



Université Ibn Zohr



Faculté des Sciences – Agadir

Thèse

Présentée à

La Faculté des Sciences d'Agadir

Pour l'obtention du

DOCTORAT

UFR Mathématiques et Informatique Appliquées

Option : Informatique

Par

Amal BATTOU

**Approche granulaire des objets pédagogiques en vue
de l'adaptabilité dans le cadre des Environnements
Informatiques pour l'Apprentissage Humain**

Soutenue le : 21, Janvier 2012, devant le jury :

M. Driss Mammass, Directeur de l'EST, Agadir ;	Président
M. Chihab Cherkaoui, Professeur Habilité, ENCG, Agadir ;	Directeur de thèse
M. Mostapha Bellafkih, Professeur, INPT, Rabat ;	Rapporteur
M. El hassan Abdelwahed, Professeur, FS-Semlalia, UCAM ;	Rapporteur
M. Hassan Douzi, Professeur, Faculté des Sciences, Agadir ;	Rapporteur
M. Fathallah Ghadi, Vice président, Univ. Ibn Zohr- Agadir ;	Examineur
M. Ali Rachidi, Professeur Habilité, ENCG, Agadir ;	Examineur

Remerciements

Le présent travail est le fruit de l'engagement et du soutien d'un grand nombre de personnes. Je voudrais profiter de ces lignes pour leur témoigner toute ma gratitude et ma reconnaissance.

Je remercie spécialement les professeurs Pr. Abdelwahed El hassan, Pr. Bellafkih Mostapha et Pr. Douzi Hassan qui ont accepté de rapporter ce mémoire de thèse. Leurs remarques et suggestions m'ont été précieuses et m'ont permis d'améliorer la qualité de ce manuscrit.

Je remercie vivement les professeurs Fathallah Ghadi et Ali Rachidi d'avoir bien voulu prendre de leur temps pour être membre de ce Jury. Leurs participations dans l'évaluation de ce travail est certainement d'une grande valeur, pour la validation de nos résultats.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mon directeur de thèse, le Docteur Chihab Eddine Cherkaoui, Professeur d'enseignement supérieur habilité à l'Ecole Nationale de Commerce et de Gestion Agadir et responsable de l'équipe Systèmes Intelligents et Communicants (SIC), d'avoir accepté d'être mon directeur de thèse. Je suis très reconnaissante pour sa disponibilité, pour ses judicieux conseils et précieuses directives. Ce travail n'aurait pas existé sans l'aide utile et continue de Monsieur Cherkaoui. Je le remercie vivement pour sa confiance, pour son expertise, pour les connaissances et l'expérience qu'il m'a inculqué, notamment dans le domaine de Intelligence Artificielle et des tutoriels intelligents.

Je souhaite aussi adresser mes remerciements les plus vifs au Docteur Driss Mammas, responsable du laboratoire IRF-SIC, Professeur de l'Enseignement Supérieur à la faculté des sciences Agadir et directeur de l'Ecole Supérieure de Technologie d'Agadir, pour son suivi, son encouragement et d'avoir accepté d'être membre du Jury de ma thèse.

Je tiens à adresser une mention spéciale à Mr Mustapha Eddahibi, Professeur assistant à l'Ecole Nationale de Commerce et de Gestion Agadir et membre de l'équipe IRF-SIC. Je ne pourrais jamais vous remercier assez d'avoir pris le temps de m'aider, de me conseiller au mieux et de m'encourager lors de mes périodes d'incertitude.

Je voudrais remercier également l'ensemble des doctorants de l'équipe SIC pour leurs soutiens et l'amitié qu'ils m'ont témoignée tout au long de ces années, je leurs souhaite une bonne continuation pour leurs travaux de recherche. Je remercie plus particulièrement Ali El Mezouary pour sa collaboration scientifique, son aide et ses conseils.

Enfin, pour tous ceux qui ont, de près ou de loin, contribué à la réalisation de ce travail, trouvez en ces mots toute ma profonde gratitude.

Un grand et spécial merci à ma mère, mes frères et sœurs de m'avoir accompagné et encouragé dans ce chemin. Je remercie également mon mari, qui a su faire preuve de beaucoup de patience et de compréhension pendant ces années. Ma dernière pensée va vers ma fille, pour son amour et sa patience, en espérant qu'un jour, elle va me comprendre et me pardonner pour le temps que je n'ai pas pu passer avec elle au cours des dernières années.

Merci, Merci bien à tous !

Résumé

Le travail que nous présentons dans cette thèse s'intègre dans une problématique générale des **E**nvironnements **I**nformatiques pour l'**A**pprentissage **H**umain (**EIAH**). Il s'intéresse plus particulièrement aux **S**ystèmes **H**ypermédias **A**daptatifs **D**ynamiques (**SHAD**).

Le but principal est d'examiner l'intérêt de la granularité fine pour l'adaptation des parcours dans ces systèmes. Il s'agit, en fait, de la génération automatique de cours adaptés à un apprenant particulier, à partir d'un ensemble de ressources pédagogiques et en fonction de ses *besoins*, ses *préférences* et ses *pré-requis*. Les ressources pédagogiques appelés actuellement *objets pédagogiques* sont indexés en utilisant des normes et des standards de métadonnées éducatifs comme LOM et SCORM. Ces objets pédagogiques, qui constituent le contenu à apprendre, sont assemblés à partir de grains pédagogiques puis associées pour constituer des parcours individuels de formation avec une présentation de type hypermédia.

Nous proposons dans le cadre de ce travail, une nouvelle approche de la granularité des ressources pédagogiques basée sur la *taille*, le *contenu* et le type de *média* utilisé. Cette modélisation granulaire propose une décomposition du contenu en *fragments* ou grains pédagogiques de type introduction, définition, exemple, remarque, etc. Chacun de ces fragments est représenté par des briques multimédia de type : texte, image, son, vidéo, etc. Tous ces éléments servent à améliorer l'adaptabilité, à la fois du *contenu*, de sa *présentation* et de la *navigation* dans un environnement d'apprentissage hypermédia.

En résumé, à partir d'un ensemble de ressources élémentaires et granulaires, de leurs descriptions sémantiques et du profil de l'apprenant, le système attendu doit être capable de générer des ressources adaptées (cours, exercices, etc.) avec une interface de navigation sur le Web. Dans ce sens nous avons mis en place les premières briques de réalisation d'un SHAD, que nous avons baptisé **A**daptive **L**earning **S**ystem for the "**C**" **P**rogramming **L**anguage (**ALS-CPL**). Ce système spécifique vise tout d'abord à mettre en application nos recherches sur les environnements d'apprentissage de programmation, dans le cadre d'un large projet intitulé **A**daptive **L**earning **S**ystem for **P**rogramming **L**anguages (**ALS-PL**). Il a également pour but particulier de mettre en pratique l'approche granulaire des contenus pour l'adaptabilité.

Mots clés : EIAH, SHAD, granularité fine, adaptabilité, ressources pédagogiques, objets pédagogiques, normes, standards, metadonnées, LOM, SCORM, parcours individuel, profil de l'apprenant, ALS, CPL, ALS-PL.

Abstract

The work presented in this thesis is part of a broader issue of **A**daptive **L**earning **S**ystem (**ALS**). He is particularly interested in **D**ynamic **A**daptive **H**ypermedia **S**ystems (**DAHS**).

The main purpose is to examine the advantage of the fine-grained approach to adapt the course in these systems. In fact, it deals with automatic generation of courses tailored to a particular student, based on a set of educational resources and according to their *needs*, *preferences* and *prerequisites*. Learning resources called *learning objects* are currently indexed using metadata standards and educational standards as SCORM and LOM. These learning objects are assembled and associated to form individual training with a hypermedia presentation.

We propose a new approach for the learning object granularity based on *size*, *content* and the *media* used. This approach provides a breakdown of content in fragments, which may be in different forms such as Introduction, definition, example, comment, etc. Each of these fragments is represented by multimedia bricks like text, image, video, sound, etc. All these elements are used to improve adaptability, in content, presentation and navigation in a hypermedia learning environment.

In summary, based on a set of basic and granular resources, their semantic descriptions and the learner profile, the system expected to be able to generate adequate courses (courses, exercises, etc.) with a Web browsing interface. In this sense we have established the first brick of DAHS, which we call **A**daptive **L**earning **S**ystem for the **"C"** **P**rogramming **L**anguage (**ALS-CPL**). This particular system aims first to implement our research in programming learning environments as part of a broader project entitled **A**daptive **L**earning **S**ystem for **P**rogramming **L**anguages (**ALS-PL**). It also aims to apply particularly the granular content approach for adaptability.

Key words : ALS, DAHS, fine grained, learning resource, learning object, standard, metadata, adaptability, individual training, learning object granularity, ALS-CPL, ALS-PL.

Table des matières

Introduction Générale.....	14
1. CONTEXTE SCIENTIFIQUE	15
2. THEMATIQUE DE RECHERCHE ET PROBLEMATIQUE.....	16
3. APPROCHES ADOPTEES.....	18
4. ORGANISATION DE LA THESE.....	19
Chapitre 1 : Les Environnements Informatiques Pour l'Apprentissage Humain.....	20
1. ANCRAGE DANS L'HISTOIRE	21
1.1. LES MACHINES A ENSEIGNER	21
1.2. L'ENSEIGNEMENT PROGRAMME.....	21
1.3. L'ENSEIGNEMENT ASSISTE PAR ORDINATEUR	22
1.4. LES SYSTEMES PEDAGOGIQUES INTELLIGENTS	22
2. QU'EST CE QU'UN EIAH ?.....	23
3. INTERET DES EIAH	24
4. QUELQUES CARACTERISTIQUES DES EIAH.....	25
5. L'EVALUATION DES EIAH	26
6. CLASSIFICATION DES EIAH DANS LA LITTERATURE	27
6.1. LA CLASSIFICATION DES EIAH	27
6.1.1. Approche fonctionnelle selon De vries	27
6.1.2. Approche taxonomique de Basque.....	28
6.1.3. Approche taxonomique de Cherkaoui.....	29
6.1.4. Approche taxonomique de Tchounikine	29
6.2. PROPOSITION D'UNE CLASSIFICATION DES EIAH	30
7. CONCLUSION	31
Chapitre 2 : Les Systèmes Hypermédias Adaptatifs Dynamiques.....	33
1. LES SYSTEMES HYPERMEDIAS ADAPTATIFS.....	34
1.1. HYPERMEDIA AU FIL DU TEMPS.....	34
1.2. COMPOSANTES TECHNIQUES DES SHA	35
2. LES GENERATIONS DES SYSTEMES HYPERMEDIAS	35
2.1. 1 ^{ERE} GENERATION : LES SYSTEMES HYPERMEDIAS CLASSIQUES	35
2.2. 2 ^{EME} GENERATION : LES SYSTEMES HYPERMEDIAS ADAPTATIFS (SHA).....	36
2.3. 3 ^{EME} GENERATION : LES SYSTEMES HYPERMEDIAS ADAPTATIFS DYNAMIQUES	36
3. L'ADAPTATION : PRESENTATION & CONCEPTS	37
3.1. L'ADAPTATION ET TERMES ASSOCIES	37
3.1.1. L'adaptation.....	37
3.1.2. La personnalisation.....	38

3.1.3.	L'individualisation	39
3.1.4.	Terminologie retenue	39
3.2.	APPROCHES DE L'ADAPTATION	39
3.2.1.	Approche systémique	39
3.2.2.	Approche processus	40
3.3.	LES CRITERES D'ADAPTATION.....	41
3.3.1.	Objectifs de l'apprenant	41
3.3.2.	Connaissances de l'apprenant	41
3.3.3.	Expériences & compétences.....	41
3.3.4.	Préférences de l'apprenant	41
3.4.	QUELQUES NIVEAUX D'ADAPTATION.....	42
4.	LES TECHNIQUES ET METHODES D'ADAPTATION	43
4.1.	METHODE VS TECHNIQUE	43
4.2.	L'ADAPTATION DE CONTENU	44
4.2.1.	Méthode d'adaptation du contenu	44
4.2.2.	Techniques d'adaptation du contenu	44
4.3.	L'ADAPTATION DE LA NAVIGATION	45
4.3.1.	Méthode d'adaptation de navigation	45
4.3.2.	Techniques d'adaptation de navigation.....	46
4.4.	L'ADAPTATION DE LA PRESENTATION	47
5.	QUELQUES SYSTEMES HYPERMEDIAS ADAPTATIFS	48
5.2.	LE SYSTEME «INTERBOOK».....	49
5.3.	LE SYSTEME «TANGOW»	51
5.4.	LE SYSTEME «NET COACH»	51
5.5.	LE SYSTEME «AHA»	52
6.	CONCLUSION	53
 Chapitre 3 : Le Modèle de l'Apprenant pour l'Adaptation de l'Apprentissage		55
1.	LE MODELE DE L'APPRENANT DANS LA LITTERATURE	56
1.1.	QU'EST CE QU'UN MODELE/MODELISATION APPRENANT ?.....	56
1.2.	OBJECTIF D'UN MODELE/MODELISATION APPRENANT	57
2.	LE CONTENU D'UN MODELE DE L'APPRENANT	58
2.1.	REPRESENTATION DE LA CONNAISSANCE	58
2.1.1.	Le modèle de recouvrement (overlay)	58
2.1.2.	Le modèle de perturbation (bug)	58
2.1.3.	Le modèle différentiel	58
2.1.4.	Le modèle bayésien.....	59
2.2.	REPRESENTATION DES BUTS ET OBJECTIFS	59
2.3.	REPRESENTATION DES PREFERENCES ET INTERETS.....	59
2.4.	REPRESENTATION DU BACKGROUND ET EXPERIENCES	60
3.	LE MODELE DE L'APPRENANT : STANDARDS ET SPECIFICATIONS	61
3.1.	LE STANDARD «PAPI LEARNER»	61
3.2.	LE STANDARD «IMS LIP»	61
3.3.	AUTRES STANDARDS ET SPECIFICATIONS.....	62
3.4.	CONCLUSION SUR LES STANDARDS ET SPECIFICATIONS PRESENTES	62
4.	PROCESSUS DE MODELISATION DE L'APPRENANT	63
4.1.	LA COLLECTE DE L'INFORMATION	63
4.2.	L'INITIALISATION DU MODELE DE L'APPRENANT	64
4.2.1.	Questions explicites.....	64

4.2.2. Stéréotypes.....	64
4.3. LA MISE A JOUR DU MODELE DE L' APPRENANT.....	65
5. CONCLUSION	65

Chapitre 4 : Objets Pédagogiques, Métadonnées et Standards67

1. TERMINOLOGIE BASEE SUR LES RECHERCHES ACTUELLES	68
1.1. QU'EST CE QU'UNE «RESSOURCE PEDAGOGIQUE» ?	68
1.2. RESSOURCE PEDAGOGIQUE VS OBJET PEDAGOGIQUE	69
2. CARACTERISATION DES OBJETS PEDAGOGIQUES.....	70
2.1. PROPRIETES DES OBJETS PEDAGOGIQUES.....	70
2.2. PRINCIPES DE CONCEPTION DES OBJETS PEDAGOGIQUES	71
3. TECHNOLOGIES ASSOCIEES AUX OBJETS PEDAGOGIQUES.....	72
3.1. LES METADONNEES	72
3.1.1. Importance des métadonnées.....	72
3.1.2. Intérêt des métadonnées	73
3.2. TECHNOLOGIES ASSOCIEES	74
3.2.1. Web sémantique	74
3.2.2. Ontologie.....	74
3.2.3. Langages du web sémantique.....	75
4. STANDARDS ET NORMES POUR LES OBJETS PEDAGOGIQUES	76
4.1. LE MODELE LOM	77
4.1.1. Description du modèle LOM.....	77
4.1.2. Limitations du modèle.....	79
4.2. LA SPECIFICATION IMS-LD	79
4.3. LE MODELE SCORM (SCORM 2004).....	81
4.3.1. Le modèle d'agrégation du contenu :.....	81
4.3.2. L'environnement d'exécution.....	82
4.3.3. Le modèle de séquencement et de navigation	82
4.4. SYNTHESE.....	82
5. ECONOMIE DES OBJETS PEDAGOGIQUES.....	83
5.1 ECONOMIE DES OBJETS PEDAGOGIQUES.....	83
5.2. LES ENTREPOTS D'OBJETS PEDAGOGIQUES	84
6. CONCLUSION	85

Chapitre 5 : Granularité, Réutilisabilité et Adaptabilité.....86

1. LA GRANULARITE / REUTILISABILITE	87
1.1. LA GRANULARITE/AGREGATION	87
1.2. LA REUTILISABILITE	87
2. MODELES DE CONTENUS ET GRANULARITE	88
2.1. GRANULARITE CENTREE CONTENU	89
2.2. GRANULARITE CENTREE MEDIA	89
2.2.1. Le modèle de contenu du standard «SCORM»	89
2.2.2. Le modèle de contenu de «IEEE LTSC»	90
2.2.3. Le modèle de contenu RIO/RLO.....	90
2.2.4. Le modèle de contenu «Learnativity»	91
2.2.5. Récapitulatif des modèles de contenus présentés.....	93
2.3. LIMITES DES APPROCHES PRESENTEES	93
3. PROPOSITION D'UNE NOUVELLE APPROCHE GRANULAIRE DES OPS	95

3.1. NOUVELLE APPROCHE D'UNE GRANULARITE FINE.....	95
3.2. IMPACT DE LA GRANULARITE FINE ET LA REUTILISABILITE SUR L'ADAPTABILITE.....	96
4. CONCLUSION	98

Chapitre 6 : Architecture Conceptuelle d'un Système Hypermédia Adaptatif Dynamique99

1. STRUCTURE D'ADAPTABILITE.....	100
1.1. STRUCTURES D'ADAPTABILITES COMMUNES.....	100
1.1.1. Première approche de la structure d'adaptabilité	101
1.1.2. Seconde approche de la structure d'adaptabilité	101
1.1.3. Troisième structure d'adaptabilité.....	101
1.2. PROPOSITION D'UNE STRUCTURE D'ADAPTABILITE GENERIQUE	102
2. ARCHITECTURE ET DESCRIPTION GENERALE DU SYSTEME ALS-CPL.....	105
2.1. MACRO-ARCHITECTURE SOUS-JACENTE A LA STRUCTURE D'ADAPTABILITE.....	105
2.2. MICROARCHITECTURE SOUS-JACENTE A LA STRUCTURE D'ADAPTABILITE.....	107
3. ELEMENTS DE MODELISATION DU SYSTEME ALS-CPL.....	108
3.1. METHODOLOGIE UTILISEE.....	108
3.2. MODELE DE CAS D'UTILISATION DU SYSTEME.....	109
3.2.1. Les acteurs de l'application.....	110
3.2.2. Les diagrammes de cas d'utilisation.....	112
3.2.3. Présentation de quelques scénarii des cas présentés.....	114
4. CARACTERISATION DES DIFFERENTES COMPOSANTES DU SYSTEME ALS-CPL	116
4.1. LE MODELE DU DOMAINE	116
4.1.1. Objets pédagogiques et métadonnées.....	117
4.1.2. Structuration des concepts du domaine	119
4.2. LE MODELE DE L'APPRENANT	123
4.2.1. Présentation du modèle de l'apprenant.....	124
4.2.2. Gestion du modèle de l'apprenant.....	126
4.3. LE MODELE D'ADAPTATION	127
4.3.1. Description générale.....	127
4.3.2. Modèle d'adaptation du contenu	128
4.3.3. Modèle d'adaptation de la navigation	132
4.3.4. Modèle d'adaptation de présentation	133
5. CONCLUSION	133

Chapitre 7 : Processus d'Implémentation du Système ALS-CPL135

1. CADRE GENERAL D'ALS-CPL ET CHOIX DU DOMAINE	136
1.1. CADRE GENERAL DU PROJET ALS-PL.....	136
1.2. CHOIX DU DOMAINE D'APPRENTISSAGE.....	137
2. ELEMENTS D'IMPLEMENTATION DU SYSTEME ALS-CPL.....	138
2.1. ARCHITECTURE DE DEPLOIEMENT.....	138
2.2. CHOIX TECHNIQUES.....	139
3. DESCRIPTION DES DIFFERENTS PAQUETAGES DE L'ARCHITECTURE PROPOSEE.....	140
3.1. PAQUETAGE MODELE DU DOMAINE.....	140
3.1.1. Ré-ingénierie des concepts et OPs	140
3.1.2. Création des concepts.....	141
3.1.3. Relations entre concepts	142
3.2. PAQUETAGE MODELE DE L'APPRENANT.....	147
3.3. PAQUETAGE MODELE D'ADAPTATION.....	151

3.3.1. Adaptation du contenu.....	151
3.3.2. Adaptation de la navigation.....	153
3.3.3. Adaptation de la présentation.....	153
3.4. L'INTERFACE ET SES PAQUETAGES.....	154
4. CONCLUSION	156
Conclusion Générale	157
CONTRIBUTIONS MAJEURES.....	159
PERSPECTIVES.....	159
Bibliographie	163
ANNEXES.....	175
ANNEXE I : DIAGRAMME DE CAS D'UTILISATION GLOBAL.....	176
ANNEXE II : QUELQUES ECRANS DE ALS-CPL.....	177
ANNEXE III : FRAGMENTS DU CODE DU SYSTEME ALS-CPL	179
ANNEXE IV : XML ET TECHNOLOGIES ASSOCIEES	199

Liste des figures

Figure 1 : Proposition d'une classification des EIAH.....	30
Figure 2 : Positionnement de la personnalisation par rapport à l'adaptation (Gavray, 2002).	38
Figure 3 : Différents types de processus d'adaptation : de l'adaptabilité à l'adaptativité (Villanova, 2002).	40
Figure 4 : Techniques d'adaptation.....	48
Figure 5 : Aperçu d'une partie de cours du système ELM ART (Elm_art, 2006).....	49
Figure 6 : Aperçu d'une interface du système Inter book.....	50
Figure 7 : Aperçu d'une interface du cours du système Net Coach.....	51
Figure 8 : Aperçu d'une interface du cours du système AHA.....	52
Figure 9 : Organisation du schéma de métadonnées LOM (De La Passardière, 2004).	78
Figure 10 : Architecture de la spécification IMS-LD, Niveaux A, B et C (Burgos, 2005).	80
Figure 11 : Le modèle de contenu SCORM (Pernin, 2004).	90
Figure 12 : CISCO RLO/RIO Model (Barrit et al. 1999).	91
Figure 13 : Learnativity Content Model (Duval & Hodgins, 2003).	92
Figure 14 : Proposition d'un modèle de contenu.	96
Figure 15 : Proposition d'une structure d'adaptabilité.	104
Figure 16 : Macro-Architecture du système ALS-CPL.	106
Figure 17 : Microarchitecture du système ALS-CPL.	107
Figure 18 : Les modèles de conception et d'analyse (Inspiré de Koch (Koch, 2000)).	109
Figure 19 : Partie du diagramme de cas d'utilisation.	112
Figure 20 : Diagramme de séquence du cas d'utilisation « s'inscrire ».	115
Figure 21 : Diagramme de séquence du cas d'utilisation « accès au contenu pédagogique ».	116
Figure 22 : Représentation du modèle de contenu (Battou, 2010).	118
Figure 23 : Représentation du modèle de contenu (Battou, 2010).	119
Figure 24 : Relation de pré-requis.	120
Figure 25 : Une portion du diagramme de classe des concepts de programmation.....	122
Figure 26 : Diagramme d'état d'un concept lors du processus d'apprentissage.....	123
Figure 27 : Diagramme de classe représentant le modèle de l'apprenant dans le système ALS- CPL.	125

Figure 28 : Diagramme de comportement du modèle de l'apprenant.	126
Figure 29 : Processus de recherche des fragments (schéma inspiré des travaux de Laroussi (Laroussi, 2001)).	129
Figure 30 : Algorithme de recherche de concept à apprendre.	130
Figure 31 : Processus du filtrage des fragments (schéma inspiré des travaux de Cherkaoui (Cherkaoui, 1996)).	131
Figure 32 : Architecture logicielle du système ALS-CPL.	139
Figure 33 : Relation de conjonction du concept « Variables ».	142
Figure 34 : Relation de conjonction du concept « Opérateurs ».	143
Figure 35 : Relation de conjonction du concept « structures de contrôles ».	144
Figure 36 : Relation de conjonction du concept « Entrées/Sorties ».	144
Figure 37 : Relation de pré-requis.	145
Figure 38 : Métadonnées utilisées pour l'indexation des OPs.	146
Figure 39 : Formulaire pour renseignement des métadonnées.	146
Figure 40 : Exemple de fichier de métadonnées.	147
Figure 41 : Formulaire d'inscription et d'initialisation du modèle de l'apprenant.	148
Figure 42 : Exemple d'un fichier XML représentant un modèle de l'apprenant.	148
Figure 43 : Formulaire d'authentification de l'apprenant.	149
Figure 44 : Page d'accueil.	150
Figure 45 : Exemple de contenu présenté à un apprenant préférant les médias de type vidéo.	152
Figure 46 : Exemple de contenu présenté à un apprenant préférant les médias de type texte.	152
Figure 47 : Le guidage direct.	153
Figure 48 : L'annotation de liens.	153
Figure 49 : Choix de couleurs.	154
Figure 50 : Diagramme de classe de formulaire.	155
Figure 51 : Formulaire d'inscription d'un enseignant.	156
Figure 52 : Formulaire d'authentification.	156

Liste des tableaux

Tableau 1 : Les catégories des EIAH et leurs caractéristiques (De Vries, 2001).....	28
Tableau 2 : Synthèse entre LOM, SCORM et IMS-LD (Pernin, 2004).....	83
Tableau 3 : récapitulatif des différents modèles de contenu étudiés dans les paragraphes précédents (inspiré du travail de Balatsoukas et al., 2008).....	93
Tableau 4 : Relation de pré-requis représentée par une matrice d'adjacence	121
Tableau 5 : Liste des concepts utilisés dans le système ALS-CPL	141

Introduction Générale

Le champ scientifique des **E**nvironnements **I**nformatiques d'**A**pprentissage **H**umain (**EIAH**) s'intéresse aux environnements informatiques dont la mission principale est de susciter et d'accompagner l'apprentissage humain. Ce champ a vu le jour vers les années 60.

Depuis le tout début de son investigation, l'objectif recherché dans cette discipline scientifique était de créer des machines capables d'aider l'enseignant dans sa tâche principale, qui consiste à favoriser les apprentissages chez leurs utilisateurs humains, souvent appelés "apprenants". Ces derniers sont généralement placés en situation active d'acquisition de savoirs et/ou de savoir-faire, tout en étant "plus ou moins" guidés à des degrés divers par le système ou l'environnement considéré.

Vus sous cet angle, les EIAH sont supposés apporter un bénéfice pédagogique au moins égal à celui qu'on tirerait d'un dispositif traditionnel. Même si peu d'études expérimentales ont été effectuées pour essayer de mesurer l'impact réel que peuvent avoir ces environnements sur l'apprentissage, la plupart des auteurs partagent à peu près le même avis. Certains auteurs affirment que l'ordinateur rend possible l'implication de l'apprenant dans des habiletés de pensée de haut niveau en fournissant un support à la mémoire et en jugeant des variables inter-reliées. D'autres études considèrent que les EIAH facilitent l'acquisition de connaissances supérieures, et permettent d'acquérir de l'expertise dans des domaines complexes ou mal structurés. D'autres défenseurs de cette discipline soutiennent le fait que ces environnements conviennent bien pour aider les apprenants à restructurer leurs croyances. Pour justifier ce fait, ils utilisent l'exemple des environnements basés sur la simulation, qui peuvent simuler des processus difficiles à observer dans la réalité ou alors des processus abstraits, ce qui contribue à aider les étudiants dans l'appréciation de leurs croyances.

Les recherches en EIAH sont pluridisciplinaires et font de plus en plus souvent appel à des problématiques variées qui trouvent leur application dans plusieurs domaines de l'informatique. En effet, le travail effectué dans les systèmes sur la modélisation de l'apprenant, notamment pour assurer une meilleure adaptation à l'apprenant, a permis aujourd'hui de prendre en compte l'utilisateur dans la conception des interfaces intelligentes. Que ce soit les recherches sur le commerce électronique ou dans le domaine des agents intelligents de recherche sur le Web, la modélisation de l'utilisateur constitue actuellement un champ de recherche très actif.

Les travaux effectués sur les EIAH ont également permis d'expérimenter les différentes représentations de connaissances introduites en Intelligence Artificielle (IA) et de montrer ainsi leur pertinence ou leur faiblesse. Les réseaux sémantiques, par exemple,

ont très rapidement été remplacés par les frames, puis par les objets ; nous parlons même aujourd'hui d'*objets pédagogiques*. La logique classique n'a à ce propos pas eu beaucoup d'enthousiasme contrairement à la logique épistémique ou le raisonnement bayésien qui ont été largement défendu par la plupart des auteurs de la discipline.

Par ailleurs, les EIAH ont dû aussi s'inspirer de la linguistique. Un système incluant un module de **T**raitement **A**utomatique des **L**angages **N**aturels (**TALN**) va pouvoir, par l'intermédiaire d'un analyseur syntaxique et/ou sémantique, permettre à un apprenant de produire des phrases qui ne seront pas prévues par le système mais que celui-ci pourra néanmoins traiter afin de donner un retour à l'apprenant, notamment pour les explications.

Enfin, au début des années 90 jusqu'à nos jours et avec l'avènement de l'Internet, nous assistons à une grande volonté de concevoir des EIAH qui fonctionnent sur le Web. C'est ainsi que nous vivons actuellement 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, LOM¹, SCORM², etc.), ainsi que les usages liés aux plates-formes de formation à distance. Une autre composante principale de ces recherches a principalement retenu l'attention de la communauté EIAH, il s'agit notamment des Hypermédiats Adaptatifs Dynamiques.

Notre travail se situe dans ce cadre et se donne comme principal objectif d'examiner l'intérêt de la granularité fine pour l'adaptation des parcours dans les SHAD. Il s'agit, en fait comme présenté dans le résumé, de la génération automatique de cours adaptés à un apprenant particulier, à partir d'un ensemble de ressources pédagogiques et en fonction de ses besoins, ses préférences et ses pré-requis. Les ressources pédagogiques, appelés actuellement *objets pédagogiques*, sont indexées en utilisant des normes et standards de métadonnées éducatives comme LOM et SCORM. Ces objets pédagogiques, qui constituent le contenu à apprendre, sont assemblés à partir de grains pédagogiques puis associés pour constituer des parcours individuels de formation avec une présentation de type hypermédia.

En résumé, à partir d'un ensemble de ressources élémentaires et granulaires, et de leurs descriptions sémantiques, du profil de l'apprenant, le système attendu doit être capable de générer des ressources adaptées (cours, exercices, etc.) avec une interface de navigation sur le Web.

1. Contexte scientifique

Ce mémoire présente la synthèse de quatre années de travail effectuées dans le cadre de ma thèse de doctorat en Informatique. Celle-ci s'est déroulée, dans le cadre du projet

¹ LOM : Learning Object Metadata

² SCORM : Sharable content Object Reference Model

ALS-PL, au sein de l'équipe SIC (Systèmes Intelligents et Communicants) du Laboratoire IRF-SIC³ de l'université IBN ZOHR à Agadir.

L'équipe SIC est une *unité mixte de recherche* commune à deux établissements principaux qui sont la faculté des sciences d'Agadir et l'Ecole Nationale de Commerce et de Gestion. Elle comporte actuellement six chercheurs à temps plein ainsi que huit doctorants.

Les travaux de l'équipe SIC, dirigée par notre encadrant Chihab Cherkaoui, visent principalement l'intelligence artificielle et ses applications, les systèmes d'agents, le traitement automatique du langage naturel, la gestion de la connaissance avec des applications en e-learning, les dispositifs et les plates-formes e-learning, la mutualisation et le partage des ressources pédagogiques ainsi que les Environnements Informatiques d'Apprentissage Humain.

Sur ce dernier volet, plusieurs thématiques particulières font l'objet d'études et de propositions sous forme de thèses ou de projets : (1) les normes et les standards pour les objets pédagogiques, (2) la représentation par les ontologies des objets pédagogiques, (2) le web sémantique éducatif, (3) l'approche granulaire des objets pédagogiques en vue de l'adaptabilité dans le cadre des EIAH. Ce dernier thème constitue le sujet de notre thèse sur lequel nous avons travaillé. Nous présenterons dans ce document les travaux effectués ainsi que les résultats obtenus.

2. Thématique de recherche et problématique

Comme présenté avant, le travail que nous présentons dans cette thèse s'intègre dans une problématique générale des Systèmes Hypermédias Adaptatifs Dynamiques (SHAD).

La recherche dans le cadre des SHAD, à travers leur héritage historique, consiste en la fusion des travaux sur les systèmes hypermédias ainsi que les principales lignes directrices sur les systèmes *tuteurs intelligents* par le biais de l'*adaptation des connaissances proposées, la présentation de ces connaissances* ainsi que *la manière dont elles* seront visitées. Les travaux effectués dans ce champ disciplinaire impliquent plusieurs voies de recherches complémentaires. Nous nous focaliserons principalement dans ce travail sur deux aspects principaux de ces recherches.

Un premier aspect de la recherche des SHAD concerne la modélisation de l'apprenant. Cette composante est fondamentale pour l'adaptabilité. En effet, la modélisation de l'apprenant a pour objectif de personnaliser l'enseignement grâce à l'adaptation des trois volets d'un contenu pédagogique (présentation, contenu, navigation) aux différentes informations et connaissances incluses dans le modèle de l'apprenant.

Un deuxième aspect de ces recherches, s'intéresse à la question des ressources pédagogiques numériques et en particulier à *la représentation, la recherche* et à *l'assemblage* des ressources adaptées à un contexte pédagogique particulier. D'autres

³ IRF-SIC : Image et Reconnaissance des Formes - Systèmes Intelligents et Communicants

travaux liés aux représentations normalisées, aux usages et aux taxonomies sont aussi explorés.

Le sujet abordé par ce projet de thèse relève principalement des travaux sur les Hypermédias Adaptatifs Dynamiques. Il concerne les mécanismes d'indexation et de génération automatique des contenus pédagogiques et de parcours adaptés à des apprenants dans un domaine donné à partir de grains pédagogiques élémentaires. Les normes et standards liés au domaine éducatif comme LOM et SCORM s'intéressent à ces problèmes mais ne les résolvent pas complètement à notre avis. Nous proposons dans ce sujet de thèse d'étendre ces standards en intégrant une description granulaire et sémantique plus ciblée des ressources. Cette association permet de retrouver des objets pédagogiques par leur sémantique, par leur contenu et leur finesse plutôt que par leur syntaxe. En effet, une ressource peut-être décrite par exemple par des pré-requis, un contenu et une fonction d'acquisition. Cette description permet d'offrir des outils de recherche plus sophistiqués et favorise également la réutilisation. A cet effet, le système attendu doit être capable de construire de nouvelles ressources par assemblage de ressources existantes.

De plus, la structure d'un cours est enrichie à l'aide d'une description des éléments pédagogiques (définition, théorème, exemple, question, exercice, etc.), afin de générer dynamiquement une interface de cours sur le Web, travaux dirigés ou de travaux pratiques assurant une grande souplesse de navigation et suivant la progression de l'apprenant dans l'ensemble des notions à acquérir. La sémantique de ces notions est utilisée dans la génération des supports afin de distinguer les aspects fondamentaux des aspects qui ne le sont pas. La sémantique fixée permet aussi, d'un point de vue ergonomique, de définir des conventions pour les interfaces (par exemple, un code de couleurs, des images, des vidéos, etc.) ou de définir formellement des structures récurrentes pour créer des vues abstraites.

Au plan scientifique, notre problématique peut être formulée sous forme d'une structure mathématique de type :

$$AG = (C, R, F, MA, RP, \langle_C, \langle_F).$$

En effet, pour arriver à une adaptation granulaire (AG) d'un contenu, cela dépend étroitement de l'ensemble des concepts du domaine à enseigner (C), les relations entre ces concepts (R), l'ensemble de fragments liés aux concepts (F), le modèle de l'apprenant (MA), les règles pédagogiques (RP). Les ordres partiels \langle_C pour l'ensemble des concepts et \langle_F pour les fragments, définissent respectivement l'ordre de présentation des concepts et des fragments. Ces différentes notions vont être détaillées au fur et à mesure de l'avancement de cette thèse.

Cette problématique soulève donc, plusieurs sous-problématiques relatives à des champs disciplinaires qui sont étroitement liés. Nous proposons ici pour mieux aborder cette problématique une démarche interrogative.

Ainsi plusieurs questions peuvent être posées : *Qu'est ce que l'adaptabilité des contenus ? Que peut-on adapter et à quel niveau ? Comment adapter les contenus à un*

apprenant et un contexte particulier? Comment prendre en compte les connaissances antérieures et les préférences des apprenants? Comment représenter les contenus pour qu'ils soient réutilisables? Une représentation granulaire permet-elle d'améliorer les mécanismes d'adaptabilité? Qu'est ce que la granularité? Quelles approches utiliser pour décrire la granularité nécessaire à l'adaptabilité?

La suite de ce mémoire essayera d'apporter ou d'approcher quelques éléments de réponses à ces questions, souvent posées par la communauté scientifique émanant du domaine de recherche sur les EIAH.

3. Approches adoptées

Tout d'abord, pour résoudre les problèmes que nous venons de décrire, nous avons adopté plusieurs approches décrites ci-dessous.

Pour assurer une meilleure adaptabilité des contenus pédagogiques dans le contexte des SHAD, nous nous sommes beaucoup inspirés des travaux de l'auteur Brusilovsky ainsi que des auteurs émergeant dans le domaine comme le cas de Koch, Ranwez, Balla et autres. Nous nous sommes aussi inspirés des travaux effectués sur les standards et normes liés à ce domaine notamment les standards LOM, SCORM, PAPI Learner, IMS LIP, etc. Nous avons également opté pour le suivi de la méthode **UML-based Hypermedia Design Method (UHDM)** qui fournit des techniques de modélisation des applications hypermedia en se basant sur le formalisme UML comme langage de modélisation des différentes étapes de conception de notre travail.

Ainsi, nous avons proposé plusieurs techniques d'adaptabilité que ce soit au niveau du contenu, de la navigation ou de la présentation. Nous avons en conséquence donné de l'importance au modèle de l'apprenant qui constitue une composante fondamentale pour l'adaptabilité. Nous avons de ce fait restructuré ce modèle en ajoutant un ensemble d'items provenant essentiellement des travaux sur les SHAD. C'est ainsi que deux niveaux ont été proposés dans ce sens : le niveau des données statiques et celui des données dynamiques.

Nous nous sommes de la sorte intéressés à l'usage d'une approche de granularité fine des objets pédagogiques pour assurer une meilleure adaptabilité. L'approche adoptée des Objets Pédagogiques, propose une refonte des contenus pédagogiques. Pour cela, nous avons proposé une modélisation des contenus à base d'objets pédagogiques de granularité fine. Cette modélisation, comme mentionné avant, propose une décomposition de contenu en *fragments*, eux même composés de différents grains pédagogiques (Introduction, définition, exemple, remarque, etc.). Chaque fragment est représenté par des briques multimédias de type : texte, image, son ou vidéo. Ainsi le même fragment peut avoir plusieurs présentations possibles. Une définition, par exemple, peut être une image, un son ou une vidéo. Le système choisit sa présentation en fonction des préférences de l'apprenant.

4. Organisation de la thèse

Ce mémoire est structuré en trois parties. La première partie est réservée à l'état de l'art de la thématique considérée. La deuxième partie traite notre apport théorique pour la granularité des contenus. La troisième partie est consacrée à la conception et à la réalisation d'un SHAD qui met en pratique l'approche proposée dans la deuxième partie.

L'ensemble de ce mémoire peut être lu de façon indépendante. Nous notons cependant que les trois premiers chapitres présentent des concepts et des définitions qui peuvent faciliter la compréhension de la démarche que nous avons poursuivie.

Le premier chapitre présente brièvement l'état d'art des Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain. Plusieurs aspects sont considérés, à savoir : l'historique des EIAH, leurs intérêts, leurs caractéristiques, l'évaluation des EIAH, etc.

Le deuxième chapitre s'intéresse aux fondements théoriques des systèmes hypermédias adaptatifs et/ou dynamiques. Ainsi nous allons discerner les techniques et types d'adaptations existantes. À la fin de ce chapitre quelques exemples de systèmes hypermédias adaptatifs réalisés seront aussi considérés.

Le troisième chapitre se focalise sur la composante *modèle de l'apprenant*. Nous examinerons principalement le processus de modélisation, les standards et les spécifications qui lui sont liées.

Le quatrième chapitre s'intéresse à la notion d'**O**bjets **P**édagogiques (OP), leurs conceptions, les métadonnées ainsi que les standards associés. Ce chapitre traite aussi une problématique importante des OPs. Il s'agit de l'économie des contenus pédagogiques et les entrepôts pédagogiques les plus répandus.

Le chapitre 5 se focalise sur les notions de granularité, de réutilisabilité et d'adaptabilité ainsi que la relation entre ces trois notions. Ce chapitre montre la notion de granularité à travers la littérature existante en présentant quelques exemples de modèles de contenu aussi bien que quelques approches. A la fin de ce chapitre nous abordons notre point de vue sur la notion de granularité.

Le chapitre 6 expose la conception d'un SHAD implémentant notre approche granulaire.

Le chapitre 7 est un cas d'étude et d'implémentation de notre conception en fonction de notre approche granulaire associée. Cette implémentation est traduite par la mise en place des premières briques de réalisation d'un SHAD, baptisé ALS-CPL, pour l'apprentissage du langage de programmation "C".

En guise de conclusion, nous présentons un bilan de nos travaux de thèse, les résultats obtenus et nous traçons des perspectives futures à nos recherches qui vont nous permettre d'améliorer ce qui est proposé. Nous évoquons, également, notre contribution dans l'avancement de la compréhension de notre champ de recherche.

Chapitre 1 : Les Environnements Informatiques Pour l'Apprentissage Humain

Le domaine des Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (EIAH) connaît un essor important en termes d'usage que ce soit en formation initiale ou en formation continue. Ce domaine de recherche a permis une utilisation réussie des technologies d'information (TIC) au profit de l'apprentissage humain, avec la volonté de placer l'apprenant, au centre du dispositif d'apprentissage.

La notion d'EIAH couvre une diversité de systèmes : *systèmes hypermédias, systèmes tuteurs intelligents, plates-formes de formation ouverte et à distance*, etc. C'est un domaine pluridisciplinaire qui allie les *sciences humaines, la psychologie cognitive, les sciences de l'éducation, la didactique, l'ergonomie, l'informatique et l'intelligence artificielle*. La conception de tels systèmes nécessite de prendre en compte une multitude de problématiques inter-reliées (Tchounikine, 2002a).

Nous noterons également la difficulté d'effectuer une synthèse exhaustive de l'état d'art du domaine comme a été souligné par plusieurs auteurs principalement les francophones tels que : GrandBastien, Gouardères, Tchounikine, Laforcade, Cherkaoui, etc. Nous proposons donc de s'en rapprocher en abordant d'abord les aspects historiques, qui permettent de situer l'origine du concept "EIAH" en montrant les différentes évolutions connues du concept, à savoir l'EAO, l'EIAO/EIAO et enfin l'EIAH.

Dans une autre perspective, il nous paraît important de s'intéresser aux différentes définitions proposées, bien que celle-ci ne régissent pas forcément à un consensus, à travers la littérature existante. Cela permettra de répondre à la question souvent posée et qui est celle de savoir ce qu'un EIAH. De ce développement, une question importante en découle. Il s'agit de montrer pourquoi s'intéresse-t-on depuis 1960 jusqu'à nos jours aux EIAH. Sont-ils si importants ?

Un autre aspect important de ce chapitre consiste à présenter une approche de caractérisation des EIAH qui implique de façon implicite les différentes voies de recherche effectuées.

Une thématique importante qui est l'évaluation a marqué l'histoire des EIAH. Nous avons jugé intéressant de l'évoquer selon deux facettes différentes, à savoir : des points de vue *logiciel et pédagogique*.

Par ailleurs, et afin de mieux cerner le concept d'EIAH, il nous paraît aussi important de proposer une classification, inspirée de la littérature du domaine, bien que cette tâche ne soit pas simple. Nous reviendrons également sur la pluridisciplinarité et la complexité des EIAH.

1. Ancrage dans l'histoire

Les progrès de l'informatique et l'accroissement des réseaux de communication ont permis l'avènement de nouvelles technologies de l'information. Dans le domaine de l'enseignement, les techniques et systèmes d'apprentissage ont beaucoup évolué au fil du temps. Les paragraphes suivants retracent cette évolution.

1.1. Les machines à enseigner

La première machine à enseigner a été construite par S. Pressey en 1926. L'objectif de Pressey était de construire un dispositif pouvant poser des questions en permettant aux apprenants d'y répondre et d'avoir une confirmation ou infirmation de la véracité de cette réponse (Bruillard, 1997). La machine élaborée était constituée de fenêtres proposant des questions avec quatre choix de réponses possibles et quatre boutons correspondant à ces réponses. L'apprenant ne passe à la question suivante que lorsque sa réponse est juste. La machine garde une trace des actions de l'apprenant.

Cependant, plusieurs chercheurs, dont Skinner (1968), ont reproché à cette machine d'avoir été fondée sur des connaissances insuffisantes du phénomène d'apprentissage. Les recherches orientées dans ce sens ont donné naissance à l'enseignement programmé.

1.2. L'enseignement programmé

L'enseignement programmé est un procédé qui permet d'automatiser partiellement ou entièrement l'enseignement d'un apprenant tout en respectant les caractéristiques propres à cet apprenant.

Le fondement de cet enseignement repose sur des principes tels que le découpage de la matière à enseigner en petites unités, l'adaptation du rythme d'apprentissage à chaque apprenant, la participation active de l'apprenant, l'évaluation immédiate, etc.

L'enseignement programmé a permis d'individualiser la progression de l'apprenant et à conduire des réflexions sur l'apprentissage et l'enseignement à l'aide d'un programme informatique. Les travaux les plus remarquables dans ce domaine sont ceux de Skinner et de Crowder, qui peuvent être résumés comme suit :

- *L'enseignement programmé linéaire soutenue par Skinner* : pour que l'apprenant passe à la question suivante, il doit répondre correctement à la question en cours ;
- *L'enseignement programmé ramifié soutenue par Crowder* : les machines permettent d'orienter l'apprenant à l'intérieur du cours en fonction des réponses fournies par cet apprenant.

Néanmoins, selon Bruillard (Bruillard, 1997), dans l'enseignement programmé, il n'y a pas réellement de «pilote». Les programmes sont entièrement prédéterminés et donc leur portée est fatalement limitée. Les matières programmées sont celles où la progression est apparemment la plus facile à définir.

Dans les années soixante, l'utilisation des principes de l'enseignement programmé et l'intégration des technologies d'information dans l'enseignement ont permis de construire des logiciels qui furent les premières ébauches de l'Enseignement Assisté par Ordinateurs (EAO).

1.3. L'Enseignement Assisté par Ordinateur

L'enseignement assisté par ordinateur (EAO) a vu le jour dans les années soixante. Il avait comme principal objectif faciliter et optimiser la transmission de l'information tout en diminuant le coût financier et humain de la formation (Benadi, 2004). L'EAO permet un apprentissage plus ou moins individualisé. L'apprenant peut acquérir des concepts à son propre rythme. Les systèmes qui en découlent sont basés sur le principe des scénarios définis dans des graphes imposant une succession d'actions figées d'écran pour une succession d'actions toutes aussi figée (Giacomini, 2005).

Malgré que ces environnements étaient et restent encore la base de plusieurs applications, ils demeurent néanmoins limités. Ils ne permettent pas l'adaptation du contenu pédagogique ni aux apprenants ni au contexte d'apprentissage.

Suite au constat de ces limitations, de nouveaux systèmes, initialement appelés Enseignement Intelligemment Assisté par Ordinateur (EIAO), ont vu le jour vers les années 70.

1.4. Les systèmes pédagogiques intelligents

Les nouveaux systèmes dits «Enseignement Intelligent Assisté par Ordinateurs» (EIAO) sont une reprise de la problématique de l'EAO par l'intelligence artificielle. En effet, ces systèmes ont introduit les techniques d'intelligence artificielle, ce qui leur a permis d'être plus souples, plus interactifs et s'adaptant mieux aux apprenants.

Vers les années 80, l'émergence des systèmes tuteurs intelligents, qui sont fortement liés au développement des systèmes à base de connaissance en intelligence artificielle, ont influencé le changement de la désignation de l'EIAO en Environnement Interactif d'Apprentissage avec Ordinateur. Ce nouveau domaine vise à concevoir des systèmes interactifs qui permettent la résolution de problèmes en cherchant la collaboration des différents acteurs du système.

Dans les EIAO, le point commun consistait dans des capacités d'interactivité intentionnellement destinées à favoriser l'apprentissage de l'apprenant dans un cadre d'utilisation relativement autonome (Bruillard, 1997).

Aux environs des années 90, on est passé d'une vision qui était jusqu'alors centrée sur le transfert de connaissances à une vision selon laquelle l'apprenant construit son apprentissage en interagissant avec un environnement (Bruillard, 1994).

Actuellement, les travaux de recherches se sont dirigés vers la conception et le développement de nouveaux systèmes communément appelés Environnement Informatique pour l'Apprentissage Humain (EIAH). Les EIAH couvrent plusieurs

systèmes dont le point commun est de favoriser l'apprentissage humain au sein d'un environnement informatique. La suite de ce chapitre s'intéressera à ces environnements en essayant de montrer ce qu'ils sont, leurs intérêts, leurs caractéristiques et enfin leurs classes d'appartenance.

2. Qu'est ce qu'un EIAH ?

Le présent paragraphe n'a pas pour objectif de donner une définition complète du terme EIAH, vue la complexité et l'hétérogénéité des différentes significations proposées dans la littérature. De plus, le terme EIAH provient d'une nomination francophone. Ce paragraphe va plus particulièrement essayer de s'en rapprocher en proposant quelques définitions parmi les plus usitées dans le domaine.

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 travaux de recherche liés au domaine des EIAH correspondent aux travaux focalisés sur les environnements informatiques dont l'objectif est de susciter et d'accompagner l'apprentissage humain, c'est-à-dire la construction de connaissances chez un apprenant.

Grandbastien (Grandbastien & Labat, 2006, P.18 cité par Loiseau 2009), définit un EIAH comme un environnement qui mobilise des agents humains (élève, enseignant, tuteur) et artificiels (agents informatique) 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 complétée par l'auteur en question, 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.

Plus récemment, d'autres auteurs tels que (Cherkaoui, 2006), proposent une définition en décomposant le mot EIAH selon les différents termes constituants. Cet auteur présente une approche du terme «environnement» en un lieu abritant un ou plusieurs systèmes, ce lieu pouvant être réel ou virtuel. Le terme «informatique» correspond à l'adoption des technologies de l'information et de la communication TICs en intégrant l'ordinateur dans l'enseignement pour permettre le développement d'une culture informatique et favoriser le processus d'apprentissage. Pour le terme «apprentissage», c'est une méthode fondée sur la transmission et la construction du savoir. Cependant le processus dépend étroitement de la théorie d'apprentissage adoptée (*behaviorisme, cognitivisme, constructivisme*). Quand au terme «humain», cet aspect est d'abord apparu au cours de l'évolution du champ des environnements informatisés pour l'apprentissage, sous l'influence des linguistes pour prendre en compte les interactions et afin de les rendre

plus «humaines» dans un processus d'apprentissage. Finalement, cet auteur, recense différents acteurs, différentes fonctions et différents rôles. Les principaux acteurs et fonctions sont : l'apprenant, le formateur, le concepteur, le gestionnaire et l'informateur.

Ce que nous pouvons retenir de ces définitions c'est que les EIAH sont des systèmes informatiques destinés à favoriser des apprentissages chez leurs utilisateurs, souvent appelés "apprenants". Ces derniers sont placés généralement en situation active d'acquisition de savoirs et/ou de savoir-faire, à l'aide d'un ensemble de ressources, tout en étant "plus ou moins" guidés à des degrés divers par le système, selon la théorie de l'apprentissage choisie et en interaction avec différents acteurs (ou agents).

3. Intérêt des EIAH

L'importance des EIAH n'est aujourd'hui plus à démontrer (Cherkaoui, 2006). En effet, les multiples recherches et études proposées dans la littérature sont les meilleures preuves. Pour répondre de façon détaillée à un tel intérêt, nous proposons quelques points permettant de s'en approcher.

- ***Un EIAH permet d'individualiser l'enseignement*** : l'EIAH est venu pour pallier aux problèmes de l'enseignement traditionnel. 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 permettant 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 à 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 permet 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 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 (Settouti, 2006; Ferraris, 2005).

Par ailleurs, nous notons que les EIAH ont joué un rôle important, en particulier dans le développement des autres disciplines. A titre d'exemple, nous citons le domaine de l'intelligence artificielle. En effet, comme souligné dans l'introduction, les différents travaux effectués sur les EIAH ont permis d'expérimenter les différentes représentations des connaissances introduites et de montrer ainsi leurs pertinences ou leurs faiblesses.

4. Quelques caractéristiques des EIAH

Dans les parties précédentes, nous avons présenté le concept d'EIAH et quelques apports de ce domaine.

Nous allons à présent découvrir sommairement quelques spécifications de ces systèmes par ce qu'ils sont. Pour plus de détails sur le sujet nous renvoyons le lecteur à l'article de Cherkaoui (Cherkaoui, 2005b).

Parmi les caractéristiques générales de ces environnements que nous avons pu dégager de nos lectures, nous pouvons dire qu'un EIAH est :

- ***un système informatique*** : en considérant un EIAH comme un système informatique, nous pouvons lui attribuer les caractéristiques spécifiques à un logiciel. Ainsi un EIAH possède une stabilité à long terme, dispose de composantes qui interagissent entre elles, contient des performances permettant de l'évaluer et possède des composantes qui le rendent extensible, etc.
- ***un domaine de recherche pluridisciplinaire*** : un EIAH fait appel, directement ou indirectement, à plusieurs disciplines comme la pédagogie, la didactique, la psychologie cognitive, les sciences de l'éducation et informatique, les sciences de l'information et de la communication, etc.
- ***un domaine complexe*** : La complexité des EIAH porte sur deux volets. Le premier volet concerne la complexité de leur mise en place (conception – réalisation – expérimentation – évaluation – diffusion) (Tchounikine, 2004). Le deuxième volet concerne la complexité d'utilisation. Les EIAH sont en effet, des environnements informatiques complexes, rarement «intuitifs» malgré les efforts de leurs concepteurs (Ollagnier-Beldame, 2007).

5. L'évaluation des EIAH

Quand on parle d'EIAH, il est nécessaire de souligner qu'il existe trois types d'évaluations : évaluation du *produit*, de *l'apprentissage* et des *performances* des élèves (Ergun, 2006).

L'évaluation des EIAH peut s'effectuer aussi bien en amont (sa conception doit être prévue dès le début comme une réponse à des problèmes de terrain), ou en aval mais aussi et surtout au cours de l'élaboration des systèmes support d'apprentissage. Il peut s'agir également de l'évaluation de nouvelles pratiques, de supports, de dispositifs, de l'étude et de leurs impacts sur l'ensemble des acteurs et organisation qui participent à l'éducation et à la formation.

D'après Senach (Nogry, 2010), l'évaluation d'un EIAH est basée sur deux méthodes : *l'évaluation analytique* et *l'évaluation empirique*. En ce qui concerne la première méthode d'évaluation, le principe consiste à évaluer le système EIAH et à étudier ses composantes en se basant sur une grille d'évaluation afin de vérifier la conformité du système à un ensemble de critères. Pour la deuxième méthode, elle repose sur la comparaison des performances des apprenants lors de la résolution de problèmes avant et après l'utilisation d'un EIAH avec ou sans l'utilisation ou bien dans les deux situations (Ergun, 2006).

D'autres auteurs (Ergun, 2006 ; Betrancourt, 2007) définissent trois dimensions primordiales pour l'évaluation des EIAH : l'utilité, l'utilisabilité et l'acceptabilité définis comme suit :

- **L'utilisabilité** : ce terme désigne la capacité à permettre à l'apprenant d'atteindre facilement ses objectifs. En d'autre terme, est ce que ce système est facile à utiliser. L'évaluation pour cette dimension concerne essentiellement l'interface de l'EIAH (cohérence, lisibilité...) et sa navigation (cohérence, simplicité, exhaustivité des déplacements possibles).
- **L'utilité** : il s'agit dans ce point d'évaluer s'il y a bien adéquation entre ce que le système permet de faire et l'objectif d'apprentissage défini par l'enseignant. L'évaluation de l'utilité recouvre trois niveaux de questions emboîtés. Le niveau relatif au «comment», au «quoi» et au «pourquoi» (Tricot, 2003).
- **L'acceptabilité** : l'évaluation de l'acceptabilité permet de prendre la décision d'utiliser un EIAH. Elle consiste en quelque sorte à étudier si un apprenant trouve un intérêt dans un EIAH ou une ressource du point de vue de son utilité et de son utilisabilité (Georget, 2009).

Enfin, d'autres dimensions d'évaluation, qui dépassent le cadre de ce travail, sont explorées dans la littérature. Nous citons à titre indicatif *le moment de l'évaluation*, *la démarche retenue*, *l'objet sur lequel porte l'évaluation*, *les dimensions évaluées*, etc.

Dans ce qui suit et en vue de mieux comprendre les EIAH dans leur ensemble, nous présentons les classifications des EIAH les plus citées du domaine, avant de présenter notre propre point de vue sur la classification.

6. Classification des EIAH dans la littérature

Le présent paragraphe se donne comme principal objectif de présenter quelques approches de classification des EIAH. Nous donnons également une synthèse de ces classifications et proposons notre point de vue sur celle-ci.

6.1. La classification des EIAH

Toute classification dans un domaine exprime une certaine vision de ce domaine, à un moment donné de l'histoire de son développement (Basque et al, 2003).

Proposer une classification des EIAH s'avère intéressante à plus d'un titre. Selon Seels (Seels, 1997), les classifications dans ce domaine :

- *résumant une grande quantité de connaissances* et permettent de faire des prédictions et des comparaisons auxquelles personne n'aurait pensé sans elles.
- *servent à analyser un nouvel usage d'un EIAH* par une comparaison avec les autres catégories de classifications.
- *permettent en plus, de mieux comprendre le domaine dans son ensemble*, à réduire la diversité des éléments d'un ensemble en quelques types plus significatifs.

Nous présentons ci-dessous trois classifications complémentaires, mais qui peuvent être catégorisées en deux approches principales : *l'approche fonctionnelle* et *l'approche taxonomique*.

6.1.1. Approche fonctionnelle selon De vries

Une première approche de classification a été soutenue par De vries (De Vries, 2001) (tableau 1). Cet auteur donne une classification basée sur la *fonction pédagogique*. Elle comprend huit fonctions pédagogiques. Chaque fonction présente une classe à part, correspond à un *type de logiciel* particulier et elle est caractérisée par trois aspects importants : les *tâches proposées aux apprenants*, les *connaissances* et la *théorie d'apprentissage*.

Tableau 1 : Les catégories des EIAH et leurs caractéristiques (De Vries, 2001)

Fonctions pédagogiques	Type de logiciel	Théorie	Tâches	Connaissances
Présenter de l'information	Tutoriel	Cognitivisme	Lire	Présentation ordonnée
Dispenser des exercices	Exercice répétés	Behavioriste	Faire des exercices	Association
Véritablement enseigner	Tuteur intelligent	Cognitivisme	Dialoguer	Représentation
Captiver l'attention et la motivation de l'élève	Jeu éducatif	Principalement behavioriste	Jouer	
Fournir un espace d'exploration	Hypermédia	Cognitiviste constructiviste	Explorer	Présentation en accès libre
Fournir un environnement pour la découverte de lois naturelles	Simulation	Constructiviste Cognition située	Manipuler Observer	Modélisation
Fournir un environnement pour la découverte de domaines abstraits	Micro-monde	Constructiviste	Construire	Matérialisation
Fournir un espace d'échange entre élèves	Apprentissage collaboratif	Cognition située	Discuter	Construction de l'élève

Dans ce tableau, un résumé de huit fonctions de la typologie et de leurs caractéristiques est présenté. Les huit fonctions citées regroupent presque l'ensemble de logiciels de type EIAH cités dans la littérature. Pour les théories d'apprentissage, nous noterons les quatre principales, à savoir : le behaviorisme, le cognitivisme, constructivisme et le socioconstructivisme.

La classification de De Vries, bien que moins explicite sur ce point, montre l'interaction de type hypermédia pour les EIAH de type exploration. L'item «type logiciel» nous paraît intéressant puisqu'on retrouve ici une évolution historique et générique des EIAH existants jusqu'à nos jours.

Nous noterons par ailleurs que l'apprentissage collaboratif à l'origine des plates-formes FOAD a été souligné. Malgré tous les avantages que présente cette classification, nous noterons cependant qu'elle mérite d'être revisitée, en prenant en compte les nouveautés du domaine et en rajoutant l'item relatif à l'interaction.

6.1.2. Approche taxonomique de Basque

En ce qui concerne la deuxième approche, elle est appuyée par Basque (Basque et al., 2003). Cet auteur propose une classification selon trois catégories en se basant sur les usages, à savoir :

- **Les EIAH centrés sur l'acte d'enseignement/apprentissage** : cette catégorie a pour critère de classer une ou plusieurs variables définissant une situation pédagogique ;
- **Les EIAH centrés sur l'école** : elle vise à répertorier l'ensemble des usages possibles des TIC au sein d'un établissement d'enseignement ;

- **Les EIAH centrés sur l'apprenant** : il s'agit d'une catégorie qui repose sur les différentes façons dont les TIC peuvent supporter les activités de l'apprenant.

Cette approche, à notre avis, est macroscopique et ne correspond pas à notre vision de la classification des EIAH. Elle traite les EIAH en tant que TIC et ne prend pas en considération le volet pédagogique ni le volet logiciel et évolution des TIC dans le domaine des EIAH.

6.1.3. Approche taxonomique de Cherkaoui

Cherkaoui (Cherkaoui, 2006) a cité trois grandes classes des systèmes EIAH, à savoir :

- **Les systèmes qui planifient des parcours de façon automatique** (exemple : les systèmes tuteurs intelligents et les hypermédias adaptatifs dynamique) ;
- **Les systèmes ou plates-formes FOAD** ;
- **Les systèmes hybrides** correspondant à une combinaison à la fois des plates-formes et des systèmes qui planifient.

6.1.4. Approche taxonomique de Tchounikine

Tchounikine (Tchounikine, 2009) adopte une approche basée sur la classification en type de logiciels. Cet auteur a distingué entre deux termes avant de présenter les logiciels rentrant dans la catégorie des EIAH :

- **Les Situations D'apprentissage Informatisée (SAI)** : constituent une situation d'apprentissage intégrant un ou plusieurs logiciels qui jouent un rôle particulier du point de vue de l'apprentissage ;
- **Les Situations Pédagogiques Informatisées (SPI)** : correspondent à une situation pédagogique intégrant un ou plusieurs logiciels.

Selon Tchounikine, un logiciel utilisé au sein d'une SPI n'est pas un EIAH s'il ne présente pas de propriétés conçues et réalisées en relation à un objectif pédagogique. Il présente quelques types de logiciel rentrant dans la catégorie des EIAH tout en présentant en contre partie les logiciels n'appartenant pas aux catégories des EIAH.

Cet auteur a dressé, par ailleurs, une liste non exhaustive de catégories des EIAH comportant :

- Les tuteurs intelligents;
- Les micro-mondes, environnement de simulation ou encore environnement de réalité virtuelle pédagogiques;
- Les hypermédias pour l'apprentissage;
- Les environnements d'apprentissage collaboratif;
- Les outils de communication structurée;
- Les plates-formes de formation à distance;
- Les environnements d'apprentissage mobile.

Pour les contre-exemples, Tchounikine cite à titre d'exemple les résolveurs de problèmes conçus pour proposer des experts, les outils de communications standard ou les plateformes de mise à disposition de contenu standard qui n'ont pas été conçu pour présenter des caractéristiques liés à l'apprentissage ou à l'enseignement. Cet auteur affirme que ce ne sont pas des EIAH.

Nous considérons que l'approche de Tchounikine est plus proche de notre vision de classification des EIAH. Dans le paragraphe suivant, nous allons présenter en détail notre point de vue pour la classification des EIAH.

6.2. Proposition d'une classification des EIAH

La classification proposée (Figure 1) est basée sur une synthèse des travaux de Cherkaoui (Cherkaoui, 2006) et Tchounikine (Tchounikine, 2009) (§ 6.1.3, 6.1.4.). Elle essaye surtout de mettre un peu d'ordre sur les idées proposées.

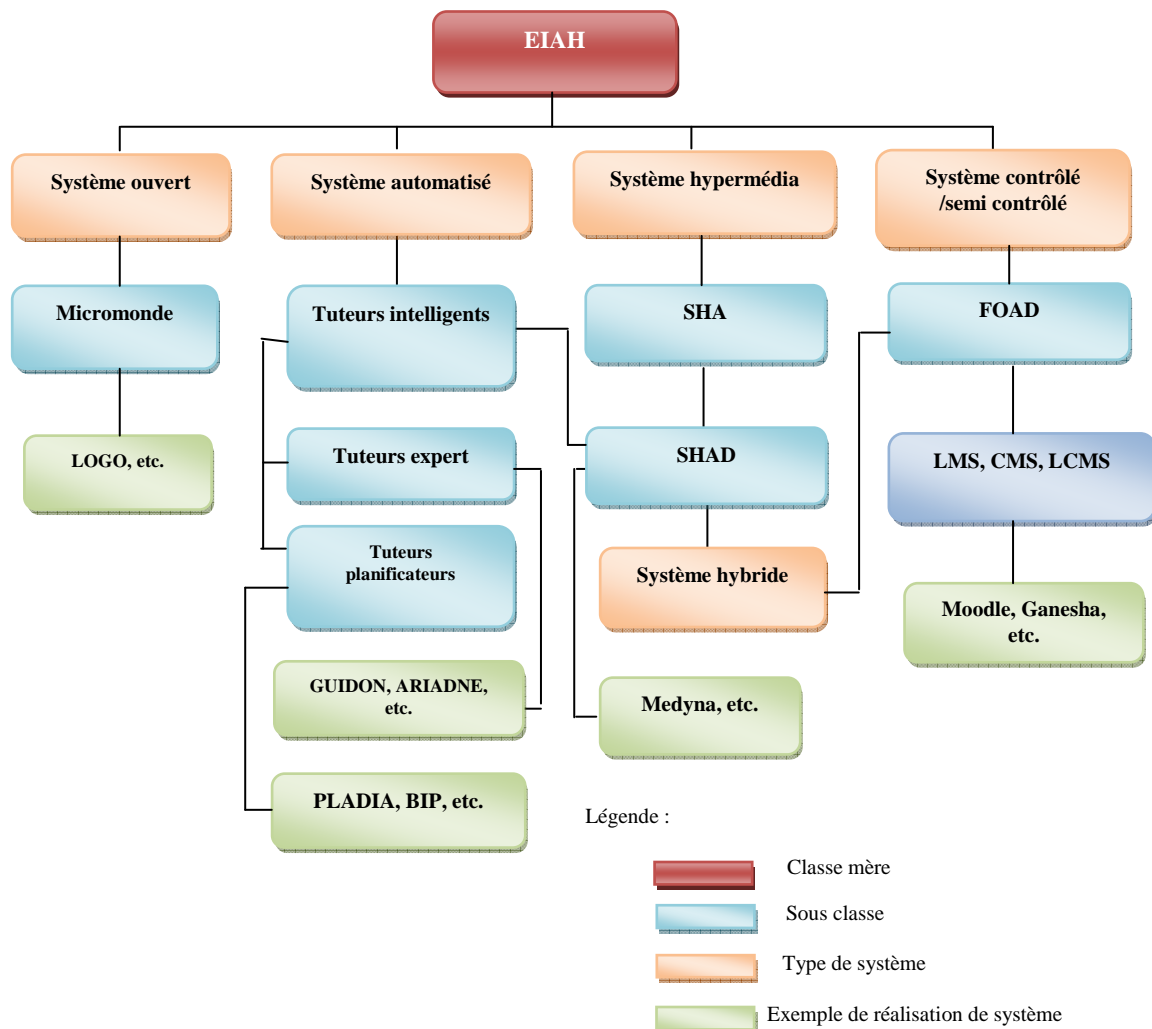


Figure 1 : Proposition d'une classification des EIAH.

Par conséquent, la classification proposée (Cf. figure 1), se base sur les deux approches citées ci-dessus. Ainsi, pour la liste dressée par Tchounikine, nous pensons que plusieurs catégories peuvent être groupées en une seule. Par exemple Environnement d'apprentissage collaboratif, outils de communication structurée, plate forme de formation à distance, peuvent être groupés dans la catégorie des systèmes d'apprentissage contrôlés et semi contrôlés. Nous avons aussi pris en considération les classes proposées par Cherkaoui.

Les classes que nous proposons pour les EIAH sont comme suit :

- **Les systèmes automatisés** : se sont les systèmes qui proposent des parcours sans aucune intervention de l'être humain. On trouve dans cette catégorie les systèmes tuteur intelligent. Parmi ceux-là, nous distinguons les systèmes experts et ceux qui ont un plan d'action explicite ;
- **Les systèmes hypermédias** : ces systèmes contiennent trois types (1) les systèmes hypermédias classiques (SHC), (2) les systèmes hypermédias adaptatifs (SHA) et (3) les systèmes hypermédias adaptatifs dynamiques (SHAD). Il est à noter que les SHA et les SHAD sont le résultat de combinaison avec cette classe et la classe des systèmes automatisés ;
- **Les systèmes contrôlés /semi contrôlés**: ces systèmes sont assistés par l'Homme. Ils font intervenir les enseignants et tuteurs pour la planification et le suivi des activités des apprenants. Cette catégorie contient les systèmes de Formation Ouverte et A distance basé essentiellement sur les plateformes d'enseignement à distance (LMS, CMS, LCMS) ;
- **Les systèmes ouverts** : ces systèmes laissent complètement l'initiative à l'apprenant. Dans cette catégorie on trouve les micro-mondes, les environnements d'exploration, etc. ;
- **Les systèmes hybrides** : ces systèmes sont nouveaux et rares dans la littérature. Ils ont vu le jour grâce à la combinaison entre les systèmes automatisés et les systèmes contrôlés. Ainsi, si on a des petits groupes homogènes, ils vont être basculés vers les systèmes contrôlés par contre si on a des apprenants dans des situations difficiles ou bien des grands groupes ou le suivi individuel est imposé, les apprenants vont passer au système automatisé pour créer des cours adaptés au profil de chaque apprenant.

7. Conclusion

Les EIAH constituent l'un des moyens les plus efficaces pour individualiser l'apprentissage pour tous les secteurs de la connaissance pour lesquels on vise un transfert de savoir et de savoir-faire.

Le présent chapitre a essayé de cerner les principaux concepts liés au domaine des EIAH. Une étude détaillée des EIAH requiert une étude exhaustive des différentes disciplines en liaison avec ce domaine ce qui dépasse de loin le cadre de ce travail.

Dans notre vision des choses, nous avons tout d'abord, commencé par situer ce qu'un EIAH d'un point de vue historique à travers la présentation des différentes recherches qui ont été effectués dans ce domaine et qui ont donné lieu à plusieurs générations de systèmes. Par ailleurs, nous avons essayé de présenter l'intérêt de ce domaine aussi bien que de donner quelques caractéristiques non exhaustives des EIAH. Nous avons jugé nécessaire d'approcher le domaine des EIAH en proposant quelques définitions parmi les plus usitées dans le domaine.

Nous avons ensuite présenté une thématique très débattue dans la littérature et qui a préoccupé un certain nombre de chercheurs dans ce domaine, il s'agit de l'évaluation des EIAH.

A la fin de ce chapitre, nous avons fait l'étude de quelques classifications des EIAH que nous avons puisés de nos lectures bibliographiques et qui adoptent différentes approches. Cette étude nous a permis de contourner quelques limites de ces approches et de proposer notre classification, qui malgré qu'elle soit synthétique, ne constitue probablement pas une classification exhaustive de ce domaine. Suite à cette classification, nous avons distingué, parmi d'autres systèmes, les SHAD qui constituent le noyau de notre travail. Le chapitre suivant sera consacré à ces systèmes avec comme particularité la thématique de l'adaptabilité.

Chapitre 2 : Les Systèmes Hypermédias Adaptatifs Dynamiques

La vocation de ce chapitre est de donner une description générale des aspects de l'adaptabilité qui sont mis en œuvre dans les **S**ystèmes **H**ypermédias **A**daptatifs **D**ynamiques (**SHAD**). Il constitue une continuité du premier, dans le sens où un SHAD hérite largement des systèmes EIAH. Nous rappelons que nous avons déjà donné, en introduction et au chapitre 1, une première caractérisation de ces systèmes. Celle-ci a consisté à distinguer plusieurs catégories de systèmes, mais aussi à définir certaines caractéristiques liées à *l'individualisation* et à *l'adaptabilité* requises.

Ce chapitre continue cette caractérisation de façon plus ciblée, à la fois en considérant le composant *hypermédia*, mais aussi dans le but d'introduire et de modéliser de façon cohérente d'autres notions, il s'agit en particulier de *l'adaptabilité* ainsi que ses *composantes et ses techniques* qui proviennent directement des recherches menées sur la catégorie des SHAD.

Mais, avant d'aller plus loin dans notre démarche, il convient de souligner tout d'abord que les SHAD constituent le résultat d'une combinaison de deux approches différentes, à savoir : les *systèmes adaptatifs* et les *systèmes hypermédias*.

Ainsi, la recherche dans ce domaine a pour objectif d'accroître la fonctionnalité de l'hypermédia en la rendant plus personnalisée voire adaptable (Brusilovsky, 1998). Les SHAD construisent, en effet, un modèle d'objectifs, de préférences et de connaissances d'un apprenant et utilisent ces informations pour l'adaptation des contenus aux besoins de cet apprenant. Par exemple, dans un système hypermédia éducatif, un contenu présenté à un apprenant sera adapté spécifiquement à sa connaissance sur le domaine à enseigner. En outre, le système lui suggère une liste de liens les plus pertinents pour avancer plus dans le domaine (Papanikolaou, 2006). Une encyclopédie électronique adaptative personnalise le contenu d'un article à un apprenant. Elle permettra, par exemple, d'enrichir ses connaissances existantes et ses intérêts (Milosavljevic, 1997). Un musée virtuel adapte la présentation de chaque objet visité au parcours de l'apprenant à travers le musée (Oberlander, 1998). Un autre exemple de l'adaptabilité tiré de nos lectures, consiste à adapter le contenu en fonction des préférences de l'apprenant. Ainsi, un apprenant ayant choisi les préférences pédagogiques de type exercice, aura plus d'exercices. Un apprenant, désirant les vidéos, aura plus de présentations vidéo, etc.

Pour l'étude de ces systèmes, il nous paraît important de revenir sur les concepts fondamentaux à savoir la notion d'hypermédia, de liens et d'hyper-document. Nous nous intéresserons également aux différentes générations de ces systèmes pour montrer l'évolution du concept d'adaptabilité. D'autres questions importantes liées directement

au sujet de notre thèse seront traitées. Il s'agit notamment de répondre à trois questions fondamentales soulevées par Brusilovsky qui sont : *adapter quoi, à qui et comment effectuer cette adaptation*. Ce sont ces quelques aspects de l'adaptabilité qui seront présentés dans les sections suivantes. Aussi, nous abordons quelques modèles et systèmes parmi les plus répandus dans la littérature tout en discutant leurs points forts ainsi que leurs limites. Enfin nous concluons ce chapitre en ouvrant des perspectives pour les recherches que nous examinerons dans les chapitres suivants pour essayer de répondre à la problématique de l'adaptabilité dans les SHAD.

Notons enfin que la plupart des applications qui font usage aux SHAD sont actuellement dans le domaine de l'éducation, c'est pour cela que nous utiliserons dans toute la suite de ce mémoire le terme apprenant pour désigner l'utilisateur d'un SHAD.

1. Les systèmes hypermédias adaptatifs

Cette section est consacrée à la présentation de l'origine de l'hypermédia et aux composantes techniques des SHA.

1.1. Hypermédia au fil du temps

Le concept d'hypertexte a été introduit pour la première fois par l'Américain Vannevar Bush en 1945 (Bush, 2007). Ce scientifique avait pensé à un outil, appelé «Memex» dont l'objectif souligné était d'afficher des livres et des films. Cet outil devrait aussi permettre de créer automatiquement des références entre ces différents médias.

Cette idée a permis de poser les premières fondations de l'hypertexte, mais ce n'est qu'en 1960 que Ted Nelson a proposé explicitement ce concept, en définissant *l'hypertexte comme un réseau constitué par un ensemble de documents informatiques liés entre eux*.

Ce n'est qu'en 1999, que le terme «hypermédia» a été cité pour la première fois par Jacques Ibanez-Bueno qui le définit comme un média dans lequel les informations ne sont pas seulement de type texte, mais également de type *image, son, vidéo* ou encore *multimédia*, avec comme objectif de présenter l'information.

Par ailleurs, le terme de «hyper document» a été introduit par Jean-Pierre Balpe (Balpe, 1990) qui présente un concept plus large de l'hypertexte et de l'hypermédia. Balpe définit l'«hyper document» comme étant tout contenu informatif informatisé dont la caractéristique principale est de ne pas être assujéti à une lecture préalablement définie mais de permettre un ensemble plus ou moins complexe, plus ou moins divers et plus ou moins personnalisé de lectures.

Enfin, selon Everardo Reyes García (Reyes, 2007), plusieurs auteurs utilisent indifféremment les trois concepts, «hyper document», «hypertexte» et «hypermédia». Selon ce même auteur, l'intérêt majeur des SHA est la structure globale de *l'hyperespace* et non le contenu. Ainsi, l'hypermédia, reposant sur la technologie de l'hypertexte et son organisation à base de nœuds et de liens, désigne les documents qui résultent d'une combinaison du multimédia et de la structure hypertexte.

1.2. Composantes techniques des SHA

Selon Saleh (Saleh, 2005), la structure d'un système hypermédia intègre plusieurs éléments techniques et structurels définis comme suit :

- **Les nœuds** : ce sont des unités élémentaires liées à des fragments de données (son, animation, etc.).
- **Les liens** : ils constituent un moyen permettant à l'utilisateur de se déplacer d'un nœud à un autre. Les liens présentent le principal moyen pour agencer un document d'une manière non séquentielle.
- **Les ancres** : dans le cas d'un texte, l'ancre repère un endroit d'un texte, c'est-à-dire une unité sémantique de niveau inférieur à celui du nœud. Pour un objet de type image ou son, une ancre est un objet informatique en général un pointeur qui contient le point de départ ou d'arrivée d'un lien.

2. Les générations des systèmes hypermédiés

L'utilisation de l'hypermédia en éducation a donné naissance à trois générations d'hypermédiés éducatifs : les *hypermédiés classiques*, les *hypermédiés adaptatifs* et les *hypermédiés adaptatifs dynamiques*, que nous présenterons dans cette partie.

2.1. 1^{ère} génération : les Systèmes Hypermédiés Classiques

Les premiers systèmes hypermédiés dits classiques, permettent de présenter les informations de façon non linéaire. Les liens sont codés dans les objets de l'interface et le système gère l'interaction avec l'apprenant en activant les liens entre les différents nœuds du document (Beltran, 1993).

Ces systèmes assurent aux apprenants une facilité et une liberté de navigation dans l'hyperespace d'information. Néanmoins, cette facilité de naviguer dans la structure hypermédia comporte deux risques majeurs pour les apprenants qui sont le *syndrome de désorientation* ("lost in hyperespace syndrome") et le phénomène de *surcharge cognitive* (Conklin, 1987). En effet, les apprenants se retrouvent ainsi perdus devant la masse d'information disponible, voire désorientés de leurs objectifs initiaux. Parallèlement, les apprenants, face à un tel système, doivent effectuer constamment diverses activités mentales : naviguer, rechercher l'information, apprendre, etc. L'accumulation simultanée de ces tâches crée chez l'apprenant le problème de la surcharge cognitive. Ce phénomène se traduit par l'excès de traitements d'informations à réaliser et l'excès d'informations à retenir (Platteaux, 2002).

Pour remédier à ces problèmes, plusieurs recherches ont été menées et de nouveaux systèmes ont été mis en place. Il s'agit notamment des hypermédiés adaptatifs.

2.2. 2^{ème} génération : les Systèmes Hypermédias Adaptatifs (SHA)

Les systèmes hypermédias adaptatifs représentent une avancée non négligeable en éducation. L'objectif principal de ces systèmes 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.

Les différentes techniques utilisées permettent à l'apprenant d'être guidé dans son apprentissage et aux enseignants de mieux structurer leurs connaissances. Ainsi, l'apprenant est constamment guidé dans son cheminement sans annuler la liberté de navigation intrinsèque aux hypermédias. De même, le fait de distinguer entre la connaissance et les outils qui permettent de la présenter, éclaire le travail de l'enseignant. Ce dernier peut alors mieux structurer son contenu, en pensant tout d'abord à l'organisation des connaissances, ensuite à la façon de les présenter.

Nous notons que les hypermédias adaptatifs ont essayé de minimiser l'aspect négatif des hypermédias classiques (Delestre, 1998) sans résoudre tous les problèmes liés à l'adaptation. Tout d'abord, les chercheurs se sont focalisés principalement sur l'adaptation des liens, afin de guider l'apprenant dans son cheminement. Quand à l'adaptation du contenu, elle a souvent été négligée. Ceci est dû essentiellement au fait que la plupart des SHA conçus se sont basés sur les systèmes hypermédias classiques existants et que l'adaptation de la navigation paraît plus facile que l'adaptation du contenu. En effet, les chercheurs n'ont fait que l'intégration des techniques d'adaptation de navigation (suppression de lien, annotation de liens, etc.) à ces systèmes. Cependant, la réalisation de l'adaptation du contenu est un peu complexe puisqu'elle consiste à changer les fragments de contenu, à intégrer dynamiquement de nouvelles briques multimédias, etc. Suite à ces limitations, les recherches se sont orientées vers les hypermédias adaptatifs dynamiques qui permettent d'améliorer la qualité de l'adaptation en prenant en compte à la fois la navigation, le contenu et d'intégrer dynamiquement les nouvelles données. Notons que ces systèmes présentent une solution intéressante qui va nous intéresser particulièrement par la suite dans ce mémoire.

2.3. 3^{ème} génération : les Systèmes Hypermédias Adaptatifs Dynamiques

Contrairement aux deux types de systèmes présentés, l'objectif principal des systèmes hypermédias adaptatifs dynamiques est d'améliorer la qualité d'adaptation. Ces nouveaux systèmes se distinguent essentiellement par le fait qu'ils permettent de construire des contenus pédagogiques dynamiquement et qu'ils adaptent l'offre de formation de manière dynamique, en fonction des règles pédagogiques et des interactions des apprenants (Delestre, 1998; Bouzeghoub, 2005; Battou, 2008).

L'architecture de ces systèmes repose, généralement, sur quatre composantes principales qui sont : *le modèle du domaine, le modèle de l'apprenant, une base de données de ressources pédagogiques et un générateur de cours* (Delestre, 2000).

- **Le modèle du domaine** : une des principales caractéristiques de ce modèle est sa compétence en termes de capacité de représentation des connaissances. Il permet de définir des fragments d'information en spécifiant leur taille, type, media, contenu, indexation, mécanismes de filtrage, organisation et assemblage afin de suivre l'apprenant.
- **Le modèle de l'apprenant** : le modèle de l'apprenant est le noyau de tout système adaptatif. Il a pour but de représenter "le plus fidèlement possible" l'apprenant du système. Ce modèle permet d'adapter le contenu, la présentation d'un document de cours ainsi que la navigation.
- **La base de données** : c'est une base de données locale ou distante dont l'objectif est de stocker les différentes briques multimédias (texte, image, sons, vidéo, etc.).
- **Le générateur de cours** : cette composante a pour but de générer un document personnalisé à partir du modèle de l'apprenant. Le générateur est en mesure de créer des pages qui vont être présentées à l'apprenant en appliquant des règles de structuration, de présentation et de navigation.

Nous notons que l'utilisation d'un tel système présente plusieurs avantages. D'une part, l'intégration d'un nouveau grain pédagogique peut être immédiatement prise en compte, puisque les pages du système sont construites dynamiquement. D'autre part, l'agencement de ces différents grains se fait automatiquement. En effet, les concepteurs de l'hypermédia doivent juste définir l'architecture générale du système, déterminer et récupérer ou créer les grains pédagogiques qui vont servir à présenter chaque concept. Nous reviendrons sur ce point en détail dans les prochains chapitres.

3. L'adaptation : présentation & concepts

Dans cette section, nous nous intéressons aux concepts, méthodes et techniques relatives à l'adaptabilité. Nous essayerons dans un premier temps de montrer ce que signifie la notion d'adaptabilité. Nous exposons par la suite un état de l'art synthétique résumant les travaux liés au domaine de l'adaptation des contenus pédagogiques.

3.1. L'adaptation et termes associés

Dans la littérature, plusieurs termes sont utilisés pour référencer la notion d'adaptation : personnalisation, individualisation, etc. Toutefois, ces termes ne signifient pas forcément, le même concept et vouloir les distinguer ressort de la simplicité. Nous essayons de montrer dans la suite les différentes significations proposées dans la littérature.

3.1.1. L'adaptation

Selon le dictionnaire Larousse l'adaptation c'est l'action d'adapter ou de s'adapter qui veut dire ajuster, joindre, rattacher. Cette définition est générale et ne permet pas de donner une précision sur la notion de l'adaptation en éducation.

Pour Thierry Vieville (Vieville, 2005), l'adaptation correspond à un processus par lequel un sujet, lorsqu'il enregistre une variation de l'environnement, modifie les paramètres d'un objet, à partir d'un modèle de référence, dans le but d'accomplir une tâche spécifique. Dans cette définition, pour aboutir à une adaptation efficace et complète, trois domaines sont évoqués : **un sujet** qui va réaliser l'adaptation, **un objet** qui va être adapté, **un modèle de référence** constituant le référentiel sur lequel le sujet va se baser pour adapter l'objet. Cette définition prend en compte également les variations de **l'environnement** qui spécifient les conditions de déclenchement.

Gavray (Gavray, 2002), rapporte que pour M. Shneider, l'adaptation est "*une tentative de modifier le comportement interactif d'un système en considérant à la fois les besoins individuels des apprenants humains et les conditions propres à l'environnement de l'application*". On remarque que pour Shneider, deux éléments sont importants pour la réalisation de l'adaptation : **les besoins des apprenants** et les éléments propres à **l'environnement de l'application**.

3.1.2. La personnalisation

Selon Gavray (Gavray, 2002), le Gartner Group² définit la personnalisation comme "*toute interaction avec le client dans laquelle le message, l'offre ou le contenu a été taillé sur mesure pour un client ou groupe de clients spécifiques*". Cette définition affirme que la personnalisation porte sur deux critères qui sont l'interaction et les aspects de personnalisation à savoir les messages envoyés au client, les offres ou les contenus qui lui sont présentés.

Pour Adda (Adda, 2008), le principal élément de la personnalisation est la prise en compte d'éléments propres à l'environnement de l'application. Alors que l'adaptation, prend en charge, en plus des éléments de l'environnement, les modifications techniques nécessaires à l'emploi des éléments. Ce qui en résulte c'est que la personnalisation n'est pas un concept distinct de celui de l'adaptation, mais plutôt une sous catégorie de ce dernier (Cf. Figure 2).

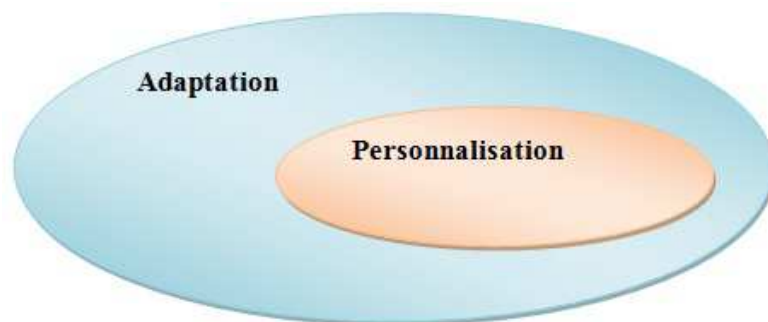


Figure 2 : Positionnement de la personnalisation par rapport à l'adaptation (Gavray, 2002).

3.1.3. L'individualisation

Le terme «individualisation» est souvent soulevé lors des démarches de mise en place de l'adaptation des systèmes d'enseignement en adéquation avec les besoins de l'apprenant.

L'individualisation désigne la possibilité pour des apprenants, à partir d'un dispositif de positionnement à l'entrée, d'effectuer des parcours d'apprentissage différents selon leurs besoins et leurs objectifs. L'apprenant se voit proposer un environnement et un contexte de formation (outils, contenu, mode d'apprentissage, calendrier, etc.) qui s'adaptent à son niveau, ses besoins, ses préférences et lui permettent de progresser à son rythme.

L'individualisation de la formation est un mode d'organisation de la formation visant la mise en œuvre d'une démarche personnalisée de formation. Elle met à la disposition de l'apprenant (élève, étudiant, stagiaire, apprenti...) l'ensemble des ressources et des moyens pédagogiques nécessaires à son parcours de formation et à ses situations d'apprentissage. Elle prend en compte ses acquis, ses objectifs, son rythme, etc.

Pour différencier entre individualisation et personnalisation, Rodet (Rodet, 2009) affirme que «*l'individualisation, c'est du prêt à porter. La personnalisation, c'est du sur-mesure !*». De cette définition, on peut déduire que le terme de personnalisation est le mieux adapté pour désigner l'adaptation des contenus aux caractéristiques de l'apprenant.

3.1.4. Terminologie retenue

Nous voyons bien, comme présenté ci-dessus, la difficulté de bien distinguer les différents termes utilisés. Vouloir présenter une terminologie précise et détaillée ressort du cadre de notre travail. Pour la suite de ce mémoire, nous distinguons la terminologie anglo-saxonne et francophone. Pour les autres chapitres, nous utiliserons plutôt le terme adaptation qui nous paraît plus francophone et qui est plus générique, comme sera présenté dans la suite.

3.2. Approches de l'adaptation

Plusieurs approches sont présentes dans la littérature et définissent le type d'adaptation utilisé. Nous distinguons deux approches principales : l'*approche systémique* et l'*approche processus*, que nous présentons ci-dessous.

3.2.1. Approche systémique

Cette approche est défendue par plusieurs auteurs notamment Edmonds (Edmonds, 1981), Balla (Balla, 2004), etc. Cette approche 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 peut être modifié, à tout moment, sur demande explicite de l'apprenant. Celui-ci peut modifier tout ce qui est présentation, affichage et forme selon ses préférences ;
- **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.

3.2.2. Approche processus

Selon Villanova-Oliver (Villanova, 2002), il existe deux types de processus d'adaptation : l'*adaptabilité* et l'*adaptativité*. L'adaptation est déterminée en liaison avec le degré d'implication de l'apprenant du système pour la réalisation de l'adaptation au moment de sa réalisation (Cf. Figure 3).

Cette approche est partagée par Stephanidis (Stephanidis, 1998). En effet, pour Stephanidis, l'adaptabilité fait référence à un processus d'adaptation basé sur les connaissances (à propos de l'apprenant, de l'environnement, etc.) disponibles ou acquises par le système avant que ne soient engagées les interactions apprenant/système (Villanova, 2002). L'adaptation est donc réalisée lors de l'initialisation du système. Les données utilisées par le système sont statiques et donc inchangeables au cours de l'utilisation. Inversement, 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.

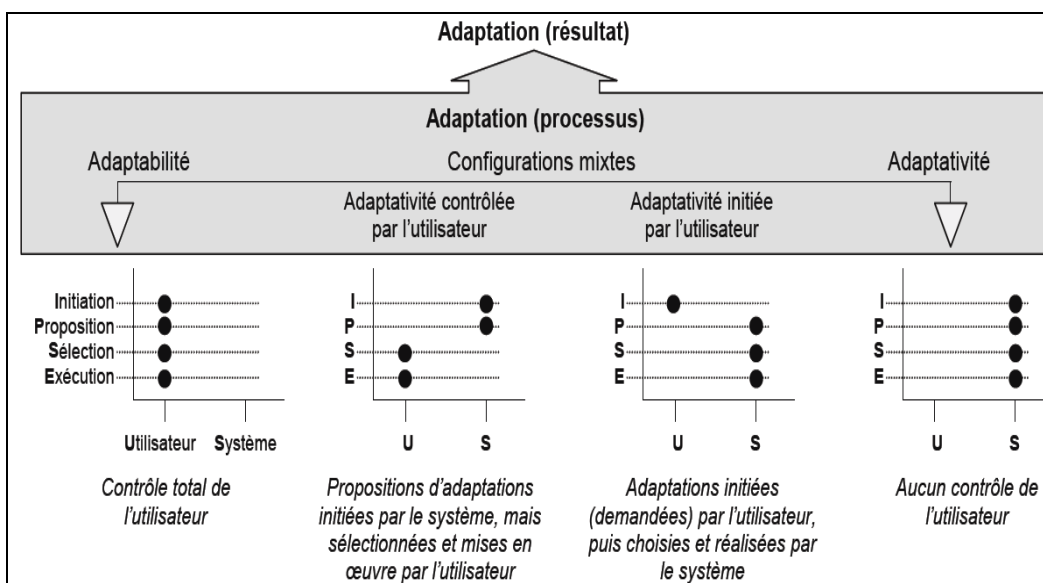


Figure 3 : Différents types de processus d'adaptation : de l'adaptabilité à l'adaptativité (Villanova, 2002).

3.3. Les critères d'adaptation

Pour la réalisation de l'adaptation, un SHAD se base sur plusieurs critères et aspects de l'apprenant. Brusilovsky (Brusilovsky, 1998) a identifié quatre critères qui sont : les *objectifs* à atteindre par l'apprenant, ses *connaissances* concernant le ou les concepts d'un domaine donné, ses *expériences* et *compétences* antérieurs acquises hors du système actuel, ses *préférences* portant sur la présentation des documents (taille, police de caractère, couleur, etc.).

3.3.1. Objectifs de l'apprenant

Pour tout système d'apprentissage, déterminer l'objectif c'est répondre à la question suivante : «*pourquoi l'apprenant utilise le système hypermédia et à quoi l'apprenant veut atteindre ?*» (Brusilovsky, 1998). L'objectif est une caractéristique de l'apprenant qui est lié au contexte du domaine d'enseignement. Ce paramètre est variable puisqu'il change d'une session d'apprentissage à une autre et peut même changer au cours d'une même session.

3.3.2. Connaissances de l'apprenant

Les connaissances de l'apprenant dans le domaine d'apprentissage à enseigner constituent le critère le plus important pour les systèmes hypermédiés adaptatifs dynamiques existants. D'ailleurs, la plupart des techniques de présentation adaptatives utilisées se basent sur les connaissances de l'apprenant comme principale source d'adaptation. Les connaissances de l'apprenant sont aussi variables puisqu'elles changent au fur et à mesure que l'apprenant avance dans son enseignement. Ceci dit, le système doit suivre le changement des connaissances de l'apprenant et mettre à jour le modèle de l'apprenant correspondant.

3.3.3. Expériences & compétences

Ces deux critères correspondent, à première vue, à celui des connaissances. Toutefois, la différence vient du fait qu'ils portent sur les connaissances générales de l'apprenant acquises lors des expériences précédentes en dehors du système d'apprentissage. L'expérience et la compétence d'un apprenant comprend la profession de cet apprenant, son expérience de travail dans des domaines liés au domaine d'apprentissage aussi bien que ses points de vues et perspectives.

3.3.4. Préférences de l'apprenant

C'est la dernière caractéristique prise en compte par un système hypermédia adaptatif dynamique. Chaque apprenant a des préférences et des choix bien précis qui se manifestent par le choix de certains liens plutôt que d'autres ou de contenus par rapport à d'autres. Les préférences ne peuvent pas être déduites par le SHAD, c'est à l'apprenant de les formuler soit directement au SHAD soit indirectement.

3.4. Quelques niveaux d'adaptation

Les SHAD permettent un traitement séparé de ces constituants. Cette séparation permet la réalisation du processus d'adaptation au niveau du contenu, de la navigation et de la présentation telle que définie dans la section suivante.

- **Le contenu** : le contenu se compose d'éléments d'informations inclus dans les applications hypermédias. Il peut être soit indépendant du temps (éléments passifs), comme du texte et des images, ou en fonction du temps (éléments actifs), comme les clips vidéo, les séquences audio et les animations.
- **La navigation** : c'est l'organisation du contenu selon des spécifications qui indiquent quels sont les éléments de contenu qui seront visités et comment seront-ils visités par le biais de navigation.
- **La présentation** : il s'agit de la visualisation du contenu des éléments interactifs. Il existe deux aspects différents de la présentation: la *présentation statique* et la *présentation interactive*. Ce dernier aspect permet de décrire les possibilités d'interaction de l'apprenant. Les éléments interactifs sont celles qui permettent d'accéder à d'autres éléments ("Aller à"), de montrer des éléments passifs "afficher" ou pour activer des éléments multimédia "lire".

Les systèmes adaptatifs adaptent l'information présentée aux préférences, connaissances ou intérêts de l'apprenant. Ce processus peut inclure la personnalisation des changements tels que la sélection des éléments d'information qui sont appropriés pour le niveau de connaissance de l'apprenant, ou une orientation effectuée par la suppression des liens que le système considère inutile à l'état du modèle de l'apprenant à un moment donné. Un système adaptatif peut adapter par exemple, sur la base de la variabilité de l'apprenant, l'aide, les messages d'erreur, le formatage, les stratégies de recherche, offre de travail, périphériques d'entrée, style de dialogue, le contenu, etc.

Brusilovsky (Brusilovsky, 1996) distinguent deux formes différentes d'adaptation d'hypermédia (technologies) : l'adaptation de la présentation (au niveau du contenu) et l'adaptation du support de navigation (au niveau des liens). Une troisième adaptation est soulevée dans la littérature. Il s'agit de la modification au niveau de la présentation, c'est à dire une modification de la mise en page qui n'affecte pas le contenu. Cette modification peut concerner les couleurs, le type de police ou de taille de la police. Si les modifications apportées à la mise en page se distinguent de l'adaptation de contenu, alors la suivante classification pour l'adaptation est présentée (Paterno et al., 1999):

- **Adaptation du contenu** : consiste à sélectionner des informations différentes, telles que texte, images, vidéos, animations, etc. en fonction de l'état actuel du modèle de l'apprenant. Par exemple, le système hypermédia adaptatif mets à la disposition d'un expert d'un domaine d'apprentissage donné plus d'informations qu'un débutant.

- **Adaptation de la navigation** : consiste à changer l'apparition de liens, la cible du lien ou le nombre de liens présentés aux apprenants ainsi que la présentation de l'ordre de ces liens.
- **Adaptation de la présentation** : montre différentes mises en page des éléments d'interface de l'apprenant, tels que différents types de médias, ordonnancement différent, couleurs différentes, la taille de police, police ou la taille de l'image.

Le premier classement pour le niveau d'adaptation de contenu et de liens est basé sur la structure de l'hypermédia et se compose de nœuds et de liens. La deuxième classification est basée sur les trois principaux aspects à prendre en considération lors de l'élaboration des applications hypermédias : contenu, structure de navigation et présentation.

4. Les techniques et méthodes d'adaptation

Comme souligné par Brusilovsky (Brusilovsky, 1996 ; Brusilovsky, 1997), l'adaptation du contenu consiste à déterminer trois éléments essentiels qui sont : (1) le niveau conceptuel concerné, (2) les méthodes utilisées et (3) les techniques à solliciter. Les paragraphes suivants fournissent les approches existantes dans le cadre de la mise en œuvre des solutions d'adaptation dans les SHAD. Nous essayerons de différencier les méthodes et les techniques utilisées en nous basant sur les principes proposés dont la plupart sont exposés par Brusilovsky dans un article paru en 1996 (Brusilovsky, 1996).

4.1. Méthode vs Technique

Les méthodes d'adaptation sont définies par Brusilovsky (Brusilovsky, 1996) comme une abstraction des techniques adaptatives. Une technique est définie par une représentation du modèle de l'apprenant et un algorithme d'adaptation.

Une méthode d'adaptation peut être mise en œuvre en utilisant des techniques différentes et une technique peut être utilisée pour mettre en œuvre plus d'une méthode (idée conceptuelle). Les techniques mentionnées ci-dessus ont été mises en œuvre par un ou plusieurs systèmes hypermédias adaptatifs existants.

Une description détaillée des méthodes, des techniques et des systèmes d'adaptation, qui mettent en œuvre ces méthodes, est présentée par Brusilovsky (Brusilovsky, 1996). Il distingue entre les méthodes et les techniques pour l'adaptation de la présentation et l'adaptation et de la navigation. Dans ce travail, trois méthodes et techniques sont distinguées sur la base des définitions présentées ci-dessus. Il existe des méthodes et techniques pour l'adaptation de contenu, l'adaptation de navigation et l'adaptation de la présentation.

4.2. L'adaptation de contenu

4.2.1. Méthode d'adaptation du contenu

L'objectif des méthodes d'adaptation au niveau de contenu est d'augmenter l'utilisabilité de l'application pour un large groupe d'apprenants ayant des connaissances différentes. L'adaptation au niveau de contenu consiste à ajouter un contenu supplémentaire, le comparer ou bien le remplacer par un autre aussi bien que de le cacher. Les méthodes d'adaptation de contenu sont :

- **le contenu supplémentaire** : C'est la méthode la plus utilisée. Elle consiste à afficher juste les informations adéquates (cacher les parties inadéquates) selon le niveau de connaissances de l'apprenant, son objectif, ses intérêts et/ou préférences. Cette méthode est utilisée soit pour ajouter des explications, soit pour expliquer des pré-requis, soit pour confronter des explications.
- **le contenu variable** : Cette méthode peut être considérée comme une variante de la méthode afficher/cacher le contenu. Elle consiste à afficher une partie de l'information et en même temps cacher une autre. Elle est également connue comme une variante de l'explication.

4.2.2. Techniques d'adaptation du contenu

Les techniques, présentées ci-dessous, peuvent être utilisées soit pour mettre en œuvre les méthodes décrites ci-dessus, soit pour manipuler le contenu pour qu'il soit adapté aux caractéristiques de l'apprenant. La plupart de ces techniques sont utilisées dans les systèmes hypertextes adaptatifs, c'est à dire qu'elles sont utilisées pour le contenu de type texte. Mais la plupart d'entre elles peuvent aussi être appliquées à des contenus multimédias.

Les techniques utilisées pour l'adaptation des contenus sont comme suit :

- **Texte extensible** : le contenu est organisé comme un ensemble de marqueurs visibles. Au lieu de passer à une nouvelle page, une activation d'un espace réservé remplacera l'espace réservé activé et qui étend le texte (Höök, 1996). L'adaptation du système hypermédia détermine les fragments qui sont «étendu» (Élargie) et qui sont «rétréci» (effondrement) pour la première présentation. L'apprenant peut alors décider lequel des espaces qui sera étendu et lequel qui voudrait rétrécir. Il convient de noter que cette technique permet à la fois à l'apprenant et au système d'adapter le contenu.
- **Fragments conditionnels** : le modèle de l'apprenant et le concept des relations du modèle du domaine fournissent l'information qui permet au système de déterminer quelles sont les parties d'information qui devraient être présentées à l'apprenant. Le bloc d'informations se compose également des variantes de fragments, ou de fragments liés par la relation du «ou exclusive».

- **Pages variantes** : c'est une technique très simple, qui consiste à garder deux ou plusieurs autres pages avec des contenus adaptés, par exemple, une page pour chaque niveau de connaissance: débutant, intermédiaire et expert.
- **Approche basée sur les cadres** : cette technique permet l'inclusion de toutes les informations relatives à un cadre. Les cadres peuvent être affichés, cachés, classés ou présentés alternativement. Les cadres comportent des règles qui déterminent lesquels seront présentés à l'apprenant.

4.3. L'adaptation de la navigation

4.3.1. Méthode d'adaptation de navigation

L'objectif de l'adaptation des liens consiste à soutenir la navigation empêchant ainsi les apprenants de suivre des voies de navigation sans rapport avec leurs tâches ou leurs buts (Brusilovsky, 1997). Les méthodes d'adaptation de navigation fournissent des orientations globales ou locales et génèrent des vues personnalisées. L'adaptation consiste à apporter des modifications à la structure de navigation ou de la façon dont cette structure de navigation est présentée à l'apprenant.

L'adaptation des liens peut être appliquée aux liens contextuels ainsi que ceux non-contextuels. Le support de soutien de la navigation supplémentaire comme les cartes de sites ou d'arbres, les tables du contenu, des indexes et des listes de signets historiques peuvent également bénéficier d'adaptation.

Les méthodes d'aide à l'adaptation de la navigation sont les suivantes:

- **le guidage global** : l'objectif de la méthode du guidage global est d'aider l'apprenant à trouver le chemin le plus court pour accéder aux informations qu'il cherche ou veut apprendre.
- **le guidage local** : l'objectif de la méthode de guidage local est d'aider l'apprenant dans une seule étape de navigation, c'est à dire de trouver le "meilleur" lien à suivre à partir du nœud courant.
- **l'orientation globale** : l'objectif de cette méthode est de soutenir l'apprenant dans sa connaissance de la structure de l'hypermédia et sa position en elle.
- **l'orientation locale** : l'objectif de cette méthode est de soutenir l'apprenant à comprendre les différentes possibilités de navigation à partir de sa position actuelle et aide l'apprenant à choisir le lien approprié.
- **Les vues personnalisées** : cette méthode est une approche multi-agents. Elle consiste à produire et à mettre à jour une vue personnalisée d'un hypermédia. Les agents sont responsables de trouver des liens appropriés pour l'apprenant, afin de maintenir sa vue personnalisée.

4.3.2. *Techniques d'adaptation de navigation*

Pour mettre en œuvre les méthodes mentionnées ci-dessus, plusieurs techniques d'adaptation de navigation sont mentionnées dans la littérature. Nous citons à titre d'exemple :

- **le guidage direct** : l'apprenant ne voit qu'une possibilité de continuer avec les activités de navigation. Un seul point d'ancrage ou de bouton pour naviguer vers la «prochaine» page est affiché. La destination de ce «meilleur» lien est déterminée par le système.
- **l'annotation du lien** : les liens sont "annotés" pour présenter différents aspects visibles, comme l'utilisation d'une couleur différente, d'un texte afin de montrer la pertinence de la destination. Même une annotation booléenne adaptative (visité / non visité) peut être très utile. Un cas particuliers d'annotation de lien est de souligner le lien ou bien le cacher. La mise en évidence des liens est utilisée même dans les applications non-adaptatives. Les liens cachés sont présents mais leurs ancres ne sont pas visibles. Ils sont annotés de la même manière que les textes présents dans leur environnement, c'est à dire que ces ancres ne peuvent pas être reconnues comme des ancres de liens. Les annotations des «feux de circulation» sont un exemple bien connu où le rouge, le jaune et les icônes vertes sont présentés conjointement avec le texte ancré d'un lien pour indiquer le degré de pertinence.
- **le masquage du lien** : la technique du masquage de liens consiste à supprimer les liens hypertextes dont les pages cibles qui sont soit en inadéquation avec le modèle de l'apprenant (trop simples ou trop compliquées), soit en inadéquation avec les objectifs de l'apprenant. Facile à mettre en œuvre, puisqu'il suffit, avant d'envoyer la page à l'apprenant, d'enlever les liens non désirés, cette technique permet de réduire la taille de l'hyper-espace pour l'apprenant. Elle s'applique de plus sur tous les types de liens, contextuels ou non, avec des activateurs très divers (texte, bouton, icône, image, etc.).
- **le tri des liens** : il s'agit de l'ordre d'apparition d'un ensemble d'ancres, de tel sorte que les liens sont présentés par ordre décroissant de pertinence pour l'apprenant. L'inconvénient d'adaptation de l'ordre d'apparition est que à chaque fois que l'apprenant entre dans la même page, l'ordre des ancres peut être différent.
- **la navigation passive** : il s'agit de l'ajout de liens non explicites (sans ancrage) qui sont utilisés par le système pour offrir une assistance à l'apprenant. Cet ajout est fait lorsque le système identifie un type de comportement des apprenants, par exemple, l'apprenant reste inactif pendant une certaine période de temps ou l'apprenant navigue arrière et en avant.

Une autre technique d'adaptation est décrite dans la littérature. Il s'agit de la carte-adaptation (Brusilovsky, 1998; De Bra et al., 1999). Elle se compose d'une combinaison des autres techniques, la seule différence étant qu'elle est appliquée à une visualisation graphique de la structure navigation (lien). La carte est habituellement présentée dans un cadre séparé. Les techniques de navigation adaptative réduisent l'espace de navigation soit

en éliminant les ancrés (orientation directe, en cachant des liens et en supprimant d'autres) ou en guidant l'attention de l'apprenant sur un groupe réduit de points d'ancrage (liens annotés et triés). La limitation de l'espace de navigation empêche les apprenants de se "perdre dans l'hyperespace".

4.4. L'adaptation de la présentation

L'objectif de l'adaptation de présentation est d'adapter la présentation visuelle aux préférences et aux besoins de l'apprenant. Les méthodes de l'adaptation de présentation permettent de présenter à l'apprenant la langue d'apprentissage ou la mise en page appropriée. L'adaptation consiste en des changements à la présentation. Parfois, ces changements se produisent en même temps que l'adaptation des contenus. Les méthodes et techniques d'adaptation de la présentation sont souvent regroupées avec celles de l'adaptation du contenu. Dans ce travail, elles sont présentées séparément de manière à faire la distinction entre les méthodes et les techniques qui produisent des modifications dans la mise en page et celles qui modifient le contenu affiché à l'apprenant.

Les méthodes de l'adaptation de la présentation sont les suivantes:

- **les multi-langues** : l'objectif de la méthode multi-langue est l'adaptation à la langue préférée de l'apprenant. Cela peut dépendre aussi du contexte.
- **la mise en page** : la méthode de mise en page comprend toutes les alternatives possibles requises pour l'adaptation de la présentation, par exemple, couleurs, taille ou type de police, la taille maximum des images, l'orientation du texte, l'ordre des fragments de contenu, etc.

Les mêmes techniques que pour l'adaptation de contenu, à l'exception de texte extensible, peuvent être utilisées pour l'adaptation de présentation. Ces techniques sont les pages variantes, les fragments conditionnels et l'approche basée sur les cadres. En outre, la technique du style de guidage est utilisée pour mettre en œuvre les méthodes mentionnées ci-dessus. Cette technique consiste à définir les différents styles de guidage qui sont utilisées à tour de rôle.

En guise de résumé de cette partie, nous présentons dans la figure 4, le résumé des différentes techniques d'adaptation dans les SHAD.

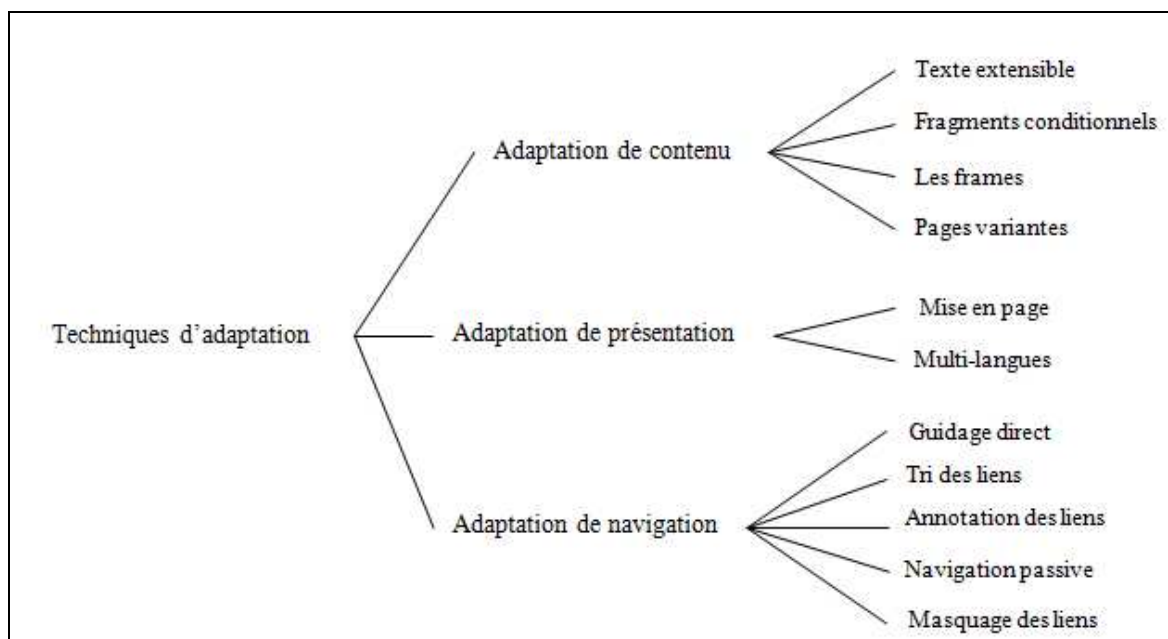


Figure 4 : Techniques d'adaptation.

Après avoir présenté les techniques et méthodes d'adaptation des contenus pédagogiques, nous allons nous focaliser dans la partie suivante sur quelques systèmes hypermédias adaptatifs parmi les plus répandus dans la littérature.

5. Quelques Systèmes Hypermédias Adaptatifs

Plusieurs systèmes hypermédias adaptatifs pour l'éducation ont vu le jour et ont même influencé un certain nombre des systèmes récents (Brusilovsky, 2000). Nous citons par exemple le système *INTERBOOK* (Brusilovsky, 1998), le système *SmexWeb* (Koch, 2000), le système *ELM-ART* (Weber et al ., 2001), le système *KOD* (Sampson, 2002), le système *Appels* (Colan, 2002), le système *ALFANET* (ALFANET, 2005), le système *Medyna* (Behaz, 2008), le système *WELSA* (Popescu, 2008) et le système *OrPAF* (Yessad, 2009), etc.

La partie suivante s'intéresse à quelques uns de ces systèmes parmi les plus cités dans la littérature en présentant les techniques déployées pour la réalisation de l'adaptation.

5.1. Le système «ELM-ART»

L'un des travaux les plus intéressants dans ce domaine est le système d'ELM-ART. C'est un système d'enseignement interactif intelligent pour soutenir l'apprentissage de la programmation en LISP (Brusilovsky, 1996). Nous noterons que ce système est mis en ligne librement pour l'essai sur le lien suivant (Elm_art, 2006) [«http://art2.ph-freiburg.de/art/login-e.html»](http://art2.ph-freiburg.de/art/login-e.html).

ELM-ART est une réelle preuve de réussite d'un système d'apprentissage adaptatif réalisé par les systèmes hypermédias regroupant plusieurs composantes en un seul système. Il s'agit d'un support de navigation adaptatif, constitué d'une série de cours utilisant principalement le *guidage direct* et *l'annotation des liens* comme technique d'adaptation, des solutions individualisées et des exemples basés sur les réponses des apprenants.

Le cours, présenté sous forme d'une page html, est organisé en chapitres, parties et sous-parties. Le système considère qu'un concept est acquis si la page correspondante est visitée. L'adaptation fournie (Cf. Figure 5) consiste à trier les liens et à les annoter avec des icônes de couleur : (1) une puce rouge correspond à une page pas encore visité, (2) une flèche jaune indique que la page est en cours de consultation et (3) une puce grise souligne qu'une page visité. A la fin de chaque partie, un test pour évaluer les acquis des apprenants est fourni.

The screenshot shows the ELM-ART interface. On the left is a dark blue sidebar with a tree view of the course structure. The main content area is white and displays the title 'APPEND' and its definition: 'APPEND is a list construction function used for combining lists. This function exclusively expects lists, or rather expressions that evaluate to lists. APPEND allows many arguments to be declared. The elements of all argument lists are linked together in a result list. The command to APPEND would be "link the following lists together". In contrast to LIST, the original lists do not remain unchanged. Likewise, the result is always a list. If an empty list, NIL is an argument, it is not included in the result. Three examples:'. Below the text are three examples of LISP code and their results: `(APPEND '(ZIG) '(AND) '(ZAG))` resulting in `(ZIG AND ZAG)`, `(APPEND '(COME (FROM)) '(ZOG))` resulting in `(COME (FROM) ZOG)`, and `(APPEND '(I) NIL '(DO NOT BELEIVE IT))` resulting in `(I DO NOT BELEIVE IT)`. At the bottom of the main area, there is a button that says 'Continue with the next suggested page Lesson 1'. The footer contains the text: 'ELM-ART is a project of ELM Research Group created with MrCoaching CL-HTTP In case of problems send Email to ELM_admin --- 2010-06-30 12:16:31'.

Figure 5 : Aperçu d'une partie de cours du système ELM ART (Elm_art, 2006).

Notons que ce système se focalise sur l'adaptation de la navigation au dépend de l'adaptation du contenu.

5.2. Le système «INTERBOOK»

INTERBOOK (Inter book, 1999) est un système générique et complet de création d'hypermédias adaptatifs pour l'apprentissage. Ce système permet la création et

l'adaptation des manuels électroniques sur le web. Il est basé sur une version améliorée des principes d'ELM-ART.

INTERBOOK permet de construire des manuels électroniques en convertissant du texte plat en HTML annoté. Il est composé d'un serveur http pour une livraison adaptée de ces manuels à travers le web. Ainsi, pour chaque apprenant enregistré, le serveur INTERBOOK possède un modèle individuel de connaissances de cet apprenant. Il applique ce modèle pour livrer des supports de navigations, des conseils et des aides adaptés, etc.

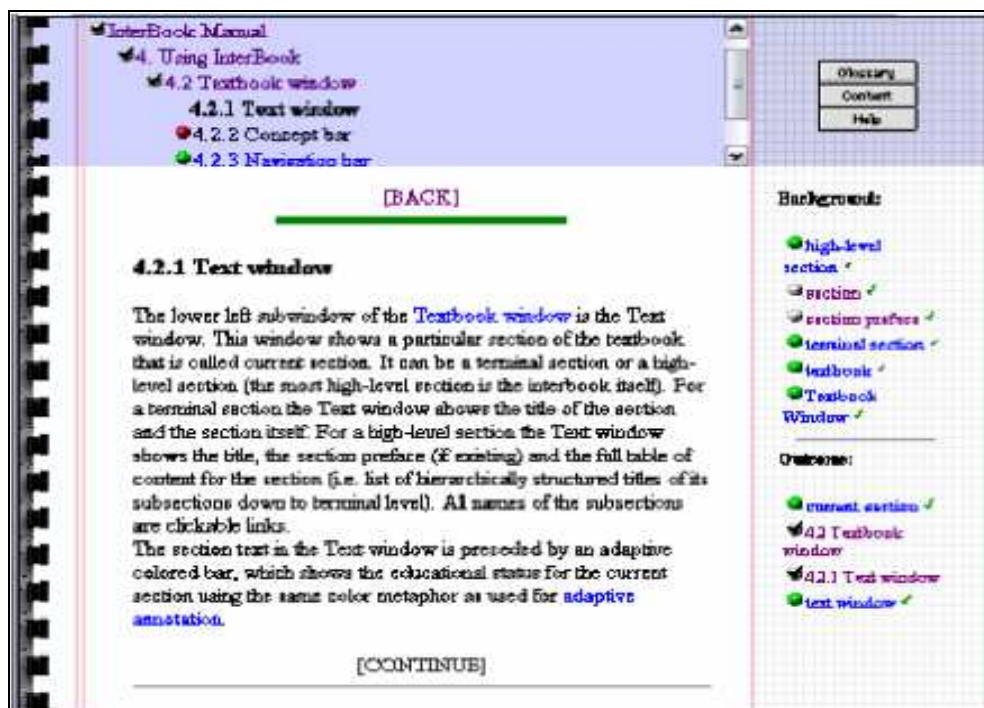


Figure 6 : Aperçu d'une interface du système Inter book.

INTERBOOK utilise des puces de différentes couleurs et différentes polices pour apporter un soutien de navigation. La police et la couleur des liens qui apparaissent sur les pages (dans la table des matières, dans le lexique ou sur une page ordinaire), informe l'apprenant sur l'état du nœud. INTERBOOK (Cf. Figure 6) utilise quatre couleurs et trois polices. Une puce verte avec police gras veut dire «prêt et recommandé». Une puce rouge avec une police italique veut dire un nœud «non-prêt-à-être-lu» tandis qu'une puce blanche veut dire «clair, rien de nouveau», c'est à dire, tous les concepts présentés sur un nœud sont connus à l'apprenant. Le violet est utilisé pour marquer les nœuds qui n'ont pas été annoté par l'auteur. Une coche est ajoutée pour les nœuds déjà visités. Actuellement, INTERBOOK ne supporte pas les tests et ne peut pas fournir "bien appris" comme annotation. C'est actuellement en cours d'élaboration.

5.3. Le système «TANGOW»

TANGOW (Task-based Adaptive learNer Guidance On the WWW) (Carro, 1999) est un système de développement de cours sur Internet. Il les structure selon des concepts et des règles d'enseignements stockés dans une base de données.

Dans ce système, un processus est lancé pour chaque apprenant connecté au système. Chaque processus est basé sur deux modules : (1) un manager de tâche qui guide les étudiants dans leurs processus d'apprentissage et (2) un générateur de page qui génère les pages HTML présentées à l'apprenant.

Ce processus, dit processus d'étudiants, a également des informations sur les actions accomplies par l'apprenant lors de l'interaction avec le cours. Cette information est utilisée par TANGOW pour adapter le contenu des cours pour le progrès de l'apprentissage de l'apprenant. TANGOW a aussi des informations sur les profils d'étudiants, qui sont utilisées pour sélectionner, au moment de l'exécution, le contenu de chaque page HTML présentée.

5.4. Le système «NET COACH»

Net Coach (Cf. Figure 7) est un système auteur qui permet de créer des modules de cours adaptatifs et individuels. Il adapte ces modules en se basant sur les buts, connaissances et préférences de l'apprenant. Net Coach implémente deux techniques d'adaptation de navigation: le *séquençage* et *l'annotation des liens*.

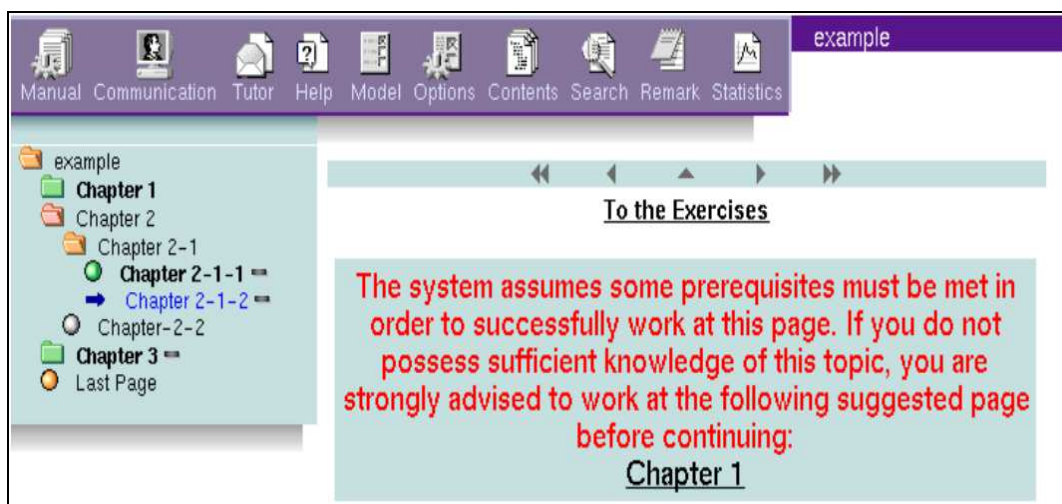


Figure 7 : Aperçu d'une interface du cours du système Net Coach.

La base de connaissance des cours en Net Coach, est constituée de concepts. Ces concepts sont des représentations internes des pages présentées à l'apprenant. Afin de constituer cette base de connaissances, qui est la base d'adaptation et du soutien à la navigation, l'auteur peut créer de nombreux contenus spécifiques liés à chaque concept.

Dans Net Coach, comme dans INTERBOOK, les mécanismes d'adaptation sont implicites et ne peuvent pas être modifiés.

5.5. Le système «AHA»

AHA (Adaptive Hypermedia Architecture) (De Bra, 1998a) est un système générique d'hypermédia basé sur l'adaptation des pages. Le moteur qui maintient le modèle de l'apprenant permet de générer du texte et d'adapter la structure des liens par le biais de *suppression*, *masquage* ou *annotation de liens*. Le système AHA (Cf. Figure 8) comporte plusieurs composantes notamment, le système d'information en ligne, l'aide en ligne, l'hypermédia éducatif et les vues personnalisées.

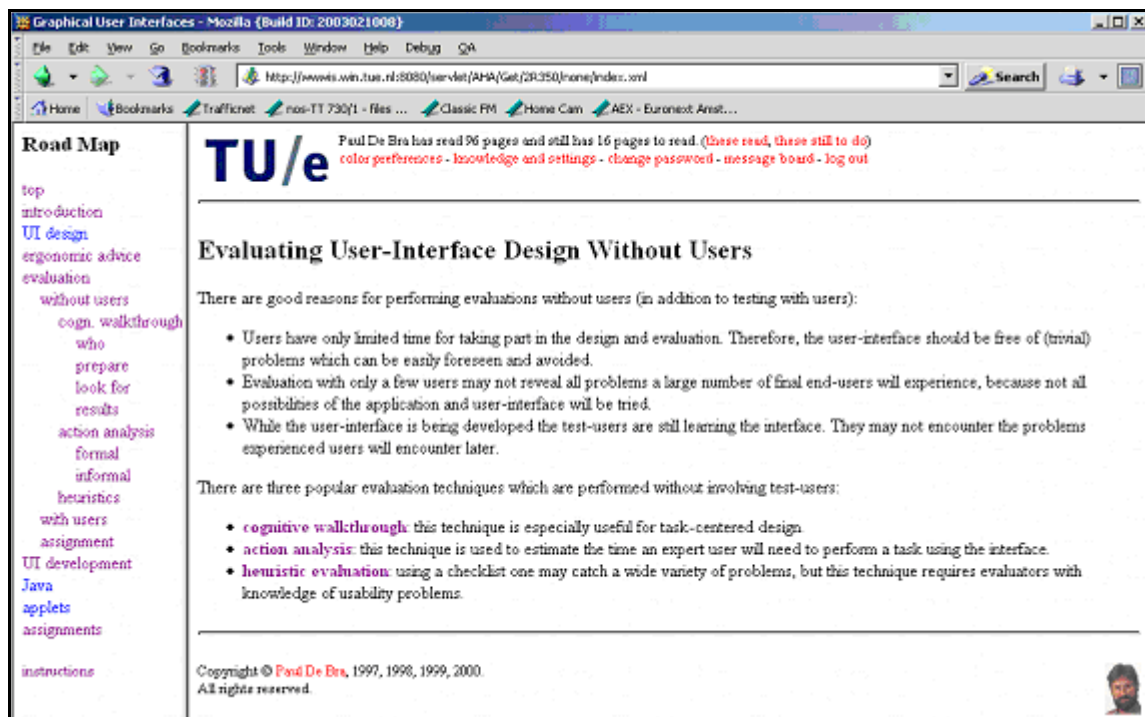


Figure 8 : Aperçu d'une interface du cours du système AHA.

Le système AHA offre deux catégories d'adaptation à savoir l'adaptation de navigation et l'adaptation de présentation. Le contenu textuel des pages est adapté en adéquation avec le modèle de l'apprenant. En ce qui concerne l'adaptation de la navigation, AHA utilise une adaptation plus souple. En effet, il combine entre la désactivation, la suppression de liens et l'annotation des liens. C'est le seul système adaptatif qui utilise ces quatre méthodes pour l'adaptation de navigation (De Bra, 1998b).

5.6. Récapitulatif

Les SHAD, que nous avons présentés dans ce paragraphe, ont tous le même objectif qui est celui de fournir un contenu pédagogique adapté. Nous notons qu'ils se sont focalisés sur les caractéristiques de l'apprenant comme pilier pour arriver à cette adaptation. Toutefois, ces systèmes ont suivi des chemins différents lors de leurs conceptions et leurs

réalisations. En effet, chaque système a adopté une approche et des technologies bien spécifiques pour modéliser et construire le modèle de l'apprenant, une représentation différente du modèle du domaine, des règles d'adaptation plus ou moins distinctes, etc.

Nous notons, d'après nos lectures, que les systèmes hypermédias adaptatifs conçus jusqu'à présent, se sont tous focalisés sans exception sur le modèle de l'apprenant au détriment des autres composantes d'un SHAD. Nous ne contestons nullement l'intérêt de cette composante dans l'adaptabilité des contenus. Toutefois, nous jugeons nécessaire de donner aussi de l'importance aux autres composantes et qui ont aussi de l'influence sur l'objectif initial des SHAD à savoir la présentation d'un contenu pédagogique adapté aux attentes, caractéristiques et connaissances d'un apprenant donné et à un moment donné de son apprentissage. Nous citons le cas du modèle du domaine qui nécessite des efforts considérables que ce soit en termes de temps, d'argent ou de compétences pour avoir des contenus pédagogiques qui peuvent honorer l'adaptabilité souhaitée.

Ainsi nous avons constaté, qu'en particulier, la notion des objets pédagogiques en liaison avec le concept de granularité pour une réutilisation efficace, efficiente et dans des contextes différents pour atteindre une meilleure adaptabilité, est quasiment absente dans ces systèmes.

Dans la suite de ce travail nous allons démontrer l'intérêt de cette approche et nous donnerons plus de détails sur notre point de vue concernant les notions de granularité et de réutilisabilité, ainsi que leurs impacts irrévocables sur l'adaptabilité des contenus pédagogiques.

6. Conclusion

Certes, les SHAD ont considérablement évolué et ont permis de développer un nouvel axe de recherche dans le domaine de l'apprentissage en ligne. Toutefois, la réalisation d'un SHAD est assez complexe et nécessite l'intervention de plusieurs collaborateurs hétérogènes incluant : les développeurs de contenu, les concepteurs multimédia, l'ingénieur hypermédia, l'intégrateur du système. Tous ces éléments peuvent générer des coûts énormes impliquant des besoins en ressources humaines, financières, logicielles, matérielles, informationnelles, etc.

Dans ce chapitre, nous avons tout d'abord présenté les concepts fondamentaux d'un SHAD à savoir la notion d'«hypermédia» et les concepts structurels d'un système hypermédia. Par la suite, nous avons exposé brièvement les différentes générations qui ont donné lieu à la fin à la naissance des SHAD. Ainsi, nous avons montré les apports et les limites des différentes générations à savoir les Systèmes Hypermédias classiques, les systèmes hypermédias adaptatifs et les systèmes hypermédias adaptatifs dynamiques.

D'autres questions importantes, liées directement à notre problématique de thèse, sont revues et qui font sujet de la troisième et quatrième partie de ce chapitre. Nous citons, notamment, les questions liés aux termes utilisés pour désigner l'adaptation à savoir la personnalisation et l'individualisation. Aussi, nous avons répondu aux questions liés à

l'adaptation : j'adapte quoi, à qui et comment effectuer cette adaptation. Par ailleurs, nous avons recensé un ensemble de méthodes et de techniques pour assurer l'adaptabilité dans les SHAD.

Nous nous sommes aussi intéressés aux SHAD les plus cités dans nos lectures bibliographiques. Ainsi, nous avons présenté les systèmes ELM-ART, INTERBOOK, TANGOW, Net Coach et AHA. A la fin de cette partie nous avons examiné les avantages et les limites de ces systèmes.

Les SHAD, comme nous l'avons mentionné avant, reflètent les caractéristiques d'un apprenant dans un modèle de l'apprenant et utilisent ce modèle en adaptant les différents aspects visibles du système à l'apprenant. Vu l'importance de cette composante dans un SHAD, nous lui avons consacré le chapitre suivant qui présentera quelques caractéristiques de cette composante et quelques modèles, y compris ceux qui font l'objet de standards.

Chapitre 3 : Le Modèle de l'Apprenant pour l'Adaptation de l'Apprentissage

Comme nous l'avons présenté au chapitre précédant, le modèle de l'apprenant constitue une composante fondamentale d'un SHAD. Cette composante présente le noyau central de tout apprentissage personnalisé. C'est le modèle de l'apprenant qui permet au système de construire et maintenir la compréhension de l'apprenant afin de s'adapter à celui-ci.

Dans les SHAD, le modèle de l'apprenant est utilisé en conjonction avec le modèle du domaine dans l'objectif de permettre à un dispositif d'apprentissage d'adapter le contenu pédagogique en fonction des *besoins, préférences* et *connaissances* de chaque apprenant. Cette adaptation implique généralement la personnalisation d'un ou de plusieurs des éléments suivants : le sujet présenté, questions/problèmes demandés, le séquençement du matériel, les recommandations de navigation, les informations données (Papanikolaou, 2006).

Dans le domaine des SHAD, le modèle de l'apprenant joue un rôle important. Brusilovsky (Brusilovsky, 2004) va même jusqu'à dire que le domaine de recherche des SHAD se situe au croisement des hypermédias et de la modélisation de l'apprenant. Les SHAD offrent une alternative aux systèmes traditionnels hypermédias de type "one-size-fits-all".

Les SHAD construisent un modèle d'objectifs, de préférences et des connaissances de chaque apprenant et utilisent ce modèle lors de l'interaction avec l'apprenant, afin que le contenu, la navigation et la présentation s'ajustent avec les besoins de cet apprenant. (Brusilovsky, 2003; Martins et al., 2008).

De plus, plusieurs niveaux de modélisation ont été distingués à savoir : les niveaux cognitifs, stratégiques, comportementaux, etc. Nous soulignons également que différents modèles ont vu le jour à travers ces recherches. Nous pouvons citer entre autre : le modèle «overlay», le modèle de «perturbation», le modèle «bayésien», etc. Enfin, et très récemment, pour pouvoir unifier toutes ces recherches, nous distinguons les tentatives de standardisation qui ont donné lieu à des standards tels que PAPI-learner, IMS-LIP, etc.

L'objet de ce chapitre est d'essayer de reconstituer cette évolution historique de la modélisation de l'apprenant dans les SHAD, mais aussi de montrer l'influence des nouveaux standards sur cette composante.

Sans prétendre à l'exhaustivité, qui nécessiterait des développements plus approfondis, nous n'évoquerons que quelques unes des approches abordées dans la littérature. Ces approches seront traitées avec une structuration commune provenant des SHAD, qui construisent un modèle d'objectifs, de préférences et de connaissances de chaque

apprenant. Ce modèle est ensuite utilisé lors de l'interaction, afin que les trois éléments d'adaptation d'un SHAD à savoir : le contenu, la navigation et la présentation soient ajoutés aux besoins de l'apprenant considéré. Nous essayerons ensuite d'établir les techniques et méthodes pour la collecte et la mise à jour d'un modèle de l'apprenant.

Notons que tout au long de ce chapitre nous allons utiliser le terme «modèle de l'apprenant» pour désigner le modèle/profil apprenant dans un dispositif d'apprentissage. Ce choix est justifié par le fait que, d'une part nous nous intéressons dans cette thèse au domaine de l'enseignement et d'apprentissage d'où l'utilisation du terme apprenant. D'autre part, nous proposons une modélisation de différents profils d'apprenants d'où l'utilisation du terme modèle.

1. Le modèle de l'apprenant dans la littérature

Avec le changement de la vision du processus enseignement/apprentissage, l'apprenant est devenu au centre d'intérêt des pédagogues, tuteurs, etc. Le statut de l'apprenant, avec cette vision, a grandement changé. Il est devenu un acteur actif et responsable de son apprentissage. On prend en compte ses besoins, ses intérêts, ses styles d'apprentissage, ses stratégies, ses problèmes psychologiques, etc. (Deadfeed, 2010). La prise en compte de ces informations lors de la génération d'un contenu pédagogique, permet d'augmenter les chances de réussite de l'apprenant en lui proposant des contenu pédagogiques individualisés et sur mesures. Dans la suite, nous allons voir quelques définitions du modèle/modélisation apprenant qui surgissent dans la littérature ainsi que l'intérêt de l'utilisation de ce modèle.

1.1. Qu'est ce qu'un modèle/modélisation apprenant ?

Les premiers travaux de la modélisation de l'apprenant remontent aux travaux d'Allen, Cohen, Perrault et Rich dans les années 70 (Kobsa, 2001).

Dans la documentation sur le domaine, nous retrouvons diverses définitions du modèle de l'apprenant.

Pour Self (Self, 1994), le modèle de l'apprenant est comme tous les modèles, il est destiné à fournir des informations sur l'objet modélisé, dans ce cas, l'apprenant qui utilise un système d'apprentissage.

Quand à Höök (Höök, 1996), il définit le modèle de l'apprenant comme une *connaissance* à propos de l'apprenant *explicitement* ou *implicitement* codée, utilisée par le système afin d'améliorer son interaction.

Pour Koch (Koch, 2000), le modèle de l'apprenant est une *représentation abstraite* de quelque chose de réel qui est l'apprenant. C'est la croyance que le système a sur l'apprenant représenté.

Selon Cherkaoui (Cherkaoui, 2006), le modèle de l'apprenant est le *noyau* de tout système adaptatif et dynamique. Il a pour but de représenter une *image fidèle* de l'apprenant, afin que le système puisse s'adapter à cette image.

Ces définitions présentent des mots clés tels que : connaissance, explicite/implicite, codage, image fidèle, représentation abstraite. Sans vouloir nous étendre sur la multitude des définitions existantes, nous retiendrons, donc, que le modèle de l'apprenant constitue une représentation des informations voire des connaissances plus au moins fidèle et abstraite de l'apprenant, qui sont codées et qui sont utilisées pour s'adapter aux besoins et intérêts d'un apprenant.

En ce qui concerne, la modélisation de l'apprenant c'est le processus qui couvre le cycle de vie de mise en place d'un modèle de l'apprenant. Ce processus comprend *l'acquisition de connaissances* sur l'apprenant, la *construction*, la *mise à jour*, *l'entretien* et *l'exploitation* du modèle de l'apprenant.

La modélisation de l'apprenant nécessite des techniques pour collecter les informations sur l'apprenant, construire le modèle de l'apprenant et l'utiliser. Pour le cas présent, il n'y a aucune technique générale pour la modélisation de l'apprenant. La plupart des techniques utilisées sont implémentées et testées dans différents prototypes, elles sont généralement restreintes à un domaine donné (koch, 2000).

1.2. Objectif d'un modèle/modélisation apprenant

La modélisation de l'apprenant et le concept d'adaptation des contenus pédagogiques sont fortement liés. En effet, l'information représentée dans le modèle de l'apprenant a une grande influence sur le type et la nature d'adaptation que le système doit offrir. Sans un modèle de l'apprenant, le système va traiter ses apprenants de la même manière.

Koch (koch, 2000) liste sept principaux objectifs du modèle de l'apprenant :

- *Aide et assiste* les apprenants lors de l'apprentissage d'un contenu pédagogique donné;
- *Présente* des informations adaptées à un apprenant;
- *Adapte* l'interface à un apprenant;
- *Aide* un apprenant à trouver l'information;
- *Donne* à l'apprenant un feedback sur ses connaissances;
- *Soutient* le travail collaboratif;
- *Fournit* une assistance pour l'utilisation du système.

Les informations contenues dans le modèle de l'apprenant sont la base sur laquelle un dispositif d'apprentissage peut s'appuyer pour ajuster le contenu affiché à un apprenant donné, personnaliser la mise en page et adapter la navigation.

Vu l'intérêt du modèle de l'apprenant, on se demande maintenant quelles sont les informations qu'il peut contenir pour aboutir aux objectifs cités ci-dessus.

2. Le contenu d'un modèle de l'apprenant

Dans le modèle de l'apprenant, on retrouve généralement une structure commune composée de six caractéristiques principales, à savoir : les connaissances sur le modèle du domaine étudié, les objectifs de l'apprenant, ses préférences, son background, ses expériences et parfois ses états émotionnels.

Cette section examine les approches de modélisation de l'apprenant rencontrées dans la littérature selon la structure proposée.

2.1. Représentation de la connaissance

La *connaissance* de l'apprenant sur un domaine d'apprentissage donné est la caractéristique la plus étudiée et la plus modélisée. Différentes approches de la modélisation de la connaissance ont été proposées. Ci-dessous la présentation de quelques approches.

2.1.1. Le modèle de recouvrement (*overlay*)

Le modèle de recouvrement est largement utilisé dans les SHAD. Pour ce modèle, la connaissance de l'apprenant est un sous-ensemble de la connaissance du système. Les informations sur les connaissances de l'apprenant sur un domaine d'apprentissage donnée peuvent être soit :

- *binnaire (oui ou non)* : l'apprenant, dans ce cas de figure, a des connaissances sur une partie/ concept du domaine d'apprentissage ou non;
- *qualitative (bon, moyen, faible)* : les informations indiquent le degré de compréhension d'une partie/concept du domaine ;
- *quantitative* : la probabilité que l'apprenant ait des connaissances sur une partie/concept du domaine d'apprentissage.

2.1.2. Le modèle de perturbation (*bug*)

Ce modèle considère que les connaissances des apprenants sont une perturbation de la connaissance du système et non pas un sous-ensemble de ses connaissances (comme dans le modèle précédent). Ce modèle utilise une bibliothèque qui contient les erreurs les plus courantes que les apprenants commettent. Le but est alors d'examiner les bugs et d'essayer de comprendre leurs origines (en les comparant à une liste d'erreurs typiques déjà connues). En fonction des diagnostics obtenus, une nouvelle leçon est générée pour corriger les erreurs ou les confusions de l'apprenant (Balla, 2004).

2.1.3. Le modèle différentiel

Ce modèle est une extension du modèle de recouvrement (Ghaoui, 2010). Pour ce modèle, la connaissance de l'apprenant est divisée en deux catégories :

- les connaissances que l'apprenant est censé acquérir ;
- les connaissances non encore présentées à l'apprenant.

En pratique, la plupart des modèles différentiels se construisent à partir de la réponse de l'apprenant plutôt que des traces de sa démarche qui permettraient de tenir compte du processus en cours (Giardina et al., 1999).

2.1.4. Le modèle bayésien

Les réseaux bayésiens sont des graphes non-cycliques où les variables sont représentées avec des nœuds, et les probabilités conditionnelles avec des liens (Somyürek, 2009). Chaque nœud représente la croyance du système sur les valeurs possibles (les niveaux, les Etats) de la variable. Ainsi, la distribution de probabilité conditionnelle doit être spécifiée à chaque nœud. Si les variables sont discrètes, elles peuvent être représentées sous forme d'un tableau, qui répertorie la probabilité qu'un nœud enfant prend sur chacune de ses valeurs différentes pour une combinaison donnée de valeurs de ses parents (Koch, 2000).

Nous signalons que c'est l'une des méthodes basiques utilisée dans le processus de modélisation apprenant dans les systèmes d'apprentissages adaptatifs.

Finalement, nous notons que les techniques présentées dans ce paragraphe peuvent être utilisées séparément aussi bien que plusieurs à la fois.

2.2. Représentation des buts et objectifs

Pour établir une stratégie d'enseignement efficiente et efficace, il est très important d'avoir des informations sur les objectifs de l'apprenant. Cette caractéristique permet à un enseignant (ou un apprenant) d'assigner différents objectifs éducatifs à différents apprenants qui travaillent avec le même système. Ces objectifs constituent la réponse aux questions suivantes (Fröschl, 2005) : pourquoi l'apprenant utilise-t-il ce dispositif d'apprentissage ? Qu'est ce que l'apprenant souhaite atteindre ?

Les objectifs d'un apprenant peuvent être sectionnés dans deux catégories : *objectif d'apprentissage* dit aussi *objectif à long terme ou objectif général*. Cet objectif est généralement stable et ne change pas pour une unité de cours. La deuxième catégorie est dite «*objectif de résolution de problème*» dit aussi «*objectif à court terme*» ou «*sous objectif*». Pour cette catégorie, l'objectif peut changer d'un problème à un autre dans une unité d'apprentissage (passer un examen, résoudre un exercice, etc.).

2.3. Représentation des préférences et intérêts

Chaque apprenant a des préférences et des intérêts bien spécifiques concernant certains aspects de son environnement d'apprentissage. L'apprenant est amené à fournir (explicitement ou implicitement) des informations sur ses préférences et intérêts à son système d'apprentissage. Ce dernier, en se basant sur ses informations, peut présenter aux apprenants des contenus pédagogiques en adéquation avec leurs préférences.

2.4. Représentation du background et expériences

Le background représente toute information sur les expériences passées de l'apprenant hors le sujet ou le thème présenté par le dispositif d'apprentissage. Quand à l'expérience, elle représente les connaissances de l'apprenant sur le dispositif d'apprentissage et l'utilisation du SHAD.

Pour collecter les informations sur ces deux caractéristiques, le système pose des questions bien choisies à l'apprenant. Le contenu affiché à l'apprenant va se baser sur ces deux caractéristiques. Ainsi, les apprenants ayant une petite ou bien sans expérience informatique, par exemple, vont avoir un traitement spécial jusqu'à ce que leurs compétences s'améliorent. A titre d'exemple, cette catégorie d'apprenant va être guidée lors de son apprentissage par la présentation des orientations de base sur la façon de procéder à l'apprentissage, de répondre aux questions et réaliser certaines tâches d'apprentissage. Ce traitement sera employé jusqu'à ce que les compétences de l'apprenant soient améliorées au niveau nécessaire (Surjono et al., 2003).

2.5. Représentation des états émotionnels

L'état émotionnel de l'apprenant a un rôle déterminant dans la réussite et l'atteinte des objectifs d'un domaine d'apprentissage donné. En effet, la nature des activités proposées à l'apprenant entraîne chez ce dernier des réactions affectives pouvant modifier son apprentissage (Aouag, 2008).

Selon Yanghee (Yanghee, 2005), il y a six états émotionnels qui se produisent généralement dans une situation d'apprentissage : *intéressé*, *ennuyé*, *confiant*, *anxieux*, *satisfait* et *frustré*. Ces éléments pris en compte dans un modèle de l'apprenant peuvent influencer l'adaptation. Ainsi par exemple, un apprenant «intéressé» implique une continuité et montre qu'aucune adaptation n'est forcément nécessaire. De même un étudiant «ennuyé» souligne généralement une révision de ce qui est proposé. Une stratégie d'un système adaptatif est de consulter les connaissances pour voir si l'apprenant n'a pas déjà acquis dans le passé les concepts proposés. De même, un «frustré» ou «anxieux» mérite l'attention du dispositif d'apprentissage.

Enfin, si cette représentation primordiale pour la personnalisation de l'apprentissage dans un système donnée, nous certifions que la reconstruction du modèle de l'apprenant conduit à un gaspillage d'efforts, de temps et d'argent. Pour cette raison, il est important que les informations dans un modèle de l'apprenant soient réutilisables. Un modèle de l'apprenant réutilisable doit être réalisé en respectant les spécifications des normes et standard liés à ce domaine de recherche (Somyürek, 2009).

3. Le modèle de l'apprenant : standards et spécifications

Une des caractéristiques importantes d'un modèle de l'apprenant est l'accessibilité et la réutilisabilité par différents systèmes. Une utilisation efficace et efficiente des normes et standards est donc fondamentale.

Nous soulignons aussi que bien que les domaines d'apprentissages soient différents, certaines caractéristiques restent réutilisables.

Cette section s'intéresse aux standards et normes du modèle de l'apprenant. Nous présentons spécifiquement les standards PAPI learner et IMS LIP qui forment l'une des premières bases de structuration des données de l'apprenant. Ces données peuvent être échangées et réutilisées par la suite, entre les différents SHAD.

3.1. Le standard «PAPI Learner»

PAPI Learner (Public and Private Information for Learners) a vu le jour au sein de l'IEEE LTSC (IEEE, 2007). Ce standard spécifie à la fois la syntaxe et la sémantique d'un «modèle de l'apprenant», qui vise à caractériser un apprenant, ses connaissances et ses compétences.

Ce modèle présente les informations de l'apprenant selon six catégories : informations personnelles (nom, adresse, etc.), relations (camarade, professeur, etc.), sécurité (clés publiques et privées, mot de passe, etc.), préférences (la langue d'apprentissage, le style d'apprentissage, etc.), performances (notes d'apprentissage, rapports, etc.) et portfolio (travaux et expériences précédentes, etc.).

PAPI Learner représente l'un des premiers standards proposés qui permettent l'organisation des données de l'apprenant. Toutefois, ce standard ne prend pas en considération plusieurs informations de l'apprenant et qui peuvent être échangées entre différents système d'apprentissage. Ceci explique pourquoi ce standard a été étendu par IMS en proposant le standard IMS LIP (Oubahssi et al., 2006).

3.2. Le standard «IMS LIP»

IMS LIP (IMS Learner Information Package) est un modèle de structuration d'information. Accompagné d'un schéma XML, ce standard permet l'échange des données sur l'apprenant entre les différents systèmes d'information utilisés dans le processus d'apprentissage (CMS, LMS, etc) (Sgouropoulou, 2006).

IMS LIP est structuré selon onze catégories qui peuvent être échangées entre plusieurs systèmes. Ces catégories sont : l'*identification* (e.g : nom, âge, adresse, email, etc.), *le but* (objectif, attentes de l'apprenant de l'activité d'apprentissage, etc.), *qualifications, Certifications & Licences* (QCL) (informations sur le niveau de connaissances de l'apprenant, ses qualifications, certifications et diplômes obtenus, etc), *l'activité* (formation, expérience professionnelle, etc.), *les intérêts* (hobbies de

l'apprenant, activités récréatives, etc.), *compétences* (expérience, connaissances acquises, etc), *transcription* (résumé sur des résultats scolaires), *affiliation* (informations sur l'appartenance aux organisations professionnelles.), *accessibilité* (la langue d'apprentissage, les handicaps, les conditions d'admissibilité et les préférences d'apprentissage, etc.), *sécurité* (mots de passe, clés de sécurité, etc.) et *relation* (informations sur les relations entre les composantes).

3.3. Autres standards et spécifications

Plusieurs standards et spécifications pour la modélisation de l'apprenant sont cités dans la littérature. Nous citons en particulier EDS, Eduperson, FOAF, etc. Ci-dessous une brève présentation de quelques standards.

- ***European Diploma Supplement (EDS)*** : c'est un profil récent d'IMS LIP et qui est lié à l'enseignement supérieur. Cette spécification a pour objectif d'améliorer la transparence internationale et de faciliter la reconnaissance académique et professionnelle des qualifications (diplômes, acquis universitaires, certificats, etc.) (Fenineche, 2006).
- ***Dolog LP*** : ce modèle est basé sur la combinaison des deux standards IMS LIP et PAPI Learner. Dolog LP utilise les technologies de RDF et de l'ontologie et permet ainsi aux systèmes d'apprentissages d'améliorer les services de personnalisation offerts (Kien, 2006).
- ***IMS Reusable Definition of Competency or Educational Objectives (RDCEO)*** : cette spécification définit un modèle d'information qui décrit, met en référence et échange des définitions des compétences, principalement dans le contexte de la formation en ligne et l'apprentissage distribué.
- ***Friend Of A Friend (FOAF)*** : cette spécification permet de décrire des personnes et les relations qu'elles entretiennent entre elles. FOAF définit une technologie ouverte et décentralisée pour le raccordement des sites de réseaux et les personnes qu'ils décrivent (FOAF, 2010).

3.4. Conclusion sur les standards et spécifications présentés

Suite à notre étude des différents standards et spécifications pour la représentation du modèle de l'apprenant, nous pouvons dire que seul PAPI Learner et IMS LIP contiennent des informations importantes pour la représentation d'un apprenant d'une manière standardisée.

Certes, les six catégories de PAPI Learner ne permettent pas de décrire d'une manière détaillée toutes les informations présentées. Toutefois, ils représentent les briques de base que peut contenir un modèle de l'apprenant et qui peuvent être utilisés et échangés par plusieurs systèmes. Ces catégories ont été élargies et améliorées par la suite par le standard IMS LIP. En effet, en proposant onze catégories, IMS LIP a pu devancer PAPI Learner en essayant d'approcher le plus possible l'apprenant en proposant une meilleure

catégorisation et une meilleure description. Cependant, nous pensons qu'IMS LIP a proposé des champs qui ne sont pas généralement utilisés ou bien utilisables uniquement dans quelques situations d'apprentissages comme le cas de la catégorie affiliation.

Pour les autres spécifications (FOAF, RDCEO, etc.), ils nous ont permis d'approcher les améliorations qu'ils ont proposé pour mieux représenter ou bien décrire d'autre informations non soulevées par les standards (PAPI Learner & IMS LIP) et pour servir à un objectif bien précis.

Dans ce qui suit nous allons présenter les démarches à suivre pour modéliser l'apprenant.

4. Processus de modélisation de l'apprenant

La modélisation de l'apprenant nécessite dans un premier temps de définir les caractéristiques (connaissances, préférences, buts et objectifs, etc.) à prendre en compte pour la réalisation et la construction du modèle de l'apprenant. La deuxième étape consiste à *collecter* et *rassembler* les données liées aux caractéristiques définies dans la première étape. La troisième étape est la *construction* et l'*initialisation* du modèle de l'apprenant. La dernière étape permet de maintenir les données du modèle de l'apprenant et les *mettre à jour*.

4.1. La collecte de l'information

Les données rassemblées, lors de l'étape de collecte de l'information, sont de nature statique ou bien dynamique. Les données statiques sont des données qui ne changent pas au cours de l'apprentissage et comprennent en général les données comme le nom, prénom, âge, etc. Les données dynamiques concernent les informations sur l'évolution et les performances de l'apprenant tout au long de l'interaction avec le système d'apprentissage.

Deux approches sont utilisées pour collecter les informations sur l'apprenant :

- **L'approche explicite** : elle est basée sur le dialogue direct entre le système et l'apprenant. Elle consiste à poser des questions aux apprenants.
- **L'approche implicite** : cette approche est basée sur le suivi et l'observation des actions des apprenants lors du processus de résolution de problèmes. L'apprenant dans ce cas n'est pas au courant du processus de collecte lors de son interaction avec le système.

Les informations obtenues par ces deux approches doivent être transformées en variables et intégrées dans le modèle de l'apprenant. Ces variables peuvent se présenter sous trois formes dans le modèle de l'apprenant: *booléenne*, *discrète* et *continue*.

Les variables stockées sous forme de *booléenne* peuvent prendre deux valeurs pour chaque situation. Par exemple, la donnée sur la connaissance d'un concept pour un apprenant peut être stockée comme "maîtrisé" s'il maîtrise ce concept, sinon "non maîtrisé". *Les variables discrètes* peuvent prendre un certain nombre limité de valeurs

pour chaque situation. Par exemple, la connaissance d'un domaine d'apprentissage pour un apprenant peut être stockée comme (exemple : novice, intermédiaire, avancé, expert). Pour *les variables continues*, elles peuvent prendre des valeurs comprises entre 0 et 1. Par exemple, la connaissance d'un concept pour un apprenant donné peut prendre les valeurs qui varient entre 0 et 1. Ainsi, 0 indique que le concept est totalement inconnu, 1 indique qu'il est parfaitement connu, et les valeurs entre 0 et 1 indiquent le pourcentage de la connaissance de ce concept.

Dans les SHAD, les informations du modèle de l'apprenant sont de plus en plus sous forme de variables continues que booléennes et discrètes. Cependant, travailler avec des variables continues nécessite des développements avancés pour faire face à des données plus complexes (De Bra, 1998b).

4.2. L'initialisation du modèle de l'apprenant

Lorsque l'apprenant accède, pour la première fois à l'environnement d'apprentissage, le modèle de l'apprenant ne contient aucune information sur ce dernier. L'initialisation du modèle de l'apprenant s'effectue lors du premier contact avec le système d'apprentissage.

Fröschl (Fröschl, 2005) rapporte que pour Self, le modèle de l'apprenant peut être initialisé par des *questions explicites* ou par des *stéréotypes*.

4.2.1. Questions explicites

Les questions explicites sont considérées comme un moyen efficace pour obtenir des informations générales sur l'apprenant. Cette méthode consiste à poser directement des questions aux apprenants pour initialiser le modèle. Les réponses à ces questions sont analysées et intégrées comme des paramètres initiaux.

Le problème soulevé par Koch (Koch, 2000) pour cette méthode est le nombre de questions auxquelles l'apprenant est capable de répondre. De même, Fröschl (Fröschl, 2005) note qu'un trop grand nombre de questions pourraient irriter l'apprenant et accroître le taux d'abandon du système.

4.2.2. Stéréotypes

L'initialisation du modèle de l'apprenant peut utiliser des méthodes stéréotypes. Cette méthode consiste à grouper les apprenants qui ont à peu près les mêmes informations dans une même catégorie. Il existe deux types de stéréotypes : les stéréotypes fixes et les stéréotypes par défaut.

Dans les stéréotypes fixes, les informations sur les apprenants sont représentées en fonction de leur performance dans un stéréotype prédéfini et déterminé par leurs niveaux d'enseignements. Les stéréotypes par défaut est une approche beaucoup plus souple qui s'effectue au début d'une session d'apprentissage, les apprenants sont alors stéréotypés par des valeurs par défaut. Au fur et à mesure, de l'avancement du processus d'apprentissage, les données sur les performances des apprenants sont obtenues et les

paramètres du premier stéréotype sont progressivement remplacés par des paramètres personnalisés (Surjono et al., 2003).

4.3. La mise à jour du modèle de l'apprenant

Le processus de mise à jour consiste à acquérir et à collecter des informations sur l'apprenant, son comportement, son évolution et d'actualiser le modèle de l'apprenant s'il existe des différences entre ce modèle et la réalité. Ces informations sont obtenues soit directement de l'apprenant soit à partir de l'interaction de l'apprenant avec le système (nombre de clic, réponse aux questions, temps passé pour la lecture, etc). Fröschl (Fröschl, 2005) note que la principale source d'information sur l'apprenant est relative à son interaction avec le système.

Plusieurs méthodes d'obtention de l'information sur l'apprenant sont citées dans la littérature. Brusilovsky (Brusilovsky, 1994) rapporte que Carr et Goldstein proposent quatre méthodes principales pour mettre à jour le modèle de l'apprenant :

- **La méthode implicite** : cette méthode consiste à acquérir l'information à partir de l'observation des actions de l'apprenant au cours du processus d'apprentissage.
- **La méthode explicite** : cette méthode se base sur le dialogue direct entre le système et l'apprenant (ex: questionnaire explicite).
- **La méthode structurelle** : cette méthode se base sur la relation entre les concepts du domaine de connaissance (exemple : si un concept(i) est un pré-requis du concept(j), l'acquisition du concept(j) implique l'acquisition du concept(i)).
- **La méthode historique** : cette méthode est basée sur une estimation générale des connaissances de l'apprenant en se basant sur son expérience.

Notons que pour mettre à jour un modèle de l'apprenant, les différentes méthodes citées ci-dessus peuvent être utilisées éventuellement en même temps.

5. Conclusion

Comme présenté tout au long de ce chapitre, le modèle de l'apprenant est un domaine de recherche très actif et constitue l'une des principales et, sans doute, la composante clé de la personnalisation de l'apprentissage.

Le présent chapitre a permis de donner un bref aperçu de l'évolution des efforts dans ce domaine et de l'ensemble des technologies les plus importantes de modélisation de l'apprenant développées au fil des ans.

Nous avons ainsi pu dégager à travers l'étude de cette composante des SHAD, son intérêt et son impact pour l'adaptation des contenus pédagogiques.

La deuxième partie a été consacrée à la description des différentes dimensions les plus importantes, à notre point de vue, et qui sont utilisées par la plupart des modèles apprenants cités dans nos lectures bibliographiques. Nous notons que présenter les

différentes dimensions de modélisation de l'apprenant dépasse de loin le cadre de ce travail. Ainsi nous avons fait l'étude des dimensions liées à la connaissance de l'apprenant, ses buts et objectifs, ses préférences et intérêts, son background et expériences et enfin ses états émotionnels.

Dans la suite de ce chapitre, nous avons présenté les standards et les spécifications du modèle de l'apprenant les plus répandus dans la littérature notamment les standards IMS LIP et PAPI Learner.

A la fin de ce chapitre nous nous sommes intéressés aux techniques de mise en place d'un modèle de l'apprenant en expliquant les techniques d'initialisation et de mise à jour.

Le chapitre suivant s'intéresse à une composante aussi importante que le modèle de l'apprenant. Il s'agit du modèle du domaine. Nous nous intéressons plus particulièrement à la notion d'objet pédagogique, les concepts et les technologies qui lui sont liées.

Chapitre 4 : Objets Pédagogiques, Métadonnées et Standards

Le modèle du domaine constitue une composante fondamentale des SHAD. Son importance est liée au processus d'adaptation et/ou d'individualisation qui consiste à chercher des contenus pédagogiques, traitant des concepts d'un domaine de connaissances donné et qui soient adaptés à un apprenant particulier.

Les recherches effectuées, dans le domaine des SHAD et plus particulièrement sur la composante du modèle du domaine, ont donné lieu à un débat exceptionnel. Ainsi, plusieurs terminologies et définitions ont vu le jour. Actuellement, au lieu de parler de contenu pédagogique, on utilise différents termes tels que : *ressources numériques*, *ressources numériques éducatives*, *contenu numérique*, *objets pédagogiques*, etc. Mais, quelque soit la désignation utilisée, une ressource pédagogique qu'elle soit numérique ou non constitue la base même des enseignements et des apprentissages.

Pour les SHAD, la question des contenus pédagogiques implique plusieurs voies de recherches complémentaires. Une première voie concerne la représentation de ces contenus pour qu'ils soient manipulables par la machine. La deuxième voie, qui est une implication de la première, s'intéresse à la *recherche* et à l'*assemblage* des ressources adaptées à un contexte pédagogique particulier. D'autres travaux liés aux représentations normalisées, aux usages et aux taxonomies sont également explorés dans la littérature (Bibeau, 2005).

En ce qui concerne la *recherche* et l'*assemblage* des contenus pédagogiques adaptés aux préférences d'un apprenant particulier et à un moment donné de son apprentissage, ils ne peuvent avoir lieu sans l'utilisation des métadonnées. L'usage des métadonnées est donc primordial pour la description des caractéristiques les plus importantes des ressources pédagogiques. Ces métadonnées sont utilisées par la suite pour la génération des contenus voire des parcours pédagogiques individualisés correspondants aux préférences d'un apprenant donné.

Le présent chapitre s'intéresse à l'une des désignations les plus récentes des contenus pédagogiques qui est l'*objet pédagogique* (définitions, caractéristiques, principe de conception), les méthodes d'indexation et de description des ces OPs (les métadonnées).

Les points importants de ce chapitre s'intéressent essentiellement aux problèmes de descriptions avec les métadonnées ainsi que les recherches liées à la notion d'OP. Pour cela, il nous paraît important d'essayer d'abord de «démystifier» le concept de ressource pédagogique numérique, le concept d'OP ainsi que le lien entre ces deux derniers. D'autres points importants seront traités. Il s'agit de présenter les différentes propriétés

des OPs, leurs principes de conception et les technologies associées notamment les standards les plus répandus et les plus utilisés dans la littérature à savoir les standards SCORM, LOM et IMS-LD. Nous noterons par ailleurs que la réalisation des OPs est une tâche coûteuse en termes de temps et de ressources humaines et financières. Cette problématique, qui a fait couler beaucoup d'encre, est traitée dans la dernière partie. Il s'agit de la problématique liée à l'économie des OPs ainsi que la présentation des entrepôts des OPs les plus répandus.

1. Terminologie basée sur les recherches actuelles

Comme nous l'avons souligné en introduction, les différents travaux effectués dans le domaine des SHAD ont donné naissance à une terminologie riche, qui nécessite un éclairage. La présente section se donne comme objectif, d'une part, de parcourir les différentes définitions de la notion de «ressource pédagogique». D'autre part, elle vise à approcher le concept d'«objet pédagogique» en le différenciant de celui de «ressource pédagogique».

1.1. Qu'est ce qu'une «ressource pédagogique» ?

Définir le concept de «ressource pédagogique» et le distinguer des différents termes proposés dans la littérature constitue probablement un exercice difficile. La tâche devient plus complexe, si l'on veut rendre compte de ce concept, avec l'ouverture nécessaire pour contenir la diversité et la pluralité des expressions utilisées (Metros et al., 2008).

Pour s'en rapprocher de façon incrémentale, nous dirons d'abord en premier temps qu'une *ressource en général constitue tout ce qui peut fournir ce dont on a besoin*. En second lieu, une ressource peut faire référence à des *ressources humaines*, des *ressources informationnelles*, des *ressources matérielles*, des *ressources financières*, etc.

Dans le domaine de l'éducation et des SHAD, plusieurs définitions, généralement liées au contexte d'énonciation ont été proposées. La notion de ressource pédagogique mérite donc d'être délimitée en se référant aux travaux de recherche dans ce domaine.

Selon Gérard Puimatto (Puimatto, 2004), il adopte une approche documentaire. En effet, cet auteur pense que la notion de ressource pédagogique (ou éducative) est fortement liée à celle de document et aux approches documentaires. Une ressource pédagogique est tout ce qui peut transmettre des concepts et contenus d'enseignements.

Quand à Bibeau (Bibeau, 2005), une ressource pédagogique est un ensemble de services en ligne, de logiciels de gestion, d'édition et de communication (portails, logiciels outils, plateformes de formation, moteurs de recherche, applications éducatives, portfolios, etc.). Cet auteur donne une taxonomie de ressources pédagogiques et insiste sur le contexte d'usage, à savoir l'activité ou le scénario pédagogique, dans lequel la ressource est convoquée.

D'autres propositions plus récentes telles que celle de Hmelo-Silver (Hmelo-Silver, 2009), présente une ressource pédagogique comme une information ou un outil qui peut

être utilisé pour aider les apprenants à *localiser, stocker et utiliser un matériel pédagogique*.

Nous noterons principalement ici la différence de la terminologie liée à ces différentes approches. Nous soulignons également la référence aux typologies et aux taxonomies des ressources d'enseignements.

Ce que nous pouvons retenir de ces définitions, c'est qu'une ressource pédagogique est *toute entité, numérique ou non, qui s'apparente à une information ou à un outil, qui a un certain nombre d'usages possibles et en étant insérée dans un contexte pédagogique, permet à l'enseignant et/ou à l'apprenant d'effectuer leurs tâches efficacement*.

Dans la suite, nous n'avons pas pour but de proposer une nouvelle taxonomie, ni de donner une définition originale des ressources numériques, mais d'examiner les nouveaux développements des ressources numériques, relatifs aux «objets pédagogiques» et en relation avec les travaux sur la standardisation et les technologies associées.

1.2. Ressource Pédagogique vs Objet Pédagogique

Le terme «objet pédagogique» constitue une nouvelle appellation des ressources pédagogiques, qui n'échappe pas non plus à l'ambiguïté. La plupart des définitions proposées, se focalisent sur les principes généraux qui régissent la notion d'OP tels que : *la réutilisation, l'intention pédagogique et l'indépendance du contexte*.

Balatsoukas (Balatsoukas, 2008) donne un exemple typique de définition fournie par Polsani (Polsani, 2003). Cet auteur, définit un OP comme une unité d'un contenu pédagogique *indépendante et autonome*, qui est prédisposée à être réutilisée dans de multiples *contextes pédagogiques*.

D'autres auteurs tels que Bibeau (Bibeau, 2005), considèrent un OP comme la plus petite *unité d'information* ou *le plus petit outil de traitement de l'information* (applications ou logiciels) utilisé dans un contexte d'enseignement avec une intention pédagogique visant l'apprentissage grâce au support technologique.

Flamand & Gervais (Flamand et al., 2004) identifient trois catégories d'objets pédagogiques. Ils distinguent les *objets médiatiques* qui sont peu complexes et indépendants du contexte (vidéo du discours d'un chef d'état, entrevue radiophonique, etc.), *les objets utilitaires* (logiciel de modélisation, etc.) et les objets pédagogiques constitués d'éléments d'information de base (faits, notions, concepts, principes, processus).

Enfin, d'autres conceptions telles que celles de Downes (Downes, 2003), considèrent que la taille d'un OP comme importante. Barron (Barron, 2002), en tentant d'examiner cette approche, suggère que cinq à neuf objets d'informations (texte, image, vidéo, photos, etc.) peuvent être combinés pour former un OP. D'autres travaux conduits dans cette voie, et notamment ceux de Mortimer (Mortimer, 2002) abordent la taille d'un OP en terme de temps qui ne dépasse pas 15 minutes.

En plus de ces conceptualisations théoriques et parfois ambiguës, d'autres définitions se dégagent des différents travaux sur la normalisation (SCORM, LOM, IMS, etc.). Pour LOM par exemple (IEEE, 2002) «un objet pédagogique est une entité, sur un support informatique ou non, qui peut-être *utilisée, réutilisée* ou *référéncée* dans une activité de formation assistée par ordinateur (Technology Supported Learning)». Normetic (Normetic, 2003), ajoute à cette définition, le support technologique qui recouvre du contenu multimédia, contenu didactique, des logiciels didactiques et des outils logiciels évoqués dans un contexte pédagogique à support technologique. Enfin, le centre Wisconsin de ressources en ligne (WISC, 2009), définit un OP comme «des petites unités pédagogique d'une durée comprise entre 2 et 15 minutes».

Ainsi pour faire le lien entre ressources pédagogiques et objet pédagogique, nous disons qu'une ressource pédagogique est considérée comme un objet pédagogique quand des métadonnées d'OP y sont associées et qu'elle peut être découverte dans une banque d'objets numériques et affichée à l'aide d'une application de téléapprentissage (Wiki, 2009).

Dans la suite de ce chapitre nous allons nous concentrer sur les objets pédagogiques, leurs propriétés, caractéristiques et leurs économies.

2. Caractérisation des Objets Pédagogiques

Afin de mieux caractériser les OPs, nous présentons dans ce paragraphe les principales propriétés technologiques et pédagogiques de ce concept ainsi que ces principes (technologiques et pédagogiques) de conception. La dernière partie de ce paragraphe est consacrée à l'économie et la mutualisation des OPs. Nous examinons à présent quelques propriétés des OPs.

2.1. Propriétés des Objets Pédagogiques

Plusieurs propriétés sont mentionnées dans la littérature notamment avec l'émergence des normes et standards spécifiques au domaine de l'apprentissage. Parmi elles, nous citons:

- *l'autonomie* : un OP est une entité indépendante qui peut être utilisée indépendamment des autres objets pédagogiques.
- *la réutilisabilité* : c'est la caractéristique la plus importante. un OP est réutilisable si on peut l'incorporer à différents contextes, sans fournir beaucoup d'effort supplémentaire. Il doit être utilisé et réutilisé à différentes fins, dans différentes applications, avec différents produits et par différents modes d'accès.
- *l'adaptation* : un OP doit permettre une modulation sur mesure en adéquation avec les besoins des apprenants à un moment donné.
- *la composition/agrégation* : plusieurs objets pédagogiques peuvent être regroupés et rassemblés pour former des contenus pédagogiques.

- ***l'indexation*** : un OP doit être muni d'une description permettant de le retrouver facilement.
- ***l'accessibilité*** : chaque OP doit être facilement trouvable, identifiable et facilement accessible.
- ***la durabilité*** : un OP doit pouvoir affronter les changements technologiques en minimisant la réingénierie ou le redéveloppement.
- ***l'interopérabilité*** : un OP doit pouvoir être utilisé dans des environnements technologiques différents. L'utilisation des métadonnées et des normes d'OP améliore significativement l'interopérabilité des OPs.

Toutes ces propriétés sont considérées comme importantes. Ainsi par exemple, la réutilisabilité permet de faire une économie des OPs comme nous le verrons dans la suite de ce chapitre.

2.2. Principes de conception des objets pédagogiques

Concevoir un OP, ayant les caractéristiques définies dans le paragraphe précédant (réutilisabilité, interopérabilité, durabilité, etc.), nécessite de penser et de réfléchir à la façon de concevoir et de développer ces objets. Des études des meilleures pratiques et des recherches scientifiques portant sur la conception des objets pédagogiques, révèlent une série de principes et lignes directrices pour la conception de ces objets (Downes, 2000; Longmire, 2000).

Toutefois, les standards présents dans le domaine des SHAD, ne donnent pas des démarches à suivre pour les concepteurs précisant des méthodes de conception et de création des objets pédagogiques. Cela n'empêche qu'on trouve, dans la littérature, quelques principes qui peuvent être utilisés dans le processus de conception et de réalisation des objets pédagogiques. Entre autre, nous avons :

- ***un OP doit être initialement développé comme des «briques»*** d'une taille relativement petite et conçu d'une manière qui facilite la réutilisation dans un nouveau contexte pédagogique. Concevoir des objets pédagogiques de taille petite permet de réaliser des contextes pédagogiques plus flexibles, d'individualiser et d'adapter ce contexte aux différents profils d'apprenant ;
- ***un OP doit être autonome et séparable d'un contexte d'utilisation.*** Il doit contenir des informations génériques autant que possible. Ceci permet une large diffusion et utilisation de ces objets dans différents contextes ;
- ***un OP doit être indexé par des métadonnées*** (voir section suivante), basée sur une norme et/ou un standard, permettant de donner des informations (taille, auteur, type d'interactivité, etc.) sur cet objet. Ces métadonnées facilitent la recherche et le repérage des objets pédagogiques stockés dans des entrepôts de ressources ;
- ***une séquence d'OPs doit avoir un contexte.*** Lorsqu'on rassemble un certain nombre d'OP pour construire une unité pédagogique (module, cours, etc.), on doit

indiquer le contexte de (ré) utilisation de ces OPs ou bien laisser le choix aux apprenants de spécifier leurs propres contextes.

Par ailleurs, d'autres auteurs, comme le cas de Bourda (Bourda, 2002), soulignent qu'un OP doit permettre un apprentissage :

- *sans superflu* : si seule une fraction de cours est requise, on doit pouvoir se limiter aux objets pédagogiques correspondants ;
- *au moment voulu* : comme les objets pédagogiques sont indexés, on peut les retrouver instantanément ;
- *sur mesure* : les objets pédagogiques permettent une personnalisation des cours à l'échelle d'une organisation ou de chaque personne.

Il est bien évident que ces principes sont importants pour la conception d'OP. Dans la suite, nous nous intéressons plus particulièrement au principe lié à l'indexation vue son importance pour la recherche d'OPs adaptés à un apprenant particulier. Nous allons aussi présenter les nouvelles technologies associées permettant l'optimisation de l'utilisation de ces OPs.

3. Technologies associées aux objets pédagogiques

Les éléments liés à la terminologie et à la caractérisation des OPs sont déterminés plus haut, nous présentons dans cette section les technologies émergentes associées au développement des OPs, notamment les *métadonnées*, le *web sémantique* et les *ontologies*.

3.1. Les métadonnées

3.1.1. Importance des métadonnées

Les métadonnées permettent d'identifier tout type de contenu, et plus spécifiquement des contenus éducatifs, avec un format commun décrivant le type de contenu, son auteur, la meilleure manière de l'utiliser, etc. (Arnaud, 2004). Elles sont généralement stockées dans des bases de données et sont liées aux objets qu'elles décrivent.

Selon Brand, Frank et Meyers (Brand et al., 2003), nous trouvons quatre principales classes. Les *métadonnées descriptives* permettant de décrire une ressource pédagogique pour des fins telles que la recherche et l'identification. Elles peuvent inclure des éléments tels que titre, résumé, l'auteur, mots-clés, etc. Les *métadonnées structurelles* indiquent la composition d'une ressource pédagogique. Par exemple, comment les pages sont ordonnées pour former des chapitres. Les *métadonnées administratives* qui permettent la gestion des ressources pédagogiques par exemple la date de création, type de fichier, accessibilité, etc. Cette catégorie inclut aussi les *métadonnées de préservation* qui permettent l'archivage numériques et les *métadonnées de droit de gestion* qui traitent les droits de propriété intellectuelle, etc. (Niso, 2004).

3.1.2. Intérêt des métadonnées

Les métadonnées ont un rôle important à jouer dans la sélection et la réutilisation adaptative des objets pédagogiques. Leurs utilisations dans les SHAD, permet de décrire les différents OPs et de les stocker dans des entrepôts pour qu'ils puissent être réutilisés dans différents contenus et partagés entre les différents apprenants des systèmes d'apprentissage. Chaque OP doit être décrit par un fichier de métadonnées qui définit son titre, la langue, description, mot-clé, format, type de ressource d'apprentissage, niveau d'interactivité et de difficulté, etc. Lorsqu'un OP est recherché, ses caractéristiques sont comparées avec les préférences des apprenants, afin que le contenu le plus approprié possible soit livré à l'apprenant.

Niso (Niso, 2004) énumère quatre raisons qui justifient la création des métadonnées :

- **La recherche des ressources** : les métadonnées permettent d'identifier les ressources, ressortir l'ensemble des ressources similaires, distinguer les ressources dissimilaires et donner des informations sur l'emplacement des ressources ;
- **L'organisation des ressources numériques** : l'utilisation des métadonnées permet d'organiser les ressources numériques selon des critères bien définis (type de ressource, objet, l'emplacement, etc.), ce qui permet d'optimiser la recherche ;
- **L'identification numérique** : la plupart des schémas de métadonnées contiennent des éléments tels que des numéros pour identifier l'objet de ces métadonnées. Une ressource peut être identifiée par son emplacement (exemple URL). Toutefois, cette donnée peut changer. Mais l'ajout des métadonnées à cet identifiant peuvent agir comme un ensemble de données d'identification et différencier une ressource d'une autre ;
- **L'archivage et préservation** : les métadonnées sont essentielles pour que les ressources survivent et soient accessibles dans le futur. L'archivage et préservation exigent des éléments spéciaux pour suivre l'historique d'une ressource (d'où elle vient et comment elle a changé au fil du temps), détailler ses caractéristiques physiques et de documenter ses comportements afin de l'adapter aux technologies futures.

Pour que les métadonnées puissent remplir leur rôle et faciliter l'accès aux ressources en ligne, il faut impérativement qu'un standard stable soit utilisé afin que fournisseurs de ressources et apprenants puissent utiliser le même référentiel (Bourda, 2002).

La définition d'un standard pour décrire les métadonnées constitue une première étape nécessaire en vue de faciliter la recherche et la réutilisation des OPs (Malaxa, 2005). Plusieurs travaux ont été réalisés dans cette direction et ont donné lieu à des standards de description tels que le standard LOM (que nous allons détailler dans la quatrième partie du présent chapitre). Dans ce qui suit nous allons présenter quelques nouvelles technologies associées aux OPs à savoir le web sémantique et les ontologies.

3.2. Technologies associées

Dans cette partie, nous allons présenter les principales technologies associées aux objets pédagogiques notamment le web sémantique et les ontologies ainsi que les concepts qui leurs sont liés.

3.2.1. Web sémantique

Le Web sémantique est une manière de définir ou de publier des données sur le Web de telle sorte que les ordinateurs puissent aussi les comprendre et les traiter d'une manière significative.

Tim Berners-Lee (Berners-Lee et al., 2001), fondateur du concept, définit le web sémantique comme étant une extension du Web qui vise à enrichir les ressources disponibles sur le toile, avec des descriptions sémantiques de leur contenu avec comme but de les rendre exploitables par des programmes informatiques.

De cette définition, on peut dire que le web sémantique à la différence du web traditionnel, permet aux machines de rechercher et d'identifier des OPs en utilisant des données formalisées spécifiant la sémantique de ces OPs. Ainsi, le web sémantique permet de répondre aux problématiques liées à l'identification sémantique des OPs, les relations qui les lient entre eux, etc.

Le web sémantique appliqué au domaine d'apprentissage est considéré comme une très importante initiative touchant l'éducation. Cette fusion a donné naissance à un nouveau volet du web sémantique appelé *web sémantique éducatif*. Ce volet consiste, essentiellement, à ajouter une nouvelle couche sémantique pour les ressources d'apprentissage afin de faciliter leurs récupérations et leurs réutilisations (El Mezouary, 2011).

3.2.2. Ontologie

L'ontologie constitue la base de représentation du web sémantique. D'où la nécessité d'étudier ce concept d'un point de vue technologique.

Plusieurs définitions du terme «ontologie» sont citées dans la littérature. Pour le domaine de l'informatique, ce terme a commencé à être employé en intelligence artificielle au début des années 90. Nous allons présenter ici quelques unes.

Selon Gruber (Gruber, 1993), une ontologie est *une spécification explicite d'une conceptualisation*. Pour Brost (Brost, 1997), une ontologie est définie comme étant *une spécification formelle d'une conceptualisation partagée*. Quand à Chandrasekaran (Chandrasekaran, et al, 1999), une ontologie est *une théorie du contenu sur les sortes d'objets, les propriétés de ces objets et leurs relations possibles dans un domaine spécifié de connaissances*.

Ce que nous pouvons retenir de ces définitions, c'est que l'ontologie permet de spécifier un processus de classification des concepts d'un domaine donné et les relations qui lient ces concepts. Les concepts permettent de comprendre le domaine et la classification des

données. Tandis que les propriétés permettent de déterminer les relations entre les différents concepts.

3.2.3. *Langages du web sémantique*

Depuis l'avènement du Web sémantique, plusieurs outils et langages de formalisation ont été mis en place. C'est dans ce contexte que le World Wide Web Consortium (W3C) a proposé plusieurs formalismes de langages qui sont basés sur des spécifications du langage de balisage XML. Dans cette section, nous allons nous intéresser plus particulièrement aux langages RDF, RDFS et OWL.

■ **Le langage RDF**

Le langage RDF (Ressource Description Framework) a été créé en 1999 par le (W3C). Il s'agit d'un des formalismes standards de représentation de connaissances sur le Web et se présente sous une forme particulière du langage XML avec un langage sémantique spécifique.

L'objectif du langage RDF est de rendre plus pertinent le traitement automatique des informations contenues sur le Web. Ce langage, en outre des mots clés contenus dans un document, fournit une information plus sémantique aux outils de traitement de l'information.

Un autre objectif de RDF est de pouvoir manipuler et classer des métadonnées Web, afin de fournir des informations sur les ressources Web et les systèmes qui les utilisent. Par ailleurs, RDF permet de développer des modèles d'information ouverts et applicables à n'importe quel application. RDF contribue aussi à l'optimisation de la coopération entre applications, en permettant de combiner les données de plusieurs applications, pour générer de nouvelles informations.

Nous notons, toutefois, que le langage RDF n'est pas assez robuste pour exprimer tous les aspects sémantiques liés à un domaine en particulier. En effet, le langage RDF ne permet pas de définir un vocabulaire spécifique dédié à un contexte d'utilisation particulier. De plus, l'organisation des ressources ne permet pas d'utiliser des moteurs d'inférence pour déduire de nouveaux triplets, ils doivent donc être explicitement répertoriés, ce qui peut être laborieux même avec un outil permettant d'éditer des fichiers RDF (Cueilliez, 2006).

■ **Le langage RDFS**

Pour pallier aux limites de RDF, Le W3C a proposé un nouveau langage appelé *RDF Schéma (RDFS)*. RDF Schéma permet de donner du sens aux propriétés associées à une ressource et de formuler des contraintes sur les valeurs associées à une propriété afin de lui assurer aussi une signification.

Le langage RDFS utilise les notions de classe et de sous-classe et définit un lien sémantique entre ces deux notions, ce qui permet de hiérarchiser les ressources. RDFS

permet aussi d'exprimer des contraintes sur les éléments du vocabulaire qui permettent d'éviter les erreurs d'association sémantique entre classes.

En fait RDF-Schema ne permet pas de représenter la connaissance de manière aussi formelle qu'en utilisant des ontologies. Pour cela, le langage doit être enrichi et de nouvelles contraintes doivent être ajoutées. Dans la section suivante, nous allons présenter le langage de représentation des ontologies OWL.

■ Le langage OWL

Le langage OWL est conçu comme extension des langages RDF et RDF Schema. Ce langage intègre en plus, des outils de comparaison, des propriétés et des classes tels que l'identité, l'équivalence, le contraire, la cardinalité, la symétrie, la transitivité, la disjonction, etc.

Le langage OWL permet, ainsi, une plus grande capacité d'interprétation du contenu web et de raisonnement que RDF et RDFS. Ceci est dû essentiellement au vocabulaire qui est plus large et à la vraie sémantique formelle.

Le langage OWL offre trois sous-langages d'expression croissante conçus pour des communautés de développeurs et d'utilisateurs spécifiques (W3C, 2004) :

- **Le langage OWL Lite** : ce langage concerne les utilisateurs ayant principalement besoin d'une hiérarchie de classifications et de mécanismes de contraintes simples. Par exemple, quoique OWL Lite gère des contraintes de cardinalité, il ne permet que des valeurs de cardinalité de 0 ou 1 ;
- **Le langage OWL DL** : ce langage concerne les utilisateurs souhaitant une expressivité maximum sans sacrifier la complétude des calculs et la décidabilité que tous ces calculs seront terminés dans un temps fini. OWL DL doit son nom à sa correspondance avec la logique de description ;
- **Le langage OWL Full** : ce langage est destiné aux utilisateurs souhaitant une expressivité maximum et la liberté syntaxique de RDF sans garantie de calcul en étendant la signification le vocabulaire prédéfini (RDF ou OWL).

Dans ce qui suit et comme nous l'avons souligné auparavant, nous allons présenter les normes et standards liés aux OPs et qui sont les plus cités dans nos références étudiées.

4. Standards et normes pour les objets pédagogiques

La normalisation pour la formation en ligne répond aux propriétés des OPs présentées dans le deuxième paragraphe du présent chapitre. Une étude approfondie des différentes normes et standards du e-learning dépasse largement le cadre du présent document. De ce fait, nous allons étudier, dans ce qui suit, les normes les plus connues que nous avons manipulé lors de nos travaux de recherches. Ainsi, nous allons voir successivement le standard LOM, IMS LD et enfin SCORM.

4.1. Le modèle LOM

4.1.1. Description du modèle LOM

Le LOM (Learning Object Metadata) (Cf. Figure 9) est un standard international qui permet de décrire un objet pédagogique en utilisant des méta-données (informations sur cet objet). Ces objets peuvent être des livres, scénarii pédagogiques, sites web, logiciels, etc.

Le LOM définit une ressource pédagogique comme étant une entité, numérique ou physique, qui peut être utilisée, réutilisée ou référencée dans des applications de e-learning. Il fournit un schéma de données conceptuel qui définit la structure d'une instance de méta-données pour une ressource pédagogique. Les éléments permettant la description des ressources pédagogiques sont groupés dans les catégories suivantes:

- **Général** : Catégorie qui regroupe toutes les informations générales pour la description de la ressource pédagogique ;
- **Cycle de vie** : Catégorie qui décrit l'historique et l'état courant de la ressource pédagogique ;
- **Meta-métadonnée** : Catégorie qui décrit des informations à propos des méta-données elles-mêmes ;
- **Technique** : Catégorie qui décrit les exigences et les caractéristiques techniques de la ressource ;
- **Pédagogie** : Catégorie qui décrit les caractéristiques pédagogiques de la ressource ;
- **Droit** : Catégorie qui décrit les droits de propriété intellectuelle et les conditions d'utilisation de la ressource ;
- **Relation** : Catégorie qui décrit les relations entre les ressources pédagogiques;
- **Commentaire** : Catégorie qui offre des commentaires sur l'utilisation pédagogique de la ressource, ainsi que sur le(s) créateur(s) du commentaire;
- **Classification** : Catégorie qui décrit si la ressource pédagogique fait partie d'un système de classification particulier.

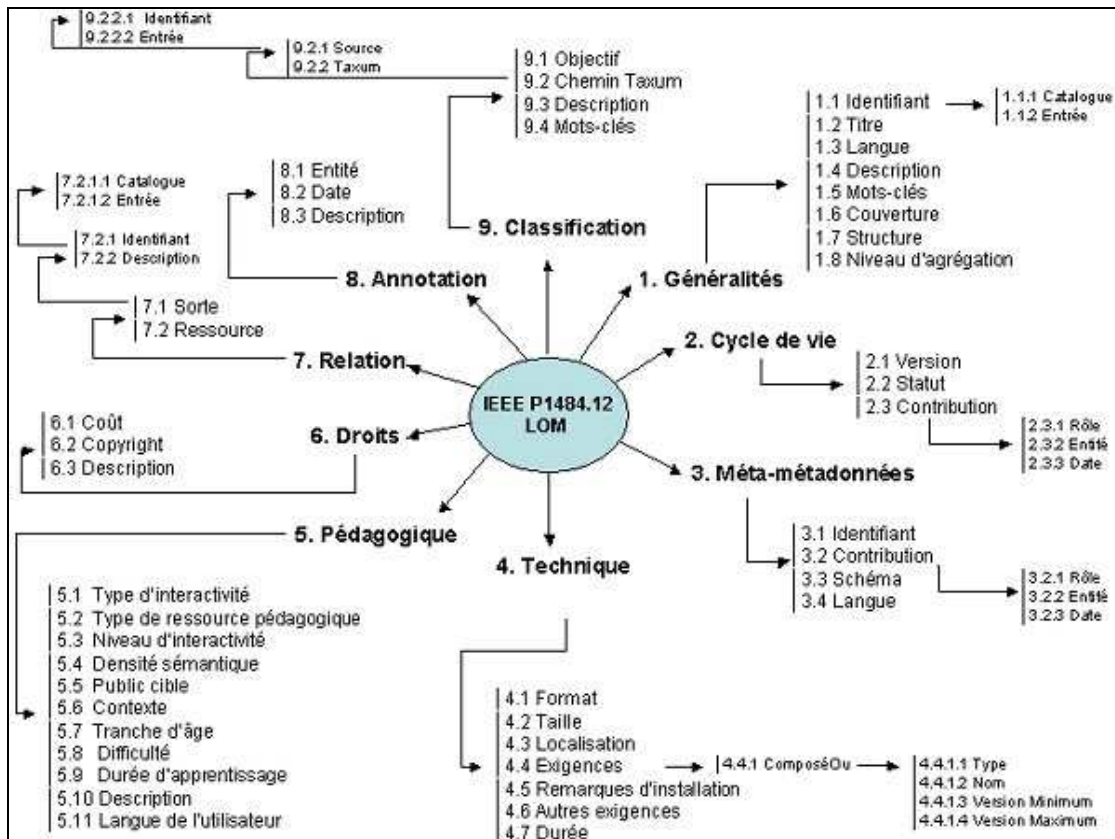


Figure 9 : Organisation du schéma de métadonnées LOM (De La Passardière, 2004).

Nous n'allons pas décrire ici l'ensemble des catégories du LOM. Nous présentons une catégorie qui nous intéresse plus particulièrement dans notre travail. Il s'agit de la catégorie «Pédagogie». Cette catégorie est composée de onze sous-catégories pédagogiques à savoir :

- **type d'interactivité** : le type d'interaction entre la ressource et l'apprenant typique (Active, Expositive, Undefined) ;
- **type de ressource pédagogique** : le type de la ressource pédagogique (Exercice, Simulation, Examen, QCM, etc.), peut être présent plusieurs fois ;
- **niveau d'interactivité** : degré d'interactivité (Low, High, etc.);
- **densité sémantique** : (very low, low, medium, high, etc.);
- **public ciblé** : public destinataire de la ressource (author, manager, learner, etc.) ;
- **contexte** : le type de formation (continuous formation, higher education, primary education, etc.) ;
- **tranche d'âge** : tranche d'âge à laquelle est destiné ce contenu ;
- **difficulté** : détermine la difficulté de la ressource (very easy, easy, medium, difficult, etc.) ;

- **Durée d'apprentissage** : spécifie l'estimation du temps d'apprentissage moyen ;
- **Description** : décrit le contenu pédagogique ;
- **Langue de l'utilisateur** : spécifie la langue de l'utilisateur pour employer cette ressource.

Notons que les métadonnées du standard LOM ont été complétées par des métadonnées particulières. En effet, plusieurs profils du standard LOM ont vu le jour à titre d'exemple LOM-fr, SupLOMFR, etc. et qui correspondent à ce que les spécialistes appellent «profil d'application».

4.1.2. Limitations du modèle

Certes LOM a apporté une solution indéniable pour l'indexation des objets pédagogiques. Cependant, plusieurs études ont permis de montrer qu'il comporte plusieurs lacunes. Nous allons citer ci-dessous quelques limitations citées par Michel Arnaud (Arnaud, 2004) et par (Univ-paris5, 2006).

- Certains champs apparaissent trop subjectifs et difficiles à informer (par exemple la notion de densité sémantique) ;
- Certaines listes de valeurs contiennent des valeurs déterminées : par exemple, le niveau d'agrégation est de quatre ce qui induit la structure du cours doit être aussi en suivant ces quatre niveaux ;
- La difficulté de remplir les 79 champs du modèle ;
- Aucune distinction n'est faite entre unité d'apprentissage, activités et ressources, ce qui empêche leurs descriptions en tant que tels ;
- Des valeurs numériques sont choisies arbitrairement dans 1.7 et 1.8 et leur interprétation est laissée à l'auteur ;
- Etc.

Pour pallier à ces limitations, LOM a été complété par d'autres normes et standards qui permettent de décrire d'autres données des objets pédagogiques comme les activités pédagogiques et les événements (IMS LD) ou bien le séquençement et la navigation (SCORM).

4.2. La spécification IMS-LD

IMS-LD (Instructional Management Systems learning Design) a été publié en 2003 par l'IMS/GLC. (Instructional Management Systems Global Learning Consortium et largement inspiré des travaux de Koper sur les langages de modélisation et notamment EML (Educational Markup Language).

IMS-LD utilise la métaphore théâtrale, ce qui implique l'existence de rôles, de ressources et de scénarios d'apprentissage lui-même : une pièce est divisée en un ou plusieurs actes et elle est conduite par plusieurs acteurs qui peuvent endosser différents rôles à différents moments. Chaque rôle doit réaliser un certain nombre d'activités pour achever le

processus d'apprentissage. De plus, tous les rôles doivent être synchronisés à la fin de chaque acte avant de traiter l'acte suivant.

Dans IMS LD, les activités caractérisées par des objectifs et des pré-requis possèdent une structure spécifique, utilisent des ressources et produisent des résultats. Ces résultats peuvent être réinjectés dans d'autres activités.

Le modèle IMS-LD permet de spécifier le déroulement d'une unité d'apprentissage, il utilise le LOM pour la description des métadonnées relatives aux ressources et reconnaît les objets pédagogiques comme une partie des environnements d'apprentissages. Il place également l'activité au centre du processus. La figure 10 montre les relations entre les différents concepts retenus.

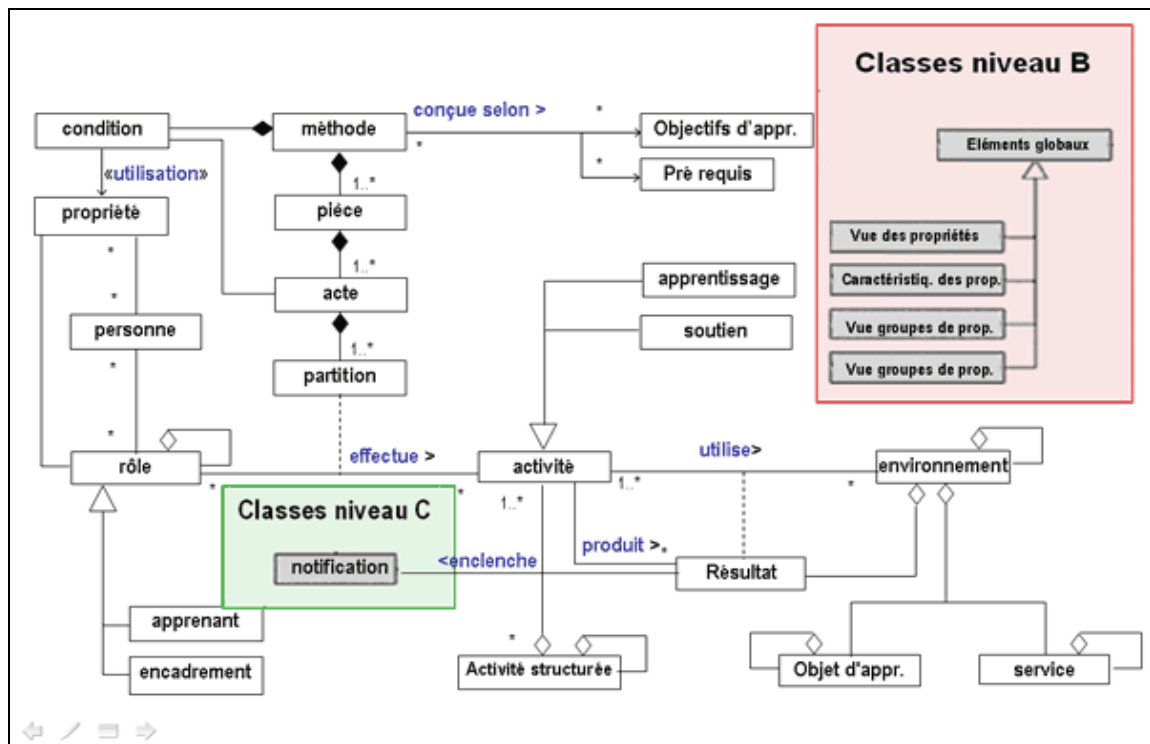


Figure 10 : Architecture de la spécification IMS-LD, Niveaux A, B et C (Burgos, 2005).

La structure d'implémentation d'IMS-LD est divisée en trois niveaux

- **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.

Le modèle IMS LD est très proche du modèle EML dont il est issu, avec quelques différences : à la place de l'unité de l'étude, il utilise le concept de l'unité d'apprentissage, il utilise aussi le concept de ressource à la place de l'objet, et enfin, une activité non seulement peut utiliser des ressources, mais peut également en produire de nouvelles. Comme pour EML, nous constatons la non couverture du cycle complet de la FOAD.

4.3. Le modèle SCORM (SCORM 2004)

SCORM (Shareable Content Object Reference Model) (Adlnet, 2006) est une spécification regroupant un ensemble de normes déjà existantes (AICC, LOM, IMS-Packaging). SCORM est proposé par "Advanced Distributed Learning", sous l'initiative de l'armée Américaine.

Le standard SCORM a été créé afin de permettre le partage et la réutilisation des objets d'apprentissage. Puisque les objets créés avec SCORM contiennent un protocole universel de communication avec plusieurs plateformes, ils n'ont pas besoin d'être recréés lorsque l'on choisit de changer de plateforme. De plus, comme SCORM intègre la spécification LOM, il est possible de rechercher un objet pédagogique dans des bibliothèques, par rapport aux métadonnées qui caractérisent son contenu.

Des logiciels auteurs permettent très facilement aux enseignants d'intégrer ses documents dans des fichiers compatibles SCORM : Dreamweaver et son extension CourseBuilder, Flash suite (Adobe) sont des exemples d'éditeurs très utilisés, pour produire des contenus sur une plateforme de formation. La production de petits composants permettant l'évaluation des élèves (QCM, phrase à trou, etc.) en étant adjoint au contenu permet de compléter un package SCORM. Plusieurs outils permettent la construction manuelle de tels packages tels que Reload, eXe, etc. Nous noterons que plusieurs plateformes de formation (Exemple Ganesha, Claroline, Moodle) importent et interfacent alors ce type d'objet pédagogique.

SCORM est composé de trois grands volets : le modèle d'agrégation du contenu (CAM), l'environnement d'exécution (RTE) et le modèle de séquençement et de navigation (SN).

4.3.1. Le modèle d'agrégation du contenu :

Le modèle d'agrégation du contenu SCORM assure la promotion de méthodes cohérentes en matière de stockage, d'identification, de conditionnement d'échange et de repérage du

contenu. Il permet aux responsables de la conception et de la mise en œuvre de la formation de regrouper les ressources appropriées dans le but d'offrir un parcours individualisé de formation. Ce volet comporte trois niveaux de méta donnés. *L'Asset* qui représente la plus petite unité de ressources pédagogiques (page web, image, etc.) qui ne communique pas avec une plate de forme de formation. Le *SCO* (Sharable Content Object) composé d'un ou de plusieurs assets, le SCO utilise l'environnement d'exécution du SCORM pour communiquer avec une plate forme de formation. Le *CO (Content Organization)* permet de représenter la structure des contenus. le CO réunit les ressources pédagogiques pour constituer une activité pédagogique.

4.3.2. L'environnement d'exécution

Cette composante décrit les exigences du système de gestion de l'apprentissage nécessaire à la gestion de l'environnement d'exécution. Elle fonctionne à partir d'un API (Application Programming Interface) et permet aux grains (SCO) de communiquer avec les plates-formes et autres applications d'une manière standardisée.

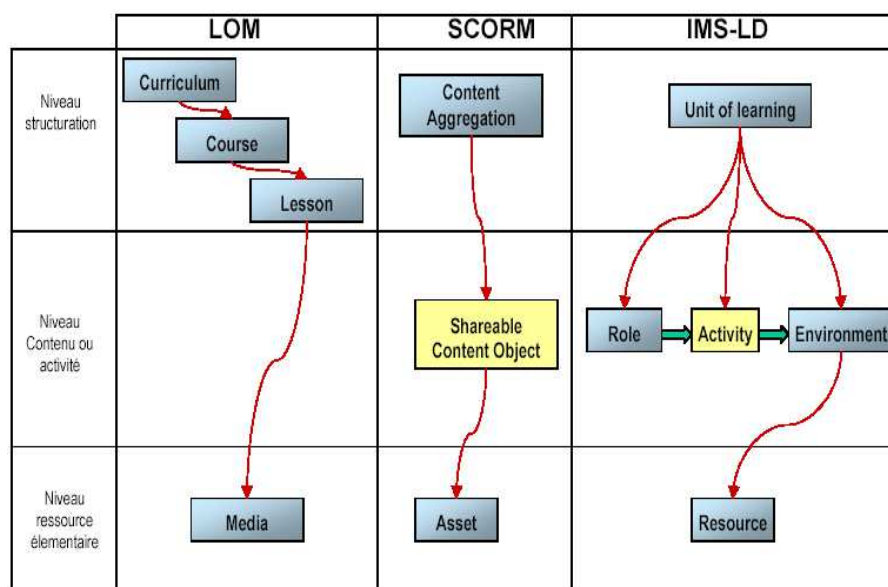
4.3.3. Le modèle de séquençement et de navigation

Basé sur l'IMS Simple Séquencing (IMS SS), ce modèle permet la coordination des activités pédagogiques en configurant le mode de parcours. IMS SS décrit le cheminement des activités pédagogiques et les conditions de sélection et d'affichage des ressources pédagogiques. IMS SS range les activités entre eux dans une organisation hiérarchique décrivant une arborescence d'activités. Un groupe d'activité (activité parente et ses enfants) comporte des règles de séquençement et des conditions de limite. Les règles de séquençement sont utilisées pour déterminer l'ordre des activités présentées à l'apprenant. Quand aux conditions de limite tels que le nombre d'essai autorisé, le temps maximum, une limite de date, sont utilisées pour déterminer les règles d'enchaînement des activités suivantes.

4.4. Synthèse

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 (du bas en haut). Le premier niveau traite uniquement le plus bas niveau d'agrégation de ces modèles. Le deuxième niveau s'intéresse aux activités et les informations liées et le troisième niveau est l'agrégation de ces activités dans des structures de plus haut niveau.

Tableau 2 : Synthèse entre LOM, SCORM et IMS-LD (Pernin, 2004)



5. Economie des Objets Pédagogiques

L'objectif principal recherché dans l'économie des OPs est de permettre aux enseignants/pédagogues d'optimiser leurs ressources, en réduisant les coûts de production et de maintenance des contenus voire même contrôler leur qualité (Battou, 2009).

5.1. Economie des objets pédagogiques

Selon Duncan (Duncan, 2003), l'économie de l'éducation permettrait de réaliser des économies d'échelle pour les communautés pédagogiques. En effet, les OPs sont assemblés dans des entrepôts publics ou commerciaux. Ils peuvent être utilisés au besoin par les enseignants et les développeurs de la pédagogie. Ainsi, au lieu que plusieurs institutions développent leurs propres matériels pour un cours commun, les matières pourraient être partagées entre institutions sous forme d'objets pédagogiques réutilisables, économisant ainsi le coût de nombreuses heures de développement individuel (Ray, 2005).

Pour cela, les enseignants et les développeurs pédagogiques sont amenés à changer leurs procédures de travail. Ils doivent adopter une nouvelle procédure en se basant sur les normes et standards des SHAD pour développer des OPs *accessibles* et/ou *retrouvables*, *réutilisables*, *interopérables* et profiter ainsi de cette économie.

Les enseignants et les développeurs pédagogiques doivent, alors, séparer le contenu du contexte pour avoir des OPs réutilisables, tout en utilisant des métadonnées, afin de rendre ces OPs accessibles et/ou retrouvables. Egalement, la réalisation et la conception

des OPs doivent prendre en considération la diversité du matériel, des systèmes d'exploitation et des navigateurs web pour avoir des OPs interopérables.

5.2. Les entrepôts d'Objets Pédagogiques

Comme cité dans le paragraphe précédant, les institutions académiques, les associations professionnelles et les corporations sont déterminées à mieux utiliser les réseaux et les bases de données afin d'atteindre effectivement et efficacement l'objectif du développement éducationnel et professionnel. Une des façons qu'ils choisissent pour réaliser cet objectif est de rendre les ressources pédagogiques accessibles pour les éducateurs et les apprenants à travers des entrepôts d'objets pédagogiques (Asselgou et al., 2008).

Pour Downes (Downes, 2002), il existe deux grands types d'entrepôts : les entrepôts qui contiennent à la fois les OPs et leurs métadonnées et les entrepôts qui ne contiennent que les métadonnées. Dans ce dernier cas, les OPs sont situés à un emplacement distant et l'entrepôt est utilisé comme un outil pour localiser les OPs. Dans le premier cas, le référentiel peut être utilisé à la fois pour localiser et livrer l'OP.

Nous citons ici quelques entrepôts qui encouragent le téléchargement et le partage de ressources pédagogiques (Smith, 2005) :

- ***Campus Alberta Repository of Educational Objects (CAREO)*** : Composé de 5000 matériels éducationnels multidisciplinaires, la base de données est accessible via le site web «<http://www.careo.org>». Ce projet canadien est reconnu comme le leader des initiatives des entrepôts des ressources pédagogiques ;
- ***Federal Resources for Educational Excellence (FREE)*** : Il contient des ressources éducationnelles numériques, contenant des idées d'enseignement, des activités instructives, des photos, des cartes géographiques, des fichiers audio, des plans de leçons. Cet entrepôt est accessible via le site web (<http://www.ed.gov/free>);
- ***Merlot*** : Ce projet est soutenu par un consortium de systèmes de collèges, universités et états. Les ressources numériques sont gratuites et ouvertes pour tous les apprenants. Conçu pour l'enseignement supérieur, la base de données comprend des liens vers plus de 10 000 matériels éducatifs en ligne. Le lien menant à cet entrepôt est : <http://www.merlot.org>;
- ***Le centre de ressources en ligne Wisconsin*** : cet entrepôt numérique contient plus de 1.000 objets d'apprentissages qui sont classés sous des catégories pour être utilisés dans certains programmes d'enseignement supérieur. Ces catégories incluent l'enseignement général, l'anglais comme langue secondaire, la santé, le développement professionnel, des didacticiels techniques, etc. Cet entrepôt est hébergé sur le site web : <http://www.wisc-online.com>.

6. Conclusion

La question de la création de ressources numériques et l'utilisation des métadonnées pour individualiser les enseignements est particulièrement d'actualité. Ainsi, comme présenté dans ce chapitre, plusieurs travaux ont été consacrés à la proposition des outils et des méthodes pour cerner ces deux problématiques.

Ce chapitre a essayé de faire une mise au point sur la terminologie utilisée dans les SHAD, notamment les termes «ressource pédagogique» et «objet pédagogique». Par ailleurs, nous nous sommes intéressés à la question des métadonnées, aux technologies associées et leurs importances pour l'individualisation de l'apprentissage, tout en passant en revue quelques standards et normes pour la création des contenus pédagogiques. Ainsi, nous avons présenté les définitions les plus répandues dans la littérature des OPs. Après, nous nous sommes focalisés sur les objets pédagogiques en présentant leurs caractéristiques, propriétés, principes de conception et technologies liées. Nous avons par la suite, passé en revue les métadonnées, les technologies associées et leurs apports pour les systèmes d'individualisation de l'apprentissage. En suite, nous avons fait le tour des standards les plus répandus pour la création et l'indexation des contenus pédagogiques. A la fin de ce chapitre, nous avons présenté l'approche de l'économie de l'éducation avec les OPs et les entrepôts des OPs les plus répandus.

Le chapitre suivant présente une suite du présent chapitre dans la mesure où il s'intéressera à deux importantes caractéristiques des OPs : *la granularité* et *la réutilisabilité*. Vu l'importance de ces caractéristiques et leurs impacts indéniables dans l'adaptabilité, nous avons jugé intéressant de leurs consacrer le chapitre suivant.

Chapitre 5 : Granularité, Réutilisabilité et Adaptabilité

Nous avons présenté dans le chapitre précédant les grandes caractéristiques des OPs (propriétés, principes de conception, standards, métadonnées, etc.). Nous avons également montré l'importance de ces éléments que ce soit au niveau de la recherche des OPs, le séquençement des contenus, etc.

Dans ce chapitre, nous nous intéressons plus particulièrement à deux principales caractéristiques des OPs : *la granularité* et *la réutilisabilité*, avec comme objectif principal d'assurer une meilleure *adaptabilité* des contenus pédagogiques.

Rappelons que la notion d'adaptabilité, comme nous l'avons présenté avant (§ chapitre 2), renvoie à la capacité des systèmes à s'adapter automatiquement à chaque instant, aux *besoins*, aux *objectifs* et aux *préférences* d'un apprenant donné. Notons également que plusieurs modèles d'adaptabilités ont été présentés. Ce qui nous intéresse dans cette partie, c'est l'influence de la *granularité fine* et de la *réutilisabilité* des OPs sur l'*adaptabilité* requise par les SHAD.

Les notions de réutilisabilité et de granularité sont considérées comme les plus importantes propriétés des OPs (Wiley, 1999). La granularité des OPs, c'est l'une des propriétés les plus discutées dans la littérature. La confusion sur cette notion comme un attribut important des OPs est, à notre connaissance très apparente comme souligné dans (Abdul Karim, 2007). Dans ce cadre, plusieurs questions peuvent être posées, à savoir, par exemple de quelle taille devrait être un OP ? Et comment mesurer cette taille en terme d'octets (ou taille physique) ou bien en minutes (ou temps d'exécution) ?

Pour la notion de la réutilisabilité, elle permet, quand à elle, la mise en place d'une nouvelle économie de l'éducation sur l'usage des OPs (§ chapitre 4).

La relation entre ces deux propriétés est illustrée par une équation simple mais efficace comme présenté dans (Silveira, 2005) : *plus un OP est granulaire, plus il devient réutilisable*.

Ainsi, comme l'impact de la granularité est directement lié à la réutilisation, le problème le plus difficile que rencontrent les concepteurs d'OP est la taille d'un OP qui doit assurer sa réutilisabilité. Ce problème devrait être au centre de l'intérêt des concepteurs des OPs.

Le but de ce chapitre consiste dans un premier temps à expliciter les notions de granularité fine et de réutilisabilité en tant que propriétés inhérentes aux OPs. Dans un deuxième temps, nous proposons une reformulation de la notion de granularité pour

améliorer l'adaptation dans les SHAD. Cette reformulation nous sera utile pour le développement attendu du chapitre suivant.

Nous introduirons ainsi la signification des notions «granularité» et «réutilisabilité». Puis, nous explorons les différentes approches de la granularité en présentant des modèles de contenus tout en discutant leurs limites. La dernière section est consacrée à la présentation et la discussion de notre approche de granularité que nous considérons intéressante pour définir une granularité fine.

1. La granularité / réutilisabilité

Nous proposons dans cette section une première approche des notions de granularité et de réutilisabilité en les définissant avec l'appui de quelques travaux relevant du domaine.

1.1. La granularité/agrégation

La granularité est le niveau de découpage, restant cohérent et compatible, d'un contenu pédagogique en une série d'items élémentaires, appelés grains pédagogiques. Ces grains pédagogiques, appelés aussi granules, peuvent d'un autre côté être recombinaison et assemblés pour créer des parcours pédagogiques cohérents. Ainsi, le principal enjeu de la granularisation est le découpage et la (re)combinaison. L'objectif de ce processus est de réutiliser et de redistribuer les grains pédagogiques résultants dans des parcours pédagogiques adaptés aux apprenants.

Par ailleurs, la granularité d'une ressource d'apprentissage implique une complexité, dans deux sens *technique* et *pédagogique*. La granularité peut signifier soit un niveau d'agrégation d'une ressource d'apprentissage soit une fonctionnalité éducative qu'elle fournit (Meyer, 2008).

La notion de «granularité» et celle de «l'agrégation» sont si étroitement liées. L'agrégation réfère à la manière dont les OPs sont assemblés en structures plus importantes pour faciliter l'enseignement. Tandis que, la granularité renvoie à la taille d'un OP.

Les approches soutenant la notion de granularité, doivent prendre en considération les possibilités d'agrégation des OP créés. En effet, les différentes possibilités dépendent étroitement de la manière de découper ces OPs c'est à dire de leurs granularités.

1.2. La réutilisabilité

La notion de la réutilisabilité des OPs est dérivée de la notion des modèles orientés objet de la programmation de logiciels. Un OP réutilisable est un petit bloc distincts d'un contenu éducatif qui est autonome, qui peut être regroupé avec d'autres OPs pour former des OPs complexes et/ou séquences pour créer de nouvelles expériences d'apprentissages (Elliott et al., 2007).

Les notions de réutilisation et de réutilisabilité sont étroitement liées à la définition d'un Objets Pédagogiques (Meyer, 2008). Pour qu'un OP soit réutilisable, plusieurs dimensions sont à prendre en compte (technique, pédagogique, socio culturelle, etc.). Nous allons présenter dans ce qui suit les dimensions qui nous intéressent le plus dans le cadre de cette thèse à savoir la dimension pédagogique et la dimension technique.

La réutilisabilité d'un OP du point de vue pédagogique, désigne que cet OP qui est pédagogiquement conçu pour atteindre un objectif initial, peut atteindre d'autres objectifs pédagogiques dans des contextes éducatifs différents. Pour ce, un OP doit être autonome et séparable du contexte d'utilisation (§ 3.2 chapitre 4). Du point de vue technique, pour qu'un OP soit réutilisable techniquement, il doit répondre aux critères suivants : l'interopérabilité, la disponibilité et l'accessibilité (§ 3.1 chapitre 4).

Pour que la réutilisabilité ait un spectre plus large d'utilisation, il ne faut pas qu'elle se limite seulement au plus bas niveau de granularité. La notion de réutilisabilité doit accompagner les différents niveaux de granularité/agrégation. Meyer (Meyer, 2008) a introduit le terme de *réutilisation multi-granularité (multi-granularity reuse)* d'une ressource pédagogique pour désigner la réutilisation des ressources d'apprentissage et de tous leurs fragments réutilisables à plusieurs niveaux de granularité en tant que modules. Avec cette notion, toutes les ressources d'apprentissages de tous les niveaux d'agrégation d'un modèle de contenu peuvent être réutilisées.

Dans la suite, nous étudions les approches les plus citées dans nos lectures bibliographiques et supportant les deux notions présentées ci-dessus.

2. Modèles de contenus et granularité

D'après nos lectures bibliographiques, nous avons deux grandes approches. La première approche, soutenue par plusieurs auteurs notamment (Wiley, 2000a; South et al, 2000; Mortimer, 2002; Barron, 2002; Polsani, 2003; Downes, 2003; Balatsoukas et al., 2008), est centrée sur le contenu. La granularité d'un OP est liée au nombre de concepts combinés dans cet OP. Un OP est dit granulaire et par conséquent a un très grand potentiel de réutilisation s'il contient un seul concept de base.

La deuxième approche, soutenue par plusieurs spécifications et organismes de normalisation (IMS Global Learning Consortium, IEEE LTSC, etc), se base sur une définition de la granularité centrée sur les médias. La granularité d'un OP est directement liée aux médias qui représentent les plus petites unités qui vont être combinées pour créer des OPs plus grands. Cette approche utilise la notion de niveau d'agrégation au lieu de granularité et propose des modèles de contenus pédagogiques qui fournissent un moyen pour définir la structure, c'est-à-dire le niveau d'agrégation des objets pédagogiques.

Dans ce qui suit, nous allons détailler ces deux approches dans une perspective comparative.

2.1. Granularité centrée contenu

Cette approche est essentiellement soutenue par Wiley (Wiley, 2000b) et South (South et al, 2000). La granularité, pour cette approche, est basée sur le contenu. Pour Wiley, la granularité d'un OP dépend étroitement du contexte dans lequel cet OP sera inséré. Déterminer le niveau de granularité d'un OP est une relation semi linéaire entre la taille d'un OP et la complexité relative au contenu pédagogique dans lequel cet OP est inséré.

Dans ce même sens, South (South et al, 2000) définit la granularité en termes de contenu du domaine d'un OP, ce qui suggère que les objets ont le plus grand potentiel de réutilisation quand ils sont centrés sur un seul concept fédérateur.

D'autres auteurs tels que (Polsani, 2003) affirment que la granularité dépend de la taille d'un OP. Mais la taille désignée par cet auteur ne peut être comptabilisée en termes d'octets ou de temps d'exposition d'un OP. La taille ici correspond au nombre d'idées/concepts qu'un OP peut transmettre. Un OP doit transmettre une ou peu d'idées. Dans le cas où un OP consiste en plusieurs idées, une de ces idées peut être principale et les autres dérivent ou dépendent directement de celle-ci. La «granularité fine» consiste alors à considérer le concept d'idée comme principe fédérateur, ce qui permet de libérer l'OP de toute considération liée à la taille tels que le temps ou la subjectivité du concepteur.

2.2. Granularité centrée média

Comme nous l'avons mentionné auparavant, cette approche utilise la notion de niveau d'agrégation au lieu de granularité et propose des modèles de contenus pédagogiques qui fournissent un moyen pour définir la structure d'un contenu pédagogique.

2.2.1. Le modèle de contenu du standard «SCORM»

SCORM, comme nous l'avons déjà mentionné, définit une structuration selon trois niveaux d'agrégation (Cf. Figure 11), en précisant trois composantes principales : *les assets*, *les SCOs* (Sharable Content Object) et *les CO* (Content Organization).

Un asset représente la plus petite pièce réutilisable d'un contenu pédagogique. Les assets peuvent être des pages Web, des animations, images, vidéos, etc. Un SCO est une entité (ou grain) de contenu qui possède un sens pédagogique, qui peut être réutilisée dans d'autres contextes et qui est reconnaissable par une plate-forme supportant SCORM. Un SCO peut être composé de plusieurs assets. Un CO permet de représenter la structure des contenus. Il réunit les ressources pédagogiques dans un *package* pour constituer une activité pédagogique.

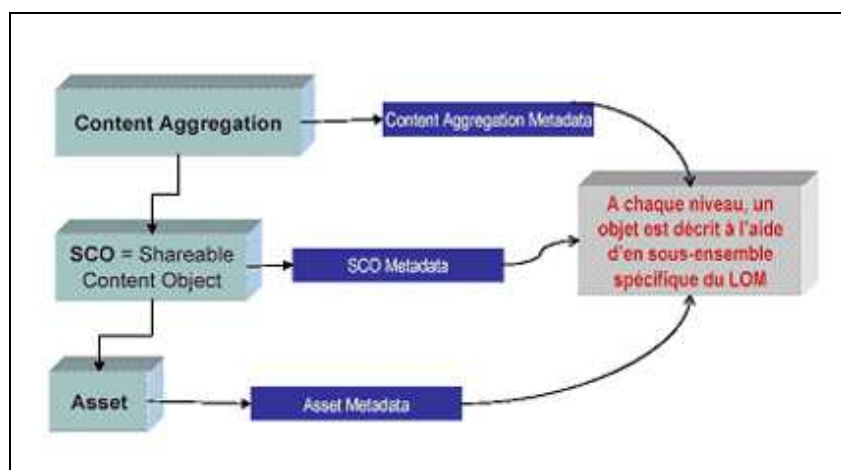


Figure 11 : Le modèle de contenu SCORM (Pernin, 2004).

2.2.2. Le modèle de contenu de «IEEE LTSC»

L'IEEE Learning Technology Standards Committee (IEEE LTSC) identifie quatre niveaux d'agrégation ou de «granularité fonctionnelle» d'un OP (Ballantyne, 2007). Ces niveaux d'agrégation sont adoptés par la norme Learning Object Metadata (LOM), l'un des travaux de recherche de l'IEEE LTSC. LOM, comme nous l'avons vu (§ chapitre 4), est un modèle ou (standard) permettant d'indexer les objets pédagogiques en utilisant des métadonnées. Le but de ces métadonnées est de permettre la réutilisation et le repérage des OPs et de faciliter leurs interopérabilités.

Les quatre niveaux d'agrégation définie par l'IEEE LOM sont comme suit:

- **Niveau 1** : c'est le plus petit niveau d'agrégation, tels que des objets multimédias ou des fragments ;
- **Niveau 2** : Il s'agit d'une collection d'OP de niveau 1, tels qu'une leçon ;
- **Niveau 3** : c'est un assemblage d'OP de niveau 2, tels qu'un cours ;
- **Niveau 4** : Le plus grand niveau de granularité qui implique un cursus de formation délivrant un certificat voire un diplôme.

Nous notons que ces différents niveaux d'agrégation définissent principalement une *granularité fonctionnelle* des OPs, mais aucune distinction n'est faite entre unités pédagogique, activités et ressources. De même aucune information n'est donnée à propos de la taille d'un OP.

2.2.3. Le modèle de contenu RIO/RLO

En 1999, Cisco Systems (Cisco, 1999) a publié une stratégie basée sur la notion «RLO/RIO». La structure d'un contenu est composée de deux niveaux de base : les RIO et les RLO. Un RIO (*Reusable Information Object*) est un granule réutilisable indépendant du format de publication. Un RIO se présente sous cinq formes : un concept,

un fait, une procédure, un processus ou un principe. Il est associé à des évaluations (généralement deux) que les apprenants passent pour évaluer leurs assimilations des différents concepts, faits, etc. Un RLO (*Reusable Learning Object*) constitue le résultat d'une combinaison de cinq à neuf (7 ± 2) RIOs, attachés à un aperçu et un sommaire pour répondre à un objectif pédagogique clairement défini (Cf. Figure 12).

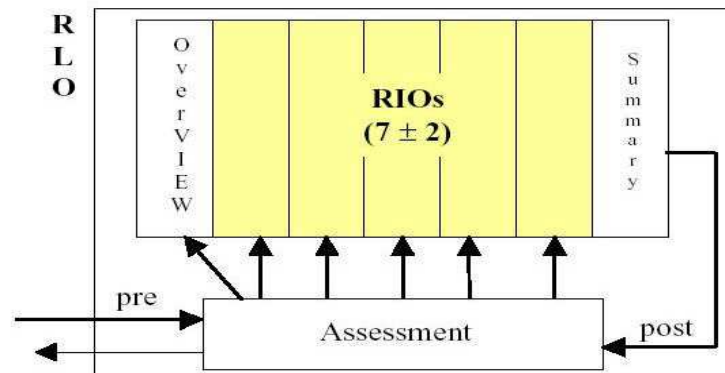


Figure 12 : CISCO RLO/RIO Model (Barrit et al. 1999).

Nous notons que les RIOs et les RLOs peuvent être représentés par différents formats tels que le format : texte, audio, animation, vidéo, applet, etc. Nous soulignons par ailleurs que pour ce modèle, d'autres niveaux de granularité fonctionnelle sont mentionnés. En effet, un cours est composé de modules, un module est une combinaison de RLOs, un RLO constitue une leçon, un RIO est un sujet composé de sous-sujets (définition, exemple, tables, etc.). Enfin, le modèle Cisco considère chaque niveau d'agrégation comme un objet pédagogique.

2.2.4. Le modèle de contenu «Learnativity»

Le modèle de contenu «Learnativity» (Cf. Figure 13) vise à démontrer comment le contenu peut être organisé pour l'e-learning et les applications de gestion des connaissances. Il illustre la relation entre les différents types et tailles de fichiers de données susceptibles de faire partie de n'importe quel dispositif de l'e-learning ou une solution de gestion des connaissances (Wagner, 2000).

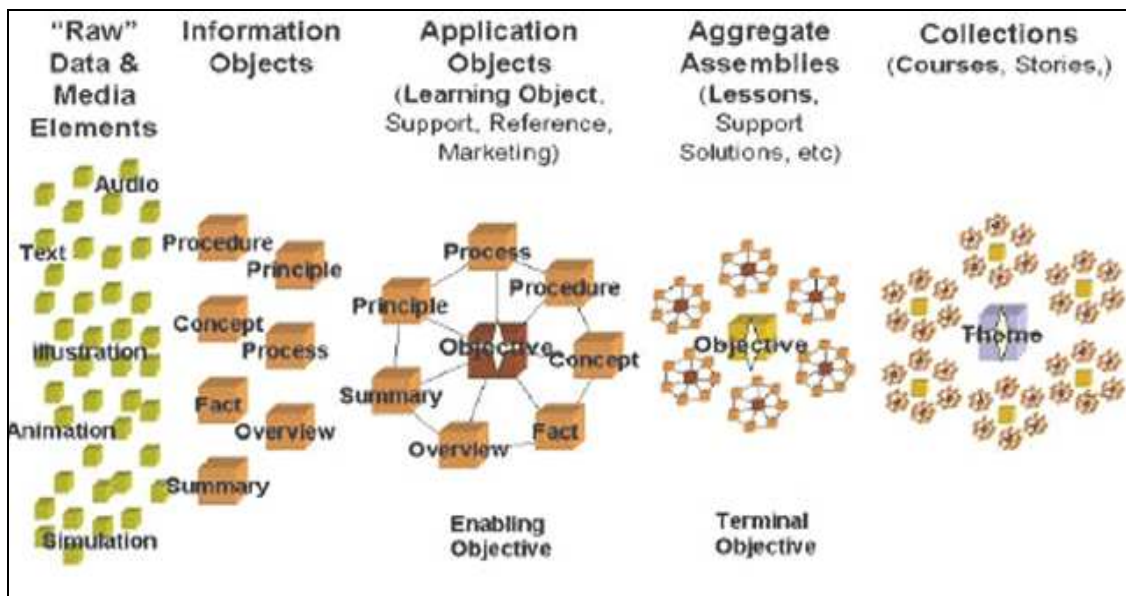


Figure 13 : Learnativity Content Model (Duval & Hodgins, 2003).

Le modèle de contenu Learnativity se compose de plusieurs niveaux :

- **Élément multimédia** : c'est le plus petit niveau dans ce modèle. Il englobe les objets multimédias élémentaires telles que des images, des illustrations, des diagrammes, des fichiers audio et vidéo, animations, etc. ;
- **Objets d'information** : C'est un ensemble d'éléments multimédias. Un objet d'information est classé en tant que concept, un fait, un processus, un principe, une référence de commande, un exercice, ou une procédure ;
- **Objets pédagogique** : présente le troisième niveau d'application des objets spécifiques: Ils sont formés en rassemblant une collection d'objets d'information pertinents réutilisables pour enseigner une tâche ayant un seul objectif pédagogique ;
- **Composante pédagogique** : Collections d'objets pédagogiques organisées et séquencées pour former des leçons et des cours, etc. ;
- **L'environnement pédagogique** : une combinaison de composantes pédagogiques avec des outils de communication et/ou d'autres caractéristiques qui facilitent un e-apprentissage et qui peut être regroupées au sein d'un environnement pédagogique.

D'autres approches sont également citées dans la littérature, nous citons, à titre d'exemple, l'approche basée sur le temps d'exécution comme critère de granularité des OP. Cette approche soutenue par le centre Wisconsin (WISC, 2009) qui stipule que le temps d'exécution/consultation d'un OP ne doit pas dépasser 15 minutes. Une autre approche est aussi citée dans la littérature qui se base sur la taille d'un OP en termes de

bit. Nous pensons que ces deux approches sont un peu dépassées comme elles ne réfèrent ni au contenu ni à la présentation d'un OP.

2.2.5. Récapitulatif des modèles de contenus présentés

Pour résumer la partie précédente, nous avons rassemblé les différents modèles de contenus présentés ci-dessus dans un tableau récapitulatif (Cf. tableau 3).

Tableau 3 : récapitulatif des différents modèles de contenu étudiés dans les paragraphes précédents (inspiré du travail de Balatsoukas et al., 2008)

	<i>SCORM</i>	<i>IEEE LTSC LOM</i>	<i>CISCO RIO/RLO</i>	<i>LEARNATIVITY</i>
Granularité	Asset	Niveau 1		Elément multimédia
	SCO	Niveau 2	RIO /RLO	Objets d'information Objets Pédagogique
	COs	Niveau 3 Niveau 4	Module cours	Composante Pédagogique L'Environnement Pédagogique
				Réutilisabilité

Ce tableau met en évidence la relation entre les plus importantes caractéristiques d'un OP à savoir la granularité et la réutilisabilité. Ainsi, plus on a de petits éléments pédagogiques (asset, élément multimédia, etc.), plus la possibilité de réutilisation dans des contextes différents augmente. En outre, plus on a un haut niveau d'agrégation (cours, composante, etc.), plus les contenus dépendent de leurs contextes et leurs réutilisations dans d'autres contextes deviennent plus difficiles (Battou, 2010).

2.3. Limites des approches présentées

Les différentes approches, présentées dans les parties précédentes, ont essayé de décomposer les contenus en un ensemble d'items ou de blocs élémentaires ayant un sens, appelés aussi grains pédagogiques. Les grains définis, bien qu'ils puissent être réutilisables dans d'autres contextes, ne répondent probablement pas complètement au concept de «granularité fine» que nous allons présenter par la suite. En effet, à notre avis une «granularité fine» consiste à combiner à la fois le concept de sens en termes d'idée portée par le grain, la taille et le type de média comme principe fédérateur.

Pour la première approche centrée contenu, elle définit la granularité d'un OP en se basant sur le nombre de concepts et d'idées combinés dans cet OP sans apposer aucune restriction sur ce nombre ni le type (complexe, facile, peu complexe). En effet, un concept d'un domaine donné peut contenir plusieurs idées avec différents niveaux de complexité. Ce qui permet plusieurs autres possibilités de découpage de ce concept en des sous-concepts ou d'idées simples.

Par ailleurs, cette approche ne prend pas en considération la présentation d'un OP qui peut contenir différents formats c'est-à-dire qu'un OP peut contenir en même temps du texte, image, vidéo, etc., puisqu'il n'y a pas de restriction ni sur la présentation ni sur le contenu de l'idée à présenter. A notre avis cette approche ne permet pas de définir la granularité fine que nous cherchons à atteindre pour assurer une meilleure adaptabilité des contenus d'apprentissage.

En ce qui concerne la deuxième approche, chaque modèle est un profil spécifique. Un OP définit dans un modèle ne peut être réutilisé dans un autre modèle.

Pour le modèle SCORM, il présente trois niveaux : les Assets, les SCO et les CO. Les Assets et les SCOs répondent plus au moins aux critères de réutilisabilité, contrairement aux COs qui ne peuvent pas être réutilisables vu qu'ils dépendent d'un ensemble de règles de séquençement et de navigation. En outre, SCORM ne prescrit ni la taille ni le contenu d'un SCO.

Quand au modèle LOM, il définit quatre niveaux : des objets multimédias ou fragments, des leçons, des cours et des cursus. Pour une adaptabilité assez fine, seuls les objets multimédias peuvent répondre aux critères de réutilisabilité. Les niveaux d'agrégation proposés par LOM sont généraux et vagues. Les valeurs utilisées pour la description des niveaux sont laissées à l'interprétation des créateurs de métadonnées.

En ce qui concerne le modèle CISCO, il propose une structure de contenu composée de deux niveaux de base : les RIO et les RLO. Un RIO se présente sous cinq formes un concept, un fait, une procédure, un processus ou un principe, et associé à des évaluations. Ce modèle définit strictement la composition d'un OP (RLO) : 7±2 RIO. Le modèle Cisco considère chaque niveau d'agrégation comme un OP. Ceci élargit la portée d'un OP et ne précise pas sa position exacte dans la hiérarchie.

Le modèle Learnativity, quand à lui, il définit cinq niveaux d'agrégations, élément multimédia, objet d'information, objet pédagogique, composante pédagogique et environnement pédagogique. Ce modèle ne fournit pas de détail sur la taille d'OP ou la composante pédagogique.

Dans tous ces modèles, le premier niveau (Asset, Objet multimédia ou RIO) ne peut vraiment correspondre au critère de sens que si les grains étaient associés à des objectifs pédagogiques. Le critère de taille n'est pas forcément pris en compte et dépend généralement du concepteur. En effet, dans la plupart de ces modèles aucune information n'est donnée à propos de la taille ni de la densité sémantique (nombre d'idées) d'un objet pédagogique. En plus le niveau de définition d'un OP, diffère d'un modèle à un autre. D'où la non homogénéité de ces modèles. Ce qui entrave la réutilisation d'un OP d'un modèle dans un autre modèle.

En ce qui concerne les approches liées à la taille de l'OP et le temps d'exécution/consultation, nous pensons que ces approches ne répondent pas à la granularité fine recherchée. En effet, ces approches ne prennent pas considération l'évolution technologique qui accompagne le domaine d'apprentissage. Nous avons actuellement des outils, par exemple les outils de compression et de traitement d'images

animées et de séquences audio, qui permettent de minimiser la taille des contenus sans toucher à leurs densités sémantiques. Ainsi, nous pouvons avoir des OPs dont la taille est très petite, mais qui ont une densité sémantique très élevée. Prenons l'exemple d'un cours complet d'un domaine donnée présenté sous format d'un fichier XML. La taille de ce fichier ne dépassera pas les quelques octets mais ce fichier ne répond pas aux critères de granularité présentés ci-dessus.

La partie suivante s'intéressera à la présentation d'une nouvelle vision de granularité/agrégation des OPs.

3. Proposition d'une nouvelle approche granulaire des OPs

Comme nous l'avons cité auparavant, différents travaux de recherche dans le domaine des EIAH se sont intéressés aux modèles de contenus basés sur les objets pédagogiques. La façon de découper les contenus diffère d'un modèle à un autre. La technique la plus utilisée est l'agrégation. La notion de «Granularité» est presque absente, à part dans quelques travaux (§ section 2 de ce chapitre). Dans ce qui suit, nous allons exposer notre proposition d'une approche granulaire fine et nous allons étudier par la suite son impact sur l'adaptabilité tant recherchée dans les SHAD avant.

3.1. Nouvelle approche d'une granularité fine

Notre vision de la notion de granularité s'est inspirée de plusieurs approches de granularité des OP. Notre approche prend en compte les critères de taille en termes de temps d'exécution, d'idées et de médias. En outre, nous proposons une structuration sémantique des contenus pédagogiques.

Pour cette approche, la notion principale est le fragment qui correspond à la notion d'OP. Il peut être une introduction, une évaluation, un exercice, une synthèse, une remarque, une motivation, une définition, un exemple, etc. Chacun de ces fragments est présenté par des briques multimédias : texte, image, son, vidéo, simulation, animation, etc. Un fragment a une taille en termes de temps d'exécution ou de consultation de la brique multimédia correspondante. Le temps d'exécution/consultation d'un fragment ne doit pas dépasser 15 minutes. En outre, elle doit transmettre une idée simple et elle est décrite par une seule brique multimédia. La notion de fragment que nous utilisons est abstraite. Elle correspond à la notion de brique multimédia auquel on ajoute un objectif pédagogique et une description sémantique.

L'approche que nous adoptons se situe entre plusieurs approches. En effet, elle propose une agrégation fonctionnelle composée de quatre principaux niveaux : cours, documents, fragments et briques multimédia (Cf. Figure 14).

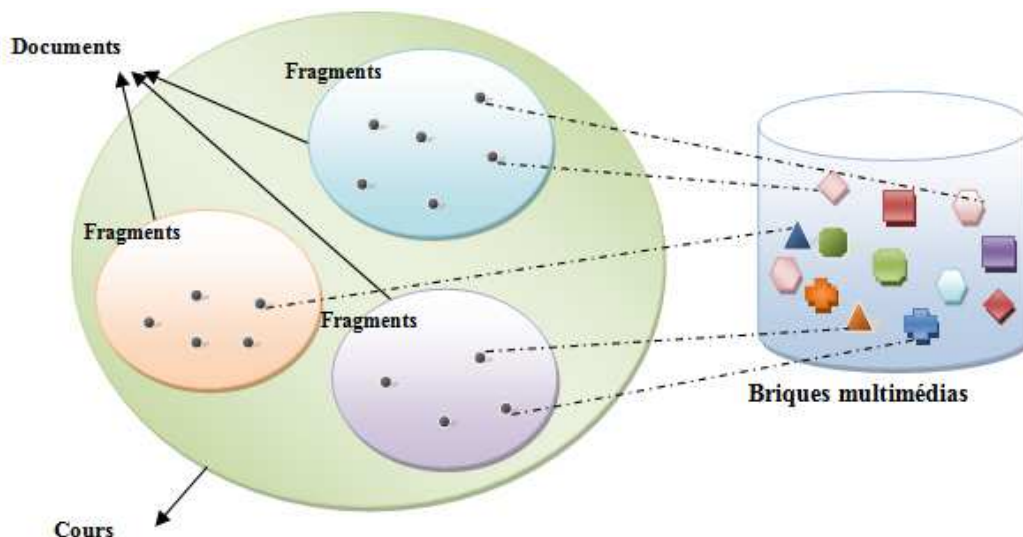


Figure 14 : Proposition d'un modèle de contenu.

Les briques correspondent aux Assets de SCORM et aux objets multimédia de LOM, mais en supprimant l'instance liée à une page web, qui n'est pas considérée comme assez fine puisqu'elle peut présenter plusieurs idées et avoir une grande taille. Les fragments dans notre modèle (introduction, définition, exemple, exercice, paragraphe, remarque, évaluation, synthèse, ou illustration, etc.) peuvent correspondre à la notion de RIO définie dans le modèle CISCO. En prenant comme exemple le fragment de l'introduction, il peut être présenté par le texte, contient une idée qui est introduire le sujet du contenu d'apprentissage. Aussi, le temps de la durée de la lecture de l'introduction ne doit pas dépasser 15 minutes au pire (dans le cas où nous avons un apprenant ayant des difficultés dans la lecture).

Par ailleurs, nos grains répondent aux critères d'idée portée et de sens. En effet, les briques sont étroitement associées aux fragments. Ainsi, une définition peut être matérialisée par une image, une vidéo, un son, etc. Cela permet d'augmenter les capacités d'adaptabilité dans la mesure où les choix des briques dépendent des préférences des apprenants. De plus, les briques sont associées aux concepts du domaine grâce aux métadonnées définies. Le choix d'une brique dépend de l'état d'avancement d'un apprenant (concepts acquis, etc.), de ses préférences et de ces acquis antérieurs. Par ailleurs, le niveau sémantique lié à l'indexation permet de faciliter l'entreposage et l'amélioration de la recherche de grains répondant à une situation donnée.

Dans ce qui suit nous allons étudier l'impact de la granularité fine proposée sur la réutilisabilité et l'adaptabilité des contenus pédagogiques.

3.2. Impact de la granularité fine et la réutilisabilité sur l'adaptabilité

L'individualisation de la formation s'inscrit dans une démarche générale de recherche d'adaptation du système de formation aux besoins de l'apprenant. Elle peut se définir

aussi comme une formation sur mesure. L'individualisation désigne la possibilité pour des apprenants, à partir d'un dispositif de positionnement à l'entrée, d'effectuer des parcours pédagogiques différents selon leurs besoins et leurs objectifs personnels. L'apprenant se voit proposer un environnement et un contexte de formation (outils, contenu, mode pédagogique, calendrier...) qui s'adaptent à son niveau, ses besoins, ses préférences et lui permettent de progresser à son rythme (Educnet, 2009).

La granularité des OPs, que nous avons proposée, constitue un facteur déterminant, nécessaire mais pas suffisant (§ chapitre 2), pour permettre d'agréger et d'organiser un contenu, afin qu'il s'adapte aux préférences d'un apprenant donné. En créant ces OPs et en mettant à la disposition du monde de l'éducation des ressources de base significatives en enseignement/apprentissage, nous pourrions permettre une utilisation plus grande des ressources disponibles, une individualisation plus importante et surtout une meilleure rentabilisation du matériel développé à grands frais par les spécialistes (Jobin, 2003).

Une granularité insuffisante (utilisant par exemple de gros blocs de contenu), empêche probablement la possibilité d'intégrer et de réutiliser un contenu pédagogique dans de nouveaux contextes et dans de nouveaux SHAD. Par contre, le fait de fragmenter un contenu en plusieurs OPs de petites tailles, permet plusieurs possibilités d'adaptation (au niveau de contenu, de présentation, etc.). La première possibilité consiste à agréger et à arranger plusieurs objets pour concevoir d'autres objets plus consistants et réutilisables. La seconde possibilité est de construire et de personnaliser un OP en proposant plusieurs présentations avec des interfaces informatiques différentes. Une autre possibilité implique une classification des objets pédagogiques selon des classes d'objets (par exemple théorèmes, définitions, etc.), ce qui permet de filtrer plus facilement les OPs, d'améliorer la recherche et par conséquent d'individualiser les contenus (Battou, 2010).

Une granularité fine permet aussi d'annoter sémantiquement les différents grains, ce qui permet d'augmenter les possibilités de trouver des éléments adaptés à une situation précise.

Par ailleurs, la granularité combinée avec l'indexation joue un rôle important pour faciliter l'adaptabilité. En effet, au lieu d'ajouter des métadonnées à de gros blocs de contenus, des OPs de petites tailles sont indexés, ce qui agrandit l'espace de recherche. Cela permet également d'anéantir le silence de la recherche, qui peut être dû à une granularité insuffisante. L'adaptabilité ici consiste alors à choisir entre les différents grains ceux qui sont appropriés à une situation donnée.

Toutefois, il est à noter que la granularisation est importante tant qu'elle permet une utilisation des objets pédagogiques de façon optimale. Selon Jobin (Jobin, 2003), il faut créer des REA significatives et non granulariser des produits de façon telle qu'ils deviennent inutilisables. Ainsi, le lexique d'un manuel ou des séquences vidéo constituent des éléments suffisamment riches pour en permettre l'exploitation et ils peuvent devenir des REA. Toutefois, la définition d'un mot, une image d'un logiciel ou un problème d'un exercice constituerait des granularisations sans aucun doute beaucoup trop fines et trop coûteuses à réaliser.

4. Conclusion

A l'issue des différents points présentés dans ce chapitre, nous avons essayé d'explicitier l'importance de la granularité et de la réutilisabilité des OPs pour l'adaptabilité des contenus pédagogiques. Ce chapitre a cherché à préciser ce qu'est *la granularité fine*, en examinant quelques travaux relevant du domaine, ainsi que les normes et les standards proposés dans la littérature. Nous avons également, présenté notre point de vue sur le concept de la granularité. Le premier avantage de cette approche est sa structure sous forme de «grains» de contenus qui respecte les spécifications des normes et des standards existants (LOM, SCORM, etc.). Un autre avantage réside dans le fait qu'un même fragment ou brique multimédia pourra facilement être réutilisé dans plusieurs documents ou alors directement dans un autre contexte d'apprentissage.

Le prochain chapitre détaillera la mise en place de notre approche granulaire des OPs. Nous proposons dans ce cadre une méthodologie de conception d'un SHAD en adéquation avec les chapitres de l'état d'art développés tout en essayant de tester la validité de notre proposition.

Nous examinerons donc la conception que nous avons faites des OPs qui répondent à l'approche de granularité. Nous proposons aussi un modèle de structuration de contenu via les diagrammes de classe d'utilisation.

Ce modèle de contenu sera mis en œuvre dans le cadre de la conception et la réalisation d'un premier prototype du système ALS-CPL pour des cours de programmation en langage « C ».

Chapitre 6 : Architecture Conceptuelle d'un Système Hypermédia Adaptatif Dynamique

La première partie de cette thèse avait un double rôle qui consistait, d'une part à donner les premières spécifications des EIAH et d'autre part à présenter l'état de l'art sur ces systèmes.

Le chapitre 1 nous a en effet permis de présenter une synthèse des différents éléments liés aux EIAH, tels que leur historique, l'importance de ces systèmes, leurs caractéristiques ainsi qu'une classification de ces derniers selon le point de vue d'un certain nombre d'auteurs que nous avons synthétisé pour compléter notre démarche.

Le chapitre 2 est venu ensuite compléter ce processus en nous intéressant plus particulièrement aux SHAD. Dans ce chapitre, nous avons examiné des questions importantes liées directement au concept d'adaptabilité, aux techniques et aux méthodes utilisées pour construire des cours adaptés à un apprenant donné. Cela nous a permis de dégager trois composantes directement impliquées dans l'adaptabilité, à savoir : *le modèle de l'apprenant, le modèle du domaine et le modèle d'adaptation.*

C'est ainsi que le chapitre 3 a consisté en la présentation de l'état de l'art sur la modélisation de l'apprenant. Dans ce chapitre, nous avons surtout dégagé les approches existantes en présentant quelques standards.

Le chapitre 4 a été consacré à l'examen des différentes approches liées au modèle du domaine. Nous avons dans ce sens approché une des désignations les plus récentes des contenus pédagogiques qui est *l'objet pédagogique* en présentant : définitions, caractéristiques, principes de conception, les méthodes d'indexation et de description des OPs (métadonnées).

Tout ce développement n'est qu'une première étape par rapport à notre objectif de départ. Nous rappelons que cet objectif consiste à proposer une approche granulaire des contenus en vue de l'adaptabilité. La partie 2 de ce mémoire a été donc consacrée à cela. Dans ce contexte, le chapitre 5 nous a, par conséquent, permis de préciser notre propre point de vue sur la granularité des contenus. Nous étions amenés à proposer une approche de granularité fine des contenus en vue de l'adaptabilité. Celle-ci a été étudiée dans le contexte des nouvelles recherches sur les objets pédagogiques, en montrant l'intérêt de l'approche proposée pour l'adaptabilité. En effet, rappelons brièvement que le premier avantage de cette approche est sa structure sous forme de « grains » de contenus qui respecte les spécifications des normes et des standards existants (LOM, SCORM, etc.). Un autre avantage réside dans le fait qu'un même fragment ou brique multimédia pourra

facilement être réutilisé dans plusieurs documents ou alors directement dans un autre contexte d'apprentissage.

Devant de telles considérations, et pour atteindre notre objectif de départ, nous devons être en mesure de proposer des solutions aux points suivants :

- **décrire une structure d'adaptabilité** en dégagant les composantes fonctionnelles qui y contribuent (le modèle du domaine, le modèle de l'apprenant et le modèle d'adaptation) ;
- **décrire les niveaux d'adaptabilité de la structure proposée** en fonction de trois niveaux complémentaires : le contenu, la présentation et la navigation ;
- **présenter l'architecture générale** du système proposé ;
- **proposer la stratégie de création d'un cours adapté** à un apprenant ainsi qu'un processus permettant l'exécution et la surveillance de l'exécution du cours, ce qui constituera la partie algorithmique du modèle d'adaptation proposé.

Deux types de contributions sont alors faites dans ce chapitre :

La première contribution consiste à étudier, dans un premier temps, les structures d'adaptabilités présentes dans la littérature. Cette étude nous a permis de proposer notre point de vue sur cette notion en proposant une structure d'adaptabilité générique. Dans un deuxième temps, nous présentons dans la deuxième section, le système ALS-CPL en présentant deux architectures (macro-architecture et micro-architecture) tout en analysant le fonctionnement et les interactions de chacune de ses composantes.

La seconde contribution, décrite dans le reste des sections [3, 4, 5, 6], constitue notre apport principal dans ce chapitre. Elle a pour rôle d'analyser et de concevoir le fonctionnement et les interactions des différentes composantes de l'architecture du système ALS-CPL présenté dans la section 2.

1. Structure d'adaptabilité

Bien que la plupart des approches existantes ne parlent pas explicitement de la structure d'adaptabilité, l'intérêt est à notre avis non négligeable. En effet, une structure d'adaptabilité a pour rôle, d'une part, d'explicitier les différents éléments qui rentrent en jeu pour créer ou générer automatiquement des cours adaptés à un apprenant. D'autre part, elle permet de laisser la possibilité aux concepteurs de pouvoir situer leurs travaux en effectuant une comparaison des systèmes et des prototypes existants dans le domaine des SHAD.

1.1. Structures d'adaptabilités communes

Trois types de structures d'adaptabilités sont proposés dans la littérature. Dans la suite de cette section, nous présentons brièvement ces trois approches.

1.1.1. Première approche de la structure d'adaptabilité

La première structure d'adaptabilité présentée par (De Bra, 2001 ; Brusilovsky, 2003), consiste à décomposer un système SHAD en trois composantes principales, à savoir :

- **Le modèle du domaine** : ce modèle est composé d'un ensemble de petits éléments de connaissance du domaine. Chaque élément représente un fragment élémentaire du domaine considéré ;
- **Le modèle de l'apprenant** : représente des informations sur les préférences de l'apprenant, ses intérêts, ses attitudes et ses objectifs, ses compétences, l'historique de ses interactions ainsi qu'une classification de ces apprenants ;
- **Le modèle d'adaptation** : décrit comment un système hypermédia adaptatif effectue son adaptation.

1.1.2. Seconde approche de la structure d'adaptabilité

La deuxième structure d'adaptabilité présentée par (Martins, 2008), consiste à décomposer un SHAD en trois composantes principales avec des significations plus ou moins différentes, à savoir :

- **le modèle du domaine** : ce modèle représente un ensemble de concepts du domaine. Dans les différents SHAD, ces concepts peuvent avoir des fonctions, des poids et des significations différentes. Dans le plus commun des propositions de la littérature, chaque concept est relié avec d'autres concepts en représentant ainsi un réseau sémantique. La fonction la plus importante de ce modèle est de fournir une structure pour la représentation des connaissances de l'apprenant sur le domaine. Cette approche consiste à stocker une estimation du niveau de connaissances de l'apprenant pour chaque concept. Cette valeur peut être exprimée quantitativement, qualitativement ou sous forme probabiliste ;
- **le modèle de l'apprenant** : décrit en général les informations, connaissances et préférences d'un apprenant. Cette composante permet d'extraire et d'exprimer des conclusions sur les traits caractéristiques de l'apprenant considéré ;
- **le modèle d'interaction** : représente et définit l'interaction entre l'application et l'apprenant. Les données stockées dans le modèle d'interaction sont utilisées pour en déduire les caractéristiques des apprenants, mettre à jour l'objectif et valider le modèle de l'apprenant. Pour cela, cette composante contient des mécanismes d'évaluation, d'adaptation et de déduction.

1.1.3. Troisième structure d'adaptabilité

La structure d'adaptabilité présentée dans le cadre du projet GAF⁴ (Knutov, 2011), vise à développer un nouveau modèle de référence pour la recherche d'informations et de ressources adaptées à un utilisateur dans le cadre des hypermédias adaptatifs. Ce nouveau

⁴ GAF : Generic Adaptation Framework.

modèle a envisagé de nouvelles évolutions, des techniques et des méthodologies dans le domaine des hypermédias adaptatifs. Il propose les composantes suivantes :

- ***un modèle du domaine*** : ce modèle est composé d'une structure de connaissances du domaine sous forme d'une ontologie de concepts et d'un ensemble d'index ou de mots-clés permettant la recherche des ressources (y compris celles provenant du Web) ;
- ***un modèle de contexte*** : il définit les propriétés de l'utilisateur et de son contexte tels que l'adresse IP, le profil de l'utilisateur/stéréotype, ou la recherche et l'historique de ces recherches;
- ***un modèle du groupe*** : ce modèle a pour rôle de maintenir le profil de collaboration de l'utilisateur ou les résultats de recherche par localisation du groupe d'âge, le sexe de l'utilisateur, etc. Il est utilisé pour classer et recommander des résultats des recherches;
- ***un modèle de l'utilisateur*** : il stocke l'historique de recherche de l'utilisateur, il est utilisé pour reformuler les requêtes de recherche et/ou retrouver des résultats personnalisés.
- ***Un modèle d'adaptation et d'application*** : ce modèle désigne un moteur de recherche et des mécanismes de classement des ressources. Il sert aussi à adapter les résultats des recherches en proposant un filtrage et un classement adaptés à l'utilisateur, en fonction du modèle du domaine, du modèle de l'utilisateur et du modèle de contexte ;
- ***Un modèle de présentation*** : il sert à afficher les résultats des recherches de façon adaptée à l'utilisateur. Pour cela, il applique des méthodes et des techniques de présentation et de navigation qui consistent à classer et à ordonner les ressources (par exemple, en soulignant les résultats dans la liste, résumant les résultats, permettant la navigation dans la liste, présentant des liens contextuels et non contextuels, utilisation des annotations, etc.).

1.2. Proposition d'une structure d'adaptabilité générique

Dans les deux premières approches présentées ci-dessus, nous pouvons distinguer quelques différences liées à la terminologie utilisée, mais aussi aux composantes fonctionnelles d'une structure d'adaptabilité. L'analyse de ces approches montre une certaine complémentarité. Par exemple, pour le modèle du domaine, la première approche parle de petits éléments de connaissances ou fragments, sans faire référence aux concepts du domaine, largement décrits dans la seconde. En effet, dans la seconde approche, on parle même des relations entre concepts, du poids des concepts en stockant une estimation du niveau de connaissances de l'apprenant.

Pour la terminologie, bien qu'il existe trois modèles, la deuxième approche parle du modèle d'interaction qui contient à la fois l'évaluation de l'apprenant, sa modélisation et

l'adaptation. Dans la plupart des structures d'adaptabilité, la mise à jour du modèle de l'apprenant est effectuée par une autre composante qui est le modèle d'adaptation.

La troisième approche qui se veut générique essaye de proposer un ensemble de composantes complémentaires telles que : le modèle du contexte, le modèle du groupe et le modèle d'application. Cette structure effectue également une variation dans les anciennes composantes, en proposant de nouveaux développements tels que (l'open corpus ou ressources ouvertes, les ontologies, l'adaptation en fonction du groupe, etc.), et en ajoutant un classement des techniques et méthodes d'adaptabilité plus avancées.

Comme nous venons de le voir ci-dessus, la plupart des structures d'adaptabilité présentent généralement, avec certaines différences près, les composantes fonctionnelles d'adaptation, à savoir : le modèle du domaine, le modèle de l'apprenant et le modèle d'adaptation. Elles décrivent aussi les mécanismes d'adaptation utilisés, qui sont appelées communément techniques et/ou méthodes d'adaptations. D'autres auteurs parmi les plus spécialistes parlent de niveau d'adaptation (Brusilovsky, 2003). Mais, jusqu'à nous jours aucune proposition d'une structure générique n'a été proposée.

Dans ces approches plusieurs questions peuvent ainsi être soulevées tels que : comment se fait l'adaptation des contenus en fonction du niveau choisi ? Comment le niveau agit-il sur le choix de la méthode et/ou de la technique sélectionnée ? Que doivent contenir les différentes composantes fonctionnelles pour supporter l'adaptabilité ? Pour une adaptation requise, quelle composante est concernée, à quel niveau et quelle méthode utiliser ?

De même, d'autres questions plus spécifiques à notre problématique de la granularité peuvent être posées. Parmi ces questionnements, nous pouvons citer entre autre : à quel niveau de granularité doit-on ou peut-on décomposer le contenu pédagogique pour faciliter la réutilisation ? Comment la recherche et l'accès aux grains de contenu peut-il être amélioré ? Est-ce que les métadonnées du standard (LOM) sont suffisantes pour l'indexation et l'interrogation ?

Ce paragraphe a pour but de proposer notre propre point de vue sur cette notion en essayant de synthétiser ces différentes approches. La figure 15 correspondante à cette vision, décompose la structure d'adaptabilité en deux éléments de base qui sont : les *composantes d'adaptation* et la *stratégie d'adaptation* utilisée. Les composantes d'adaptation les mêmes que celles des structures précédentes, mais avec des détails concernant leurs contenus. Par exemple, un modèle du domaine est composé de concepts, d'objets pédagogiques (avec une structuration granulaire) et des méta-données pour l'indexation et la recherche de ces éléments. Le modèle de l'apprenant contiendrait une synthèse de ce qui existe dans la littérature (tout en considérant les standards tels que PAPI-Learner et IMS-LIP), à savoir : le profil générique de l'apprenant, ses préférences, ses connaissances antérieures, l'historique des interactions, etc. Le modèle d'adaptation est bien évidemment composé d'un ensemble de règles pédagogiques pour permettre l'individualisation des différents niveaux d'adaptation qui sont : la présentation, la navigation et le contenu. Enfin, et sans vouloir trop nous attarder sur cette proposition, que nous considérons plus structurante, un dernier élément important contiendrait la

méthode d'adaptation la plus spécifique au niveau considéré. Rappelons que tous les détails de ces éléments ont déjà été présentés au chapitre 2.

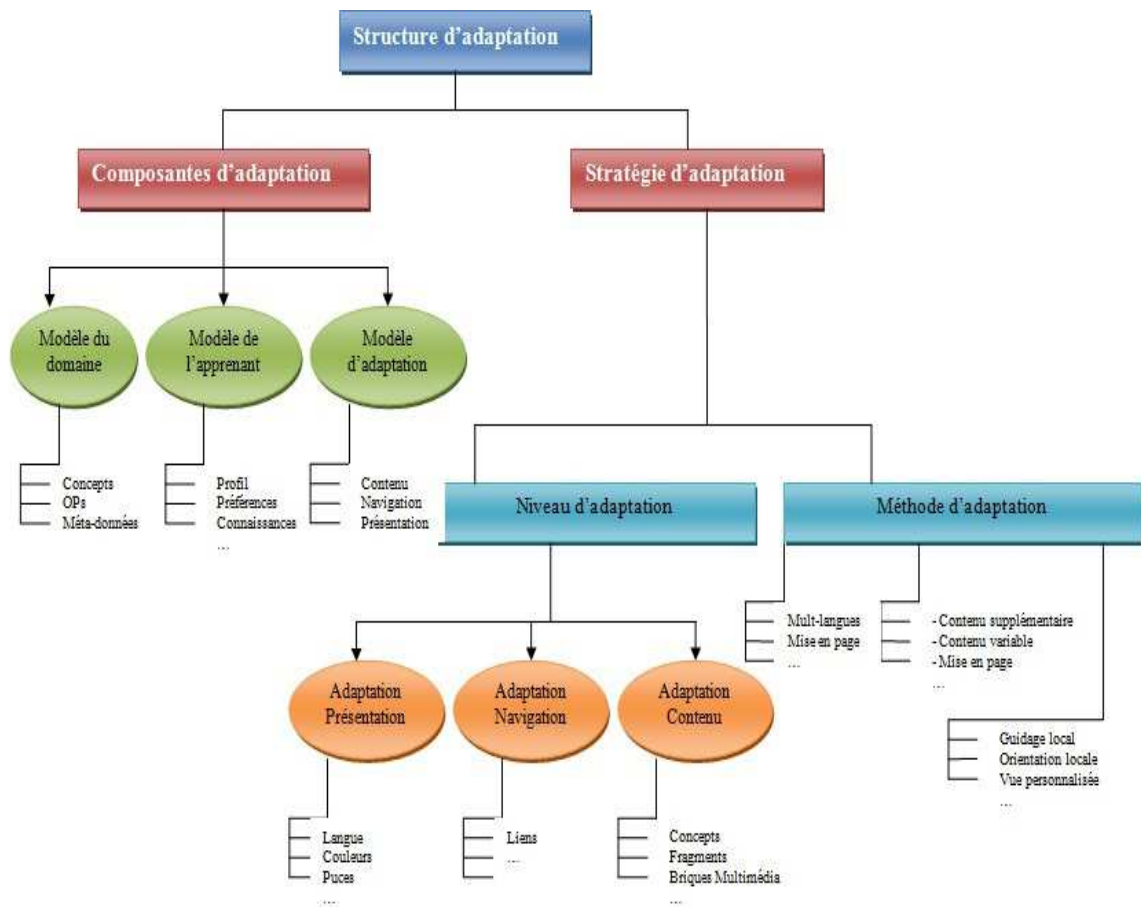


Figure 15 : Proposition d'une structure d'adaptabilité.

Dans la suite, nous nous concentrerons sur le modèle du domaine comme point de départ pour réaliser un système hypermédia adaptatif dynamique. Plus précisément, nous allons nous concentrer sur la recherche d'une meilleure façon de réutiliser le matériel pédagogique en le partageant dans des contextes différents. Nous allons montrer comment certaines des interrogations soulevées ci-dessus pourraient trouver une solution dans un nouveau modèle d'objets pédagogiques (ou modèle du domaine) utilisant la granularité fine soulevée dans le chapitre 5. C'est cette problématique que nous cherchons plus à résoudre en fonction de nos objectifs de départ.

Il est bien évident que les autres composantes sont indispensables à la proposition d'une structure d'adaptabilité complète. Nous ferons également des propositions dans ce sens, notamment pour le modèle de l'apprenant et la stratégie d'adaptation utilisée. La démarche que nous avons adoptée est une démarche modulaire qui consiste à diviser notre dispositif en plusieurs modules, de faire la conception de chaque module séparé et d'analyser leurs interactions et agrégations. L'approche que nous avons choisi pour notre démarche, est une approche itérative appuyée par le formalisme du langage de

modélisation unifié (UML). Nous utiliserons ce langage pour décrire certaines fonctionnalités de notre système, sous forme d'exemples, de cas d'utilisation, de diagrammes de séquence et d'algorithmes.

2. Architecture et description générale du système ALS-CPL

Dans cette section, nous proposons de présenter l'architecture actuelle du système ALS-CPL (Adaptive Learning System for the C Programming Language), ainsi que les différentes composantes qui le constituent, en référence à la structure d'adaptabilité développée plus haut. Nous montrons ensuite très brièvement les exigences fonctionnelles de ces différents modèles telles que nous les avons spécifiés, dans le cadre du projet ALS-PL. Bien sûr le modèle du domaine ne sera pas omis : c'est l'objet même de notre thèse, malgré que les autres modèles lui soient étroitement liés.

2.1. Macro-Architecture sous-jacente à la structure d'adaptabilité

La structure d'adaptabilité définie au paragraphe 1 montre qu'un système de type SHAD doit être séparé en trois composantes fonctionnelles : le *modèle du domaine*, le *modèle de l'apprenant* et le *modèle d'adaptation*. Ces modèles doivent interagir d'une façon ou d'une autre pour donner lieu à la création de cours adaptés à un apprenant donné. Cette section consiste à montrer les spécifications de chaque composante et ses interactions au sein d'une architecture générale du système ALS-CPL.

La figure 16 montre l'architecture fonctionnelle correspondant à la configuration actuelle du système ALS-CPL. Elle est composée d'un ensemble de modèles travaillant à la réalisation d'un objectif global. Le but d'une telle architecture, définie de la sorte, est double :

- ***augmenter la capacité de traitement du système*** en déchargeant la composante d'adaptation de certaines tâches telles que la tâche de perception, de modélisation et de diagnostic; qui sont des tâches plus ou moins complexes et qui sortent du cadre de ce rapport;
- ***permettre une forte modularité et une efficacité d'adaptabilité*** en distinguant à la fois les éléments d'adaptation, à savoir les composantes et la stratégie d'adaptation tel que nous l'avons souligné dans la première partie de ce chapitre ;
- ***présenter explicitement la stratégie d'adaptabilité*** en distinguant les niveaux d'adaptation (présentation, navigation et contenu), des méthodes d'adaptation ;
- ***structurer et standardiser au mieux le modèle de l'apprenant***, pour permettre une meilleure réutilisation générique. Ce modèle a ainsi été décomposé en deux niveaux principaux : *un niveau statique* (modifiable par l'apprenant) et *un niveau dynamique* (modifiable par le modèle d'adaptation). Nous reviendrons sur ces niveaux dans la suite.

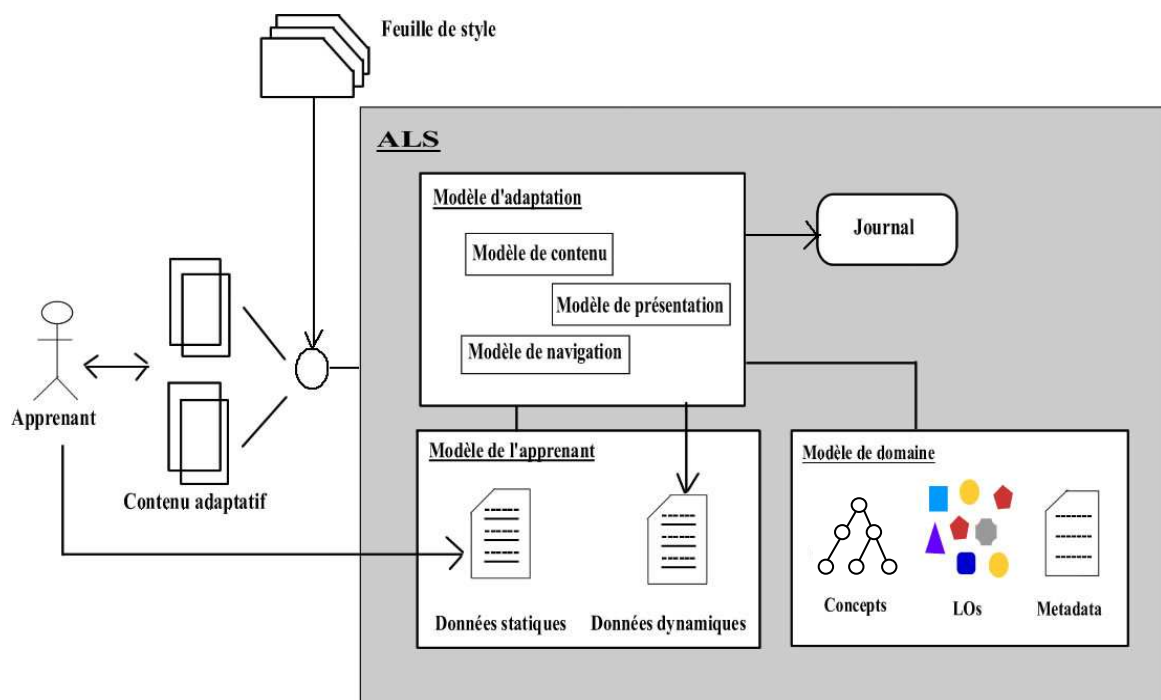


Figure 16 : Macro-Architecture du système ALS-CPL.

Pour mieux comprendre l'interaction entre les différentes composantes, bien que cela soit un peu prématuré dans notre présentation, nous proposons un premier scénario des interactions. Ainsi, une session possible avec ALS-CPL peut commencer par la composante du modèle d'adaptation. Cette composante informe la composante du domaine pour le choix d'un concept à apprendre. La composante de modélisation rentre en jeu pour proposer la liste des concepts déjà acquis. Dans le cas le plus simple, quand un apprenant interagit pour la première fois avec le système, la liste des concepts acquis est vide. Les concepts qui ne disposent pas de pré-requis dans le graphe des concepts et qui n'ont pas été acquis permettront d'initialiser la liste des concepts actifs, qui permettront donc de choisir l'objectif de la session.

Le choix d'un ou plusieurs concept(s) associés à d'autres informations venant en particulier du modèle de l'apprenant, détermine une séquence qui va ensuite être dérivée en fragments (Cf. Figure 16). Si par exemple, le modèle de l'apprenant indique que ce dernier préfère apprendre par l'exemple, la séquence sera constituée de plus d'exemples. Pour les exercices par exemple, le niveau de difficulté dépendra de l'information provenant du modèle de l'apprenant sur son niveau (débutant, Moyen, Expert). Cette séquence correspond à une séquence prototypique de fragments permettant de réaliser l'apprentissage du concept choisi. Pour chacun des fragments de cette séquence, c'est ensuite une brique multimédia qui est recherchée, là encore en fonction du modèle de l'apprenant. Si celui-ci indique que l'apprenant préfère les images et les vidéos, le système favorisera tout ce qui est multimédia.

2.2. Microarchitecture sous-jacente à la structure d'adaptabilité

En fait, la microarchitecture du système ALS-CPL (Cf. Figure 17) met en œuvre en premier lieu *l'infrastructure des objets pédagogiques et la structure des concepts du domaine* qui constituent la base du **modèle du domaine**. La composante du **modèle de l'apprenant** existe bien évidemment, et peut être utilisée en mode édition ou en exécution.

Cette architecture est par conséquent structurée en deux niveaux : le *niveau édition* et le *niveau exécution*. Le niveau de l'édition propose des services aux deux utilisateurs principaux qui sont : l'apprenant et l'expert du domaine. L'apprenant, comme nous le présenterons sous forme de cas d'utilisation, peut interagir avec le système selon plusieurs modalités : édition du profil, modification du profil et l'accès aux cours. L'expert du domaine d'enseignement peut effectuer l'édition, la visualisation et la recherche à la fois des concepts et des grains pédagogiques.

La **composante d'adaptation** quand à elle est composée de plusieurs processus : (1) le processus *recherche_fragment*, permettant de rechercher les fragments en liaison avec le concept à apprendre, (2) le processus *filtrage_fragments_briks*, qui filtre les fragments et les briques multimédias correspondants, (3) le processus d'*assemblage* qui assemble les fragments et les briques dans un fichier XML et (4) le processus de *transformation* qui transforme le fichier XML en un contenu hypermédia accessible par l'apprenant.

Nous notons, en outre, que cette composante contient deux autres processus : (1) le processus de suivi des interactions de l'apprenant avec le contenu résultant et (2) le processus de mise à jour du modèle de l'apprenant en se basant sur les interactions de l'apprenant avec le système (résultats obtenus dans les tests, nombre de clicks, temps passé dans une page, etc.).

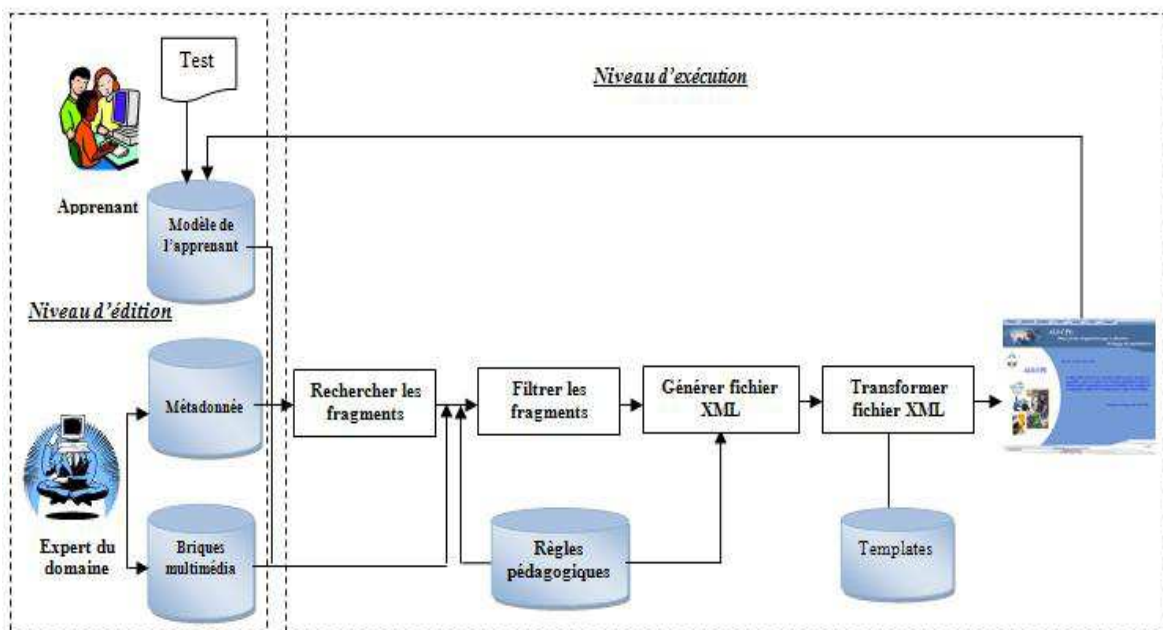


Figure 17 : Microarchitecture du système ALS-CPL.

3. Éléments de modélisation du système ALS-CPL

Le développement des systèmes hypermédias et des systèmes adaptatifs diffère généralement du processus de développement des logiciels traditionnels selon plusieurs dimensions (Koch, 2000). Ces différences sont essentiellement liées aux exigences liées aux facilités de navigation dans la structure de l'hypermédia, le rôle de l'utilisateur, les acteurs impliqués dans le développement et le processus de maintenance. Des exigences supplémentaires doivent être proposées par le processus de développement des systèmes adaptatifs, tels que la sécurité et la confidentialité, etc. ces exigences constituent une préoccupation majeure des hypermédias adaptatifs en posant des questions éthiques et juridiques, car ils permettent une identification individuelle de l'utilisateur et de ses préférences.

Si nous nous limitons aux étapes de conception, les principales différences observées entre la conception de solutions des systèmes hypermédias adaptatifs et d'autres logiciels classiques sont : *le rôle central de l'utilisateur, l'hétérogénéité du groupe de conception, la structure de l'hypertexte* composé de nœuds et de liens, *la nécessité d'aide à la navigation, le contenu multimédia, l'observation du comportement des utilisateurs* ainsi que *l'adaptation dynamique des contenus, de la navigation et de la présentation.*

Ainsi, la conception est centrée autour de trois aspects principaux provenant du paradigme de l'hypermédia et deux autres aspects des systèmes adaptatifs. Les trois premiers sont le *contenu*, la *structure de navigation* et la *présentation* dans le but de construire un modèle conceptuel du domaine, et un modèle de navigation et de présentation spécifiques à l'application. Les deux derniers sont la modélisation de l'apprenant et l'adaptation.

3.1. Méthodologie utilisée

L'analyse et la conception présentée dans la suite, comme évoqué plus haut, est basée sur le langage UML d'une part, et d'autre part sur l'approche de conception des hypermédias adaptatifs UHDM⁵ (Koch, 2000).

La méthode UHDM (Cf. Figure 18) consiste en la construction de sept modèles d'analyse et de conception. Les sept principaux artefacts liés à cette méthode consistent en la détermination des modèles suivants :

- Le modèle de cas d'utilisation qui capture les exigences du système ;
- Le modèle conceptuel pour le contenu (modèle du domaine) ;
- Le modèle de l'apprenant ;
- Le modèle d'adaptation de navigation qui comprend un modèle de l'espace et de la structure de navigation ;

⁵ UHDM : UML-based Hypermedia Design Method.

- Le modèle d'adaptation de présentation qui comprend des modèles statiques et dynamiques liés à la façon dont le contenu sera présenté à l'apprenant ;
- Le modèle d'adaptation de contenu ;
- Le modèle d'adaptation.

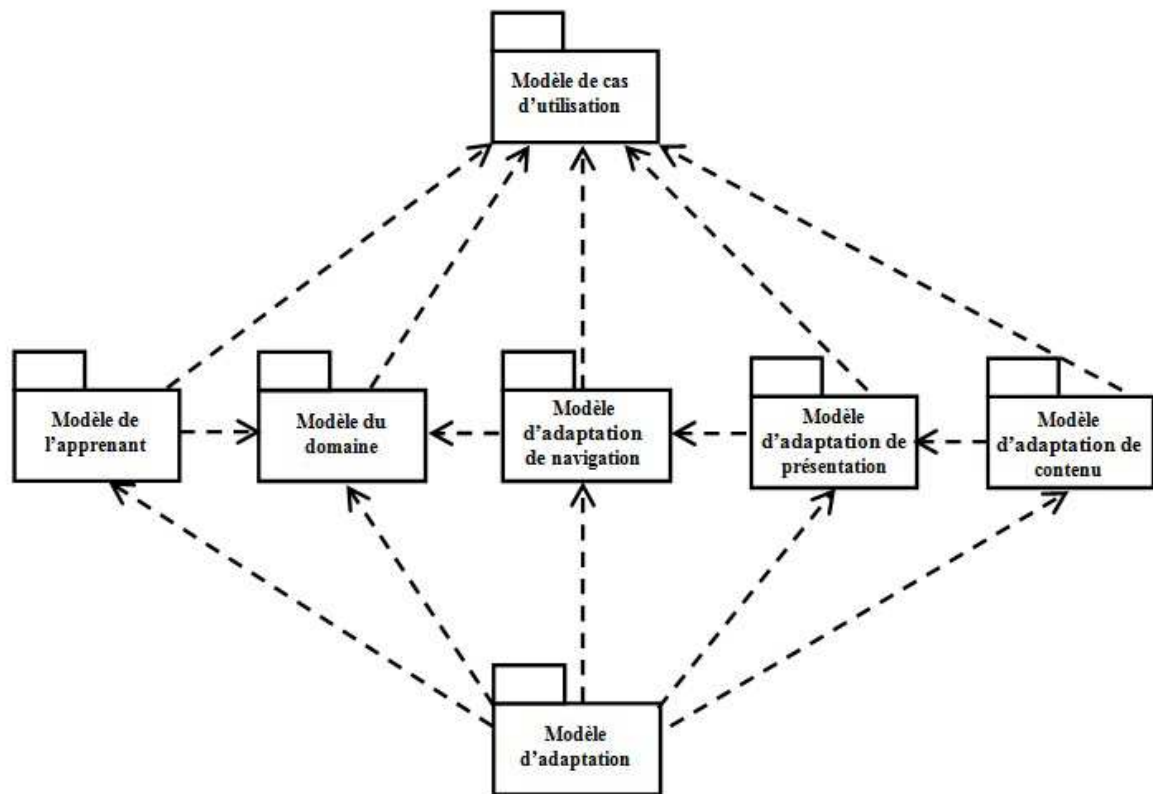


Figure 18 : Les modèles de conception et d'analyse (Inspiré de Koch (Koch, 2000)).

Dans la suite de cette partie et pour assurer une bonne représentation de ce que nous recherchons à atteindre, nous aborderons d'abord le modèle du cas d'utilisation qui capture les exigences globales du système. La section 4 présente une caractérisation des autres modèles.

3.2. Modèle de cas d'utilisation du système

Ce paragraphe propose des cas d'utilisation pour capturer les exigences du système en suivant le principe du processus de développement logiciel unifié de Booch, Jacobson et Rumbaugh (Booch et al., 1999). C'est une technique centrée sur l'utilisateur qui impose la définition des utilisateurs (ou acteurs) d'une application et offre un moyen intuitif de représentation de la fonctionnalité que doit remplir chaque acteur dans l'application. Les éléments à déterminer sont donc : les *acteurs* et les *diagrammes de cas d'utilisation*.

3.2.1. Les acteurs de l'application

Différents acteurs interviennent autour de l'environnement du système ALS-CPL, chacun avec des rôles et des niveaux d'implications différents. Il y a principalement l'enseignant, l'apprenant, l'administrateur du système et le système ALS-CPL. L'acteur ALS-CPL est utilisé pour la modélisation des cas d'utilisation, il est présenté dans tout le chapitre, bien qu'on lui réserve une description assez brève dans cette section. Nous présentons également ci-dessous les trois autres acteurs principaux.

■ L'apprenant

Le système ALS-CPL laisse une grande place à l'apprenant, qui s'inscrit dans une vision de l'éducation centrée apprenant (Dufour, 2002). Il doit par ailleurs s'exprimer sur ses intentions, sur la nature des contenus désirés, sur la pédagogie préférée et préciser ses connaissances antérieures (Derycke, 2000).

En partant de cette ouverture, l'apprenant dans le système ALS-CPL peut gérer son profil en ayant la possibilité de le créer, de modifier ou de supprimer certaines informations le concernant (Cf. Figure 19). Notons que la seule partie de son modèle qui lui est accessible est celle qui contient des *données statiques* comme nous le présenterons dans la suite. Les *données dynamiques* qui concernent son évolution dans l'apprentissage font partie de la responsabilité du système.

Pour les données statiques, l'apprenant doit tout d'abord initialiser son modèle en renseignant un certain nombre d'informations qu'on regroupe dans une classe dite *données statiques* et qui porte essentiellement sur ses données personnelles (nom, prénom, nom d'apprenant, mot de passe, etc.), ses connaissances antérieures et compétences en relation avec les concepts du modèle du domaine (concept maîtrisé, non maîtrisé, etc.), ses préférences portant sur le style d'apprentissage (visuel, auditif, etc.), type de média préféré (image, vidéo, audio), pédagogie souhaitée (par l'action, ou lecture), etc.

Concernant la navigation (Cf. Figure 19), l'apprenant a la possibilité d'accéder aux cours après authentification, en suivant un lien, lisant un contenu ou en faisant des exercices.

■ L'enseignant

Dans la très grande majorité des SHAD, trois types d'acteurs peuvent intervenir dans de tels systèmes :

- *l'expert du domaine* : il est responsable de la définition de la structure du domaine à enseigner, en proposant une ontologie des concepts à apprendre ainsi que les règles pédagogiques permettant leurs sélections par le système ;
- *le concepteur pédagogique* : cet acteur a pour rôle de définir les caractéristiques cognitives et les préférences du modèle de l'apprenant, la structure de la description des ressources (ou métadonnées), ainsi que les règles de sélection des ressources pédagogiques ou grains pédagogiques ;

- ***l'expert du contenu*** : c'est la personne qui a pour charge de développer les ressources pédagogiques en utilisant les descriptions proposées par le concepteur pédagogique.

Dans la suite de nos spécifications du système ALS-CPL, tous ces rôles ont été intégrés en un seul qui est l'enseignant. Les raisons qui nous ont conduit à cela sont au moins au nombre de deux : (1) le projet ALS-PL ne dispose pas des trois différents acteurs cités ci-dessus, bien qu'il y ait des spécialistes du domaine des EIAH, et (2) pour une simplicité de spécification, nous avons intégré ces rôles dans un et unique rôle qui est celui de l'enseignant.

En partant de ce principe, l'acteur enseignant peut intervenir dans le système de différentes façons. En suivant les interfaces conçus et développées (§ Chapitre 7), il peut déterminer le domaine à enseigner et l'enrichir avec les différents concepts et objets pédagogiques liés. En effet, il peut mettre à jour le modèle du domaine en mettant en ligne des objets pédagogiques, mettant à jour les concepts ou les métadonnées et en consultant l'historique. (Cf. Figure annexe A).

Pour la mise à jour du contenu, il peut ajouter des concepts, les supprimer, les modifier ou établir des relations sémantiques avec d'autres concepts existants. Concernant les ressources ou objets pédagogiques, il peut également ajouter, supprimer, modifier un OP ou alors ajouter les métadonnées correspondantes.

Bien évidemment, c'est l'enseignant qui intègre les deux autres rôles en proposant les règles pédagogiques de sélection des concepts et des OPs, mais aussi en spécifiant les différents attributs concernant les données statiques et dynamiques du modèle de l'apprenant.

■ **L'administrateur**

Il s'agit d'une personne qui a des qualités techniques pour la gestion du système (mise en place du système, mise à jour des comptes, etc.). Pour cela, il faut qu'il s'authentifie pour qu'il soit reconnu par le système (Cf. Figure Annexe A).

■ **Le système ALS-CPL**

Le système ALS-CPL intègre un certain nombre de fonctionnalités liées à la génération de cours adaptés au modèle de l'apprenant à sa disposition et en fonction des ressources à sa possession. En effet, cet acteur peut effectuer différentes adaptations liées notamment au contenu, à la navigation et à la présentation du contenu sélectionné (Cf. Figure 19). Pour cela, il dispose d'un ensemble de règles qu'il est censé exécuter pour arriver à l'adaptation désirée. D'autres fonctionnalités liées à l'évaluation des exercices et à la présentation des résultats sont intégrées. De même le système ALS-CPL doit effectuer la mise à jour du modèle de l'apprenant pour assurer l'évolution dans les apprentissages. Enfin, des fonctionnalités attachées à l'éthique permettent une identification individuelle de l'utilisateur et de ses préférences.

3.2.2. Les diagrammes de cas d'utilisation

Afin d'illustrer le rôle de chacun des acteurs identifiés ci-dessus, nous proposons une partie du cas d'utilisation global du système ALS-CPL. La figure 19 modélise les comportements de deux acteurs, à savoir : l'apprenant et le système lui-même en interaction avec ce dernier. Le diagramme de cas global est présenté en annexe A de cette thèse.

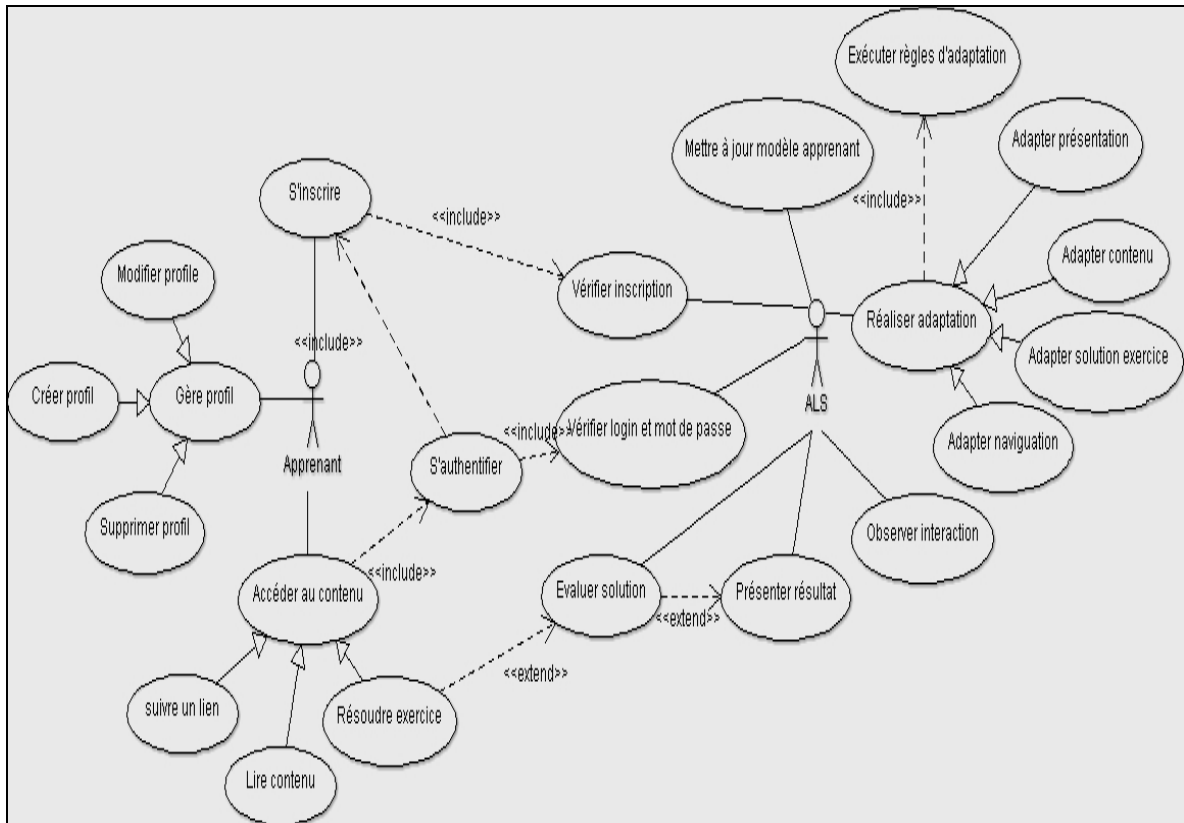


Figure 19 : Partie du diagramme de cas d'utilisation.

Pour ce diagramme, nous pouvons recenser plusieurs sous cas définis comme suit :

- **s'inscrire** : chaque utilisateur (apprenant, enseignant) du système (administrateur exclu) 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 ses données personnelle et ses préférences déclarées lors de l'initialisation de son profils ;

- ***gérer profile*** : chaque apprenant peut modifier à n'importe quel moment son profil (exemple : mots de passe, mail, adresse, etc.) ;
- ***s'authentifier*** : seul 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'opérateur et voir s'il est autorisé à accéder au système ou non ;
- ***vérifier login et mots 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 ;
- ***accéder au contenu*** : après être autorisé à accéder au cours, l'apprenant peut accéder au contenu pédagogique généré automatiquement en conformance avec son modèle ;
- ***communiquer*** : les différents acteurs du système peuvent communiquer entre eux via email, chat, forum, etc. ;
- ***mettre à jours un concept*** : chaque enseignant enregistré dans le système, peut ajouter, modifier ou supprimer un concept ;
- ***mettre à jour un OP*** : chaque enseignant enregistré dans le système, peut ajouter, modifier ou supprimer un objet pédagogique ;
- ***mettre en ligne un OP*** : chaque enseignant enregistré dans le système, peut décider sur le moment de mettre en ligne un objet pédagogique ;
- ***consulter historique*** : chaque enseignant enregistré dans le système, peut accéder à l'historique des apprenants qui suivent l'enseignement d'un domaine donné ;
- ***vérifier inscription*** : avant de valider une inscription, le système doit vérifier la conformité et la validité des champs à remplir dans le formulaire d'inscription ;
- ***gérer techniquement le système*** : l'administrateur du système est responsable de tout ce qui est technique (mettre en place système, gérer l'espace, etc.) ;
- ***mettre à jours un compte*** : l'administrateur a le droit d'ajouter, supprimer ou modifier un compte apprenant suivant une demande formulée par l'enseignant ou l'apprenant ;
- ***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 ;
- ***présenter 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 règles d'adaptation*** : avant de présenter un cours adaptatif, le système exécute les différentes règles d'adaptation renseignées dans le système ;
- ***mettre à jour le modèle de l'apprenant*** : cette action est spécifique au tuteur de dispositif d'adaptation des contenus pédagogiques. Cette action permet de modifier des données (note, niveau de connaissance, etc.) d'un apprenant donné à un moment donné pour permettre par la suite de réadapter le contenu suivant les modifications enregistrées dans le modèle de l' apprenant.

3.2.3. ***Présentation de quelques scénarii des cas présentés***

Comme nous l'avons mentionné ci-dessus, nous allons présenter dans cette partie quelques uns des scénarii à savoir *l'inscription, l'initialisation du modèle de l'apprenant et l'accès au cours*, etc. Nous allons donner également au passage quelques exemples des collaborations entre les objets constituant le domaine à travers des diagrammes de séquences.

■ **Inscription de l'apprenant**

Ce cas d'utilisation est déclenché par tout apprenant désirant suivre un cours dans notre dispositif. Quand l'apprenant clique sur un lien pour s'inscrire dans le système, ce dernier lui affiche un formulaire (§ Chapitre 7) ou l'apprenant est amené à fournir des informations pour s'inscrire, initialiser son modèle et devenir par la suite authentifiable auprès du système. Après cette opération, l'apprenant est amené à s'authentifier auprès du système pour y accéder pour choisir les actions à effectuer.

La figure 20 présente un aspect temporel de la réalisation du cas d'utilisation « s'inscrire ». Ce cas d'utilisation est le même que celui de l'authentification et de l'initialisation seul les intitulés des interfaces qui changent. Notons que l'objet acteur représente ici un acteur quelconque parmi les acteurs définis à l'analyse des besoins (apprenant, enseignant). Les objets dont l'intitulé est précédé de F_ désignent l'interface d'un objet du domaine.

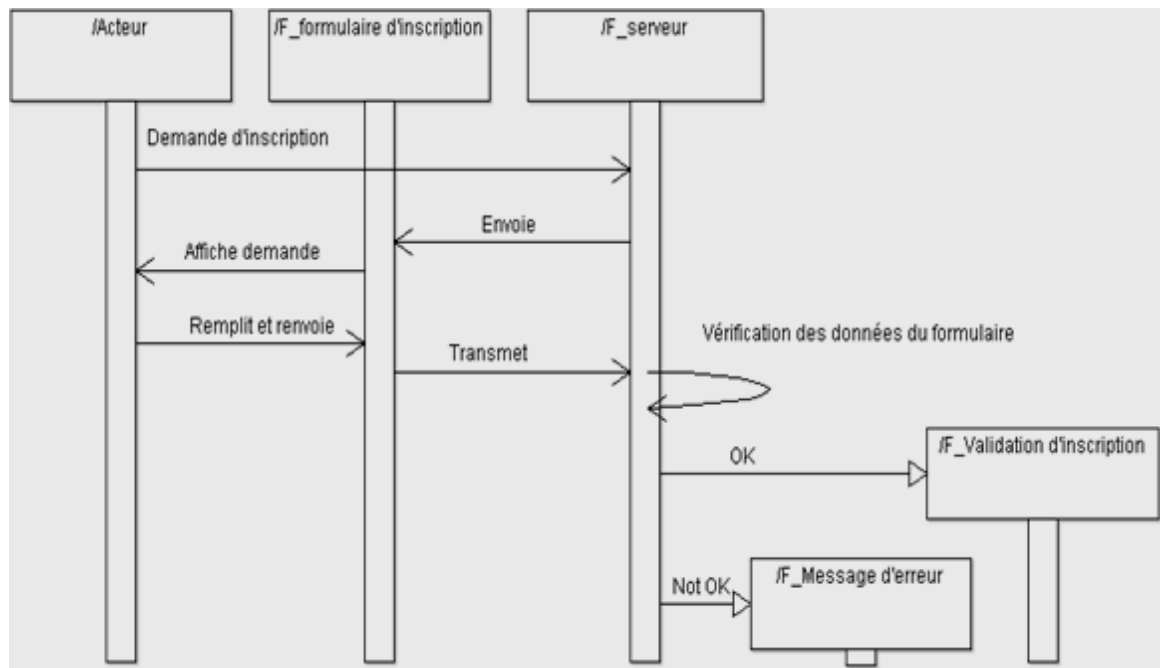


Figure 20 : Diagramme de séquence du cas d'utilisation « s'inscrire ».

■ 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.

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 l'acteur ALS-CPL.

■ Accès au cours

Lorsque l'apprenant clique sur le lien « accéder au cours », le système charge le modèle de l'apprenant correspondant, cherche les fragments liés au concept à présenter et en convenue avec les différentes caractéristiques renseignées dans le modèle de l'apprenant, exécute les règles d'adaptation, applique la Template au fichier XML résultant et présente le contenu à l'apprenant tout en observant l'interaction de celui-ci avec le cours présenté.

La figure 21 présente, d'une part, le flux des messages entre l'acteur (apprenant, enseignant), l'interface du contenu pédagogique et le système lorsque l'acteur veut accéder à un contenu pédagogique. D'autre part, le flux de messages entre le système et l'interface du modèle de l'apprenant lorsque le système veut actualiser les informations du modèle de l'apprenant en adéquation avec les changements des caractéristiques de l'acteur (données collectées de l'observation et des résultats obtenus).

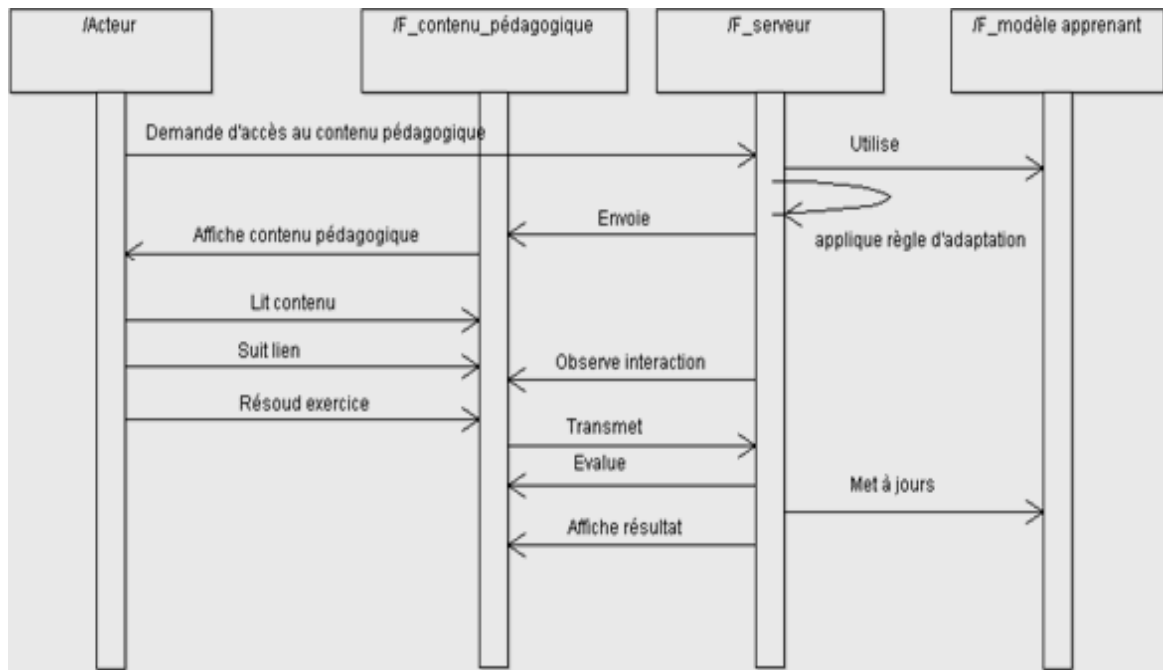


Figure 21 : Diagramme de séquence du cas d'utilisation « accès au contenu pédagogique ».

Après avoir présenté le fonctionnement global de notre système via l'analyse des besoins, nous allons à présent détailler la conception des différents modules constitutifs de notre système.

4. Caractérisation des différentes composantes du système ALS-CPL

Dans cette section de présentation générale du système ALS-CPL, nous examinons successivement les différentes composantes de la structure d'adaptabilité proposée à savoir : le modèle du domaine, le modèle de l'apprenant et le modèle d'adaptation. Nous allons présenter la conception de ces différentes composantes en incluant des spécifications détaillées de leurs différents constituants, les mécanismes mis en œuvre pour l'adaptabilité ou stratégie d'adaptabilité.

4.1. Le modèle du domaine

Dans la structure d'adaptabilité proposée au début du chapitre, la création du modèle du domaine passe par la proposition de trois éléments principaux : (1) la création d'un réseau de concepts du domaine et de leurs relations, (2) le développement des ressources pédagogiques (ou objets pédagogiques) traitant les concepts proposés et (3) la proposition de métadonnées facilitant la recherche et la récupération des OPs adaptés à un concept donné.

Nous proposons dans cette section un modèle d'objets pédagogiques offrant un modèle flexible, respectant à la fois les normes et capable de construire des contenus de façon

dynamique, à partir de fragments de base, de la représentation du domaine d'apprentissage visé et du modèle de l'apprenant.

Le modèle proposé n'est pas spécifique à un domaine d'apprentissage particulier, bien qu'il ait été conçu pour l'apprentissage des langages de programmation pour les apprenants débutants. Il présentera ainsi une structuration en termes de grains de contenus (Fragments, Briques multimédias, etc.), ainsi que les concepts du domaine visé.

Afin d'assurer une meilleure compréhension de la suite, nous inversons l'ordre de présentation des modèles de concepts et des OPs.

4.1.1. Objets pédagogiques et métadonnées

Afin de permettre une meilleure structuration (granulaire) du contenu, en appliquant les principes présentés dans le chapitre sur la granularité, nous avons décomposé notre modèle d'objets pédagogiques en deux niveaux complémentaires : le *niveau structurel* et le *niveau sémantique*.

■ Le niveau structurel

Ce niveau correspond à l'organisation structurelle du contenu (Cf. Figure 22). Dans ce niveau, le concept central est celui de document. Un document peut être un document de cours ou un document supplémentaire.

En ce qui concerne le document supplémentaire, nous avons utilisé cette notion pour rendre notre système ouvert. Il s'agit en fait des documents de cours que l'apprenant peut chercher et consulter à l'extérieur de notre système. Ces documents peuvent provenir par exemple des entrepôts pédagogiques, site web pédagogiques, etc. Cette ouverture a été choisie dans l'objectif de renforcer et d'enrichir les connaissances de cet apprenant sur le domaine d'enseignement considéré. Notons que l'apprenant peut communiquer avec son enseignant pour le guider à choisir les bons documents.

Quand au document de cours, il est généré par le système à partir d'un ensemble de fragments composés de différentes ressources pédagogiques. Un fragment, qui correspond dans notre cas à la notion d'objet pédagogique comme nous l'avons souligné avant, peut être présenté sous forme d'une introduction, une définition, un exemple, un exercice, un paragraphe, une remarque, etc. Cette liste n'est pas exhaustive. L'enseignant peut enrichir son domaine d'enseignement avec les fragments qu'il juge nécessaire pour atteindre les objectifs pédagogiques fixés au début du cours. Nous soulignons comme nous l'avons déjà fait dans le chapitre précédant, chacun de ces fragments est décrit par une seule brique multimédia et qui peut être soit du texte, une image, un son, une vidéo, une simulation, une animation. Ces briques représentent des entités concrètes indivisibles. Aussi, un fragment traite une idée simple pas complexe qui représente une notion abstraite faisant partie d'un concept du domaine d'apprentissage et sa durée d'exécution ne doit pas dépasser les 15 min.

Nous noterons, aussi, que chaque fragment permet d'atteindre un objectif pédagogique lié à une idée d'un concept du domaine de la formation considéré.

■ Le niveau sémantique

Le niveau sémantique composé des différentes métadonnées qui permettent de décrire les différents fragments. Nous avons utilisé quelques éléments du standard LOM présenté dans le quatrième chapitre. Ceci dans l'objectif de contourner les limitations de ce standard (§ la section 5.2 du quatrième chapitre).

Chaque fragment est décrit par les catégories Général, Cycle de vie, Technique, Education et Relation (§ section 4.2 du quatrième chapitre). Pour chaque catégorie, nous avons utilisé les éléments obligatoires et nous avons ajouté à ces catégories d'autres descripteurs d'ordre sémantique comme le descripteur type de la ressource qui déterminera le type de fragment (exercice, exemple, définition, etc.).

Ainsi, pour la catégorie générale un fragment est décrit par des descripteurs : identifiant, titre, langue, description, mots clé et les pré-requis. Pour la catégorie Education, nous avons utilisé les descripteurs : type d'interactivité (active, transmissive, collaborative, communicative, non définie), le niveau de difficulté (facile, moyen, difficile), Densité sémantique (très faible, faible, moyen, etc.), durée d'apprentissage qui correspond au temps estimé de l'exécution/consultation du fragment.

Par ailleurs, chaque brique multimédia est décrite par d'autres descripteurs de type : taille, format, identificateur du fragment et la localisation physique.

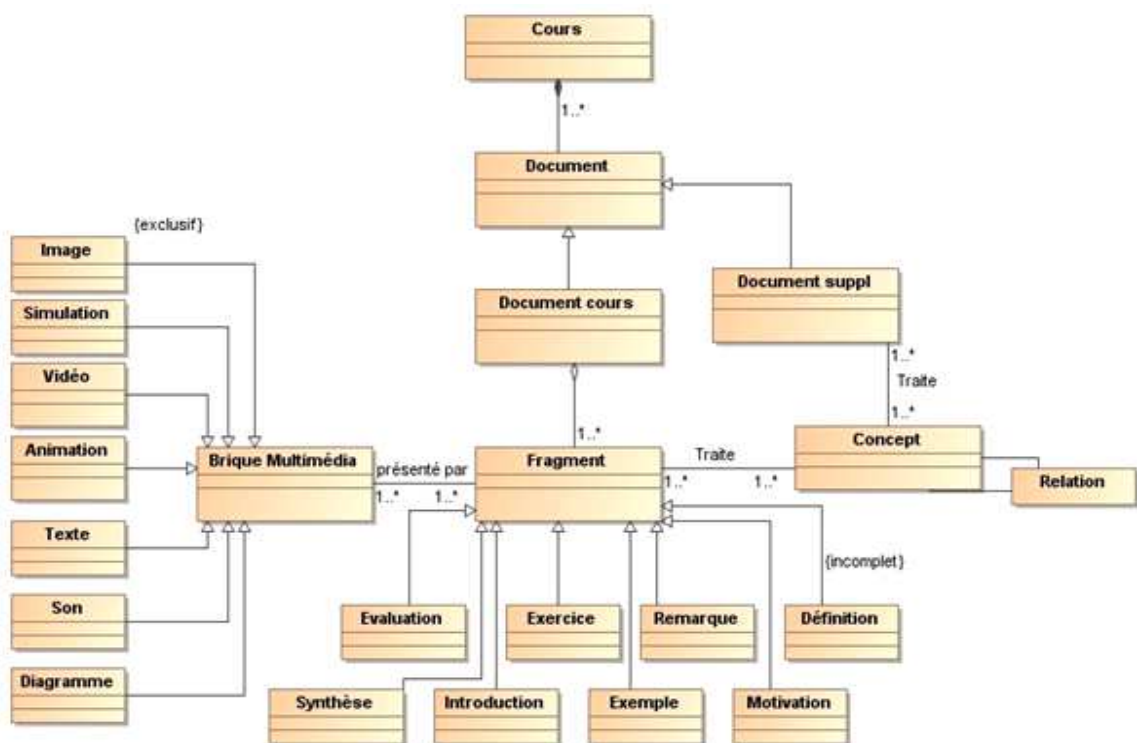


Figure 22 : Représentation du modèle de contenu (Battou, 2010).

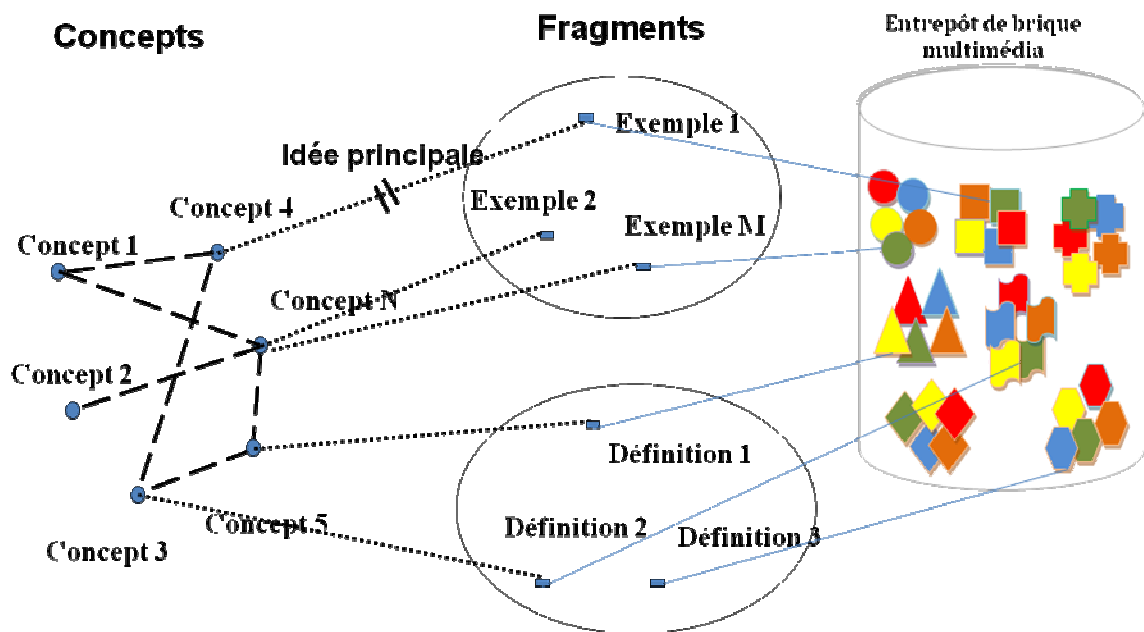


Figure 23 : Représentation du modèle de contenu (Battou, 2010).

4.1.2. Structuration des concepts du domaine

Le modèle du domaine que nous proposons est représenté par un graphe de concepts et de relations entre ces concepts (Cf. Figure 24). Nous rappelons que les concepts sont les connaissances qui doivent être acquises par l'apprenant. Chaque concept est relié avec des fragments, eux même pointant vers des briques multimédias. Ce modèle pourra être instancié en fonction du modèle d'apprentissage visé. Le modèle du domaine que nous proposons est représenté par un graphe de concepts et de relations de entre ces concepts (Cf. Figure 25).

Dans ce qui suit, nous allons présenter les types de relations qui peuvent liées les concepts ainsi que les états d'un concept.

■ Concepts du domaine

Nous rappelons que les concepts sont les connaissances qui doivent être acquises par l'apprenant. Chaque concept est relié avec des fragments, eux même pointant vers des briques multimédias. Ce modèle pourra être instancié en fonction du modèle d'apprentissage visé.

Les relations (ou liens) entre les concepts peuvent être de différents types. La relation de **pré-requis** indiquera par exemple que l'apprentissage d'un concept A est assujéti à la maîtrise du concept B qui le précède. La **composition** signifie que la description du nœud parent est effectuée à l'aide de la description de ses composants. La **généralisation** exprime qu'un nœud représente un concept générique et ses successeurs décrivent les sous-classes de ce concept, c'est-à-dire des concepts plus spécifiques. D'autres types de relation, en outre des relations citées ci-dessus, ont été définis dans le travail de (Deuff, 2003). Il s'agit notamment de :

- **Relation d'analogie** : La maîtrise du concept A peut aider à la compréhension du concept B ;
- **Relation de conjonction** : Apprendre un concept A équivaut à apprendre séquentiellement les concepts A_i ;
- **Relation de disjonction forte** : un concept A peut s'apprendre via un concept B.

Pour notre conception, nous avons choisi d'utiliser deux relations des plus importantes. Il s'agit de la relation de pré requis et de la relation de conjonction.

■ Hiérarchie des concepts

La hiérarchie des concepts est une hiérarchie de pré-requis dans laquelle les nœuds représentent les concepts du domaine et les liens représentent la relation de pré-requis (Cf. Figure 24).

Pour aboutir à une simplicité de la structure proposée, nous traitons tous les nœuds comme identiques et il n'y a pas de distinction entre eux en termes de catégories. De la sorte, la structure ou le modèle proposé n'imposera pas de contraintes sur la façon dont un concept particulier sera enseigné.

Quand les concepts du domaine sont énumérés, nous avons besoin de créer une hiérarchie pour indiquer la relation de pré-requis imposée par le domaine d'apprentissage visé.

Dans les domaines d'apprentissage les plus simples, seulement la relation de pré-requis est prise en compte. Ainsi le graphe de la figure 24, définit une taxonomie de concepts simples sans composition, ni généralisation. Le parcours de ce graphe se fait de haut en bas et de gauche à droite. Ainsi, le concept C1 constitue un pré-requis des concepts C2, C3 et C4. Mais comme il y a une relation de pré-ordre implicite, le parcours du graphe se fera en tenant compte des relations de précédence, qui va de gauche à droite. Ainsi, la présentation du contenu se fera comme suit : C1, C2, C5, C6 ; puis C3 ; puis C4, C7 et C8.

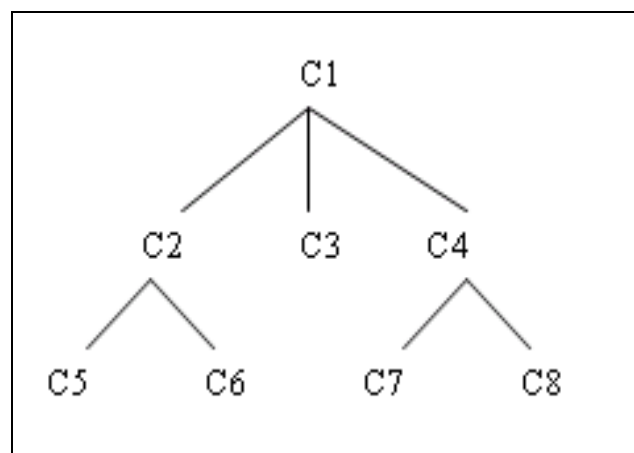


Figure 24 : Relation de pré-requis.

Le tableau 4 – présente de façon équivalente la même relation de pré-requis, sous forme de matrice binaire. L'avantage de cette représentation est qu'elle est facilement compréhensible, manipulable et calculable par une machine. Dans la matrice, les lignes représentent des pré-requis des colonnes. Ainsi, la première ligne exprime le fait que C1 est un pré-requis de C2, C3 et C4. La ligne 2 exprime le fait que le concept C2 est un pré-requis de C5 et de C6.

Tableau 4 : Relation de pré-requis représentée par une matrice d'adjacence

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
C1	0	1	1	1	0	0	0	0
C2	0	0	0	0	1	1	0	0
C3	0	0	0	0	0	0	0	0
C4	0	0	0	0	0	0	1	1
C5	0	0	0	0	0	0	0	0
C6	0	0	0	0	0	0	0	0
C7	0	0	0	0	0	0	0	0
C8	0	0	0	0	0	0	0	0

La figure 25 présente un exemple du domaine de la programmation informatique comprenant au premier niveau trois connaissances ou concepts, avec des relations de type pré-requis et conjonction. La lecture du modèle se fait en profondeur. Ainsi, le concept « C_Instruction » est une généralisation de trois types d'instructions : une instruction d'entrée/sortie, une instruction d'affectation et une instruction de contrôle. Une instruction de contrôle est soit une instruction conditionnelle, soit une répétition ; là aussi il s'agit d'une généralisation. L'affectation est composée des concepts de variables, d'opérateur et d'expression, il s'agit d'une relation de conjonction.

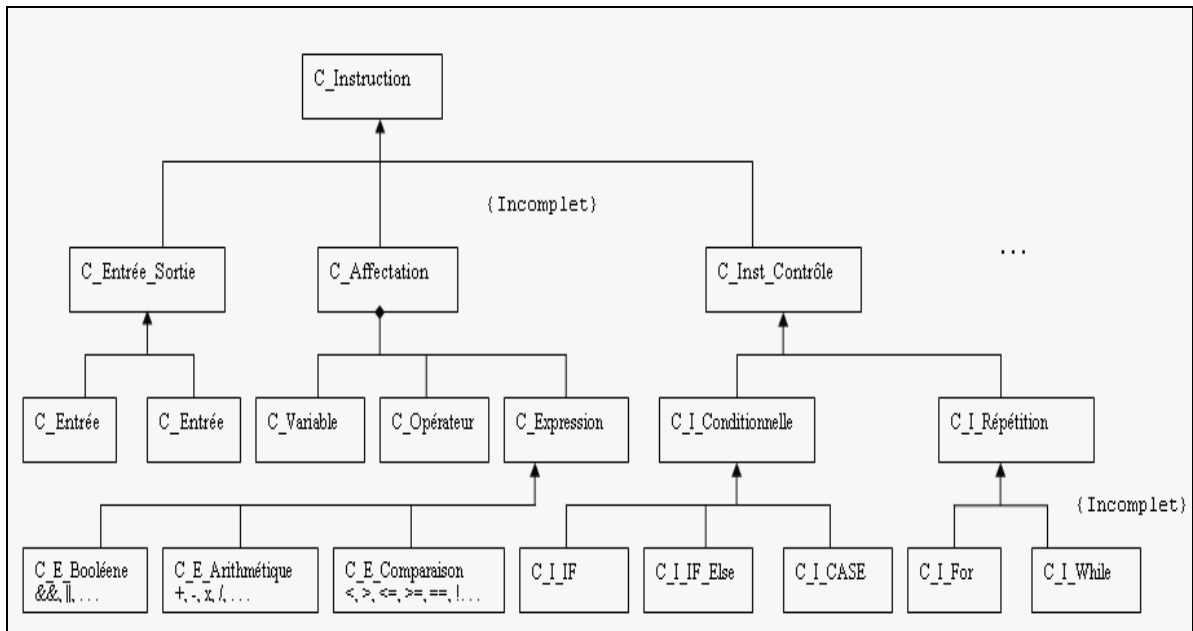


Figure 25 : Une portion du diagramme de classe des concepts de programmation.

■ Etats d'un concept

Lors du processus d'apprentissage, un concept peut avoir différentes états selon l'avancement de l'apprenant dans son apprentissage. Le changement d'états d'un concept donné dépend étroitement, d'une part, de l'état d'avancement de l'apprenant dans son apprentissage, et d'autre part, des pré-requis de ce concept.

Dans notre conception, nous avons défini trois états (Cf. Figure 26) qu'un concept peut avoir lors du processus d'apprentissage. Ces états peuvent être définis comme suit :

- **Concept Non Acquis** : il s'agit dans ce cas de figure d'un concept non encore visité par l'apprenant ou bien l'apprenant n'a pas réussi le test de ce concept ;
- **Concept En Cours d'Acquisition** : l'apprenant ici a accédé au concept sans passer le test ;
- **Concept Acquis** : dans ce cas, l'apprenant a passé le test, en liaison avec ce concept, avec succès.

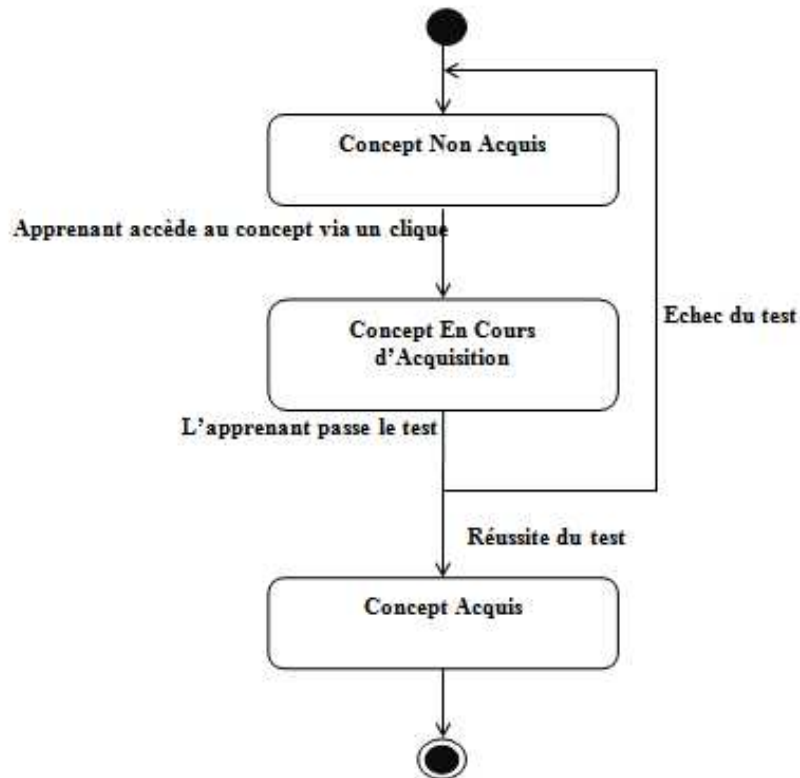


Figure 26 : Diagramme d'état d'un concept lors du processus d'apprentissage.

Par ailleurs, un concept peut avoir deux autres états supplémentaires en plus des trois autres que nous avons cités ci-dessus :

- **Concept non-accessible** : c'est-à-dire que l'apprenant ne peut pas accéder à un concept donné parce qu'il n'a pas acquis les pré-requis de ce concept ;
- **Concept accessible** : c'est-à-dire que l'apprenant peut accéder à ce concept soit parce que le concept en question n'a pas de pré-requis soit les pré-requis de ce concept sont déjà acquis.

4.2. Le modèle de l'apprenant

La représentation de l'apprenant se heurte, dans le projet ALS-PL et le système ALS-CPL, à toutes les difficultés pratiques et théoriques rencontrées dès l'instant où l'on cherche à obtenir une représentation fidèle des savoirs de l'apprenant en traitant ses objectifs, ses préférences, ses connaissances, etc. ; en vue de l'adaptabilité (Brusilovsky, 1996). Nous soulignerons, ici, simplement un point important concernant la représentation souhaitée de l'apprenant.

En effet, nous avons, jusqu'à présent, toujours parlé de "la" représentation de l'apprenant. En fait dans l'environnement ALS-CPL, cette représentation de l'apprenant se décompose en plusieurs types de représentations. Nous devrions alors parler "des" représentations de l'apprenant. Nous mentionnerons deux représentations principales : la

représentation *statique* et la représentation *dynamique*, comme souligné plus haut. Ces deux niveaux se réfèrent à d'autres sous-catégories de représentations incluant des aspects cognitifs, préférentiels, comportementaux, historiques (Cf. Figure 27). Elles sont indépendantes les unes des autres et certaines sont elles-mêmes à leurs niveaux sous-catégorisées.

Dans la suite de cette section, nous décrivons les différents niveaux et sous-catégories qui interviennent dans le modèle de l'apprenant que nous proposons.

4.2.1. Présentation du modèle de l'apprenant

Le modèle que nous proposons ici est un modèle du type overlay. Il inclut en particulier le profil, les préférences des utilisateurs, leurs connaissances de base et l'historique. Ce modèle a été envisagé sous forme d'une approche systémique multi-partie des représentations de l'apprenant : le *modèle statique* et le *modèle dynamique*.

■ **Le modèle statique**

La première partie telle que présentée (Cf. Figure 27), correspond au **modèle statique**. Ce modèle inclut trois catégories.

La première catégorie dite *profil générique* comprend des informations personnelles tels que : **l'identification** avec un ensemble d'attributs de type (Nom, prénom, sexe, e-mail, etc.) et des informations liées à l'éthique tels que la **sécurité** (Mot de passe, IP, etc.).

La deuxième catégorie, dite *connaissances et techniques antérieures*, est composée de trois sous-catégories :

- *Le niveau de l'utilisation des technologies de l'information* et des outils Internet (débutant, intermédiaire, expert) ;
- *Le niveau concernant les langages de programmation* (débutant, intermédiaire, expert) ;
- *Les connaissances de base* composées d'un ensemble de concepts de la programmation (variables, la prise de décision, les structures en boucle, les procédures et fonctions, bases de données, etc.).

La troisième catégorie est composée des *préférences* est également essentielle et souvent négligée par la communauté SHAD. Pour nous, cette partie peut se résumer en trois éléments :

- *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), et (3) quelques éléments du profil psychologique (visuel, auditif et kinesthésique);
- *Préférences relatives à la nature du contenu* : ce sont des préférences pédagogiques qui permettent de choisir la pédagogie préférée. 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.)

■ Le modèle dynamique

La seconde partie du modèle de l'apprenant telle que présentée dans la figure 27, est relative au **modèle dynamique**. Ce modèle inclut d'une part, des informations sur l'historique des sessions et des informations synthétiques permettant d'identifier si un concept est acquis, en cours d'acquisition ou pas encore acquis.

Pour chaque session, le système ALS-CPL est en mesure de stocker des informations sur la navigation (liens visités, documents parcourus, temps passé). Pour le même document, des informations sur les fragments consultés sont enregistrées. Pour un fragment de type exercice, le système doit stocker les résultats obtenus, le temps passé dans le test et le nombre d'essai. Ce sont ces résultats qui permettent d'effectuer la synthèse pour savoir si le concept considéré est acquis.

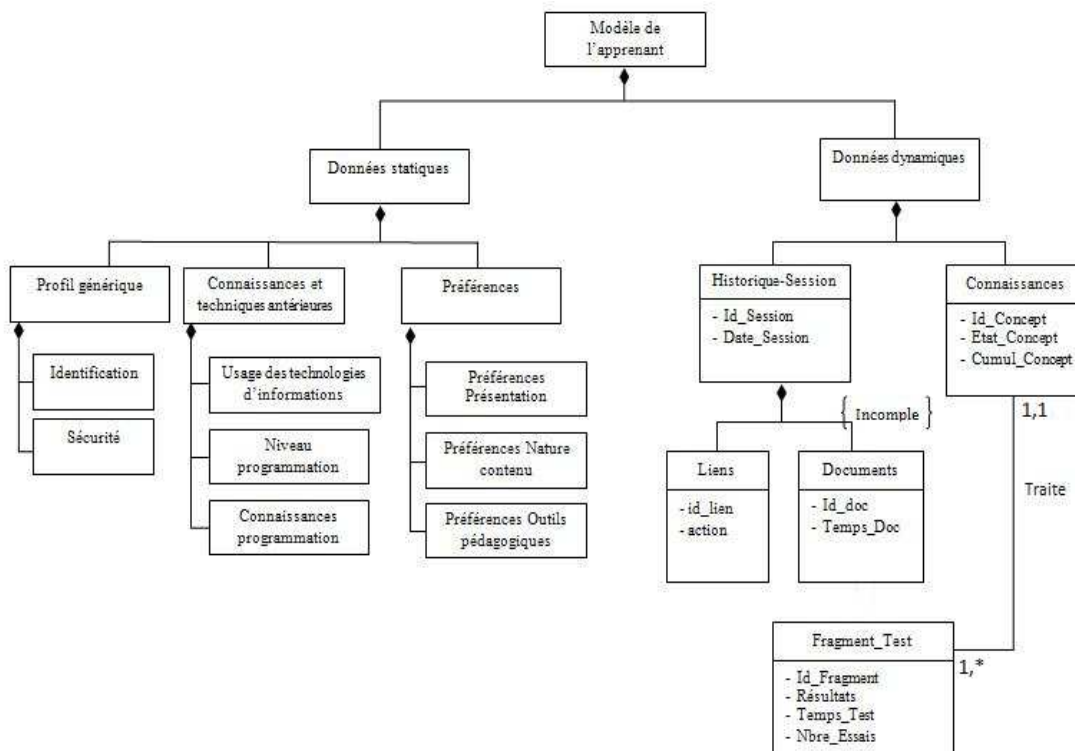


Figure 27 : Diagramme de classe représentant le modèle de l'apprenant dans le système ALS-CPL.

4.2.2. Gestion du modèle de l'apprenant

Après avoir présenté le contenu du modèle de l'apprenant, nous allons à présent étudier la gestion du contenu du modèle de l'apprenant c'est-à-dire les techniques utilisées pour l'initialisation et la mise à jour du modèle de l'apprenant.

Notons tout d'abord que le modèle proposé est un modèle ouvert à la visualisation et à la modification. L'apprenant peut, à n'importe quel moment de son apprentissage, consulter le contenu de son modèle et peut aussi apporter des modifications sur quelques parties de son modèle (la partie statique).

La mise à jour du modèle de l'apprenant passe par deux étapes primordiales : *initialisation* et *modification*. Après chaque étape, soit nous avons une annulation de l'action à cause d'une erreur donnée (champs non saisi correctement, erreur système, etc.) et dans ce cas les données du modèle de l'apprenant restent intacts. Dans le deuxième cas de figure, l'action est validée et les informations que contient cette composante sont mises à jour. Le comportement de modèle de l'apprenant peut être représenté par l'automate suivant (Cf. Figure 28):

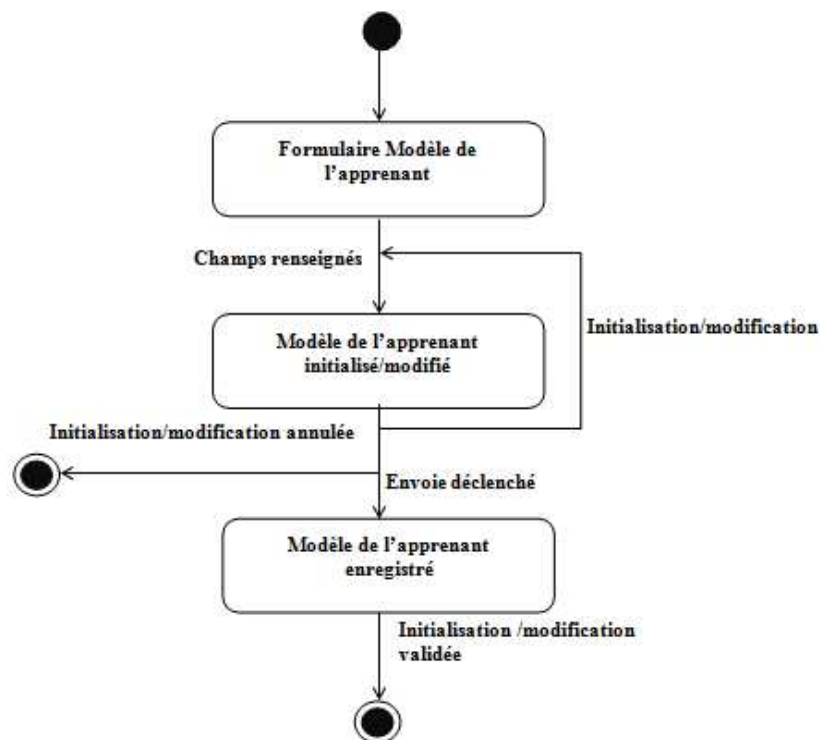


Figure 28 : Diagramme de comportement du modèle de l'apprenant.

Ainsi, pour les données statiques l'initialisation du modèle de l'apprenant, se fait via un questionnaire à remplir lors de l'inscription de l'apprenant au système. La mise à jour peut se faire par l'apprenant toujours via un questionnaire à chaque fois qu'il le demande.

En ce qui concerne les données dynamiques notamment celles en liaison avec la représentation des connaissances de l'apprenant, nous avons choisi d'utiliser le modèle

overlay, présenté dans le troisième chapitre et des valeurs continues qui varient entre 0 et 1 pour la représentation de la connaissance. Ainsi, au démarrage du processus d'apprentissage, la note liée à chaque concept est initialisée à 0 (variable *cumul_concept*).

Pour, la modification de la valeur de la note d'un concept donné, le système se base sur les résultats du test lié à ce concept. Si plusieurs fragments sont liés à un concept donné, les notes obtenues (attribut *Résultats*) sont accumulés dans une variable liée au concept (Cf. Figure 27, variable *cumul_concept*). Le concept est considéré acquis, si le cumul atteints un seuil (pour l'instant 0.6). Dans ce cas, le concept est considéré comme acquis, et la variable *état_concept* est mise à jour.

Nous avons choisi d'utiliser des tests qui se présentent sous forme d'un quiz, des questions à choix multiples, des phrases à trous, etc., pour évaluer le niveau de connaissance de l'apprenant. En effet, chaque concept présenté à l'apprenant est accompagné d'un test. Le système procède à la mise à jour de la note d'un concept donné dans le modèle de l'apprenant en adéquation avec les résultats obtenus pour le test de ce concept.

4.3. Le modèle d'adaptation

Le modèle d'adaptation comprend des règles permettant l'adaptation. Ces règles définissent les modalités d'adaptation du contenu, de la navigation et de la présentation et les démarches à effectuer pour mettre à jour le modèle de l'apprenant selon les comportements des apprenants.

4.3.1. Description générale

Dans le cadre de ce travail, l'adaptation que nous proposons porte sur les trois composantes présentées dans le deuxième chapitre à savoir l'adaptation de contenu, l'adaptation de navigation et l'adaptation de présentation.

Pour le contenu, nous avons créé plusieurs types de contenu pour les différents concepts. Par exemple pour un concept A, nous allons alimenter notre base de différents OPs. Ainsi, nous aurons des OPs de type vidéo, de type texte, de type sonore, etc. et pour chaque type d'OPs, nous aurons des niveaux de difficultés différents. Nous aurons ainsi pour un OP de type vidéo, par exemple, plusieurs variantes et chaque variante a un niveau de difficulté différent (facile, moyen, difficile).

En ce qui concerne la navigation, nous avons utilisé des liens annotés à l'apprenant, le tri des liens en fonction de leur pertinence et le masquage des liens selon les connaissances et besoins de l'apprenant.

Quand à la présentation, notre système permet à l'apprenant de choisir la langue d'apprentissage, la police, la taille et les couleurs des pages générées par le système.

Nous allons à présent détailler le fonctionnement de chacun des sous-modèles du modèle d'adaptation.

4.3.2. *Modèle d'adaptation du contenu*

■ **Recherche des fragments**

L'étape de la recherche (Cf. Figure 29) consiste à sélectionner les fragments en liaison avec les idées qui composent le concept choisi par l'apprenant.

Cette étape est déclenchée lorsqu'un apprenant clique sur un lien qui le mène vers un concept donné. Le modèle de contenu recherche alors, dans l'entrepôt des OPs, les différentes briques multimédias les plus appropriées et qui représentent les différentes idées qui composent le concept choisi. Ce choix se fait, d'une part, sur la base des informations contenues dans le fichier métadonnées des OPs. D'autre part, en se référant aux règles pédagogiques stockées dans le modèle de contenu, liées à la recherche des OPs.

Les règles pédagogiques que nous avons définies pour la sélection des fragments sont comme suit :

Règle 1 : si le concept choisi par l'apprenant est un concept générique, alors le modèle de contenu ajoute à sa sélection les différents concepts qui compose ce concept.

Exemple soit C_i un concept générique qui est composé de C_{i1} , C_{i2} , C_{i3} et C_{i4}

$$C_i = \{C_{i1}, C_{i2}, C_{i3}, C_{i4}\}$$

Le choix du concept C_i par l'apprenant, implique que le modèle de contenu dans cette phase, sélectionne ce concept et les différents concepts qui le composent i.e. C_{i1} , C_{i2} , C_{i3} , C_{i4}

Règle 2 : si le concept choisi par l'apprenant a des pré requis, alors le modèle de contenu ajoute à sa sélection ce concept et ses pré requis.

Exemple soit C_i un concept dont les pré requis sont les concept de C_j , C_k , C_l et C_m

$$C_i = \text{prerequis}(C_j, C_k, C_l, C_m)$$

Le choix du concept C_i par l'apprenant, implique que le modèle de contenu dans cette phase, ajoute à la sélection de ce concept ses pré requis C_j , C_k , C_l , C_m .

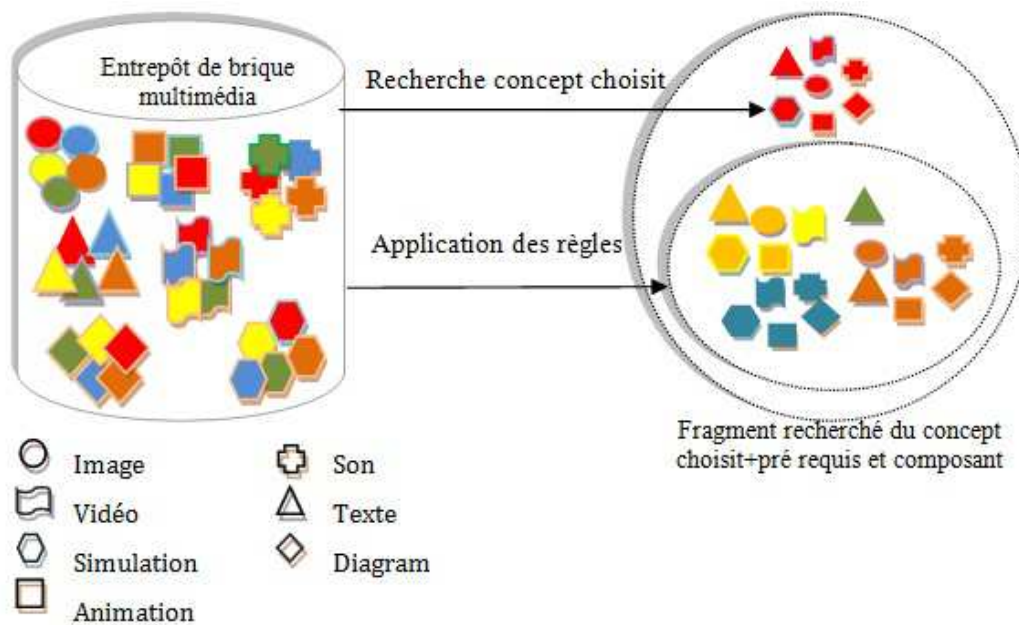


Figure 29 : Processus de recherche des fragments (schéma inspiré des travaux de Laroussi (Laroussi, 2001)).

L'entrepôt des briques multimédias contient l'ensemble des grains pédagogiques de toutes les formes : vidéo, texte, son, simulation, diagramme, image et animation. Chaque forme géométrique représente une forme multimédia bien donnée et chaque couleur représente une idée d'un concept. A la fin de la phase de recherche, nous avons comme résultat les idées du concept recherché sous différentes formes en plus de ces pré-requis et ses composants s'ils existent.

L'approche utilisée pour la recherche des fragments adéquats selon les critères cités ci-dessus, se base sur l'algorithme de recherche suivant (Cf. Figure 30).

```

(1) fragment_R={ } : ensemble des fragments à
    rechercher
(2) C={C0, C1, ...Cm} : ensemble des concepts à acquérir
(3) F={(FC01, FC02, ... FC0n), (FC11,FC12...DC11)...(
    FCm1,FCm2...DCmk)} : ensemble des fragments liés
    aux concepts
(4) Pour chaque Ce concept à apprendre :
    Composant(Ce)={Ce1, Ce2, ..}, Prerequis(Ce)={Ce',
    Ce'', Ce'''}

i=0

Tant que i <=m faire
    Si Ce=Ci
        Alors Fragment_R← Fragment_R ∪ {(FCi1, FCi2 ,...,
FCi11)}
        i=i+1
        Fin Si

        Sinon Si Ci ∈ prerequis(Ce)
            Alors fragment_R← Fragment_R ∪ {(FCi1,
FCi2,...FCik)}
            i=i+1
            Fin Si

            Sinon Si Ci ∈ composant (Ce)
                Alors fragment_R← Fragment_R ∪ {(FCi1,
FCi2,...FCik)}
                i=i+1
                Fin Si

Fin tant que

```

Figure 30 : Algorithme de recherche de concept à apprendre.

■ Filtrage des fragments

L'opération du filtrage consiste à ne retenir parmi les fragments résultants de l'étape de recherche que les fragments qui répondent le plus aux critères spécifiés par le modèle de l'apprenant. Cette opération passe en trois étapes (Cf. Figure 31). Le premier filtrage se base sur les préférences de l'apprenant en terme de présentation de contenu (vidéo, texte, audio, etc), le deuxième filtrage se base sur les préférences de l'apprenant en terme de contenu (est ce que l'apprenant préfère plus d'exemple, plus de simulation, ou bien

d'exercice pour assimiler un concept donné). Le troisième filtrage prend comme critère le niveau de connaissance de l'apprenant (débutant, moyen, excellent).

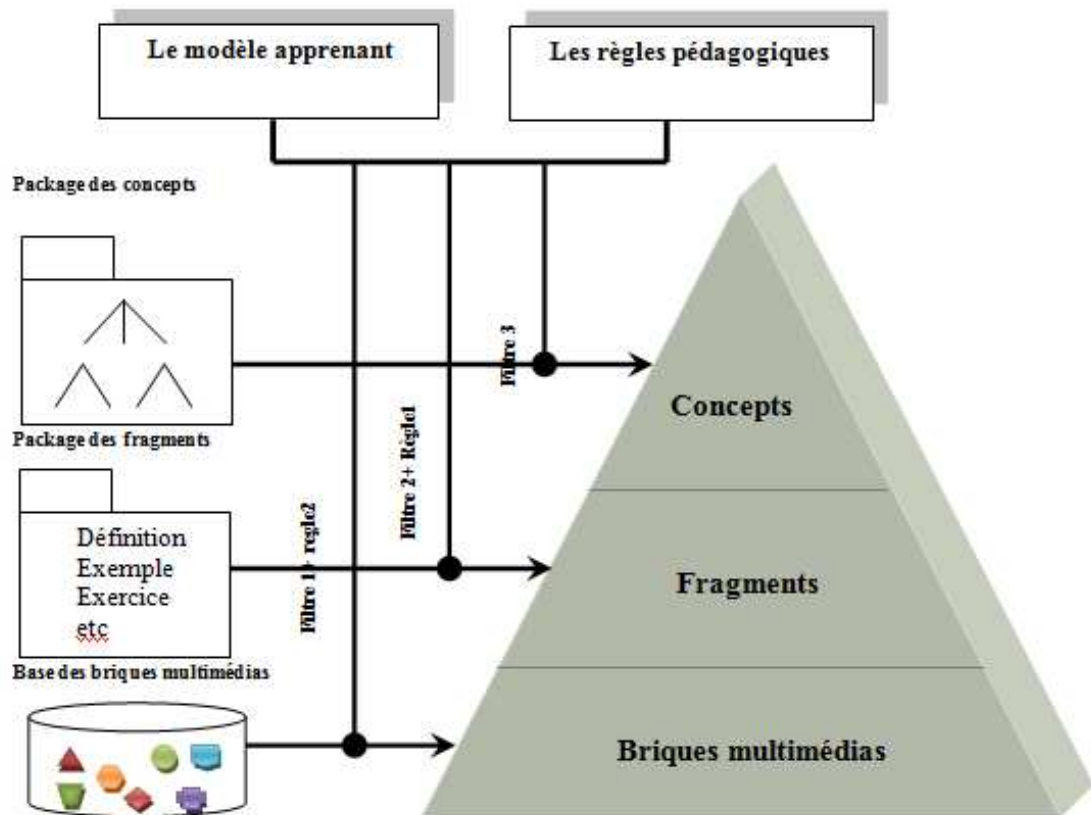


Figure 31 : Processus du filtrage des fragments (schéma inspiré des travaux de Cherkaoui (Cherkaoui, 1996)).

Ainsi, si un apprenant préfère tous ce qui est vidéo et image, alors le modèle de contenu privilégie tous ce qui est de type vidéo et image et passe au deuxième filtrage. Ce dernier consiste à choisir les types de contenu à afficher. Par exemple, si l'apprenant préfère apprendre par l'exemple alors le système va choisir plus d'exemple à afficher à l'apprenant. Le résultat de ce deuxième filtrage, est soumis au troisième filtrage, qui consiste à éliminer les fragments dont le type de difficulté ne correspond pas au niveau de connaissance de l'apprenant.

En plus des données inclus dans le modèle de l'apprenant, nous avons défini des règles à appliquer lors du filtrage des fragments.

Règle 1 : si le concept est déjà acquis, le modèle de contenu présente à l'apprenant un résumé ou une synthèse sur ce concept.

Règle 2 : si les pré-requis du concept choisi sont déjà acquis alors le modèle de contenu ne retient que le concept souhaité.

■ Organisation et Assemblage du contenu

A la fin de l'opération du filtrage, le système ressorte avec un ensemble de fragments. Ces fragments vont être organisés et rassemblés par la suite pour être présentés à l'apprenant de la session en cours.

Pour l'organisation du document pédagogique, nous avons défini des règles pédagogiques d'ordre globale ou plus particulières à respecter.

Règle 1 : un contenu est composé d'un début, un corps et une fin.

- Contenu = (début, corps, fin) ;
- Début : introduction ;
- Corps : simulation, définition, exemple, exercice, etc. ;
- Fin : conclusion.

Règle 2 : dans le corps du contenu, chaque fragment est muni d'une caractéristique qui définit sa priorité. Ainsi, une définition a toujours une priorité égale à 1, c'est-à-dire que ce fragment est placé devant n'importe quel autre fragment qui va être présenté à l'apprenant.

En ce qui concerne l'assemblage, cette étape s'occupe essentiellement de la transition et liaison entre fragments qui vont être présentés à l'apprenant.

Notons que le résultat de toutes ces étapes, est inscrit dans un fichier XML qui va être traité par la suite.

4.3.3. *Modèle d'adaptation de la navigation*

Un SHAD, comme nous l'avons présenté auparavant, permet d'adapter la navigation selon les caractéristiques de l'apprenant (préférences, connaissances, objectifs, etc.).

Les techniques d'adaptation de navigation, comme nous les avons détaillées auparavant (§ section 5.2 chapitre 2), sont essentiellement le guidage direct, l'annotation des liens, le masquage des liens, le tri des liens et la navigation passive.

Pour notre conception, nous allons utiliser ces différentes techniques. Ci-dessous un rappel de leurs fonctionnements.

Pour *le guidage direct*, c'est le système qui décide qui est le nœud suivant le plus adéquat à visiter par l'apprenant en se basant sur ses caractéristiques actuelles.

L'annotation du lien quand à elle, consiste à donner plus d'explication sur le nœud que l'apprenant veut visiter. Cette technique permet de guider l'apprenant lors de son navigation.

En ce qui concerne *le masquage de lien*, cette technique permet de cacher les liens qui mènent vers des concepts non autorisés à un certain moment (cas d'un concept dont les pré requis ne sont pas encore acquis).

Pour *le tri des liens*, cette technique permet de trier les concepts selon leurs importances pour l'apprenant.

Enfin *la navigation passive*, le système dans ce cas, ajoute des liens pour offrir une assistance à l'apprenant qui reste inactif un certain moment.

4.3.4. Modèle d'adaptation de présentation

Cette phase s'occupe de la présentation du contenu. Il s'agit dans cette étape d'appliquer les feuilles de style que nous allons définir, aux fichiers XML résultants de la phase d'organisation et d'assemblage. Plusieurs feuilles de style vont être créées afin que l'apprenant puisse choisir le format d'affichage qui le convient.

En plus de cela, nous avons pensé à enrichir notre entrepôt des fragments de différentes langues. Ainsi selon, la langue d'apprentissage choisie par l'apprenant (Français, anglais, etc.), le système va présenter à cet apprenant, le fragment en adéquation avec la langue d'apprentissage choisie.

5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la conception d'un SHAD implémentant notre approche granulaire. Nous avons présenté une conception assez ouverte et applicable à n'importe quel domaine d'apprentissage.

Ainsi, nous avons entamé ce chapitre par la présentation des structures d'adaptabilités les plus citées dans nos lectures bibliographiques, avant de proposer une structure synthétique et générique.

Par la suite, nous avons procédé à une analyse globale de notre système, dans laquelle nous avons présenté les deux architectures (macro et micro) de notre système ainsi que les acteurs et les différents cas d'utilisation.

Nous avons entamé par la suite la conception des différents modules qui compose notre système à savoir le modèle de l'apprenant, le modèle du domaine et le modèle d'adaptation.

Pour le modèle de l'apprenant, nous avons choisi de concevoir un modèle ouvert à la modification et à la visualisation. Ce modèle comme nous l'avons vu, est structuré en deux niveaux statique et dynamique.

Quand au modèle du domaine, nous avons présenté la conception de notre approche granulaire que nous avons découpée en deux niveaux structurel et sémantique. Ensuite, nous avons présenté les états et les relations entre concepts que nous avons retenus pour notre conception.

En ce qui concerne le modèle d'adaptation, nous avons présenté les trois composantes qui vont être adaptées au modèle de l'apprenant à savoir, le modèle d'adaptation de contenu, le modèle d'adaptation de navigation et le modèle d'adaptation de présentation.

Dans la suite, nous allons faire une implémentation de notre conception en choisissant comme domaine d'apprentissage le langage de programmation C. Nous rappelons que notre système s'appelle *Adaptive Learning System- For The C programming Language (ALS-CPL)*.

Chapitre 7 : Processus d'Implémentation du Système ALS-CPL

La plupart des systèmes adaptatifs hypermédias actuels ont été mis en œuvre en tant que prototypes. Leur développement est généralement effectué de façon *ad hoc* et amélioré par étapes successives (Koch, 2000).

Les SHAD sont des systèmes complexes et ils exigent donc, un processus d'ingénierie logiciel approprié. Autant que nous sachions, il n'existe actuellement aucun processus d'ingénierie systématique qui décrit comment un SHAD doit être implémenté.

Les systèmes adaptatifs et hypermédias sont des systèmes complexes caractérisés par la présence d'un matériel multimédia très riche, de la conversion du contenu en format hypertexte, de la création de la structure des liens de navigation et d'une conception mettant d'avantage l'accent sur le design graphique. Ces contraintes nécessitent un grand effort impliquant différentes activités liées notamment à l'obtention des grains de contenus (avec tous les problèmes liés aux droits d'auteurs, à l'interopérabilité, etc.). Nous citons à titre indicatif la numérisation du texte, des images et des vidéos, l'enregistrement de l'audio, l'application de la reconnaissance de caractères pour les textes scannés, l'ajustement de la qualité des pièces obtenues, etc.

A tout cela, il faut ajouter les efforts liés à l'adaptabilité du contenu, de la présentation et de la navigation. De plus, comme nous l'avons vu dans les chapitres précédents, l'adaptabilité et l'individualisation dépendent étroitement de la modélisation de l'apprenant, c'est-à-dire la construction, la maintenance et l'exploitation de ce modèle pour proposer des cours ajustés.

La conséquence de ces contraintes, un projet concernant les SHAD est un projet pluridisciplinaire. L'implémentation de ces systèmes, comme nous l'avons souligné (§ Chapitre 2), peut faire appel à des collaborateurs hétérogènes incluant : les développeurs de contenu, les concepteurs multimédias, l'ingénieur hypermédia, l'intégrateur du système. Tous ces éléments peuvent générer des coûts énormes impliquant le besoin en ressources humaines, financières, logicielles, matérielles, informationnelles, etc.

Enfin, notons par ailleurs que le développement d'un SHAD nécessite l'intégration de différentes techniques d'implémentation de pages web statiques utilisant l'HTML, le DHTML ou le XML ; ou des pages dynamiques assemblés en temps réel à partir des informations provenant des bases de données. Le pont entre les bases de données et le Web utilise des procédés et architectures variées tels que : le CGI, l'ASP, les Servlets ou Applets Java, le PHP ou autre. Enfin, n'oublions pas les différents standards et

métadonnées liés au contenu ou au profil de l'apprenant, comme nous l'avons explicité dans les chapitres précédents.

L'objectif principal de ce chapitre est de décrire notre propre démarche d'implémentation du système ALS-CPL. La méthodologie et les techniques décrites, bien qu'elles soient communes aux hypermédias non-adaptatifs, elles sont complétées par des mécanismes explicitant les différents développements liés aux hypermédias adaptatifs en intégrant la structure d'adaptabilité présentée dans le chapitre 6, la granularité des contenus du chapitre 5 et l'usage de la partie UML liée au point de vue réalisation et déploiement de l'application proposée, comme complément aux autres points de vues traités dans le chapitre 6, à savoir : la vue des cas d'utilisation, la vue logique et la vue des processus.

Ce chapitre est organisé comme suit : dans la première section, nous rappellerons un aperçu du contexte du projet ALS-CPL et le choix du langage « C » comme instanciation pour le projet ALS-PL. La section 2 présente les objectifs de l'implémentation proposée et les choix techniques et méthodologiques mis en œuvre. La section suivante traitera les différents nœuds et paquetages de l'architecture de déploiement proposée.

1. Cadre général d'ALS-CPL et choix du domaine

Cette section est réservée à la description des différents choix effectués pour le système ALS-CPL. Nous décrivons principalement le contexte et l'origine du système proposé, le domaine d'apprentissage, ainsi que quelques choix techniques liés à XML. Les autres choix d'implémentation seront décrits au fur et à mesure du développement des sections suivantes.

1.1. Cadre général du projet ALS-PL

Depuis l'adoption de la nouvelle réforme universitaire, l'université IBN ZOHR et notamment la faculté des sciences d'Agadir (FSA) s'est investie dans plusieurs projets prometteurs visant l'innovation éducative et l'intégration des Nouvelles Technologies Éducatives dans son enseignement. Ces projets ont permis 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 plusieurs réalisations ont vu le jour, nous noterons notamment « Le Projet de Plateforme Technologique de Soutien au Présentiel » (P2TSP) basé sur la FOAD (Cherkaoui, 2006). Ce projet pilote initié au sein la FSA à partir de l'année 2004/2005, porte sur la formation à distance et le soutien aux cours délivrés en présentiels. 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. Dans ce cadre, plusieurs dispositifs ont été produits et expérimentés, nous pouvons citer entre autres :

- *Le Dispositif lié à l'action AF2I* (Auto-Formation Initiation à l'Informatique) essentiellement basée sur un CD-ROM d'auto-formation, qui a été créé au sein du

laboratoire IRF-SIC, et qui contient un ensemble de ressources pour permettre à un apprenant de s'initier à Windows, à la bureautique et à l'Internet ;

- **Le dispositif DAW** qui constitue un travail de collaboration avec les partenaires suisses dans le cadre du programme CoseLearn (Coselearn, 2007). Il a pour objectif principal de permettre à des apprenants ayant déjà des pré-requis en programmation, en réseaux informatiques et en NTIC en général, d'acquérir à la fois de nouvelles connaissances, mais surtout des compétences à la fois méthodologiques et culturelles pour la conception de sites Web, voir pour apprendre à être « un apprenant à distance ». Ce dispositif a été expérimenté avec les étudiants de DESA MIA de la FSA ;
- **Le dispositif FOAD-LCI** (FOAD Langues et Communication) est un dispositif Hybride présentiel/distance d'autoformation guidée à dominante prescriptive. Il repose sur la mise en ligne de ressources pédagogiques orientées sur l'apprentissage de la langue elle-même, via la plate-forme de formation Moodle ;
- Etc.

Certes la FSA n'est pas le seul établissement qui vise à introduire les TICs dans son enseignement en mettant en place ces différents projets. Les autres établissements ont aussi leurs propres projets et exploits dans la création des contenus pédagogiques numériques sous différents formats et divers supports.

Les enseignants initiés à l'informatique ont entrepris à leurs échelles, la création de leurs propres matériels pédagogiques et sa diffusion via les sites web, les blogs, les wiki, forums de discussion, documents Word, plateformes, etc. Pour notre cas, nous avons utilisé l'option d'entrepôts des données avec une interface web, tout en prenant en considération l'intégration des normes et standards notamment SCORM et LOM lors de la création du contenu. L'objectif d'interopérabilité et de réutilisabilité pour n'importe quelle plateforme est également maintenu.

Mais la FOAD pose un certain nombre de problèmes liés aux besoins en tuteurs pour suivre les activités des apprenants. Nous avons donc pensé qu'un SHAD serait une solution efficace, d'où l'origine du projet ALS-PL.

1.2. Choix du domaine d'apprentissage

Nous avons choisi le module du langage « C », dispensé à la faculté des sciences d'Agadir, comme domaine d'apprentissage.

Ce choix n'est pas arbitraire. Ainsi, comme précisé plus haut, depuis quelques années la FSA, notamment le département de « Mathématiques et informatique » s'est confrontée à un problème de formation de masse spécialement pour le module « initiation à la programmation du langage C » dû essentiellement à la masse des étudiants qui s'inscrivent à ce module et le taux d'encadrement qu'on peut qualifier de faible par rapport au nombre d'étudiants. D'où un fort besoin exprimé par le département d'une solution distantielle qui soutiendrait l'enseignement en présentiel.

Le système ALS-CPL que nous proposons permettrait d'offrir des parcours d'apprentissage individualisés du module de programmation de langage C et d'augmenter le nombre d'heures d'apprentissage de ce module. Il vise particulièrement une meilleure maîtrise des compétences par une accessibilité aux contenus à n'importe quel moment, de n'importe quel endroit pour chaque rythme de l'étudiant ; tout en faisant une économie d'échelle au niveau des différentes ressources.

2. Eléments d'implémentation du système ALS-CPL

L'implémentation du système ALS-CPL consiste en la transformation des résultats des phases de conception, c'est-à-dire les diagrammes de classes, les sous-systèmes et les interfaces en un système développé en termes de composants représentés sous forme de code source, de scripts, exécutables, etc. D'autres éléments d'implémentation telle que la conversion de documents, la génération de templates ou des feuilles de style et/ou la génération dynamique doivent être pris en compte.

Pour produire le système ALS-CPL avec toutes les caractéristiques d'un SHAD, les composants suivants sont requis : le point de vue de l'architecture, le modèle déploiement, le contenu, le modèle de l'apprenant, la structure l'hypermédia et l'interface utilisateur, qui sont tous intégrés pour fournir la fonctionnalité complète du système.

Cette section est réservée à la présentation des premiers éléments liés notamment à l'architecture de déploiement. Les sections qui suivent ont pour objectif de détailler ces différents éléments.

2.1. Architecture de déploiement

La description de l'architecture d'un système selon UML est constituée généralement d'un ensemble de points de vue complémentaires. La vue de déploiement s'intéresse à la mise en œuvre en montrant les artefacts qui sont pertinents à l'architecture. Ces artefacts sont : les sous-systèmes, les interfaces et leurs relations ainsi que les principales composantes de l'application.

Pour la description de cette vue, nous utilisons les diagrammes de déploiement pour représenter la distribution de composants de l'application. Dans UML, les éléments principaux d'un diagramme de déploiement sont les nœuds et les composants. Un nœud est un élément physique qui représente une ressource au niveau exécution (Booch, 1999). Un nœud peut contenir des objets et des composants qui résident dans la ressource logicielle. Un composant UML est une partie physique du système qui permet la réalisation d'un ensemble d'interfaces.

La figure 32 montre une partie du diagramme de déploiement du système ALS-CPL. Dans cette figure, nous distinguons les quatre paquetages avec les différentes composantes liées à chacun d'eux.

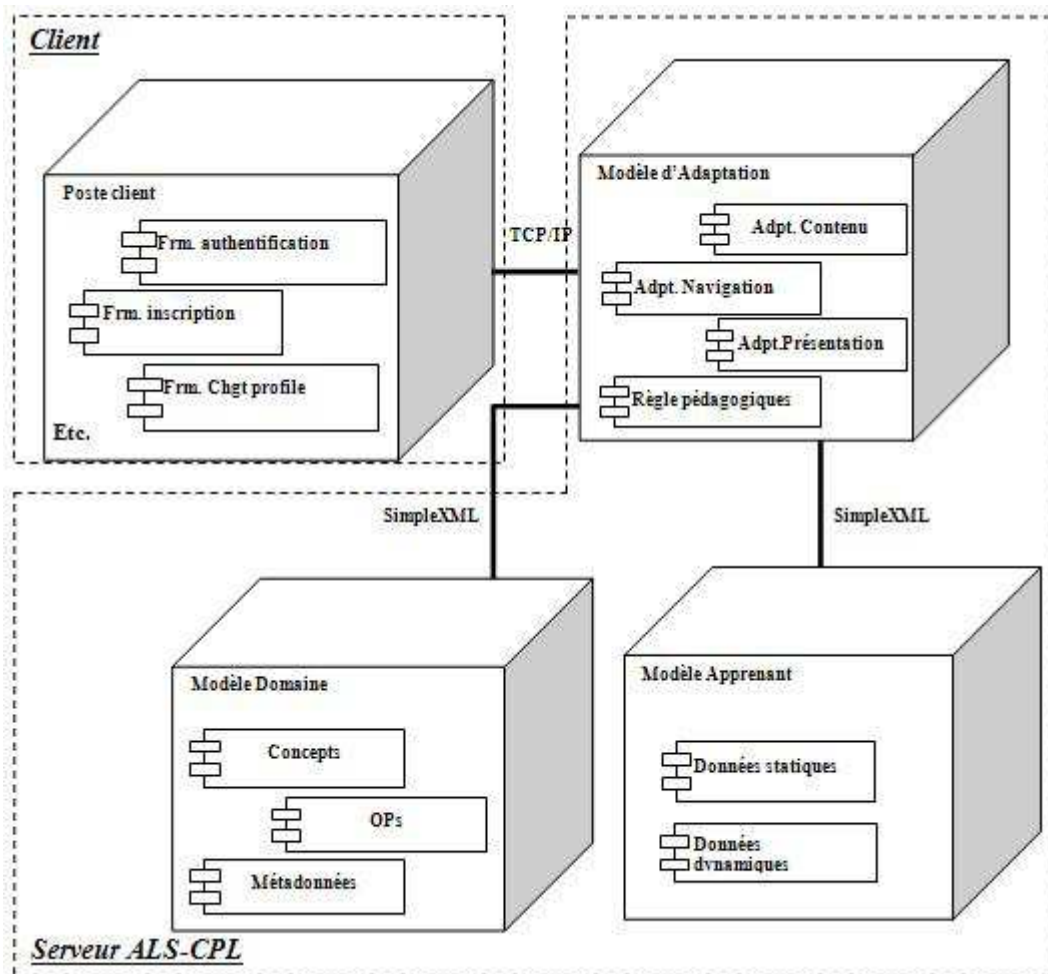


Figure 32 : Architecture logicielle du système ALS-CPL.

Cette architecture est basée sur une architecture client-serveur. Le client (apprenant) et le serveur (serveur ALS-CPL) utilisent le protocole TCP/IP comme moyen de transport. La technologie utilisée pour la communication entre les différentes composantes du serveur ALS-CPL est le SimpleXML (§ Annexe 4). Cette technologie permet de traiter le contenu des fichiers XML que nous avons utilisés comme base de données.

Les contenus présentés à l'apprenant (client) sont des pages web codés avec le langage PHP, qui permet la création du contenu dynamique. Ces pages peuvent contenir différents types de média (image, texte, vidéo, etc.). L'apprenant est amené à s'inscrire et à s'authentifier auprès du système (serveur ALS-CPL) pour accéder à ce contenu.

La section suivante reviendra en détail sur les différents paquetages de l'architecture proposée.

2.2. Choix techniques

L'implémentation d'un SHAD requiert généralement l'intégration de différentes techniques d'implémentation, comme les pages statiques réalisées par les langages de

balisage comme le langage HTML, DHTML ou bien XML et les pages dynamiques générées à partir des données stockées dans les bases de données.

Pour assurer une bonne communication entre le web et les bases de données, plusieurs technologies et architectures sont utilisées nous citons à titre d'exemple : le langage J2EE, Active Server Page (ASP), les drivers des bases de données comme l'ODBC et le JDBC, etc.

Pour notre système, nous avons opté pour l'utilisation du langage PHP et le langage XML comme format d'échange de données. D'une part, parce que la valeur ajoutée de ce langage est incontournable par rapport aux bases de données relationnelles.

D'autres part, les contenus pédagogiques que nous avons créés doivent être conformes aux standards que nous avons utilisé (LOM, IMS LIP) et qui se basent essentiellement sur XML.

Nous ajoutons à cela que le choix de XML comme SGBD facilite la portabilité du système, la mise en œuvre et ne nécessite pas une grande technicité pour sa mise en place.

Outre le langage PHP, nous avons utilisé le SimpleXML et le modèle objet de document (DOM) que nous avons intégré dans les pages PHP comme langage de traitement et structuration des fichiers XML.

3. Description des différents paquetages de l'architecture proposée

Cette section a pour objectif de décrire les éléments d'implémentation des différents paquetages de l'architecture de déploiement proposée avant.

3.1. Paquetage modèle du domaine

Ce nœud contient, comme présenté dans l'architecture exposée (Cf. Figure 32) les trois composantes de ce modèle à savoir les OPs, les concepts et les métadonnées. Pour la création de ces différents éléments, nous avons suivi une démarche que nous présentons dans la suite. Nous décrirons ensuite chaque composant à part, en spécifiant son contenu.

3.1.1. Ré-ingénierie des concepts et OPs

Nous nous sommes basés sur des cours sur le web pour recenser l'ensemble de concepts liés au domaine d'apprentissage du langage de programmation « C ». Ensuite, nous avons procédé à l'élaboration des relations pré-requis et de conjonction entre ces concepts.

Pour la réalisation de nos OPs granulaires, nous avons choisi de faire une réingénierie des contenus pédagogiques issus du web pour économiser le temps et l'effort de développement. Ainsi, nous avons procédé à la recherche des contenus en liaison avec notre domaine d'apprentissage «le langage de programmation C».

Nous avons récupéré plusieurs ressources de différents type (texte, vidéo, son, etc.), Nous avons entamé notre remodelage en découpant ces ressources en des grains qui répondent aux critères de granularité que nous avons présentés dans le cinquième chapitre. Nous

avons rassemblé les OPs remodelés dans un entrepôt d'OPs qui s'allient avec les critères de l'approche que nous avons proposé à savoir le temps d'exécution qui ne dépasse pas les 15 minutes, l'OP est représenté par un seul type multimédia (texte, vidéo, image, simulation, son, diagramme) et ne traite qu'une idée simple du concept.

Pour la structuration des contenus et comme nous l'avons souligné dans le chapitre de conception, chaque contenu pédagogique présenté à l'apprenant doit avoir un début, un corps et une fin. Pour le début nous avons choisi de faire une introduction au concept à étudier via une introduction. Pour le corps, il peut contenir des définitions, des explications, des théorèmes, des simulations, des exercices, etc. La fin contiendra une conclusion sur ce qui a été présenté dans le corps du contenu.

3.1.2. *Création des concepts*

Les concepts que nous allons utiliser dans notre système ainsi que leurs descriptions sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 5 : Liste des concepts utilisés dans le système ALS-CPL

Concepts	Abréviation utilisée
Les variables	var
Les opérateurs	opr
Entrée	E
Sortie	S
L'affectation	aff
Les opérateurs arithmétiques	Opr_arith
Les opérateurs booléens	Opr_log
Les boucles	bcle
La boucle while	while
La boucle do...while	Do_while
Continue	continue
Scanf ()	scanf
Goto	goto
Types de variables	Type_var
Return	return
Printf()	printf
La boucle For	for
Branchement conditionnel	Br_cond
Branchement inconditionnel	Br_incond
If...else	If_else
Switch	switch
Exit	exit
Initiation des variables	Init_var

Break	break
Les opérateurs relationnels	Opr_rel

3.1.3. Relations entre concepts

Nous allons décrire dans ce paragraphe, les relations entre les différents concepts que nous avons présentés dans le paragraphe précédent.

Comme nous l'avons déjà signalé ci-dessus, les relations que nous avons retenus sont les relations de pré-requis et les relations de conjonction.

■ Relation de conjonction

Pour des raisons de lisibilité, nous avons choisi de présenter la relation de conjonction pour chaque concept. Ainsi nous aurons quatre figures représentant quatre exemples de relations de conjonction.

- **Relation de conjonction – Exemple 1** : le concept « variables » est considéré comme acquis si les concepts « initialisation variables » et « types de variables » sont acquis (Cf. Figure 33).

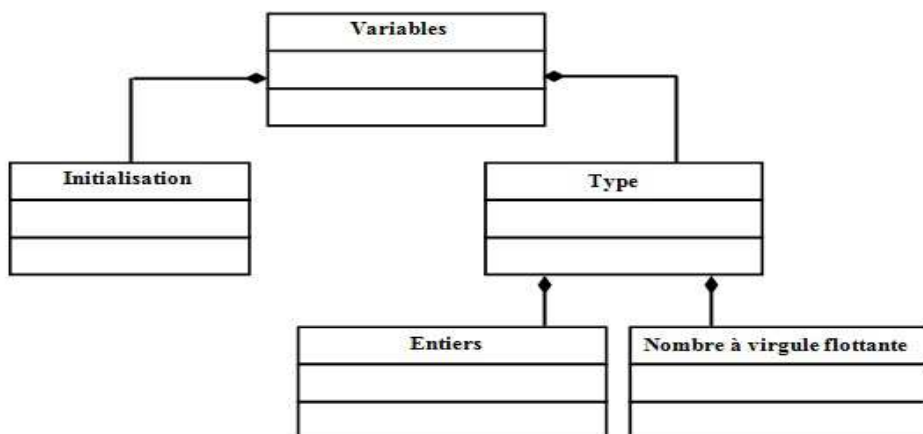


Figure 33 : Relation de conjonction du concept « Variables ».

- **Relation de conjonction – Exemple 2** : l'acquisition du concept «opérateurs» nécessitent l'acquisition des concepts «Affectation», «Opérateurs arithmétique», «Opérateurs booléen» et «Opérateurs relationnels» (Cf. Figure 34).

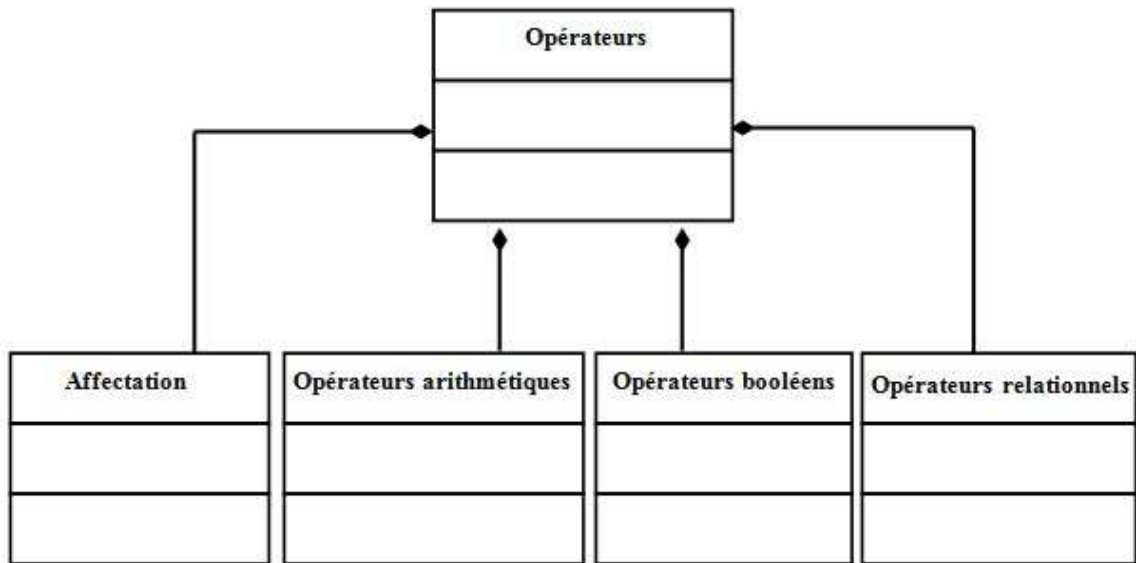


Figure 34 : Relation de conjonction du concept « Opérateurs ».

- **Relation de conjonction – Exemple 3** : le concept «Structure de contrôle» contient trois relations de conjonction «Branchement conditionnel», «Branchement inconditionnel» et «Boucle» (Cf. Figure 35).

Pour l'acquisition du concept « branchement conditionnel », il faut impérativement acquérir les concepts «If..else» et «Switch». En ce concerne le concept «Branchement inconditionnel», il est nécessaire d'acquérir les concepts «Break», «Continue», «Goto», «Return» et «Exit». Quand au concept «Boucle», il faut acquérir les concepts «While», «Do..while» et «For».

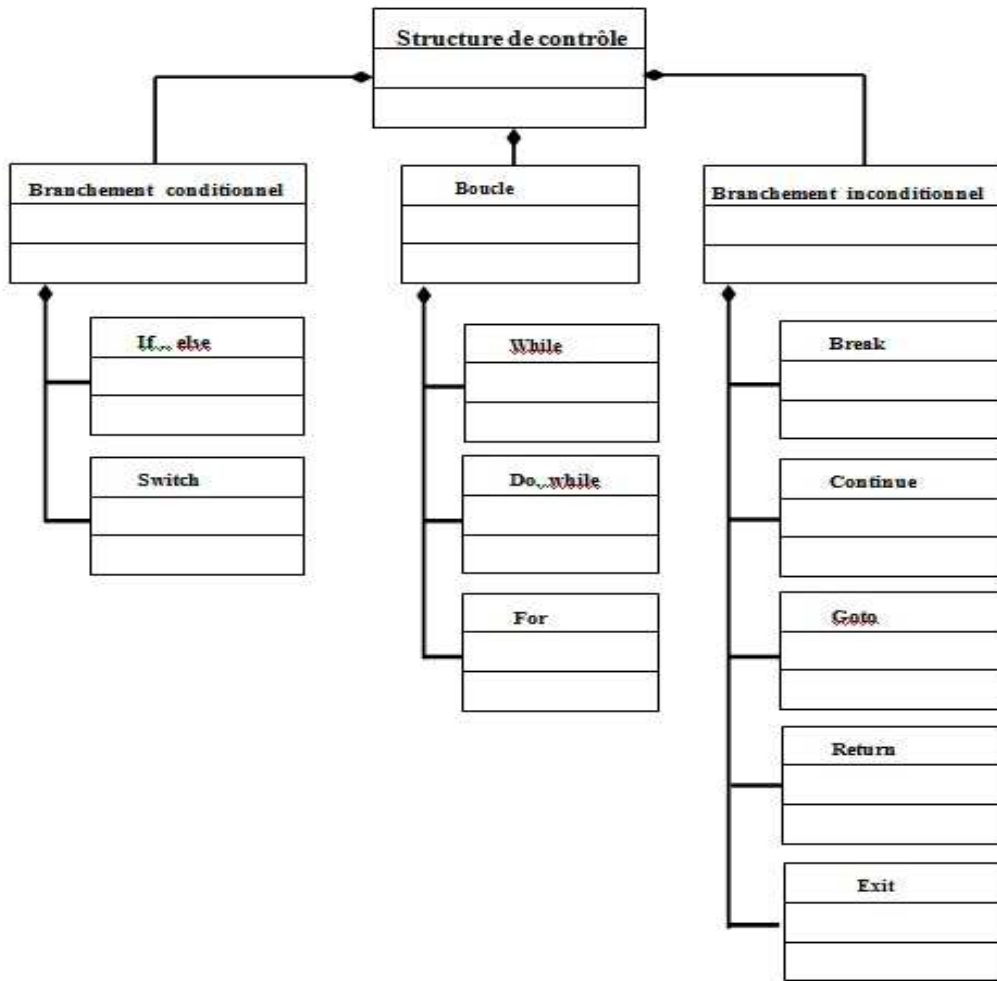


Figure 35 : Relation de conjonction du concept « structures de contrôles ».

- **Relation de conjonction – Exemple 4 :** Le concept «entrées/ sorties» est acquis si les concepts «Printf ()», «Scanf()» sont acquis (Cf. Figure 36).

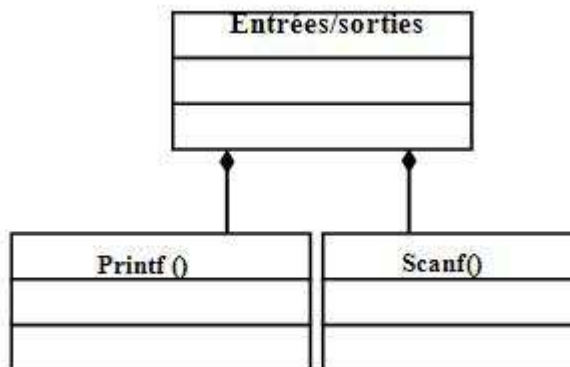


Figure 36 : Relation de conjonction du concept « Entrées/Sorties ».

■ Relations de pré-requis

Comme nous l'avons mentionné ci-dessus, la relation de pré requis est une relation importante qui permet de déterminer la structuration du cours et l'ordre d'affichage des concepts. La figure 37 présente les différents concepts que nous allons utiliser dans notre système et les relations de pré requis qui les lient.

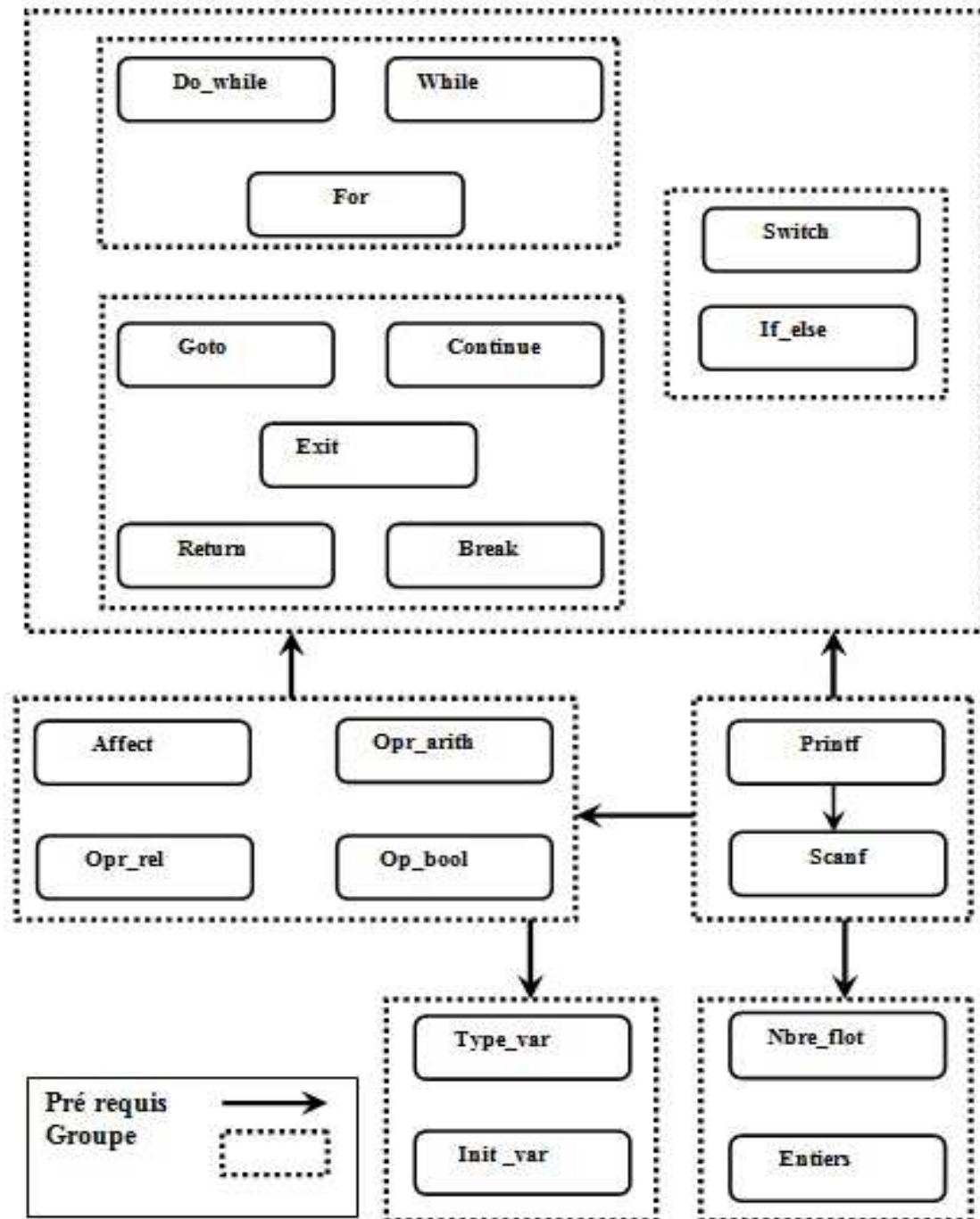


Figure 37 : Relation de pré-requis.

3.1.4. Les métadonnées

Comme nous l'avons mentionnée dans la partie de conception, nous allons utiliser quelques catégories du standard LOM auxquelles nous allons ajouter des champs sémantiques. La figure 38 liste les champs que nous allons utiliser pour l'indexation de nos OPs granulaires.

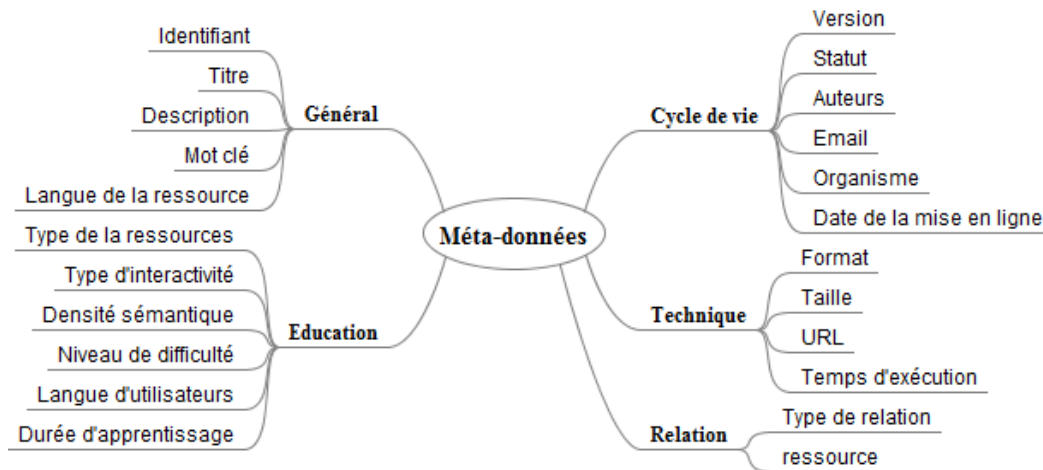


Figure 38 : Métadonnées utilisées pour l'indexation des OPs.

Pour l'opération de l'ajout d'un OP, l'enseignant est ramené à renseigner les champs des métadonnées des OPs que nous avons mentionnés ci-dessus (Cf. Figure 39).

ALS-CPL : Plate forme d'apprentissage à distance du langage de programmation C

Bienvenue, dico | Accueil | Changer mot de passe | Changer profile | Consulter profile | Déconnexion

ALS-CPL
IRF-SIC

Métadonnées de la ressource

1- Général

1.1- Identifiant de la ressource :

1.2- Intitulé de la ressource :

1.3 Description :

1.4 Mots clé (séparé par ;) :

1.5 Langue de la ressource:

2- Cycle de vie

2.1- Version de la ressource

2.2- Statut de la version de la ressource:

2.3- Auteur (Nom et Prénom) :

2.4- Email auteur :

2.5- Organisation auteur :

Figure 39 : Formulaire pour renseignement des métadonnées.

Un fichier XML correspondant aux métadonnées des OPs (exemple Cf. Figure 40) est ensuite généré par l'application et stocké sur le serveur.

```
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
<metadata>
<general>
  <identifiant>introduction_scanf</identifiant>
  <titre>introduction au concept scanf</titre>
  <langue>fr</langue>
  <description>cette ressource introduit les concept de la fonction
d'entrée scanf()</description>
  <motcle> scanf, fonction d'entrée, introduction, concept</motcle>
</general>
<cyclevie>
  <version>1</version>
  <statut>final</statut>
  <author>Masha Nikolski</author>
  <mail></mail>
  <organisation>CS Department, Technion</organisation>
  <date> April, 2006</date>
.....
</metadata>
```

Figure 40 : Exemple de fichier de métadonnées.

Une fois tout les OPs portant sur les concepts à présenter à l'apprenant sont stockés sur le serveur avec leurs métadonnées, les apprenants peuvent alors s'inscrire dans le système et accéder aux contenus adaptatifs. La section suivante présentera notre réalisation portant sur le modèle de l'apprenant.

3.2. Paquetage modèle de l'apprenant

Lors de la première connexion au système, l'apprenant est amené à s'inscrire et à initialiser son modèle (Cf. Figure 41). Pour cette opération, nous avons choisi un ensemble de questions qui vont nous permettre d'avoir des informations sur les connaissances, préférences, etc. de l'apprenant.

Un fichier XML correspondant à chaque apprenant est généré suite au renseignement du formulaire de l'initialisation du modèle de l'apprenant (Cf. Figure 42). Ce fichier contient les deux parties *statique* et *dynamique* que nous avons présentées dans le chapitre de la conception.

Figure 41 : Formulaire d'inscription et d'initialisation du modèle de l'apprenant.

```

<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
<?xml-stylesheet type="text/xsl" href="transf.xsl"?>
<!DOCTYPE apprenant SYSTEM "apprenant.dtd">
<apprenant>
  <statique>
    <identification>
      <nom>battou</nom>
      <prenom>amal</prenom>
      <sexe>f</sexe>
      <date_de_naissance>27/09/1979</date_de_naissance>
      <telephone>0661159341</telephone>
      <email>amal.battou@gmail.com</email>
    </identification>
    <securite>
      <password>16b5480e7b6e68607fe48815d16b5d6d</password>
      ....
    </securite>
  </statique>
  <dynamique>
    <concept> </concept>
    <note></note>
    ...
  </dynamique>
</apprenant>

```

Figure 42 : Exemple d'un fichier XML représentant un modèle de l'apprenant.

La partie statique de ce fichier peut éventuellement être modifiée par l'apprenant. Alors que la partie dynamique va être modifiée par le système qui va mettre à jours les informations en liaison avec l'évolution de la connaissance de l'apprenant.

Après être inscrit dans le système, l'apprenant doit s'authentifier auprès du système à chaque fois qu'il veut y accéder (Cf. Figure 43).

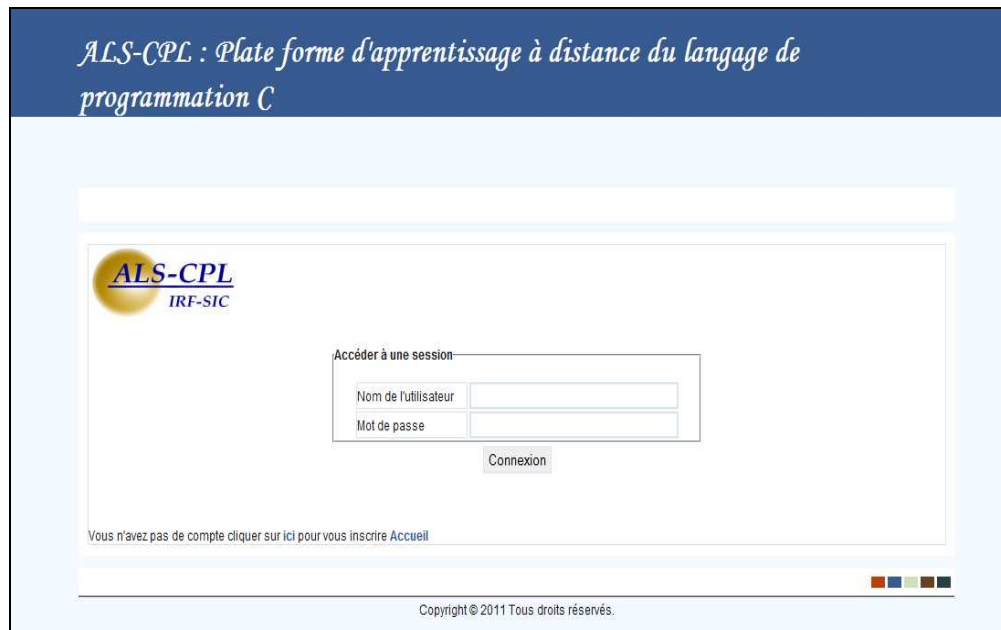


Figure 43 : Formulaire d'authentification de l'apprenant.

Une fois l'apprenant est authentifié auprès du système, une page d'accueil (figure 44) s'affiche offrant plusieurs fonctionnalités à l'apprenant et présentant l'objectif, les pré-requis du cours présenté, le menu de navigation et un ensemble de liens vers des documents externes que l'apprenant peut consulter en dehors du système.

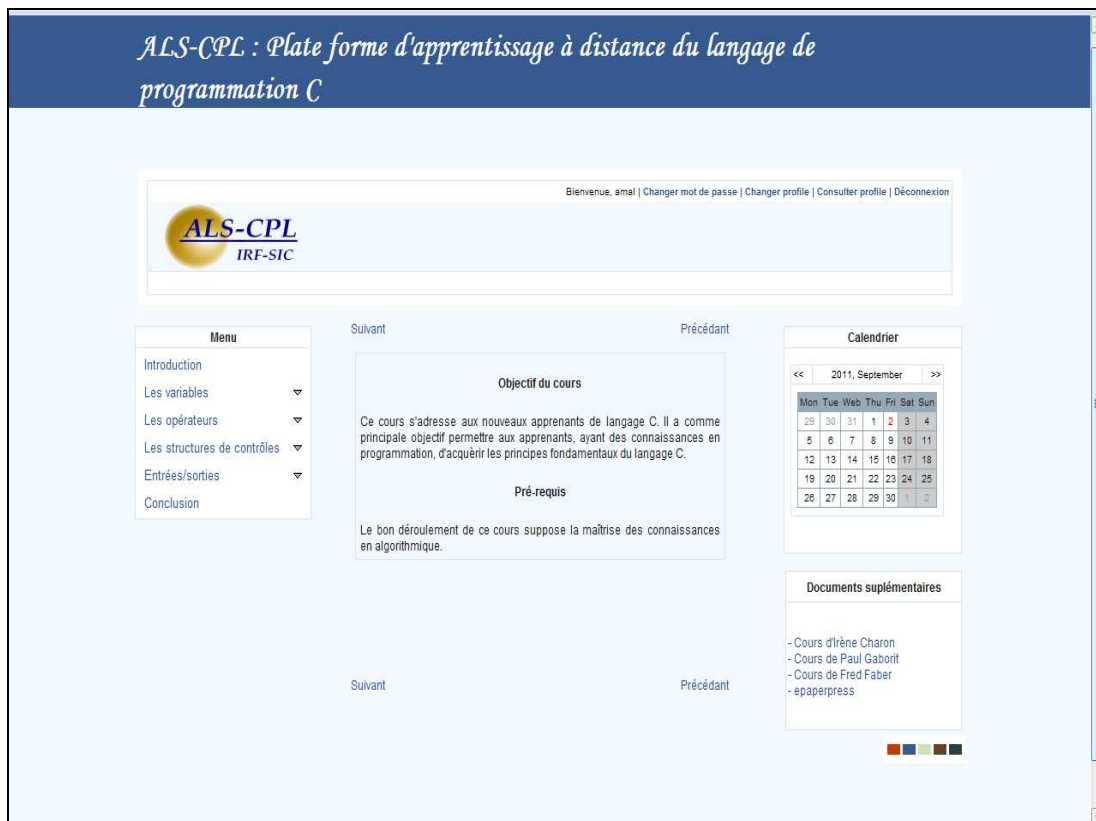


Figure 44 : Page d'accueil.

■ Navigation dans le contenu

L'apprenant peut naviguer à travers le menu à gauche en cliquant sur les liens menant vers les concepts qu'il veut apprendre. Il peut aussi naviguer à travers les liens « suivant » et « précédant » situés en haut et en bas du contenu pédagogique.

Notons que l'accès à un concept donné est conditionné par l'acquisition des pré-requis de ce concept. Ainsi, pour passer d'un concept à un autre il faut que la note du test du premier concept dépasse un seuil que nous avons fixé pour notre système à 10. Si la note du test est inférieure à ce seuil, même si l'apprenant clique sur un lien d'un autre concept, il ne peut pas y accéder.

■ Changement de mot de passe

Cette fonctionnalité permet à l'apprenant de changer son mot de passe et ce en saisissant, dans un formulaire (Cf. Annexe I figure 1), le mot de passe actuel et le nouveau mot de passe qu'il veut utiliser avec confirmation de ce mot de passe. Après cette opération, soit le nouveau mot de passe est validé et la page d'accueil est affichée soit le changement de mot de passe est annulé en signalant l'erreur commise.

■ **Changer le profile**

Cette fonctionnalité consiste à permettre aux apprenants de changer leurs profils. En choisissant ce lien, l'apprenant accède au formulaire qui va lui permettre de mettre à jours son profile s'il y a d'éventuels changements (Cf. Annexe I figure 2). Cette fonctionnalité permet à l'apprenant de modifier son profil à n'importe quel moment de son apprentissage.

■ **D'autres fonctionnalités**

Outre les fonctionnalités spécifiques au système cité ci dessus, ALS-CPL intègre également certaines fonctionnalités des systèmes semi automatique tels que les outils de communication et de collaboration (forum de discussion, chat). Ainsi, l'apprenant peut utiliser, à n'importe quel moment de son apprentissage, ces outils pour communiquer avec les autres apprenants et les enseignants dans l'objectif de partager des connaissances, de demander de l'aide/conseil, etc.

3.3. Paquetage modèle d'adaptation

Il s'agit ici de présenter les éléments d'implémentation des différentes composantes de ce modèle, à savoir : l'adaptation de contenu, l'adaptation de navigation, l'adaptation de présentation et les règles pédagogiques.

3.3.1. *Adaptation du contenu*

Pour l'adaptation du contenu, comme nous l'avons expliqué dans le chapitre précédent, il s'agit de rechercher les fragments en liaison avec le concept à acquérir et d'appliquer les filtres et les règles pédagogiques.

Les figures 45 et 46 présentent deux exemples de contenus adaptatifs générés par le système ALS-CPL au profit de deux apprenants ayant deux modèles apprenants différents.



Figure 45 : Exemple de contenu présenté à un apprenant préférant les médias de type vidéo



Figure 46 : Exemple de contenu présenté à un apprenant préférant les médias de type texte.

Pour le premier exemple, il s'agit d'un apprenant qui privilégie tout ce qui est vidéo. Le système ALS-CPL fait appel à tous les fragments qui sont sous format vidéo. Le deuxième exemple, il s'agit d'un apprenant qui préfère tout ce qui est texte. Le système dans ce cas, présente à l'apprenant tous les fragments sous format texte.

Si on ajoute d'autres critères de sélection des fragments comme le niveau de connaissance, l'état émotionnel de l'apprenant, chaque fragment présenté à l'apprenant sera adapté aux caractéristiques de l'apprenant. Ainsi l'adaptation que procure notre

système descend jusqu'au niveau des fragments et ne reste pas au niveau de tout une page web.

3.3.2. *Adaptation de la navigation*

Les techniques que nous avons utilisées pour l'adaptation de contenu sont essentiellement le guidage direct, l'annotation de lien et le masquage des liens.

Pour le guidage direct, nous avons utilisé les liens « suivant » et « précédant » qui permettent le passage d'un concept à un autre (Cf. Figure 47).



Figure 47 : Le guidage direct.

Quand au masquage technique, le système ALS-CPL affiche tout les concepts à apprendre dans un menu. Les concepts n'ayant pas de pré-requis sont accessibles via des liens actifs. Les concepts qui nécessitent d'acquérir au préalable des pré-requis sont visibles mais non cliquables.

En ce qui concerne la technique de l'annotation de lien, nous l'avons utilisé pour donner à l'apprenant des explications sur le contenu des pages cibles, ce qui va lui faciliter la navigation et optimiser la durée d'apprentissage (CF. Figure 48)

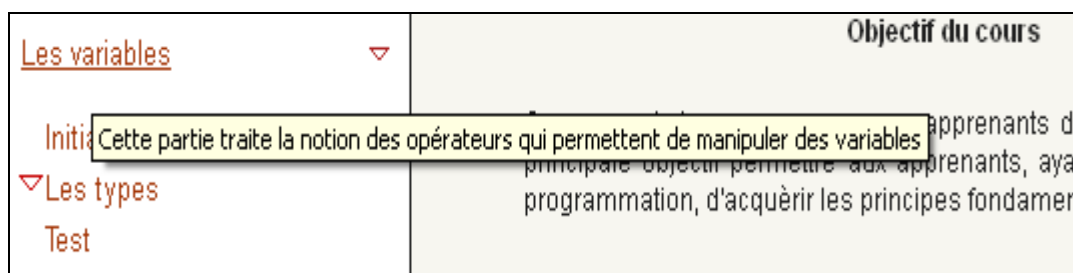


Figure 48 : L'annotation de liens.

3.3.3. *Adaptation de la présentation*

Pour l'adaptation de la présentation, nous avons donné la possibilité à l'apprenant de changer les couleurs de la template de présentation en cliquant sur la couleur qu'il préfère. (Cf. Figure 49).

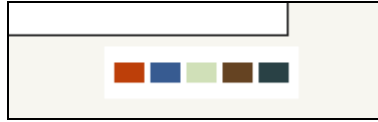


Figure 49 : Choix de couleurs.

Pour les langues, nous avons travaillé jusqu'à présent sur deux langues : la langue française et la langue anglaise. Le choix de la langue est déterminé par le système selon les préférences de l'apprenant renseignées dans le modèle de l'apprenant.

Nous soulignons que notre système est en état de prototype. D'autres doctorants dans notre laboratoire travaillent sur d'autres aspects (intégration des ontologies, l'ouverture sur l'open content, etc.) pour la finalisation et l'amélioration de ce système.

3.4. L'interface et ses paquetages

Il représente tout ce qui fait partie de l'interface homme-machine. Il s'agit des différents formulaires d'interaction avec notre système, des pages d'erreur et des pages attestant la réussite d'une opération et enfin des interfaces des différents objets de notre système. Nous n'allons ici détailler que les formulaires.

■ Classes de formulaires

Les différentes classes de formulaire sont représentées sur le schéma (Cf. Figure 50).

Les aspects informationnels de ces formulaires sont comme suit :

- **Formulaire d'authentification** : contient les éléments nécessaires à l'authentification à savoir le login et le mot de passe ;
- **Formulaire de changement de mot de passe** : ce formulaire contient l'ancien mot de passe, le nouveau mot de passe et la confirmation du nouveau mot de passe ;
- **Formulaire d'ajout de ressource** : contient toutes les métadonnées permettant l'indexation des ressources [général (titre, identifiant, mot clé, etc.), éducation (Type d'interactivité, densité sémantique, niveau de difficulté, etc.), cycle de vie (version, statut, auteurs, email, etc.), relation (type de relation, ressource), technique (format, taille, URL, etc.)] ;
- **Formulaire d'inscription** : il y'a deux types de formulaires. Le premier, destiné aux enseignants, contient des informations d'identification (nom, prénom, email, adresse, organisme, identifiant, mot de passe, confirmation de mot de passe). Le deuxième, destiné aux apprenants, contient toutes les informations que nous avons présentées dans le modèle de l'apprenant présenté auparavant ;
- **Formulaire de changement de profil** : contient les informations d'ordre personnelles que l'utilisateur (enseignant, apprenant) peut changer suite au changement de son situation (changement d'email, d'adresse, etc.) ;

- **Formulaire test** : contient les questions auxquelles l'apprenant doit répondre pour valider ses acquis.

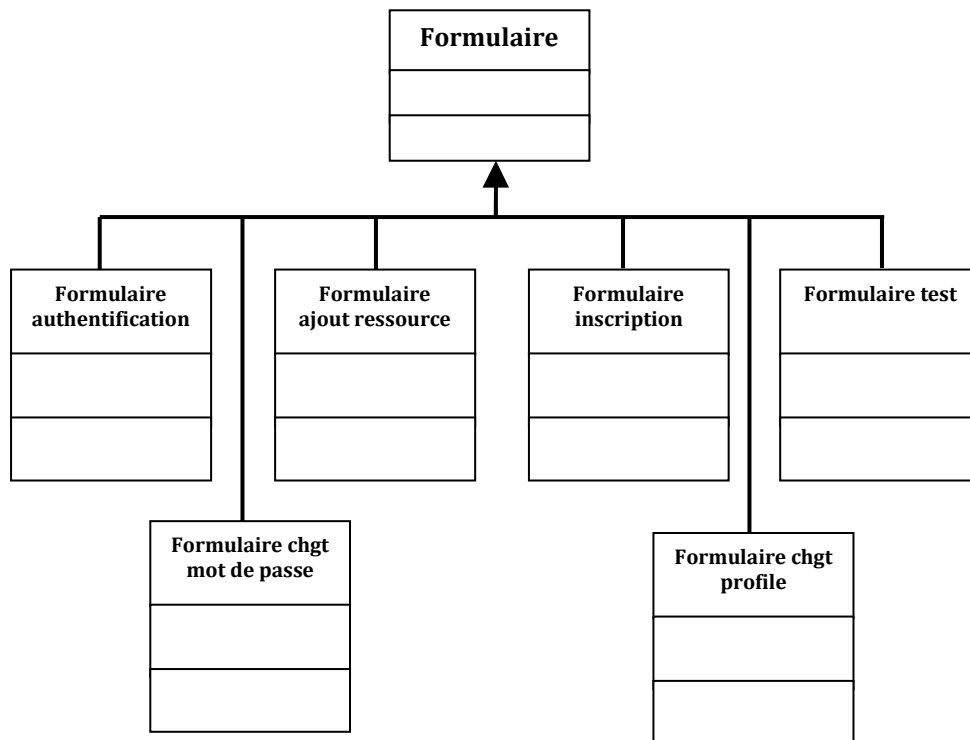


Figure 50 : Diagramme de classe de formulaire.

■ Exemples d'interfaces et interactions

Chaque enseignant est amené à s'inscrire la première fois dans notre système. Il aura à remplir un certain nombre d'informations (Cf. Figure 51).

Figure 51 : Formulaire d'inscription d'un enseignant.

Après l'opération de l'authentification (Cf. Figure 52) auprès du système, l'enseignant peut alors ajouter, modifier, supprimer un OP et éventuellement accéder aux journaux d'activité des apprenants.



Figure 52 : Formulaire d'authentification.

4. Conclusion

Notre objectif dans ce chapitre était de mettre en pratique notre approche granulaire à travers une réalisation partielle d'un SHAD appelé ALS-CPL. Ce système a pour objectif de procurer des contenus adaptatifs en adéquation avec le modèle de l'apprenant enregistré dans le système, tout en utilisant des ressources qui répondent à nos critères de temps (ne dépasse pas 15 min), de contenu (une idée simple) et de forme (un type média).

Ce système a mis en évidence la capacité de la granularité fine, que nous avons proposé, impliquant une meilleure adaptabilité des contenus pédagogiques. D'ailleurs, comme nous avons vu avec les exemples que nous avons présenté, l'adaptation que nous proposons est poussé jusqu'au niveau fragment. Ainsi chaque fragment (et non une page comme c'est le cas pour les modèles existants) peut être adapté aux caractéristiques des apprenants.

Pour l'implémentation de notre système, nous nous sommes basés sur le langage PHP et XML d'une part, et les technologies associées comme le simpleXML, le DOM, etc., d'autres part. Nous avons essayé d'intégrer les normes régissant les principales composantes du systèmes à savoir le standard IMS LIP pour le modèle de l'apprenant et le standard LOM pour l'indexation des ressources.

Conclusion Générale

Au terme de ce travail, nous proposons un rapide bilan des idées que nous avons avancées. Les travaux présentés dans cette thèse se situent dans le cadre des EIAH en général et les SHAD en particulier. Un problème concret a été abordé, celui de l'adaptation des contenus pédagogiques aux caractéristiques de l'apprenant. Du fait de la complexité du domaine de l'expertise humaine, ce travail nous a montré l'importance des problèmes théoriques liés à la granularité fine des contenus et de *l'open content*. Nous nous sommes ainsi focalisés sur la granularité fine des ressources comme critère fondamental permettant d'atteindre l'adaptabilité tant souhaitée dans les SHAD. La nécessité de disposer d'une approche permettant de capter cette granularité s'est alors imposée, dès le début de nos recherches.

Plusieurs questions ont été posées au début de ce mémoire, nous en rappelons ici quelques unes : Qu'est ce que l'adaptabilité des contenus ? Que peut-on adapter et à quel niveau ? Comment adapter les contenus à un apprenant et à un contexte particulier ? Comment représenter les contenus pour qu'ils soient réutilisables ? Une représentation granulaire permet-elle d'améliorer les mécanismes d'adaptabilité ? Qu'est ce que la granularité ? Quelles approches utiliser pour décrire la granularité nécessaire à l'adaptabilité ?

Ces questions ont constitué le fil conducteur de l'ensemble de nos recherches. Pour répondre aux trois premières questions, nous nous sommes intéressés au domaine des EIAH et plus particulièrement aux SHAD. Pour ces derniers systèmes, nous avons fait l'étude de la terminologie de l'adaptation de contenu avant de nous focaliser sur *l'adaptativité* comme objectif à atteindre. Nous avons également consacré toute une partie pour répondre aux questions posées par Brusilovsky, à savoir « adapter à qui ? », « adapter quoi ? », et « comment réaliser une adaptation ? ». Nous avons également présenté quelques SHAD et nous avons ressorti leurs limites.

Pour traiter le reste des questions, nous avons adopté l'approche des OPs et nous avons fait l'étude des différents domaines liés à cette approche, notamment les normes et standards. Nous nous sommes focalisés par la suite sur les notions de granularité et de réutilisabilité pour atteindre l'adaptabilité. Nous avons présenté plusieurs approches utilisées pour la définition de la notion de granularité avant de proposer notre vision pour la définition de cette notion. L'approche que nous avons proposée s'inspire de plusieurs approches dans la littérature tout en essayant de contourner leurs limites. Nous avons choisi, pour définir une granularité fine, les critères de *temps*, *d'idée* et de *média*. Ainsi, dans notre approche, un OP est considéré d'une granularité fine s'il répond à trois critères : (1) le temps d'exécution/consultation de l'OP ne dépasse pas les 15 minutes, (2) L'OP traite une idée simple faisant partie d'un concept d'un domaine d'apprentissage et

(3) un OP est représenté par une seule brique multimédia et qui peut être soit une image, une vidéo, un son, du texte, une simulation ou bien un diagramme.

Nous avons, ensuite, entamé la phase de validation de notre approche en proposant une conception générique d'un SHAD permettant de l'implémenter. Par la suite, nous avons mis en place les premières briques de la réalisation de ce système en prenant comme exemple de domaine d'apprentissage, le langage de programmation « C ». Ce système, nommé ALS-CPL, devrait permettre de générer des contenus pédagogiques adaptatifs aux caractéristiques des différents apprenants. Nous étions contraints de faire la réingénierie des ressources issues du web parce qu'elles ne répondent pas aux critères que nous avons spécifiés pour les OPs. Nous nous sommes intéressés à des issues liées à *l'open content*, qui constituent une problématique qui sort du cadre de cette thèse. Nous avons quand même pu valider certaines hypothèses liées à cela, en cherchant et en adaptant les contenus trouvés dans le Web. La tâche n'était pas si simple, puisqu'il fallait trouver des médias qui se correspondent, qui permettent un parcours significatif, qui soient courts, qui répondent à une seule idée. La base actuelle des ressources ne constituant pas pour le moment une taille importante pour créer un cours complet, à proposer à l'expérimentation. Cela s'explique par ce que nous avançons au chapitre 6 et qui est défendu par plusieurs spécialistes du domaine. En fait, un projet de type SHAD a besoin d'une équipe pluridisciplinaire comportant : les développeurs de contenu, les concepteurs multimédia, l'ingénieur hypermédia, l'intégrateur du système. Tous ces éléments peuvent générer des coûts énormes impliquant le besoin en ressources humaines, financières, logicielles, matérielles, informationnelles, etc.

Notons par ailleurs que pour la conception du système ALS-CPL, nous avons suivi une méthodologie approuvée basée sur le langage UML d'une part, et d'autre part sur l'approche de conception des hypermédias adaptatifs dite UHDM. La méthode UHDM a consisté en la construction de sept modèles d'analyse et de conception. Les sept principaux artefacts, liés à cette méthode, consistent en la détermination des modèles suivants : le modèle de cas d'utilisation, le modèle conceptuel pour le contenu, le modèle de l'apprenant, le modèle d'adaptation et ses trois sous-modèles d'adaptation (contenu, navigation et présentation). Cette méthodologie a été complétée par la structure d'adaptabilité que nous avons proposée au chapitre 6.

Avec le système ALS-CPL, nous avons pu mettre en pratique la valeur ajoutée de notre approche pour atteindre une meilleure adaptabilité des contenus pédagogiques. Ainsi, nous avons vu qu'au lieu de présenter une page web adaptée à l'apprenant, à l'instar des modèles et des approches cités dans la littérature, nous avons proposé une adaptation au niveau des fragments qui constituent une page web. Certes, le système proposé est loin d'être finalisé. La partie suivante présentera un ensemble de contributions et de perspectives qui vont permettre l'amélioration de ce système en enrichissant ses fonctionnalités.

Contributions majeures

Cinq types de contributions sont faites dans nos travaux.

- La première contribution a été de proposer une reclassification des EIAH en prenant en compte les points de vue de plusieurs auteurs.
- La seconde a consisté en la proposition d'une nouvelle reformulation de l'approche de la granularité, en prenant en compte les standards et les points de vue de certains auteurs, afin d'améliorer l'adaptabilité.
- La troisième s'est intéressée à la réingénierie des objets pédagogiques. Ainsi, comme nous l'avons abordé dans le chapitre 7, nous avons récolté et adapté des contenus à partir du Web, en validant partiellement l'approche et le challenge liés à la notion d'open content.
- La quatrième consistait à étudier, les structures d'adaptabilité présentes dans la littérature. Cette étude nous a permis de proposer notre point de vue sur cette notion en proposant une structure d'adaptabilité générique.
- La cinquième contribution, décrite dans les chapitres 6 et 7 constitue notre apport principal dans cette thèse. Elle avait pour rôle d'analyser et de concevoir le fonctionnement et les interactions des différentes composantes de l'architecture du système ALS-CPL en suivant des méthodologies approuvées que nous avons validées.

Perspectives

Comme nous l'avons signalé ci-dessus, le système ALS-CPL n'est pas encore finalisé pour être testé directement sur des apprenants. Ce qui nous a intéressés dans le cadre de ce travail, c'est de proposer une nouvelle approche permettant d'améliorer l'adaptabilité des SHAD en nous basant sur l'approche de granularité des OPs. Ce travail s'ouvre à des perspectives larges que nous allons étaler dans ce qui suit.

Pour l'approche de granularité que nous avons proposée, nous envisageons de travailler en collaboration avec les enseignants de notre université pour constituer des entrepôts de contenus pédagogiques propriétaires de plusieurs domaines d'apprentissage. Ces contenus seront prêts à l'utilisation et à la mutualisation entre les différentes composantes de l'université et pourquoi pas à l'échelle des universités marocaines.

En ce qui concerne la réalisation du système ALS-CPL, les composantes de ce système méritent d'être enrichies. A titre d'exemple, pour le modèle de l'apprenant, nous n'avons pas pris en considération les différentes caractéristiques de l'apprenant. Nous jugeons intéressant d'enrichir le modèle de l'apprenant par d'autres caractéristiques pour qu'il soit plus représentatif de l'apprenant. Nous citons à titre d'exemple le style interactivo-cognitif de l'apprenant qui permet à notre système de choisir les types d'activité à présenter à l'apprenant en adéquation avec son style. Nous évoquons aussi le volet

affectif qui permet à notre système de prendre en considération les états émotionnels de l'apprenant tout au long de son apprentissage.

Pour le modèle d'adaptation, il peut aussi être amélioré par l'ajout du volet d'adaptation des solutions des exercices et l'amélioration de l'adaptation des autres composantes en intégrant les techniques d'adaptation et les enrichissements apportés au modèle de l'apprenant.

D'autres modules méritent aussi d'être intégrés pour enrichir ses fonctionnalités. Nous citons notamment des modules de sécurité comme la signature électronique, etc.

Nous avons aussi pensé à l'ajout d'une couche de médiation qui va permettre de communiquer avec les différentes bases de données qui contiennent les OPs et s'ouvrir par la suite sur l'open content dont le contenu répond à nos critères de granularité et de réutilisabilité.

Nous avons enfin vu qu'il est judicieux d'interfacer le système ALS-CPL avec d'autres plates-formes d'apprentissage à distance. Ceci va nous permettre d'avoir un seul système combinant deux sous-systèmes, le premier est dédié à l'apprentissage individuel et le deuxième est réservé à l'apprentissage collaboratif. Ainsi, notre système va permettre de faire le suivi individuel des apprenants qui ont des difficultés et ne peuvent pas suivre le rythme d'apprentissage de groupe. Alors que la plate forme d'apprentissage va permettre de faire le suivi des apprenants en masse.

Liste des publications, ouvrage et communications

Papiers publiés :

- Battou, A., El Mezouary, A., Cherkaoui, C., Mammass, D. (2010). The granularity approach of learning objects to support adaptability in adaptive learning systems. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. Vol 18. No. 1 – 2010 Disponible à http://www.jatit.org/volumes/eighteenth_volume_1_2010.php.
- Battou, A., El Mezouary, A., Cherkaoui, C., Mammass, D. (2011). Towards an Adaptive Learning System Based on a New Learning Object Granularity Approach. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, Vol. 2, No. 9, 2011. Disponible à <http://thesai.org/Publication/Archives/Volume2No9.aspx>.
- Battou, A., Cherkaoui, C., Mammass, D. (2011). Learning resources granularity: a lever for the issue of adaptability in adaptive hypermedia systems. *Int. J. Reasoning-based Intelligent Systems*, Vol.3, No. 3/4, 2011. Disponible à http://www.inderscience.com/search/index.php?action=record&rec_id=43540&prevQuery=&ps=10&m=or.
- Amal. Battou, Ali. El Mezouary, Chihab Cherkaoui, Driss. Mammass (2011). An Adaptive Learning System Architecture Based on a Granular Learning Object Framework. *International Journal of Computer Applications*. Volume 32 October 2011. Disponible à <http://www.ijcaonline.org/archives/volume32/number5/3900-5465>.
- A. El Mezouary, A. Battou, C. Cherkaoui, D. Mammass (2011). A Semantic Model for Improving the Retrieval of Learning Objects in AHS. *Communication in Information Science and Management engineering*. Disponible à <http://www.ijcaonline.org/archives/volume32/number9/3954-5435>.

Chapitre d'ouvrage :

Battou, A., Cherkaoui, C., Mammass, D. (2008). Conception d'un système de génération et /ou d'assemblage automatique de ressources pédagogiques en vue de créer des parcours adaptés aux apprenant. *Systèmes Intelligents: Théories et Applications*. Europa, Paris, 2008 p.49.

Contributions à des colloques :

- Battou, A., Cherkaoui, C., Mammass, D. (2007). Création des contenus pédagogiques conformément au standard SCORM 2004 : vers un planificateurs manuel. Workshop sur les technologies de l'information et de la communication. Tenu le 5 et 6 Juillet à l'Ensias, Rabat
- Battou, A., Cherkaoui, C., Mammass, D. (2009). Vers une démarche de mutualisation des contenus au sein de l'université Marocaine. Conférence inaugurale du projet Espace Numérique ouvert pour la méditerranée. Tenu le 26, 27 et 28 Mars 2009, Agadir
- Battou, A., El Mezouary, A., Cherkaoui, C., Mammass, D. (2009). Aspect multilingues de la normalisation dans la FOAD : cas de la langue Amazighe. 1er symposium International sur le traitement automatique de la culture Amazighe, défis et opportunités. Tenu le 12 et 13 Décembre 2009, Agadir
- Battou, A., El Mezouary, A., Cherkaoui, C., Mammass, D. (2010). Granularité des ressources pédagogiques et adaptabilité dans les EIAHs. Sixth international conference on intelligent systems : theory and applications. Tenu le 4 et 5 Mai 2010 à Rabat.
- Battou, A., Cherkaoui, C., Mammass, D. (2010). Learning resource granularity : A lever for the issue of adaptability in Adaptive Hypermedia. The third International Conference on Web and Information Technologies. Tenu le 16-19 Juin à Marrakech.
- Battou, A., El Mezouary, A., Cherkaoui, C., Mammass, D. (2011). Designing Principles for the Learning Object Granularity In Adaptive Learning Systems. International conference on multimedia computing and systems. Tenu le 9-11 Avril à Ouarzazate.
- Amal Battou, Ali Mezouary, Hassan EL.Megder, Chihab Cherkaoui, Driss Mammass. Un modèle d'objets pédagogiques pour l'adaptabilité dans les EIAH. 2^{ème} journées doctorales en Technologie de l'information et de la Communication. Tenu le 15-17 Juillet à Fès.
- Ali EL MEZOUARY, Amal BATTOU, Chihab CHERKAOUI and Driss MAMMASS (2011). A Semantic Model for Improving the Retrieval of Learning Objects in AHS. International conference on multimedia computing and systems. Tenu le 9-11 Avril à Ouarzazate.
- Ali El Mezouary, Amal Battou, Chihab Cherkaoui et Driss Mammass. Un modèle de grains d'objets pédagogiques pour le Web Sémantique. 2^{ème} journées doctorales en Technologie de l'information et de la Communication. Tenu le 15-17 Juillet à Fès.

Bibliographie

Abdul Karim, A-H. (2007) Learning objects application profile for granularity and reusability: Integrating Dublin Core with IEEE-LOM. *Proc. Int'l Conf. on Dublin Core and Metadata Applications*, Disponible à www.dcmipubs.org/ojs/index.php/pubs/article/viewFile/33/15.

Adda, S., (2008). *Vers une adaptabilité des parcours d'apprentissage par l'analyse des interactions*. Mémoire de Magister Option : Informatique Industrielle II.

ADDIE, (1975). ADDIE Timeline. Disponible à http://www.nwlink.com/~donclark/history_isd/addie.html.

Africtice, (2010). *Les phases d l'ingénierie pédagogique: modèle générique ADDIE*. Disponible à http://www.africtice.com/index.php?option=com_content&view=article&id=29965:les-phases-de-lingenierie-pedagogique-modele-generique-addie&catid=9:espace-pedagogique&Itemid=12.

ALFANET, (2002). *Alfanet Authoring Tool User Manual*. Disponible à http://dspace.learningnetworks.org/retrieve/176/ALFANET_Authoring_Tool_User_Manual.pdf.

and J. Mayfield (eds.): *Intelligent hypertext: Advanced techniques for the World Wide Web*. Lecture Notes in Computer Science, Vol. 1326, Berlin: Springer-Verlag, pp. 12-30.

Aouag, S. (2008). Individualisation de l'apprentissage dans un Système Tuteur Intelligent : cas de l'apprentissage de la lecture dans le système AMICAL. Thèse doctorat de l'Université Blaise Pascal Clermont-Ferrand II.

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

Asselgou, M., Semaoune, N. (2008). *Interrogation des entrepôts de ressources pédagogiques hétérogènes*. Mémoire de fin d'études Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en informatique 2007/2008.

Balacheff, N., Baron, M., Desmoulins, C., Grandbastien, M., & 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.

Balatsoukas, P., Morris, A. & O'Brien, A.(2008). Learning Objects Update: Review and Critical Approach to Content Aggregation, *Educational Technology & Society*, 11 (2), 119-130.

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.

Ballantyne N. Knowles A. (2007). Enhancing Student Learning with Case-based Learning Objects in a Problem-based Learning Context: *The Views of Social Work Students* in Scotland and Canada, Disponible à <http://jolt.merlot.org/vol3no4/knowles.htm>.

Balpe, J.P (1990). *Hyperdocuments hypertextes hypermedias*. Eyrolles, Paris, 1990, p.6.

Barrit, C. & Lewis, D. & Wieseler, W. (1999) . CISCO Systems Reusable Information Object Strategy Version 3.0.

Barron, T. (2002, May) Learning object approach is making inroads. *Learning Circuits*. Disponible à <http://www.apan.net/meetings/busan03/materials/ws/education/articles/Learning%20Object%20Approach%20Is%20Making%20Inroads.doc>.

Basque, J. & Lundgren-Cayrol, K. (2003). *Une typologie des typologies des usages des "TIC" en éducation*. Télé-université.

Battou, A., Cherkaoui, C., Mammass, D. (2008). Conception d'un système de génération et /ou d'assemblage automatique de ressources pédagogiques en vue de créer des parcours adaptés aux apprenant. *Systèmes Intelligents: Théories et Applications*. Europia, Paris, 2008 p.49.

Battou, A., Cherkaoui, C., Mammass, D. (2009). Vers une démarche de mutualisation des contenus au sein de l'université Marocaine. *Actes du colloque Espace Numérique Ouvert pour la Méditerranée* tenue du 26 au 28 à Agadir.

Battou, A., El Mezouary, A., Cherkaoui, C., Mammass, D. (2010). The granularity approach of learning objects to support adaptability in adaptive learning systems. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. Vol 18. No. 1 – 2010 Disponible à http://www.jatit.org/volumes/eighteenth_volume_1_2010.php.

Behaz, A., Djoudi, M. (2008). Création dynamique de documents hypermédias adaptatifs. *CIDE* [En ligne], Session Le document numérique scientifique à des fins pédagogiques. Disponible à <http://172.16.128.67:50010/cide/index.php?id=281>.

Beltran T., (1993). Hypermédias éducatifs: de la théorie à la pratique. *Hypermédias et Apprentissage '93* (G.-L. Baron, J.Baudé & B. de La Passardière, eds), INRP, 1993, pp.169-180. Disponible à <http://hal.inria.fr/docs/00/00/27/78/PDF/HyperAp2p169.pdf>.

Benadi, S, A. (2004). *Structuration des données et des services pour le télé-enseignement* Thèse de doctorat de l'Institut Nationale des Sciences Appliquées Spécialité Informatique, septembre 2004.

Berners-Lee, T., Hendler, J., Lassila, O. (2001). The Semantic Web, *Scientific American*, pp. 28-37. <http://www.scientificamerican.com/2001/0501issue/0501berniers-lee.html>.

Bétrancourt, M. (2007). L'ergonomie des TICE : quelles recherches pour quels usages sur le terrain ? in Charlier, B. et Peraya, D. (Eds). *Regards croisés sur la recherche en technologie de l'éducation* (pp. 77-89), De Boeck: Bruxelles. Disponible à http://tecfa.unige.ch/perso/mireille/papers/Betrancourt08_REF.pdf.

Bibeau, R. (2005). Les TIC à l'école : proposition de taxonomie et analyse des obstacles à leur intégration. *EpiNet* n° 79, novembre 2005, Disponible à <http://www.epi.asso.fr/revue/articles/a0511a.htm>.

Booch, G., Rumbaugh, J., & Jacobson, I. (1999). *The unified modeling language user guide*. Reading, Edition : Addison-Wesley.

Bourda, Y. (2002). *Des objets pédagogiques aux dossiers pédagogiques (via l'indexation)*. Document numérique, 2002/1 Vol. 6, p. 115-128. DOI : 10.3166/dn.6.1-2.115-128. Disponible à <http://www.cairn.info/revue-document-numerique-2002-1-page-115.htm>.

Bouzeghoub, A., (2005). Un modèle de description sémantique de ressources pédagogiques basé sur une ontologie de domaine. *Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation*. volume 12, (2005).

Brand, A., Daly, F. Meyers, B. (2004). *Metadata demystified*. The Sheridan Press and NISO Press Printed July 2003. Disponible à http://www.niso.org/standards/resources/Metadata_Demystified.pdf.

Bruillard, E. (1997). *Les machines à enseigner*. Éditions Hermès, Paris, 320 p. Disponible à http://www.stef.ens-cachan.fr/annur/bruillard/MaE_ch_2.pdf.

Bruillard, E., Vivet M. A. (1994). Concevoir des EIAO pour des situations scolaires. *Recherche en Didactique des Mathématiques*, vol.14, n°12, p 275-304. Disponible à http://www.stef.ens-cachan.fr/annur/bruillard/EB_MV_conception.pdf.

Brusilovsky, P. (1996). Adaptive Hypermedia: An Attempt to Analyze and Generalize. *Proceedings of First International Conference on Multimedia, Hypermedia and Virtual Reality 1994*. Brusilovsky P. & Streitz N. (Eds.) LNCS 1077, Springer.

Brusilovsky, P. (1997) Efficient techniques for adaptive hypermedia. In: C. Nicholas.

Brusilovsky, P. (2000) "Adaptive Hypermedia: From Intelligent Tutoring Systems to Web-Based Education", in Proc. *Intelligent Tutoring Systems*, pp.1-7. Disponible à <http://www2.sis.pitt.edu/~peterb/papers/ITS00inv.html>.

Brusilovsky, P. (2003). From adaptive hypermedia to the adaptive Web. *Proceedings of Mensch & Computer 2003*, Stuttgart, Germany, 21-24.

Brusilovsky, P. (2004) . Adaptive Navigation Support: From Adaptive Hypermedia to the Adaptive Web and Beyond. *In Proceedings of PsychNology Journal*. 7-23.

Brusilovsky, P., (1998). Methods and Techniques of Adaptive Hypermedia. *Adaptive Hypertext and Hypermedia*. pp.1-43.

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>.

Bush, V. (2007): http://fr.wikipedia.org/wiki/Vannevar_Bush page consultée en 2007.

Carro, R.M., Moriyón, R., Pulido, E. and Rodríguez, P. (1999): Teaching Tasks in an Adaptive Learning Environment. In: *Human-Computer Interaction. Communication, Cooperation and Application Design*, Eds: Bullinger, H. and Ziegler, J. (Munich: Lawrence Erlbaum Associated Pub.), Vol 2, 740-744.

Cherkaoui, C. (1996). *La Planification didactique : une contribution au développement d'un planificateur didactique dynamique dans un environnement d'aide à l'apprentissage de la lecture*. Thèse de doctorat de l'université, Soutenue le 18 Janvier 1996.

Cherkaoui, C., (2006). *Les Environnements Informatiques d'Apprentissage Humain : Fondements, problématiques, Méthodologies et Ingénierie*, Habilitation à diriger des Recherches, Soutenue le 18 Février 2006.

Cherkaoui, C., Mammass, D., Nouboud, F., El Adnani, M. (2005a). *A Model of Learning Objects for Learning Environments*, In Europa Book - ICHSL5, ISBN 2-909285-33-2, 398 Pages.

Cherkaoui, C., Megder, EL., Sbihi, B., Mammass, D., (2005b). Quelques pistes pour améliorer le développement des Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (EIAH), *SETIT'2005*.

Choquet, C. (2007). *Ingénierie et réingénierie des EIAH : L'approche REDiM*. Habilitation à diriger les recherches en informatique, Université du Maine, 2007.

Cisco, (1999). Cisco Systems Reusable Information Object Strategy Definition, Creation Overview, and Guidelines Version 3. Disponible à http://www.cisco.com/warp/public/779/ibs/solutions/learning/whitepapers/el_cisco_rio.pdf.

Conklin J., (1987). Hypertext: An introduction and survey. *IEEE Computer* 20(9), 1987, pp. 17-41.

Conlan, O., Hockemeyer, C., Wade, V., & Albert, D. (2002). Metadata Driven Approaches to Facilitate Adaptivity in Personalized eLearning systems. *The Journal of Information and Systems in Education*, 1, 38-44.

Coselearn, (2007). Programme Coselearn (Coopération Suisse en matière de eLearning). Site officiel : <http://www.coselearn.org>.

Costagliola, G., Delucia, A., Orefice, S., Polese, G. (2002). A Classification Framework to Support the Design of Visual Languages. *Journal of Visual Languages and Computing* 13, 573-600.

Cueilliez, O.(2006) *Composition de documents électroniques personnalisés basée sur des ontologies : Application au e-Learning*. Mémoire présenté en vue d'obtenir le diplôme d'ingénieur en Informatique, conservatoire national des arts et métiers, 2006.

De Bra P., Houben G-J. & Wu H. (1999). AHAM: A Dexter-based Reference Model for adaptive Hypermedia. *Proceedings of the ACM Conference on Hypertext and Hypermedia*, 147-156.

De Bra, P. (1998b). Adaptive Hypermedia on the Web: Methods, Technology and Applications. *Proceedings of the AACE WebNet .98 Conference*, Orlando, FL, 220-225. Disponible à <http://wwwis.win.tue.nl/~debra/webnet98/invited.ps>.

De Bra, P. and Calvi, L., (1998) AHA! An open Adaptive Hypermedia Architecture. *The New Review of Hypermedia and Multimedia*, vol. 4, pp. 115-139, Taylor Graham Publishers, 1998. Disponible à <http://www.wis.win.tue.nl/~debra/review/paper.html>.

De Bra, P., Calvi, L. (1998a). AHA: a Generic Adaptive Hypermedia System. *Proceedings of the 2nd Workshop on Adaptive Hypertext and Hypermedia HYPERTEXT'98*, Pittsburgh, USA, Juin 20-24, 1998.

De La Passardière, B. Jarraud, P. ManUeL, un profil d'application du LOM pour C@mpuSciences. Sciences et Techniques de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation, Volume 2004. Disponible à http://sticef.univ-lemans.fr/num/vol2004/passardiere-11/sticef_2004_passardiere_11p.htm.

De Vries, E. (2001) Les logiciels d'apprentissage : panoplie ou éventail? *Revue Française de Pédagogie*, 137, 105-116.

Deadfeed, (2010). *Centration sur l'apprenant / enseignement axé sur l'apprenant*. Disponible à <http://www.deadfeed.org/~overmann/glossaire/centrationapprenant.html>.

Delestre, N. (2000). *Un hypermédia adaptatif dynamique pour l'enseignement*, Thèse au laboratoire PSI de l'université de Rouen, 2000.

Delestre, N., Jean-Pierre Pécuchet, J-P. Gréboval, c.. (1998) L'Architecture d'un hypermédia adaptatif dynamique pour l'Enseignement. *NTICF'98*, p383-390, Rouen, 1998. Disponible à http://asi.insa-rouen.fr/enseignants/~delestre/papiers/NTICF98_Metadyne.pdf.

Derycke, A. (2000). Le suivi pédagogique : des usages aux définitions, *Revue Française de pédagogie*, Vol. N°132, p.5-10.

Deuff, D. (2003). *Structuration et représentation de contenus multimédias pour une application dans le domaine de l'éducation*. Thèse de doctorat, Université de Rennes, juillet 2003.

Downes, S. (2000). *Learning objects*. Disponible à : http://www.downes.ca/files/Learning_Objects.htm.

Downes, S. (2002). Design and Reusability of Learning Objects in an Academic Context: A New Economy of Education? *eLearning: una sfida per l'universita*, Milan, November 12.

Downes, S. (2003). Design and reusability of learning objects in an academic context: A new economy of education, in *JSDLA Journal*, 17(1). Disponible à http://www.usdla.org/html/journal/JAN03_Issue/article01.html.

Dufour, P., Jalbert, C., Plourde, D., Lemay, A., Cotte, L. (2002). *Portafolio sur support numérique*, Rapport de la direction des ressources didactiques, Ministère de l'éducation, Québec.

Duncan M. (2003). O desenvolvimento territorial: o projeto do MDA, In: *Desenvolvimento Territorial e Convivência com o Semi-Árido Brasileiro - Experiências de Aprendizagem*, Tonneau J.P., et al. (eds.), Embrapa semi arido, Petrolina.

Duval, E. & Hodgins, W. (2003). A LOM Research Agenda. WWW2003 Conference, 20-24 May 2003, Budapest, Hongary. Disponible à <http://www2003.org/cdrom/papers/alternate/P659/p659-duval.html.html>.

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.

Educnet, (2009),. *Notion de modularité : Granularité, individualisation*. Disponible à <http://www.educnet.education.fr/dossier/eformation/notion-modularite/granularite-individualisation-1/?searchterm=granularit%C3%A9>.

El Mezouary, A., Battou, A., Cherkaoui, C., Mammass, D. (2011). A semantic model for improving the retrieval of Learning Objects in AHS. *Acte de la conférence internationale Multimedia Computing and Systems (ICMCS)*, du 7 au 9 avril à Ouarzazate. Disponible à http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=5945632.

Elliott, K., Sweeney, K. (2007). Quantifying the reuse of learning objects. *Proceedings ascilite Singapore 2007*. Disponible à <http://www.ascilite.org.au/conferences/singapore07/procs/elliott-k.pdf>.

Elm_art, (2006). *Episodic Learner Model The Adaptive Remote Tutor*. Disponible à <http://art2.ph-freiburg.de/art/login-e.html>.

Ergun, M. (2006). *Etude didactique d'une activité de conception de protocole expérimental en chimie, supportée par un environnement informatique dédié*. Thèse de doctorat de l'université Joseph-Fourier - Grenoble I. juin 2006.

Fenineche, K. (2006). *Adaptation des situations d'apprentissage dans les communautés de pratique des enseignants : Approche basée sur les standards du e-learning*. Mémoire Magister en Informatique Institut de formation en Informatique 2007. Disponible à http://www.memoireonline.com/08/09/2528/m_Adaptation-des-situations-dapprentissage-dans-les-communautes-de-pratique-des-enseignants-Approch8.html.

Ferraris C., ans L Vignollet A. L., 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.

Flamand, P., Gervais, A. (2004). *Les objets Pédagogique : au-delà de la technologie, la pédagogie*, Le bulletin Clic, 54, 1-5. Disponible à <http://clic.ntic.org/cgi-bin/aff.pl?page=article&id=1100>.

Fröschl, C. (2005). *User Modeling and User Profiling in Adaptive E-learning Systems*. Master Institute for Information Systems and Computer Media (IICM) Faculty of Computer Science Graz University of Technology A-8010 Graz, Austria. Disponible à <http://www.iicm.tu-graz.ac.at/thesis/cfroeschl.pdf>.

Gavray, G. (2002), *Personnalisation des sites web : élaboration d'une méthodologie de mise en œuvre et application au cas DGTRE*. Mémoire en vue de l'obtention du titre de : Ingénieur De Gestion de l'université catholique de louvain. Disponible à <https://lilab.isys.ucl.ac.be/bchi/publications/2002/Gavray-T2002.pdf>.

Georget, J.-P. (2009). Apport de l'ergonomie des EIAH pour l'analyse et la conception de ressources destinées aux enseignants de mathématiques. Enseignement des mathématiques et développement : enjeux de société et de formation. *Actes du colloque Espace Mathématique Francophone*. Disponible à <http://educmath.inrp.fr/Educmath/ressources/actes-en-ligne/emfgt6/ljpgeorget.pdf>.

Ghaoui, C. Mitu Jain, M. Bannore, V. and Lakhmi C. Jain, C. L. (2005). Knowledge-Based Virtual Education. *Studies in Fuzziness and Soft Computing* Volume 178.

Giacomini E, P. (2005). *NetUniversité, une plateforme basée sur IMS-LD, pour la conception de cours en ligne, dans le cadre du projet CEPIAH (Conception et Evaluation de Polycopiés Interactifs pour l'Apprentissage Humain)*. Thèse de doctorat de l'Université de Technologie de Compiègne, novembre 2005.

Giacomini, E. P., Trigano, P., Alupoiaie, S. (2006). Concevoir des modèles de sites Web éducatifs en utilisant IMS Learning Design. *La revue canadienne de l'apprentissage et de la technologie*, V32(1). Disponible à <http://www.cjlt.ca/index.php/cjlt/article/viewArticle/68/66>.

Giardina, M., Laurier, M. (1999). Modélisation de l'apprenant et interactivité. *Revue des sciences de l'éducation*, vol. 25, n° 1, 1999, p. 35-59. Disponible à <http://www.erudit.org/revue/rse/1999/v25/n1/031992ar.pdf>.

Gruber, T. (1993). A translation approach to portable ontology specifications, *Knowledge Acquisition*, Vol. 5, No. 2.

Hmelo-Silver, C.E., Jeong, H. (2009). Productive use of learning Resources in an on line problem-based learning environment, *Journal of Computers in Human Learning*, pp.84-99, consulté en 2010, <http://www.elsevier.com/locate/comphumbeh>.

Höök K., KARLGREN J., WAERN A. et al. (1996). A glass box approach to adaptive hypermedia. *User models and User adaptive interaction*.

IDS, (1975). *Instructional Systems Development*. Disponible à <http://www.au.af.mil/au/awc/awcgate/doe/isd/paper.htm>.

IEEE, (2002). *Learning Draft Standard for Learning Metadata*. Disponible à <http://ltsc.ieee.org/wg12/>.

Interbook, (1999). *InterBook Home Page : Adaptive educational hypermedia on the WWW*. Disponible à <http://www.contrib.andrew.cmu.edu/~plb/InterBook.html#Try>.

Jobin, R. (2003). L'ère des REA. *Bulletin Clic, Numéro 51*, Octobre 2003. Disponible à <http://clic.ntic.org/cgi-bin/aff.pl?page=article&id=1132>.

Kien, D.N. (2006). *Moteurs de composition pour le système d'information sémantique et adaptatif*. Mémoire de fin d'études Master en informatique de l'Institut de la Francophonie pour l'Informatique Institut National des Télécommunications Disponible à http://www2.ifi.auf.org/rapports/stages-promo10/stage-do_ngoc_kien.pdf.

- Kim, Y. (2004). Empathetic Virtual Peers Enhanced Learner Interest and Self-efficacy. Workshop on Motivation and Affect in Educational Software. In: *12th International Conference on Artificial Intelligence in Education*. Disponible à <http://www.informatics.sussex.ac.uk/users/gr20/aied05/finalVersion/KYanghee.pdf>.
- Knutov, E., De Bra, P., Pechenizkiy, M. (2011), Generic Adaptation Framework: a Process-Oriented Perspective, *Journal of Digital Information* 12(1), USA.
- Kobsa, A. (2001). Generic User Modeling Systems. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 11 (1-2), 49-63.
- Koch, N. (2000). *Software Engineering for Adaptive Hypermedia Systems Reference Model, Modeling Techniques and Development Process*. Thèse doctorat de l'université Ludwig-Maximilians-Universität (LMU) of Munich, décembre 2000.
- Laforcade, P. (2004). *Méta-Modellisation UML pour la conception et la mise en œuvre de situation-problème coopératives*. Thèse doctorat de l'université de PAU et des PAYS de L'ADOUR, décembre 2004.
- Laroussi, M (2001). *Conception et réalisation d'un système didactique hypermédia adaptatif: CAMELEON*. Thèse doctorat de l'université Manouba et El Manar, mars 2001.
- Lecllet, D. (2004). *Environnements Interactifs d'Apprentissage dans des contextes professionnels. Des Tuteurs Intelligents aux Systèmes Supports d'Apprentissage à Distance*. Habilitation à diriger les recherches. Université de Picardie Jules Verne, Amiens, France Juin 2004.
- Loiseau, M. (2009). *Elaboration d'un modèle pour une base de textes indexée pédagogiquement pour l'enseignement des langues*. Thèse doctorat de l'Université Stendhal Grenoble 3, décembre 2009.
- Longmire, W. (2000) "Content and Context: Designing and Developing Learning Objects". *Learning Without Limits*, Vol. 3. Informania.
- Malaxa, V. (2005). A Framework for Metadata Creation Tools. *Interdisciplinary Journal of Knowledge and Learning Objects*, August 2005. Disponible à <http://ijklo.org/Volume1/v1p151-162Malaxa28.pdf>.
- Martins, A. C., Faria, L., Vaz de Carvalho, C., & Carrapatoso, E. (2008). User Modeling in Adaptive Hypermedia Educational Systems. *Educational Technology & Society*, 11 (1), 194-207.
- McMurray, E. (2000). Des normes pour les technologies de la formation. Disponible à <http://ditwww.epfl.ch/SIC/SA/publications/FI00/fi-4-00/4-00-page3.html>.
- Mellet-D'huart, D., Michel, G. (2006). Réalité virtuelle et apprentissage. In GRANDBASTIEN M. & LABAT J.-M. (Eds.) *Les environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain*. Editeur Hermes, Collection "Traité IC2 Information Commande Communication", 2006.
- Metros, E. (2005). Learning objects: A rose by any other name, EDUCAUSE review, Disponible à <http://www.educause.edu/ir/library/pdf/ERM05410.pdf>.

- Meyer, M. (2008). Modularization and Multi-Granularity Reuse of Learning Resources. Thèse de doctorat de l'Université technique de Darmstadt, septembre 2008.
- Milosavljevic, M. (1997). Augmenting the user's knowledge via comparison. In: Jameson, A., Paris, C. and Tasso, C. (eds.) *User Modeling*. Springer-Verlag, Wien, 119-130.
- Mortimer, L. (2002). Learning objects of desire: Promise and practicality. *Learning Circuits*, Disponible à <http://www.learningcircuits.org/2002/apr2002/mortimer.html>.
- MRK, (1994). *Discovering Instructional Design 11: The Kemp Model*. Disponible à <http://michaelhanley.ie/elearningcurve/tag/morrison-ross-and-kemp-model/>.
- Niso, (2004). *Understanding Metadata* Disponible à <http://www.niso.org/publications/press/UnderstandingMetadata.pdf>.
- Nogry, S., Jean-Daubias, S., Ollagnier-Beldame, M. (2004). Évaluation des EIAH: une nécessaire diversité des méthodes, in Proc. *Technologies de l'Information et de la Connaissance dans l'Enseignement supérieur et l'industrie*, pp. 265–271. Disponible à http://edutice.archives-ouvertes.fr/docs/00/02/75/97/PDF/Nogry_JeanDaubias.pdf.
- Oberlander, J., O'Donnell, M., Mellish, C., and Knott, A. (1998). Conversation in the museum: experiments in dynamic hypermedia with the intelligent labeling explorer. *The New Review of Multimedia and Hypermedia* 4, 11-32.
- Ollagnier-Beldame, M., Mille, A. (2007). *Faciliter l'appropriation des EIAH par les apprenants via les traces informatiques d'interactions*. Rapport de recherche RR-LIRIS-2007-023, Soumis à sticef spécial traces.
- Oubahssi, L., Grandbastien M. (2006), From learner information packages to student models: Which continuum?, in *ITS 2006 conference proceedings*, LNCS n° 4053, 288-297, Springer Verlag, 2006.
- Papanikolaou, K. A., Mabbott, A., Bull, S., & Grigoriadou, M. (2006). Designing learner-controlled educational interactions based on learning/cognitive style and learner behavior. *Interacting with Computers*, 18, 356-384.
- Paquette, G. (2002). *L'ingénierie pédagogique. Pour construire l'apprentissage en réseau*, Sainte-Foy, Presses de l'université du Québec, 2002a.
- Paterno, F., Mancini, C., (1999). Designing Web user interfaces adaptable to “Different types of use. *Museums and the Web*. Disponible à <http://www.archimuse.com/mw99/papers/paterno/paterno.html>.
- 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/bibliotheque-numerique/document-1239>.
- Platteaux, H. (2002). *Apprentissage et navigation dans les multimédias éducatifs*. Disponible à http://nte.unifr.ch/IMG/pdf/courshp20012002_session011112.pdf.

- Polsani, P. R. (2003). Use and abuse of reusable learning objects, *Journal of Digital Information*, 3(4). Disponible à <http://jodi.tamu.edu/Articles/v03/i04/Polsani/>.
- Popescu, E. (2008). *Dynamic adaptive hypermedia systems for e-learning*. Thèse doctorat de l'université de Craiova Roumanie. Novembre 2008.
- Puimatto, G. (2004). Petit glossaire à usage commun pour le pilotage et la conduite de projets d'espaces numériques d'éducation. [En ligne]. *Les dossiers de l'ingénierie éducative*, n°46. Disponible sur : <http://www.cndp.fr/archivage/valid/55454/55454-8363-10275.pdf>.
- Ray, J. (2005) Designing Adaptable Learning Resources with Learning Object Patterns. *Journal of Digital Information*, Vol 6, No 1.
- Reyes, G. (2007), *L'objet technique hypermédia : repenser la création de contenu éducatif sur le Web*. Thèse doctorat de L'université PARIS VIII, février 2007.
- Richey, R. C. (2000). *The future role of Robert M. Gagné in instructional design*. The Legacy of Robert M. Gagné (pp. 255-281)
- Rodet, J. (2009). *Individualisation*. Disponible à <http://www.novantura.com/wiki/wakka.php?wiki=individualisation>.
- Saleh, I., Mkadmi, A., & Reyes, E., (2005). De l'hypertexte à l'hypermédia, in I. Saleh (éd.), *Les Hypermédias : conception et réalisation*, Paris : Hermès Lavoisier, 2005, pp. 17-57. Diponible à <http://excerpts.numilog.com/books/9782746210370.pdf>.
- Sampson, D., Karagiannidis, C., Cardinali, F. (2002). An Architecture for Web-Based e-Learning Promoting Re-usable Adaptive Educational e-Content. *Educational Technology & Society Journal*, 5(4).
- SAT, (1975). *Systems Approach to Training*. Disponible à <http://www.quintec.com/specialist-services/systems-approach-to-training>.
- Seels, B. (1997). Taxonomic issues and the development of theory in instructional technology. *Educational Technology*, 37(1), 12-21.
- 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.
- Sgouropoulou, C. (2006). *Developing and handling learner profiles for European learner information systems*. In: Ehlers, U.D., Pawlowski, J.M. (Eds.) (2006): *Handbook on Quality and Standardisation in E-Learning*, Springer, Berlin.
- Silveira, I.F. (2005). Reusability and Interoperability of Adaptive Learning Objects Repositories. *Symposium de l'informatique en education*. Disponible à <http://www.br-ie.org/pub/index.php/sbie/article/viewFile/407/393>.

Smith N. S.(2005). Learning Objects, Learning Object Repositories, and Learning Theory: Preliminary Best Practices for Online Courses. *Interdisciplinary Journal of Knowledge and Learning Objects*, Volume 1, 2005.

Somyürek, S. (2009). Student modeling: Recognizing the individual needs of users in e-learning environments. *International Journal of Human Sciences* [Online]. 6:2. Disponible à <http://www.insanbilimleri.com/en>.

South, J. B., Monson, D. W. (2000). *A university-wide system for creating, capturing, and delivering learning objects*. In D. A. Wiley (Ed.), *The Instructional Use of Learning Objects*: version en ligne. Disponible à <http://reusability.org/read/chapters/south.doc>.

Stephanidis C., Paramythis A., Sfyarakis M., Stergiou A., Maou N., Leventis A., Paparoulis G. & Karagiandidis C., (1998). Adaptable and adaptive user interfaces for disabled users in AVANTI Project, in Triglia S., Mullery A., Campolargo M., Vanderstraeten H. & Mampaey M. (Eds), *Proceedings of the 5th International Conference on Intelligence in Services and Networks (IS&N'98)*, Technology for Ubiquitous Telecom Services, Antwerp, Belgium, 25-28 May 1998, LNCS 1430, Springer-Verlag, Germany, 1998, pp. 153–166.).

Surjono, H. & Maltby, J. (2003). Adaptive Educational Hypermedia based on Multiple Student Characteristics. In *Proceedings of the Second International Conference on Web-based Learning (ICWL 2003)*. Melbourne, Australia, 18-20 August.

Tchounikine & al, P. (2004). Platon-1 : quelques Dimensions pour l'analyse de 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.

Tchounikine, P. (2002a). Conception des environnements informatiques d'apprentissage : mieux articuler 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.

Tchounikine, P. (2002b). Pour une ingénierie des environnements informatiques pour l'apprentissage humain. *Revue Information Interaction Intelligence* (www.revue-i3.org), volume 2(n_1) : pages 59_93.

Tchounikine, P. (2009) *Précis de recherche en ingénierie des EIAH*. Disponible à <http://membres-liglab.imag.fr/tchounikine/Articles/PrecisV1.pdf>.

Tricot, A. & al. (2003). Utilité, utilisabilité, acceptabilité: interpréter les relations entre trois dimensions de l'évaluation des EIAH. In *Actes de la Conférence Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain – Strasbourg 2003*. 391-402. Disponible à <http://halshs.archives-ouvertes.fr/docs/00/00/16/74/PDF/n036-80.pdf>.

Univ-Paris5, (2006). *Learning Object Metadata*. Disponible à <http://wiki.univ-paris5.fr/wiki/LOM>.

Vieville, T. (2005). *Quelques Idées sur le Concept d'Adaptation en Vision par Ordinateur*. Disponible à <http://www.loria.fr/~vthierry/cours/adaptation.html>.

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.

W3C (2004), *OWL Web Ontology Language Guide*. W3C Recommendation 10 February 2004. Disponible à <http://www.w3.org/TR/owl-guide/>.

Wagner, E. D. (2002). Steps to Creating a Content Strategy for Your Organization. *The e-Learning Developers' Journal*, October 2002.

Weber, G., Brusilovsky, P. (2001). ELM-ART: An Adaptive Versatile System for Web-Based Instruction. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*.

Wiley, D.A. (1999). *Learning Objects and the New CAI: So what do I do with a learning object?* Disponible à <http://opencontent.org/docs/instruct-arch.pdf>.

Wiley, D.A. (2000a). *Connecting learning objects to instructional design theory: A definition, a metaphor, and a taxonomy*. In D.A. Wiley (Ed.), *The instructional use of learning objects*.

Wiley, D.A. (2000b), *A reformulation of the issue of learning object granularity and its implications for the design of learning objects*. Disponible à reusability.org/granularity.pdf.

WISC, (2009) "Visconsin on line Ressource center". Disponible à : <http://www.wisconline.com>.

Yessad, A. (2009), *Construction d'un Environnement Pédagogique Adaptatif basé sur les modèles et Techniques du Web Sémantique*. Thèse de doctorat de l'Université de l'Université d'Annaba, Algérie (2009). Disponible à http://seriousgames.lip6.fr/blog/wp-content/uploads/2010/02/M%C3%A9moire_Th%C3%A8se_Yessad_Final1.pdf.

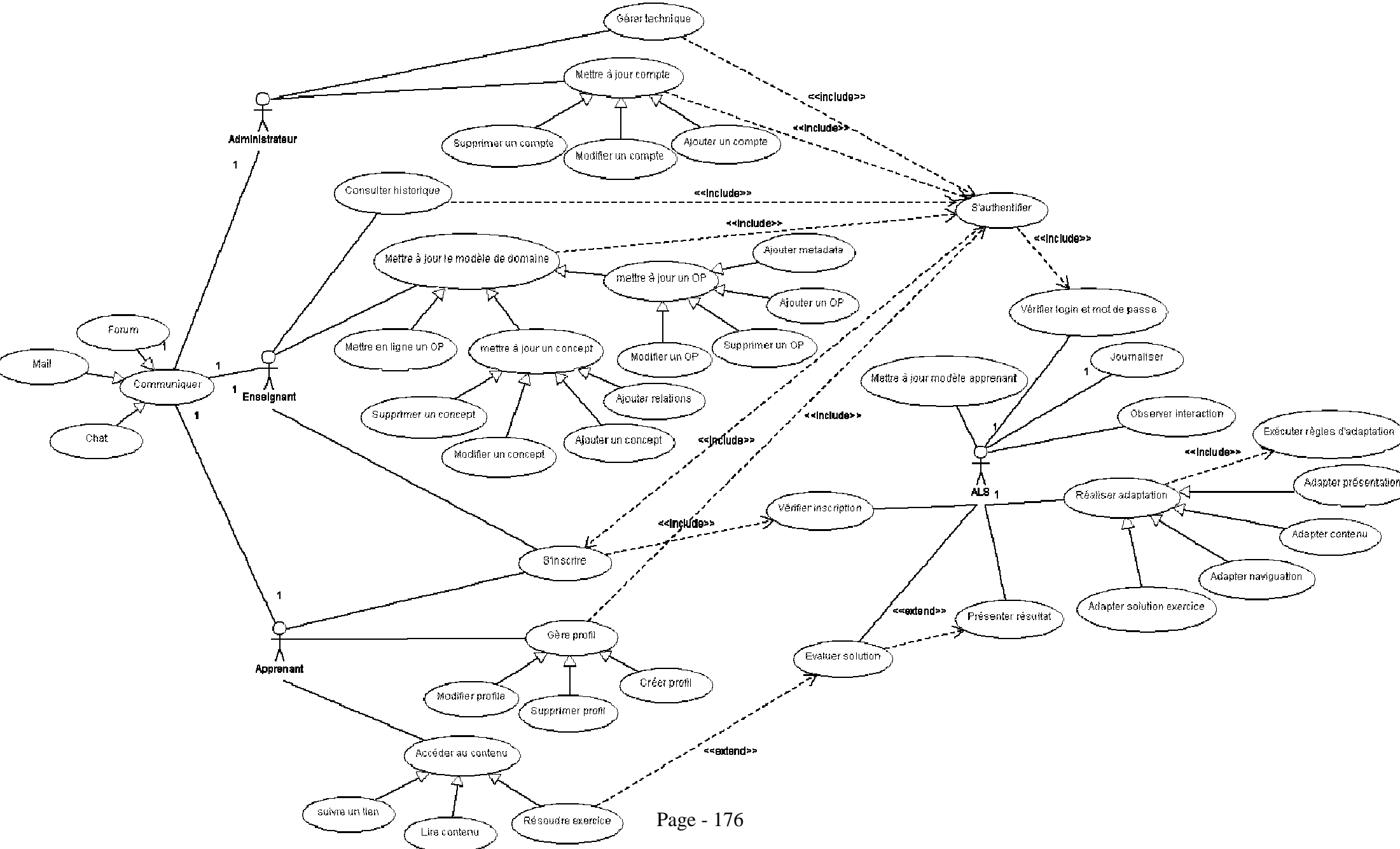
Annexe I : Diagramme de cas d'utilisation global

Annexe II : Figures d'ALS-CPL

Annexe III : Fragments de code du système ALS-CPL

Annexe IV : XML et technologies associées

Annexe I : Diagramme de cas d'utilisation global



Annexe II : Quelques écrans de ALS-CPL

ALS-CPL:
*Plate forme d'apprentissage à distance
du langage de programmation C*

ALS-CPL
IRF-SIC

IRF-SIC
Faculté des Sciences
ACADÉMIE

ALS-CPL... c'est quoi?

La plate forme ALS-CPL est une plate forme ouverte est granulaire. ALS-CPL génère des contenus pédagogiques, portant sur le langage de programmation C, adaptatifs à différents profil d'apprenant.

Espace Apprenant

Espace Enseignant

Copyright 2010 Laboratoire IRF-SIC, Université IBN ZOHR, Faculté des sciences Contact

Figure 1 : page d'accueil du système ALS-CPL

ALS-CPL : Plate forme d'apprentissage à distance du langage de programmation C

Bienvenue, amal | Accueil | [Changer mot de passe](#) | [Changer profile](#) | [Consulter profile](#) | [Déconnexion](#)

ALS-CPL
IRF-SIC

Changer votre mot de passe

Mot de passe actuel

Tapez votre nouveau mot de passe

Confirmez votre nouveau mot de passe

Accueil

Copyright © 2011 Tous droits réservés.

Figure 2 : Formulaire de changement de mot de passe

[Bienvenue, amal](#) | [Accueil](#) | [Changer mot de passe](#) | [Changer profile](#) | [Consulter profile](#) | [Déconnexion](#)

ALS-CPL
IRF-SIC

Modifier votre profile

A- Informations personnelles

Nom :

Prénom :

Sexe : choisissez

Date de naissance :

Diplôme : choisissez

Téléphone :

Email :

B- Connaissance et Compétence

Vous êtes choisissez en terme d'utilisation des Technologies d'Information et de Communication

Quels sont les langage de programmation que vous avez manipulé

C

C++

Figure 3 : formulaire de changement de profile

Annexe III : Fragments du code du système ALS-CPL

A- Initialisation du modèle de l'apprenant

```
<?php
$errors = array();
if(isset($_POST['envoyer']))
{
    $nom = $_POST['nom'];
    $prenom = $_POST['prenom'];
    $sexe = $_POST['sexe'];
    $date_de_naissance = $_POST['date_de_naissance'];
    $diplome = $_POST['diplome'];
    $telephone = $_POST['telephone'];
    $email = $_POST['email'];
    $username = preg_replace('/[^A-Za-z]/', '', $_POST['username']);
    $password = $_POST['password'];
    $c_password = $_POST['c_password'];
    $c = $_POST['c'];
    $cplusplus = $_POST['cplusplus'];
    $java = $_POST['java'];
    $delphi = $_POST['delphi'];
    $cobol = $_POST['cobol'];
    $pascal = $_POST['pascal'];
    $python = $_POST['python'];
    $perl = $_POST['perl'];
    $autres = $_POST['autres'];
    $tout = $_POST['tout'];
    $opérateur = $_POST['opérateur'];
    $variable = $_POST['variable'];
    $structure = $_POST['structure'];
    $fonction = $_POST['fonction'];
    $inputoutput = $_POST['inputoutput'];
    $pointeur = $_POST['pointeur'];
    $fichier = $_POST['fichier'];
    $style_appr = $_POST['style_appr'];
    $pref = $_POST['pref'];

    if(file_exists('apprenants/' . $username . '.xml')){
        $errors[] = 'Username already exists';
    }
    if($username == ""){
        $errors[] = 'Username is blank';
    }
    if($email == ""){
        $errors[] = 'Email is blank';
    }
    if($password == "" || $c_password == ""){
        $errors[] = 'Passwords are blank';
    }
}
```

```

if($password != $c_password){
    $errors[] = 'Passwords do not match';
}

if(count($errors) == 0){

$xmlstr = "<?xml version='1.0' encoding='ISO-8859-1'?>\n".
"<?xml-stylesheet type='text/xsl' href='xslt/profile.xsl'?>\n".
" <!DOCTYPE apprenant SYSTEM 'apprenant.dtd'>\n".
"<apprenant></apprenant>";
$xml = new SimpleXMLElement($xmlstr);
$personal = $xml->addChild('personal');
$personal->addChild('nom', $nom);
$personal->addChild('prenom', $prenom);
$personal->addChild('sexe', $sexe);
$personal->addChild('date_de_naissance', $date_de_naissance);
$personal->addChild('diplome', $diplome);
$personal->addChild('telephone', $telephone);
$personal->addChild('email', $email);
$personal->addChild('password', md5($password));
$knowledge = $xml->addChild('knowledge');
$knowledge->addChild('tic', $tic);
$knowledge->addChild('c', $c);
$knowledge->addChild('cplusplus', $cplusplus);
$knowledge->addChild('java', $java);
$knowledge->addChild('delphi', $delphi);
$knowledge->addChild('cobol', $cobol);
$knowledge->addChild('pascal', $pascal);
$knowledge->addChild('python', $python);
$knowledge->addChild('perl', $perl);
$knowledge->addChild('autres', $autres);
$knowledge->addChild('tout', $tout);
$knowledge->addChild('variable', $variable);
$knowledge->addChild('opérateur', $opérateur);
$knowledge->addChild('structure', $structure);
$knowledge->addChild('fonction', $fonction);
$knowledge->addChild('inputoutput', $inputoutput);
$knowledge->addChild('pointeur', $pointeur);
$knowledge->addChild('fichier', $fichier);
$preference = $xml->addChild('preference');
$preference->addChild('style_appr', $style_appr);
$preference->addChild('pref', $pref);
$knowledge_1 = $xml->addChild('knowledge_1');
$knowledge_1->addChild('session');
$session->addChild('id_session');
$session->addChild('date_session');
$concept->$xml->$knowledge_1->addChild('concept');
$concept->addChild('id_session');
$concept->addChild('etat_concept');
$concept->addChild('cumul_concept');
$concept->addChild('resultat');
$concept->addChild('temps_test');
$concept->addChild('nbre_essai');

```

```

$knowledge_2 = $xml->addChild('knowledge_2');
$knowledge_2->addChild('session');
$session->addChild('id_session');
$session->addChild('date_session');
$concept->$xml->$knowledge_2->addChild('concept');
$concept=>addChild('id_session');
$concept=>addChild('etat_concept');
$concept=>addChild('cumul_concept');
$concept=>addChild('resultat');
$concept=>addChild('temps_test');
$concept=>addChild('nbre_essai');
....

$xml->asXML('apprenants/' . $username . '.xml');

header('Location: login.php');
die;
}
}
?>
<!DOCTYPE html PUBLIC "-//W3C//DTD XHTML 1.0 Transitional//EN"
"http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-transitional.dtd">
<html xmlns="http://www.w3.org/1999/xhtml">
<head>
<meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=iso-8859-1" />
<title>Inscription</title>
<link rel="stylesheet" type="text/css" href="css/theme.css" />
<link rel="stylesheet" type="text/css" href="css/style_1.css" />
<script>
var StyleFile = "theme" + document.cookie.charAt(6) + ".css";
document.writeln('<link rel="stylesheet" type="text/css" href="css/' + StyleFile + "'>');
</script>
<!--[if IE]>
<link rel="stylesheet" type="text/css" href="css/ie-sucks.css" />
<![endif]-->
</head>
<body>
<div id="container">
<div id="header">
<h2> <font face="Monotype Corsiva" size="6" align="center">ALS-CPL : Plate forme
d'apprentissage à distance du langage de programmation C </font></h2>
<div id="topmenu">
<br /><br />
</div>
</div>
<div id="top-panel">
<div id="panel">
<ul>
</ul>
</div>
</div>
</div>

```

```

</div>
  <div id="wrapper">
<div id="content">
  <div id="rightnow">
    <br />
    <h3 class="reallynow" align="center"> <font size="5">Inscription </font><br /> </h3>
  <form method="post" action="">

    <?php
    if(count($errors) > 0){
      echo '<ul>';
      foreach($errors as $e){
        echo '<li>' . $e . '</li>';
      }
      echo '</ul>';
    }
    ?>
  <div align="center"> <br />
  <fieldset id="infoperso" style="width:650px; text-align:left">
  <legend> <b>A- Informations personnelles </b></legend>
  <br />

  <p> </p>
  <table>
  <tr>
  <td align="left">Nom : </td>
  <td><input type="text" name="nom" size="20" /></td>
  </tr>
  <tr>
  <td align="left">Prénom : </td>
  <td><input type="text" name="prenom" size="20" /></td>
  </tr>
  <tr>
  <td>Sexe : </td>
  <td><select name="sexe">
  <option selected="selected"> choisissez </option>
  <option value="f"> Féminin </option>
  <option value="m"> Masculin </option>
  </select></td>
  </tr>
  <tr>
  <td>Date de naissance : </td>
  <td><input name="date_de_naissance" size="50" type="text"></td>
  </tr>
  <tr> <td>Diplôme : </td>
  <td><select name="diplome">
  <option selected="selected">choisissez</option>
  <option value="-bac"> < Bac</option>
  <option value="bac">Bac</option>
  <option value="bac2">Bac +2</option>

```

```

        <option value="bac3">Bac +3</option>
        <option value="bac5">Bac +5</option>
        <option value="bac7">Bac +7</option>
    </select></td>
</tr>
<tr>
    <td>Téléphone : </td>
    <td><input type="text" name="telephone" size="20" /></td>
</tr>
<tr>
    <td>Email : </td>
    <td><input type="text" name="email" size="20" /></td>
</tr>
<tr>
    <td>Nom d'utilisateur : </td>
    <td><input type="text" name="username" size="20" /></td>
</tr>
<tr>
    <td>Mot de passe : </td>
    <td><input type="password" name="password" size="20" /></td>
</tr>
<tr>
    <td>Confirmer votre mot de passe : </td>
    <td><input type="password" name="c_password" size="20" /></td>
</tr>
<tr><td>&nbsp;</td></tr>
<tr>
</table>
</div>
<div align="center"> <br />
<fieldset id="connaissance" style="width:650px; text-align:left">
<legend> <b>B- Connaissance et Compétence </b></legend>
<br />
    <p> <b>Vous êtes </b><select name="tic">
        <option selected="selected">choisissez</option>
        <option value="1"> Débutant </option>
        <option value="2"> Intermédiaire </option>
        <option value="3"> Avancée </option>
        <option value="4"> Expert </option>
    </select> <b>en terme d'utilisation des Technologies d'Information et de
Communication </b></p>
    <p></p>
    <br />
    <p><b>Quels sont les langage de programmation que vous avez manipulés</b></p>
    <p><input type="checkbox" name="c" /> C </p>
    <p><input type="checkbox" name="cplusplus" /> C++ </p>
    <p><input type="checkbox" name="java" /> Java </p>
    <p><input type="checkbox" name="delphi" /> Delphi</p>
    <p><input type="checkbox" name="cobol" /> Cobol </p>
    <p><input type="checkbox" name="pascal" /> Pascal </p>
    <p><input type="checkbox" name="python" /> Python </p>

```

```

<p><input type="checkbox" name="perl"/> Perl </p>
<p><input type="checkbox" name="autres"/> Autres </p>
<p></p>
<br/>
<p><b>Quels sont les concepts du langage de programmation C que vous
maitrisez?</b></p>

<p><input type="checkbox" name="tout"/> Je maitrise le langage de programmation C
</p>
<p><input type="checkbox" name="operateur"/> Opérateurs et Expressions </p>
<p><input type="checkbox" name="variable"/> Variables </p>
<p> <input type="checkbox" name="structure"/> Structures de contrôle</p>
<p><input type="checkbox" name="fonction"/> Fonctions </p>
<p><input type="checkbox" name="inputoutput"/> Entrée et sortie </p>
<p><input type="checkbox" name="pointeur"/> Pointeurs </p>
<p><input type="checkbox" name="fichier"/> Gestion des fichiers </p>
</div>
<div align="center"> <br />
<fieldset id="preference" style="width:650px; text-align:left">
<legend> <b>C- Préférences </b></legend>
<br/>
<p><b>Votre style d'apprentissage est plutôt </b><br>
Auditif : <input type="radio" value="auditif" name="style_appr"/> <br>
Visuel : <input type="radio" value="visuel" name="style_appr"/> <br>
Kinèsthesique : <input type="radio" value="kinesthesique" name="style_appr"/> </p>
<p></p>
<br/>
<p><b>Quels type de médias que vous préférez voir le plus dans votre cours</b></p>
<p><input type="radio" value="image" name="pref"/> Image </p>
<p> <input type="radio" value="video" name="pref"/> Vidéo</p>
<p><input type="radio" value="text" name="pref"/> Texte</p>
<p><input type="radio" value="son" name="pref"/> Sons </p>
<p><input type="radio" value="animation" name="pref"/> Animations </p>
<p><input type="radio" value="diagramme" name="pref"/> Diagramme </p>
<p><input type="radio" value="simulation" name="pref"/> Simulation </p>
<p><input type="radio" value="peuimporte" name="pref"/> Peu importe </p>

</div>

<CENTER>
<FONT SIZE="+1"><INPUT type="reset" value="Pour vider le formulaire, cliquer ici.">
<INPUT TYPE="submit" name="envoyer" VALUE="Envoyer"></FONT>
</CENTER>

</form>
</div>
</div>
</div>
<div id="footer">
<div id="styleswitcher">
<ul>
<li><a href="javascript: document.cookie='theme='; window.location.reload();" title="Default"
id="defswitch">d</a></li>

```



```

        <li><a href="javascript: document.cookie='theme=1'; window.location.reload();" title="Blue"
id="blueswitch">b</a></li>
        <li><a href="javascript: document.cookie='theme=2'; window.location.reload();" title="Green"
id="greenswitch">g</a></li>
        <li><a href="javascript: document.cookie='theme=3'; window.location.reload();" title="Brown"
id="brownswitch">b</a></li>
        <li><a href="javascript: document.cookie='theme=4'; window.location.reload();" title="Mix"
id="mixswitch">m</a></li>
    </ul>
        </div>
        <br/>
    </div>
<hr />
        <div id="mem_ft" align="center">
    <p>
    Copyright © 2011 Tous droits réservés. </p></div>
        </div>
    </body>
</html>

```

B- Création métadonnées des objets pédagogiques

```

<?php
session_start();
if(!file_exists('enseignants/' . $_SESSION['username'] . '.xml')){
    header('Location: login_enseignant.php');
    die;
}
$errors = array();
if(isset($_POST['envoyer']))
{
    $identifiant= $_POST['identifiant'];
    $titre = $_POST['titre'];
    $description = $_POST['description'];
    $motcle= $_POST['$motcle='];
    $langue = $_POST['langue'];
    $version = $_POST['version'];
    $statut = $_POST['statut'];
    $auteur = $_POST['auteur'];
    $mail = $_POST['mail'];
    $organisation = $_POST['organisation'];
    $date = $_POST['date'];
    $format = $_POST['format'];
    $taille = $_POST['taille'];
    $url = $_POST['url'];
    $temps = $_POST['temps'];
    $typeressource = $_POST['typeressource'];
    $interactivite = $_POST['interactivite'];
    $semantique = $_POST['semantique'];
    $difficulte = $_POST['difficulte'];
    $langue_utilisateur = $_POST['langue_utilisateur'];
    $duree = $_POST['duree'];
}

```

```

$typerelation = $_POST['typerelation'];
$ressources = $_POST['ressources'];
if(file_exists('ressources/metadata' . $identifiant . '.xml')){
    $errors[] = 'Identifiant already exists';
}
if($identifiant == ""){
    $errors[] = 'identifiant est vide';
}
if($titre == ""){
    $errors[] = 'titre est vide';
}
if($url == ""){
    $errors[] = 'url est vide';
}
if(count($errors) == 0){
    $xmlstr = "<?xml version='1.0' encoding=' ISO-8859-1'?>\n".
        "<!DOCTYPE ressource SYSTEM 'ressource.dtd'>\n".
        "<metadata ></metadata>";
    $xml = new SimpleXMLElement($xmlstr);
    $general = $xml->addChild('general');
    $general->addChild('identifiant', $identifiant);
    $general->addChild('titre', $titre);
    $general->addChild('description', $description);
    $general->addChild('motcle', $motcle);
    $general->addChild('langue', $langue);
    $cyclevie = $xml->addChild('cyclevie');
    $cyclevie->addChild('version', $version);
    $cyclevie->addChild('statut', $statut);
    $cyclevie->addChild('auteur', $auteur);
    $cyclevie->addChild('mail', $mail);
    $cyclevie->addChild('organisation', $organisation);
    $cyclevie->addChild('date', $date);
    $technique = $xml->addChild('technique');
    $technique ->addChild('format', $format);
    $technique ->addChild('taille', $taille);
    $technique ->addChild('url', $url);
    $technique ->addChild('temps', $temps);
    $education = $xml->addChild('education');
    $education -> addChild('typeressource', $typeressource);
    $education -> addChild('interactivite', $interactivite);
    $education -> addChild('semantique', $semantique);
    $education -> addChild('difficulte', $difficulte);
    $education -> addChild('langue_utilisateur', $langue_utilisateur);
    $education -> addChild('duree', $duree);
    $relation = $xml->addChild('relation');
    $relation -> addChild('typerelation', $typerelation);
    $relation -> addChild('ressources', $ressources);
    $xml->asXML('ressources/metadata/metadata_' . $identifiant . '.xml');

    header('Location: ajoutressource.php?url='.$_POST['url'].');

    die;
}

```

```

}
?>

<html>
<script type="text/javascript" src="include/script.formulaire.js"></script>
<head>
    <meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=iso-8859-1" />
    <title>index</title>
<link rel="stylesheet" type="text/css" href="css/theme.css" />
<link rel="stylesheet" type="text/css" href="css/style_1.css" />
<script>
    var StyleFile = "theme" + document.cookie.charAt(6) + ".css";
    document.writeln('<link rel="stylesheet" type="text/css" href="css/' + StyleFile + "'>');
</script>
<link rel='stylesheet' type='text/css' href='css/radmenu.css' />
<link rel="stylesheet" href="css/calendar.css" type="text/css" />
<script type='text/javascript' src='javascript/radmenu.js'>
</script>
</head>

<body>
<h1 align="center"></h1>
<div id="container">
    <div id="header">
        <h2> <font face="Monotype Corsiva" size="6" align="center">ALS-CPL : Plate forme
d'apprentissage à distance du langage de programmation C </font></h2>
        <div id="topmenu">
            <br />
        </div>
    </div>
    <div id="wrapper">
        <div id="content">
            <div id="rightnow">
                <p align="right"><font size="1">Bienvenue, <?php echo
$_SESSION['username']; ?> | <a href="index_enseignant.php" title="Revenir à la page
d'accueil">Accueil</a> | <a href="changepassword_enseignant.php" title="Cliquer ici pour changer votre
mot de passe">Changer mot de passe</a> | <a href="changeprofil_enseignant.php" title="Cliquer ici pour
changer votre profile">Changer profile</a> | <a href="apprenants/<?php echo $_SESSION['username'];
?>.xml" title="Cliquer ici pour visualiser votre mprofile">Consulter profile</a> | <a
href="deconnexion_enseignant.php" title="Cliquer pour fermer votre session">Déconnexion</a>
</font></p>
                <h3></h3>
                <h4 align="center"> <font size="5">Métadonnées de la ressource </font><br />
            </div>
        </div>
    </div>
    <p> </p> <br/></div>
<form method="post" action="">
    <?php
    if(count($errors) > 0){
        echo '<ul>';
        foreach($errors as $e){
            echo '<li>' . $e . '</li>';
        }
        echo '</ul>';
    }

```



```

                <p><font size="3" face="Times New Roman"><strong>2.5- Organisme auteur :
<input type="text" name="organisation" size="20" /></strong></font> </p>
                <p><font size="3" face="Times New Roman"><strong>2.6- Date de mise en ligne :
                    <input type="text" name="date" size="20" /></strong></font> </p>
                    <br>
                <p align="left"> <font size="4" face="Times New Roman"><strong> 3- Technique
</strong></font></p>
                <br>
                <p><font size="3" face="Times New Roman"><strong>.1- Type de la ressource :
                    <select name="format">
                    <option selected="selected"> choisissez </option>
                    <option value="image"> Image </option>
                    <option value="text"> text </option>
                    <option value="video"> Video </option>
                    <option value="simulation"> Simulation </option>
                    <option value="diagramme"> Diagramme </option>
                    <option value="son"> Son </option>
                    <option value="animation"> Animation </option>

                    </select></strong></font> </p>
                <p><font size="3" face="Times New Roman"><strong>3.2- Taille de la ressource :
                    <input type="text" name="taille" size="20" /></strong></font> </p>
                <p><font size="3" face="Times New Roman"><strong>3.3- URL :
                    <!--<form method="post" enctype="multipart/form-data" action="upload.php">--
>

                <input type="text" name="url" size="30">
                    <!--</form>--> </strong></font> </p>
                <p><font size="3" face="Times New Roman"><strong>3.4- Temps d'exécution :
                    <input type="text" name="temps" size="20" /></strong></font> </p>
                    <br>
                <p align="left"> <font size="4" face="Times New Roman"><strong> 4- Education
</strong></font></p>
                <br>
                <p><font size="3" face="Times New Roman"><strong>4.1- Type de ressource
pédagogique :
                    <select name="typeressource">
                    <option selected="selected"> choisissez </option>
                    <option value="introduction"> Introduction </option>
                    <option value="definition"> Définition</option>
                    <option value="synthese"> Synthèse </option>
                    <option value="motivation"> Motivation </option>
                    <option value="exemple"> exemple </option>
                    <option value="evaluation"> Evaluation </option>
                    <option value="exercice"> Exercice</option>
                    <option value="remarque"> Remarque </option>
                    </select></strong></font> </p>
                <p><font size="3" face="Times New Roman"><strong>4.2- Niveau d'interactivité :
                    <select name="interactivite">
                    <option selected="selected"> choisissez </option>
                    <option value="tfaible"> Très faible</option>
                    <option value="faible"> Faible </option>
                    <option value="moyenne"> Moyenne </option>

```



```

        <option value="fonction">fonction</option>
        <option value="fichier">Gestion des fichiers</option>
        <option value="pointeurs">pointeurs</option>
        <option value="variable">variable</option>
        <option value="IO">entrée et sortie</option>
        <option value="strcontrôle">structure de contrôle</option>
        <option value="opexpr">opérateurs et expression</option>
        <option value="affectation">Affectation</option>
    </select></strong></font> </p>
    <br><br>
    <CENTER>
    <FONT SIZE="+1"><INPUT type="reset" value="Pour vider le formulaire, cliquer ici.">
    <INPUT TYPE="submit" name="envoyer" VALUE="Envoyer"></FONT>
    </CENTER>
</form>
</div>
    </div>
    <div id="footer">
        <div id="styleswitcher">
            <ul>
                <li><a href="javascript: document.cookie='theme='; window.location.reload();" title="Default"
id="defswitch">d</a></li>
                <li><a href="javascript: document.cookie='theme=1'; window.location.reload();" title="Blue"
id="blueswitch">b</a></li>
                <li><a href="javascript: document.cookie='theme=2'; window.location.reload();" title="Green"
id="greenswitch">g</a></li>
                <li><a href="javascript: document.cookie='theme=3'; window.location.reload();" title="Brown"
id="browns witch">b</a></li>
                <li><a href="javascript: document.cookie='theme=4'; window.location.reload();" title="Mix"
id="mixswitch">m</a></li>
            </ul>
        </div>
    </div>
    <br />
</div>
    <hr />
    <div id="mem_ft" align="center">
    <p>
    Copyright © 2011 Tous droits réservés. </p></div>
</div>
</body>
</html>

```

C- Code pour génération du concept introduction

```

<?php
session_start();
if(!file_exists('apprenants/' . $_SESSION['username'] . '.xml'))
{
    header('Location: login.php');
    die;
}
?>

```

```

<!DOCTYPE html PUBLIC "-//W3C//DTD XHTML 1.0 Transitional//EN"
"http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-transitional.dtd">
<html xmlns="http://www.w3.org/1999/xhtml">
<head>
  <meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=iso-8859-1" />
  <title>index</title>
  <link rel="stylesheet" type="text/css" href="css/theme.css" />
  <link rel="stylesheet" type="text/css" href="css/style.css" />
  <script>
    var StyleFile = "theme" + document.cookie.charAt(6) + ".css";
    document.writeln('<link rel="stylesheet" type="text/css" href="css/' + StyleFile + "'>');
  </script>
  <link rel='stylesheet' type='text/css' href='css/radmenu.css' />
  <link rel="stylesheet" href="css/calendar.css" type="text/css" />
  <script type='text/javascript' src='javascript/radmenu.js'>
  </script>
  <style type="text/css">
    .dsllink { color: black; }
  </style>
</head>
<?php
function lit_xml($fichier,$item,$champs) {
  // on lit le fichier
  if($chaine = @implode("",@file($fichier))) {
    // on explode sur <item>
    // Dans l'exemple il s'agit de 'profil'
    $tmp = preg_split("/</?\".$item.\">/",$chaine);
    // pour chaque <item> donc tous les profils
    for($i=1;$i<sizeof($tmp)-1;$i+=2)
      // on lit les champs demandés <champ> donc il s'agit de 'id' et 'prenom'
      foreach($champs as $champ) {
        $tmp2 = preg_split("/</?\".$champ.\">/",$tmp[$i]);
        // on ajoute l'élément au tableau
        $tmp3[$i-1][] = @$tmp2[1];
      }
    // et on retourne le tableau dans la fonction
    return $tmp3;
  }
}

$xml = lit_xml("apprenants/" . $_SESSION["username"] .
".xml","preference",array("image","video","text","son","animation","diagramme","simulation"));
// Une petite boucle suffit pour retrouver les élément du tableau
// retourné dans la fonction lit_xml()

                                $im=0;
                                $vd=0;
                                $tx=0;

foreach($xml as $row) {

  if($row[0]!="")
  {
    $im=1;

```



```

$xmlMETAIMAGE =
lit_xml("../domain_model/ressources/introduction/images/metadata.xml", "technical", array("url"));

foreach($xmlMETAIMAGE as $row1) {
    $va=$row1[0];
    $xmlstr = "<?xml version='1.0' encoding='UTF-8'?>\n".
        "<?xml-stylesheet type='text/xsl' href='profile_img.xsl'?>".
            "<cours></cours>";
        $xml = new SimpleXMLElement($xmlstr);
        // $suiwant = $xml->addChild('suiwant', 'index.php?rubriq=intro');
        $titre = $xml->addChild('titre');
        $titre->addChild('url', str_replace(CHR(13).CHR(10), "", $va));
        $xml->asXML('../adaptive_model/contenu/introimg.xml');
    }
}
if($row[1]!="")
    $vd=1;
$xmlMETAIMAGE =
lit_xml("../domain_model/ressources/introduction/video/metadata.xml", "technical", array("url"));
foreach($xmlMETAIMAGE as $row1) {
    $va=$row1[0];
    $xmlstr = "<?xml version='1.0' encoding='UTF-8'?>\n".
        "<?xml-stylesheet type='text/xsl' href='profile_vd.xsl'?>".
            "<cours></cours>";
        $xml = new SimpleXMLElement($xmlstr);
        // $suiwant = $xml->addChild('suiwant', 'index.php?rubriq=intro');
        $titre = $xml->addChild('titre');
        $titre->addChild('url', str_replace(CHR(13).CHR(10), "", $va));
        $xml->asXML('../adaptive_model/contenu/introvd.xml');
    }
}
// affiche Koogi
if($row[2]!="")
{
    $tx=1;
    $xmlMETAIMAGE =
lit_xml("../domain_model/ressources/introduction/texte/metadata.xml", "technical", array("url"));
foreach($xmlMETAIMAGE as $row1) {
    $va=$row1[0];

    $xmlstr = "<?xml version='1.0' encoding='UTF-8'?>\n".
        "<?xml-stylesheet type='text/xsl' href='profile_txt.xsl'?>".
            "<cours></cours>";
        $xml = new SimpleXMLElement($xmlstr);
        // $suiwant = $xml->addChild('suiwant', 'index.php?rubriq=intro');
        $titre = $xml->addChild('titre');
        $titre->addChild('url', str_replace(CHR(13).CHR(10), "", $va));
        $xml->asXML('../adaptive_model/contenu/introtx.xml');
    }
}
?>
<body>
<div id="container">

```

```

<div id="header">
  <h2> <font face="Monotype Corsiva" size="6" align="center">ALS-CPL : Plate forme
d'apprentissage à distance du langage de programmation C </font></h2>
  <div id="topmenu">
    <br />
  </div>
  <div id="wrapper">
  <div id="content">
    <div id="rightnow">
      <p align="right"><font size="1">Bienvenue, <?php echo
$_SESSION['username']; ?> | <a href="changepassword.php" title="Cliquer ici pour changer votre mot de
passe">Changer mot de passe</a> | <a href="changeprofil.php" title="Cliquer ici pour changer votre
profil">Changer profile</a> | <a href="apprenants/<?php echo $_SESSION['username']; ?>.xml"
title="Cliquer ici pour visualiser votre mprofile">Consulter profile</a> | <a href="deconnexion.php"
title="Cliquer pour fermer votre session">Déconnexion</a> </font></p>
      <h3></h3>
      <p> </p> <br/></div>
    <div style="position:absolute; top:300px; left:143px">
    <table style="width: 151px; height: 160px;" border="1" cellpadding="5" cellspacing="0">
      <tr><td bgcolor="#FFFFFF" align="center"> <b>Menu </b> </td></tr>
    <tr bgcolor="#FFFFFF">
      <td>
        <ul id="rad0" class="radmc">
          <li>
            <a href="index.php?rubriq=intro" title="cette partie a pour objectif
d'introduire le langage de programmation C">Introduction</a>
          </li>
          <li>
            <a class="radparent" href="#" title="Cette partie traite la notion des opérateurs
qui permettent de manipuler des variables">Les variables</a>
          <ul>
            <li>
              <a class="radparent" href="#" title="">Initialisation</a>
            </li>
            <li>
              <a href="#" title="">Les types</a>
            <ul>
              <li><a href="#" title="">Entiers</a></li>
              <li><a href="#" title="">Nombre à virgule flottante</a></li>
            </ul>
            </li>
            <li><a href="#" title="">Test</a></li>
          </ul>
          </li>
          <li>
            <a class="radparent" href="#" title="Cette partie traite la notion des opérateurs
qui permettent de manipuler des variables">Les opérateurs</a>
          <ul>
            <li>
              <a class="radparent" href="#" title="">L'affectation</a>

```

```

</li>
<li>
<a href="#" title="">Les opérateurs arithmétiques</a></li><li>
<a href="#" title="">Les opérateurs relationnels</a></li><li>
<a href="#" title="">Les opérateurs logiques booléens</a></li>
<li><a href="#" title="">Test</a></li>
</ul>
</li>
<li>
<a class="radparent" href="#" title="Les structures de contrôle permettent
de spécifier l'ordre d'exécution d'un calcul">Les structures de contrôles</a>
<ul>
<li>
<a class="radparent" href="#" title="">Les Boucles</a>
<ul>
<li><a href="#" title="">While</a></li>
<li><a href="#" title="">Do while</a></li>
<li><a href="#" title="">For</a></li>
</ul>
</li>
<li>
<a class="radparent" href="#" title=""> Branchements conditionnels</a>
<ul>
<li><a href="#" title="">If - Else</a></li>
<li><a href="#" title="" >Switch</a></li>
</ul>
</li>
<li>
<a class="radparent" href="#" title=""> Branchements
inconditionnels</a>
<ul>
<li><a href="#" title="">Break</a></li>
<li><a href="#" title="">Continue</a></li>
<li><a href="#" title="">Goto</a></li>
<li><a href="#" title="">Return</a></li>
<li><a href="#" title="">Exit</a></li>
</ul></li>
<li><a href="#" title="">Test</a></li>
</ul>
</li>
<li> <a href="#" title="Les entrées sorties sont nécessaires à tout programme :
donner les données de départ et connaître les résultats">Entrées/sorties</a>
<ul>
<li><a class="radparent" href="#" title="">Printf</a></li>
<li> <a href="#" title="">Scanf</a> </li>
<li><a href="#" title="">Test</a></li>
</ul>
</li>
<li>
<a class="radparent" href="#" title="">Conclusion</a>
</li>

```

```

        <li class="radclear"> </li>
    </ul>
    <!-- Create Menu Settings: (Menu ID, Is Vertical, Show Timer,
Hide Timer, On Click ('all' or 'lev2'), Right to Left, Horizontal Subs, Flush Left, Flush Top) -->
    <script type="text/javascript">
    <![CDATA[
    rad_create(0,false,0,500,'all',false,false,false,false);
    ]]>
    </script>
    </td>
</tr>
</table>
</div>
    <div style="position:absolute; top:300px; right:145px">
<table style="width: 208px; height: 100px;" border="1" cellpadding="5" cellspacing="0">
<tbody>
    <td bgcolor="#FFFFFF" align="center"> <b> Calendrier </b> </td>
<tr bgcolor="#FFFFFF">
    <td>
    <div style="margin-top: 8px; height: 180px;" align="left">
    <?php
        // Appel au script du calendrier
        require_once("calendrier/calendar.php");
        // Parametrage
        $params = array( "LANGUAGE_CODE" => "en",
        "FIRST_WEEK_DAY" => 1,
        "USE_SESSION" => true
        );
        // Affichage
        Calendar($params);
    <?>
    </div>
    </td>
</tr>
</tbody>
</table>
</div>
    <div style="position:absolute; top:530px; right:145px">
<table style="width: 206px; height: 150px;" border="1" cellpadding="5" cellspacing="0"
bgcolor="#FFFFFF">
    <tr bgcolor="#FFFFFF">
    <td align="center" style="margin :0; padding:0 " ><b>Documents
supplémentaires </b></td>
    </tr>
<tr bgcolor="#FFFFFF">
    <td>
    <a href="http://www.infres.enst.fr/~charon/CFacile/" title="Ce
didacticiel est une aide à l'apprentissage du langage C. Il permet d'apprendre le langage C par l'exemple"> -
Cours d'Irène Charon </a> <br>
    <a href="http://perso.mines-albi.fr/~gaborit/lang/CoursDeC/CoursDeC-node1.html" title="Ce
document est le support du cours d'initiation au langage C de l'École des Mines d'Albi-Carmaux. Ce cours
n'est certainement pas une présentation complète et exhaustive du langage et de ses possibilités. De
nombreuses notions sont laissées de côté. Il devrait tout de même être suffisant pour avoir un rapide aperçu

```

du langage et de ses possibilités. Il a été conçu comme un manuel de référence et ne saurait dispenser le lecteur de suivre les cours et les travaux pratiques correspondants. "> - Cours de Paul Gaborit


```

        </td>
    </tr>
</table>
</div>

<div style="position:absolute; top:300px; left: 400px;">

    <table width="100%" border="0" cellspacing="4"
cellpadding="4">
        <tr bgcolor="#FFFFFF">
            <?php
                print '<a href="index.php?rubriq=intro"
>Suivant</a><a href="index.php" >Précédant</a>';
            ?>
        </tr>
    </table>
    <table width="100%" border="0" cellspacing="0"
cellpadding="4" bgcolor="#FFFFFF">
        <tr>
            <td valign="top" width="100%">
                <?php
                    if(isset($_GET["rubriq"]))
                    {
                        if ($im==1)
                        {
                            $XmlData =
                                "../adaptive_model/contenu/introimg.xml";
                            $XslData = "profile_img.xsl";
                            $doc = new DOMDocument();
                            $xsl = new XSLTProcessor();
                            $doc->load($XslData);
                            $xsl->importStyleSheet($doc);
                            $doc->load($XmlData);
                            echo $xsl->transformToXML($doc);
                        }

                        if ($vd==1)
                        {
                            $XmlData =
                                "../adaptive_model/contenu/introvd.xml";
                            $XslData = "profile_vd.xsl";
                            $doc = new DOMDocument();
                            $xsl = new XSLTProcessor();
                            $doc->load($XslData);
                            $xsl->importStyleSheet($doc);

```

```

        $doc->load($XmlData);
        echo $xsl->transformToXML($doc);
    }
    if ($tx==1)
    {
        include('../domain_model/ressources/introduction/texte/introduction.txt');
        //$file='../domain_model/ressources/introduction/texte/introduction.txt';
        //$contenu=file_get_contents($file);
        //echo
    }
}
else
{
    include("objectif.php");
}
?>
</td>
</tr>
</table>
<br><br><br><br><br><br><br>
<table width="100%" border="0" cellspacing="4"
cellpadding="4">
    <tr bgcolor="#FFFFFF">
        <?php
print '<a href="index.php?rubriq=intro" >Suivant</a><a href="index.php" >Précédant</a>'; ?>
        </tr>
    </table>
</div>
</div>
</div>
<div id="footer" style="position:absolute; top:680px; right:145px">
    <div id="styleswitcher">
        <ul>
            <li><a href="javascript: document.cookie='theme='; window.location.reload();" title="Default"
id="defswitch">d</a></li>
            <li><a href="javascript: document.cookie='theme=1'; window.location.reload();" title="Blue"
id="blueswitch">b</a></li>
            <li><a href="javascript: document.cookie='theme=2'; window.location.reload();" title="Green"
id="greenswitch">g</a></li>
            <li><a href="javascript: document.cookie='theme=3'; window.location.reload();" title="Brown"
id="brownswitch">b</a></li>
            <li><a href="javascript: document.cookie='theme=4'; window.location.reload();" title="Mix"
id="mixswitch">m</a></li>
        </ul></div>
        <br/>
    </div>
    <div id="mem_ft" style="position:absolute; top:800px; right:500px">
<hr />
<p>
    Copyright © 2011 Tous droits réservés. </p></div>
</div>
</body>
</html>

```

Annexe IV : XML et technologies associées

En très peu de temps, XML (eXtended Markup Language) est devenu un format de balisage de données excessivement populaire, capable de baliser aussi bien du contenu web que des données utilisées par les applications. Il est d'ailleurs de plus en plus combiné à la technologie de bases de données pour offrir une méthode idéale de stockage et de traitement des données lors de la création d'applications.

Nous avons mis à profit ces avantages au niveau de la réalisation de notre application.

Ainsi, afin d'accéder aux fichiers de notre application et y effectuer les traitements nécessaires, nous avons utilisé quelques technologies associées à ce langage à savoir le simpleXML et le DOM.

Cette annexe ne se donne pas comme objectif de décrire ces technologies. Nous en donnons juste un aperçu.

1. SimpleXML

L'extension SimpleXML fournit des outils très simples et faciles à utiliser pour convertir du XML en un objet qui peut être manipulé avec ses propriétés et les itérateurs de tableaux.

SimpleXML est une des deux nouvelles extensions de PHP 5 consacrées à XML. L'autre est DOM, qui a évolué de domxml. Contrairement à cette dernière, SimpleXML est une approche nouvelle du traitement des fichiers XML. Elle met en avant la simplicité d'utilisation.

SimpleXML aborde justement le problème des fichiers XML simples. Prenez un fichier XML comme celui-ci :

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<bibliotheque>
  <style id="roman">
<livre>
  <titre>La fortune des Rougon</titre>
  <auteur>Emile Zola</auteur>
</livre> <livre>
  <titre>Hernani</titre>
  <auteur>Victor Hugo</auteur>
</livre> </style>
<style id="fiction">
<livre>
```

```
<titre>Le seigneur des anneaux</titre>
```

```
<auteur>J.R.R. Tolkien</auteur>
```

```
</livre>
```

```
</style>
```

```
</bibliotheque>
```

Le document est éminemment lisible par un humain ainsi que par une machine. Sa structure est claire et facile à comprendre, même sans DTD. Le fichier XML est stocké sous le nom de 'livres.xml'. Pour le traiter avec SimpleXML, il suffit de le charger avec ces quelques lignes.

```
<?php
$bibliotheque = simplexml_load_file('livres.xml');
foreach ($bibliotheque->style as $style)
{ print "\nType {$style['id']} <br />\n";
  foreach ($style->livre as $livre)
  { print "Titre : {$livre->titre} <br />\n";
    print "Auteur : {$livre->auteur} <br />\n";
  } } ?>
```

Il serait difficile de faire plus simple. La première ligne charge le contenu du fichier livres.xml, dans la ressource \$bibliotheque. Le fichier est lu en entier, et le contenu XML est validé par la bibliothèque libxml2. Si le document n'est pas compatible XML, alors les erreurs d'analyse sont affichées dans la page, et \$bibliothèque reçoit le booléen false.

2. DOM

Le modèle Objet de Document, ou DOM, Document Object Model est un outil permettant l'accès aux documents HTML etXML. Il permet deux choses au développeur :

- Il fournit une représentation structurée du document ;
- Il codifie la manière dont un script peut accéder à cette structure.
- Il s'agit donc essentiellement d'un moyen de lier une page Web, par exemple, à un langage de programmation ou de script.

Il est à remarquer que le DOM ne désigne pas une application particulière, ou bien un produit spécifique ou une présentation propriétaire d'une page Web ou, plus généralement, à un document écrit dans un langage de balisage (comme XMLpar exemple). Il s'agit d'une interface qui permet de standardiser les moyens d'accès à un document balisé, notamment une page Web. Toutes les propriétés et méthodes ainsi que

tous les événements disponibles pour le développeur pour manipuler et créer des pages dynamiques sont organisés sous forme de hiérarchies d'objets.

Il existe maintenant des bibliothèques de scripts comme jQuery, Prototype, MooTools, dōjō ou la The Yahoo! User Interface Library, qui offrent des solutions « clé en main » pour le développement d'interfaces évoluées. Néanmoins, pour les exploiter au mieux, il est souvent nécessaire d'analyser leur code.