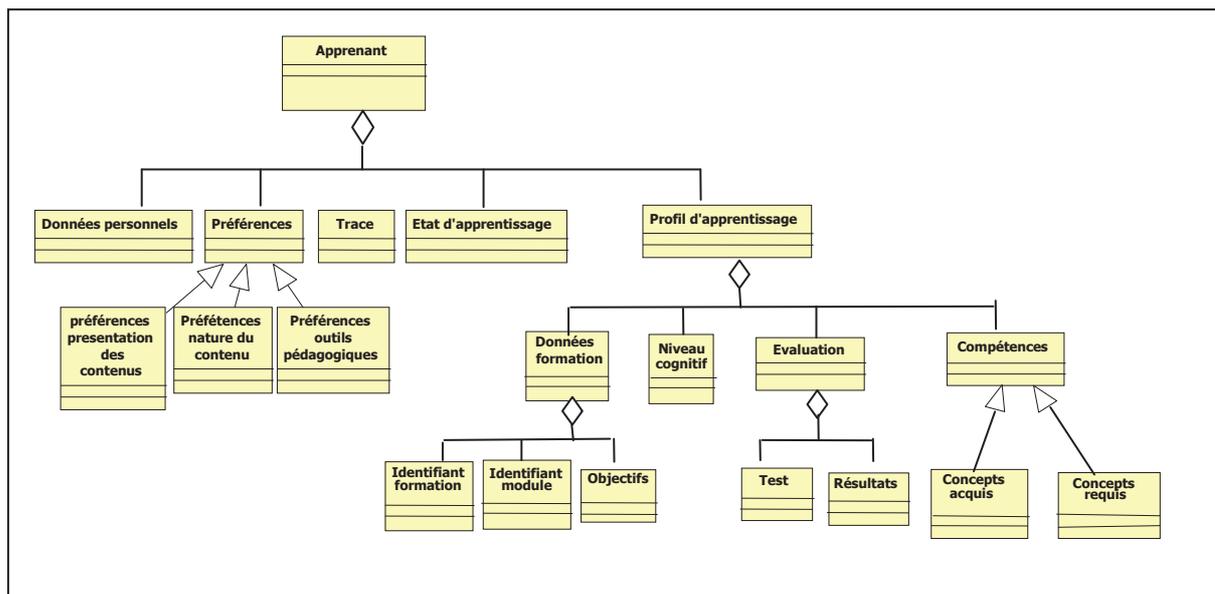


Figure 3.8 : Modèle de l'apprenant

Ces informations sont classées selon leurs liens avec le domaine : indépendantes du domaine ou spécifiques au domaine. Les données personnelles et les préférences sont indépendantes du domaine. Elles sont relativement statiques, elles sont fournies par les apprenants en remplissant des formulaires. Les trois autres catégories sont spécifiques au domaine. Certains paramètres sont obtenus en observant les actions de l'apprenant d'autres sont inférés à partir des premières données. Ils sont dynamiques et automatiquement mis à jour par le système.

### 3.3 Le modèle d'adaptation

Notre modèle d'adaptation exploite des expériences d'apprentissage réelles issues de précédentes sessions d'apprentissage ayant faits leurs preuves et permis d'obtenir de bons résultats.

En effet, l'approche choisie pour adapter les contenus pédagogiques aux apprenants est la réutilisation d'expérience qui consiste à remémorer et interpréter les signatures de tâche en cours [Heraud., 2002]. Ce modèle de raisonnement qui est étroitement lié au raisonnement à partir de cas (RàPC),

consiste à adapter aux apprenants les contenus des apprenants qui ont réussi à atteindre le même profil-cible. La stratégie d'adaptation est donc basée sur le RàPC et consiste à :

- identifier les besoins de formation et les préférences de l'apprenant ensuite analyser les écarts de performances et de connaissances (**Elaboration du cas cible**),
- combler l'écart en mettant en relation les besoins avec les objectifs, les contenus et les activités du programme de la formation (**Remémoration et Adaptation**),
- procéder à une évaluation à la fin de la session d'apprentissage et qui peut révéler un nouvel écart. Une régulation permettra de mettre en place des actions correctives (solutions de formations) pour combler le nouvel écart (**Révision et mémorisation**).

Nous détaillons dans la suite, les phases du processus RàPC sur les quelles est basée l'adaptation.

### 3.3.1 Elaboration du cas cible

Selon Fushs et al [Fushs et al, 2006], l'élaboration du cas cible consiste, à partir de l'entrée du système de RàPC, à décrire le problème cible (profil cible).

#### *Représentation du cas*

La représentation d'un cas consiste à faciliter la description du problème pour permettre la recherche d'un cas dont la solution sera facilement adaptable. La représentation la plus communément reprise est la représentation structurée en liste de descripteurs qui peuvent être des objets complexes. La représentation orientée objet permet de manipuler les connaissances à caractère complexe à l'aide de différentes formes de mise en relation des classes représentant les concepts du monde [Ruet, 2002].

Pour notre système, la représentation des cas prend appui sur l'ontologie de l'apprenant (cf. Figure 3.8) et de l'ontologie du domaine (cf. Figure 3.7) qui

permettent d'identifier les descripteurs nécessaires et incontournables dans la représentation d'un cas.

Pour améliorer la communication entre la base de cas, le modèle de l'apprenant et le modèle de domaine, le cas est présenté à l'aide d'une ontologie.

Les ontologies jouent un rôle important comme vocabulaire pour décrire le cas, comme structure de connaissances ou les cas sont localisés, et comme source de connaissances permettant le raisonnement sémantique dans les méthodes de calcul de similarité [Recio-Garcia et al., 2006].

Un cas est composé de trois parties :

**1. La partie description** contient :

- Les *données de formation* correspondent au titre de la formation, titre du module, l'objectif d'apprentissage souhaité par l'apprenant.
- Les *préférences de l'apprenant* correspondant aux préférences relatives à l'adaptation de la présentation des contenus, à la nature du contenu et aux outils pédagogiques.

Cette partie permettra le filtrage dans la phase de remémoration.

**2. La partie contrainte du problème** décrit le **profil d'apprentissage** de l'apprenant et contient :

- Les *compétences* comprennent les concepts acquis et les concepts requis relatifs à l'objectif pédagogique souhaité.
- Le *niveau de connaissance sur les concepts* représente le niveau de connaissance d'un apprenant (Novice, Moyen, Bon).

Cette partie permet d'évaluer la similarité du cas cible avec les cas sources.

**3. La partie solution du problème** contient les activités pédagogiques indexées par les concepts requis. L'apprentissage d'une notion pouvant se réaliser dans une ou plusieurs activités. Une activité peut être une lecture

d'une ressource pédagogique (cours), un test, une simulation, une autoévaluation, un exercice, un dialogue ou interaction directe entre apprenant et tuteur, etc.

La Figure 3.9 décrit l'ontologie utilisée pour représenter les descripteurs du cas :

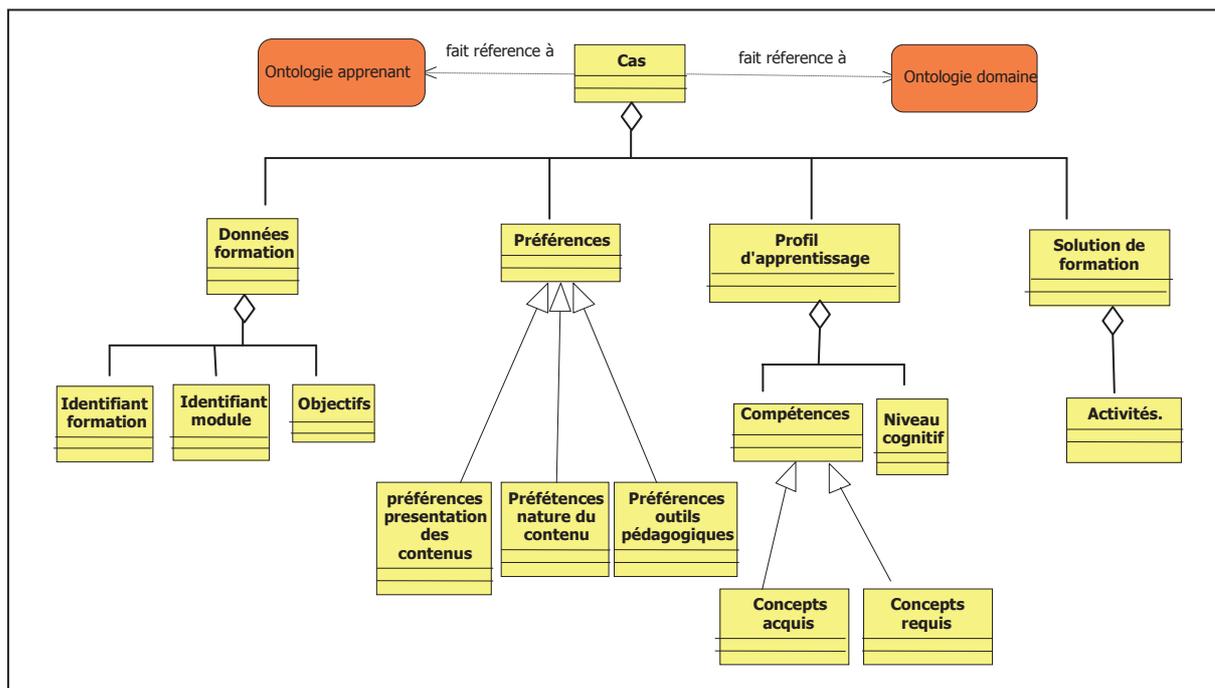


Figure 3.9 : Modèle de cas

### Elaboration d'un nouveau cas

L'élaboration se fait grâce au modèle de l'apprenant. Ce modèle nous fournit les informations concernant la partie description de la formation (identification de la formation, préférences) et la partie profil d'apprentissage (concepts acquis, concepts requis et niveau cognitif) du cas cible. La phase d'élaboration s'initialisera donc par remplissage des descripteurs associés.

### 3.3.2 Remémoration des cas similaires

L'objectif ici est de retrouver dans la base de cas le(s) cas source(s) le(s) plus proche(s) du cas cible. Cette recherche est essentiellement basée sur la comparaison des contextes des cas sources à celui du cas cible.

Afin de retrouver le cas source le plus similaire au cas cible, le processus de remémoration est divisé en deux étapes : une étape de filtrage et ensuite une recherche plus fine du cas source à retenir. Cette deuxième étape est réalisée grâce à une mesure de similarité. Ces deux étapes sont basées sur l'exploitation de la structure objet que nous avons sélectionnée pour modéliser les connaissances et les cas :

*Etape 1* : Processus de **filtrage** de la base de cas qui ne sélectionne qu'un ensemble de cas potentiellement similaires au cas cible,

*Etape 2* : Processus de **sélection** permet d'extraire parmi les cas issus de l'étape de filtrage le cas source le plus proche du cas cible grâce à une mesure de similarité entre cas.

### *Processus de Filtrage*

L'étape de filtrage exploite la partie **description** du cas, le processus est le suivant :

- Sélectionner de la base de cas les cas sources ayant la même partie description que celle du cas cible.
- Parmi les cas sources ainsi sélectionnés ; sélectionner les cas sources ayant les mêmes préférences relatifs à la nature de contenu que le cas cible.

### *Processus de sélection*

L'étape de filtrage présentée précédemment permet d'obtenir un ensemble de cas sources potentiellement similaires au cas cible. Une étape de sélection plus fine des cas est alors nécessaire afin de ne retenir que le cas source le plus proche du cas cible pour la suite du processus de raisonnement à partir de cas. Pour cela, une mesure de similarité est utilisée.

Cette mesure compare le cas cible avec chaque cas source issu du filtrage. La comparaison donnant le meilleur degré de similarité permet de connaître le cas source à sélectionner.

### Mesure de similarité

Pour calculer la similarité entre le profil d'apprentissage du cas cible et les profils d'apprentissage des cas sources issus de l'étape de filtrage, nous mesurons les similarités entre les graphes de concepts qui les constituent (le profil d'apprentissage est constitué d'un graphe de concept issu de l'ontologie de cas).

D'après Ralallason [Ralallason, 2010], la similarité entre deux graphes est définie comme la moyenne pondérée des similarités entre les concepts qui les composent.

Deux concepts sont comparables s'ils sont descendants d'un même top-concept. Les top-concepts sont les concepts fils de la racine de l'arbre taxonomique. Il s'agit donc des concepts les plus génériques de l'ontologie.

Soient :

- $G1$  et  $G2$  deux graphes de concepts ;
- $\text{Nœuds}(G)$  l'ensemble des nœuds (i.e. les concepts) du graphe  $G$  ;
- $G1_i$  et  $G2_j$  des concepts appartenant respectivement aux graphes  $G1$  et  $G2$  ;
- $\text{Coef}(G_i)$  la fonction déterminant le degré d'importance d'un concept du graphe  $G$  ; pour notre part,  $\text{Coef}(G_i) = 1$ , les concepts ayant la même importance ;
- et  $\text{SimConcept}(G1_i, G2_j)$  la similarité entre les concepts  $G1_i$  et  $G2_j$ .

$$\text{SimGraphes}(G1, G2) = \frac{\sum_{i=1}^{|\text{Nœuds}(G1)|} \text{Coef}(G1_i) \cdot \max_{j=1}^{|\text{Nœuds}(G2)|} (\text{SimConcept}(G1_i, G2_j))}{\sum_{i=1}^{|\text{Nœuds}(G1)|} \text{Coef}(G1_i)}$$

$\text{SimConcept}$  est déterminée par la mesure de similarité ProxiGénéa.

$$\text{ProxiGénéa}(L, M) = \frac{|\text{Ancêtres}(L, M)|}{|\text{Gen}(L)|} \cdot \frac{|\text{Ancêtres}(L, M)|}{|\text{Gen}(M)|} = \frac{|\text{Ancêtres}(L, M)|^2}{|\text{Gen}(L)| \cdot |\text{Gen}(M)|}$$

$Gen(M)$  est l'ensemble des concepts qui entrent dans la généalogie du concept  $M$ , depuis la racine jusqu'à  $M$ .

$Gen(L)$  est l'ensemble des concepts qui entrent dans la généalogie du concept  $L$ , depuis la racine jusqu'à  $L$ .

$$Ancêtres(L, M) = Gen(L) \cap Gen(M)$$

### 3.3.3 Adaptation

L'objectif de l'adaptation est de réutiliser la solution de formation du cas source sélectionné afin de l'adopter/adapter au cas élaboré. Parmi les approches d'adaptation en RàPC proposées dans la littérature (cf. Section 1.3.3, Chapitre 2), nous avons choisi de retenir **l'adaptation comme une tâche de recherche**, pour cette approche, rappelons-le, l'adaptation peut être formulée comme une étape de recherche dans l'espace de solutions, où l'état initial est la solution  $sol(srce)$  et l'état final une solution  $sol(cible)$  pour le problème source.  $Sol(srce)$  est copiée ou modifiée en utilisant les opérateurs d'adaptation (les opérateurs de copie, d'ajustement et de substitution).

L'algorithme suivant illustre ce propos.

**Algorithme d'adaptation**

Soit Source le cas source le plus similaire à Cible issu de l'étape processus de sélection.

Soit L liste de cas sources issus de l'étape processus de filtrage.

Soit profil l'ensemble de concepts requis.

Si profil source est identique profil cible (concepts requis) // similarité = 1

Alors Sol(cible) ← Sol(srce) // recopier Sol(srce)

Sinon

Si profil cible est inclus dans profil source

Alors Pour chaque concepts requis source supplémentaire faire

    Supprimer de sol(srce) les activités associées à ce concept

Fin pour

    Sol(cible) ← Sol(srce) // recopier Sol(srce)

Sinon

    Sol(cible) ← Sol(srce) // recopier Sol(srce)

    Pour chaque concept requis cible manquant faire

        Pour chaque cas source de la liste L faire

            Si concept requis appartient au profil source

                Alors ajouter les activités associées à ce concept à la solution cible

            Fin si

        Fin pour

    Si concept requis n'existe pas dans les cas sources de la liste L

    Alors Si niveau connaissance = faible

        Alors ajouter activité magistral du modèle de domaine à la solution cible

    Sinon

        Si niveau connaissance = moyen

            Alors ajouter activité interactive du modèle de domaine à la solution cible

        Sinon

            ajouter activité interactive du modèle de domaine à la solution cible

        Fin si

    Fin si

    Fin si

    Fin pour

Fin si

Figure 3.10 : Algorithme d'adaptation [Mansouri et al, 2014].

### 3.3.4 Révision et mémorisation

La solution de formation obtenue après adaptation est proposée à l'apprenant. Le système observe et enregistre les interactions de l'apprenant, qui termine son apprentissage par un test. Si l'apprenant réussit son test, le cas adapté est mémorisé dans la base de cas. Dans le cas échéant, une autre solution basée sur un cas moins similaire que le précédent est proposée jusqu'au dernier cas dans la liste des cas similaires. Si aucune des solutions proposées n'est satisfaisante, on a recours à l'intervention d'un expert. L'intervention de l'expert est ensuite enregistrée dans la base de cas.

#### Le cycle du raisonnement à partir de cas dans ALIAS

La Figure 3.11 illustre l'organisation des différentes étapes précédemment citées et montre les liens existant entre les différents composants du système.

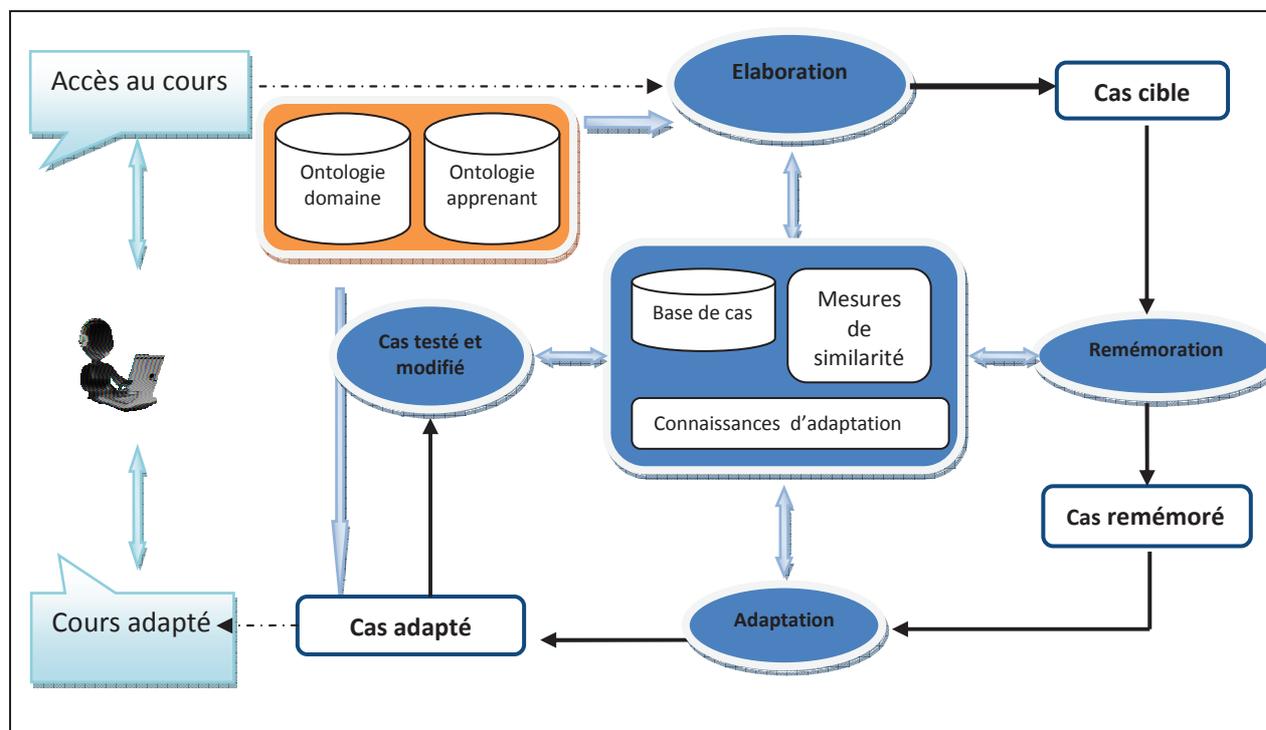


Figure 3.11 : Le cycle du raisonnement à partir de cas dans ALIAS

### 3.4 Architecture fonctionnelle du système ALIAS

En se référant à l'architecture de la Figure 3.1 et au raisonnement mené pour la définition des trois modèles qui la composent à savoir le modèle de domaine, le modèle de l'apprenant et le modèle d'adaptation, nous proposons dans cette section de présenter l'architecture fonctionnelle correspondant à la configuration du système ALIAS :

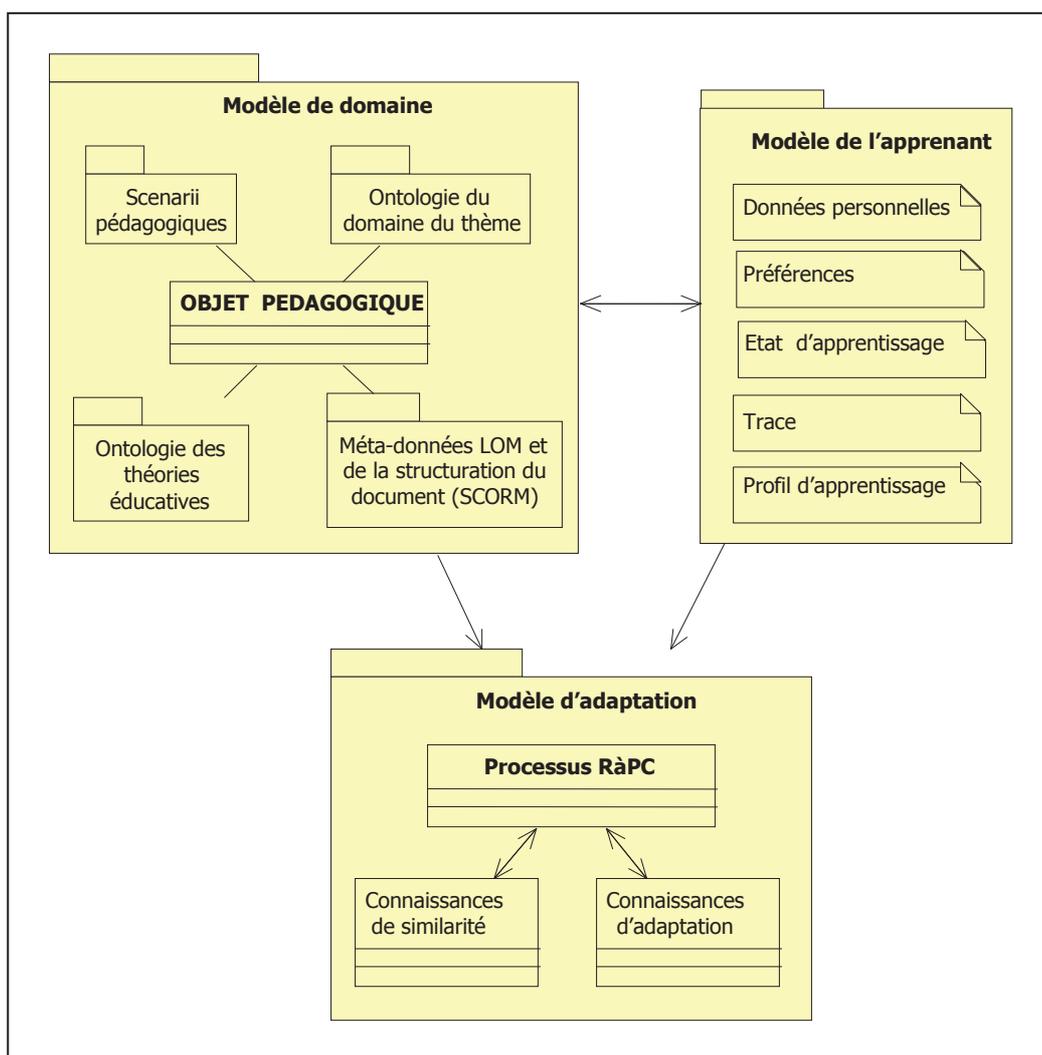


Figure 3.12 : Architecture fonctionnelle du système ALIAS

Le but d'une telle architecture, définie de la sorte, est double :

- *Permettre une forte modularité et une efficacité d'adaptation* en distinguant les éléments d'adaptation, à savoir les composantes et la stratégie d'adaptation.

- *Structurer et standardiser aux mieux le modèle de l'apprenant*, pour permettre une meilleure réutilisation générique.

## 4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'approche que nous proposons pour l'adaptation des contenus pédagogiques basée sur le RàPC. Nous avons présenté une conception ouverte et applicable à n'importe quel domaine d'apprentissage en explicitant les différents éléments qui rentrent en jeu pour créer ou générer des formations adaptées aux profils des apprenants et leurs exigences.

Ainsi, nous avons procédé à une analyse globale de notre système, dans laquelle nous avons détaillé son architecture fonctionnelle et les différentes composantes qui la constituent à savoir le modèle de domaine, le modèle de l'apprenant et le modèle d'adaptation.

Le prochain chapitre a pour rôle d'analyser et de concevoir le fonctionnement et les interactions des différentes composantes de l'architecture de notre système.

## Chapitre 4

### *Illustration de l'approche proposée*

Afin de valider notre approche, nous proposons de montrer le fonctionnement et les interactions des différentes composantes de l'architecture du système ALIAS (Apprentissage en Ligne Intelligent, Adaptatif et Situé) présentée dans le chapitre précédent.

Pour cela, nous proposons d'illustrer l'utilisation du système à travers des scénarios d'usage et de modéliser son comportement en utilisant le formalisme du langage de modélisation unifié (UML). Nous utilisons ce langage pour décrire certaines fonctionnalités de notre système, sous forme d'exemples, de cas d'utilisation et de diagrammes de séquences.

## 1. Scénarios d'utilisation du système ALIAS

Pour démontrer le comportement du système ALIAS, c'est-à-dire l'adaptation de la formation au profil de l'apprenant, nous illustrons dans la suite, le fonctionnement du système par des scénarios possibles pendant les sessions d'apprentissage, en démontrant dans chaque scénario l'interaction de l'apprenant avec le système, ainsi que l'évolution des ontologies.

### Scénario 1 : Inscription d'un apprenant

Le système identifie l'apprenant : S'il est à sa première utilisation :

- a. Un formulaire d'identification lui sera présenté (cf. Figure 4.1) où l'apprenant est amené à fournir des informations pour s'inscrire et devenir par la suite authentifiable auprès du système.
- b. Une fois le formulaire est rempli et validé par l'apprenant, une instance de l'ontologie de l'apprenant est créée.

**Inscription**

Vous pouvez vous inscrire via ce formulaire

Nom :

Prénom :

sexe : Sélectionner...

Date de naissance :

Email :

Nom de l'utilisateur :

Mot de passe :

Confirmer votre mot de passe :

Figure 4.1: Formulaire d'inscription

S'il est déjà inscrit : l'apprenant est amené à s'authentifier auprès du système pour y accéder et choisir les actions à effectuer.

- a. Le formulaire d'authentification est présenté à l'apprenant (cf. Figure 4.2).
- b. L'apprenant saisit le nom d'utilisateur et le mot de passe.
- c. Le système vérifie la validité de ces informations à partir de l'ontologie apprenant (classe données personnelles).



The image shows a web form for login. At the top, there is a dark blue header with the word "Connexion" in white. Below the header, the text "Vous pouvez vous connecter via ce formulaire" is centered. There are two input fields: "Nom de l'utilisateur :" followed by a text box, and "Mot de passe :" followed by a text box. Below the input fields is a button labeled "Connexion".

Figure 4.2 : Formulaire d'authentification

## Scénario 2 : Initialisation du modèle de l'apprenant

Le scénario d'initialisation du modèle vient juste après le scénario de l'inscription.

Ainsi, lorsqu'un apprenant s'est inscrit dans le système, il passe directement à l'initialisation de son modèle. Cette initialisation consiste à informer le système des préférences de l'apprenant et des connaissances portant sur le domaine d'enseignement concerné (formation, module, objectifs pédagogiques, compétences,...) *via* le formulaire décrit par la Figure 4.3.

### Profil d'apprentissage

**Titre Formation :**  ▼

**Titre Module :**  ▼

**Spécialité :**  ▼

**Objectifs pédagogiques :**  ▼

Désigner les concepts acquis et les concepts requis :

<b>Concepts</b>	<b>Acquis</b>	<b>Requis</b>
Concept 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Concept 2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Concept 3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... etc.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Vos Préférences**

Quelles présentation désirez-vous ?

**Multimédias :**  ▼

**Navigation :**  ▼

Quelles pédagogie préférez-vous ?

▼

Quelles Outils pédagogique préférez-vous ?

▼

*Figure 4.3 : Formulaire d'initialisation*

L'apprenant spécifie la formation de son choix. Les modules concernant cette formation sont récupérés de *l'ontologie thématique* et présentés à l'apprenant dans une liste déroulante, l'apprenant sélectionne le module souhaité, le système récupère alors les concepts (notions) abordés par ce module de *l'ontologie de domaine* selon l'objectif pédagogique spécifié et les présente à l'apprenant sous forme de tableau qu'il devra remplir pour désigner les concepts acquis et les concepts requis.

Ces informations sont utilisées par le système pour inférer les besoins de formation, le niveau de connaissance de l'apprenant et ses préférences afin de décrire le cas qui correspond à son profil. Ce cas est utilisé pour lui générer un cours adapté.

Par conséquent, le modèle de l'apprenant dans la première utilisation ne contient que les données fournies par l'apprenant. Ces données vont être par la suite modifiées et mises à jour par le système ALIAS.

### **Scénario 3 : Génération du cours adapté**

Lorsqu'un apprenant se connecte au système pour ouvrir une session de travail, le système charge le modèle de l'apprenant (ontologie de l'apprenant) correspondant, et en convenance avec les différentes informations renseignées dans le modèle de l'apprenant, exécute le processus RàPC (cf. Section 3.3, Chapitre 3), c'est-à-dire, élabore ce nouveau cas cible, recherche le(s) cas sources similaire(s) et adapte le contenu (solution de formation) du cas source le plus similaire au profil de cet apprenant.

Après cela, le système présente la solution de formation ainsi obtenue (cours adapté) à l'apprenant et observe son interaction avec ce cours.

### **Scénario 4 : Evaluation cognitive de l'apprenant**

L'évaluation cognitive de l'apprenant a pour but d'obtenir des informations pertinentes sur les difficultés et progrès de l'apprenant. Ces informations peuvent être utilisées pour permettre au système de se réadapter à l'apprenant.

A la fin de l'apprentissage du cours adapté :

- L'apprenant passe un test (Quiz / exercices d'application liés aux concepts requis) pour évaluer l'acquisition de ces concepts.
- Le système évalue la validité des solutions proposées par l'apprenant.
- Si les résultats sont satisfaisants, le système sauvegarde ce nouveau cas (nouvelle expérience réussie) dans la base de cas.
- Sinon, un autre cours adapté (cf. Section 3.3.4, Chapitre 3) est proposé à l'apprenant.

A l'issue de l'évaluation, le système procède à la mise à jour du modèle de l'apprenant notamment la classe compétence.

## 2. Éléments de modélisation du fonctionnement du système ALIAS

Dans cette section et pour assurer une bonne représentation du fonctionnement de notre système, nous présentons les cas d'utilisation et les diagrammes de séquence des cas où le système ALIAS a un rôle actif.

### 2.1 Acteurs du système

Différents acteurs interviennent autour de l'environnement du système ALIAS, chacun avec des rôles et des niveaux d'implications différents. Il y a principalement l'apprenant, l'enseignant et le système ALIAS. L'acteur ALIAS est utilisé pour la modélisation des cas d'utilisation. Nous présentons également ci-dessous les deux autres acteurs principaux.

- **L'apprenant**

Comme nous l'avons montré dans les scénarios, l'acteur primaire est l'apprenant. Il doit pouvoir exprimer ses intentions, sur la nature des contenus désirés, sur la pédagogie préférée, préciser ses connaissances antérieures et ses préférences. L'apprenant dans le système ALIAS peut gérer son profil en ayant la possibilité d'initialiser et de mettre à jour son modèle (MA) en renseignant un certain nombre d'informations. L'apprenant doit pouvoir également accéder au cours adapté à son profil, réaliser les activités associés (suivre un lien, lire un contenu, faire des exercices,...) et passer le test d'évaluation.

- **L'enseignant**

L'acteur enseignant peut intervenir dans le système de différentes façons. Il peut déterminer le domaine à enseigner et l'enrichir avec les différents concepts et objets pédagogiques liés, en proposant une ontologie des concepts à apprendre ainsi que les scénarios pédagogiques (séquences d'activités) permettant leurs apprentissages. Il peut mettre à jour le modèle du domaine en mettant en ligne des objets pédagogiques, mettre à jour les

concepts. Il peut également ajouter, supprimer, réutiliser, modifier un objet pédagogique ou alors ajouter les métadonnées correspondantes.

Bien évidemment, c'est l'enseignant (expert du domaine) qui intervient si la solution de formation générée par le processus d'adaptation basé sur le RàPC s'avère non satisfaisante, en proposant une nouvelle solution tout en prenant en considération les caractéristiques cognitives et les préférences du modèle de l'apprenant à partir de son MA.

- **Le système ALIAS**

Le système ALIAS intègre un certain nombre de fonctionnalités liées à la génération du cours adapté au modèle de l'apprenant. En effet, cet acteur peut adapter la formation aux besoins et préférences de l'apprenant. Pour cela, il dispose du processus RàPC qu'il est censé exécuter pour arriver à l'adaptation désirée. De même, le système ALIAS doit effectuer d'autres fonctionnalités liées à l'évaluation, la mise à jour du modèle de l'apprenant, l'identification individuelle de l'apprenant et de ses préférences,...

## 2.2 Diagrammes des cas d'utilisation

Afin d'illustrer le rôle de chacun des acteurs du système ALIAS, nous présentons dans cette section les diagrammes des cas d'utilisation modélisant les comportements de ces acteurs à savoir l'apprenant, l'enseignant et le système ALIAS.

Les cas d'utilisation décrivent un ensemble d'actions réalisées par le système, en réponse à une action d'un acteur (apprenant, enseignant).

### 2.2.1 Interactions du système ALIAS avec l'apprenant

La Figure 4.4 introduit le cas d'utilisation principal. Ce cas résume l'interaction du système ALIAS avec l'apprenant.

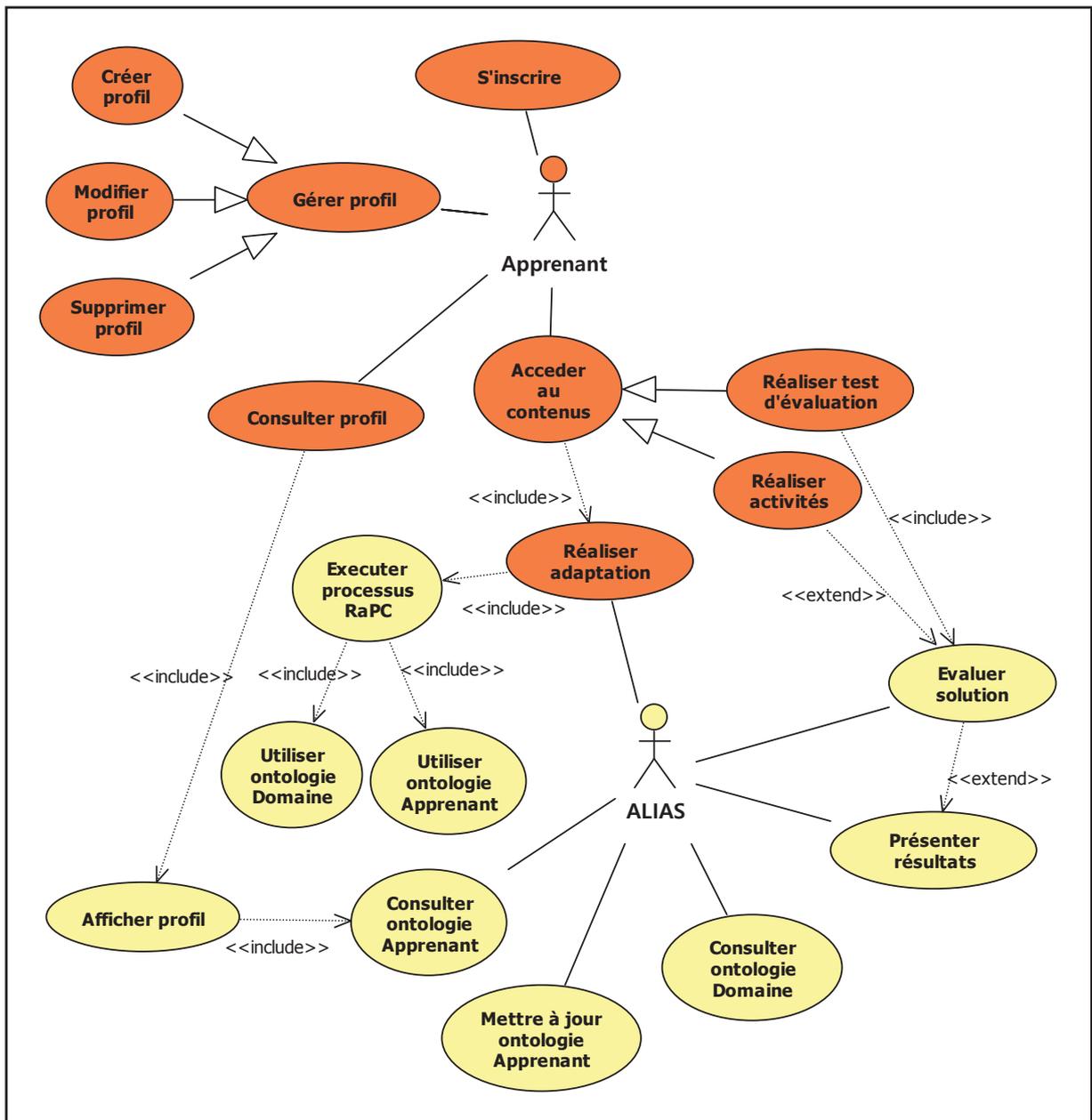


Figure 4.4 : Diagramme des cas d'utilisation pour l'apprenant

Nous pouvons recenser les sous cas suivants :

- *s'inscrire* : chaque utilisateur (apprenant, enseignant) du système doit tout d'abord s'inscrire au dispositif en renseignant ses données personnelle pour l'authentification ;
- *initialiser* le modèle de l'apprenant : chaque apprenant, désirant accéder aux cours, doit initialiser son modèle on y incorporant des informations portant sur ses préférences, ses connaissances, etc. ;

- *consulter* le modèle de l'apprenant : chaque apprenant peut consulter son modèle et d'effectuer de l'autoréflexion sur son apprentissage et d'être impliqué dans son processus d'apprentissage ;
- *gérer profil* : chaque apprenant peut modifier à n'importe quel moment son profil;
- *s'authentifier* : seuls les acteurs inscrits dans le système ont le droit d'accès au système. Avant n'importe quelle opération, le système doit identifier le déclencheur de l'opération et voir s'il est autorisé à accéder au système ou non;
- *accéder au contenu* : après être autorisé à accéder au cours, l'apprenant peut accéder au cours pédagogique généré automatiquement en convenance avec son modèle ;
- *vérifier login et mot de passe*: le système doit vérifier les logins et mots de passe saisis. S'ils ne correspondent pas à ceux renseignés dans le profil concerné, le système ne permet pas l'accès à l'utilisateur courant ;
- *observer interaction* : au cours de l'interaction de l'apprenant avec le système, ce dernier observe et enregistre les différentes actions de l'apprenant ;
- *évaluer solutions*: le système évalue la validité des solutions proposées par l'apprenant en guise de réponse aux évaluations et tests ;
- *afficher résultat* : le système présente les résultats obtenus lors des évaluations et tests ;
- *journaliser*: le système enregistre toutes les interactions des apprenants enregistrés dans le système ;
- *exécuter le processus RàPC* : pour présenter un cours adaptatif au profil de l'apprenant, le système exécute le processus RàPC implanté dans le composant correspondant au modèle d'adaptation ;

- *mettre à jour le modèle de l'apprenant*: cette action permet de modifier des données d'un apprenant donné à un moment donné. En effet, un ou plusieurs concepts non acquis avant l'accès au cours deviennent après la session d'apprentissage acquis.

## 2.2.2 Interaction du système ALIAS avec l'enseignant

De manière similaire, la Figure 4.5 illustre l'interaction du système avec l'enseignant.

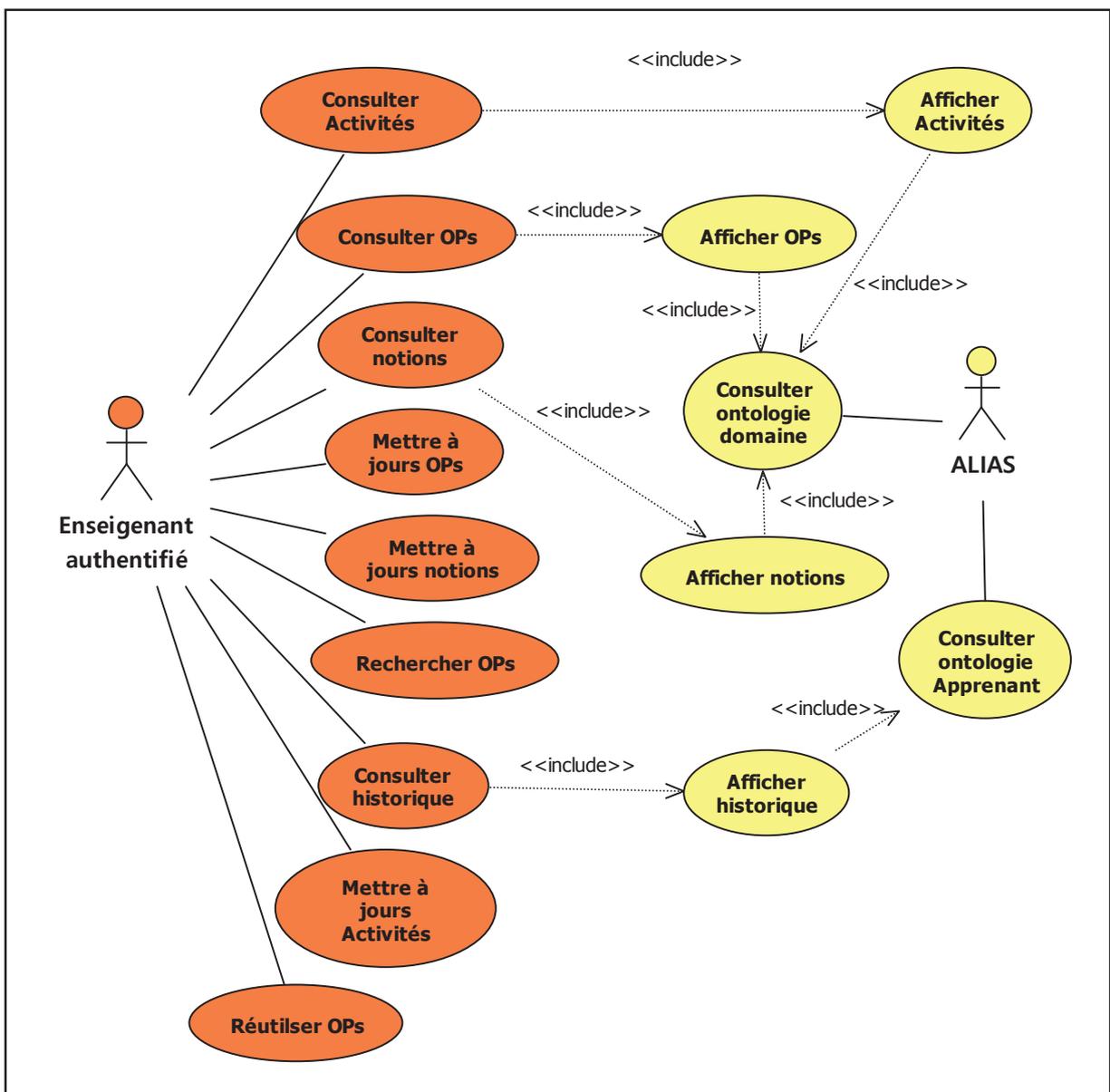


Figure 4.5 : Diagramme des cas d'utilisation pour l'enseignant.

Après authentification l'enseignant peut :

- *mettre à jour* un ou plusieurs **objets pédagogiques** : chaque enseignant enregistré dans le système, peut ajouter, modifier ou supprimer un objet pédagogique ou plusieurs ;
- *consulter* un ou plusieurs *objets pédagogiques* : chaque enseignant enregistré dans le système, peut consulter un objet pédagogique ou plusieurs ;
- *consulter* un ou plusieurs *notions* : l'enseignant peut consulter un ou plusieurs notions ainsi que les différents cours qui utilisent les objets pédagogiques indexés par la notion spécifiée ;
- *rechercher* un *objet pédagogique* : l'enseignant peut chercher un objet pédagogique afin de le consulter, le mettre à jour ou le réutiliser dans une ou plusieurs activités ;
- *réutiliser* un *objet pédagogique* : l'enseignant peut réutiliser un objet pédagogique abordant une notion dans le cadre de plusieurs modules ou plusieurs formations ;
- *composer* des *objets pédagogiques* : l'enseignant peut composer plusieurs objets pédagogiques pour former un objet pédagogique plus complexe et qui répond à son besoin ;
- *consulter historique* : chaque enseignant enregistré dans le système, peut accéder à l'historique des apprenants qui suivent l'enseignement d'un domaine donné dans le respect des droits d'accès.

## 2.3 Diagrammes de séquence

Nous présentons dans cette section quelques exemples des collaborations entre les objets du système à travers des diagrammes de séquence.

Du point de vue dynamique, on observe que :

- *L'apprenant* accède au système, choisit un objectif, désigne les concepts acquis et les concepts requis correspondant et reçoit un cours adapté à son profil.
- *L'enseignant* se connecte au système et met à jour des objets pédagogiques de l'ontologie du domaine.
- *L'expert*, lorsqu'il est sollicité, se connecte au système et adapte le cours aux besoins et préférences de l'apprenant.

Les diagrammes de séquence décrits par les Figures 4.6, 4.7 et 4.8 scénarisent les actions de l'acteur apprenant en interaction avec le système ALIAS.

### **2.3.1 Cas d'utilisation : Inscription de l'apprenant**

Ce cas d'utilisation est déclenché par tout apprenant désirant suivre un cours. Quand l'apprenant clique sur un lien pour s'inscrire dans le système, ce dernier lui affiche un formulaire (cf. Section 1) ou l'apprenant est amené à fournir des informations pour s'inscrire.

La Figure 4.6 présente un aspect temporel de la réalisation du cas d'utilisation inscription.

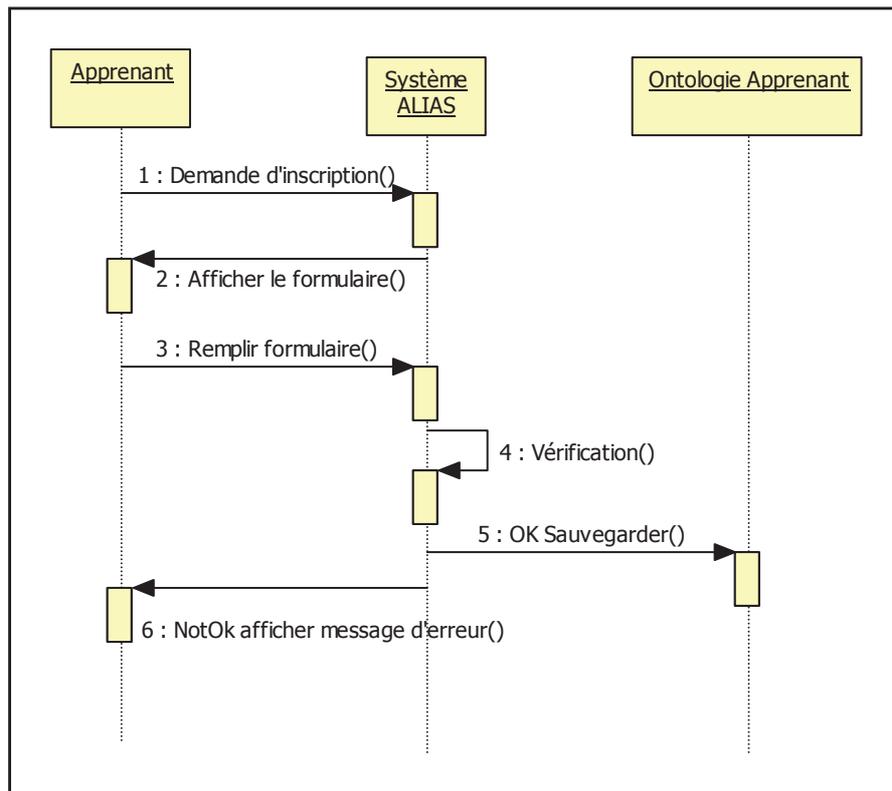


Figure 4.6 : Diagramme de séquence du cas d'utilisation inscription

### 2.3.2 Cas d'utilisation : Initialisation du modèle de l'apprenant

Le scénario d'initialisation du modèle vient juste après le scénario de l'inscription. Ainsi, lorsqu'un apprenant s'est inscrit dans le système, il passe directement à l'initialisation de son modèle. Cette initialisation consiste à informer le système des préférences, des connaissances portant sur le domaine d'enseignement concerné, le style d'apprentissage, etc. de cet apprenant.

### 2.3.3 Cas d'utilisation : Accès au cours adapté

Lorsqu'un apprenant clique sur le lien « accéder au cours », le système charge le modèle de l'apprenant correspondant, lance le processus RàPC et à partir de la solution trouvée, génère le cours adapté aux besoins et préférences de cet apprenant. La Figure 4.7 montre le diagramme de séquence du cas d'utilisation accès au cours.

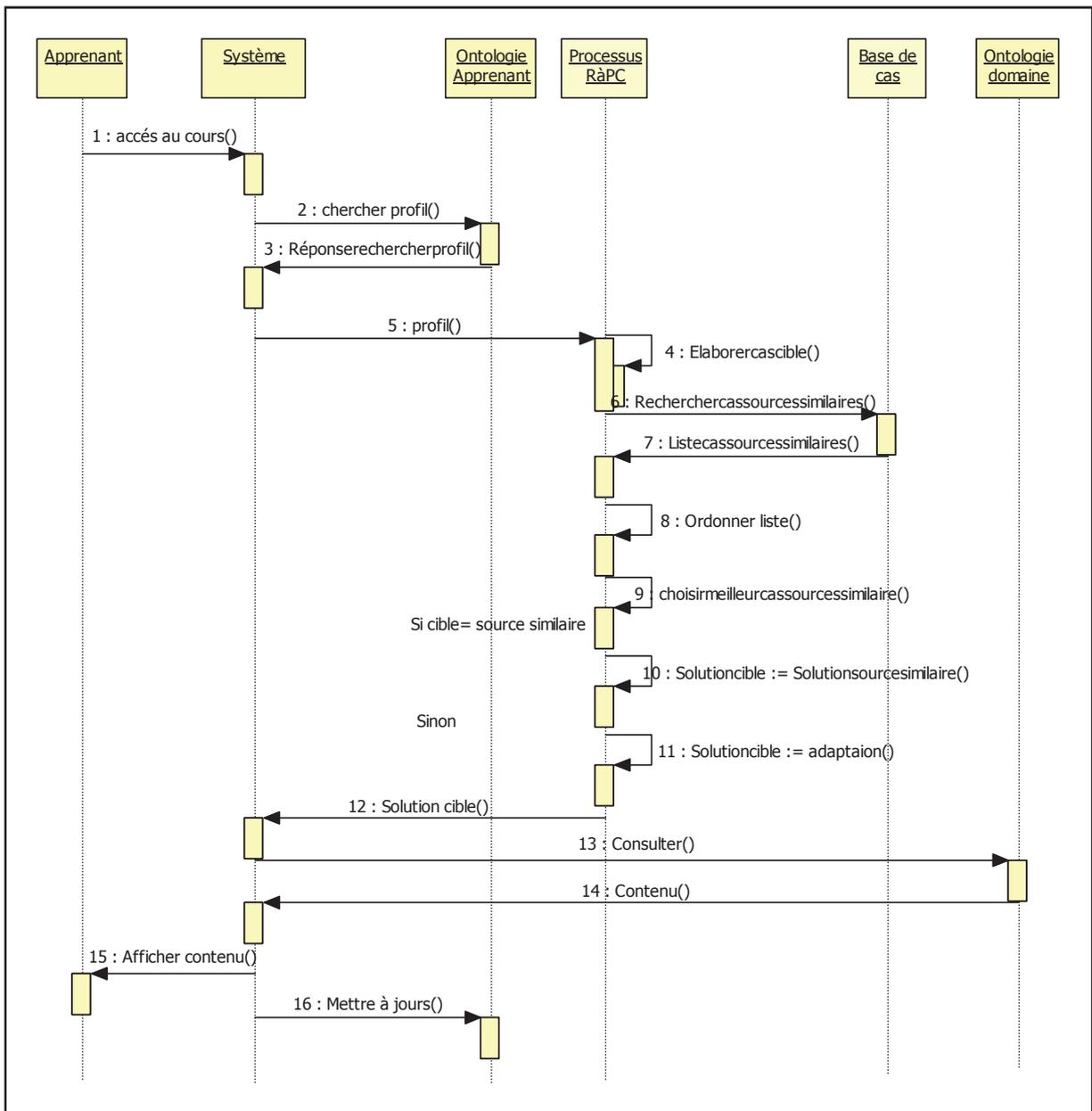


Figure 4.7 : Diagramme de séquence du cas d'utilisation accès au cours.

### 2.3.4 Cas d'utilisation : Evaluation

Comme nous l'avons mentionné dans le scénario 4, l'apprenant doit passer un test pour vérifier l'acquisition des concepts requis et permettre au système de réagir en cas de réussite ou d'échec de l'apprenant au test.

La Figure 4.8 présente le flux des messages entre l'acteur apprenant et le système lors de l'opération d'évaluation.

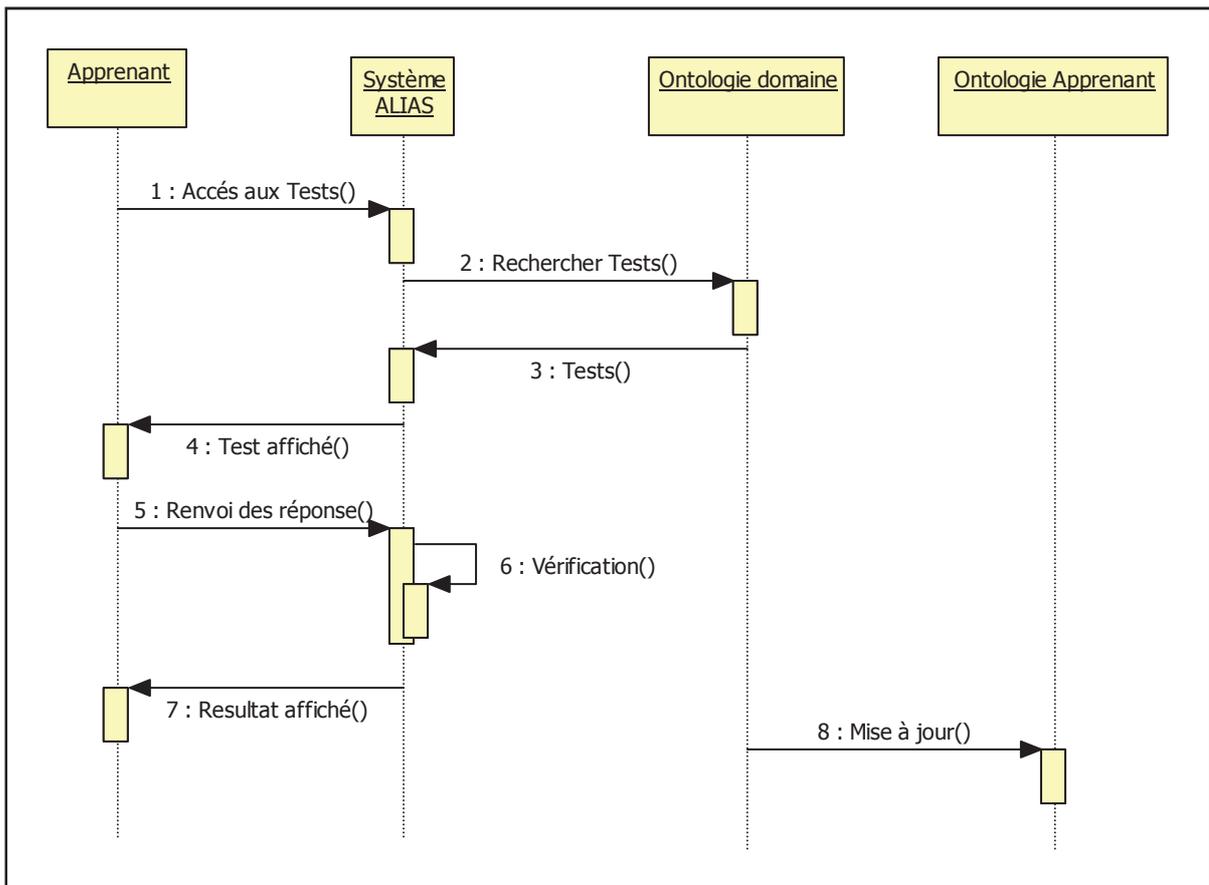


Figure 4.8 : Diagramme de séquence du cas d'utilisation test d'évaluation

### 3. Conclusion

Nous avons présenté, dans ce chapitre, une illustration de l'approche que nous avons proposé. Ainsi, nous avons procédé à une analyse globale de notre système, dans la quelle nous avons présenté les acteurs du système et les différents cas d'utilisation pour démontrer son fonctionnement et modéliser son comportement.

Nous avons présenté par la suite quelques-uns des scénarii à savoir l'inscription, l'accès au cours, entre autres, afin de donner quelques exemples des collaborations possibles entre les objets constituant le système à travers des diagrammes de séquences.

Dans le chapitre suivant, nous allons présenter une expérimentation de l'approche proposée.

## Chapitre 5

# Expérimentation de l'approche

Dans ce chapitre, nous proposons, une expérimentation de l'approche dans le cadre d'un projet campus numérique. Le projet a pour objectif de développer des modules d'enseignement à distance pour une formation réelle, à savoir la formation, Economie des Télécommunications et des Technologies de l'Information (ETTI) menant au diplôme de Master de l'Université Ferhat Abbas - Sétif-1. L'approche a été expérimentée pour un module particulier MERISE.

La démarche d'expérimentation a consisté d'abord à développer une ontologie du domaine de MERISE, à partir du modèle de domaine donné par la Figure 3.4 (cf. Section 3.1.3, Chapitre 3), ensuite à élaborer manuellement un extrait de cette ontologie grâce à l'outil Protégé<sup>1</sup> et enfin à simuler l'exécution du processus RàPC pour le traitement d'une requête d'un apprenant donnée.

---

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

# 1. Présentation du projet

## 1.1 Cadre général

Depuis l'adoption de la nouvelle réforme universitaire, l'Université Ferhat Abbas Sétif-1 et notamment la Faculté des Sciences Economiques, Commerciales et des Sciences de Gestion (FSECSG) s'est investie dans plusieurs projets prometteurs visant l'innovation éducative et l'intégration des Nouvelles Technologies Éducatives dans son enseignement. Ces projets ont pour but de pallier aux problèmes du manque de ressources humaines dans certaines disciplines et de l'augmentation du nombre d'étudiants dont souffre la faculté.

Ainsi, nous avons initié un projet au sein de la FSECSG portant sur la formation à distance et le soutien aux cours délivrés en présentiel. Il concerne également la production, la mutualisation de contenus et de pratiques pédagogiques relatives à des modules ou à des activités de soutien à l'enseignement présentiel, en particulier pour soulager l'enseignement de masse.

## 1.2 Objectifs du projet

Le projet a été créé pour atteindre deux objectifs :

**Objectif 1 : Proposer un dispositif hybride présentiel/distanciel pour la formation offerte par le Master ETTI.** Il repose sur la mise en ligne de ressources pédagogiques permettant de compléter, enrichir et diversifier les enseignements du master ETTI. Il permet d'acquérir des compétences recherchées aujourd'hui par de nombreuses entreprises souhaitant développer une stratégie e-business par le biais de la plate-forme de formation Moodle.

**Objectif 2 : Proposer un dispositif de formation continue pour les personnels des entreprises partenaires avec la FSECSG.** La population salariée concernée doit se former de manière continue aux nouveautés méthodologiques et technologiques

de leur métier. Toutefois, étant en exercice dans une entreprise, l'hypothèse de retourner en formation dans des structures traditionnelles est à écarter pour des raisons évidentes de disponibilité. Mettre à disposition une offre de formation souple et flexible sur Internet serait la solution viable à retenir.

### 1.3 Les types d'apprenants

Les modules doivent pouvoir être utilisés pour réaliser des parcours de formation « sur mesure » adaptés aux profils des apprenants.

Les publics d'ETTI peuvent être de formation initiale ou continue.

- *Publics de formation initiale.* Sont considérés comme publics de formation initiale des étudiants n'ayant pas interrompu leurs études depuis le baccalauréat (ou son équivalent), n'ayant pas d'activité salariée.
- *Publics de formation continue.* Ils correspondent à l'objectif 2. L'accès de ces publics à la formation ETTI est encouragé dans le cadre de conventions entre la faculté FSECSG et ses partenaires extérieurs (AlgérieTélécom, Mobilis, etc.). Selon les acquis professionnels de ces publics, des cours adaptés doivent pouvoir être offerts.

### 1.4 Les unités d'enseignements

Les unités d'enseignement couvrent deux années de formation : Master 1 et Master 2. Nous avons plus particulièrement travaillé sur la première année du Master ETTI.

Cette année est composée de 13 modules d'enseignement et de deux modules de professionnalisation (stage en entreprise) répartis sur deux semestres (cf. Tableau 5.1a et Tableau 5.1b). Dans la spécialité ETTI, les modules sont regroupés en Unités d'Enseignements fondamentales, de méthodologie, de découverte et transversales.

## Semestre 1 :

Unité d'Enseignement	VHS	V.H hebdomadaire				Coeff	Crédits	Mode d'évaluation	
	14-16 sem	C	TD	TP	Autres			Continu	Examen
<b>UE fondamentales</b>									
<b>UEF1(O/P)</b>	<b>360</b>	<b>6</b>	<b>4.5</b>		<b>16</b>	<b>7</b>	<b>18</b>		
Economie de la communication et de l'internet 1	140	3	1.5		6	3	7	*	*
Gouvernance des sociétés de communication	120	1.5	1.5		6	2	6	*	*
Analyse stratégique des technologies de l'information et de la communication	100	1.5	1.5		4	2	5	*	*
<b>UE méthodologie</b>									
<b>UEM1(O/P)</b>	<b>280</b>	<b>3</b>	<b>1.5</b>		<b>10</b>	<b>3</b>	<b>9</b>		
Economies de l'innovation et de la créativité	80	1.5			4	1	4	*	*
Micro-économétrie	100	1.5	1.5		6	2	5	*	*
stage	100								rapport
<b>UE découverte</b>									
<b>UED1(O/P)</b>	<b>40</b>	<b>1.5</b>		<b>1.5</b>		<b>2</b>	<b>2</b>		
MERISE	40	1.5		1.5		2	2	*	*
<b>UE transversales</b>									
<b>UET1(O/P)</b>	<b>20</b>		<b>1.5</b>		<b>1.5</b>	<b>1</b>	<b>1</b>		
Anglais 1	20		1.5		1.5	1	1	*	*
<b>Total Semestre 1</b>	<b>700</b>	<b>10.5</b>	<b>7.5</b>	<b>1.5</b>	<b>27.5</b>	<b>15</b>	<b>30</b>		

Tableau 5.1a : Fiche d'organisation des Unités d'Enseignement

## Semestre 2 :

Unité d'Enseignement	VHS	V.H hebdomadaire				Coeff	Crédits	Mode d'évaluation	
	14-16 sem	C	TD	TP	Autres			Continu	Examen
<b>UE fondamentales</b>									
<b>UEF1(O/P)</b>	<b>360</b>	<b>6</b>	<b>4.5</b>		<b>15</b>	<b>7</b>	<b>18</b>		
Economie de la communication et de l'internet 2	140	3	1.5		8	3	7	*	*

Gouvernance électronique	120	1.5	1.5		4	2	6	*	*
E-marketing	100	1.5	1.5		3	2	5	*	*
<b>UE méthodologie</b>									
<b>UEM1(O/P)</b>	<b>280</b>		<b>3</b>		<b>10</b>	<b>2</b>	<b>9</b>		
Séminaire 1 (marché des communications locales et internationales)	180		3		10	2	9	*	*
Stage	100								rapport
<b>UE découverte</b>									
<b>UED1(O/P)</b>	<b>20</b>	<b>1.5</b>	<b>1.5</b>		<b>1.5</b>	<b>2</b>	<b>1</b>		
Evaluation des projets	20	1.5	1.5		1.5	2	1	*	*
<b>UE transversales</b>									
<b>UET1(O/P)</b>	<b>40</b>	<b>1.5</b>	<b>1.5</b>		<b>1.5</b>	<b>2</b>	<b>2</b>		
Méthodologie de recherche	20	1.5				1	1	*	*
Anglais 2	20		1.5		1.5	1	1	*	*
<b>Total Semestre 1</b>	<b>700</b>	<b>9</b>	<b>10.5</b>		<b>28</b>		<b>30</b>		

*Tableau 5.1b : Fiche d'organisation des Unités d'Enseignement*

Dans le cadre de la première année du Master ETTI, nous avons travaillé sur le module relatif à la Méthode d'Étude et de Réalisation Informatique des Systèmes d'Entreprise MERISE pour les raisons suivantes :

- Il est en rapport direct avec le programme de certaines formations d'études supérieures.
- Cette méthode reste adaptée pour la gestion des projets internes aux organisations.
- Demandée par un public diversifié, chefs de projet, architectes, développeurs, etc.
- J'enseigne (D. Mansouri) le module concernant MERISE pour les étudiants du Master ETTI.

## 2. Le module MERISE

L'objectif du module est de présenter la méthodologie MERISE comme méthode de conduite et d'analyse de projet. Elle Permettra à l'étudiant d'acquérir les connaissances de base pour pouvoir analyser et concevoir un système d'information. La méthode MERISE préconise trois niveaux d'abstraction :

- Le niveau conceptuel qui décrit la statique et la dynamique du système d'information en se préoccupant uniquement du point de vue du gestionnaire.
- Le niveau organisationnel décrit la nature des ressources qui sont utilisées pour supporter la description statique et dynamique du système d'information. Ces ressources peuvent être humaines et/ou matérielles et logicielles.
- Le niveau opérationnel dans lequel on choisit les techniques d'implantation du système d'information (données et traitements).

Les prérequis pour aborder ce module sont : connaissance de base en informatique et culture générale sur les systèmes d'information et les bases de données.

Le module aborde les thèmes suivants :

- le système d'information dans l'entreprise ;
- le cycle d'abstraction de conception des systèmes d'information ;
- la méthode MERISE.

## 3. Mise en œuvre de l'approche

Cette section présente les phases de mise en œuvre de l'approche pour l'adaptation de la formation au profil de l'apprenant (besoins, préférences) dans le cadre de l'apprentissage de la méthode MERISE.

Nous distinguons deux phases : la phase d'instanciation du modèle du domaine global pour créer la méta-ontologie d'apprentissage visé et la phase de génération de cours adaptés basée sur l'exécution du processus RàPC.

### 3.1 Création de l'ontologie de domaine MERISE

La création de la méta-ontologie du domaine d'apprentissage passe par la proposition des éléments principaux suivants :

- 1) *La création d'un réseau de concepts du domaine et de leurs relations sémantiques.* L'ontologie du thème de la méthode MERISE est présentée dans la Figure 5.1. Les concepts sont représentés par des rectangles contenant les différents labels ou termes permettant de définir les *notions*, les flèches légendées représentent les relations sémantiques entre concepts.

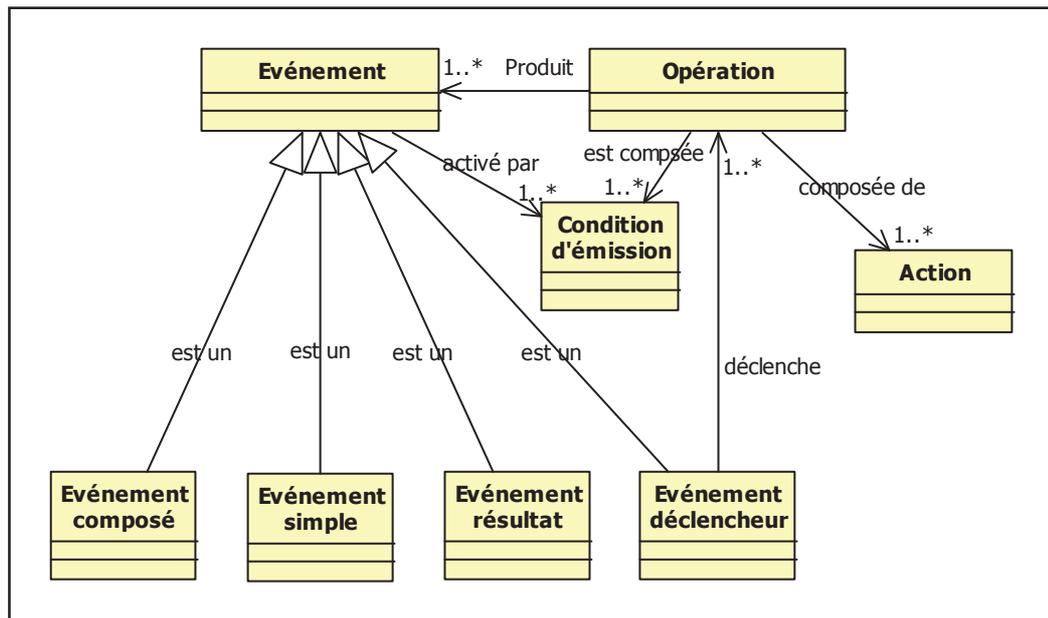


Figure 5.1 : Extrait de l'ontologie du domaine MERISE

- 2) *La définition des scénarios pédagogiques* traitant les concepts proposés et dédiés à l'atteinte des objectifs pédagogiques de la méthode MERISE. Le *scénario* décrit la séquence des *activités* d'apprentissage attribuées à chaque

*rôle* (enseignant, apprenant) pour que l'objectif visé soit réalisé, tout en suivant une *pédagogie* bien déterminée.

Un exemple de scénario pédagogique basé sur la pédagogie de Gagné [Lebrun, 2002] est présenté dans le diagramme d'activités décrit par la Figure 5.2.

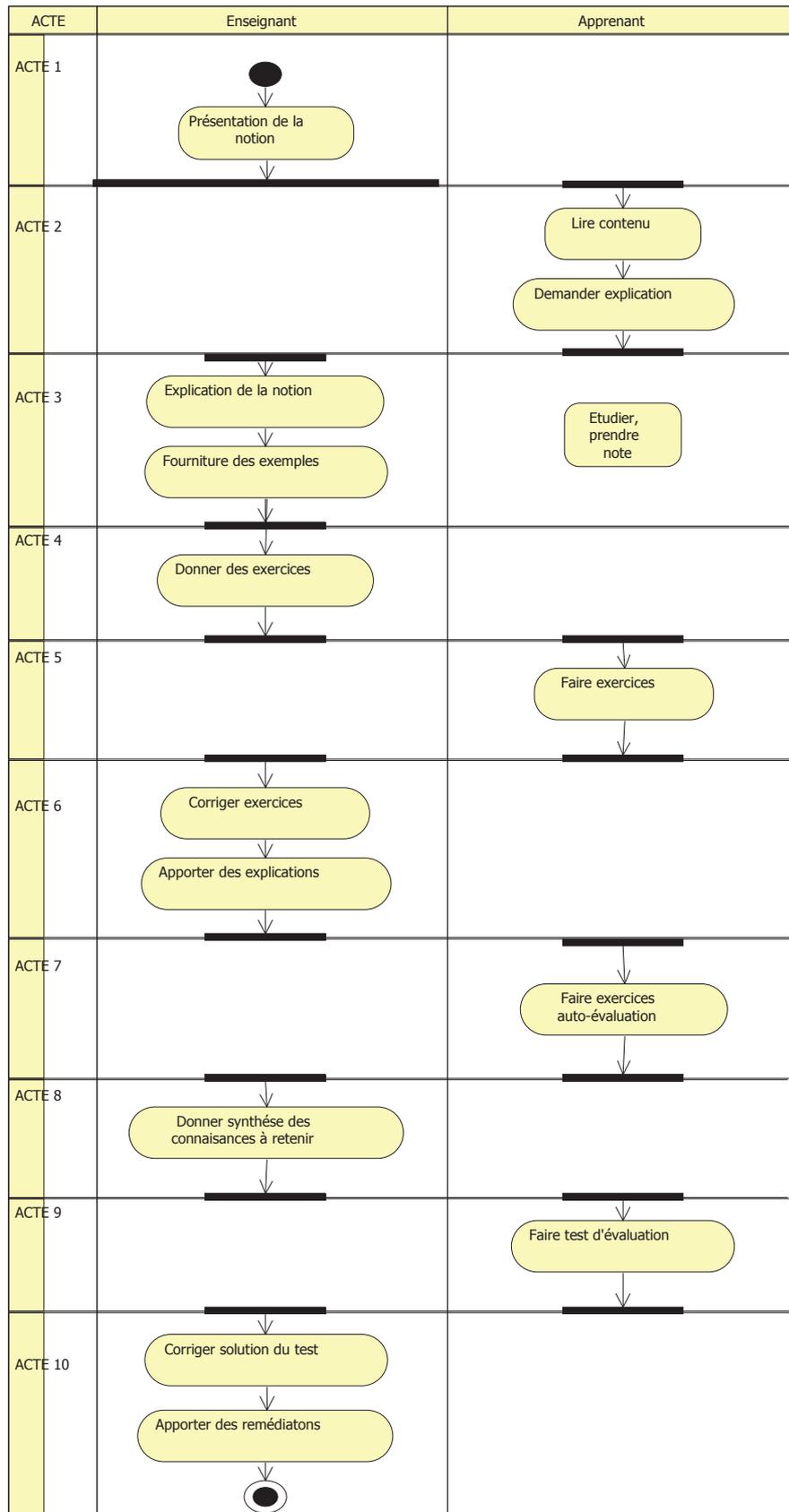


Figure 5.2 : Diagramme d'activités du scénario pédagogique choisi

- 3) *Le développement des objets pédagogiques* traitant les concepts et la proposition de *métadonnées* facilitant la recherche et la récupération de ces *objets pédagogiques*.

L'apprentissage d'un *concept* se réalise dans une ou plusieurs *activités*. A chaque *activité* est associée un ou plusieurs *objets pédagogiques*.

Un objet pédagogique est décrit par quelques éléments du standard LOM [LOM, 2002]. Nous avons utilisés les éléments obligatoires des catégories : *Générale, Cycle de vie, Technique, Education et Relation* et nous avons ajouté d'autres éléments d'ordre sémantique tels que le **type de la ressource** qui détermine le type de l'objet pédagogique (définition, exemple, exercice, résumé, etc.), le **format** qui précise le type de représentation de l'objet pédagogique (texte, son, dessin, schéma, image, vidéo,...) et la méta donnée **niveau pédagogique** de l'objet pédagogique (facile, moyen, difficile). Les éléments ajoutés sont utilisés pour adapter l'activité au niveau et préférences de l'apprenant. En effet, chaque élément est associé à des métadonnées permettant de l'adapter au niveau et /ou aux préférences de l'apprenant.

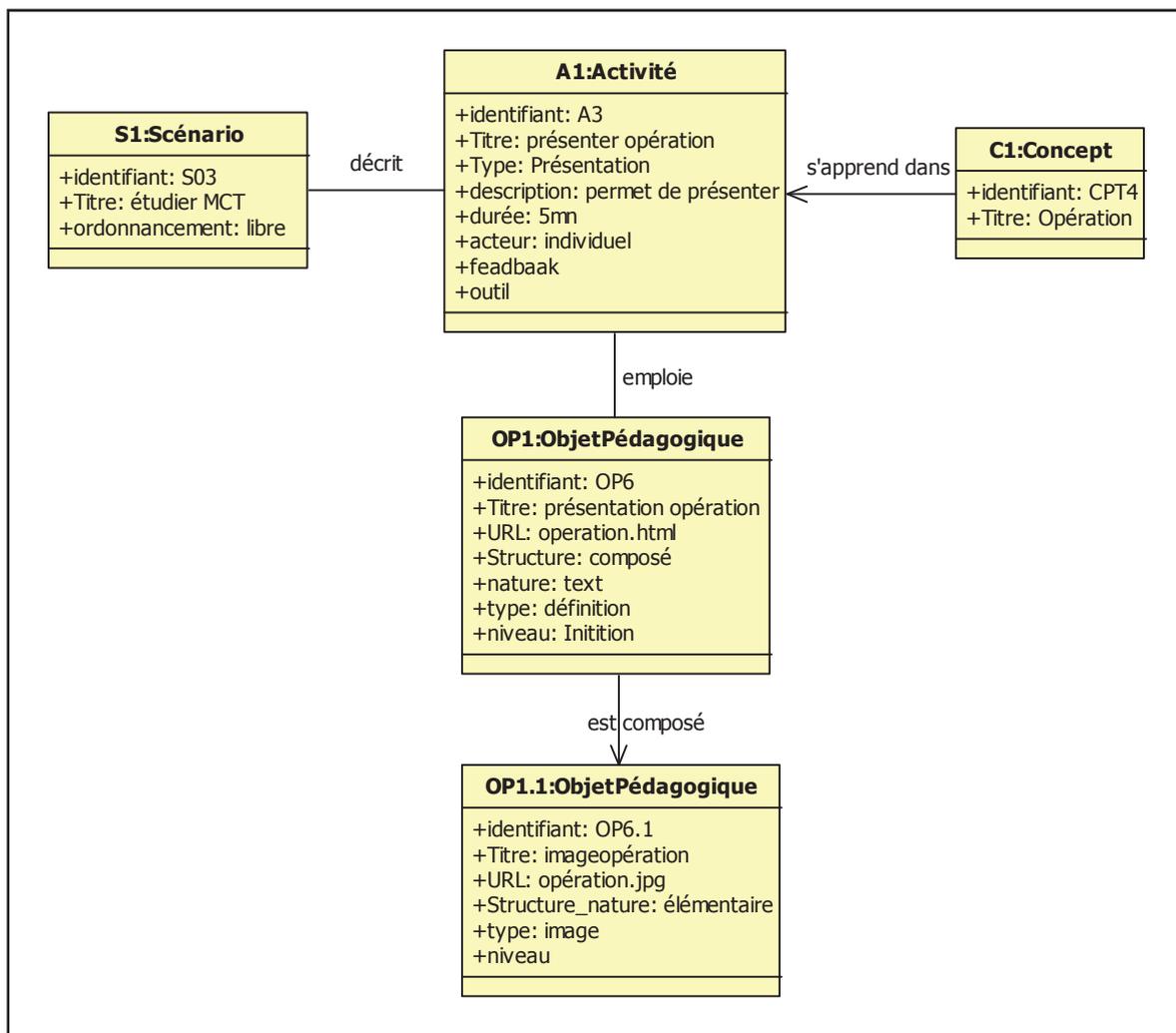


Figure 5.3 : Données d'adaptation.

Le tableau 5.2 présente un exemple de description de séquence d'activités pour l'objectif pédagogique « définir le MCT »

Identifiant concept	Titre concept	Identifiant activité	Titre activité	Objet pédagogique		
				Identifiant	Titre	Type
CPT1	Traitement	A1	Présenter traitement	OP1	Définition traitement	Définition
		A2	Présenter exemple	OP2	Exemple1 traitement	Exemple
CPT2	Acteur	A3	Présenter acteur	OP3	Définition acteur	Définition
				OP3.1	Image acteur	
		A4	Présenter exemple	OP4	Exemple1 acteur	Exemple

CPT3	Événement	A5	Présenter événement	OP5	Définition événement	Définition	
				OP5.1	Image événement		
		A6	Présenter types événement	OP6	Type événement	Définition	
				OP6.1	Message	Définition	
				OP6.1.1	Type message	définition	
				OP6.2	Résultat	Définition	
		A7	Présenter exemple événement	OP7	Exemple1 message	Exemple	
OP8	Exemple1 résultat			Exemple			
CPT4	Opération	A8	Présenter opération	OP9	Définition opération	Définition	
				OP9.1	Image opération	Image	
		A9	Présenter exemple	OP10	Exemple1 opération	Exemple	
	CPT4.1	Action	A10 A11	Présenter action Exemple action	OP11 OP12	Définition action Exemple action	Définition Exemple
			A12	Présenter exercice	OP13	Exercice1 Opération	Exercice
CPT5	Condition émission	A13	Présenter condition émission	OP14	Définition condition émission	Définition	
		A14	Exemple condition émission	OP15	Exemple1 condition d'adaptation	Exemple	
CPT6	Synchronisation	A15	Présenter synchronisation	OP15	Définition synchronisation	Définition	
		A7 A16	Exemple synchronisation	OP16	Exemple1 synchronisation	Exemple	
CPT	MCT	A18	Autoévaluation MCT	OP17	Autoévaluation MCT	Exercice	

Tableau 5.2 : Séquence d'activités pour l'objectif pédagogique « définir le MCT »

## 3.2 Génération du cours adapté

La phase génération du cours adapté aux besoins et préférences de l'apprenant est mise en œuvre par l'application du processus RàPC. Cette phase est initiée par une requête d'un apprenant X ; celui-ci formule sa requête via le formulaire « Profil d'apprentissage ». La Figure 5.4 montre le Formulaire d'initialisation de l'apprenant X.

Profil d'apprentissage

**Titre Formation :** Master ETTI

**Spécialité :** SE

**Titre Module :** MERISE

**Objectifs pédagogiques :** Définir le MCT

**Désigner les concepts acquis et les concepts requis :**

Concepts	Acquis	Requis
Traitement	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Acteur	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Événement	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Opération	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Condition d'émission	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Synchronisation	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Vos Préférences

Quelles présentation désirez-vous ?

**Multimédias :** Texte + Image

**Navigation :** Lire sur l'écran

Quelles pédagogie préférez-vous ?

Exemples   
 Exercices   
 Simulation  
 Illustration   
 Explication   
 Glossaire

Quelles Outils pédagogique préférez-vous ?

Forum

Figure 5. 4 : Formulaire d'initialisation de l'apprenant X

Après validation, ces informations sont sauvegardées dans la base des MA.

Pour satisfaire la requête de l'apprenant, en considérant ses préférences, le processus RàPC est exécuté comme suit :

### 1) Elaboration d'un nouveau cas cible

Nous devons maintenant définir le problème posé par la requête de l'apprenant et donc un cas cible. Nous rappelons que l'élaboration du cas cible se fait grâce au modèle de l'apprenant. Ce modèle nous fournit les informations concernant la partie description de la formation et la partie profil d'apprentissage du cas cible. La phase d'élaboration s'initialisera donc par le remplissage des descripteurs associés.

La Tableau 5.3 présente le cas cible élaboré pour la requête de l'apprenant X.

Cas cible X									
Problème									Solution
Partie description						Partie contrainte			DS ?
D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	
Master ETTI	MERISE	Définir MCT				F	CPT1 CPT2 CPT3 CPT4 CPT5	CPT6	

Tableau 5.3 : Cas cible X

#### Base de cas

La base de cas que nous utiliserons dans cet exemple est constituée de trois cas. Il s'agit de cas sources instances du modèle de cas (cf. Tableau 5.4).

Nous rappelons que, la partie problème du cas source est composée de neuf descripteurs, à savoir :

*D1 : Titre formation.*

*D2 : Titre module.*

*D3 : Objectif pédagogique.*

*D4 : Préférences relatives à l'adaptation de la présentation des contenus.*

*D5 : Préférences relatives à la nature de contenu.*

*D6 : Préférence sur les outils pédagogiques.*

*D7 : Niveau cognitif.*

*D8 : Comprend les concepts acquis.*

*D9 : Comprend les concepts requis.*

Le descripteur *DS* de la partie solution du cas source comprend les activités d'apprentissage permettant l'apprentissage des concepts requis.

Cas	Base de cas									
	Problème									Solution
	<i>D1</i>	<i>D2</i>	<i>D3</i>	<i>D4</i>	<i>D5</i>	<i>D6</i>	<i>D7</i>	<i>D8</i>	<i>D9</i>	<i>DS</i>
<b>A</b>	Master	MERISE	Définir MCT	Texte image	Exemple exercice		Facile	CPT1  CPT2	CPT3  CPT4  CPT5  CPT6	A5, A6, A7  A8, A9, A10, A11, A12  A13, A14  A15, A7, A16  A18
<b>B</b>	Master	MERISE	Définir MCT	Texte image	Exemple exercice		Facile	CPT1  CPT2  CPT3  CPT4	CPT5  CPT6	A13, A14  A15, A7, A16  A18
<b>C</b>	Master	MERISE	Définir MCT	Texte image	Exemple exercice		Facile	CPT1  CPT2  CPT3	CPT4  CPT5  CPT6	A8, A9, A10, A11, A12  A13, A14  A15, A7, A16  A18

Tableau 5.4 : Cas sources présents dans la base de cas

Notons que nous avons choisi de ne traiter notre exemple qu'avec trois cas dans la base, ceci afin de faciliter la démonstration. Les principes présentés dans le chapitre précédent que nous appliquons à notre exemple restent applicables si la base de cas est plus conséquente.

## 2) Recherche des cas similaires

Il s'agit de retrouver parmi la base de cas, le cas source le plus proche du cas cible. Ensuite, ce cas source pourra être adapté afin de répondre au problème caractérisé par le cas cible. La première étape consiste à *filtrer* la base de cas puis à appliquer une *mesure de similarité* entre chacun des cas filtrés et le cas cible afin de ne retenir pour la suite du processus que le cas le plus similaire au cas cible. Dans l'exemple que nous proposons, nous considérons que les trois cas contenus dans la base sont les cas issus de l'étape de filtrage. D'une part, la base de cas n'est pas suffisamment fournie pour qu'une étape de filtrage soit nécessaire. D'autre part, l'étape de filtrage n'est pas le point clef de nos propositions et la démonstration présentée ici vise surtout à présenter les mécanismes de recherche (similarité) et d'adaptation.

### *Similarité*

La mesure de similarité permet de mesurer la ressemblance entre chacun des trois cas de la base et le cas cible. Nous rappelons que pour calculer la similarité entre les profils d'apprentissages des cas sources issus de l'étape de filtrage et le profil d'apprentissage du cas cible, nous mesurons les similarités entre les graphes de concepts qui les constituent (le profil d'apprentissage est constitué d'un graphe de concepts issu de l'ontologie de cas).

D'après Ralalason [Ralalason, 2010], la similarité entre deux graphes est définie comme la moyenne pondérée des similarités entre les concepts qui les composent. Elle est calculée par la formule (cf. Section 3.3.2, Chapitre 3) :

$$SimGraphes(G1, G2) = \frac{\sum_{i=1}^{|Noeuds(G1)|} Coef(G1_i) \cdot \max_{j=1}^{|Noeuds(G2)|} (SimConcept(G1_i, G2_j))}{\sum_{i=1}^{|Noeuds(G1)|} Coef(G1_i)}$$

Les résultats des calculs de similarité sont donnés en Tableau 5.5.

	Cas A	Cas B	Cas C
Similarité avec le cas cible	0,4	0,66	0,5

Tableau 5.5 : Résultats des calculs de similarité entre le cas cible X et les cas sources

D'après les résultats de la mesure de similarité donnés par le tableau de la Table 5.5, le cas source sélectionné pour la phase d'adaptation est le *cas B*.

### 3) Adaptation

La phase de recherche présentée précédemment a permis d'identifier le cas source B comme le cas ayant le plus fort potentiel de réutilisation et d'adaptation aux objectifs définis dans le cas cible X. La solution de formation contenue dans le cas source est réutilisée pour l'adopter/l'adapter au cas cible X à l'aide de l'algorithme d'adaptation (cf. Section 3.3.3, Chapitre 3).

Dans notre exemple, le profil cible (CPT6) est inclus dans le profil source (CPT5, CPT6) donc, l'adaptation de la solution du cas source B consiste à supprimer les activités d'apprentissage indexées par les concepts requis figurant dans le profil source et ne figurant pas dans le profil cible X.

Plus concrètement, *solution source B* = {CPT5A13, CPT5A114, CPT6A15, CPT6A7, CPT6A15, CPTA18};

*en supprimant les activités associées au concept CPT5 ;*

*solution cible X := {CPT6A15, CPT6A7, CPT6A15, CPTA18} ;*

Afin de générer le cours à présenter à l'apprenant, les activités d'apprentissages contenues dans la solution obtenue par l'algorithme

d'adaptation sont structurées selon le scénario pédagogique associé (décrit dans la classe méthode). Chacune de ces activités utilise et affiche les objets pédagogiques (filtrés selon les préférences de l'apprenant), qui leurs sont assignés.

## 4. Conclusion

Notre objectif dans ce chapitre était de mettre en œuvre notre approche qui a pour but de procurer des contenus adaptatifs en adéquation avec le modèle de l'apprenant.

Nous avons présenté le projet d'enseignement à distance ETTI initié par la Faculté des Sciences Economiques, Commerciales et des Sciences de Gestion. Nous avons partiellement appliqué l'approche pour un module d'enseignement relatif à la méthode MERISE.

## Conclusion

Le travail de recherche présenté dans cette thèse a permis de valider l'hypothèse de l'utilisation de l'expérience comme connaissance complémentaire aux connaissances expertes pour adapter de manière efficace et individuelle les contenus comme les parcours pédagogiques lors des formations à distance de type e-learning ou MOOC (Massive Open Online Courses).

Pour réaliser cet objectif avec une approche de type Raisonnement à Partir de Cas, nous avons mis en place différentes phases :

- *Capitaliser et réutiliser des connaissances pédagogiques*

Les connaissances prises en compte pour mettre en place notre approche sont de plusieurs types : les connaissances sur le sujet d'enseignement, sur les ressources pédagogiques et les connaissances nécessaires pour prendre en compte les scénarios d'apprentissages, sur les apprenants et sur le processus d'adaptation. Nous avons modélisé et capitalisé ces connaissances tout en permettant leur réutilisation et leur partage entre les apprenants et les enseignants grâce à une structure basée sur trois modèles :

- *Le modèle de domaine* permet une représentation sémantique des contenus pédagogiques et leurs usages dans le cadre d'une formation en ligne grâce à des ontologies (ontologie du domaine du thème, ontologie des théories d'apprentissage, ontologie des métadonnées LOM et de la structuration SCORM, et ontologie des scénarios pédagogiques). L'intérêt d'utiliser des ontologies réside d'abord dans une représentation non ambiguë de la connaissance. Ensuite, en associant les concepts des ontologies aux objets pédagogiques ou aux usages de ces objets (scénarios

---

d'apprentissage), il est possible d'induire un raisonnement grâce aux axiomes associés à celles-ci.

- *Le modèle de l'apprenant* comporte cinq catégories de paramètres, vont de la plus générale à propos de l'apprenant, à la plus précise concernant ses interactions avec le système : *données personnelles* (nom, prénom, âge,...), *préférences* (vidéo, exemples,...), *état d'apprentissage* (chemin d'apprentissage, plan d'activités,...), *interaction entre le système et l'apprenant* (nombre de visites sur les contenus pédagogiques, type de contenu,...) et les *connaissances de l'apprenant* (titre formation, titre module, objectifs,...) . Le MA proposé et représenté par une ontologie et est utilisé pour conserver les informations pertinentes de l'apprenant afin de pouvoir générer un cours adapté à ses besoins et préférences.
- *Le modèle d'adaptation* exploite des expériences d'apprentissage réelles issues de précédentes sessions d'apprentissage. Les expériences sont modélisées par des cas constituant la base de cas du moteur RàPC. Pour améliorer la communication entre la base de cas, le modèle de l'apprenant et le modèle de domaine, le cas est présenté à l'aide d'une ontologie. Les ontologies jouent un rôle important comme vocabulaire pour décrire le cas, comme structure de connaissances ou les cas sont localisés, et comme source de connaissances permettant le raisonnement sémantique dans les méthodes de calcul de similarité.
- *Offrir des possibilités d'adaptation des formations aux caractéristiques et besoins des apprenants*

Dans un souci de faciliter la recherche /sélection, l'adaptation et la composition de contenus pédagogiques, il est essentiel de disposer d'une description sémantiquement riche des objets pédagogiques. Nous avons utilisé les ontologies pour représenter les connaissances relatives aux apprenants, au sujet d'enseignement et aux méthodes pédagogiques. Les ontologies proposées pour ces trois domaines définissent une terminologie

réutilisable et partageable par ceux qui conçoivent les contenus pédagogiques (concepteurs/enseignants) et par ceux qui les utilisent (apprenants). Les ontologies sont aussi utilisées pour faciliter la mise en correspondance des besoins des apprenants et des contenus pédagogiques disponibles.

- ***Utiliser le RàPC pour adapter les contenus de formation aux besoins et préférences des apprenants***

L'approche choisie pour adapter les contenus pédagogiques aux apprenants est la réutilisation d'expérience qui consiste à remémorer et interpréter les signatures de tâche en cours. Ce modèle de raisonnement qui est étroitement lié au raisonnement à partir de cas (RàPC), consiste à adapter aux apprenants les contenus similaires des apprenants qui ont réussi à atteindre le même profil-cible. Dans le contexte de nos travaux, un cas représente une expérience. Nous avons proposé des mécanismes de recherche et d'adaptation d'expériences passées afin de générer un cours adaptés au profil de l'apprenant. Pour permettre le processus de recherche, nous avons utilisé des mesures de similarité entre expériences et d'adaptabilité d'une expérience passée. Nous avons ensuite basé l'adaptation du cas issu de la phase de recherche sur l'algorithme d'adaptation que nous avons proposé.

- ***Réalisation d'un prototype ALIAS***

Ces perspectives sont synthétisées et la mise en œuvre est effectuée à l'aide d'UML aboutissant à un système validé par l'expérimentation ALIAS pour Apprentissage en Ligne Intelligent Adaptatif Situé. En effet, ALIAS est un prototype de système d'apprentissage en ligne intégrant un module de raisonnement à partir de cas. Ici, le RàPC est perçu comme outil pour l'exploitation du contenu et des expériences d'apprentissage réelles issues des précédentes sessions d'apprentissage ayant fait leurs preuves et permis la réussite des apprenants. L'un des cadre applicatifs pour lequel nous avons démontré le fonctionnement du système ALIAS est le projet d'un campus numérique réel ayant pour objectif de dispenser des modules

---

d'enseignement à distance pour une formation particulière, en l'occurrence le « Master en ETTI » (Economie des Télécommunications et des Technologies de l'Information) délivré par l'Université Ferhat Abbas-Sétif-1. Loin de présenter un produit fini, l'approche est expérimentée pour un cours pilote, à savoir le cours concernant la méthode de conception MERISE.

La démarche d'expérimentation a consisté d'abord à développer une ontologie du domaine relatif à MERISE puis à élaborer manuellement un extrait de cette ontologie grâce à un outil, en l'occurrence Protégé, et enfin à simuler l'exécution du processus RàPC pour le traitement d'une requête d'un apprenant donné.

Les hypothèses de recherche ont été vérifiées, et il reste maintenant à intégrer ces principes dans un système réel, permettant d'intégrer les principes mis en évidence pour une adaptation à partir de l'expérience des apprenants et encadrée par l'expertise des enseignants.

En effet, ce travail s'ouvre à des perspectives larges et prometteuses que nous citons ci après :

*A court terme,*

- Implémenter le système conçu avec des technologies Web afin de mettre en application l'approche proposée dans ce travail et permettre son évaluation.
- Intégrer l'outil qui en est issu à la plateforme moodle afin d'étudier la pertinence de l'utilisation du paradigme RàPC en contexte d'apprentissage et vérifier les apports pour l'adaptation des contenus pédagogiques aux caractéristiques des apprenants.

*A moyen terme,*

- Expérimenter l'approche avec Moodle pour un public large et massif dans le cadre des MOOC qui sont en effet un type particulier d'EIAH, et le but est de permettre leur adaptation à chacun des apprenants en exploitant les traces d'interaction générées par leur activité sur la plate forme.

---

---

## Bibliographie

1. Aamodt, A et Plaza, E. (1994). Case-based reasoning: Foundational issues, methodological variations, and system approaches. *AICOM*, 7, 39-59.
2. Abel, M-H. Lenne, D. Moulin, C et Benayache, A. (2003). Gestion des ressources pédagogiques d'une e-formation, Document Numérique 7(1-2): 111-128.
3. Abel, M-H. Benayache, A. Lenne, D. Moulin, C. Barry, C. et Chaput, B. (2004). Ontology-based organizational memory for e-learning. *Educational Technology & Society*, Vol., 7(4), 2004, page numbers (98-111).
4. Abou Assali, A. Lenne, D et Debray, B. (2009). COBRA: Une plate forme de RàPC base sur des ontologies. *IC 2009*, May 2009, Hammamet, Tunisie. pp.277-288, 2009.
5. Ahmad, A. Basir, O et Hassanein, K. (2004). Adaptive user interfaces for Intelligent e-Learning: issues and trends. *Proceedings of the Fourth International Conference on Electronic Business, ICEB2004*, Beijing.
6. Aka, M et Frasson, C. (2002). A New Approach on Flight Training: ASIMI. Technologies de l'Information et de la Communication dans les Enseignements d'ingénieurs et dans l'industrie, *TICE'2002*, Lyon, 13 -15 novembre 2002, p. 307-314. 2002.
7. Alevin, V et Ashley, K.D. (1997). Teaching Cased-Based argumentation through a odel and examples: Empirical evaluation of an intelligent learning environment. *Artificial Intelligence in Education*. 87-94.
8. Allal, L. Cardinet, J et Perrenoud, P. (1979). *L'évaluation formative dans un enseignement différencié*, Berne, Lang.
9. Arenaza, N. (2006). *Composition semi-automatique de service Web*. SIN de Projet de Master à l'Ecole Polytechnique de Lausanne; 2006.
10. ARIADNE Foundation. (2000). *Alliance of Remote Instructional Authoring and Distribution Networks for Europe*. <http://www.ariadne-eu.org>.

- 
11. Badra, F. (2009). *Extraction de connaissances d'adaptation en raisonnement à partir de cas*. Thèse de doctorat en informatique, Université Henri Poincaré Nancy 1.
  12. Balacheff, N. Baron, M. Desmoulins, C. Grandbastien, M et Vivet, M. (1997). Conception d'environnements interactifs d'apprentissage avec ordinateur. In P. Siegel & S. Pesty (Eds.), *Actes des 6e journées PRC-GDR IA* (pp. 315-337). Paris : Hermes.
  13. Balla, A. (2004). *Un modèle générique d'environnement de développement des hypermédias adaptatifs et dynamiques générant des activités pédagogiques*. Thèse de doctorat d'état en Informatique, INI 2004.
  14. Barath, B. M. (1985). Bruner et l'innovation pédagogique. *Communication et langages*, n° 66, pp 45-58, 1985.
  15. Barré, V et Choquet, C. (2005). Une aide à la réingénierie d'un scénario pédagogique via la préconisation et la formalisation d'observables, In *EIAH 2005*, pp. 141-152, 25-27 mai 2005, Montpellier (France).
  16. Bartlett, FC. (1932). *Remembering: A Study in Experimental and Social Psychology*, Chapter 10 Cambridge University Press, 1932, <http://www.ppsis.cam.ac.uk/bartlett/TheoryOfRemembering.htm>
  17. Battou, A. (2012). *Approche granulaire des objets pédagogiques en vue de l'adaptabilité dans le cadre des Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain*. Thèse de doctorat à l'Université Ibn Zohr, 2012.
  18. Bechhofer, S. et Volz, R. (2004). *Wonder Web OWL Ontology Validator*. In <http://phoebus.cs.man.ac.uk:9999/OWL/Validator>, 2004.
  19. Benayache, A. (2005). *Construction d'une mémoire organisationnelle de formation et évaluation dans un contexte de e-learning: le projet MEMORAe*. Thèse de doctorat à l'Université de Technologie de Compiègne, 2005.
  20. Bergmann, R et Stahl, A. (1998). Similarity measures for object-oriented case representation. In *Proceeding of the European Workshop on Case-Based Reasoning*, EWCBR 98.
  21. Berlanga, A.J. García Peñalvo, F.J. (2008). Learning Design in Adaptive Educational Hypermedia Systems. In *Journal of Universal Computer Science*, vol. 14, no. 22, p3627-3647.
-

- 
- 
22. Boticaro, J. G, et Santos, O. C. (2007). An open IMS-based user modelling approach for developing adaptive learning management systems. *Journal of Interactive Media in Education* (Adaptation and IMS Learning Design. Special Issue, ed. Daniel Burgos), 2007/2, from <http://jime.open.ac.uk/>.
  23. Bouzeghoub, A. Defude, B. Duitama, J.F. et Lecocq, C. (2005). Un modèle de description sémantique de ressources pédagogiques basé sur une ontologie de domaine. *Revue STICEF*, vol., 12., fin 2005 (ISSN :1764-7223) mis en ligne le 15/03/2006 <http://sticef.org>.
  24. Bouzeghoub, A et Lecocq, C. (2005). Cas d'utilisation d'ontologies hétérogènes dans les EIAH, In *EIAH 2005*, pp. 241-252, 25-27 mai 2005, Montpellier (France).
  25. Brown, J. S et Burton, R.R. (1978). Diagnostic models for procedural bugs in basic mathematical skills. *Cognitive Science*, Vol. 2, 1978, pp. 155-191.
  26. Bruner, J.S. Goodnow, J. Austin, G.A . (1956). *A study of thinking*, New York: wiley, 1956.
  27. Brusilovsky, P et Millan, E. (2007). User models for adaptative hypermedia and adaptative educational system. In *the adaptative web*, LNCS 4321 pp 3-53.
  28. Brusilovsky, P et Nejdl, W. (2005). Adaptive hypermedia and Adaptive Web. In: M. P. Singh (ed.) *Practical Handbook of Internet Computing*. Baton Rouge: Chapman Hall & CRC Press, pp. 1.1-1.14.
  29. Brusilovsky, P et Vassileva, J. (2003). Course sequencing techniques for large-scale webbased education. In *International Journal of Continuing Engineering Education and Lifelong Learning*, 2003, vol 13, pp 75-94.
  30. Brusilovsky, P. Eklund, J et Schwarz, E. (1998). Web-based education for all: A tool for developing adaptive courseware. In *Proceedings of Seventh International World Wide Web Conference, Computer Networks and ISDN Systems*, 30(1-7), 291-300.
  31. Brusilovsky, P. (1996). Methods and techniques of adaptive hypermedia. *User Modeling and User Adapted Interaction*, vol. 6 (2-3), pp. 87-129.

- 
32. Brusilovsky, P et Miller, P. (2001): Course Delivery Systems for the Virtual University. In Tschang F.T. & T. Della Senta (Eds.), *Access to Knowledge: New Information Technologies and the Emergence of the Virtual University* (pp. 167-206). Amsterdam: Elsevier Science and International Association of Universities.
  33. Brusilovsky, P et Paylo, C. (2003). : Adaptive and Intelligent Web-based Educational Systems. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 13, 156-169, 2003
  34. Buche, C. Querrec, R. Chevaillier, P. Kermarrec, G. (2006). Apports des systèmes tutoriaux intelligents et de la réalité virtuelle à l'apprentissage de compétences, *Cahiers Romains de Sciences Cognitives*, vol. 2, n ° 2, p. 51-83, 2006.
  35. Burke, R et Kass, A. (1996). Retrieving stories for Cased-Based Teaching. In leake, D. (ed.), *Cased Based Reasoning: Experiences, Lessons, and future directions* (pp.93-110), Menlo Park: AAAI Press/MIT Press.
  36. Burgos, D. Michel Arnaud, M. Patrick Neuhauser, P. Koper, R. (2005). *IMS Learning Design : la flexibilité pédagogique au service des besoins de l'e-formation*. Association EPI Décembre 2005. Disponible à <http://www.epi.asso.fr/revue/articles/a0512c.htm>.
  37. Burgos, D. (2008). *Extension of the IMS Learning Design Specification based on Adaptation and Integration of Units of Learning*. Thèse de doctorat. Carlos III University of Madrid, Leganés, Spain.
  38. Burgos, D. Tattersall, C et Koper R. (2006). Representing adaptive eLearning strategies in IMS Learning Design. *Proceeding TEN Competence Conference*. Sofia, Bulgaria, March 31st 2006.
  39. Carletto, N. (2003). « Concevoir une formation en entreprise », Dunod, Paris.
  40. Catteau, O. Vidal, P. Marquié, D et Broisin, J. (2007). Production et gestion collaboratives d'objets pédagogiques dans le cadre d'un dispositif international de FOAD. *Distance et savoirs*, vol., 5., 2/2007, page numbers (201-230), ISSN, 1765-0887.
  41. Chin, D. (2001). Empirical Evaluation of User Models and User-Adapted Systems. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 11, 181-194.
-

- 
- 
42. Cordier, A. (2008). *Interactive Knowledge Acquisition in Case Based Reasoning*. Thèse de doctorat à l'Université Claude Bernard Lyon 1, 2008.
  43. Cordier, A. Fuchs, B. Lieber, J et Mille, A. Failure analysis for domain knowledge acquisition in a knowledge-intensive cbr system. Dans *Case-Based Reasoning Research and Development, Proceedings of the 7th International Conference on Case-Based Reasoning, (ICCBR'07)*, p. 463-477.2007.
  44. Cranefield, S et Purvis, M. (1999). UML as an ontology modeling language, *Proceedings of the Workshop on Intelligent Information Integration*, 16th International Joint Conference on (IJCAI-99), <http://CEUR-WS.org/Vol-23/cranefield-ijcai99-iii.pdf>.
  45. D'Aquin, M. Lieber, J et Napoli, A. (2005). Decentralized Case-Based Reasoning for the Semantic Web. Dans *Proc. of International Semantic Web Conference, ISWC 2005, tome 3729 de Lecture Notes in Computer Science* , p. 142-155. Springer, 2005.
  46. De Bra, P. Aroyo, L et Cristea, A. (2004). Adaptive Web-based Educational Hypermedia. In M. Levene & A. Poulovassilis (Eds.), *Web Dynamics, Adaptive to Change in Content, Size, Topology and Use* (pp. 387-410): Springer.
  47. Delestre, N. (2000). *Un hypermédia adaptatif dynamique pour l'enseignement*. Thèse au Laboratoire PSI de l'Université de Rouen, 2000.
  48. Delestre, N. Gréboval, C. Pécuch J.P. et Metadyne . A. (1997). Dynamic adaptive hypermedia system for teaching. *3rd ERCIM Workshop*, Obernai, France, 1997.
  49. Delestre, N. Pécuchet, J.P. et Gréboval, C. (1999). How to design an adaptive dynamic hypermedia for teaching?. *AI-ED'99 Le Mans*, 1999, p654-656.
  50. Dennery, M. (2001). « Evaluer la formation », ESF, Toulouse.
  51. Diagne, F. (2006). Mtsa : Un modèle de traces pour la supervision de l'apprentissage. In *Workshop Modélisation de connaissances de la conférence EGC Extraction et Gestion de la Connaissance*, pp. 38-48, Lille, France.

- 
- 
52. Diessel, T. Lehmann, A et Vassileva, J. (1994). Individualized Course Generation: A Marriage between CAL and ICAL. *Computers and Education*, 22, No.1/2, 57-64; 1994.
53. Dimitrova, V. Self, J et Brna, P. (2000). Maintaining a Jointly Constructed Student Model. *Artificial Conference, AIMS 2000*, Varna, Bulgaria, Proceedings, Cerri S. A. et Doche D. (Éds.): LNCS1904, Springer, 2000, pp. 221-231.
54. Dimitrova, V et Bontcheva, K. (2003). The Use of Conceptual Graphs for Interactive Student Modelling and Adaptive Web Explanations. Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems. *7th International Conference, KES 2003*, Oxford, UK, Proceedings, Part II, Palade V., Howlett R. J. et Jain L. C. (Éds.): LNCS 2774, Springer, 2003, pp. 230- 237.
55. Duval, E. Sutton, S et Weibel, S.L. (2002). Metadata Principles and Practicalities. *D-Lib Magazine* 8(4).
56. Edmonds, E.A. (1981). Adaptive Man-Computer Interfaces. Computing skills in the user interface, Coobs M.J & Alty J.L Eds. *Computer and People series, Academic Press*, 1981.
57. Fage, C. (2005). Vous avez dit SCORM. *eLearning Agency*, 1-14.
58. Ferraris, C. Vignollet, A.L et David, J. (2005). Modélisation de scénarios d'apprentissage collaboratif pour la classe. Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain EIAH'05, Montpellier, 26 et 27 Mai, 2005.
59. Fournier-Viger, P. (2005). *Un modèle de représentation des connaissances à trois niveaux de sémantique pour les systèmes tutoriels intelligents*. Mémoire présenté dans le cadre du programme de maîtrise des sciences (M. Sc), Université de Sherbrooke, Québec, Canada.
60. Fuchs, F. Lieber, J. Mille, A et Napoli, A. (2000). An Algorithm for Adaptation in Case-Based Reasoning. In *Proceedings of the 14th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI-2000)*, pp. 45-49, Berlin, Germany.
61. Fuchs, F. Mille, A. Lieber, J et Napoli, A. (2006). Une première formalisation de la phase d'élaboration du raisonnement à partir par cas. *14ème Atelier de raisonnement à partir de cas*, 30 et 31 mars 2006, Besançon (France).

- 
- 
62. Fuchs, B. Lieber, J. Mille, A et Napoli, A. (1999). Towards a unified theory of adaptation in case-based reasoning. In Case Based Reasoning Research and Development. *The 3rd International Conference on Case-Based Reasoning (ICCBR'99)* , volume 1650 de LNAI, pages 104-117, See on Monastery, Germany, August 25-27 1999. Springer Verlag.
63. Funk, P et Conlan, O. (2002). Case-Based Reasoning to Improve Adaptability of Intelligent Tutoring Systems. *Workshop on Case-Based Reasoning for Education and Training, CBRET'2002*, Aberdeen, Scotland, 2002, p. 15-23.
64. Furst, F. (2004). *Contribution à l'ingénierie des ontologies: une méthode et un outil d'opérationnalisation*. Thèse de doctorat à l'Université de Nantes.
65. Gabillet, B et Montbron, Y. (1998). « De se former soi-même ».ESF, Toulouse.
66. Gasevic, D. et Hatala, M. (2005). Searching context relevant learning resource using ontology mappings, *International Workshop on Applications of Semantic Web Technologies for Elearning (SW-EL)*, Winston-Salem State University, <http://www.win.tue.nl/SWEL/2005/swel05-kcap05/proceedings>
67. Gilbert, J.E. (2000). Cased Based reasoning applied to instruction method selection for intelligent tutoring systems. *Work-shop 5: Cased based reasoning in intelligent training systems*. ITS'2000. Montreal, 11-15.
68. Grandbastien, M et Labat, J.M. (2006). Environnements informatiques pour l'apprentissage humain. Paris: Hermès Lavoisier, 17-24.
69. Grüninger, M et Lee, J. (2002). Ontology Applications and Design. In *Communication of the ACM*, 45(2), pp. 39-41.2002.
70. Hamdi-Cherif, et Hamdi-Cherif, C (alias Kara-Mohammed). (2004). Interactions between e-learning and agents. *Int. Conf. On Inf. and Comp. Systems (ICICS'04)*, IEEE Computer Society , pp. 115-129, Dhahran, Saudi Arabia, 29 Nov-1 Dec. 2004.
71. Hamdi-Cherif, A. Hamdi-Cherif (alias Kara-Mohammed), C. Rasheedy, A et Rasheedy, M. (2008). Fuzzy agent for e-learner profile construction. Invited conference article, *In Recent Advances in Systems, Comm. and*
- 
-

- 
- Computers - Selected Papers from the WSEAS Conf.*”, Hangzhou, China, pp. 61-74, 6-8 April 2008
72. Heraud, J.-M. (2002). *PIXED: une approche collaborative de l'expérience et l'expertise pour guider l'adaptation des hypermédias en enseignement à distance*. Thèse de doctorat à l'Université Lyon 1.
73. Héraud, J.M. Mille, A et Jolion, J.M. (1999). Les réseaux notionnels: un outil pour guider la navigation dans un cours hypermédia. *IIIème colloque Jeunes Chercheurs en Sciences Co-gnitives*. 1999. Soulac, France p. 116-121.8.
74. Heraud, M.H. France, L et Mille, M. (2004). Pixed : an ITS that guides students with the help of learners' interaction log. Dans *7th International Conference on Intelligent Tutoring Systems (Workshop Analyzing Student-Tutor Interaction Logs to Improve Educational Out-comes)*, Maceio. pp. 57 - 64. 2004.
75. Hernandez N. (2005). *Ontologies de domaine pour la modélisation du contexte en Recherche d'Information*. Thèse de Doctorat à l' Université Paul Sabatier.
76. Hernandez, N. Mothe , J. Bertin, A.B. Ramamonjisoa , O. Ralalason, B et Stolf, P. (2008). *Indexation multifacettes des ressources pédagogiques pour faciliter leur réutilisation*. [ftp://ftp.irit.fr/IRIT/SIG/2008\\_RNTI\\_HMRRS.pdf](ftp://ftp.irit.fr/IRIT/SIG/2008_RNTI_HMRRS.pdf)
77. IMSLD (2003). <http://www.imsglobal.org/learningdesign/>
78. Inaba, A. Supnithi, T. Ikeda, M. Mizoguchi, R et Toyoda, J. (2000). An Overview of Learning Goal Ontology. *Proc. of ECAI2000 workshop on Analysis and Modelling of Collaborative Learning Interactions*, 23-30; 2000.
79. Jacquot, C.(2006). *Modélisation logique et générique des systèmes d'hypermédias adaptatifs*. Thèse de doctorat à l'Université Paris-Sud XI Orsay.
80. Jaczynski. J. (1998). *Modèle et plate-forme à objets pour l'indexation des cas par situations comportementales : applications à l'assistance à la navigation sur le web*. Thèse de doctorat en informatique, Université de Nice-Sohpia Antipolis.
81. Jean-Daubias, N et Nogry, S. (2001). Le projet AMBRE : utiliser le RàPC pour enseigner des méthodes. *RàPC'2001*, Grenoble.

- 
- 
82. Kabassi, K. et Virvou, M. (2003). Using Web Services for Personalized Web-Based Learning. *Educational Technology & Society*, Vol. 6, No. 3, 2003, pp.61-71.
83. Khant, M. (2000). Case-Based Evaluation for Student Modeling. *Workshop 5: Case-Based Reasoning in Intelligent Training Systems, ITS'2000*, Montreal, 2000, p. 16-22.
84. Klyne, G. et Carroll, J. (2004). *Resource Description Framework (RDF): Concepts and Abstract Syntax*. In Graham Klyne and Jeremy J. Carroll, Editors, W3C Recommendation, 10 February 2004. <http://www.w3.org/TR/2004/REC-rdf-concepts-20040210/> Latest version available at <http://www.w3.org/TR/rdf-concepts/>
85. Kinley, A. (2001). *Learning to improve case adaptation*. Thèse de doctorat, Computer Science Department, Indiana University, 2001.
86. Knight, C. Gasevic, D et Richards G. (2005). Ontologies to integrate learning design and learning content. *Journal of Interactive Media in Education (07)*. ISSN:1365-893X, <http://www-jime.open.ac.uk/2005/07/>
87. Koper, R. (2001). EML-OUNL (Open University of the Netherlands' Educational Modeling Language), *Modeling Units of Study from a Pedagogical Perspective*. <http://eml.ou.nl/introduction/docs/ped-metamodel.pdf>
88. Labidi, S et Sérgio, N. (2000). Student Modeling and Semi-automatic Domain Ontology Construction for SHIECC. *Proceedings of the 30th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference*, Kansas City, Missouri, USA, 2000, pp. F1B14-F1B18.
89. Lamontagne, L. et Lapalme, G. (2002). Raisonement à base de cas textuels : état de l'art et perspectives. *Revue d'Intelligence Artificielle*, Hermes, Paris, vol. 16, no. 3, pp. 339-366.
90. Lazrek, A et Abdelwahed, E. H. (2008). Des ontologies pour la description des ressources pédagogiques et des profils des apprenants dans l'e-learning. Dans *1ères Journées Francophones sur les Ontologies*, 18 et 20 octobre 2008, Sousse, Tunisie.
91. Leake, D.B. (1996a). Rédacteur. *Case-Based Reasoning : Experiences, Lessons, and Future Directions*, chapitre 9 : Design à la Déjà Vu. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1996a.
- 
-

- 
- 
92. Leake, D.B. (1996b). Rédacteur. *Case-Based Reasoning : Experiences, Lessons, and Future Directions*, chapitre 11 : Learning to Improve Case Adaptation by Introspective Reasoning and CBR. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1996b.
  93. Leake, D.B et Powell, J.H. (2007). Mining large-scale knowledge sources for case adaptation knowledge. Dans *Case-Based Reasoning Research and Development, 7th International Conference on Case-Based Reasoning, (ICCBR'07)*, p. 209–223. 2007.
  94. Leake, D.B et D.H. (2008).Powell. Knowledge planning and learned personalization for web-based case adaptation. Dans *Advances in Case-Based Reasoning, 9th European Conference, ECCBR 2008, Trier, Germany, September 1-4, 2008. Proceedings*, p. 284–298. 2008.
  95. Leake, D.B.Kinley, K et Wilson , D. (1996). Acquiring Case Adaptation Knowledge: A Hybrid Approach. Dans *AAAI / IAAI*, tome 1, p. 684–689. 1996.
  96. Leake,D.B. Kinley, A et Wilson , D.C. (1997) . A Case Study of Case-Based CBR. Dans *Proc. of the Second International Conference on Case-Based reasoning Research and Development, ICCBR 97*, p. 371–382. Springer, 1997
  97. Lebrun, M. (2002). «Des technologies pour enseigner et apprendre ». *De Boeck* (2ème édition), ISBN 2-8041-3155-6.
  98. Lenne, D. Abel, M.H. Moulin, C et Benayache A. (2005). Mémoire de formation et apprentissage. Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (*EIAH 2005*), Montpellier, 105-116.
  99. Lenz, M. Bartsch-Sporl, H. Burkhard, D. et Wess, S. (1998). (Eds.). *Case-Based Reasoning Technology. From Foundations to Applications*, LNAI 1400, Springer, 1998.
  100. Lieber, J. (2002). Recopier c'est déjà adapter: six types d'adaptation par copie. Dans *Actes du 10ème atelier de raisonnement à partir de cas*, pp., 11-21, Paris.
  101. Lieber, J. d'Aquin, M.Brachais, S etNapoli, A. (2004). Une étude comparative de quelques travaux sur l'acquisition des connaissances d'adaptation pour le raisonnement à partir de cas. In *12ème Atelier de*
- 
-

- 
- Raisonnement à Partir de Cas (RàPC'04)*, pages 53–60, Villetaneuse, France, Mars 2004.
- 102.** LOM (2004). LOM standard. Document IEEE1484.12.1-2002.
- 103.** Lopez de Mantaras , R.McSherry, D. Bridge, D.Leake, D. Smyth, B. Craw, S.Faltings, B. Maher , M.L. CoxM.Forbus, K. Keane, M.Aamodt, A et Watson, I.(2005). Retrieval, Reuse, Revise, and Retention in CBR. *Knowledge Engineering Review*, pp : 215-240, 2005.
- 104.** Mansouri, D et Hamdi-Cherif, A. (2002). An object-oriented decision support system (DSS) for curriculum contents elaboration. *International E-Learning Symposium*, Dubai, United Arab Emirates (UAE), 12-13 May 2002.
- 105.** Mansouri, D et Hamdi-Cherif, A. (2004). Decision support system (DSS) for courseware elaboration: UML design. *El Baha Technical Meeting*, Saudi Arabia, pp. 66-76, 3-5 May 2004.
- 106.** Mansouri, D et Mille, A. (2007). Raisonnement à partir de cas pour l'ingénierie de formation : une approche fondée sur l'expérience tracée du processus de formation. *Plate-forme AFIA*, 2 juillet 2007, Grenoble.
- 107.** Mansouri, D et Hamdi-Cherif, A. (2011). Ontology-oriented case-based reasoning (CBR) approach for trainings adaptive delivery. Invited Conference / Book Chapter In: *Proc. of the 15th WSEAS Int. Conf. on Computers (CSCC'11)*, Included in ISI/SCI Web of Science and Web of Knowledge, Corfu Island, Greece, pp. 328-333, July 15-17, 2011.
- 108.** Mansouri, D. Mille, A et Hamdi-Cherif, A. (2014). Adaptive delivery of trainings using ontologies and case-based reasoning. *Arabian Journal for Science and Engineering*, Included in ISI/SCI Web of Science and Web of Knowledge, 39:1849–1861, 2014.
- 109.** Martin, D. Burstein, M. Hobbs, J. Lassila, O. McDermott, D. McIlraith, S. Narayanan, S. Paolucci, M. Parsia, B. Payne, T. Sirin, E. Srinivasan, N et Sycara, K. (2004). OWL-S: Semantic Markup for Web Services. In *The OWL*
-

- 
- Services Coalition* 2004.Version 1.0 available at <http://www.daml.org/services/owl-s/1.0/owl-s.pdf>
110. Mellet-d'Huart, D et Michel, G. (2006). Réalité virtuelle et apprentissage. In Grandbastien, M. & Labat, J.-M. (dir.). *Les environnements informatiques pour l'apprentissage humain*. Paris : Hermès. Chap. 11.
111. Merceron, A et Yacef, K. (2003). A Web-based tutoring tool with mining facilities to improve learning and teaching. *AI-Ed'2003*, IOS Press.
112. Miclet, L. Bayouhd, S et Delhay. A. (2008). Analogical dissimilarity: Definition, algorithms and two experiments in machine learning. *Journal of Artificial Intelligence Research*, Vol., 32., 2008, page numbers (793–824).
113. Mille, A. (1995). *Raisonnement basé sur l'expérience pour coopérer à la prise de décision*. Thèse de doctorat en informatique à l' Université Jean Monnet de Saint Etienne.
114. Mille, A. (1999). Tutoriel de raisonnement à partir de cas. *Plate forme AFIA-99*, Palaiseau, 1999.
115. Mille, A. (2013). L'interaction comme inscription de connaissance pour l'apprentissage humain. *Journée EIAH&IA 2013*, May 2013, Toulouse, France. pp.1, 2013.
116. Mitrovic, A et Devedzic, V. (2004). A model of multitutor ontology-based learning environments. *International Journal of Continuing Engineering Education and Life Learning* 2004 (IJCEELL, Vol.,14(4),. 2004, page numbers (229-245).
117. Mizoguchi, R. Kozaki, K. Sano, T et Kitamura Y. (2000). Construction and Deployment of Plant Ontology. *The 12th International conference, EKAW2000*, (Lecture Notes in Artificial Intelligence 1937), 113-128; 2000.
118. Moulet, L. (2011). *Modélisation de l'apprenant avec une approche par compétences dans le cadre d'environnements d'apprentissage en ligne*. Thèse de doctorat en informatique cognitive, Télé-université-Université du Québec à Montréal et Université Pierre et Marie Curie-Paris VI.
-

- 
- 
119. Murray, T. (2004). Design Tradeoffs in Usability and Power for Advanced Educational Software Authoring Tools. *Educational Technology*, 44(5), 10-16.
120. Nauer, E. Richard, A. Derriere, S. Genova, R. Napoli, A et Toussaint, A. (2006). Construction d'une ontologie de descripteurs UCD en astronomie. In *actes d'Ingénierie des Connaissances 2006*: 21-30; 2006.
121. Oubahssi, L. (2005). *Conception de plates-formes logicielles pour la formation à distance, présentant des propriétés d'adaptabilité à différentes catégories d'utilisateurs et d'interopérabilité avec d'autres environnements logiciels*. Thèse de doctorat à l'Université René Descartes Paris V, 2005.
122. Ouraiba, E.A.Chikh, A. Taleb-ahmed, A et El Yebdri, Z. (2009). Automatic personalization of learning scenarios using SVM. *9th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT'09)*, Riga (Latvia), p.183-185, July 14-18 2009.
123. Ouraiba, E.A. Chikh, M. A et Chikh, A. (2008). Filtrage Neuronal des Objets d'Apprentissage selon les Profils des Apprenants. In: *10th Maghrebien Conference on Information Technologies (MCSEAI'08)*, Oran, Algeria, 28 - 30 April 2008.
124. Ouraiba, E.A. (2012). *Scénarisation pédagogique pour des EIAH ouverts Une approche dirigée par les modèles et spécifique au domaine métiers*. Thèse de doctorat en informatique à l' Université du Maine.
125. Papanikolaou, K.A. Magoulas, G.D et Grigoriadou, M. (2001). INSPIRE: An Intelligent System for Personalized Instruction in a Remote Environment. *OHS-7/SC-3/AH-3 2001*: 215-225; 2001.
126. Parmentier, C. (2003). « L'essentiel de la formation : préparer, animer, évaluer ». Editions d'Organisation, Paris.
127. Payadachee, I. (2002). Intelligent tutoring systems: Architecture and characteristics, Dans Wells, G. et McNeill, J. (éditeurs), *Proceedings of the 32nd Annual SACLA Conference*, (Cité p. 2).
- 
-

- 
- 
128. Pernin, J-P. (2004). *LOM, SCORM et IMS-Learning Design : ressources, activités et scénarios*. Compte-rendu rédigé par l'enssib à partir d'une transcription de la communication orale de Jean-Philippe Pernin le 16 novembre 2004. Disponible à <http://www.enssib.fr/bibliothequenumerique/document-1239>.
129. Psyché, V. Bourdeau, J. Nkambou, R et Mizoguchi, R. (2005). Making Learning Design Standards Work with an Ontology of Educational Theories. *Artificial. Intelligence in Education (AIED 2005)*, 725-731.
130. Ralalason, B. (2010). *Représentation multi-facette des documents pour leur accès sémantique*. Thèse de doctorat à l'Université de Toulouse III - Paul Sabatier .2010.
131. Rasseneur, D. Jacobini, P et Tchounikine, P. (2003). Enhancing a web-based distance-learning curriculum, with dedicated tools. *Actes de la conférence International IEEE/WIC Web Intelligence (WI2003)*, pp. 285-291, 13-17 Octobre 2003, Halifax (Canada).
132. Rawlings, A. Rosmalen, P. V. Koper, R. Rodriguez-Artacho, M et Le frère Psyché V. (2003). État de l'art sur l'ontologie d'application au téléapprentissage. *Rapport technique*, Montréal : Télé-apprentissage -LICEF; 2003.
133. Richter, M. (1989). Case Based Reasoning on Images and Signals. *Volume 73/2008 of Studies in Computational Intelligence, chapter Similarity*, pp. 25-90. Springer Berlin/ HeidelbergRiesbeck, Schank, inside case based reasoning, Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1989.
134. Ruet, M et Geneste, L. (2002). Search and adaptation in a fuzzy object oriented case base. In *Craw et Preece (2002)*, pages 350-364.
135. Schank, R-C. (1982). *Dynamic memory: A theory of reminding and learning in computers and people*. Cambridge University press.
136. SCORM (2004). Le modèle SCORM. <http://www.adlnet.org>, 2004.
- 
-

- 
- 
137. Settouti, L.S. (2006). Systèmes à base de trace pour l'apprentissage humain. 11 ères Rencontres Jeunes Chercheurs en EIAH, RJC-EIAH 2006, pages 131 à 139. Disponible à [http://events.it-sudparis.eu/rjc\\_eiah2006/proceeding/Article15.pdf](http://events.it-sudparis.eu/rjc_eiah2006/proceeding/Article15.pdf).
138. Settouti, L.S. Prié, Y. Mille, A et Marty, J.C. (2006). Système à base de trace pour l'apprentissage humain. Dans *colloque international TICE 2006 Technologies de l'Information et de la Communication dans l'Enseignement Supérieur et l'Entreprise*, INP Toulouse.
139. Shiri, A. Aimeur, E et Frasson, C. (1998). A Cased Based student modelling system. *Fourth european workshop on Cased Based Reasoning*, Dublin. Lecture notes in artificial intelligence 1488, 425-436.
140. Smith, F.C. Lottaz, C et Faltings, B. (1995). Spatial composition using cases: Idiom. Dans *Case-Based Reasoning Research and Development, First International Conference, ICCBR-95*, Sesimbra, Portugal, October 23-26, 1995, Proceedings, p. 88-97. 1995.
141. Smyth, B et Keane, M. T. (1996). Using adaptation knowledge to retrieve and adapt design cases. *Knowledge-Based Systems*, vol. 9, n° 2, p. 127-135.
142. Specht, M. (1998). *Adaptive Methoden in computer basierten Lehr/Lern systemen*. University of Trier, 1998.
143. Specht, M et Burgos, D. (2006). Implementing Adaptive Educational Methods with IMS Learning Design. *Proceedings of Adaptive Hypermedia 2006*, Dublin, Ireland.
144. Stansfield, J.C. Carr, B et Goldstein, I.P. (1996). Wumpus advisor I: a first implementation of a program that tutors logical and probabilistic reasoning skills. *At Lab Memo 381*. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge (Massachusetts), 1976.
145. Stash, N. (2007). *Incorporating Cognitive/Learning Styles in a General-Purpose Adaptive hypermedia System*. Ph.D. dissertation, Eindhoven: Technische Universiteit, Eindhoven, Netherlands.
- 
-

- 
- 
146. Stuber, A. Hassas, S et Mille, A. (2005). L'expérience tracée comme support potentiel de négociation de sens entre agent informatique et humain. *13ème atelier du RàPC, plate-forme AFIA*, du 30 mai au 3 juin 2005, Nice (France).
147. Suksomboon, P. (2005). Learning object specification and pedagogical resources representation with ontology. *Proceeding of E-learn 2005 World Conference on E-learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education*, pp. 1756-1761, October 24-28, 2005, Canada.
148. Tchounikine, P. (2004). Platon-1 : quelques Dimensions pour l'analyse des travaux de recherche en conception d'EIAH. *Rapport de l'Action Spécifique : Fondements théoriques et méthodologiques de la conception des EIAH*. Département STIC du CNRS.
149. Tchounikine, P. (2002a). Conception des environnements informatiques d'apprentissage : mieux articulé informatique et sciences humaines et sociales. In Baron G.L., Bruillard E.(ed.), *Les technologies en éducation : Perspectives de recherche et questions vives*. 203-210.
150. Tchounikine, P. (2002b). Pour une ingénierie des environnements informatiques pour l'apprentissage humain. *Revue Information Interaction Intelligence* ([www.revue-i3.org](http://www.revue-i3.org)), volume 2(n\_1) : pages 59\_93.
151. Tourigny, N et Capus, L. (2000). Towards Making Intelligent Training Systems Using Examples more Flexible and Reusable by Exploiting Case-Based Reasoning. *Workshop 5: Case-Based Reasoning in Intelligent Training Systems, ITS'2000*, Montreal, p. 23-28.
152. Van Rosmalen, PetBoticario, J. (2005). Using Learning Design to support design and runtime adaptation. In R. Koper & C. Tattersall (Eds.), *Learning Design: A Handbook on Modeling and Delivering Networked Education and Training*. Heidelberg, Germany: Springer Verlag.
153. Recio-García, A. Diaz-Agudo, B. González-Calero, A et Sanchez, A. (2006). Ontology based CBR with Jcolibri, Applications and Innovations in Intelligent Systems, 14 :149-162, 2006.
- 
-

- 
- 
154. Van Rosmalen, P.Vogten, H. Van Es, R. Passier, H. Poelmans, P et Koper, R. (2006). Authoring a fulllife cycle model in standards-based, adaptive e-learning. *Educational Technology & Society*, 9 (1), 72-83.
  155. Van Rosmalen, P. (2008). Supporting the tutor in the design and support of adaptive e-learning. Heerlen, The Netherlands: Open University of the Netherlands., 18 april 2008.
  156. Villano, V. (1992). Probabilistic Student Models: a Bayesian Belief Networks and Knowledge Space Theory. *Proceedings of ITS-92, Lecture Notes in Computer Sciences* No 608, pp. 491-498, Springer: Berlin-Heidelberg. 1992.
  157. Villanova, O. Edmonds, E.A. (2002). Adaptive Man-Computer Interfaces. In *Computing skills in the user interface*, Coobs M.J &Alty J.L Eds. Computer and People series, Academic Press, 1981.
  158. Vassileva, J. (1995). Dynamic Courseware Generation: at the Cross of CAL, ITS and Autoring. *Proceedings of the International Conference on Computers in Education, ICCE'95*, Singapore, 290-297. 1995.
  159. Vassileva, J.(1997). Dynamic Courseware Generation on the www. *Proceedings of the workshop: Adaptive Systems and User Modeling on the World WideWeb. Sixth International Conference on User Modeling*, 1997.
  160. Vassileva, J. (1994). DCG + GTE: Dynamic courseware generation with teaching expertise. *Instructional Science*, Vol. 26, Nos. 3/4, pp.317-332; 1998.
  161. Virvou, M et Manos, K. (2003). The Individualizing a Cognitive Model of Students' Memory in Intelligent Tutoring Systems. Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems, *7th International Conference, KES 2003*, Oxford, UK, Proceedings, Part I, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 2773, Springer, 2003, pp. 893-897.
  162. W3C (2005). Web Service Modeling Ontology (WSMO).In Edited by HolgerLausen, Axel Polleres and Dumitru Roman. W3C Member Submission; 2005.

163. Weber, G.Kuhl, H.C etWeibelzahl, S. (2001). Developing Adaptive Internet Based Courses with the Authoring System NetCoach. In: Reich, S., Tzagarakis, M.M., De Bra, P. M.E. (eds.): *Hypermedia: Openness, Structural Awareness and Adaptivity. Lecture Notes in Computer Science* Vol. 2266. Springer-Verlag, Berlin. pp. 226-238 ; 2001.
164. Weibelzahl, S. (2005).Problems and pitfalls in the evaluation of adaptive systems.In S. Chen & G. Magoulas (Eds.).*Adaptable and Adaptive Hypermedia Systems*. Hershey, PA: IRM Press, 285-299.
165. Zhang, Y. F. (2010). Modélisation de l'apprenant dans le cadre d'un environnement informatique pour l'apprentissage humain offrant des conseils personnalisés. Mémoire présenté dans le cadre du programme de maîtrise en informatique pour l'obtention du grade de maître ès sciences (M. Sc.). Université Laval, 2010.
166. Zniber, N. (2009). *Modèle orienté service pour la conception de parcours pédagogiques personnalisés*. Thèse de doctorat à l'Université d'Aix-Marseille 2009.
167. Zouaq, A. (2005). *Systèmes Tutoriels Intelligents pour l'Organisation : Gestion de la connaissance et de l'intelligence collective*. Rapport d'examen pré Doctoral, Université de Montréal.

---

## Liste des publications personnelles

1. Mansouri, D. Mille, A et Hamdi-Cherif, A. (2014). Adaptive delivery of trainings using ontologies and case-based reasoning. *Arabian Journal for Science and Engineering*, Included in ISI/SCI Web of Science and Web of Knowledge, 39:1849-1861, 2014.
2. Mansouri, D et Hamdi-Cherif, A. (2011). Ontology-oriented case-based reasoning (CBR) approach for trainings adaptive delivery. Invited Conference / Book Chapter In: Proc. of the 15th WSEAS Int. Conf. on Computers (CSCC'11), Included in ISI/SCI Web of Science and Web of Knowledge, Corfu Island, Greece, pp. 328-333, July 15-17, 2011.
3. Mansouri, D et Mille, A. (2007). Raisonement à partir de cas pour l'ingénierie de formation : une approche fondée sur l'expérience tracée du processus de formation. *Plate-forme AFIA*, 2 juillet 2007, Grenoble.
4. Mansouri, D., M. Mostefai, & Y. Bella. Architecture orientée objet pour l'ingénierie des SIP application à l'entreprise SAFCER. 4th International Conference on Computer Integrated Manufacturing CIP'2007, Sétif, 2007
5. Mansouri, D et Hamdi-Cherif, A. (2004). Decision support system (DSS) for courseware elaboration: UML design. El Baha Technical Meeting, Saudi Arabia, pp. 66-76, 3-5 May 2004.
6. Mansouri, D et Hamdi-Cherif, A. (2002). An object-oriented decision support system (DSS) for curriculum contents elaboration. International E-Learning Symposium, Dubai, United Arab Emirates (UAE), 12-13 May 2002.

## Annexes

### Annexe 1 : LOM (Learning Object Metadata), un standard pour la description des objets pédagogiques

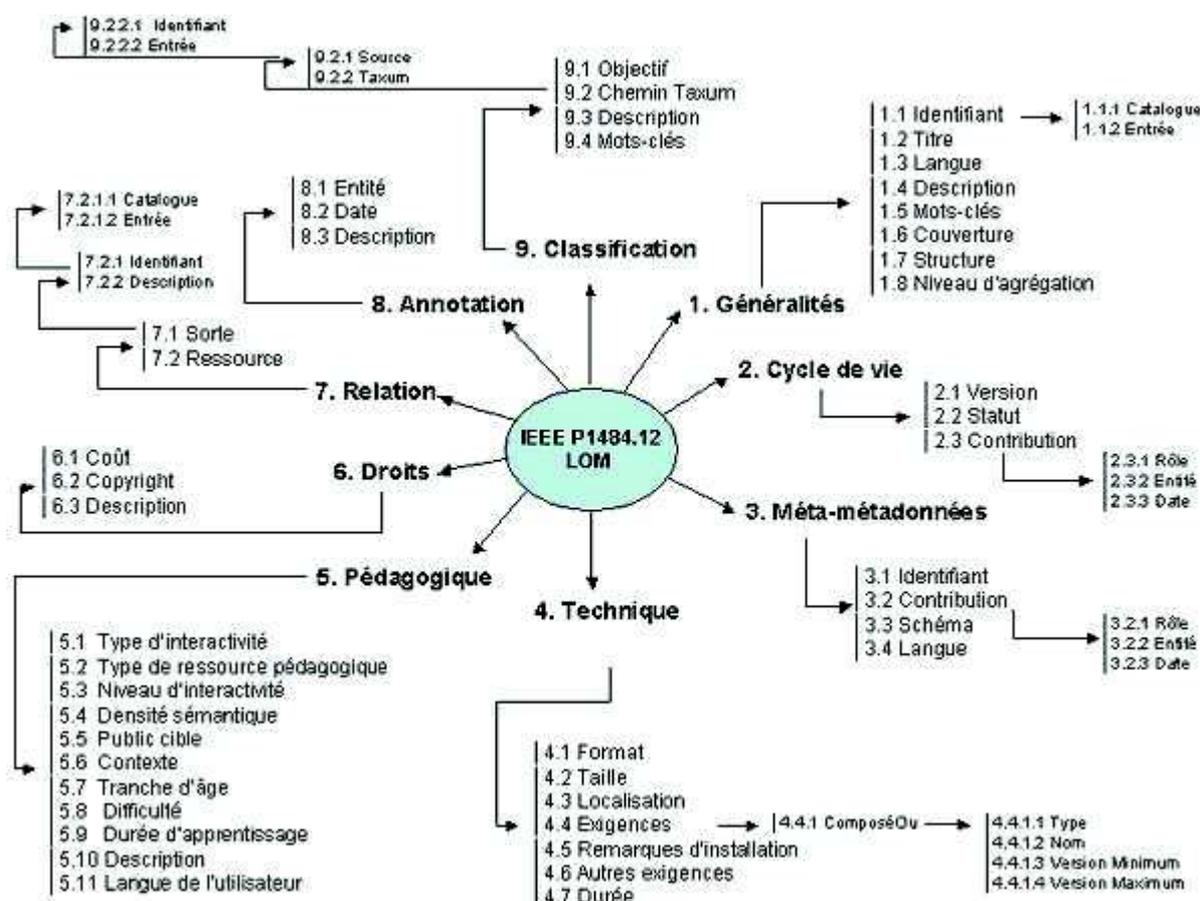


Figure A1.1 : Organisation du schéma de métadonnées LOM [De La Passardière, 2004]

LOM est un schéma de métadonnées pour les objets pédagogiques comprenant 80 éléments de données (tous facultatifs) répartis en 9 catégories. Ce schéma est un standard IEEE depuis le 12 juin 2002.

## Annexe 2 : Le standard SCORM (Shareable Content Object Reference Model)

SCORM enrichit le standard LOM avec notamment un modèle d'agrégation un peu différent et un environnement d'exécution.

Le modèle d'agrégation contient trois niveaux d'abstraction : le niveau de base appelé asset ; un niveau intermédiaire où se trouvent des objets de contenus partageables (SCO) et un niveau supérieur, concernant l'agrégation de contenus.

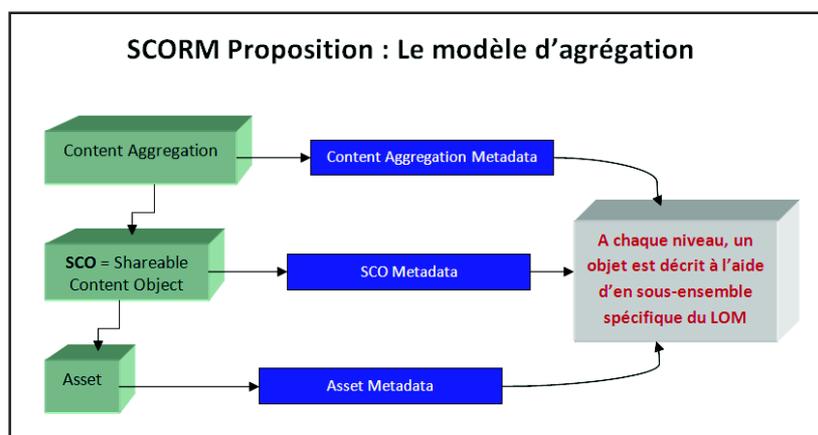


Figure A2.1 : SCORM, le modèle d'agrégation

La deuxième composante de SCORM concerne l'environnement d'exécution. Le principe consiste à renvoyer vers une plate-forme de formation des informations sur l'état d'utilisation d'un objet (a-t-il été parcouru ? lu ? effectué avec succès ? etc.). Ces informations peuvent être stockées dans une base de données et exploitées par la suite sur le plan pédagogique.

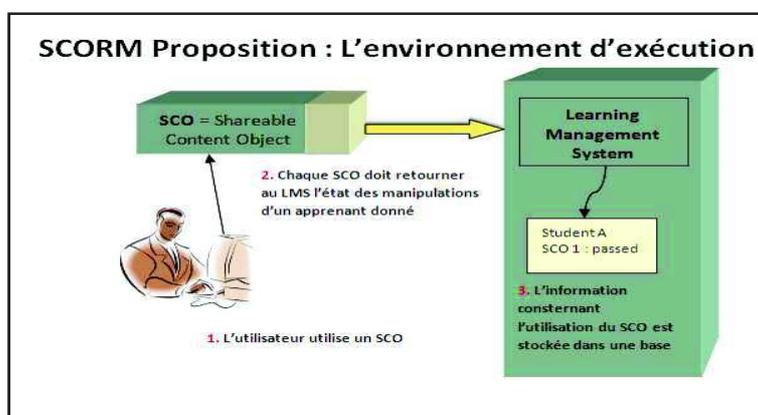


Figure A2.2 : SCORM, l'environnement d'exécution

## Annexe 3: IMS-LD (Instructional Management Systems learning Design)

IMS-LD propose des choix de modélisation par niveau permettant de définir des scénarios prescriptifs (niveau. A), des scénarios de personnalisation de l'apprentissage (niveau.B) et des scénarios dynamiques (niveau. C.)

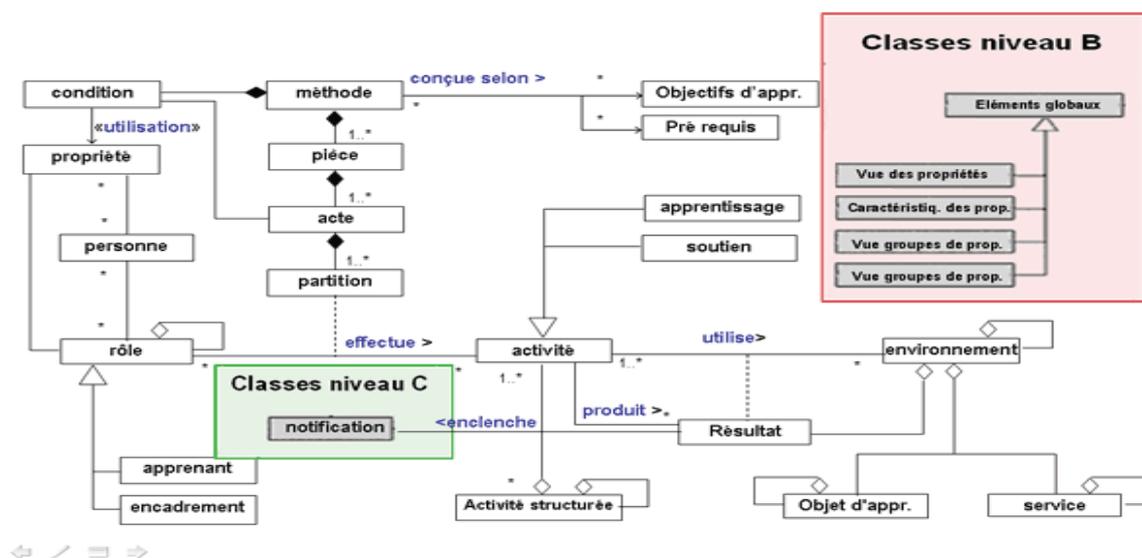


Figure A3.1 : Architecture de la spécification IMS-LD, Niveaux A, B et C [Burgos, 2005]

**Niveau A** : inclut la définition de la «méthode», des pièces, des actes, des partitions, des activités d'apprentissage et des environnements de tutorat. Clé de la spécification, il contient la description des éléments qui configurent IMS-LD et la coordination entre eux. Par exemple, les partitions définissent les activités qui doivent être endossées par un rôle pour achever un acte, et par la suite, une pièce.

**Niveau B** : ajoute au niveau A des propriétés, des conditions, des services de tutorat et des éléments agissant sur l'ensemble. Il fournit des moyens spécifiques pour créer des structures complexes et des expériences d'apprentissage. Les propriétés peuvent être utilisées comme variables, locales ou globales, stockant ou retirant de l'information pour un apprenant seul, un groupe, ou même tous les personnages impliqués. A travers ces mécanismes, le parcours d'apprentissage peut changer pendant la durée d'exécution de l'unité, des décisions peuvent être prises en tenant compte des aspects dynamiques.

**Niveau C** : ajoute des notifications au niveau B, c'est à dire par exemple un mail envoyé et une fonction montré/caché sont liés à une activité spécifique, selon la manière dont l'activité précédente a été réalisée.

## Annexe 4 : Synthèse LOM, SCORM, IMS-LD

Le tableau ci-dessous a pour objectif de comparer les modèles proposés par LOM, SCORM et IMS-LD. Cette comparaison est basée sur trois niveaux : un niveau de base qui traite des médias bruts (texte, image ou son) ; un niveau intermédiaire qui essaie d'introduire la notion d'activité ; enfin un niveau supérieur de structuration des activités avec des données de plus haut niveau comme en particulier la façon de les exécuter dans le temps : leçon, cours, curriculum (les noms diffèrent suivant les modèles).

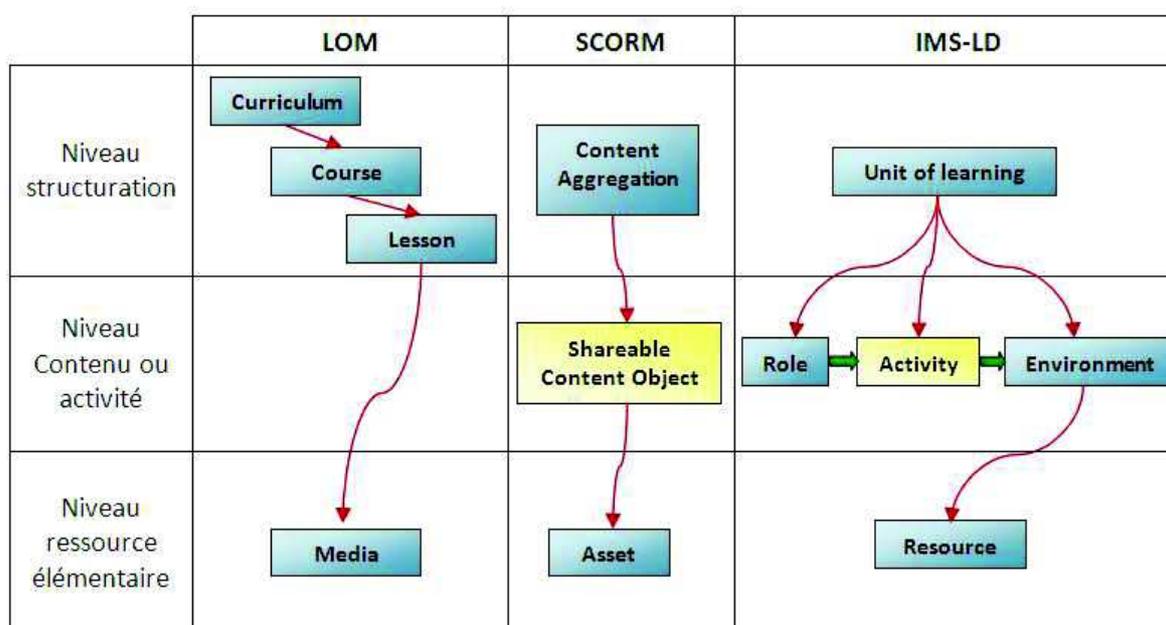


Tableau A4.1 : Synthèse entre LOM, SCORM et IMS-LD [Pernin, 2004]