

Résumé :

Au cours des dernières années, la révolution technologique a transformé notre mode de vie, en apportant de nouvelles exigences, ainsi que de nouvelles attentes en matière d'éducation et d'apprentissage, telles que la flexibilité du temps, l'emplacement et la structure.

Ce type d'éducation, également appelé « E-learning », utilise les nouvelles technologies multimédias et Internet pour améliorer la qualité de l'apprentissage en facilitant l'accès aux ressources et aux services, ainsi que les échanges et la collaboration à distance.

En raison de sa popularité, plusieurs approches et systèmes (LMS, MOOC, etc.) ont fait le pas vers la formation en ligne et ont dominé l'apprentissage par Internet au cours des deux dernières décennies. Cependant, de nos jours, ces systèmes d'apprentissage en ligne sont dites « traditionnels » et ont un problème commun qui consiste à que le même cours, avec la même structure, est dédié à tous les apprenants malgré que chacun a ses propres préférences et styles d'apprentissage.

De ce fait, une nouvelle génération de systèmes d'apprentissage avancé a vu le jour et connue sous le nom des systèmes hypermédia adaptatifs. Ces systèmes donnent à l'apprenant un rôle actif dans l'apprentissage et la construction de ses connaissances tout en étant hautement interactifs, ayant une vision plus centrée sur l'utilisateur et la capacité de rendre le contenu d'apprentissage plus complexe ou plus simple en fonction des besoins et des demandes de l'apprenant.

C'est dans ce sens que l'ensemble de nos travaux sont réalisés et que nous pouvons les résumés par l'élaboration d'une architecture globale d'un hypermédia adaptatif basé sur trois modèles fondamentaux que nous avons conçus et testés, et finalement par la proposition d'un modèle intelligent qui

va permettre à notre hypermédia adaptatif de surmonter les deux principaux problèmes de flexibilité conceptuelle et de démarrage à froid.

Mots-clés : E-learning, Hypermédia adaptatif, Apprentissage, Modèle apprenant, Modèle de domaine, Modèle d'adaptation.

Abstract :

In recent years, the technological revolution has transformed our way of life, by bringing new demands, as well as new expectations in terms of education and learning, such as convenient flexibility over time, location and structure.

This type of education, also called "E-learning", uses new multimedia technologies and the Internet to improve the quality of learning by facilitating access to resources and services, as well as exchanges and remote collaboration.

Because of its popularity, several approaches and systems (LMS, MOOC, etc.) have taken the step toward the online training and have dominated Internet training over the past two decades. However, today these e-learning systems are called "traditional" and have a common problem that the same course, with the same structure, is dedicated to all learners while each one has its own preferences and learning style.

As a result, a new generation of advanced learning systems has emerged, known as adaptive hypermedia systems. These systems give the learner an active role in learning and building knowledge while being highly interactive, having a more user-centric view, and making content knowledge more complex or simpler to learners needs and demands.

It is in this sense that all of our work is done, and that we can summarize it in the developement of a global architecture of our adaptive hypermedia that is based on three fundamental models that we have designed and tested. And finally, in the proposal for an intelligent model that will allow our adaptive hypermedia to overcome two main issues of conceptual flexibility and cold start.

Keywords : E-learning, Adaptive Hypermedia, Learning, Learner Model, Domain Model, Adaptation Model.

ملخص :

في السنوات الأخيرة، حولت الثورة التكنولوجية أسلوب حياتنا، وجلبت مطالب وتوقعات جديدة للتعليم والتعلم، مثل مرونة الوقت والمكان والبنية

ويستخدم هذا النوع من التعليم، المعروف أيضاً باسم "التعلم الإلكتروني"، تقنيات الوسائط المتعددة الجديدة والإنترنت لتحسين جودة التعلم من خلال تسهيل الوصول إلى الموارد والخدمات، فضلاً عن التبادل والتعاون عن بُعد.

نظراً لشعبيتها، ظهرت العديد من الأساليب ونظم التدريب عبر الإنترنت وهيمنت على التعلم المستند إلى الإنترنت على مدار العقدين الماضيين. ومع ذلك، يقال اليوم أن أنظمة التعلم الإلكتروني هذه "تقليدية" ولديها مشكلة شائعة وهي أن نفس المحتوى التعليمي، بنفس البنية، مخصص لجميع المتعلمين على الرغم من حقيقة أن كل شخص لديه تفضيلاته الخاصة وأنماط تعلمه ونتيجة لذلك، ظهر جيل جديد من أنظمة التعلم المتقدمة المعروفة باسم الوسائط التفاعلية التكيفية. هذه الأنظمة تمنح المتعلم دوراً نشطاً في التعلم وبناء المعرفة في الوقت الذي تكون فيه تفاعلية عالية، ولديها أيضاً رؤية أكثر تركيزاً على المستخدم وتجعل محتوى المعرفة أكثر تعقيداً أو بساطة وفقاً لاحتياجات ومتطلبات المتعلم

ومن هذا المنطلق، تم إنجاز جميع أعمالنا، وبإمكاننا تلخيصها من خلال تطوير بنية لوسائط التفاعلية التكيفية تعتمد على ثلاثة نماذج أساسية التي قمنا بتصميمها واختبارها، وأخيراً اقتراح نموذج ذكي يسمح لبرمجيات الوسائط المتعددة لدينا بالتغلب على مشكلتي المرونة المبدئية والبداية الباردة

كلمات البحث : التعلم الإلكتروني ، الوسائط التفاعلية التكيفية ، التعلم ، نموذج المتعلم ، نموذج المجال ، نموذج التكيف.

Table des matières :

Introduction	11
Chapitre I : E-Learning, historique et innovation.....	13
1.1 Définitions de l'apprentissage.....	14
1.2 Méthodes de l'apprentissage.....	15
1.3 Types d'apprentissage.....	17
1.3.1. Apprentissage traditionnel ou classique.....	17
1.3.2. E-learning.....	18
1.4 E-learning.....	25
1.4.1 Systèmes d'apprentissage en ligne : E-learning traditionnel	27
1.4.2 Systèmes d'apprentissage adaptatifs « E-learning adaptatif »	38
1.5 Conclusion	44
Chapitre II : L'hypermédia adaptatif " modèle d'adaptation "	46
2.1 Introduction.....	46
2.2 Méthodes et techniques d'adaptation.....	47
2.2.1 S'adapter à quoi ?.....	47
2.2.2 Que peut on adapter ?.....	49
2.3 Modèle Dexter.....	51
2.3.1 Histoire.....	51
2.3.2 HyperText vs Hypermédia	52
2.3.3 Vue d'ensemble.....	54
2.3.4 AHAM et MUNICH	56
2.4 Modèle d'adaptation.....	58
2.4.1 Généralités.....	58
2.4.2 Travaux connexes.....	60
2.4.3 Notre proposition	65
2.5 Conclusion	77
Chapitre III : L'hypermédia adaptatif " modèle d'apprenant"	78

3.1 Introduction	78
3.2 Les approches et modèles d'apprenant existants	79
3.2.1 Approche de 'Carchiolo' [102]	79
3.2.2 Approche citée par 'Amel Behaz, Mahieddine Djoudi'	80
3.2.3 Approche citée par 'Desislava Paneva-Marinova' [104]	82
3.2.4 Modèle apprenant 'Munich'	85
3.3 Études comparatives et critiques	87
3.4 Notre Contribution	89
3.4.1 Facette des Informations personnelles	90
3.4.2 Facette des Compétences et connaissances	90
3.4.3 Historique	92
3.4.4 Profils psychologiques	93
3.4.5 Capacités cognitives	94
3.4.6 État Émotionnel	99
3.4.7 Notre conception proposé	103
3.5 Conclusion	104
Chapitre IV: L'hypermédia adaptatif " modèle de domaine "	105
4.1 Introduction	105
4.2 Travaux connexes	106
4.2.1 AHAM et MUNICH	106
4.2.2 Les normes des techniques d'apprentissage en ligne	110
4.3 Notre proposition	120
4.3.1 Nos solutions et idées de conception	120
4.3.2 Notre proposition	122
4.3.3 Outils d'implémentation et d'utilisation	124
4.4 Conclusion	127
Chapitre V : Hypermédia Adaptatif " Architecture et Implémentation	128
5.1 Introduction	128
5.2 Conception Global des trois modèles	128

5.2.1 Facette historique du modèle apprenant.....	130
5.2.2 Facette des Compétences et Connaissances.....	134
5.2.3 Divers.....	135
5.3 Modèle intelligent.....	136
5.3.1 Inspiration et Projection.....	137
5.3.2 Proposition.....	140
5.4 Architecture Globale.....	146
5.4.1 Stockage et sources de données.....	147
5.4.2 Serveur hypermédia adaptatif.....	148
5.4.3 Côté client.....	150
5.5 Conclusion.....	150
Conclusion et perspectives.....	151
Bibliographie.....	153
Glossaire.....	164

Liste des figures

Figure 1 : les enfants nous imitent pour apprendre et s'améliorer[11]	15
Figure 2 : Histoire de la formation à distance [23]	20
Figure 3 : Les Couches du modèle Dexter	54
Figure 4 : Similarité entre Les Couches du modèle AHAH et MUNICH [78].....	58
Figure 5 : Diagramme de classe du méta modèle d'adaptation proposé par MUNICH [78]	61
Figure 6 : Diagramme de classe du méta modèle d'adaptation proposé par Alem [79]	62
Figure 7 : Diagramme de classe du notre proposition du modèle d'adaptation[98]	67
Figure 8 : Notre modèle d'adaptation en action [98].....	69
Figure 9 : Architecture de notre plateforme implémentant notre modèle d'adaptation [98]	73
Figure 10 : Capture d'écran de l'outil de création des pages[98].....	75
Figure 11 : Capture d'écran d'une page personnalisée et adaptée d'un apprenant[98]	76
Figure 12 : Apprche citée par par 'Amel Behaz, Mahieddine Djoudi' [66]	80
Figure 13 : Vue du méta-modèle apprenant du modèle de référence de Munich [78].....	86
Figure 14 : Le modèle LMPA1234 : du langage de modélisation aux profils d'apprenants.	89
Figure 15 : Pyramide de Miller	91
Figure 16 : Modèle Circumplex de Russell [124].....	100
Figure 17 : Modèle de Kort reliant les émotions au contexte de l'apprentissage [126].....	100
Figure 18 : Le diagramme de classe de notre modèle d'apprenant proposé.....	103
Figure 19 : Diagramme de classe du méta-modèle de domaine proposé par Munich [78]	107
Figure 20 : les Composants du contenu SCORM [137].....	111
Figure 21 : Schéma de la structure du fichier manifeste du SCORM 2004	113
Figure 22 : Schéma séquençage utilisé par SCORM 2004	114
Figure 23 : Diagramme de classe des contenus conformes à SCORM.....	115
Figure 24 : Diagramme des classes UML2 de la structure du cours en CMI5	117
Figure 25 : Exemple de structure de cours orientée contenu	121
Figure 26 : Exemple de structure de cours axée sur les objectifs	121
Figure 27 : Diagramme de classe du modèle du domaine proposé.....	122

Figure 28 : Gestionnaire des Cours.....	125
Figure 29 : Gestionnaire des AUs (Assignable Unit).....	126
Figure 30 : Gestionnaire des Objectifs.....	127
Figure 31 : DC du modèle d'apprenant, modèle de domaine et modèle d'adaptation.....	129
Figure 32 : Structure de données de xAPI	131
Figure 33 : Exemple de données de xAPI.....	134
Figure 34 : Les différents éléments d'un neurone et comment se fait la communication ..	138
Figure 35 : Neurones avant et après l'apprentissage [154].....	139
Figure 36 : Diagramme de classe de notre modèle intelligent[156]	141
Figure 37 : Diagramme exprimant la contrainte de l'identifiant de relation. [156].....	142
Figure 38 : Diagramme exprimant la contrainte de l'identifiant de relation. [156].....	143
Figure 39 : Schéma des deux phases du modèle intelligent au sein de l'hypermédia	145
Figure 40 : Architecture Globale de l'hypermédia adaptatif	147

Liste des tableaux

Tableau 1 : Avantages et inconvénients de l'apprentissage traditionnel	17
Tableau 2 : Avantages et inconvénients de l'apprentissage à distance (E-learning)	19
Tableau 3 : première ère de l'apprentissage à distance en ordre chronologique	22
Tableau 4 : Liste des LMS les plus connus et utilisés.....	28
Tableau 5 : Comparaisons des caractéristiques des xMOOCs et cMOOCs [52]	35
Tableau 6 : Les sept domaines de différences entre un cours traditionnel et un MOOC.....	38
Tableau 7 : caractéristiques majeures des HyperTexts et Hypermédias	53
Tableau 8 : Taxonomie adaptative : relation entre dimensions de la LS et médias [99]	68
Tableau 9 : les informations générales de l'apprenant proposé par Desislava P.	84
Tableau 10 : les informations sur les comportements de l'apprenant proposé par Desislava	85
Tableau 11 : Les dimensions du FSLSM et les sémantiques de leurs pôles [119]	94
Tableau 12 : Descriptif du processus cognitif 'Se concentrer' selon le référentiel du Anon.	95
Tableau 13 : Descriptif du processus cognitif 'Mémorisation' selon le référentiel du Anon	96
Tableau 14 : Processus cognitif 'Se communiquer' selon le référentiel du Anon	97
Tableau 15 : Processus cognitif 'Savoir s'organiser' selon le référentiel du Anon	98
Tableau 16 : Processus cognitif 'Rechercher et traiter des informations' selon le référentiel du Anon.....	98
Tableau 17 : Comparaison côte à côte de SCORM et de cmi5 [148]	119
Tableau 18 : Certains types d'activité utilisés dans le vocabulaire Experience API [149] ..	124
Tableau 19 : Propriétés d'une instruction xAPI.....	133
Tableau 20 : Descriptifs des sous-processus du processus 'Fournisseur de contenu'	149

J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail à:

Mes très chers parents pour leur soutien, affection et amour, leur confiance et patience et pour leurs sacrifices infinis, je le dédie aussi à toute ma famille pour la quelle j'exprime mon amour et mon respect le plus dévoué.

Mes frères pour leur encouragement, je leur souhaite une vie pleine de réussite.

Tous mes amis et collègues et particulièrement les plus intimes en témoignage des moments inoubliables, des sentiments purs, et des liens solides qui nous unissent.

Et enfin, tous ceux qui m'ont soutenus et qui me soutiennent encore pour que ce travail soit une déclaration divine de ma profonde estimation et gratitude.

Merci

Remerciements

En tout premier lieu, je remercie le bon DIEU, tout puissant, de m'avoir donné la force pour survivre, ainsi que l'audace pour dépasser toutes les difficultés.

Je tiens tout d'abord à remercier mes encadrants et mes professeurs, Mr. Mohammed BERRADA et Mr. Mohamed BENSLIMANE pour leurs disponibilités et la confiance qu'ils m'ont accordée. J'ai profité pendant longtemps du savoir et du savoir-faire dont j'ai pu bénéficier au cours de nombreuses discussions. J'aimerais aussi leur remercier pour l'autonomie qu'ils m'ont accordée, et leurs précieux conseils qui m'ont permis de mener à bien ce travail.

Je remercie Mr. Driss CHENNOUNI, directeur du laboratoire d'informatique et de physique interdisciplinaire pour m'avoir accueilli au sein de ces institutions, et pour les conseils stimulants que j'ai eu l'honneur de recevoir de lui.

Je remercie mes dames et messieurs qui ont accepté d'être les rapporteurs de cette thèse, de même que pour leur participation au Jury. Ils ont également contribué par leurs nombreuses remarques et suggestions à améliorer la qualité de ce mémoire, et je leur en suis très reconnaissant.

Messieurs qui m'ont fait l'honneur de participer au Jury de soutenance; je les en remercie profondément.

Je tiens à remercier également le Centre d'Etudes doctorales de la FST de Fès, pour leurs formations, leurs efforts et leur présence en permanence.

Afin de n'oublier personne, mes vifs remerciements s'adressent à tous ceux qui m'ont aidée à la réalisation de ce travail.

Introduction

Depuis la nuit des temps, l'apprentissage et l'éducation ont été d'une importance primordiale dans le développement des civilisations et la transmission du savoir aux prochaines générations. Cependant, le contenu et les modes de prestations de ce dernier sont toujours en évolution et ne cessent de se développer et cela est dû à différents facteurs divers à savoir : culturels [1], politiques, technologiques et pédagogiques.

Souvent le mot apprentissage nous fait penser aux études et aux activités en relations avec les salles de cours, les formations et les travaux pratiques dans les laboratoires [2], or ce n'est pas du tout le cas. L'apprentissage n'est pas limité à un lieu ou dépendant d'une activité ou d'un cadre professionnel. En réalité, L'apprentissage se fait quotidiennement et cela depuis notre naissance, on apprend à marcher, à parler et à s'adapter à de nouveaux environnements. Malgré que cette forme d'apprentissage peut être considérée comme délibéré ou non intentionnelle, ça reste une capacité naturelle qui a attiré souvent l'attention des chercheurs.

En littérature, Il existe de nombreuses définitions du terme apprentissage que nous pouvons les résumées dans l'ensemble des changements dans nos comportements et compétences ainsi toutes acquisitions de nouveaux savoir et connaissances. Ces changements et acquisitions sont apportés par les expériences que nous avons tirées des interactions avec l'environnement et les gens.

Après avoir examiné le travail de nombreux chercheurs, nous avons remarqué qu'il y a deux axes de recherche concernant l'apprentissage : le premier est centré sur les méthodes et types d'apprentissage tandis que le deuxième est centré sur l'apprenant en se focalisant sur ses préférences et ses styles d'apprentissage.

Ce document est organisé sous forme de 5 chapitres comme suit :

- Chapitre 1 : ce chapitre est réservé à décrire les méthodes et les types d'apprentissage en allant du classique vers l'apprentissage à distance et à introduire les systèmes hypermédias adaptatifs qui est le sujet principal de cette thèse.

- Chapitre 2 : ce chapitre marquera le début de la thématique principale de cette thèse qui est la révolution des systèmes hypermédias adaptatifs. Ces systèmes seront introduits dans ce chapitre en présentant premièrement les méthodes et techniques d'adaptation utilisées par ces systèmes, puis nous allons présenter nos études réalisées sur l'architecture du model DEXTER qui est notre référence. Et finalement nous allons entamer la présentation du modèle d'adaptation qui est l'un des modèles fondamentaux dans un hypermédia adaptatif. Ce modèle sera dans un premier temps défini, puis selon nos critiques des différentes propositions existantes en littérature, nous allons proposer un nouveau modèle d'adaptation que nous allons le concevoir et par la suite l'implémenter et le tester.
- Chapitre 3 : ce chapitre est consacré au deuxième modèle fondamental dans un hypermédia adaptatif qui est le modèle apprenant. D'une manière similaire au modèle d'adaptation, nous allons passer en revue des différentes approches et modèles existants en littérature puis nous allons proposer un nouveau.
- Chapitre 4 : ce chapitre s'intéresse au dernier modèle fondamental dans un hypermédia adaptatif qui est le modèle de domaine. Dans un premier temps, nous allons définir ce modèle, puis nous allons présenter des études comparatives concernant les approches et modèles de domaine existant ainsi que les différentes normes d'apprentissage en ligne comme SCORM [3] et CMI5 [4]. Et finalement, nous allons proposer un nouveau modèle de domaine qui répond à tous les reproches et faiblesses des modèles existants tout en présentant un ensemble d'outils que nous avons développé permettant l'exploitation de ce modèle.
- Le chapitre 5 : dans ce chapitre nous allons premièrement interconnectés les trois modèles élaborés dans les chapitres précédents pour former notre nouvelle architecture des systèmes hypermédias adaptatifs, puis nous allons renforcer cette architecture par un modèle intelligent que nous avons innové tout en décrivant et

développant l'ensemble des processus d'arrière plan et outils nécessaire pour le fonctionnement de notre hypermédia adaptatif.

Chapitre I : E-Learning, historique et innovation

1.1 Définitions de l'apprentissage

Comme le savent tous, le cerveau est immensément complexe et jusqu'à présent il représente un mystère pour les chercheurs et les savants. Et ceci implique le processus d'apprentissage qui est l'une des principales fonctions du cerveau. Vu la complexité du terme, l'apprentissage a été définie par différentes façons et méthodes. Voici trois définitions parmi plusieurs décrivant l'apprentissage :

La première définition décrit l'apprentissage comme étant un changement relativement permanent du savoir et des compétences suites a des épreuves et expériences. Cette définition a trois contraintes , premièrement il faut que le changement soit durable et non provisoire, deuxièmement la cible du changement doit être le contenu et la structure de la connaissance en mémoire ou le comportement de l'apprenant , finalement il faut que le changement soit naturel , c'est à dire la cause du changement est du à l'expérience de l'apprenant et non à une raison externe comme une intervention physiologique ou drogue etc. [5].

La deuxième définition est tirée d'une interview avec Peter C. Brown - l'un des auteurs du fameux livre 'Make It Stick' - qui a résumé l'apprentissage dans le fait d'acquérir des connaissances et des compétences et les mettre facilement à disposition de la mémoire afin de pouvoir comprendre les problèmes et les opportunités à venir [6].

La troisième définition est citée dans les travaux du Jan De Houwer [7] qui considère l'apprentissage comme étant l'ensemble des changements de comportement résultant de l'expérience ou mécaniquement comme des changements dans l'organisme résultant de l'expérience. Ceci se joint à la première définition, citée ci dessous, qui considère l'expérience comme étant le facteur et motif fondamental de l'apprentissage.

Alors suivant ces définitions, nous pouvons déduire et résumer que l'apprentissage représente l'ensemble des mécanismes menant à l'acquisition de tout type de savoir que ça soit : savoir-faire, savoirs ou de connaissances [8].

1.2 Méthodes de l'apprentissage

Les acquisitions du savoir (apprentissage) sont réalisées avec différentes méthodes d'apprentissage à savoir :

- Apprentissage par imitation : cette méthode d'apprentissage, aussi connu sous le nom d'apprentissage par observation, consiste à que l'apprenant essaye de reproduire le comportement présenté par un modèle [9]. Cette forme d'apprentissage ne fait pas appel à la rationalité expérimentale et à sa systématisation, chose qui la rend très utilisé dans l'enseignement de tous les arts à savoir la danse [10]. Cette forme d'apprentissage est fort présente chez les enfants où ils imitent les adultes dans leurs moindres gestes, même les plus inutiles.



Figure 1 : les enfants nous imitent pour apprendre et s'améliorer [11]

- Apprentissage par association : cette méthode est défini par l'association d'un stimulus nouveau à une réponse comportementale déjà appris [12] afin d'acquérir un nouveau savoir. Cela se joint à ce que le médecin et physiologiste russe -Ivan pavlov- a déclaré [12] : « Lorsqu'un stimuli neutre est associé à un stimuli biologiquement signifiant, le premier acquière la capacité à provoquer la réponse comportementale associée au second. »

Cette méthode d'apprentissage se base sur deux types de conditionnement à savoir : les conditionnements classiques et les conditionnements instrumentaux.

- Apprentissage par essais et erreurs : est une méthode fondamentale de résolution de problèmes ou le sujet (apprenant) est mis en situation d'essai sans aucun mode d'emploi, et il emmène à faire des essais et tâtonnement divers, jusqu'au succès ou jusqu'il abandonne ou arrête ses recherches. Cette méthode se joint et applique la loi de l'effet qui a été formulée en 1911 par Edward Thorndike [13].

Cette méthode est souvent utilisée en cas de situation d'apprentissage de difficulté croissante et permettant de nombreuses répétitions.

- Apprentissage par explication : représente la méthode la plus connue et utilisée pour l'apprentissage, cette méthode consiste à expliquer aux apprenants, oralement dans un discours ou par écrit, ce qu'il doit savoir, c'est le principe des cours magistraux [14].

En réalité c'est le statut oral de cette méthode d'apprentissage qui est souvent recommandée car ils se basent sur trois de ces faits de discours : premièrement la polyfonctionnalité du discours de l'enseignant, celui-ci jouant plusieurs rôles auprès des étudiants qui l'écoutent, deuxièmement les discours orolographiques qui combinent deux sources d'information simultanées, la parole de l'enseignant et les diaporamas (de type PowerPoint) qui l'accompagnent ; et finalement le dialogisme entendu comme la coexistence dans la parole de l'enseignant d'autres instances d'énonciation[15] .

- Apprentissage par répétition : cette méthode consiste à pousser et guider l'apprenant à répéter de manière atomiques et séparées l'ensemble des opérations, d'abord passivement, puis de plus en plus activement, jusqu'à ce qu'il puisse faire et refaire seul les opérations. Un exemple pertinent de l'exploitation de cette méthode est l'apprentissage des langues dont Gláucia V. Silva l'a prouvé dans ses études [16] en confirmant que la répétition, est en fait une méthode extrêmement importante et a des conséquences favorables sur le processus d'apprentissage et l'interaction.

- Apprentissage combiné : c'est la méthode la plus jugée efficace et la plus utilisée en matière d'enseignement, car il combine toutes les modalités citées précédemment qui participent et interviennent dans le processus d'apprentissage : l'apprenant est mis en situation (en commençant par les plus simples), on lui montre quelquefois les bons gestes

en lui expliquant les principes d'action puis on le laisse ensuite se perfectionner par une répétition de moins en moins supervisée.

Toutes ces méthodes exprimées brièvement ci-dessus, sont exploitées par les deux types d'apprentissages à savoir le classique aussi appelé traditionnel et le nouveau model d'apprentissage connu sous le nom du E-Learning. Ces deux types feront le sujet de l'étude que nous avons réalisé concernant leurs histoires, principales caractéristiques, avantages et inconvénients.

1.3 Types d'apprentissage

1.3.1. Apprentissage traditionnel ou classique

Chacun de nous dans un moment de sa vie, a expérimenté d'une manière ou d'une autre une situation d'apprentissage traditionnelle ou il y a un tuteur ou un enseignant qui rassemblent plusieurs apprenants dans une classe, ou amphithéâtre. Ce type d'apprentissage a été pratiqué à tous les niveaux à travers le monde.

Cependant chaque tuteur ou enseignant a ses propres styles d'enseignement, chose qui influence sur la qualité et la durée d'impact sur les apprenants. En effet, Delisle a déclaré que c'est notre façon d'enseigner et non ce que nous enseignons qui a un impact durable sur notre élève [17].

Alors, comme n'importe quel sujet, l'apprentissage traditionnel a ses avantages et ses inconvénients que nous avons résumé dans le tableau récapitulatif 1.

Avantages	Inconvénients
Réactions immédiates	Centré sur l'instructeur
Culture d'une communauté sociale	Contraintes de temps et de lieu
Interactions directes	Plus cher à vivre

Tableau 1 : Avantages et inconvénients de l'apprentissage traditionnel

Comme montré dans le tableau 1, La force et l'avantage majeur de l'apprentissage classique réside dans l'interaction face à face entre les apprenants et les instructeurs ; le statut présentiel de ce type d'apprentissage permet aux apprenants de poser des questions et commenter en fonction de leurs compréhensions du sujet. Tout ceci sans négliger le côté social où les apprenants peuvent créer des relations d'amitié entre eux que ça soit au niveau personnel ou professionnel.

Bien que le statut présentiel de l'apprentissage traditionnel a beaucoup d'avantages, cela n'empêche pas qu'il a bien quelques reproches et faiblesses. L'une de ces inconvénients est le nombre d'apprenant en classe. En effet Borland, Howsen et Trawick [18], ont examiné la littérature et ont constaté que d'une part l'effet de la taille de la classe sur la réussite des élèves est bien réel, et d'autre part il dépend aussi d'autres facteurs. Cette confirmation partielle de l'effet du nombre d'apprenant en classe a été exprimée aussi par Jensen [19] qui a suggéré que la majorité des études menées dans le monde montrent que les réductions d'effectif des classes n'améliorent pas de manière significative les résultats des étudiants.

L'autre faiblesse et inconvénient de l'apprentissage traditionnel est la contrainte du temps et du lieu, c'est à dire en fonction de l'emplacement des établissements et du temps qui devient parfois inaccessible, les apprenants doivent s'adapter et bien organiser leurs emplois du temps. Par conséquent, et en tant que réflexe de la nature humaine qui cherche toujours des alternatives ou des solutions à ses problèmes, un nouveau type d'apprentissage appelé E-Learning est apparu. Ce type s'appelait à l'origine l'apprentissage à distance et, au fil des années et en collaboration avec le progrès technologique et Internet a réussi à défier et à remédier aux problèmes majeurs de l'apprentissage classique.

1.3.2. E-learning

C'était juste une question de temps et de progrès technologiques avant que ce nouveau type d'apprentissage n'apparaisse. En effet, avec l'augmentation de la population mondiale, les gens ont de plus en plus tendance à apprendre. Malheureusement la capacité des universités et des collèges est bien limitée. Aujourd'hui, de nombreux apprenants sont

mariés, ont des enfants, travaillent à temps partiel ou à plein temps et assument d'autres responsabilités dans leur vie sans négligé le facteur géographique. En effet, la taille des villes ne cesse d'augmenter et beaucoup d'apprenants vivent loin des collèges et des universités. Alors en résumé, tous ces arguments tournent autour des contraintes de temps et de lieu, d'où la nécessité d'un nouveau type d'apprentissage pour supprimer ses barrières temporelles et le délocaliser.

Comme mentionné précédemment, l'apprentissage à distance et spécialement le E-learning offre des solutions prometteuses aux problèmes des méthodes d'apprentissage traditionnel. Ce type d'apprentissage offre en plus d'autres avantages, une flexibilité en termes de temps et de lieu où l'apprentissage peut être fait à partir du domicile de l'apprenant et que les cours peuvent avoir un horaire d'étude flexible [20]. En dépit de la révolution et de la popularité de cette nouvelle tendance en matière d'apprentissage, elle est jugée avoir quelques critiques et inconvénients. Dans le tableau 2 nous reprendrons les avantages et les inconvénients les plus courants et nous tenons à mentionner que certains de ces inconvénients ne concernent que les premiers types d'apprentissage en ligne, qui seront clarifiés plus loin dans ce chapitre.

Avantages	Inconvénient
centré sur l'apprenant	Absence de retour immédiat en e-learning asynchrone
Flexibilité horaire et géographique	Temps de préparation accru pour l'instructeur
rentable pour les apprenants	Pas à l'aise pour certaines personnes
potentiellement disponible pour le public mondial	potentiellement plus de frustration, d'anxiété et de confusion
Accès illimité à la connaissance	
Capacité d'archivage pour la réutilisation et le partage des connaissances	

Tableau 2 : Avantages et inconvénients de l'apprentissage à distance (E-learning)

1.3.2.1 Historique et naissance

Comme mentionné dans l'introduction de ce chapitre, l'apprentissage à distance a une très longue histoire qui date de près de trois siècles. Cette histoire débute en 1728 [21] avec les premiers cours à distance proposé par Caleb Phillips dans La Boston Gazette qui était un journal publié à Boston (Massachusetts), dans les colonies d'Amérique du Nord britannique.

Aux fils des années et comme montré dans la figure 2, l'apprentissage à distance a pris plusieurs formes qui varient en fonction des outils utilisés pour délivrer le contenu, ces outils ne sont pas forcément technologique. En effet Nipper a distingué trois ères à l'histoire de l'apprentissage à distance, tandis que Taylor et Swannel ont proposé et distingué quatre ères [22]



Figure 2 : Histoire de la formation à distance [23]

Selon Nipper, il y a trois repères chronologiques appelés aussi générations telles que les techniques d'impression efficaces et le transport ferroviaire, les systèmes d'enseignement multimédia et finalement les nouvelles technologies de communication électronique.

Contrairement à Nipper, Taylor et Swannel proposent quatre ères pour l'apprentissage à distance en regroupant la première et la deuxième génération classifiée par Nipper en une seule ère et en découpant la troisième de manière plus fine en trois parties en allant du Tele-learning vers le modèle d'apprentissage flexible.

Les deux classifications proposées par ces chercheurs ont des repères chronologiques en commun que nous avons regroupé en trois ères qui sont : Apprentissage par correspondance, les Multimédias (Imprimé, Radio et Télévision), et finalement l'ère de la révolution Informatique et Internet connue sous le nom du E-learning.

1.3.2.2 Première ère de l'apprentissage à distance : Apprentissage par correspondance

La première ère est caractérisée spécialement par l'imprimé qui a marqué le début de la formation à distance et a constitué la base des cours par correspondance, sans oublier la contribution du transport ferroviaire à cette époque. Durant cette ère, plusieurs chercheurs, universités et instituts ont fait le pas vers ce nouveau type d'apprentissage et ont essayé soit d'inventer des nouvelles méthodes, soit de l'intégrer et le supporter comme une activité reconnue et certifiée. Tout cela est représenté en ordre chronologique dans le tableau 3.

Année	Fondateur	Description
1728	Caleb Phillips	Cours de correspondance privée à travers des petites annonces publiées dans la Boston Gazette.
1840	Sir Isaac Pitman	Cours par correspondance d'une méthode de sténographie inventée par lui même.
1858	Université de Londres	Première université à dispenser des diplômes reconnaissant les formations obtenues par correspondance.

1873	Annas Eliot Ticknor	Fondation de la Société d'Encouragement pour l'Étude à domicile : une école également par correspondance et qui vise plus spécifiquement un public féminin [24] (Nasseh)
1891	Thomas J. Foster, editor of the Mining Herald	Cours par correspondance sur les mines et la prévention des accidents de mines.
1892	Université de Chicago	Premier programme universitaire par correspondance à l'USA
1904	Institut l'avenir (privée)	Premier établissement d'enseignement par correspondance en Belgique. Il connaissait un succès réel, avec plus de 10.000 inscrits en 1923.

Tableau 3 : première ère de l'apprentissage à distance en ordre chronologique

1.3.2.3 Deuxième ère de l'apprentissage à distance : les multimédias (Radio et télévision)

Avec l'arrivé et l'invention de la radio et la télévision, l'apprentissage à distance a reconnu une nouvelle ère représentée par l'intégration et l'utilisation de la radio et émissions télévisées, cassettes audio et vidéo et autres appareils d'enseignement multimédia.

En 1948, l'Américain John Wilkinson Taylor [25], président de l'Université de Louisville, s'est associé à NBC (National Broadcasting Company) pour utiliser la radio comme support d'enseignement à distance, le président de la Fédéral Communications Commission a approuvé le projet et prédit que « collège par radio - college by radio » mettrait l'éducation américaine 25 ans en avant. Cette université était la propriété de la ville et les résidents locaux payaient les faibles taux de scolarité, recevaient leur matériel d'étude par la poste et écoutaient à la radio des discussions en direct qui avaient lieu dans la classe [26]. Cependant malgré de nombreuses efforts, les cours de radio ont presque disparu dans les années 50 [27] et ont offert et libéré le terrain pour les cours transmis par la télévision.

En effet, La première chaîne de télévision éducative est entrée en ondes à Houston, Texas en avril 1953. En 1954, la télévision éducative nationale a commencé à fournir des milliers de programmes enregistrés pour être utilisés par les stations de télévision éducatives. Cette initiative a vis le succès, chose qui a poussé beaucoup d'autre nations et pays à donner de l'importance et essayer d'intégrer les multimédias dans leurs systèmes éducatifs. Parmi les plus marquants et populaires dans l'histoire est l'université ouverte « The open University of Great Britain » qui a compris très tôt l'intérêt des multimédias et a proposé des cours et des diplômes aussi bien en musicologie qu'en techniques informatiques ou en chimie organique dès 1969 [23].

En bref, la deuxième ère de l'apprentissage à distance a accéléré l'apprentissage et a pu mieux ; en comparaison avec la première ère ; défier les contraintes temporelles et géographiques de l'apprentissage classiques. Cependant qui allait vraiment révolutionner l'apprentissage à distance jusqu'au nos jours, c'était Internet.

1.3.2.4 Troisième ère de l'apprentissage à distance : Révolution de l'informatique et d'Internet

L'utilisation des ordinateurs et d'Internet ont facilité et accéléré l'apprentissage à distance. Aujourd'hui, les écoles et universités virtuelles proposent des programmes complets en ligne [28].

Cette troisième ère aussi connu sous le nom du E-learning a souvent été un sujet d'actualité dont les chercheurs ne cessent de la définir et l'évoluer. En effet, Il est important de noter qu'il n'y a pas de point évolutif unique à l'origine du E-learning ni de définition unique convenue. Depuis les années 1960, l'apprentissage en ligne a évolué de différentes manières et a touché les entreprises, l'éducation, le secteur de la formation et le secteur militaire [29].

Durant les années comprises entre 1960 et 1970, le E-learning a reconnu ces premières formes nommé « Informatique éducative - Educational computing » sur les ordinateurs centraux dans les grandes universités uniquement, pas de graphiques à l'écran, mais

uniquement du texte disponible (Console noir et blanc).

Ainsi, dans les années 1970 - 1990 qui suivent beaucoup de méthode d'apprentissage utilisant les ordinateurs comme assistant d'apprentissage ont apparu, voici les plus reconnues [30] :

- La formation assistée par ordinateur (CBE - Computer Based Education) et la formation assistée par ordinateur (CBI Computer Based Instruction) font référence à pratiquement tout type d'utilisation d'ordinateur en milieu éducatif, y compris l'exercice et la pratique, des tutoriels, des simulations, la gestion de l'instruction, exercices supplémentaires, programmation, développement de bases de données. Ces méthodes sont considérées comme les pierres angulaires et fondamentales du E-Learning d'aujourd'hui [31].
- L'instruction assistée par ordinateur -IAO- est un terme plus restrictif qui désigne le plus souvent des activités d'exercice, de tutorat ou de simulation, proposées par elles-mêmes ou en tant que suppléments à l'enseignement traditionnel dirigé par le professeur. En bref, l'idée principale de cette méthode était la création des programmes de formation qui seraient ensuite utilisés par les étudiants sur un ordinateur [32].
- L'instruction gérée par ordinateur (CMI) peut faire référence à l'utilisation des ordinateurs par le personnel de l'école pour organiser les données des élèves et prendre des décisions pédagogiques. Dans son utilisation plus sophistiquée, le CMI prévoit des travaux diagnostiques et normatifs basés sur les performances des élèves. [33] Bien qu'aucune de ces fonctions ne dépend de l'utilisation d'un ordinateur, cette utilisation est jugée être le moyen le plus efficace et le plus optimisé pour gérer un programme d'enseignement individualisé.

Bien que l'internet a sa propre histoire qui débute des années 1960, ce n'est que en 1994 et à la fin du 1999 que deux universités entièrement en ligne ont été fondé. La première université était "Open University of Catalonia, dont le siège était à Barcelone, en Espagne". Tandis que la deuxième a été fondé par Glenn Jones le directeur général, et Bernard

Luskin le chancelier et qui a été de plus accréditée par une association d'agrément régionale aux Etats-Unis [34].

Aujourd'hui, il y a énormément d'université supportant l'apprentissage à distance et délivrant des attestations certifiées aux apprenants. Cependant la révolution de l'internet ne se limitait pas juste a cela, des universités virtuelles et des plateformes en ligne ont apparu qui offrent des programmes complets en ligne. On peut vraiment dire que l'internet a permis à l'apprentissage à distance de reconnaître tout une nouvelle ère révolutionnaire nommée le E-learning.

Vu l'importance et l'impact de cette ère, le E-learning était le sujet de débat international dont beaucoup de chercheurs ont proposé des définitions pour cette nouvelle ère de l'apprentissage à distance. Parmi les définitions que nous avons jugé la plus pertinente est celle de la commission européenne en 2001 [35] : « E-learning est l'utilisation des nouvelles technologies multimédias de l'Internet pour améliorer la qualité de l'apprentissage en facilitant d'une part l'accès à des ressources et à des services, d'autre part les échanges et la collaboration à distance ».

1.4 E-learning

La révolution technologique a transformé notre mode de vie en apportant de nouvelles exigences, ainsi que de nouvelles attentes en matière d'éducation et d'apprentissage, telles que la flexibilité en termes de temps, de lieu et de structure [36].

Cette révolution nous a conduits également à une nouvelle catégorie d'apprenants : « les apprenants en ligne ». Selon le rapport annuel sur l'état de l'apprentissage en ligne dans l'enseignement supérieur américain, il y'a chaque année une augmentation du nombre d'étudiants en formation à distance estimée à 3,9% [37].

Cette nouvelle ère révolutionnaire ; aussi connue le nom du « le E-learning » ; est marquée principalement par l'apparition de deux nouvelles approches et formes d'apprentissage. À savoir : les universités virtuelles et les plateformes/systèmes d'apprentissage en ligne.

De nos jours, les universités virtuelles sont considérées comme un concept émergent utilisant les technologies de l'information et de la communication pour sa diffusion. Ils sont

flexibles et pratiques pour les apprenants en leur fournissant une exposition aux technologies émergentes. [38]

Divers facteurs économiques, politiques, sociaux et pédagogiques ont favorisé cette tendance de virtualisation des universités et ont été résumé par Johson en 2005 en quatre facteurs qui sont [39] :

- Changements économiques entraînant une réduction des budgets et des ressources financières.
- Les tendances sociétales et le désir croissant de possibilités d'apprentissage pratiques, mobiles et flexibles.
- Tendances en matière d'employabilité et demande d'employés polyvalents et maîtrisant l'informatique.
- Les ordinateurs constituent un atout stable dans la société et ont une influence sur tous les aspects de notre vie personnelle et professionnelle.

De nos jours, Il existe un nombre très important d'universités virtuelle et ils ont tous des fonctionnalités ont commun, à savoir :

- Création d'un environnement d'apprentissage favorisant la collaboration dans le développement et l'utilisation des technologies émergentes nécessaires au développement d'un modèle d'éducation virtuelle.
- Amélioration dans l'organisation, la planification, la conception des programmes, et des cours pertinents pour le développement des ressources humaines.
- Soutiens des services dédiés aux étudiants comme : les évaluations des compétences et connaissances actuelles, les conseils sur les plans d'études, etc.

Bien qu'il y a de nombreux moyens pour que les universités virtuelles livrent leur contenu d'apprentissage aux apprenants, tels que la radio et les chaînes de télévision, Internet est considéré le moyen le plus utilisé permettant aux universités virtuelles d'avoir un espace d'échange de savoir avec les apprenants qui permet d'envoyer et demander des requêtes sur

n'importe quel sujet ou terme via une interface appelée LMS (Learning Management System) [40]

Actuellement, Les LMSs et autres plateformes d'apprentissage en ligne sont considérés comme étant des approches appartenant au E-learning classique et traditionnel parce qu'ils ne suivent plus les progrès technologiques et les besoins variés des apprenants. Chose qui a poussé la recherche scientifique dans ce domaine de s'orienter vers des plateformes d'apprentissage dans lesquelles les attentes, la motivation, les styles d'apprentissage, les habitudes et les besoins des apprenants sont de plus en plus pris en compte. Ces plateformes sont nommées « systèmes hypermédias adaptatifs » et appartient au E-learning adaptatif.

Alors Vu que le sujet et la thématique principale de cette thèse est les systèmes hypermédias adaptatifs, les universités virtuelles ne feront pas partie des discussions qui suivent, dont nous allons premièrement présenter nos études réalisées sur les systèmes d'apprentissage traditionnels « E-learning traditionnel » tout en montrant leurs limites et la motivation derrière l'apparition d'une nouvelle catégorie des plateformes qui est les systèmes d'apprentissage adaptatifs « E-learning adaptatif ».

1.4.1 Systèmes d'apprentissage en ligne : E-learning traditionnel

On a souvent entendu parler des LMSs, des MOOCs, xMOOCs et de leurs succès et popularités dans le monde d'apprentissage à distance. Ce succès a été témoigné par New York times qui a qualifié l'année 2012 comme étant 'l'année des MOOCs - the year of the MOOC' [41]

Bien que ces différents systèmes d'apprentissage (LMS,MOOCs,etc.) semblent similaires, ils sont très différents et souvent mal compris et confondus avec d'autres termes d'éducation informatique.

De ce fait et d'après les études que nous avons réalisées, nous allons présenter dans ce qui suit, les deux termes très importants et pertinents en E-learning classique qui sont : LMS (Learning Management System) et MOOC (Massive open online courses).

1.4.1.1 LMS - Learning Management System

Un LMS (Learning Management System) représente un Framework et une infrastructure qui gère tous les aspects du processus d'apprentissage [42] à savoir la gestion du contenu d'apprentissage, la suivi des progrès accomplis par les apprenants dans la réalisation des objectifs, l'identification et l'évaluation des objectifs d'apprentissage ou de formation individuels et organisationnel, et finalement la collecte et la présentation des données permettant de superviser le processus d'apprentissage d'une organisation dans son ensemble [43].

Les LMS sont construits sur diverses plateformes, généralement PHP, .Net ou Java et en utilisant une base de données telle que PostgreSQL, MySQL ou SQL Server [44].

Vu le nombre important des LMSs, nous avons distingué deux caractéristiques que nous pouvons utiliser pour regrouper et étudier ces systèmes.

La première caractéristique est le type de la licence : l'ensemble des plus fameux LMSs sont soit en open source [45] qui est caractérisé par les possibilités de libre redistribution, d'accès au code source et de création de travaux dérivé. Soit ils sont sous licence « non-open source ».

Dans le tableau 4 nous présentons une liste des plateformes les plus connues et utilisées tout en indiquant leurs date d'apparition et leurs types de licence :

Nom	Date de la Première version	Open source
Moodle	2002 [2]	Yes
Claroline	2002	Yes
Sakai	2004	Yes
TalentLMS	2012 [46]	No

Tableau 4 : Liste des LMS les plus connus et utilisés

La deuxième caractéristique concerne les fonctionnalités nombreuses offertes par ces systèmes. Malgré cette diversité, il y a des fonctionnalités de base que tous les LMS doivent supporter. Voici une liste exhaustive des fonctionnalités les plus recommandées et que la plupart des LMSs implémentent [44] :

- Interface graphique facile : La plupart des LMSs offrent des options de personnalisation pour l'interface afin de permettre à l'utilisateur de donner un goût unique à sa plateforme d'apprentissage. Bien que l'interface graphique soit là pour rendre l'environnement plus esthétique, il faut toutefois privilégier le côté fonctionnel.
- Personnalisation : cette fonctionnalité fait référence aux options de personnalisation de la plateforme, à savoir : Les options de langue, les paramètres de notification et d'autres fonctionnalités.

Nous tenons à préciser que les termes personnalisation et adaptation sont bien très différents et seront mieux expliqués dans les prochains chapitres.

- Inscription et Engagement : Le système doit permettre aux apprenants de s'inscrire et de garder trace de leurs détails, de leur progression dans des cours et des résultats des tests. Il peut également permettre aux étudiants de payer leurs frais de cours en ligne via une carte de crédit, une carte de débit ou PayPal.
- Classes virtuelles : le système de gestion de l'apprentissage doit s'intégrer aux systèmes de tableau blanc pour les sessions de classe virtuelle et aider également les tuteurs à planifier des sessions. Il peut aussi offrir la possibilité d'envoyer des invitations ou des rappels pour les sessions en classe et s'intégrer à un système de calendrier en ligne ou à Outlook.
- Réseau social : vu le succès des réseaux sociaux, Un système de gestion de l'apprentissage (LMS) doit être en mesure de s'intégrer aux médias sociaux afin que les apprenants puissent partager leurs contenus ou leurs informations via Twitter, Facebook, etc.
- Communication : cette fonctionnalité fait référence à différentes manières de communication entre les tuteurs et les apprenants, telles que l'envoi d'un courrier électronique en masse à tout le monde sur un cours particulier, à des apprenants individuels ou à des apprenants d'un parcours particulier. Les forums de discussion font partie aussi de cette fonctionnalité et qui permettent d'ouvrir des discussions sur un sujet ou un cours particulier.

- Parcours de cours : chaque cours doit disposer d'un ensemble des détails et d'un flux de travail flexible pour définir les apprenants sur certains « parcours d'apprentissage ».
- Rapports : Tout bon système de gestion de l'apprentissage doit disposer d'un système de génération de rapports auquel les tuteurs peuvent accéder sous différents formats (Excel, XML, etc.), et qui offre également une représentation graphique des données pour faciliter la compréhension et l'analyse.

La liste complète de ces fonctionnalités peut être trouvée dans “LMS Common Features-TrainCaster” [47]. Bien qu'ils sont très nombreux R. G. Jurado les a regroupées dans des classes d'outils afin de les étudier et avoir une métrique pour les comparer [48], voici un descriptif de cette classification :

- Outils de distribution : ce sont les outils qui englobent l'ensemble des fonctionnalités permettant aux tuteurs d'ajouter et mettre des documents à la disposition des apprenants. Auparavant, il s'agissait principalement de documents texte, mais aujourd'hui il peut également s'agir de différents types de fichiers multimédia. Néanmoins, le processus est toujours unidirectionnel, c'est-à-dire la distribution de l'information est faite dans un seul sens qui est de l'enseignant à l'apprenant.
- Outils de communication : ce sont les outils qui concernent les fonctionnalités de communication entre les apprenants et les tuteurs à savoir : les emails.
- Outils d'interaction : ces outils font appels aux réactions et retours (feedback) des apprenants. Les forums des discussions sont un bon exemple de ceci et ils sont d'un grand intérêt car ils peuvent promouvoir l'activité et la coopération des étudiants tout en améliorant ainsi l'expérience de l'apprentissage.
- Outils d'administration des cours : ce sont les outils utilisés pour la création, gestion et la documentation du processus d'apprentissage. Il y'a un outil qui fait l'exception connu sous le nom « surveys in Ping Pong » [49]. Cet outil est techniquement destiné à faciliter les interactions de nombreuses manière, cependant en raison de la

manière dont il a été utilisé dans différents LMS, l'outil a été classé comme outil de gestion de cours et non comme outil d'interaction.

1.4.1.2 MOOC (Massive open online courses)

Les cours en ligne existent depuis des décennies et ils ont été souvent proposés par des universités pour un effectif réduit et restreint des apprenants. Cela restait le cas jusqu'en 2011. Lorsque l'Université de Stanford a offert trois cours gratuits au public, chacun d'entre eux a été suivi par environ 100 000 apprenants ou plus. Le lancement de ces trois cours a sans aucun doute marqué le début du MOOC moderne caractérisé par le nombre important d'effectif ciblé, par la disponibilité et l'ouverture au public. [50]

En effet, Pour qu'un cours soit considéré comme un MOOC il doit avoir trois caractères, à savoir : massif (nombre des apprenants), public (ouvert - open) et en ligne [51] :

Un cours est dit « massif » lorsque le nombre d'apprenants inscrits et suivant le cours est potentiellement très important. À noter que le terme massif ne fait référence qu'aux apprenants qui suivent réellement et effectivement le cours jusqu'au bout. Cependant, en tenant compte des attentes en matière d'apprentissage par les pairs dans les MOOCs, une certaine masse critique est nécessaire au succès de la conception pédagogique tout en atteignant le caractère massif. Cela a été décrit par George Siemens comme suit :

« Massif fait référence à tout ce qui est assez grand pour que vous puissiez obtenir des sous-groupes d'intérêts auto-organisés. Trois cents étudiants et plus pourraient constituer un repère ou valeur approximative » [52]

Le caractère ouvert « open » fait référence à l'inscription des apprenants qui est libre et non conditionnée par un niveau d'étude ou un statut professionnel ou académique. Cela veut dire que si un cours est dit ouvert « open », il est disponible et accessible par tout le monde sans aucune exception. Cela a été affirmé par Karen Cator, présidente et chef de la direction de Digital Promise, qui a déclaré que « pour être considéré comme ouvert, un cours ne devrait pas nécessiter de pré-requis ou de pré-tests qui limiteraient la participation » [52].

Cependant, les droits de publication et d'accessibilité ne sont pas inclus par ce caractère d'ouverture. Cela veut dire que le MOOC peut ne pas être sous une licence Open Source ou

Open Access. Il n'est donc pas forcément possible de récupérer les contenus pour les faire évoluer, ni les données des participants. En bref, le mot « open » ne signifie pas la gratuité [51].

Concernant l'interprétation du terme « en ligne – online », il y a eu des désaccords. Presque toutes les personnes interrogées ont déclaré que les MOOCs devraient être disponibles via Internet sur divers appareils afin de faciliter l'accès et d'étendre l'échelle au-delà du campus traditionnel. C'est-à-dire que tous les cours, exercices, devoirs et mêmes les examens doivent être organisés en ligne. Cependant, les expériences avec la structure MOOC ont conduit à des variations incluant des éléments hors ligne.

Au-delà de ces trois caractères définissant un MOOC, on distingue deux grands courants, le premier est le xMOOC qui est dit « classique » et qui consiste à construire un MOOC selon une progression bien définie. Tandis que le deuxième courant, qui est appelé cMOOC, est dit « connectiviste » ou bien « Canadiens [53] » car il est beaucoup moins directif que le premier courant en permettant à l'apprenant de construire lui-même son cursus, de gérer sa progression et construire son apprentissage.

Nous tenons à indiquer qu'il existe bien d'autres courants pour les MOOCs et qui ne feront pas le sujet des discussions qui suivent. À savoir : iMOOC qui est caractérisé par l'apprentissage par investigation, tMOOC pour les MOOC orientés « tâche » et enfin pMOOC pour les MOOC construits sur des projets.

- **xMOOC**

Les xMOOCs ou bien MOOCs de type Coursera sont devenus la référence concernant le terme MOOC dans la plupart des publications [53]. Cela est dû au caractère classique et pédagogique concernant la mise en ligne d'un cours par un instructeur. Ce cours doit contenir des connaissances déclarées et structurées d'une manière cohérente et progressive par un instructeur et permettant à chaque étudiant de suivre le cours à sa propre vitesse d'apprentissage.

Parmi les plateformes les plus connues offrant des xMOOCs nous citons : Coursera, edX, Udacity, Udemy, Khan Academy et Venture Lab. Ces plateformes permettent aux

apprenants de suivre le cours de leur choix, d'effectuer leurs devoirs et leurs quizzes, et de compléter le programme de cours en un nombre de semaines donné, simplement en s'inscrivant en tant que membre.

Tous ces plateformes ont un mode de fonctionnement différent concernant la nature du parcours de l'apprenant et le caractère financier de leurs services. En Effet, Coursera exige aux apprenants de suivre un calendrier prédéterminé, tandis qu'Udemy n'a aucune limitation en terme du calendrier du parcours des cours à suivre par les apprenant. En outre, la fameuse plateforme d'apprentissage en ligne edX est à but not lucratif alors que Coursera est une organisation à but lucratif. Bien qu'il s'agisse d'un service payant, Coursera ne facture aucun frais pendant la période d'essai et pour l'accès au cours. Coursera et ses établissements associés prennent en charge leurs propres frais et fonctionnent sur un modèle de capital risque. En outre, les utilisateurs peuvent recevoir des certificats des cours qu'ils ont suivis grâce à certains dons ou moyennant le paiement de certains frais. Ils peuvent également être référés à des employeurs ou faire évaluer leurs compétences sur des campus physiques et dans des salles de classe, toujours contre le paiement de certains frais. Cependant, l'infrastructure et le soutien financier requis pour offrir ces cours sont principalement fournis par de grandes entreprises et des dons de fondations [54].

Malgré les deux différences majeures citées précédemment concernant les plateformes et sites hébergeant des xMOOCs, ils partagent tous les mêmes caractéristiques de l'approche comportementaliste « behavioriste » traditionnelle qui consiste à que l'instructeur ou le tuteur prépare le cours tandis que l'apprenant le reçoit d'une manière passive.

Le modèle comportementaliste repose principalement sur le transfert d'informations de l'enseignant à l'élève. Cette situation réduit les élèves dans une position dans laquelle ils ne font que recevoir des informations, ce qui empêche leur créativité et leur développement cognitif. Cela a été affirmé par Bates en 2012 : les xMOOCs conçus conformément au vieux modèle « behavioriste » comportementaliste traditionnel sont des systèmes dans lesquels l'information est directement transmise et ne contribue pas au développement des capacités de réflexion critiques, créatives et uniques [55]

- **cMOOC**

Les cMOOCs sont fondés sur une approche pédagogique nommée ‘approche connectivisme participative’. Cette approche fait partie des trois catégories pédagogiques de l’apprentissage à distance qui ont été élaboré par Anderson et Dron en 2011. À savoir : le comportementalisme cognitif « cognitive behaviorism », le constructivisme social « social constructivism » et le connectivisme participative « connectivism » [56].

Leur définition du behaviorisme cognitif fait référence à la période ancienne du Web caractérisé par les documents imprimés, de la télévision et de la radio, tandis que Le constructivisme social est défini comme le Web 1.0 et la période de téléconférence. Et finalement, Le connectivisme participative qui fait référence au processus de communication et d’interaction fourni par le Web 2.0 et les réseaux sociaux [53].

Comme indiqué précédemment, les cMOOCs sont fondés sur la démarche participative « connectivist » dans laquelle chacun effectue sa propre recherche du meilleur parcours, échange avec ses pairs et publie ses propres conclusions [51]. Tout ceci est géré et implémenté par un système dans lequel, au lieu d’être limité, l’apprenant est libre tout au long du processus d’apprentissage, ce qui lui permet de déterminer ses propres objectifs d’apprentissage.

Cependant, malgré ces avantages, nous pouvons affirmer que cette démarche ouverte libre rend l’évaluation et les processus de certification très difficiles et le gain monétaire très compliqué à estimer. Contrairement au xMOOC, nous avons trouvé en littérature deux raisons derrière la lettre ‘c’ dans le mot ‘cMOOC’. La première raison fait référence au caractère ‘Connectiviste’ de ce type de MOOC d’où le « c » [51], tandis que la deuxième raison fait référence à la première lettre de la nationalité des créateurs de ce courant et qui sont ‘Canadiens’ [53].

Parmi les cMOOCs les plus connus nous citons : le MOOC Itypa (Internet Tout y est Pour Apprendre) qui représente le premier MOOC francophone et connectiviste [57]. Ce MOOC s’inspire directement de l’organisation adoptée par Siemens et Downes dans leur cours CCKO8 [58]. Ce MOOC ne propose aucune évaluation formelle, ne cherche pas à délivrer

de diplôme ou de certificat. Chaque participant est complètement autonome et aucun n'est tenu de rendre une quelconque production.

- **Comparaison (xMOOC vs cMOOC)**

Il existe beaucoup d'aspects et caractéristiques avec lesquelles nous pouvons différencier les xMOOCs des cMOOCs. Selon Unow (la première startup consacrée au MOOC) et les travaux du Matthieu Cisel[59], Il y'a cinq critères qui permettent de distinguer les xMOOC des cMOOC, à savoir : l'objectif du cours, le niveau de prérequis nécessaire, le type de ressources utilisées, le type d'activités proposées et le degré de contrainte.

Dans le tableau 5, nous montrons des exemples des comparaisons concrètes des caractéristiques des xMOOCs et cMOOCs :

xMOOC	cMOOC
Activités hebdomadaires prédéterminées, dirigées par un instructeur, structurées et ordonnées	Système d'apprentissage social et technique dans lequel la voix de l'enseignant n'est pas une plaque tournante essentielle, mais un nœud d'un réseau global
Vidéos courtes, contenu basé sur le contenu, lectures	Création / exploration de thèmes dans un environnement «atelier»
Tests (auto-notés), évaluations par les pairs	Produits uniques créés par les étudiants (billets de blog, images, diagrammes, vidéos)
Participation au forum de discussion (facultative)	Les forums de discussion, Twitter et d'autres réseaux sociaux sont essentiels
Livré via un fournisseur de plateforme tiers (par exemple, Coursera, edX)	L'animateur rassemble, examine et résume l'activité dans les bulletins quotidiens / hebdomadaires
	Plateforme «boot-strapped» et outils de collaboration

Tableau 5 : Comparaisons des caractéristiques des xMOOCs et cMOOCs [52]

Ces critères sont très variés et ne sont plus d'actualité parce que de nos jours nous avons constaté qu'il y a bien des MOOCs hybrides, c'est à dire des MOOCs disposants des

critères appartenant à la fois au xMOOC et cMOOC. Le MOOC Courlis9 de François Kohler de l'Université de Lorraine est un très bon exemple, parce qu'il implémente dans une partie la démarche pédagogique des xMOOC et dans une autre partie celle des cMOOCs.

1.4.1.3. LMS vs MOOC

Afin d'enlever l'ambiguïté entre les deux termes LMS et MOOC nous avons ; dans ce qui précède ; passé en revue de leurs définitions et caractéristiques. Cependant, il se peut que la distinction entre ces deux termes résumée dans la question « c'est quoi la différence entre un LMS et un MOOC ? » est toujours non résolu.

En effet, la réponse la plus simple réside à quoi principalement ces deux termes (LMS & MOOC) font références. Comme exprimé précédemment un LMS est une plateforme ou un système qui héberge des cours, tandis que le MOOC fait référence a le cours lui même. Dans le même ordre d'idées, un système de gestion de l'apprentissage (LMS) peut être utilisé pour organiser un cours qui n'est pas un MOOC. Des malentendus surgissent souvent parce que les principales plateformes MOOC comme - Coursera, edX, etc. - impliquent à la fois un LMS et un MOOC. Par exemple : si vous suivez un cours sur Coursera, vous suivez un MOOC Coursera hébergé sur le LMS Coursera [60]. En réalité, nous pensons que la vraie question et problématique ne réside pas dans la distinction entre un MOOC comme étant un cours et le LMS comme étant une plateforme d'apprentissage, mais plutôt dans la différence entre un MOOC et les autres types de cours généralement dispensés sur un LMS. Bien que les domaines principaux ; dans lesquels les MOOCs et les cours de type LMS traditionnels diffèrent ; peuvent être déduit des discussions que nous avons présenté précédemment. Nous allons dans le tableau 6 ré-identifier en bref les sept domaines de différences entre un cours traditionnel et un MOOC.

Mooc	Cours traditionnel	Descriptions
Nombre illimité d'apprenants	Nombre limité	En théorie, un MOOC est supposé supporter un nombre d'apprenant important

(Massive)	d'apprenants (Small)	qu'un cours traditionnel.
Entités continues	Entités distinctes	Entité distincte signifie que le cours commence un jour particulier et se termine un jour particulier, etc. Tandis que le caractère d'entité continue permet au MOOC d'avoir des inscriptions échelonnées. Par exemple, les nouvelles recrues commençant une semaine ou un mois (ou une année) peuvent accéder au même cours.
Orienté contexte	Orienté contenu	Un cours traditionnel se concentre principalement sur le contenu c'est à dire que les apprenants sont testés sur le contenu. Un MOOC est beaucoup plus lié au contexte. Le contenu reste la pièce maitresse et l'apprentissage a lieu dans un contexte d'interactions avec d'autres apprenants à travers des discussions, des projets et des collaborations.
Apprentissage en groupe	Apprentissage individuel	La plupart des cours en ligne traditionnels sont des activités individuelles. Les MOOC peuvent être des activités individuelles, mais leur efficacité réelle en tant qu'environnements d'apprentissage découle de la collaboration et du travail d'équipe qu'ils rendent possibles.
Dynamique	Statique	Cela concerne les contenus et les activités d'apprentissage, etc. qui sont ; pour un cours traditionnel ; conçus avant le lancement et sont identiques pour tous les apprenants. Cependant pour un MOOC Ce n'est pas nécessairement le cas, le cours peut changer avec le temps à travers les discussions, la collaboration et le partage

		qui font partie du contexte MOOC.
Juste à temps	Juste à cas	Le caractère discret et statique d'un cours traditionnel rend son contenu proposé au cas par cas. Tandis qu'un MOOC supporte la possibilité d'un apprentissage juste à temps: les apprenants peuvent accéder au matériel de cours en cas de besoin et longtemps après la fin du cours.
Émergeant organiquement	Prédéfini	Cela concerne la façon dont le cours est conçu et développé: Dans un cours traditionnel, le cours est construit avec un ensemble prédéfini d'éléments basé sur des hypothèses qui peuvent ou non être correctes, mais les résultats ne sont pas analysés jusqu'à la fin (s'ils sont analysés du tout). Par contre, un MOOC a tendance à être beaucoup plus organiques en supportant à tout moment la création de nouvelles vidéos, l'ajout de nouveaux éléments ou l'introduction de nouveaux sujets de discussion par les instructeurs en cas de besoin.

Tableau 6 : Les sept domaines de différences entre un cours traditionnel et un MOOC

1.4.2 Systèmes d'apprentissage adaptatifs « E-learning adaptatif »

Le duo LMS et MOOC a sans aucun doute marqué l'histoire de l'apprentissage en ligne et a participé d'une manière ou d'une autre dans l'évolution du E-learning. Dans ce qui précède nous avons présenté comment les MOOCs ont contribué à l'évolution des cours en ligne traditionnels par le support du caractère dynamique et évolutif. Cependant, nous tenons à indiquer que ce caractère est considéré comme dynamique en vue du contenu d'apprentissage mais comme statique en vue des apprenants dans le sens où les mêmes

ressources de contenu et les mêmes ensembles de liens d'apprentissage sont offerts à tous les utilisateurs [61] [62].

Ces utilisateurs (apprenants) ont des objectifs, des styles d'apprentissage, motivations, et capacités différentes. Cette variété a souvent donné naissance à des problèmes de désorientation, de la surcharge cognitive et parfois même à la diminution de l'intérêt [63].

De ce fait une nouvelle génération d'apprentissage en ligne est apparue ; aussi connue sous le nom de 'Systèmes Hypermédia Adaptatifs AHS' ; qui consiste à élargir le caractère dynamique et à implémenter des mécanismes d'adaptation et de personnalisation du contenu et de sa présentation selon les besoins et préférences des apprenants.

Alors, dans ce chapitre nous allons présenter nos études réalisées sur ces systèmes hypermédias adaptatifs, en montrant premièrement la motivation et l'histoire des recherches faites sur ce domaine, puis en passant en revue des différents modèles de référence existants pour ces systèmes.

1.4.2.1 Définition et Motivation

Les systèmes hypermédias adaptatifs représente une direction de recherche relativement nouvelle qui aux cours des dernières années accueillent de plus en plus d'intérêt des chercheurs. Cet intérêt est dû aux limitations et problèmes des systèmes d'apprentissage classique et traditionnels qui sont basés sur les approches " one design for all [64] " et " Just on the web ". Ces deux approches sont critiquées par leur incapacité d'adapter et de personnaliser leur contenu d'apprentissage ainsi que sa présentation aux besoins et préférences de chaque apprenant. Par exemple, un système d'apprentissage traditionnel présentera la même explication et suggèrera la même page suivante à des apprenants ayant des objectifs pédagogiques et des connaissances du sujet très différents. De même, une encyclopédie électronique statique présentera les mêmes informations et le même ensemble de liens vers des articles connexes à des lecteurs de connaissances et d'intérêts différents. Une librairie Web peut également proposer le même choix de « meilleurs-vendeurs » aux clients ayant des préférences de lecture différentes. Enfin, un musée virtuel statique

proposera la même "visite guidée" et la même narration aux visiteurs avec des objectifs et des connaissances de base très différents [65].

En réalité, Les systèmes hypermédias adaptatifs appartient à la famille des systèmes d'apprentissage avancés qui donnent à l'apprenant un rôle actif dans l'apprentissage et la construction de ses connaissances, Ces systèmes sont hautement interactifs et intègrent une vision plus centrée sur l'utilisateur [66] tout en rendant le contenu d'apprentissage plus complexe ou plus simple en fonction des besoins et des demandes de l'apprenant [67]. Autrement dit, les systèmes hypermédias adaptatifs ont émergé en réponse aux limitations systèmes d'apprentissage traditionnels, qui en moyennant les progrès technologies d'internet, de la psychologie, de l'intelligence artificielle et de l'éducation [68] ont pu hausser la barre et donner aux apprenants un rôle actif [66] dans l'acquisition de leurs connaissances et compétences et d'adapter tous les aspects structurels, visuels et contextuels du processus d'apprentissage. Comme exemple d'adaptation et de personnalisation offerte par ces systèmes nous citons [65] : Un apprenant recevra une présentation adaptée à sa connaissance du sujet, ainsi qu'un ensemble de liens les plus pertinents pour aller plus loin.

Une encyclopédie électronique personnalisera le contenu d'un article pour augmenter les connaissances et les intérêts existants de l'utilisateur [69].

Un musée virtuel adaptera la présentation de chaque objet visité au parcours individuel de chaque visiteur à travers le musée [70].

Bien qu'il existe en littérature plusieurs définitions pour les systèmes hypermédias adaptatif, nous avons remarqué que celle proposée par Brusilovsky représente la définition la plus pertinente et citée dans les travaux connexes des autres chercheurs. Pour Brusilovsky: "Un système hypermédia adaptatif est un système hypertexte ou hypermédia qui reflètent certaines caractéristiques de l'utilisateur dans un modèle d'utilisateur et applique ce modèle pour adapter certains aspects visibles du système à cet utilisateur [71]".

1.4.2.2 Histoire

Les hypermédias adaptatifs ont une histoire qui remonte au début des années 90. À cette période, les recherches sur les Hypertextes et la modélisation d'utilisateur (user modeling) avaient atteint un niveau de maturité permettant une fertilisation croisée des idées de recherche. Un certain nombre d'équipes de recherche ont reconnu les problèmes posés par l'hypertexte statique dans différents domaines d'application et ont commencé à explorer diverses manières d'adapter le rendement et le comportement des systèmes hypertextes aux utilisateurs individuels. Cependant, les travaux et les efforts de ces chercheurs étaient indépendants dans le sens où chacun d'eux n'était pas en courant des travaux de ses collègues. Ce problème a été résolu en collaboration avec la communauté de chercheurs sur la modélisation d'utilisateurs qui a aidé les équipes de recherche existantes à se rencontrer, se reconnaître et promouvoir l'hypermédia adaptatif en tant qu'orientation de recherche indépendante dans la modélisation d'utilisateur. Il existe beaucoup d'exemple de cette orientation dont nous citons la réalisation du premier atelier sur l'hypermédia adaptatif qui s'est tenu lors d'une conférence sur la modélisation des utilisateurs [72] et la publication de toute une édition (issue) en 1996 de l'UMUAI - User Modeling and User-Adapted Interaction- dédié pour la thématique des hypermédias adaptatifs.

À cette époque, plusieurs techniques innovantes d'hypermédia adaptatif avaient été mises au point ainsi que plusieurs systèmes d'hypermédia adaptatifs ont été conçus et évalués au niveau de la recherche. L'ensemble de ces techniques feront le sujet d'étude détaillée dans les prochains chapitres.

Sinon concernant l'histoire des hypermédias adaptatifs, Nous avons constaté que l'année 1996 représente un tournant dans l'histoire des hypermédias adaptatifs parce que avant cette date, les recherches dans ce domaine étaient effectuées par des équipes isolées comme exprimés précédemment. Cependant, après l'année 1996, cette thématique a gagné beaucoup de popularité et d'attention des équipes de recherche qui ont commencé des projets sur l'hypermédia adaptatif, ainsi que de nouveaux doctorants ont choisi l'hypermédia adaptatif comme sujet de thèse.

Cette croissance rapide a deux facteurs principaux :

Le premier facteur est le succès du World Wide Web qui avec sa claire demande en matière d'adaptabilité en raison de la diversité de son public, a permis de stimuler la recherche adaptative sur l'hypermédia, offrant à la fois un défi et une plateforme attrayante.

Le deuxième facteur fait référence au cumul des expériences et des travaux publiés avant 1996, ce cumul a offert une base de données très riche et prête à être exploitée par la nouvelle génération de recherches. Cela paraît logique vu que les premiers chercheurs ne décrivaient des méthodes et techniques d'adaptation originales et n'étaient pas au courant des travaux des autres dans le sens où les premiers articles ne fournissaient pas (ou presque pas) de références à des travaux similaires sur l'hypermédia adaptatif.

1.4.2.3 Modèles des systèmes hypermédias adaptatives

En réalité, de nombreux systèmes hypermédia adaptatifs ont été développés depuis le début des années 1990, mais c'est qu'à la fin des années 1990 que la conception structurelle des systèmes hypermédia adaptatifs a commencé à apparaître. Dans ce qui suit, nous allons en bref présenter les fameux modèles des systèmes hypermédias adaptatives que nous avons trouvés en littérature :

- ACGs: Adaptive Course Generation System

C'est un Système de génération de cours adaptatif conçu et implémenté à la Faculté des technologies de l'information, au Collège de technologie de l'Université nationale du Vietnam, à Hanoi. Ce système permet de créer des cours adaptatifs en fonction de l'évaluation des besoins, des capacités, des antécédents et du style d'apprentissage des apprenants. Les ACGs ont également un contenu séparé du modèle de cours et des objets d'apprentissage étendus afin de pouvoir utiliser un agent intelligent pour les aider à choisir efficacement un cours adaptatif [73].

- AHA!: Adaptive Hypermedia for All

C'est un système complet pour la prestation de cours adaptatifs et a été défini par Paul De Bra comme une simple extension côté serveur qui permet aux fournisseurs d'informations d'ajouter une personnalisation automatique, ou une adaptation, à un site Web, éliminant ainsi les informations redondantes et potentiellement incohérentes. [74]. Ce système utilise deux techniques d'adaptation très basique, à savoir : la dissimulation de fragments et la dissimulation de liens. Finalement, AHA! est utilisé dans certaines universités aux Pays-Bas et en Belgique [75].

- AHAM : The Adaptive Hypermedia Application Model

Le modèle d'application hypermédia adaptatif (AHAM) est l'un des premiers modèles formels bien connus de l'hypermédia adaptatif. C'est une extension du modèle Dexter qui représente un modèle de référence très populaire et largement utilisé pour l'hypermédia [76]. AHAM est fondé sur une architecture composé de trois couches, à savoir : la couche d'exécution, la couche de stockage et la couche interne aux composants. Ces couches sont connectées par des interfaces nommé 'Presentation Specifications & Anchoring'.

- ALE : Adaptive Learning Environment

C'est un environnement ou un ensemble d'outils aidant à la création de cours adaptatifs. Son principe de fonctionnement est le suivant : en suivant les progrès des étudiants et en analysant leur performance à chaque étape d'une section d'un cours, le système génère le contenu de la section suivante. [77]

- Munich Reference Model

C'est un modèle similaire à AHAM parce lui aussi est fondé autour des trois couches du modèle Dexter. Cependant il diffère d'AHAM par sa spécification orientée objet écrite en UML (Unified Modeling Language) qui intègre à la fois une représentation visuelle intuitive et une spécification formelle non ambiguë dans OCL (Object Constraint Language) [78].

- ALEM : A Reference Model for Educational Adaptive Web Applications

C'est un modèle de référence pour les applications web adaptatif éducatif décrit en langage UML et étendu du modèle de référence Munich. L'apport essentiel de ce modèle de référence est le support de la modélisation des parcours personnalisés des apprenants [79].

- ALEA : Adaptive LEArning

C'est un système hypermédia adaptatif avancé conçu spécialement pour faciliter et soutenir l'apprentissage des langages de programmation en fournissant des séquences d'exemples de programme qui servent d'exercices à un apprenant. La séquence est adaptée aux besoins de chaque apprenant. Il utilise une architecture en couches conforme à AHAM. Le système prend en charge plusieurs techniques avancées de navigation adaptative et d'adoption de texte fragmenté.

- WebML

Le langage de modélisation Web (WebML) est une méthodologie de conception Web de troisième génération conçue en 1998 [80], qui peut être considérée comme un langage visuel, comme UML, mais spécifiquement conçue pour décrire la structure de contenu des applications Web. Selon notre perspective, la valeur ajoutée de ce modèle réside dans son abstraction pour la description de la structure et l'apparence graphique des pages, indépendamment du périphérique de sortie et du langage de rendu, via une syntaxe XML abstraite.

1.5 Conclusion

Il a été présenté dans ce chapitre les études préliminaires concernant l'état d'art de l'apprentissage et les systèmes hypermédias adaptatifs. En effet, nous avons premièrement passé en revue des différentes définitions du terme apprentissage et de ses méthodes tout en mettant le point sur la perception historique de l'apprentissage traditionnel et ses différences

avec le nouveau modèle d'apprentissage connu sous le nom de E-learning. Tout ceci a été présenté dans une étude chronologique de près de trois siècles englobant l'histoire de l'évolution de l'apprentissage en allant du classique (traditionnel) vers le E-learning.

Ensuite, nous avons présenté nos études réalisées sur les différents types de systèmes d'apprentissage en ligne tout en mettant le point sur leurs caractéristiques et limites, et finalement nous avons introduit les hypermédias adaptatifs.

La majorité des modèles hypermédias adaptatifs existants sont basés sur une architecture en couche proposée par le modèle DEXTER. Cette architecture fera le sujet du prochain chapitre dont nous allons premièrement décrire les différentes méthodes et techniques d'adaptation existantes que nous pouvons résumer en deux questions : 'que peut-on adapter ?' et 'sur quels critères (variables) on va adapter ?'. Puis nous allons analyser et étudier le modèle de référence DEXTER tout en discutant et proposant notre modèle d'adaptation qui est l'un des trois éléments fondamentaux et pertinents dans tout système hypermédia adaptatif.

Chapitre II : L'hypermédia adaptatif " modèle d'adaptation "

2.1 Introduction

Contrairement au chapitre précédent, ce chapitre ainsi que les suivants seront uniquement discutés dans le cadre des systèmes éducatifs et auront un thème plutôt technique et conceptuel que littéraire. En effet, d'une vision technique nous pouvons diviser la définition des systèmes hypermédias adaptatif en deux concepts :

Le premier c'est l'hypermédia, ce dernier offre aux utilisateurs l'impression qu'il y a plusieurs manières significatives de parcourir et naviguer dans un grand corps de nœuds d'informations moyennant des liens. Cependant, cette richesse en terme de navigation et d'adaptation peut causer des problèmes d'orientation et de compréhension pour les apprenants dans le sens où ils peuvent suivre des chemins à travers les informations dont les tuteurs n'ont pas prévu.

Le deuxième concept est l'adaptation « d'où le mot adaptatif », ce concept est là pour remédier aux problèmes d'orientation des apprenants en offrant des conseils et des guides dans la construction et l'utilisation des liens riches.

En regroupant ces deux concepts, on peut définir un système hypermédia adaptatif comme un ensemble de nœuds et de liens qui permettent de naviguer dans la structure d'hypermédia et qui "adapte" (personnalise) de façon dynamique les divers aspects visibles du système [81].

Comme mentionné dans le chapitre précédent, De nombreux systèmes hypermédia ont été développés au cours des trente dernières années. En 1988 et 1990, un certain nombre de chercheurs et de développeurs se sont réunis pour définir un modèle de référence commun pour les systèmes hypermédia modernes nommé « modèle Dexter ». Ce modèle a une architecture très puissante et couvre un nombre important de domaine d'application.

La popularité de ce modèle de référence a été bien introduit dans le chapitre précédent et prouvé par l'appel à de nombreux systèmes hypermédias adaptatives existants qui sont basé sur ce modèle.

Le modèle de référence DEXTER ne sera pas exclusivement le sujet principal de ce chapitre, une étude des méthodes et techniques des systèmes hypermédias adaptatives va se joindre. Cette étude va consister principalement à répondre aux deux questions suivantes :

- S'adapter à quoi ? ADAPTING TO WHAT ? :
Quels sont les éléments et caractéristiques qui sont pris en compte dans les décisions d'adaptation par les systèmes hypermédias adaptatifs.
- Que peut on adapter? WHAT CAN BE ADAPTED? :
Cette question concerne les types et techniques d'adaptation.

2.2 Méthodes et techniques d'adaptation

2.2.1 S'adapter à quoi ?

En règle générale, la plupart des hypermédias adaptatifs utilisent les informations et caractéristiques de leurs apprenants dans la prise des décisions d'adaptation.

Cependant, ils existent en littérature deux autres éléments qui peuvent être pris en compte dans l'adaptation, à savoir : les données d'utilisation et les données d'environnement.

Ces deux éléments ont été cités dans les travaux du Kobsa [82] qui a suggéré de distinguer entre trois adaptations, qui sont : l'adaptation basée sur le données des apprenants (concerne les diverses informations sur les caractéristiques et préférences des apprenants), les données d'utilisation (comprennent des informations sur les interactions de des apprenants avec les systèmes) et des données d'environnement (comprennent tous les aspects de l'environnement de l'apprenant).

De notre point de vue et suivant nos réflexions nous avons remarqué que les deux catégories citées par Kobsa ne peuvent pas être dissocié dans le sens ou chacune d'eux influence sur l'autre. Les interactions de l'apprenant avec le système sont influencées par son environnement.

Dans ce qui suit, nous allons discuter brièvement ces deux catégories.

- **Les données des apprenants**

Cette catégorie concerne les informations des apprenants utiles pour la prise de décisions d'adaptation. En littérature, nous avons distingué plusieurs types d'informations à savoir : objectifs, connaissance, historique, préférences etc.

Ces informations sont généralement utilisées par la plupart des systèmes hypermédias adaptatifs et sont modélisés dans un modèle nommé « modèle d'apprenant » qui fera l'objet principal de tout un chapitre.

- **Les données d'utilisation et environnement**

Étant donné que les apprenants peuvent résider pratiquement partout et utiliser différents équipements pour accéder au cours, une adaptation basée sur l'environnement des apprenants et les interactions avec le système est devenue un problème important qui a donné naissance à plusieurs travaux de recherche [83]. En effet, De nos jours de nombreux systèmes hypermédia adaptatifs ont suggéré des techniques d'adaptation basées sur l'emplacement de l'utilisateur et sur la plateforme utilisée. Un simple exemple du type d'adaptation basé sur le type de plateforme (matériel, logiciel, bande passante réseau) va à impliquer la nécessité d'une sélection adéquate du type de matériel et de support (image fixe ou film) pour présenter le contenu [84]. Un autre exemple d'adaptation plus avancé de cette catégorie va fournir une interface très différente aux apprenants sur différentes plateformes.

Sinon concernant L'adaptation basée sur l'emplacement de l'apprenant, de nombreux systèmes d'information en ligne ont l'utilisée avec succès. Nous citons les travaux du SWAN Garlatti [85] qui a démontré une utilisation réussie de la localisation de l'utilisateur pour la filtration de l'information dans un système d'information marine.

2.2.2 Que peut-on adapter ?

Bien que 'adapter le contenu d'apprentissage' semble la réponse la plus logique, cela reste assez vague et général que nous avons posé une nouvelle question : « c'est quoi les éléments du contenu d'apprentissage qu'un système hypermédia adaptatifs peut adapter ? »

En littérature nous avons remarqué que plusieurs travaux [86] considèrent que l'espace d'adaptation est limité et réduit. À un certain niveau de généralisation l'hypermédia est constitué d'un ensemble de nœuds ou pages reliés par des liens. Chaque nœud/page contient des informations locales et un certain nombre de liens vers des pages connexes. Mais en réalité juste avec ça il y a énormément d'adaptation possible.

En effet, la plupart des travaux ont distingué trois types d'adaptation, à savoir : adaptation du contenu, des liens et de la présentation.

- **Adaptation du contenu :**

Ce type d'adaptation consiste à adapter le contenu d'une page aux préférences et besoins de chaque apprenant. Il existe plusieurs exemples d'implémentations de ce type d'adaptation que nous avons regroupé en trois techniques :

La première consiste à masquer à l'apprenant les informations qui ne sont pas pertinentes pour ses connaissances ou ses intérêts. Le principal inconvénient de la dissimulation ou de la modification d'informations dans le contenu de la page est que les utilisateurs sont privés d'informations qui pourraient être utiles, car les algorithmes d'adaptation ne permettent pas de déterminer parfaitement les besoins exacts des utilisateurs [86].

La deuxième technique consiste à fournir aux apprenants qualifiés des informations plus détaillées et approfondies, tandis qu'un débutant peut recevoir des explications supplémentaires.

La troisième technique concerne le contenu lui même qui est supposé être sous différent format de présentation, par exemple le même concept d'apprentissage peut être affiché sous format d'un texte, image (schéma) ou vidéo.

- **Adaptation des liens**

Ce type d'adaptation a pour objectif de guider l'apprenant vers des informations pertinentes et intéressantes, et le garder à l'écart des informations non pertinentes.

Cela est réalisé par la modification ou l'annotation de la structure des liens riches tout en maintenant une grande liberté de navigation qui est la propriété typique des systèmes hypermédia [87].

En littérature, nous avons distingué trois techniques pour ce type d'adaptation :

- Orientation au niveau global ou local.
- Soutien à l'orientation globale ou locale.
- Gestion des vues personnalisées (sur la structure de liens).

D'une manière très basique, L'orientation peut être décrite par l'indication et la sélection des liens préférés par rapport aux autres. Tandis que le soutien à l'orientation dépend du contexte dans le sens où elle nécessite une carte de la structure du lien autour du nœud « actuel » visité par l'apprenant.

Des exemples concrets de ces techniques d'adaptation des liens ont été cités dans les travaux du Paul de Bra [87] et qui sont :

- Guidage direct (par exemple, un bouton « suivant »).
- Tri des liens (comme dans les moteurs de recherche).
- Masquage de lien (masque les liens non pertinents, mais conserve le texte d'ancrage).
- Annotation de lien (par exemple, utiliser des couleurs pour indiquer la pertinence).
- Désactivation des liens (empêche les liens non pertinents de fonctionner).
- Suppression du lien (supprimer les ancres de lien non pertinentes).
- Adaptation de la carte (donner un aperçu personnalisé)

- **Adaptation de la présentation**

L'adaptation de la présentation a été souvent confondu et regroupé avec l'adaptation du contenu et parfois même négligée ou non supporté par de nombreux systèmes hypermédiés

adaptatifs. En effet et comme mentionné précédemment, l'adaptation de contenu concerne le contenu atomique d'apprentissage (texte explicatif, vidéo, schéma etc.) tandis que l'adaptation de la présentation traite l'aspect visuel de la page et de ses contenus dans le sens où le même contenu atomique d'apprentissage peut être affiché et représenté dans différents styles. À savoir : la couleur et police du texte, le positionnement des paragraphes, etc. nous tenons à mentionner que ce type d'adaptation a une valeur très importante surtout dans le cadre de la variété des dispositifs (interface mobile) utilisés par les apprenants, d'où la nécessité d'adapter la taille de la page et ses contenus.

Finalement, une adaptation sur le choix du couleur peut être basé sur les préférences de l'apprenant ainsi des facteurs de son environnement (éclairage, période du jour, etc.)

Bien que ces trois types d'adaptation soient les plus souvent utilisés par les hypermédias adaptatifs, il existe un autre type d'adaptation nommé adaptation de construction ou structure. Contrairement aux autres types cités précédemment, Ce type d'adaptation cible la manière dont la page à livrer aux apprenants est construite, cela dit que la même page sera construite et structurée de différente manière selon les préférences et besoins de l'apprenant.

2.3 Modèle Dexter

2.3.1 Histoire

Afin d'avoir une base principale pour la comparaison des systèmes hypermédias ainsi que pour l'élaboration de normes d'échange et d'interopérabilité, Le modèle de référence DEXTER a été conçu. Ce modèle présentait une tentative de capturer les abstractions importantes trouvées dans un large éventail de systèmes hypertextes existants et futurs.

Le choix du nom « Dexter » n'était pas choisi au hasard, il faisait référence au nom du lieu des deux premiers ateliers en octobre 1988 au Dexter Inn dans le New Hampshire. Ces ateliers ont été assistés par les représentants de la plupart des principaux systèmes hypertextes existants pour discuter les abstractions communes entre leurs systèmes [83].

La recherche d'une terminologie commune pour le domaine de l'hypertexte était aussi l'objet de ces ateliers. Cependant, cette thématique s'est avérée être une tâche extrêmement difficile, surtout en l'absence d'une compréhension des abstractions communes (et différentes) entre les différents systèmes. Le terme « nœud » représente un exemple concret de cette difficulté et cela est dû à l'extrême variation d'utilisation de ce terme entre les différents systèmes.

De ce fait, et pour éviter toute confusion, le modèle Dexter conçu lors de ces ateliers n'utilise pas de termes controversés tels que "nœud" et se contente d'utiliser des termes neutres tels que "composant".

Afin de formuler le modèle Dexter, un langage de spécification est requis. En effet, le langage de spécification nommé 'Z' [88] qui est basé sur la théorie des ensembles typés a été choisi. Ce langage fournit une base rigoureuse pour définir les abstractions nécessaires et pour discuter leurs utilisations et interrelations. Bien que la compréhension du langage Z soit indispensable pour bien comprendre les détails du modèle Dexter, nous avons étudié en littérature l'ensemble des travaux qui fournissent une description narrative du modèle.

2.3.2 HyperText vs Hypermédia

Malgré que l'hypermédia représente le thème principal de cette thèse, le concept HyperText était le plus utilisé dans ce qui précède. Alors avant de poursuivre notre présentation sur le modèle Dexter, nous tenons à discuter et définir les deux termes «HyperText et Hypermédia ».

Le terme hypertexte est utilisé depuis 30 ans pour étendre les fonctionnalités de la forme traditionnelle du texte linéaire. Les progrès technologiques et l'évolution d'Internet ont toutefois permis aux programmeurs de développer des méthodes beaucoup plus sophistiquées pour lire des textes traditionnels tels que l'hypertexte. En principe, l'HyperText est caractérisé par l'intégration de l'information indexée en tant que références, ce qui permettrait au lecteur de passer d'un emplacement à un autre dans le même document ou dans un autre.

Sinon concernant l'hypermédia, ce dernier est une extension de l'hypertexte en supportant l'utilisation d'autre format que le texte. À savoir : des graphiques, des séquences audio ou vidéo, des graphiques fixes ou animés, etc. En principe, l'hypermédia étend les capacités des systèmes hypertextes en créant des liens cliquables au sein de pages Web pour créer un réseau d'informations non linéaires interconnectées auxquelles l'utilisateur peut accéder et avec lequel interagir pour une meilleure expérience multimédia [89].

Dans le tableau 7, nous montrons un résumé des différentes caractéristiques majeures des hypertextes et hypermédiass.

HyperText	Hypermédia
il fait référence au texte qui renvoie à d'autres morceaux de texte d'un même document ou d'un autre.	C'est une extension de l'hypertexte qui supporte l'utilisation d'autre format que le texte.
C'est un réseau de documents interconnectés et reliés entre eux par des hyperliens.	il s'agit d'une présentation non linéaire de contenu comprenant du texte brut, des images, du son, vidéo et des chartes graphiques.
il permet simplement à l'utilisateur de passer d'un document à un autre en cliquant sur les liens "Aller à".	il étend la capacité de l'hypertexte à inclure des liens dans toutes sortes d'objets multimédias.
la technologie hypertexte repose sur une interaction homme-machine efficace et sur des références croisées pertinentes d'éléments connexes.	la technologie hypermédia étend l'utilisation d'éléments multimédias pour créer des liens cliquables auxquels les lecteurs peuvent accéder et interagir.
il représente un contenu multimédia au format texte électronique.	il combine hypertexte et multimédia pour représenter une contenu riche d'informations.

Tableau 7 : caractéristiques majeures des HyperTexts et Hypermédias

Cette évolution du HyperText vers hypermédia est bien claire dans l’histoire des modèles de références pour les hypermédias. En effet, le modèle Dexter était conçu spécialement pour représenter un modèle de référence ‘hypertexte’ qui au cours des années a été utilisé comme base pour de nouvelles modèles de références dédiés spécialement aux hypermédias. De ce fait, nous nous permettrons dans tout ce qui suit d’utiliser le terme hypermédia au lieu du HyperText.

2.3.3 Vue d’ensemble

Comme montré dans la figure 3, l’architecture proposée par le modèle Dexter se divise principalement en trois couches : la couche d’exécution « Runtime layer », la couche de stockage « Storage layer » et la couche à l’intérieur d’un composant « Within-component layer ».

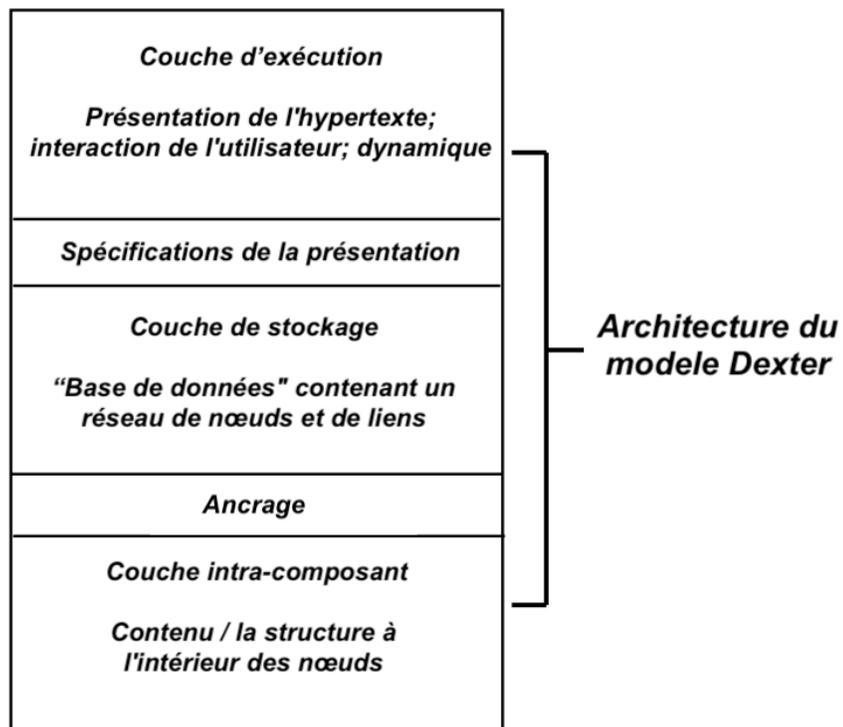


Figure 3 : Les Couches du modèle Dexter

Bien que toutes les couches du modèle Dexter soient importantes, le modèle repose principalement sur la couche de stockage. Cette couche modélise la structure de base du réseau de nœuds / liens qui constitue l'essence de l'hypermédia dans une "base de données" composée d'une hiérarchie de "composants" contenant des données, qui sont interconnectés par des "liens" relationnels. Ces composants contiennent des fragments de texte, graphiques, images, animations, etc. constituant le contenu de base du réseau hypermédia. En revanche, la couche intra-composant du modèle Dexter est réservée aux spécifications du contenu et de sa structure au sein des composants du réseau hypermédia. Cependant, cette couche n'est délibérément pas élaborée dans le modèle Dexter dans le sens où les types de contenu et leurs structures possibles sont laissés ouverts. Comme nous le savons tous, il y'a toujours de nouveaux types de données, ainsi que la description de leurs structures est toujours en évolution. De ce fait, l'élaboration d'un modèle générique couvrant tous les types de données est jugée comme une folie. En effet, le modèle Dexter traite la structure intra-composant comme étant une couche en dehors du modèle hypermédia en soi et la délègue aux d'autres modèles de référence conçus spécifiquement pour modéliser la structure d'applications, de documents ou de types de données particuliers (ODA - Open Document Architecture [90], IGES - Initial Graphics Exchange Specification, etc.). Ces modèles de références seront utilisés conjointement avec le modèle Dexter pour capturer l'intégralité de l'hypermédia, y compris le contenu et la structure avec composants. Dans ce sens, nous citons les travaux du Marcel Worring qui représente un exemple réel de la coopération et la fusion entre le modèle de référence Dexter et le ODA 'Open Document Architecture' [91].

Nous tenons à mentionner qu'une telle coopération et délégation ne pourrait être faite que si un mécanisme d'adressage et de liaison est établi entre les couches. En effet, le modèle Dexter dispose d'un mécanisme connu sous le nom d'ancrage. Ce mécanisme est jugé nécessaire pour prendre en charge des liens de bout en bout. Ces liens sont possibles non seulement entre les documents, mais également entre les plages de caractères d'un document et les plages de caractères d'un autre document. De ce fait, Les ancres sont un

mécanisme qui fournit cette fonctionnalité tout en maintenant une séparation entre la couche de stockage et les couches intra-composant.

En utilisant juste ces deux couches, nous pouvons considérer l'hypermédia comme une structure de données essentiellement passive. Cependant et avec l'intermédiaire de la couche d'exécution, les systèmes hypermédiés ne se contentent pas juste de cela et ils fournissent à l'apprenant des outils d'accès, de visualisation et de manipulation de la structure de réseau. Ces outils sont nombreux et ont un éventail assez large et diversifié qui ne cesse de s'accroître, chose qui a poussé les concepteurs du modèle Dexter à réagir de manière similaire à la couche intra-composant en fournissant uniquement un modèle simpliste de présentation qui capture l'essentiel des interactions des apprenants avec les systèmes hypermédiés, et en déléguant les détails de ces interactions aux autres systèmes externes.

Finalement, le modèle Dexter dispose d'une interface située entre la couche de stockage et la couche d'exécution. Cette interface nommée « spécifications de présentation » indique la manière dont un composant / nœud doit être présenté à l'apprenant. Ainsi, nous tenons à indiquer que la manière de la présentation d'un composant dépend de plusieurs facteurs à savoir : l'outil hypertexte spécifique effectuant la présentation, les propriétés de la présentation du composant et des propriétés du composant lui-même (type, taille, etc.)

2.3.4 AHAM et MUNICH

Comme présenté précédemment, Le modèle Dexter offre une architecture très abstraite pour les hypermédiés. Cette architecture a été étendue par de nouvelles modèles de références qui ont d'une part projeter ce modèle sur le contexte d'apprentissage adaptative, et d'autre part élargir et exprimer plus en détails ses couches.

AHAM et MUNICH sont les plus fameux modèles de référence pour les hypermédiés adaptatifs qui ont étendu le modèle Dexter en conservant sa structure en trois couches et en étendant les fonctionnalités de chaque couche pour inclure les aspects de modélisation de l'apprenant et d'adaptation

La couche de stockage représente la couche la plus concernée et plus développée par ces modèles de références. En effet, MUNICH et AHAM ont étendu les fonctionnalités de la couche de stockage du modèle DEXTER, d'une simple couche de stockage d'informations de la structure d'hypermédia vers une couche contenant toutes les informations sur les apprenants, la structure d'hypermédia et les règles d'adaptation.

Bien que ces deux modèles semblent différents, ils sont très similaires dans la décomposition de la couche de stockage du DEXTER en trois modèles indépendants mais interconnectés entre eux. À savoir :

1. Modèle d'apprenant : décrit les caractéristiques de l'apprenant telles que : ses compétences, connaissances, styles d'apprentissage, etc. [92]
2. Modèle d'adaptation ou d'enseignement : décrit l'ensemble des règles de construction et de présentation responsables de la construction du contenu à fournir à l'apprenant.
3. Modèle de domaine : décrit la structure et les contenus de l'information à livrer à l'apprenant [93].

La similarité entre l'architecture proposée par AHAM et MUNICH est bien claire dans la Figure 4. Cependant, les implémentations et descriptifs concernant les trois modèles (Apprenant, Domaine et Adaptation) sont bien différents. Principalement au niveau de l'approche de modélisation utilisée pour les concevoir et les modéliser, dans le sens où MUNICH est basé sur une architecture orienté objet en utilisant le langage UML [94], tant que AHAM est fondé sur une vision relationnelle en utilisant la méthode d'analyse Merise [95].

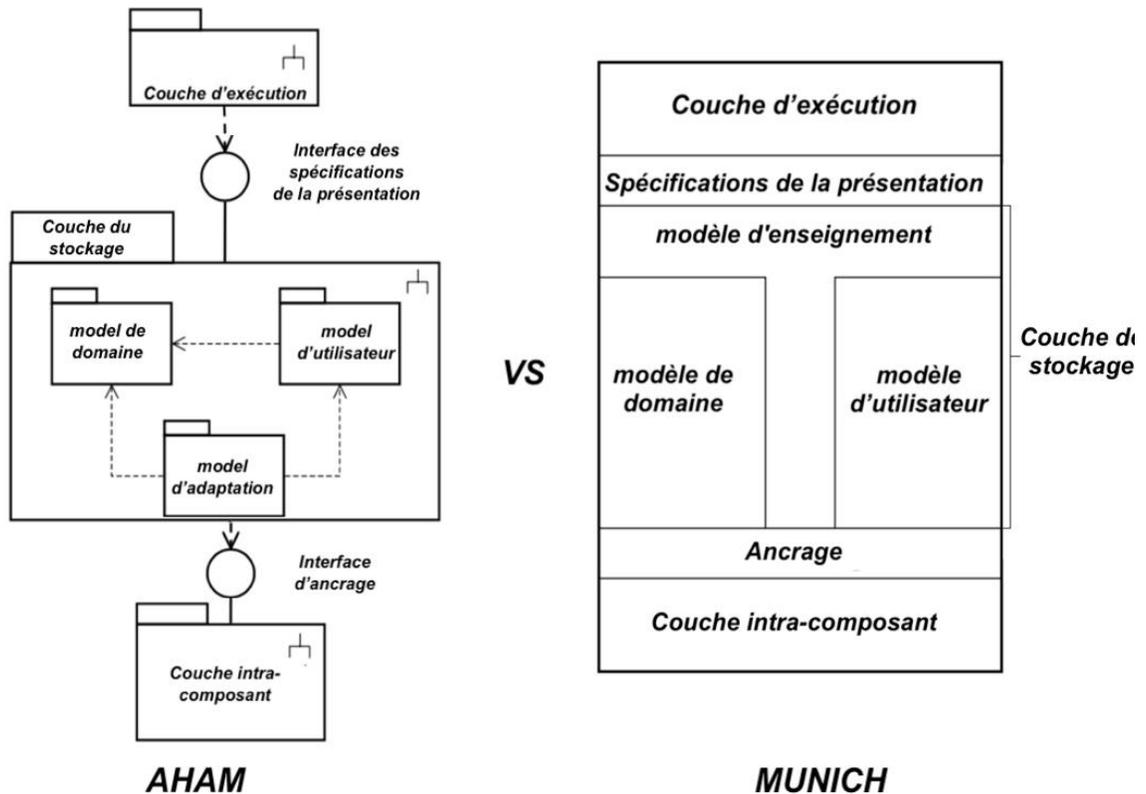


Figure 4 : Similarité entre Les Couches du modèle AHAH et MUNICH [78]

2.4 Modèle d'adaptation

Ce modèle marque le début de nos contributions scientifiques au domaine des hypermédias adaptatifs, ces contributions seront présentées suivant un plan commun contenant une étude des travaux connexes trouvés en littérature, puis une étude comparative et une analyse critique, et enfin une présentation de notre contribution.

2.4.1 Généralités

Le modèle d'adaptation représente les mécanismes responsables de la personnalisation et de l'adaptation du contenu d'apprentissage, des liens, de la représentation et de la structure des concepts et connaissances à livrer aux apprenants.

En effet, l'adaptation et la personnalisation peuvent être réalisées selon plusieurs aspects.

Qui sont :

- Adaptation des liens : permet soit de restreindre les possibilités de navigation dans l'hypermédia, soit de proposer à l'apprenant de nouveaux liens qui mènent à d'autres concepts.
- Adaptation du contenu : ce type d'adaptation concerne la sélection du contenu le plus approprié à l'apprenant.
- Adaptation de la structure : permet d'afficher la même page sous plusieurs structures et sous différentes formes.
- Adaptation de la présentation : ce type d'adaptation concerne l'affichage du même contenu de la page dans différents styles personnalisés (taille du texte, couleur, police, etc.) selon les préférences de l'apprenant.

Tous ces différents types d'adaptation dépendent à la fois du modèle de domaine et du modèle de l'apprenant et sont généralement décrits par un ensemble de règles. Ces règles décrivent comment les pages sont construites et représentées aux apprenants. En effet, de nombreux modèles de référence comme Munich et Alem ont proposé une conception du modèle d'adaptation basée sur le concept des règles (rules).

De manière similaire aux modèles apprenant et domaine que nous allons présenter par la suite, nous avons étudié les différentes propositions du modèle d'adaptation et nous avons noté que la plupart de ces propositions ne sont jamais implémentées et mises en œuvre (manque de mise en œuvre concrète). Cette absence de concrétisation et d'implémentation est due au fait que lors de la conception de ces modèles les contraintes techniques de programmation et d'implémentation n'ont pas été prises en considération.

Certaines propositions du modèle d'adaptation négligent même un certain type d'adaptation. Nous citons le travail de De Bra en 2008 [96] qui ne prend en compte que deux types d'adaptation : adaptation du contenu et adaptation des liens.

Dans la suite de ce sous chapitre, nous allons premièrement présenter nos études réalisées sur les modèles d'adaptation proposés par Munich et Alem tout en mettant le point sur leurs limites et faiblesses, puis nous allons discuter nos idées de conception et d'implémentation

pour notre modèle qui sera présenter par la suite, et Finalement nous testerons notre modèle d'adaptation implémenté dans une plateforme Web tout en présentant les différents algorithmes et technologies que nous avons utilisés.

2.4.2 Travaux connexes

Comme exprimé précédemment, les quarts différents types d'adaptation sont généralement décrits par un ensemble de règles. Ces règles décrivent comment les pages sont construites et représentées aux apprenants. Dans ce qui suit nous allons premièrement présenter les travaux du MUNICH et ALEM puis discuter nos différentes remarques et reproches qui les concernent.

2.4.2.1 MUNICH

Dans la Figure 5, nous présentons le diagramme de classes UML du méta-modèle d'adaptation proposé par Munich.

Les éléments principaux utilisés pour modéliser l'adaptation sont les classes 'Adaptation' et 'Rule'. La classe Adaptation comprend trois méthodes principales : un résolveur d'adaptation, un chercheur (finder) et un déclencheur (trigger). La première méthode consiste à résoudre la spécification d'un composant en un UID d'un composant approprié qui sera utilisé pour la construction d'une page adaptée. La seconde et la troisième méthode implémentent un mécanisme qui cherche (finder) toutes les règles qui doivent être déclenchées (trigger) par une règle donnée. La première règle à utiliser est déclenchée par le comportement de l'utilisateur. La méthode exécuteur (executor) de la classe 'Rule' permet au système de sélectionner les composants appropriés et d'adapter le contenu, la présentation et le lien, ainsi que de mettre à jour le modèle apprenant.

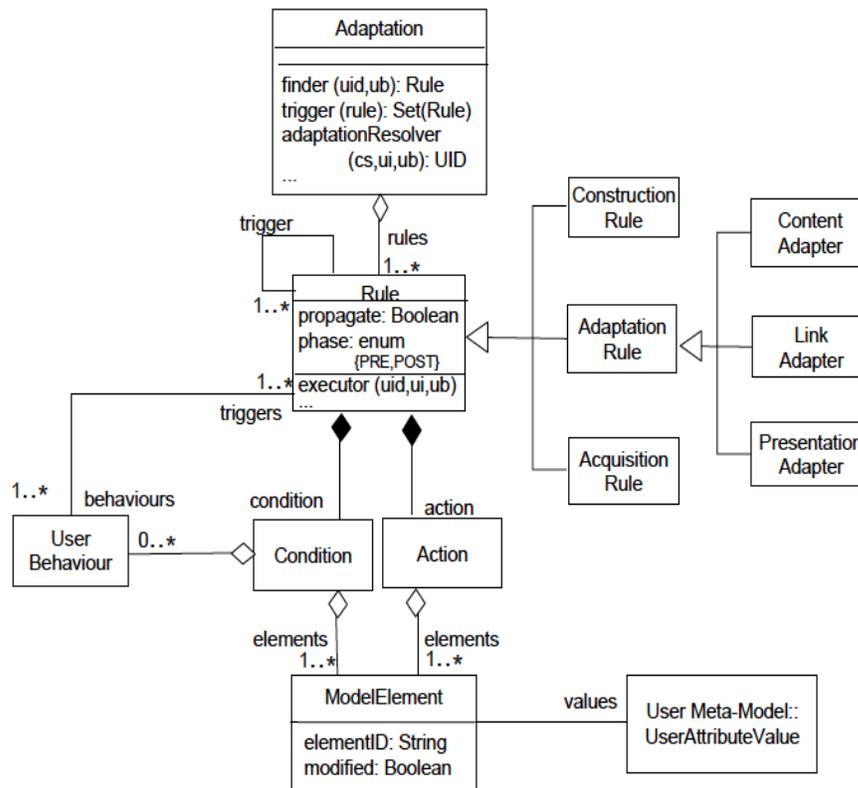


Figure 5 : Diagramme de classe du méta modèle d'adaptation proposé par MUNICH [78]

Chaque objet de classe 'Rule' a des attributs, des conditions et des actions associées à lui en utilisant une relation de composition. Ces attributs peuvent déterminer plusieurs informations à savoir : déterminer si les règles sont appliquées avant ou après la mise à jour du modèle apprenant.

Les conditions et les actions sont des expressions contenant des éléments de modèle et des opérateurs. La classe 'ModelElement' est défini par deux attributs : un identificateur d'élément (elementID) et une valeur booléenne (modified) indiquant si l'élément du modèle a été modifié dans l'action actuelle ou pas. Cependant, seulement certains types d'éléments du modèle apprenant peuvent être modifiés.

Finalement, Les règles 'Rules' sont classées selon leurs mode d'intervention en : règles de construction, règles d'acquisition et règles d'adaptation. Cette répartition est exprimée moyennant le mécanisme d'héritage fournit par le diagramme de classe UML.

2.4.2.2 ALEM

ALEM propose un méta modèle d'adaptation exprimé moyennant le diagramme de classe UML. Dans la Figure 6 nous présentons ce méta modèle qui généralement décrit les manières dont l'adaptation est faite ainsi que les traitements concernant le modèle apprenant sont effectués. D'une manière similaire à MUNICH, la classe 'Règle – Rule' représente l'élément le plus pertinent de cette proposition car c'est elle qui détermine comment les pages sont construites et comment elles sont présentées à l'apprenant. Une règle est déclenchée soit par une autre règle soit par un comportement de l'apprenant.

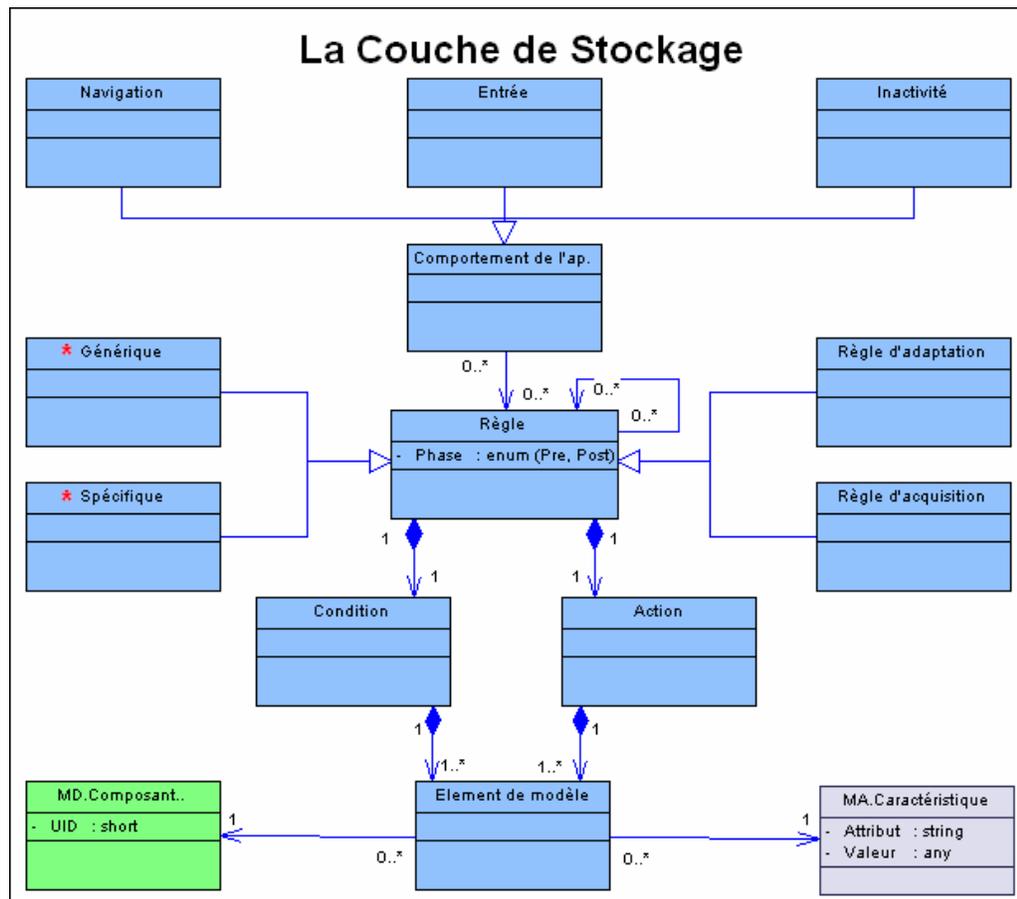


Figure 6 : Diagramme de classe du méta modèle d'adaptation proposé par Alem [79]

Un objet de la classe ‘Règle’ est associé à deux éléments qui sont : une condition et une action. Comme son nom l’indique une condition fait référence à l’ensemble des conditions nécessaire pour l’application d’une règle, tandis que l’action représente les traitements qui doivent être réalisés si la règle en question a été déclenchée. Ces traitements sont généralement une mise à jour du modèle d’apprenant, une adaptation du contenu ou de la présentation. Une règle peut être appliqué soit avant soit après la génération du contenu d’apprentissage, cela est indiqué moyennant l’attribut ‘phase’ de la classe ‘Règle’. De plus, moyennant le mécanisme d’héritage chaque objet de la classe ‘Règle’ peut faire référence à plusieurs types de règles à savoir : règle d’adaptation, règle d’acquisition, règle générique et règle spécifique.

- Règle d’adaptation : fait référence aux traitements d’adaptation du contenu, des liens et de la présentation de l’application.
- Règle d’acquisition : ce type de règle concerne les traitements de mis à jour du modèle apprenant.
- Règle générique : fait référence aux règles d’adaptations prédéfinies par le concepteur de l’hypermédia adaptatif.
- Règle spécifique : ce type de règle concerne les nouvelles règles créés par les tuteurs et les auteurs du contenu d’apprentissage.

Finalement, les comportements de l’apprenant sont aussi introduits dans le méta modèle d’adaptation et sont classifiés en trois classes : Navigation, Entrée et Inactivité.

2.4.2.3 Remarques et Reproches

Dans les deux modèles d’adaptation propose par MUNICH et ALEM, nous avons trouvé plusieurs remarques et reproches qui rendent les modèles proposés incomplets ou vraiment difficiles à mettre en œuvre. En effet, Bien qu’il existe 4 types d’adaptation qui ont des caractéristiques et niveaux d’intervention différents, les deux modèles (Munich et ALEM) ont juste se contenté d’inclure formellement ces 4 types d’adaptation dans le même niveau

conceptuel et de la même manière sans indiquer comment implémenter et envisager une adaptation. Dans les Figure 5 et 6, nous remarquons clairement que les quatre types d'adaptation sont juste exprimés par des classes héritant de la classe 'Rule – Règle'. De plus nous n'avons vraiment pas compris le système d'héritage proposé par Alem. En effet, ALEM suppose que chaque objet de la classe 'Règle' peut faire référence à plusieurs types de règles à savoir : règle d'adaptation, règle d'acquisition, règle générique et règle spécifique. Moyennant la conception présentée dans la Figure 6, on ne peut pas avoir une règle qui combine deux types à la fois. Exemple : une règle d'adaptation ne peut pas être aussi une règle générique.

Nous avons également remarqué que les deux modèles combinent les types d'adaptation et les techniques d'adaptation dans le même model, or le modèle d'adaptation est supposé juste contenir les informations sur l'adaptation et non comment la réalisé.

Le contexte d'adaptation n'est pas entièrement pris en charge exclusivement par le modèle d'adaptation. En effet, les deux travaux (Munich et ALEM) considèrent que le modèle de domaine doit décrire non seulement la structure des concepts (connaissances, cours, etc.), mais également la structure des pages, les composants et les styles de présentation.

Finalement, ALEM s'est distingué de MUNICH dans le fait qu'il intégré la possibilité de définir de nouvelles règles d'adaptation (règles spécifiques) que nous avons nommées « mode ouvert ». Nous avons défini que le modèle d'adaptation est en « mode ouvert » lorsqu'il prend en charge la création de nouvelles règles non définies à l'avance par les concepteurs de l'hypermédia adaptatif. Ce mode permet au modèle d'adaptation d'évoluer et de répondre aux besoins de tout type d'apprenant. De nos jours, il est devenu essentiel que les systèmes soient conçus en mode ouvert et en particulier les modèles d'adaptation afin de suivre l'évolution et la diversité des préférences des apprenants.

2.4.3 Notre proposition

2.4.3.1 Réflexions et idées de conception

Au début de notre réflexion, nous avons rencontré des difficultés pour concevoir un modèle d'adaptation qui répond à toutes les remarques discutées précédentes car notre façon de penser était globale et très abstraite. En effet, lorsque nous parlons d'adaptation, nous devons tout d'abord répondre à la question suivante : qu'est-ce qu'on va adapter ?

Dans les systèmes hypermédia adaptatifs, les différents modèles qui le composent collaborent pour générer du contenu sous la forme d'une page structurée et bien présentée, avec un contenu adéquat répondant aux besoins de l'apprenant.

Le modèle d'adaptation à concevoir doit donc avoir la capacité de supporter les quatre types d'adaptation tout en contenant toutes les informations nécessaires à leurs mises en œuvre.

Contrairement aux modèles d'adaptation existants, nous séparerons du modèle de domaine toute information concernant la structure de page et les présentations des composants. De ce fait, nous aurons un modèle de domaine abstrait qui se contente juste de décrire les structures des cours, des connaissances, des concepts, etc. tandis que le modèle d'adaptation va s'occuper de tout ce qui est structure et présentation de la page à délivrer aux apprenants. Cette séparation sera d'une grande utilité lors de l'importation des cours (SCORM par exemple) depuis une autre plateforme où le modèle de domaine va contenir les concepts et connaissances tandis que le modèle d'adaptation va englober tout ce qui est structure et présentation du contenu.

Dans la suite de cette section, nous détaillerons chaque type d'adaptation, tout en expliquant nos différentes idées de conception que nous avons implémentée pour remédier aux remarques et reproches discutées précédemment.

- Commencant par l'adaptation de la structure, ce type d'adaptation spécifie comment les nœuds (composants) constituant la page sont connectés et ordonnés. Ces éléments (composants) forment un arbre avec une profondeur indéterminée où chaque composant peut avoir plusieurs autres composants qui lui sont connectés, appelé « enfants », et ne peut

avoir qu'un seul parent. Ce type d'arbre peut être modélisé par une relation réflexive ou par l'utilisation du patron de conception 'composite' [97] qui sera détaillé ultérieurement. De plus, les éléments enfants doivent être ordonnés. Prenons un exemple d'une page, nous avons une section qui contient un titre et un paragraphe où l'élément parent représente la section et ses enfants représentent le titre et le paragraphe. Alors dans ce cas, si nous n'avons pas une information indiquant l'ordre de ces composants (titre et paragraphe), le système peut générer une section incohérente qui commence par le paragraphe puis le titre. De ce fait l'intégration d'une propriété indiquant l'ordre est obligatoire. Un autre concept à prendre en compte est que le modèle d'adaptation doit conserver à la fois la structure et l'ordre originale des éléments de la page conçue par les tuteurs ainsi que les structures personnalisées et adaptées pour les apprenants.

- En ce qui concerne l'adaptation de la présentation, nous supposons que chaque composant a son propre style d'affichage exprimé par un ensemble de couplet propriété=valeur (exemple : couleurTexte = rouge). Cependant, il est nécessaire de différencier les styles de présentation par défaut fournis par les tuteurs des styles de présentation personnalisés propres à chaque apprenant.

- Concernant l'adaptation du contenu et des liens. Nous supposons que chaque composant peut être soit un lien, un titre, une image ou une vidéo, etc. Et peut avoir un contenu et un ensemble d'attributs. Prenons un exemple de lien dont le nom est "Introduction" et qui fait référence à la section "Introduction". Ce lien sera un composant de type lien dont le contenu sera "Introduction" et aura un attribut : "adresse" qui aura la valeur "section Introduction".

Enfin, comme nous l'avons mentionné précédemment, les valeurs de contenu et d'attribut seront fournies par le modèle de domaine, car c'est là que tout le contenu est structuré. Il suffit donc que le modèle d'adaptation prenne en charge le fait que chaque composant a un contenu et un ensemble d'attributs, puis développer un processus qui choisira le contenu approprié dans le modèle de domaine et l'attribuera au composant.

2.4.3.2 Notre modèle d'adaptation

Suivant les idées de conceptions discutées dans la section précédente, nous avons élaboré et publié [98] le modèle d'adaptation suivant en utilisant le diagramme de classes UML2 (Figure 7). Nous avons utilisé différentes couleurs pour distinguer les classes utilisées pour les processus d'adaptation et les interfaces utilisées en tant que fournisseurs de contenu à partir du modèle de l'apprenant et du modèle de domaine.

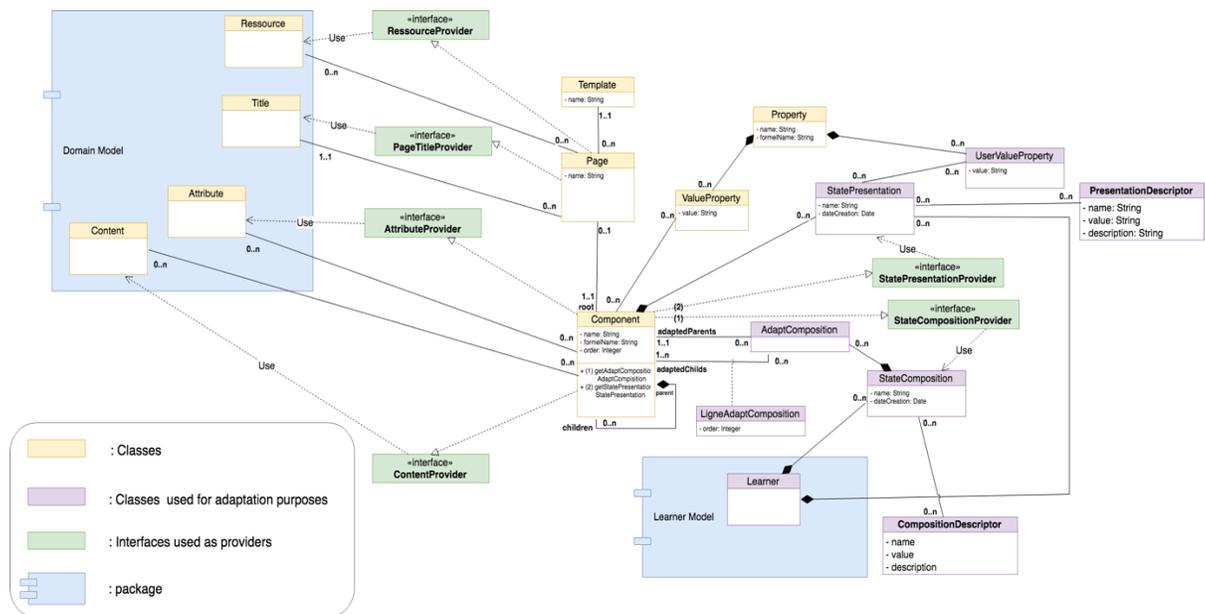


Figure 7 : Diagramme de classe du notre proposition du modèle d'adaptation[98]

Dans notre conception, nous avons pris en compte qu'il existe un ensemble de pages groupées dans des modèles qui seront définis selon les recommandations de la taxonomie de l'enseignement adaptatif pour chaque style d'apprentissage. Voici les combinaisons des quatre dimensions en fonction de la dimension d'apprentissage :

LSD = {Sensitif (S) / Intuitif (I), Visuel (Vi) / Verbal (Ve), Actif (A) / Réfléchi (R), Séquentiel (Seq) / Global (G)}

Sachant que le nombre de combinaisons de $16 = 2^4$, les tuteurs doivent donc concevoir les pages en fonction des recommandations de chaque dimension et choisir le support électronique approprié. Dans le tableau 8 nous présentons ces recommandations.

		Learning styles								
		Sensitive	Intuitive	Visual	Verbal	Active	Reflexive	Sequential	Global	
Electronic media	Audio	Audio Recording				X			X	
		Audioconference				X			X	
	Collaboration	Forums	X		X		X			X
		Online learning communities			X					X
		Weblog or blog	X				X			X
		Wikis	X		X		X			X
	Communication	Chat (Messenger)					X			X
		e-mail					X			X
	Diagrams	Animations	X		X					
		Graphics	X		X					
		Pictures	X		X					
		Simulations			X					
	Read	Digital magazines						X	X	
		Digital newspapers						X		
		eBooks			X			X	X	
		Hypertext (web pages)			X			X	X	
		Slideshows			X			X	X	
	Search	Internet research		X			X	X		X
	Tutoring	Course Legacy System		X						
		Student Response System						X		
		Tutorial systems		X				X		
		WebQuest		X				X		
	Video	Podcast				X				
		Recorded live events			X	X				
		Videoconference			X	X				
		Videos			X	X				
Web seminars (broadcasts)										

Tableau 8 : Taxonomie adaptative : relation entre dimensions de la LS et médias [99]

Prenons un exemple concret de l'une des combinaisons :

LSD = (S, Vi, A, S) : les pages à concevoir pour ce type d'apprenant doivent respecter les recommandations suivantes :

- Contenu pratique, résolution de problèmes, laboratoire et expériences : Sensitive.
- Jeux sérieux et simulation, présentation : Visuelle.
- Panel de discussion (travail en groupe), jeu de rôle : Active.

- Le contenu doit être présenté par étapes (chapitres) : séquentielle.

La description complète de ces recommandations de la taxonomie d'enseignement adaptatif du style d'apprentissage peut être trouvée dans les travaux d'Ana Lidia Franzoni et Saïd Assar [99].

Certaines d'autres recommandations peuvent être prises en compte, telles que les capacités cognitives de l'apprenant, son sexe, etc.

En résumé et comme le montre la figure 8, notre modèle d'adaptation prend en charge plusieurs 'Templates' dédiées à un type spécifique d'apprenants comprenant plusieurs pages. Chacune de ces pages sera responsable d'afficher un type précis de contenu. À savoir : cours, exercice, introduction, etc.

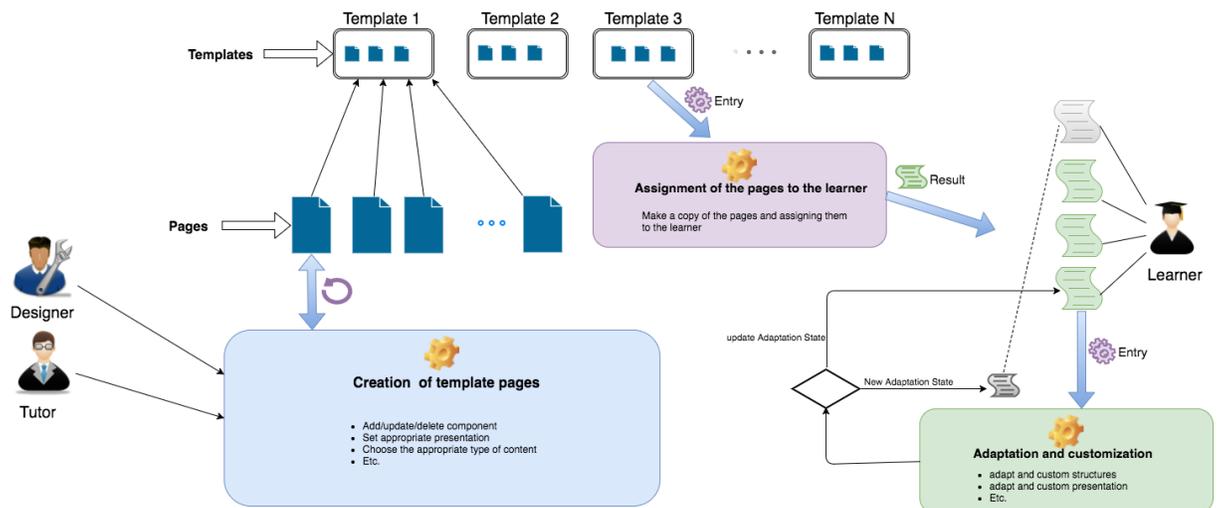


Figure 8 : Notre modèle d'adaptation en action [98]

Dans notre conception proposé (Figure 7), chaque page est connectée à un composant qui représente sa racine (premier élément parent de la page). À partir de cette racine, le système peut rechercher tous les autres composants pour construire le contenu d'apprentissage en moyennant le patron de conception composite exprimée par une relation réflexive.

Pour avoir à la fois une structure originale et personnalisée, nous avons implémenté dans notre conception deux versions du patron de conception composite :

- La version standard où nous représentons la structure originale des composants

- La version avancée pour les structures personnalisées.

En effet, lorsque l'apprenant décide pour la première fois de visualiser une page, une copie de la structure originale est créée et enregistré moyennant la version avancée de la composition. Cette copie sera identifiée par une instance de la classe "StateComposition".

Lorsque la structure de la page est modifiée (manuellement ou automatiquement) pour cet apprenant, le système met à jour l'une des structures copiées et non la structure originale.

Ainsi, un apprenant peut avoir la même page dans plusieurs structures personnalisées, dont l'une est choisie par le système lors de l'affichage. Ce processus est supporté dans notre modèle par le fait que chaque composant « Class Component » peut avoir plusieurs compositions adaptées et personnalisées « Class AdaptComposition » identifiée par un état de composition « Class StateComposition » associé à cet apprenant. Chaque état dispose de plusieurs descripteurs et détecteurs qui le décrivent. Ces descripteurs et détecteurs sont l'ensemble des informations collectées lors de la création ou de la modification de cette structure personnalisée, à savoir : état émotionnel de l'apprenant, période de la journée, etc.

Dans notre vision, nous considérons que ces états de composition représentent des règles et que tous les détecteurs et descripteurs représentent les conditions d'application de ces règles.

Sinon en cas de conflit, le système peut simplement choisir l'état le plus récent à l'aide de la propriété date de création.

Ces deux types de composites que nous avons conçus permettent à chaque apprenant d'avoir plusieurs structures de pages spécifiques à ses besoins, ainsi que chaque modification d'une des structures personnalisées n'aura pas d'influence ni sur la structure d'origine ni sur les autres structures personnalisées des autres apprenants. Nous tenons aussi à mentionner que le mode ouvert est implicitement pris en charge car il n'y a aucune limite ou contrainte dans la création de nouvelles structures personnalisées.

En résumé, lorsque l'apprenant veut visualiser une page, le système va générer sa structure en commençant par la racine en parcourant tous ses enfants fournis par la composition adaptée la plus appropriée. Et avant de poursuivre le parcours, un tri des composants enfants est réalisés à l'aide de la propriété 'order' définie dans la classe associative

'AdaptLineComposition'. Voici l'ensemble d'algorithmes que nous jugeons nécessaire pour l'utilisation de ces deux types de composition que nous avons conçus :

- Algorithme récursif conditionné.
- Insertion dans une liste triée.
- Attachez et détachez un composant de la structure.
- Algorithme de tri.

En ce qui concerne l'adaptation de la présentation, nous avons attribué à chaque composant un ensemble de couplet propriété=valeur présenté par les deux classes : "ValueProperty" et "Property".

Ces couplets représentent les styles par défaut créés lors du développement des pages par les tuteurs. Cependant, notre modèle proposé permet aux apprenants d'avoir des styles personnalisés. Cela est supporté par le fait que chaque composant a plusieurs états de présentation « Class StatePresentation » associés à un ensemble de couplets "valeur - propriété" spécifiques à un apprenant présenté par les deux classes : "UserValueProperty" et "Property".

D'une manière semblable à l'état de composition 'StateComposition' expliqué précédemment, chaque état de présentation comporte plusieurs descripteurs et détecteurs que lors de la génération de la page, le système choisira pour chaque composant l'état de présentation le plus adéquat.

Notre modèle prend en charge l'ajout de nouvelles valeurs de propriété soit par les tuteurs soit par les apprenants. Cet ajout sert à enrichir la base de données des styles. Prenons l'exemple d'un composant de type paragraphe. Ce composant a plusieurs couplets "propriété = valeur" qui décrivent son style d'affichage. Parmi ces couplets, nous avons par exemple le bleu comme couleur du texte « couleur du texte = bleu ». Le système permet à l'apprenant de personnaliser cette couleur soit en lui proposant un ensemble des valeurs de la couleur du texte déjà enregistrés dans notre modèle, soit en lui permettant d'introduire une nouvelle valeur qui sera ajoutée premièrement à notre modèle à l'aide de la classe 'UserValueProperty' et ensuite attribuée à l'état de la présentation en question.

Cette nouvelle valeur fera désormais partie des propositions futures de la couleur du texte.

En résumé, l'apprenant peut avoir plusieurs états d'affichage de composants qui peuvent être personnalisés indépendamment en sélectionnant l'une des valeurs existantes des propriétés d'affichage ou en en ajoutant une nouvelle. Nous mentionnons également que dans notre modèle, nous n'imposons aucune restriction concernant les types de propriétés dans le sens où certaines propriétés peuvent influencer sur la structure de la page. En effet, nous mentionnons ici la propriété Flexbox qui est un module de présentation de boîte qui permet et facilite la conception d'une structure de présentation souple et réactive [100].

En ce qui concerne le contenu, nous avons attribué à chaque composant une propriété 'name' qui représente son type, ses attributs et son contenu. Prenons un exemple d'image. Ce composant aura name = 'image', attribut source = 'chemin de l'image' pour la valeur et contenu = vide.

Cependant, nous avons pensé à implémenter un mécanisme qui va cacher la complexité de notre modèle pour qu'il sera facile à utiliser par les apprenants. Par exemple, dans un environnement web si nous voulons qu'un composant représente un lien, nous devons affecter "a" comme valeur pour la propriété name. Malheureusement, pas tous les apprenants comprennent que "a" signifie un lien. De ce fait, nous avons donc ajouté une propriété nommée : [formelName] à la classe 'Composant' qui représentera un nom significatif et compréhensible pour les apprenants et cachera aux apprenants la complexité et l'environnement du développement. Le même concept est repris pour les noms des propriétés d'affichage 'Property' qui n'ont pas souvent un nom compris par les apprenants.

Enfin, nous voudrions mentionner que le contenu est dissocié des composants, dans le sens où lors de la génération de la page, le système choisit la structure et la présentation appropriée à l'apprenant puis à l'aide d'un ensemble de fournisseurs exprimé par des interfaces, le système sélectionnera le contenu le plus approprié à partir du modèle de domaine et l'assignera aux composants tout en respectant la forme de la page générée.

2.4.3.3 Implémentation et testes

Pour tester et implémenter notre modèle proposé, nous avons choisi de l'élaborer dans une application Web Java EE. Nous avons également choisi de prendre en charge dans la

couche de présentation un client léger qui ne nécessite qu'un navigateur présent sur toutes les machines, ce qui simplifiera le travail en éliminant le besoin de diffuser et d'installer le logiciel client sur les machines des apprenants [101].

Dans la Figure 9, nous montrons l'architecture de notre système composé de trois côtés :

Côté client : représenté par le navigateur Web et considéré comme une fenêtre d'interaction entre l'apprenant et notre système.

Côté serveur : il s'agit de la partie principale et centrale de notre système. Il est divisé en trois couches (Présentation, métier et persistance). Chacune de ces couches est chargée de fournir des services spécifiques.

Serveur de base de données : toutes les transactions effectuées sur nos modèles par le système sont conservées et stockées dans cette couche.

Alors pour mieux comprendre le fonctionnement de notre système, nous illustrons dans la Figure 9 deux scénarios : Le premier scénario présente ce qui se passe en arrière-plan lorsque l'apprenant décide de visualiser un contenu d'apprentissage. Tandis que le deuxième scénario concerne l'ajout d'une nouvelle règle d'adaptation lorsque l'apprenant la déclenche. Nous avons également utilisé différentes couleurs et numérotation pour chaque étape du scénario. Chaque étape est expliquée dans la légende de la figure 9 pour en faciliter la lecture et la compréhension.

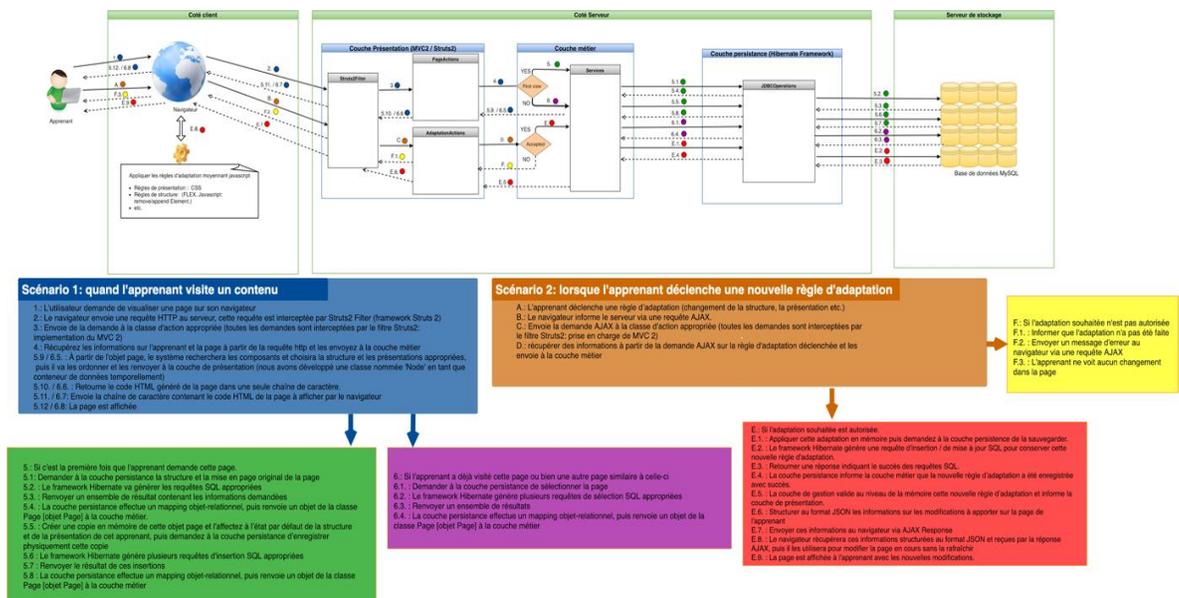


Figure 9 : Architecture de notre plateforme implémentant notre modèle d'adaptation [98]

Enfin, en collaboration avec notre modèle d'adaptation proposé, nous avons développé un ensemble d'outils présenté dans les Figures 10 et 11 ainsi que d'autres processus nécessaires à l'utilisation de notre modèle. Tout cela a été ensuite testé et concrétisé en prenant un exemple d'un cours du langage de programmation C ++. En effet, la structure et la présentation de ce cours ont été construites moyennant ces outils puis nous avons ensuite assigné ce cours à des étudiants tout en adaptant la disposition, la structure et la présentation des éléments. Dans ce qui suit nous présentons des descriptifs concernant les outils que nous avons développés.

- **Outils pour créer des pages de modèle :**

Puisque la page doit être construite en respectant la structure exprimée dans notre conception du modèle d'adaptation, les tuteurs doivent disposer d'un outil de création prenant en charge toute la complexité.

Dans la figure 10, nous présentons un outil Web que nous avons développé pour permettre la création de pages en temps réel. Voici une courte liste des fonctionnalités prises en charge par notre outil :

- Ajouter, mettre à jour ou supprimer un composant.
- Faites glisser et déposez le composant.
- Ajouter, supprimer et mettre à jour une propriété de présentation du composant.
- Ajouter, supprimer et mettre à jour une valeur d'attribut de composant.
- Ajouter [FormelName] au composant.
- Aperçu de la page dans une nouvelle fenêtre

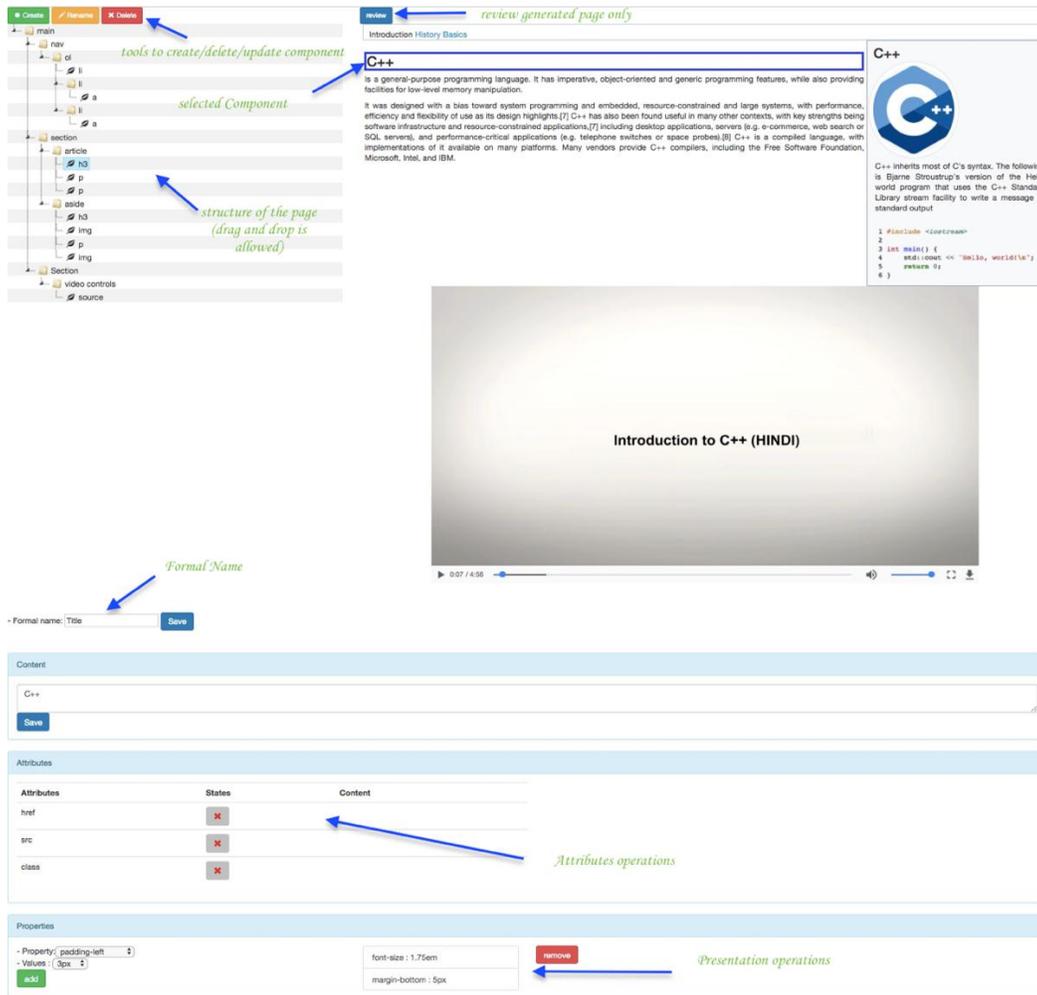


Figure 10 : Capture d'écran de l'outil de création des pages[98]

- **Assignment (affectation) de la page à l'apprenant :**

Après avoir créé des pages regroupées dans des templates où chacune est dédié à un type d'apprenant, une affectation du template à un apprenant est faite en copiant les pages et les attribuer aux apprenants (ce concept a déjà été expliqué précédemment).

- **Adaptation et personnalisation :**

Dans la figure 11, le système génère la page et l'affiche à l'apprenant tout en offrant la possibilité de changer la structure et la présentation. Nous remarquons que l'ordre des

composants de la page et la couleur du titre ont changé pour cet apprenant. En effet, ces nouvelles modifications (la vidéo est en haut de la page) ne s'appliquent qu'à cet apprenant et non pas aux autres.

The screenshot shows a web page titled "Introduction History Basics" with a video player in the center. The video player has a title "Introduction to C++ (HINDI)". To the left is a navigation menu with a tree structure. A blue arrow points to the "Title" item in the menu, with the annotation "Structure of the page shown with formal Names". Below the video player, a blue box highlights the "C++" section header, with a blue arrow pointing to it and the annotation "Selected component". Below the "C++" header is a text block describing the language. A red arrow points to a "remove" button in the "Properties" panel at the bottom, with the annotation "Personalized presentation operations". The "Properties" panel shows settings for font-size (1.75em), margin-bottom (5px), and color (blue). On the right side, there is a C++ logo and a code snippet for a "Hello, world!" program.

Figure 11 : Capture d'écran d'une page personnalisée et adaptée d'un apprenant[98]

Finalement, voici l'ensemble des technologies et d'algorithmes que nous avons utilisés :

- HTML5, CSS3, JavaScript / jQuery, AJAX et JSON
- Technologies JAVA
- Patron de conception : JEE, composite, pont
- Outils : Jstree.js, Bootstrap
- Framework : Hibernate, Struts2
- Algorithmes : tri, algorithme récursif, Insertion dans une liste triée, etc.

2.5 Conclusion

Durant ce chapitre nous avons présentés premièrement les méthodes et techniques d'adaptation, puis on s'est intéressé au modèle DEXTER qui est notre référence et enfin nous avons commencé à présenter nos contributions scientifiques par la proposition de notre nouvelle modèle d'adaptation.

Le modèle d'adaptation que nous avons conçu répond à toutes les remarques et reproches concernant les modèles d'adaptation existants et permet également de représenter conceptuellement n'importe quelle contenu d'apprentissage tout en supportant les différents types d'adaptation.

Certes, toutes les adaptations apportées et testées précédemment sont déclenchées manuellement, mais cela n'empêche pas qu'elles puissent se faire automatiquement. Ce qui est important, c'est que notre modèle les supporte et les gère. Ainsi, Notre modèle est conçu en mode ouvert dans le sens où nous ne pouvons pas imaginer à quoi peuvent ressembler les pages adaptées et personnalisées. En effet, chaque apprenant peut introduire de nouvelles règles (aucune limite, aucune contrainte), chose que nous pouvons exploiter avec le temps dans le sens où nous pouvons extraire de notre modèle un ensemble de nouvelles règles d'adaptation qui peuvent devenir un manuel de référence.

Le chapitre suivant est consacré au modèle apprenant et structuré de la façon suivante : nous allons premièrement définir en détails ce modèle, puis nous allons présenter une étude des travaux connexes trouvés en littérature, une étude comparative et une analyse critique, et enfin une présentation de notre contribution.

Chapitre III : L'hypermédia adaptatif " modèle d'apprenant"

3.1 Introduction

Comme indique le titre de ce chapitre, nous allons se focaliser sur le modèle apprenant qui représente une solution très prometteuse pour représenter et décrire les informations sur un apprenant, dans le but de fournir une description complète et fidèle de tous les aspects liés à sa conduite pendant la phase d'apprentissage [66]. D'une façon générale, nous pouvons dans un premier temps diviser ses informations en deux groupes.

Le premier concerne les informations qui n'ont aucun effet sur la phase d'apprentissage. Autrement dit, ce groupe fait référence aux informations dont les processus d'adaptations des hypermédias adaptatifs ne prennent pas en compte dans leurs décisions. À savoir : le nom et prénom de l'étudiant.

Contrairement au premier groupe et comme vous le pouvez deviner, Le deuxième groupe concerne les informations prises en compte par les processus d'adaptation et qui ont un effet dans la prises des décisions. À savoir : l'âge, les connaissances actuelles de cet apprenant et ses préférences en termes de présentations et de pédagogie, etc.

Cependant, nous tenons à signaler que cette répartition en deux groupes n'est pas très précise. Prenons l'exemple du 'nom' d'un étudiant, cette information pourra être utile à faire une projection des préférences et décisions d'adaptation déjà faites pour des étudiants ayant le même nom de famille.

Vu la variété et le nombre important des informations qu'on peut retenir d'un apprenant, des recherches et des propositions de modèle et approche décrivant et modélisant ces informations ont été élaboré.

Alors, dans la suite de ce chapitre nous allons premièrement discuter l'ensemble des approches et modèle d'apprenant existant, puis deuxièmement nous allons présenter nos études comparatifs et critiques de ces approches. Et finalement, nous allons présenter notre

proposition du modèle apprenant composé de six facettes (groupes) et modélisé dans un diagramme de classe en utilisant UML2.

3.2 Les approches et modèles d'apprenant existants

3.2.1 Approche de 'Carchiolo' [102]

Cette approche regroupe toutes les informations d'un apprenant lors de sa phase d'apprentissage dans un triplé {GI, CI, SI}. Où 'GI : General information' fait référence aux informations générales et spécifiques à l'apprenant, 'CI : Course information' représente les informations spécifiques aux cours, et finalement 'SI : session information' consacré aux informations spécifiques à la session. En réalité, les deux volets 'CI' et 'SI' ont été exclu de nos études concernant le modèle d'apprenant parce qu'ils traitent des thématiques en dehors de ce modèle. Vu les variétés d'information que le volet 'GI' comporte, Carchiolo et all. l'ont décomposé en quatre sous groupes. À savoir :

- SPD - données personnelles : contient toutes les données personnelles sur un apprenant et qui sont non liées à aucune thématique. À savoir : son nom, son âge, son adresse, etc.
- MS - médias approprié à l'apprenant : représente l'ensemble de tous les supports adaptés à l'étudiant (par exemple, un apprenant aveugle ne peut utiliser aucun support visuel).
- STK – connaissances : englobe l'ensemble des connaissances de l'apprenant. Ces connaissances sont soit fourni manuellement par l'étudiant lors de l'inscription au système, soit obtenu au moyen des tests d'admission.
- H – Historiques : garde une trace de toutes les actions effectuées par l'apprenant durant la phase d'apprentissage. À savoir : les résultats des tests, les dates d'authentification, etc.

3.2.2 Approche citée par ‘Amel Behaz, Mahieddine Djoudi’

Cette approche est composée de quatre facettes :

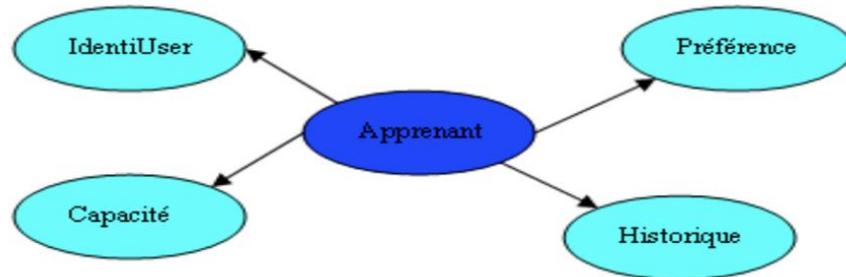


Figure 12 : Approche citée par par ‘Amel Behaz, Mahieddine Djoudi’ [66]

Ces quatre facettes illustrées dans la Figure 12, sont le résultat des travaux faits sur les théories cognitives pour la description des profils d'apprenants et plus précisément sur la représentation des styles d'apprentissages. Voici une description de chacune des ces quatre facettes :

- **IdentiUser** : cette facette est chargée de représenter les informations générales d'un apprenant et elle est modélisée sous forme d'un ensemble de couple «Attribut-valeur». Prenons un exemple concret de cette forme de modélisation pour un apprenant 'A1', cet apprenant sera représenté comme suivant : <A1, <Nom, 'TMIMI'>, <langage, {'Arabe', 'Français', 'Anglais'}>, <Age, '26'>, <Sexe, 'Masculin'>>.
- **Préférences** : cette facette Représente les préférences d'apprentissage chez les apprenants. Cette composante est basée sur la théorie des types psychologique de MBTI «Myres-Briggs Type Indicator»[103]. Cette théorie identifie 16 grands types de personnalité à partir de deux préférences possibles sur chacune des quatre dimensions. La répartition de ces quatre dimensions et leurs deux préférences possibles est la suivante :
 - Orientation de l'énergie : E Extraversion / I Introversion

- Recueil d'information : S Sensation / N Intuition
- Prise de décision : T Pensée / F Sentiment
- Mode d'action (axe qui est extraverti) : J Jugement / P Perception

Le MBTI suggère que tout le monde a des préférences dans les quatre dimensions, mais à des degrés divers. En effet, pour exprimer les préférences d'apprentissages d'un apprenant nous devons indiquer des valeurs en pourcentage pour chacune des préférences possibles des quatre dimensions. Par exemple : Apprenant A1 = [(E : 80%, I : 20%), (S : 60%, N : 40%), (T : 70%, F : 30%) , (EJ: 10%, P : 90%)]. Ces préférences d'apprentissage pour cet apprenant peuvent être abrégées en indiquant juste les préférences dominantes pour chaque dimension. Alors prenons le même exemple de l'apprenant A1, il suffit de dire que l'apprenant A1 a les préférences d'apprentissages : [ESTP]. Nous tenons à signaler aussi que les deux préférences possibles pour une dimension sont complémentaires dans le sens où la somme des deux valeurs en pourcentage doit être égale à 100%.

Cependant, cette théorie du MBTI avait un caractère tellement vague et généralisé dans le sens où elle n'était pas vraiment conçue que pour le domaine d'apprentissage. En effet, des tentatives pour recadrer cette théorie et l'adapter au domaine d'apprentissage ont été réalisées en passant de 16 types à 6 types. À savoir :

(T) : Certains préfèrent recevoir des instructions complètes et précises avant de commencer une nouvelle tâche.

(F) : Certains préfèrent passer immédiatement à l'action et apprendre sur le tas.

(J) : Certains ont besoin de terminer le sujet en cours avant de passer au suivant.

(P) : Certains ont besoin de souplesse, de possibilités d'exploration.

(L) : Certains ont besoin de temps et d'espace.

(R) : Certains sont très rapides dans l'assimilation des apprentissages

Moyennant ces 6 types, nous pourrions exprimer les préférences d'apprentissages d'un apprenant par le vecteur conceptuel $V = (T, F, J, P, L, R)$ en attribuant une valeur en pourcentage pour chacune de ses types. NB : D'une façon similaire à MBTI la somme des valeurs en pourcentages doit être égale à 100%.

- **Capacité** : cette facette représente le niveau de connaissance de l'apprenant pour un concept. Ce niveau est modélisé par un système de stéréotype qui fait référence à une classe d'individu qui est supposé avoir le même niveau de connaissance. En cas pratique, les apprenants sont emmenés à passer un test QCM. Et suivant leurs résultats, ils seront affectés à une classe (stéréotype) disposant des adaptations déjà élaborées et optimisées pour cette classe. Les valeurs possibles pour les tests Qcm sont : bas, moyen, excellent. Le choix de cette échelle de note a été élaboré par les auteurs dans le but d'avoir le minimum nécessaire de précision sans entrer profondément dans les détails.
- **Historique** : cette facette est supposée contenir toutes les traces des actions de l'apprenant. À savoir : les cours lus, les tests réalisés, les dates d'authentications, etc. Toutes ces informations seront journalisées suivant un système de clé-valeur. Voici un exemple proposé par les auteurs : l'historique de l'apprenant A1 est décrit par <A1, <"Algorithmique", "définition", "22/02/05">, <" Algorithmique", "description", "23/02/05">>

3.2.3 Approche citée par 'Desislava Paneva-Marinova' [104]

Contrairement aux deux approches citées précédemment, L'approche élaborée par Desislava P. divise les informations d'un apprenant en deux groupes principaux.

Le premier concerne les informations générales sur les apprenants, telles que les objectifs d'apprentissage, les aptitudes cognitives, les mesures de l'état de motivation, les préférences concernant la méthode de présentation, les données factuelles et historiques (informations personnelles), etc., tandis que le deuxième groupe se focalise sur le comportement de l'apprenant dans le domaine d'apprentissage, telles que le niveau de compétence général pour le cours, le niveau de compétence du module, le niveau de compétence du concept, la durée d'étude du module, le statut de résolution des tests, etc.

En réalité, une phase d'analyse a été réalisée par l'auteur de cette approche que nous pourrions la résumer en quatre questions :

- Who/ Qui : qui sera modéliser et quel historique possède-t-il ?

- What/ Quoi : but, plans, attitudes, capacités, connaissances et croyances de l'apprenant.
- How/ Comment : comment ce modèle va être acquis et maintenu ?
- Why/ Pourquoi : le but derrière l'utilisation de ce modèle ? pour apporter de l'aide à l'apprenant, pour fournir une rétroaction à l'apprenant ou pour interpréter le comportement de l'apprenant ?

Alors c'est en répondant à ces quatre questions que les deux groupes présentés précédemment ont été élaboré en utilisant l'OWL DL comme langage de modélisation.

Dans les tableaux 9 et 10 nous présentons une explication détaillée des composants des deux groupes proposés par Desislava P. :

Informations générales de l'apprenant	
Élément	Description
Données factuelles et historiques sur un apprenant	Son nom, son âge, sa carte d'identité, son adresse postale, son adresse électronique, son téléphone, etc. Celles-ci sont nécessaires pour les processus d'initialisation du modèle apprenant.
Objectifs d'apprentissage	Les objectifs d'apprentissage sont essentiels pour établir les stratégies d'enseignement correctes, car ils représentent certaines des caractéristiques de base d'un processus d'apprentissage particulier.
Motivation de l'apprenant	La motivation est mesurée par un certain nombre de paramètres à court et à long terme tels que motivation, effort, attention, intérêt, distraction, persistance, etc. Ces paramètres sont à leur tour associés à d'autres facteurs, notamment le niveau de connaissance, la préparation, complexité du sujet, résultats d'apprentissage, etc.
Expériences	l'expérience antérieure de l'apprenant peut avoir une incidence sur les résultats d'apprentissage de l'élève. De manière générale, Ces informations sont utiles lors du

	choix des stratégies pédagogiques appropriées et des méthodes de navigation adaptatives.
Préférences	Les préférences sont soit liées au domaine ou indépendantes de lui. Les informations sur préférences sont introduites directement ou indirectement. Fondé sur la théorie du Gardner [105] des styles d'apprentissage

Tableau 9 : les informations générales de l'apprenant proposé par Desislava P.

Informations sur les comportements de l'apprenant	
Élément	Valeurs possibles
Niveau de compétence conceptuelle	<ul style="list-style-type: none"> • non maîtrisé : le concept n'a pas été maîtrisé par l'apprenant. • Maîtrisé : le concept a été maîtrisé (si un concept est maîtrisé, tous les concepts préalables sont maîtrisés).
Niveau de compétence de module	<ul style="list-style-type: none"> • Pas prêt : le module n'est pas prêt à être appris car les pré requis nécessaires ne sont pas remplis par l'étudiant. • Prêt : le module est prêt à être appris parce que l'apprenant a étudié tous les modules préalables. • Visité : le module ou un ou plusieurs de ses sous-modules ont été visités par l'apprenant pendant une courte période (la durée de cette courte période est définie par l'enseignant au moment de la création). • Appris : le module a été étudié pendant un certain temps ou tous ses sous-modules sont appris ou maîtrisés par l'apprenant. • Maîtrisé : le contenu de ce module a été maîtrisé par l'apprenant.
Niveau de compétence général pour le cours	<ul style="list-style-type: none"> • Débutant : l'apprenant est un débutant dans ce domaine. • Intermédiaire : l'apprenant a des connaissances de base dans ce domaine. • Avancé : l'apprenant possède des connaissances avancées dans

	ce domaine.
Statut de résolution de test	<ul style="list-style-type: none"> • Appris : le module a été étudié pendant un certain temps ou tous ses sous-modules sont appris ou maîtrisés par l'apprenant. • Non résolu : l'apprenant n'a pas essayé de répondre au test. • Non résolu mais étudié : l'apprenant a étudié l'indice des questions du test, mais n'a pas essayé de répondre à ces questions. • résolu : l'apprenant a répondu correctement à la question du test sans avoir étudié le moindre indice. • Résolu avec aide d'indice : l'apprenant a répondu correctement aux questions du test à l'aide d'indice. • Solution échouée ou étudiée : l'apprenant a fourni une réponse incorrecte au test ou a étudié la solution avant de répondre aux questions du test.

Tableau 10 : les informations sur les comportements de l'apprenant proposé par Desislava

3.2.4 Modèle apprenant 'Munich'

Comme exprimé dans les chapitres précédent, Munich est l'un des fameux modèles de référence pour les hypermédias adaptatifs qui ont proposé un méta-modèle d'apprenant décrivant la structure des modèles individuels de chaque apprenant et la manière dont ces modèles sont administrés. Contrairement aux approches cités précédemment, Munich ne propose pas un modèle mais plutôt un méta modèle caractérisé par un niveau d'abstraction élevé en utilisant l'approche orienté objet exprimée par le digramme de classe du UML2.

Alors, ce méta-modèle contient un sous-système composé d'une classe 'userManager' liées à ensemble de 'Users' et contient un ensemble de méthodes : 'initializer', 'updater' et 'evaluator'. Tout cela est bien exprimé dans la Figure 13 qui décrit les classes du sous-système du méta-modèle apprenant.

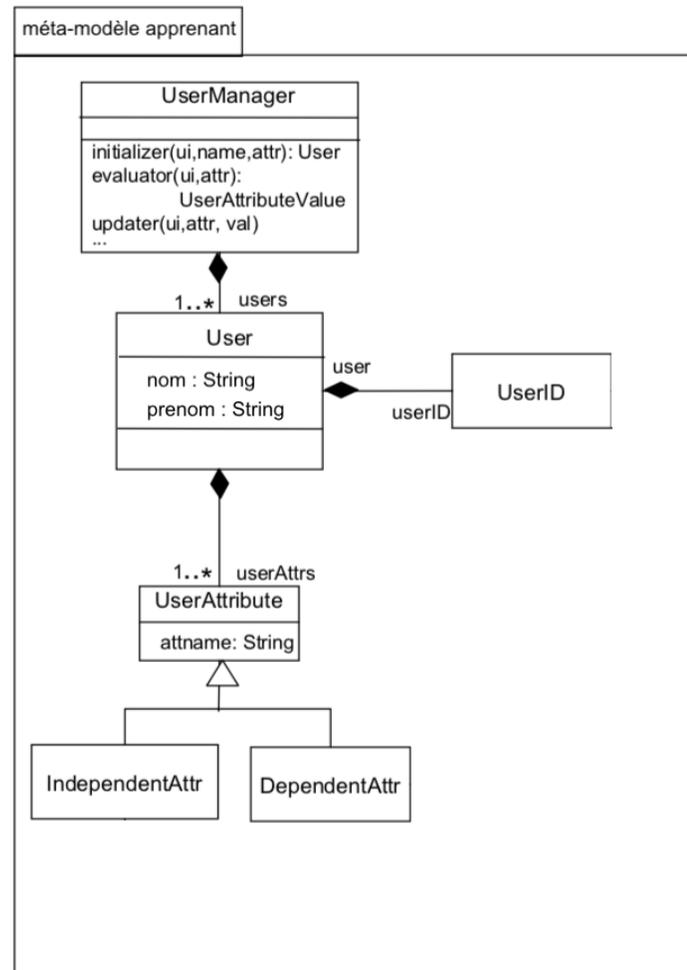


Figure 13 : Vue du méta-modèle apprenant du modèle de référence de Munich [78]

Un apprenant est modélisé par une classe `User` contenant les informations de base de l'apprenant. Cette classe est liée via une association de composition à la classe '`UserID`' qui a comme rôle d'identifier l'utilisateur de manière unique dans le contexte de l'hypermédia adaptatifs. Chaque objet de classe '`User`' qui est un apprenant contient un ensemble des objets de la classe '`UserAttribute`'. Cet ensemble d'objets fournissent une représentation des caractéristiques de l'utilisateur pertinentes pour l'hypermédia adaptatif. Les auteurs de ce modèle Munich ont distingué verbalement les différents types d'informations qui sont censé être représenté dans le modèle. À savoir : les connaissances de l'apprenants, ses

préférences, ses expériences, etc., et résumées en deux catégories : «informations liées aux composants du domaine» et «informations générales de l'apprenant».

Le premier groupe comprend les attributs dépendants du domaine et exprimé moyennant la classe 'DependentAttr', tandis que le deuxième concernent les attributs qui sont indépendants du domaine 'IndependentAttr' et non liées aux composants, telles que les connaissances de base et les préférences.

3.3 Études comparatives et critiques

L'ensemble des approches et modèles étudiés précédemment reflètent ; chacun à sa manière et sa vision ; un ensemble important d'informations sur l'apprenant. Nous avons distingué deux groupes pour ses approches :

Le premier groupe concerne les approches qui ont divisé les informations d'apprenant en des facettes représentant les types d'informations sémantiquement liés. Parmi ces facettes nous citons : facette des informations générales, facette des connaissances, etc.

Cependant et comme montré précédemment, chaque approche a ses manières d'élaborer ses facettes. Concernant la manière, Il y en a qui ont utilisé des vecteurs conceptuels, d'autre ont choisi un langage de modélisation comme UML2. Et Concernant le contenu et la vision, nous citons comme exemple la diversité en terme du choix de la théorie des profils psychologiques a implémenté et qui a varié entre les deux théories Gardner et MBTI.

Le deuxième groupe concerne les approches qui n'ont pas défini d'une façon concrète les informations de l'apprenant. Ce groupe d'approche se contente juste d'introduire les informations générales de l'apprenant (nom, prénom, etc.) et gère le reste des informations moyennant des couplets 'attribut : valeur'.

Cependant, nous avons jugé cette manière abstraite de gérer les informations des apprenants moyennant des couplets 'attribut : valeur' a un inconvénient majeur qui réside dans le manque de sémantique. En effet, suivant la sémantique de chaque information d'un apprenant, des stratégies des processus d'adaptation seront réalisés.

Nous avons distingué En littérature d'autre type d'informations qui n'ont pas été introduit dans les approches présentées précédemment et qui ont une influence sur le processus d'apprentissage. À savoir :

- Les capacités cognitives qui décrivent les capacités d'un apprenant concernant des traitements spécialisés tels que la vision, l'espace, le langage, les gestes, la coordination, l'attention, la mémoire et les stratégies.
- État émotionnel qui décrit l'état affectif de l'apprenant à savoir : le degré de la motivation de l'apprenant, la maîtrise de soi, etc.

Finalement, nous tenons à présenter un modèle théorique nommé LMPA123 [106] qui peut être exploité pour étendre l'ensemble des approches et modèles apprenant citées précédemment. En effet, le modèle LMPA123 n'est pas un modèle apprenant mais une extension de tout modèle apprenant existant dans le contexte d'adaptation.

Ce modèle dispose de trois niveaux, comme illustré dans la Figure 14 :

- Niveau 3 : À ce niveau, il faut spécifier les éléments de base du profil nécessaire pour constituer tous les profils d'apprenant. Ce niveau est réalisé par les chercheurs et il est à un niveau d'abstraction très élevé, c'est à dire il ne contient pas d'informations disciplinaires relatives ou liées à un niveau scolaire donné.
- Niveau 2 : représente les modèles apprenant adaptés à un domaine donné. Autrement dit, ce niveau n'est qu'une sélection des éléments introduits au « Niveau 3 » par un concepteur pédagogique qui prennent en considération la spécification des besoins pour un domaine ou contexte donné.
- Niveau 1 : ce niveau contient les instanciations du modèle de profil du « niveau 2 » avec des données concrètes d'un apprenant. Ce niveau représente un modèle de l'état des connaissances d'un apprenant donné dans un contexte donné et à un moment donné.

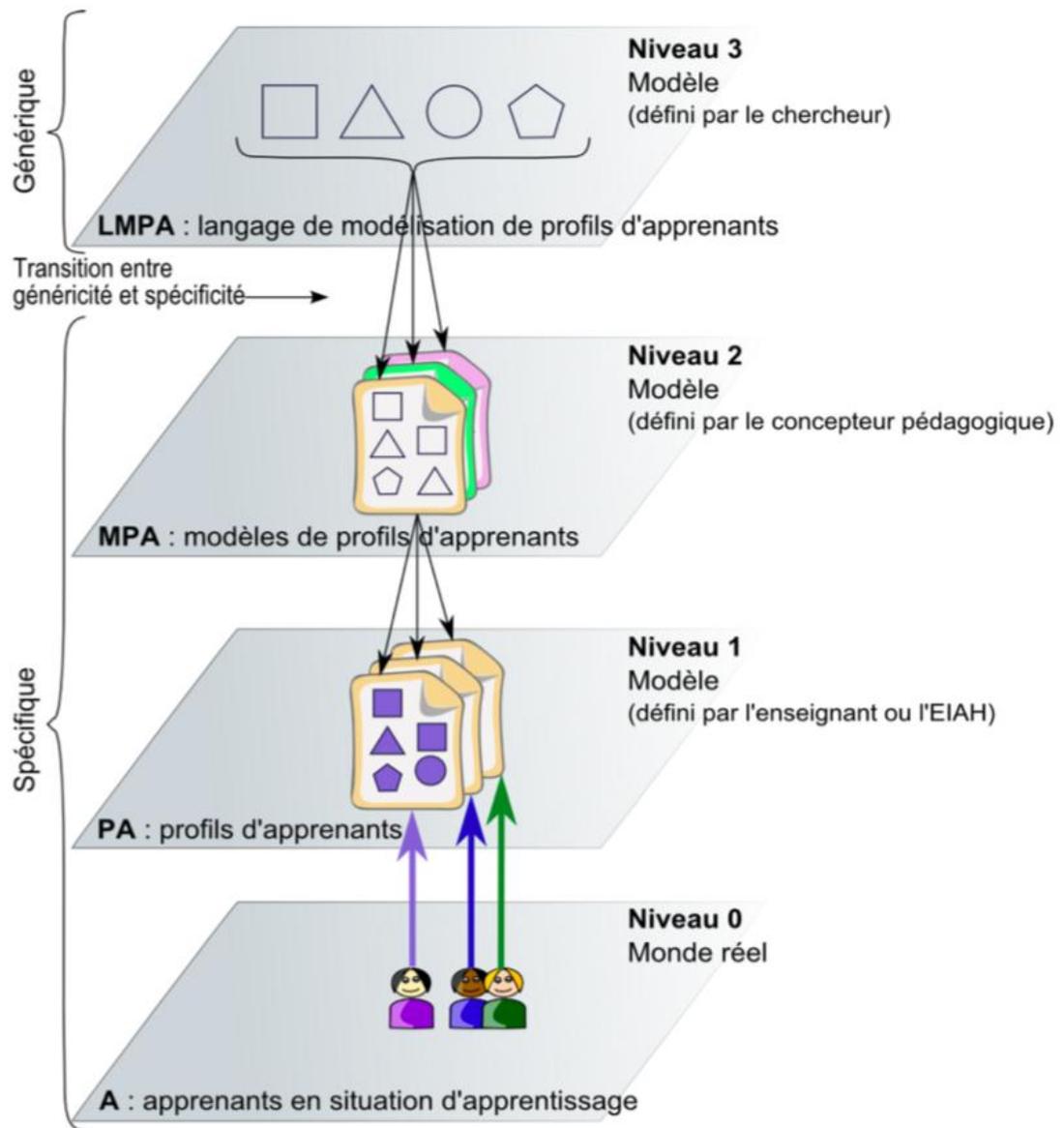


Figure 14 : Le modèle LMPA1234 : du langage de modélisation aux profils d'apprenants.

3.4 Notre Contribution

Dans notre premier travail publié [107], nous avons défini les éléments de base de notre nouveau modèle d'apprenant déduits de l'ensemble d'approches et modèles discutés précédemment. En effet, notre modèle d'apprenant proposé est composé de six facettes. À

savoir : Informations personnelles, Connaissances et compétences, Historique, Profil psychologique, Aptitudes cognitives et État émotionnel. Ces facettes retiennent toutes les informations utiles dans la phase d'apprentissage et aux processus d'adaptation.

Puis dans notre deuxième travail [108] nous avons effectué des recherches sur les différentes facettes de notre modèle afin de disposer du plus grand nombre d'informations possible que nous avons utilisé pour élaborer notre conception du modèle.

Dans ce qui suit, nous allons présenter les six facettes de notre modèle ainsi tous les travaux connexes que nous avons étudiés.

3.4.1 Facette des Informations personnelles

Il s'agit des données personnelles de l'apprenant, à savoir son identité, son sexe, son âge, etc. En règle générale, ce type d'informations ne devrait pas changer avec le temps et sont considérés comme partie statique du modèle [109].

Cependant, le caractère statique ne veut pas dire forcément inutile. En effet, dans notre vision nous considérons que tout type d'informations peut avoir une influence sur l'apprentissage et par la suite sur les processus d'adaptation. Cela a été affirmé par Collier qui a prouvé que l'acquisition d'une langue dépend de l'âge de l'apprenant [110].

Cette facette sera modélisée moyennant un ensemble d'attribut appartenant à un apprenant.

3.4.2 Facette des Compétences et connaissances

Le concept de compétence a souvent été un sujet d'actualité dont les chercheurs tentent constamment de le définir correctement et le différencier avec des termes similaires comme : la performance, les connaissances et capacités [111].

Ces éléments ont été bien différenciés dans la pyramide de Miller (comme le montre la Figure 15). En effet, à la base de cette pyramide nous trouvons l'élément 'savoir ou connaissance'. Cet élément consiste à ce que les apprenants sont censés savoir ce qui est nécessaire pour exercer efficacement une fonction professionnelle, puis l'élément

‘compétence’ qui indique que les apprenants ont la capacité et le savoir nécessaire pour utiliser ces connaissances accumulées.

Sinon concernant le troisième élément ‘Performance’, L’apprenant doit non seulement savoir ‘comment’, mais il doit avoir la capacité de montrer comment il le fait.

Et finalement l’élément "Fait" où les apprenants sont capables de reproduire les performances de manière indépendante dans différentes situations. Nous tenons à indiquer que ces performances requièrent une évaluation valide et fiable en temps réel [112].

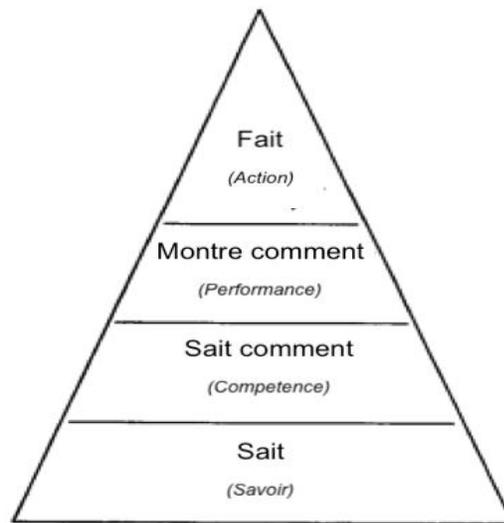


Figure 15 : Pyramide de Miller

Tous ces éléments peuvent être regroupés en une seule définition citée par Jonnaert P : « La compétence est la mise en œuvre par une personne, dans une situation donnée et dans un contexte, d’un ensemble de ressources diversifiées et coordonnées. Cette mise en œuvre repose sur la sélection, la mobilisation et l’organisation de ces ressources et sur les actions pertinentes que ces ressources permettent de traiter avec succès de cette situation [113] »

Compte tenu de l’importance du terme compétence, un nouveau courant pédagogique est apparu qui consiste à envisager l’apprentissage par le concept de compétence.

Cette approche par compétence représente en elle-même tout un volet entier de recherche qui vise à résoudre de nombreux problèmes, en particulier l’inadéquation entre

l'enseignement à l'école et les besoins du marché du travail, l'amélioration des performances professionnelles, le surpeuplement des salles de classe, etc.

Parmi les travaux que nous avons étudiés, nous citons le papier [114] qui a proposé une conception de l'approche de par compétence et que nous l'avons exploité pour modéliser la facette compétence dans notre modèle apprenant.

3.4.3 Historique

Cette facette est chargée de garder une trace de toutes les actions effectuées par l'apprenant dans l'hypermédia adaptatif. En effet, nous avons prévus deux problèmes majeurs : la grande diversité des actions et le volume qui augmente de façon exponentielle.

Alors concernant le premier problème, nous allons opter pour des mécanismes de journalisation informatique [115] qui consiste à enregistrer de manière séquentielle dans un fichier ou une base de données tous les évènements affectant un processus particulier (application, activité d'un réseau informatique, etc.). De ce fait nous considérons que quel que soit le type d'action de l'apprenant, nous aurons toujours un élément concerné et un type d'actions : sélectionner, modifier, insérer ou supprimer.

Et en ce qui concerne le volume, nous prévoyons d'utiliser un système d'archivage qui consiste à prendre un objet et à le transférer sous certaines conditions dans un autre système assurant la conservation pendant un certain temps avec toute la sécurité requise [116].

En bref, nous avons implémenté cette facette moyennant une méthode basique qui consiste à stocker tout type de transaction faites par l'apprenant.

Avant de passer aux trois dernières facettes, il convient de mentionner que ces trois prochaines facettes sont très liées et peuvent être regroupées selon le concept de style d'apprentissage ou les préférences de l'apprenant en phase d'apprentissage. En fait, au cours de la dernière décennie, les recherches ont prouvé que les styles d'apprentissage sont l'un des facteurs majeurs influençant sur le processus d'apprentissage. Voici une citation tirée des travaux [117] : « Les traits cognitifs, affectifs et physiologiques sont des

indicateurs relativement stables qui décrivent la façon dont les apprenants perçoivent, interagissent et réagissent avec l'environnement d'apprentissage »

3.4.4 Profils psychologiques

Bien qu'il existe plusieurs théories du profil psychologiques nous avons choisi le modèle de style d'apprentissage Felder-Silverman (FSLSM) qui combine la majorité des modèles des profils psychologiques existants [118].

Contrairement aux autres théories qui classifient les apprenants en quelques groupes, ce modèle est mieux adapté au contexte d'apprentissage et il décrit plus en détail le style d'apprentissage d'un apprenant. Une autre différence principale réside dans le fait que le modèle FSLSM est basé sur le mécanisme des tendances, ce mécanisme considère que les apprenants ont une préférence élevée pour certains comportements mais peuvent aussi parfois agir différemment.

Le modèle FSLSM proposent quatre dimensions (voir tableau 11) qui sont : Active / Réflexive, Sensing / Intuitive, Visual / Verbal, Séquentiel / Global.

Chaque dimension contient deux pôles qui s'opposent sémantiquement.

Style	Sémantique	Style	Sémantique
Active	<ul style="list-style-type: none"> • Essayer quelque chose. • Orientation sociale. 	Réflexive	<ul style="list-style-type: none"> • Penser au matériel. • Orientation non sociale (Impersonnel).
Sensing	<ul style="list-style-type: none"> • Les moyens existants. • Matériel concret. • Prudent et fait attention aux détails. 	Intuitive	<ul style="list-style-type: none"> • Nouveaux moyens. • Matériel abstrait. • Ne fait pas attention aux détails.
Visual	<ul style="list-style-type: none"> • Images. • Vidéos 	Verbal	<ul style="list-style-type: none"> • Mots parlés. • Mots écrits.

	<ul style="list-style-type: none"> • présentations 		<ul style="list-style-type: none"> • Difficulté avec les styles visuels.
Séquentiel	<ul style="list-style-type: none"> • Soucieux des détails. • Progrès séquentiels. • Comme par des fragments pour comprendre le tout. 	Global	<ul style="list-style-type: none"> • S'intéresse a la vue d'ensemble plutôt qu'aux détails. • Progrès non séquentiel • Relations/Connexions

Tableau 11 : Les dimensions du FSLSM et les sémantiques de leurs pôles [119]

La théorie suppose que chaque apprenant utilise chacune des quatre dimensions mais avec des pourcentages différents tout en étant complémentaire entre eux (Exemple : Visual 80% / Verbal 20% → 80% + 20% = 100%).

Nous tenons aussi à indiquer qu'un apprenant peut avoir une tendance naturelle à un pôle d'une dimension, mais cela ne signifie pas qu'il est meilleur ou moins souhaitable que son pôle opposé [120].

Tout ce qui précède concernant le modèle FSLSM a été implémenté et supporté par notre modèle apprenant tout en ajoutant également un ensemble de préférences concernant les langues maîtrisées par les apprenants et leurs limitations physiques (handicap).

3.4.5 Capacités cognitives

Les capacités cognitives font référence à l'ensemble des traitements spécialisés qui nécessitent la collaboration des espaces cérébraux. À savoir : l'attention, la mémoire et les stratégies, la vision, l'espace, le langage, les gestes, la coordination, etc.

Malgré la grande importance de cette facette, les approches citées précédemment du modèle apprenant ne l'ont pas introduit dans leurs modèles. En effet, nous n'avons pas trouvé en littérature beaucoup de travaux qui ont discuté cette thématique dans le contexte des hypermédias adaptatifs.

Dans notre modèle apprenant on s'est basé sur le référentiel proposé dans les travaux du CAFOC de Nantes / CFA des Pays de la Loire [121]. Ce référentiel décrit cinq processus cognitifs contenant des éléments dispersés sur des niveaux. Dans les tableaux 12, 13, 14, 15 et 16 nous présentons un récapitulatif des cinq processus étudiés dans ce référentiel :

Se concentrer			
	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
Type d'activités	Soyez attentif (écoutez, lisez).	Se concentrer sur le traitement de l'information.	Se concentrer sur la réalisation d'activités correspondant aux réalités de l'examen ou à des situations professionnelles.
Difficulté de l'activité	Simple avec une seule information	Modérément complexe avec des informations multiples.	Complexe.
Durée	Court: Cinq à dix minutes.	Modérément long: deux heures.	Demi-journée.
Contexte	Travail individuel en classe.	Travailler en groupe.	Dans un atelier.

Tableau 12 : Descriptif du processus cognitif 'Se concentrer' selon le référentiel du Anon

Mémorisation			
	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
Mémorisation des activités	Apprenez par cœur et restaurez sous la même forme ce qui a été mémorisé.	Mémorisez pour restaurer sous une forme différente, reformulez et donnez un sens.	Capacité de transférer ou d'appliquer les connaissances dans une nouvelle situation.
Mémoire à court terme	Quelques informations basiques.	Plusieurs informations de base.	Plusieurs informations complexes.
Durée de mémorisation	Court terme.	Moyen terme.	Long terme.
Mobilisation	Un des cinq sens.	Deux ou trois sens.	Mobilisation aux cinq sens.

des sens			
Contexte	Calme.	Un peu bruyant.	Bruyant.

Tableau 13 : Descriptif du processus cognitif 'Mémorisation' selon le référentiel du Anon

Se communiquer				
	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4
Identifier et reformuler les instructions	Comprendre un concept de deux ou trois lignes. Identifier des mots-clés.	Reformuler avec ses propres mots.	Formuler un concept en relation avec une situation réelle ou fictive.	Formuler des instructions pour l'exécution d'une tâche. Rechercher des informations pour les traiter.
Rechercher des informations pour les traiter	Lire du texte. Utiliser différents supports.	Identifier les idées clés.	Prendre des notes de manière structurée en utilisant les mots clés.	
Analyser et traiter l'information	Comprendre et reformuler les idées essentielles.	Établir des informations relatives à leur niveau d'importance et les organiser de manière cohérente.	Développer et argumenter à partir des informations fournies. Discuter et débattre à partir des informations fournies et faire valoir ses opinions.	Identifier l'importance du secondaire.
Réaliser une production en suivant précisément	Écrire des phrases simples. Structurer un message de	Composer un paragraphe et enrichissez une phrase simple	Structurer sa production écrite à l'aide d'un plan.	

les instructions	manière chronologique.	avec le vocabulaire approprié.		
Présentation orale d'informations	Transmission d'informations à une autre personne.	Transmettre les informations à un groupe et répondre aux questions fermées (QQOQQCP Il s'agit d'une méthode 5W1H (Pourquoi ? Quoi ? À qui ? Quand ? Qui ? Combien ?))	Capacité à répondre à des questions ouvertes.	Savoir comment questionner et adapter son discours pour évaluer la pertinence de l'échange.

Tableau 14 : Processus cognitif 'Se communiquer' selon le référentiel du Anon

Savoir s'organiser			
	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
Organiser son temps	Identifier les activités dans un délai prescrit (sur la semaine) en mode guidé et identifiez et utilisez des instruments de mesure du temps.	Identifier son organisation personnelle du temps en mode semi-guidé et organiser un temps fictif.	Utiliser un horaire annuel en mode autonome et identifier sa courbe d'activité quotidienne.
Savoir interpréter et utiliser l'espace graphique	À partir d'une description détaillée.	À partir d'une carte, donnez les directions.	Décrire un paysage de différents points de vue.
Organiser ses priorités	Suivre les tâches répertoriées et planifiez son travail.	Déterminer les objectifs et les	Déterminer les priorités et les

		priorités. Les Planifiez et les faire vérifier par une personne-ressource.	objectifs. Planifier et fixer le calendrier. Les faire vérifier par une personne- ressource.
--	--	---	---

Tableau 15 : Processus cognitif 'Savoir s'organiser' selon le référentiel du Anon

Rechercher et traiter des informations			
	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
Organiser ses recherches	Identifier l'instruction. Identifier et comprendre les mots-clés. Poser des questions à la personne ressource.	Poser des questions. Organiser sa recherche selon un plan.	Formuler une problématique.
Identifier les sources d'informations multi-support	Identifier les différentes sources à sa disposition. Savoir se situer dans l'espace.	Sélectionner les supports appropriés.	Comparer les informations fournies par les supports.
Lire et analyser des informations	Lecture active. Savoir prendre des notes.	Analyser l'information (validité de l'information?).	Traiter les données. Reformuler du raisonnement vers synthèse de l'information
Traiter et verbaliser les informations	Reformuler le problème.	Développer ses idées.	Argumenter ses choix (structurer un paragraphe...).

Tableau 16 : Processus cognitif 'Rechercher et traiter des informations' selon le référentiel du Anon

Finalement, Nous sommes conscients que tous les éléments proposés dans le référentiel du Anon doivent être améliorés et adaptés aux besoins. C'est pour cette raison que dans notre conception du modèle apprenant proposée, nous avons gardé la hiérarchie du système de processus cognitifs proposé par Anon tout en la rendant abstraite et ouverte, sans spécification ni concrétisation.

3.4.6 État Émotionnel

Les émotions ont une très forte influence sur la motivation des apprenants, la maîtrise de soi et les résultats scolaires dans le processus d'enseignement [122].

Cependant, malgré l'utilisation fréquente du terme émotion dans notre vie quotidienne, sa définition reste incomplète et souvent ambiguë avec d'autres termes comme : l'affection, sentiment et humeur dans le sens où tout le monde sait ce qu'elle est l'émotion jusqu'à ce qu'on leur demande de la définir [123].

Dans nos études, nous n'avons pas étudié les différentes visions et courants qui définissent l'émotion mais nous nous sommes intéressés aux travaux qui traitent les manières et méthodes de modélisation d'une émotion.

En effet, nous avons trouvé en littérature de nombreux travaux proposant des approches pour la modélisation d'une émotion. Ces approches sont divisées en deux catégories principales :

- Les approches discrètes qui considèrent qu'il y a un nombre fini d'émotions.
- Les Approches continues qui considèrent qu'il existe un nombre infini d'émotions, représentées dans un espace multidimensionnel.

Vu que chaque catégorie a ses avantages et ses inconvénients, les chercheurs ont donc pensé à combiner les deux groupes de catégories pour créer une nouvelle approche qui combinent les points forts de chacune d'eux.

Parmi les approches proposées, nous citons le modèle Circumplex de Russel [124] qui divise un espace multidimensionnel en deux dimensions (valence / activation) en formant un cercle autour de ces deux axes. Cette division forme 8 sous-espaces diamétralement

opposés représentant quatre paires des émotions opposées (Figure 16) : Activation \neq Sommeil, Excitation \neq Dépression, Satisfaction \neq Angoisse et Plaisir \neq Tristesse [125].

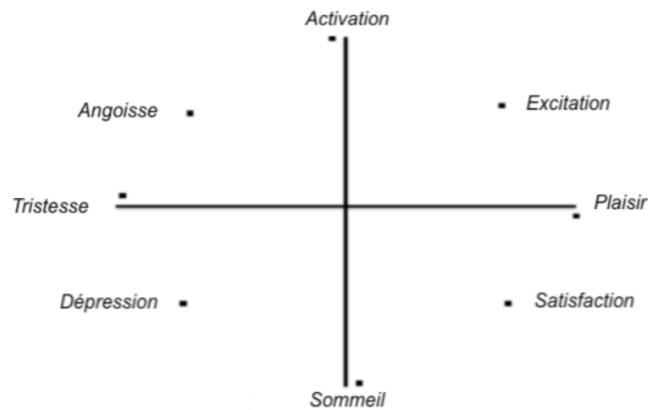


Figure 16 : Modèle Circumplex de Russell [124]

Cependant, cette approche est générale et n'est pas consacrée à un champ d'application. De ce fait, plusieurs chercheurs ont proposé des approches pour modéliser les émotions en relation avec le contexte de l'apprentissage. En effet, Kort [126] a proposé un modèle théorique appelé « modèle à quatre quadrants : Four quadrant model » (Figure 17). Ce modèle théorique vise à classer les émotions de l'apprenant en fonction des phases d'apprentissage dans lesquelles il pourrait être impliqué.

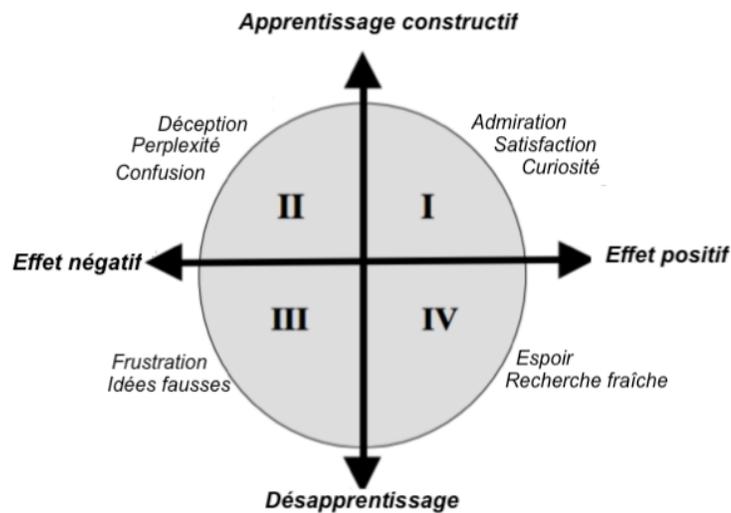


Figure 17 : Modèle de Kort reliant les émotions au contexte de l'apprentissage [126]

Comme présenté dans la Figure 17, le modèle à quatre quadrants de Kort et al. contient deux axes qui sont :

- Axe vertical : cet axe décrit l'état et la difficulté de la situation d'apprentissage, allant de « non-apprentissage » à « apprentissage constructif ».
- Axe horizontal : cet axe représente la valence de l'état émotionnel de l'apprenant qui varie de émotions positives vers émotions négatives.

Cependant, comme toutes les approches que nous avons étudiées, nous avons noté des critiques qui se résument dans :

- La relation entre les émotions et l'apprentissage ne doit pas être figée et jugée à l'avance dans le sens où nous ne sommes jamais sûrs que les émotions positives améliorent l'apprentissage, alors que les émotions négatives le compromettent.
- L'apprenant peut avoir à un moment donné non seulement une émotion, mais également une combinaison d'émotion.

Dans notre conception, nous avons pris le modèle à quatre quadrants comme référence, tout en ajoutant une troisième dimension nommé 'dimension de contrôle' également appelée dominance [127]. Cette nouvelle dimension décrit la capacité de contrôler la situation qui a provoqué l'émotion.

Chaque émotion sera associée à un ensemble de détecteurs et variables de reconnaissance que nous avons divisée en deux groupes selon la manière avec laquelle nous allons les collecter :

-Manière implicite : ce groupe fait référence à l'ensemble d'informations que nous pouvons collecter de l'apprenant durant sa phase d'apprentissage sans lui interrompre ou le questionner directement. À savoir :

- Le temps passé sur un module.
- Fréquence d'utilisation du bouton d'aide.
- Fréquence d'utilisation de la souris (nombre de clics).
- Les erreurs de frappe.
- Le thème choisi.
- Période jour.

- Etc.

-Manière Explicite : contrairement au groupe précédemment, l'ensemble des informations sera directement saisi ou introduit par l'apprenant via des questionnaires et des systèmes d'évaluation.

Comme réponses aux critiques présentés précédemment, nous avons supporté dans notre modèle proposé le fait que l'apprenant peut avoir à la fois plusieurs émotions. Ainsi, notre vision et objectif ne consiste pas à déterminer les émotions, mais plutôt à savoir et mettre l'accent sur leurs effets (favorables ou non favorables à l'apprentissage) et leurs déclencheurs. En effet, les émotions multiples seront considérées comme une seule émotion (complexe) qui sera premièrement mesuré moyennant les différentes émotions qui la composent et par la suite associé à l'une des régions stratégiques proposées par Oertel [128].

Sinon concernant le jugement d'une émotion (favorable ou non à l'apprentissage ?), Nous avons prédit que ce jugement devait être indépendant non généralisé, mais plutôt lié à la performance de l'apprenant. C'est à dire, lorsque l'apprenant réussit un test ou acquiert de nouvelles connaissances, quelles que soient les émotions qu'il a ressenties au cours de sa phase d'apprentissage, il sera considéré comme favorable même si cette émotion appartient à une région stratégique jugée non favorable à l'apprentissage par le modèle à quatre quadrants de Kort.

Finalement, nous avons planifié une autre utilisation concernant notre proposition élaborée pour cette facette. En effet, notre système va dans un premier temps apprendre et déchiffrer le comportement de l'apprenant à partir du jugement de l'état d'apprentissage (favorable ou défavorable) tout en collectant les données des détecteurs et des variables de reconnaissance des émotions. Après un certain temps, ce processus sera inversé en contrôlant les données des détecteurs et les variables de reconnaissance des émotions pour obtenir l'état d'apprentissage souhaité.

3.4.7 Notre conception proposé

Après les études que nous avons effectuées et détaillées précédemment, nous avons développé notre conception qui intègre les six facettes en utilisant le diagramme de classe UML2. Dans ce diagramme (voir Figure 18) nous avons utilisé différentes couleurs pour faciliter la distinction entre les différentes facettes de notre modèle.

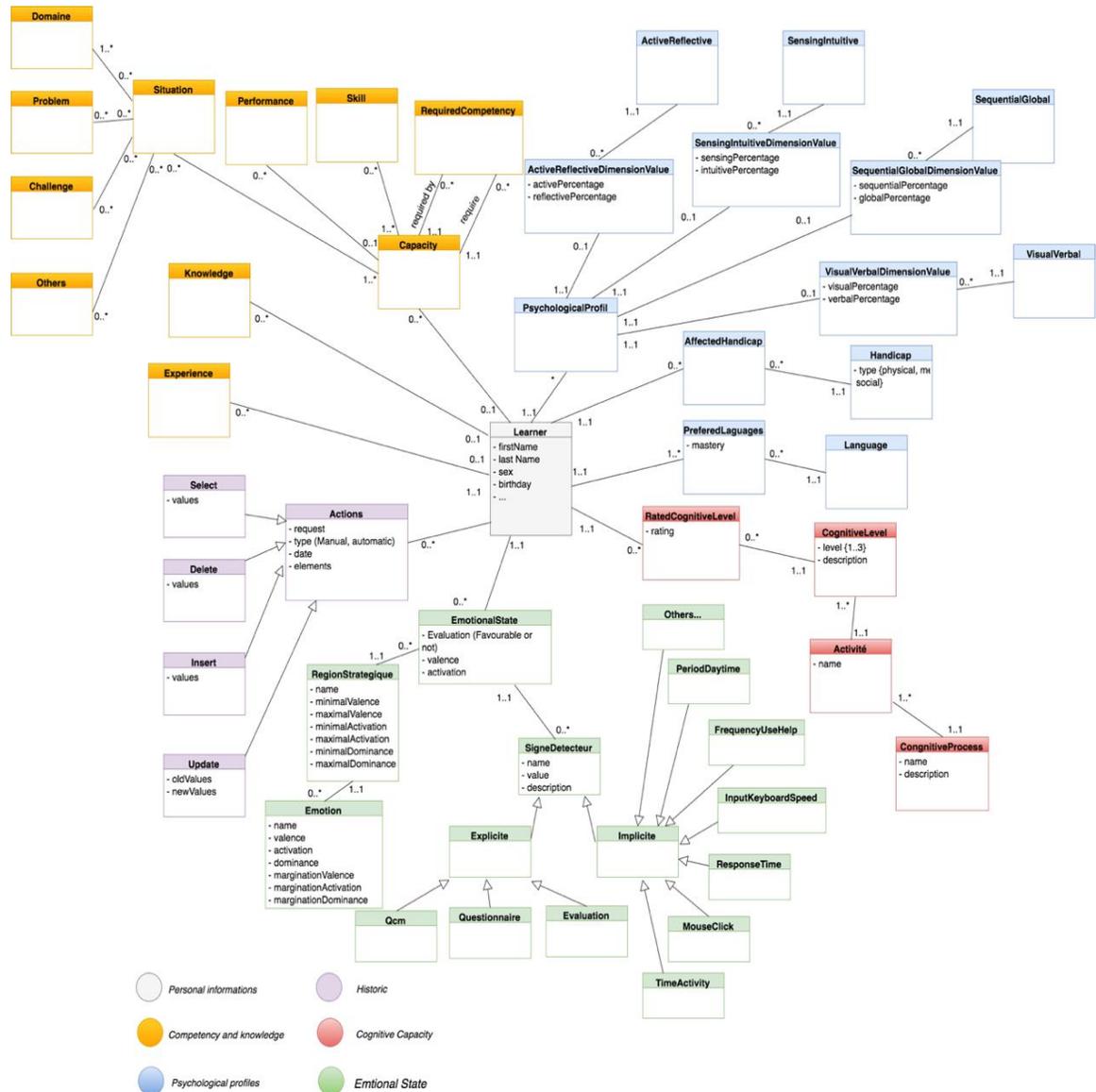


Figure 18 : Le diagramme de classe de notre modèle d'apprenant proposé

3.5 Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre nos contributions en termes du modèle d'apprenant. Dans un premier temps, nous avons présenté les différents modèles et approches trouvés dans la littérature. Puis nous avons discuté notre proposition du modèle apprenant basé sur six facettes. Ces facettes ont fait l'objet d'un ensemble d'étude que nous avons présenté. Et finalement nous avons introduit notre conception du modèle apprenant. De manière générale nous avons resté fidèle à cette conception apart quelques changements concernant les deux facettes historique et compétence que nous allons les présenter plus tard dans cette thèse.

Le chapitre suivant est consacré au dernier modèle qui est le modèle de domaine et il sera structuré de la façon suivante : nous allons premièrement définir en détails ce modèle, puis nous allons présenter une étude des travaux connexes trouvés en littérature, une étude comparative et une analyse critique, et enfin une présentation de notre contribution.

Chapitre IV: L'hypermédia adaptatif " modèle de domaine "

4.1 Introduction

Le modèle de domaine décrit la structure des éléments du cours. À savoir : les connaissances, les concepts, etc. Ainsi que les ressources nécessaires pour présenter ses éléments. À savoir : les vidéos, les articles, les devoirs, les questionnaires, etc.

D'une manière similaire aux modèles d'apprenant et d'adaptation, nous avons dans un premier temps étudié l'ensemble des modèles de domaine proposés dans les modèles de référence pour les hypermédiat adaptatifs comme MUNICH et AHAM. Puis nous avons orienté notre recherche vers les normes techniques d'apprentissage en ligne comme SCORM et CMI5 dans le but d'étudier la manière avec laquelle ils structuraient le contenu du cours à fournir aux apprenants et, d'autre part pour concevoir un contenu conforme à les normes SCORM et CMI5.

Alors Suivant la tradition de proposer de nouveaux modèles, nous aborderons dans ce chapitre nos études réalisés sur ces différentes catégories de travaux cités précédemment tout en détaillant leurs architectures et justifiant nos remarques et critiques qui les concernent. Puis nous présenterons nos idées de conception et d'architecture répondant aux différentes limites et remarques des modèles existants. Ces idées peuvent être résumé principalement dans l'implémentation d'une vision d'abstraction que nous allons discutée par la suite et de l'invention d'une nouvelle architecture que nous avons nommée 'architecture orienté objectif'. Finalement, nous allons introduire notre proposition du modèle de domaine conçu moyennant le diagramme de classe UML2.

4.2 Travaux connexes

Comme mentionné dans l'introduction, Nous aborderons dans cette section nos études réalisées sur les deux modèles de référence (AHAM et MUNICH) et les normes techniques d'apprentissage en ligne (SCORM et CMI5).

4.2.1 AHAM et MUNICH

MUNICH et AHAM sont parmi les modèles de référence qui ont étendu le modèle Dexter pour décrire les systèmes hypermédias adaptatifs. Ces deux modèles sont très similaires, la seule différence principale c'est que MUNICH est conçu en utilisant une architecture orientée objet tandis que AHAM est exprimé en utilisant une approche relationnelle (base de données).

4.2.1.1 Descriptif du modèle de domaine proposé par AHAM et MUNICH

En effet, Le modèle de domaine proposé par ces deux modèles de référence décrit la structure de l'hypermédia en tant qu'une collection des composants connectés qui forment un arbre ou un réseau exprimé par le patron de conception 'composite' [129].

D'une manière générale, nous pouvons considérer que le composant est une représentation abstraite des éléments suivants :

- Un concept (connaissances, informations, exercices, etc.).
- Une relation des concepts.
- Une page ou l'une de ses fragments.

Un concept fait référence à une information brute ou bien à un exercice, tandis qu'une relation de concept peut faire référence à un lien, à une condition préalable ou à une relation de composition.

Dans la Figure 19, nous montrons le modèle de domaine proposé par Munich qui décrit la structure d'un hypermédia comme un ensemble fini de composants associé à trois opérations principales : un résolveur (resolver), un accesseur (accessor) et un constructeur (constructor). Ces concepts sont modélisés par les deux classes Domain et Component. Chaque composant (Component) a une identité unique globale (classe UID). Il est possible de "récupérer" et de "construire" des composants adaptatifs moyennant les trois éléments : le résolveur d'opérations, l'accesseur et le constructeur. En effet, les accesseurs nous permettent d'accéder à un composant en fonction de son UID.

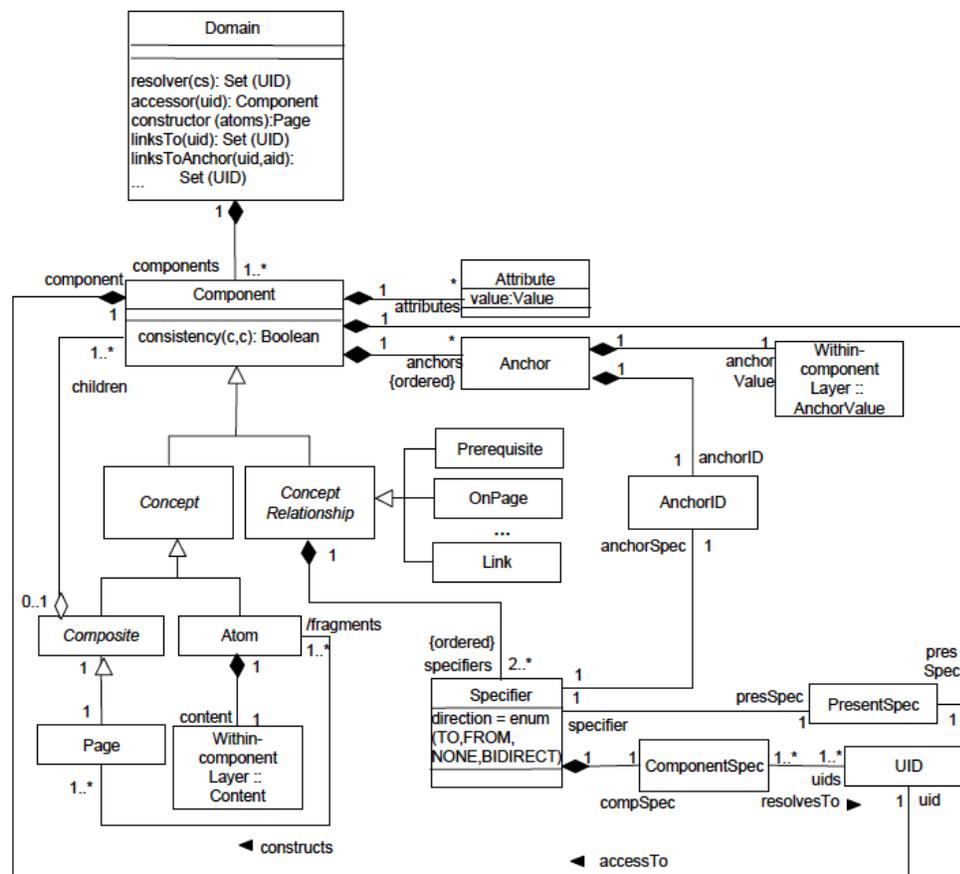


Figure 19 : Diagramme de classe du méta-modèle de domaine proposé par Munich [78]

Cela ne peut être assuré que si les UID fournissent un mécanisme garanti et unique pour adresser et récupérer tout composant du domaine hypermédia. Cependant, nous tenons à

signaler que cet adressage est réalisé de manière indirecte à partir d'entités appelées ancre (classe Anchor) composées de deux parties : la première partie est l'ID d'ancrage (classe AnchorID) qui identifie de manière unique l'ancre dans la portée du composant. Tandis que la deuxième partie exprimée par une valeur d'ancrage (classe AnchorValue) qui représente une valeur arbitraire qui spécifie l'emplacement dans un composant.

Bien qu'il y a plusieurs informations que nous devons expliquer sur le diagramme de classe montré à la Figure 19, nous allons se contenter de détailler deux classes que nous avons jugé avoir une grande importance. À savoir : Component et Domain.

- **Component – Composant** : un composant est une représentation abstraite d'un élément d'information du domaine d'application. Il est représenté par une classe abstraite Component. Un composant peut-être un concept (classe Concept) ou une relation de concept (classe ConceptRelationship). Un concept, à son tour, peut être un atome (classe Atom) ou un composite (classe Composite). Une relation de concept peut être un lien (classe Link) ou une condition préalable (classe Prerequisite), ou une relation entre une partie et une partie (classe OnPage), etc. Finalement, Les informations sur le composant sont exprimées moyennant les attributs (classe Attribute), une spécification de présentation (classe PresentSpec) et une séquence d'ancres (classe Anchor).
- **Domain** : Le domaine est représenté par une classe Domain qui est une composition d'objets de type Component. La classe Domain comprend deux opérations pour les liens et les ancres assurant les fonctionnalités de navigation du système hypermédia à savoir : linksTo et linksToAnchor. L'opération linksTo renvoie l'ensemble des liens qui se résolvent vers un composant spécifique tandis que LinksToAnchor obtient l'ensemble des liens qui se résolvent vers une ancre spécifique.

4.2.1.2 Remarques et discussions

En réalité, MUNICH et AHAM n'ont pas proposé de modèle de domaine, mais plutôt un méta-modèle de domaine. Ce type de modèle est à un niveau d'abstraction très élevé qui se

contente juste de décrire les éléments du modèle d'une façon très générique et abstraite, sans fournir des détails et des moyens d'implémentation et de mise en œuvre.

Cependant, malgré le niveau élevé d'abstraction de ces modèles de domaine, nous avons déduit les remarques suivantes :

Le descriptif de la structure de la page "Classe page" est inclut dans le modèle. Une page est composée de plusieurs fragments qui représentent des concepts atomiques qui font généralement référence au contenu d'apprentissage. Selon cette philosophie implémentée par MUNICH et AHAM, nous avons déduis que la répartition et la structuration des concepts d'apprentissage est déjà effectuée dans le modèle de domaine chose qui va influencer sur la portée du modèle d'adaptation en réduisant son champ d'intervention.

Nous tenons aussi à signaler que même si l'intention des concepteurs de MUNICH et AHAM était simplement de donner une description formelle de la manière dont les concepts sont répartis dans une page et de laisser le modèle d'adaptation construire sa propre structure des concepts, nous pensons que le terme 'page' n'est pas le terme bien adéquat. De notre point de vue, la terme 'page' doit être remplacée par l'un des termes 'cours' ou 'chapitre' à afin que le modèle de domaine reste homogène en reflétant simplement la façon dont les concepts sont structurés et organisés, tout en ignorant tout ce qui est affichage et présentation.

De plus, les dispositifs d'apprentissage sont très nombreux et évoluent constamment au point que nous ne pouvons pas être sûrs de la manière dont le contenu peut être fourni ou présenté aux apprenants dans les années à venir. Nous pensons donc que l'inclusion du terme page « Classe page » dans le modèle de domaine est très limitant.

Enfin, chaque concept devrait avoir une sémantique. La sémantique fait référence à l'objectif ou au but de l'apprentissage d'un concept. ALEM [79] est l'un des modèles de référence qui ont étendu MUNICH en ajoutant de la sémantique aux concepts. Cependant, il s'agit toujours d'une architecture que nous avons nommée « orientée contenu » où le composant est l'élément le plus pertinent et qui autour de lui toute l'architecture du cours est fondée. Ce type d'architecture peut conduire à une représentation imprécise de la structure des connaissances du domaine lié aux objets d'apprentissage [130].

4.2.2 Les normes des techniques d'apprentissage en ligne

Les normes techniques d'apprentissage en ligne comme SCORM et CMI5 sont des modèles de référence pour la conception de contenu d'apprentissage en ligne sur le Web. En effet, ces normes définissent une manière spécifique de construire un contenu d'apprentissage qui a la capacité d'être partagé entre les systèmes d'apprentissage. Dans ce qui suit nous allons premièrement présenter les descriptifs de ces normes puis discuter les différentes remarques et critiques que nous avons déduits.

4.2.2.1 SCORM

Souvent le modèle de référence des objets de contenu partageable connu sous le nom du SCORM est considéré comme une norme en soi or ce n'est pas le cas [131]. En effet, SCORM représente un ensemble des normes techniques pour les produits logiciels d'apprentissage en ligne mis au point par ADL (Advanced Distributed Learning) [132]) qui définit une manière spécifique de construire un système de gestion de l'apprentissage et le contenu de la formation des cours dans le but de pouvoir les partager avec d'autres systèmes compatibles avec SCORM.

Il existe de nombreuses versions de SCORM. Nous avons choisi d'étudier la dernière version du SCORM ' SCORM 2004'. Cette version diffère principalement de ses antécédents dans le fait qu'elle implémente deux nouveaux concepts concernant la navigation et le séquençement.

En effet, SCORM est composé de trois sous-spécifications [133], qui sont :

- Contenu de l'emballage - The Content Packaging : cette section spécifie comment le contenu doit être emballé et décrit. Elle est basée principalement sur XML.
- Run-Time : cette section spécifie comment le contenu doit être lancé et comment il communique avec le système de gestion de l'apprentissage. Elle repose principalement sur ECMAScript (JavaScript), cependant nous n'allons pas aborder

des discussions sur cette section car elle n'a aucune relation avec notre thématique du modèle de domaine.

- Séquençage – Sequencing : cette section décrit les règles de navigation entre les contenus (partie) du cours. Elle est exprimée en XML.

Ces trois sous-spécifications ont été bien décrites dans trois livres officiellement publiés par ADL et qui sont :

- CAM - Content Aggregation Model: modèle d'agrégation de contenu [134].
- RTE - Run-Time Environment : Environnement d'exécution [135].
- SN - Sequencing and Navigation: séquençage et navigation [136].

Nos recherches ont été axées uniquement sur le modèle d'agrégation de contenu, car il contient toutes les informations sur la structure organisationnelle du cours, les composants utilisés dans l'apprentissage et les informations du séquençage de ces composants.

Comme représenté à la Figure 20, la structure organisationnelle de SCORM contient plusieurs composants qui varient du plus petit (Asset) au plus grand (Organisation), et qui peuvent également être divisé en deux parties essentielles : les ressources et organisations.

À l'exception du composant curriculum, nous allons décrire dans ce qui suit chaque composant.

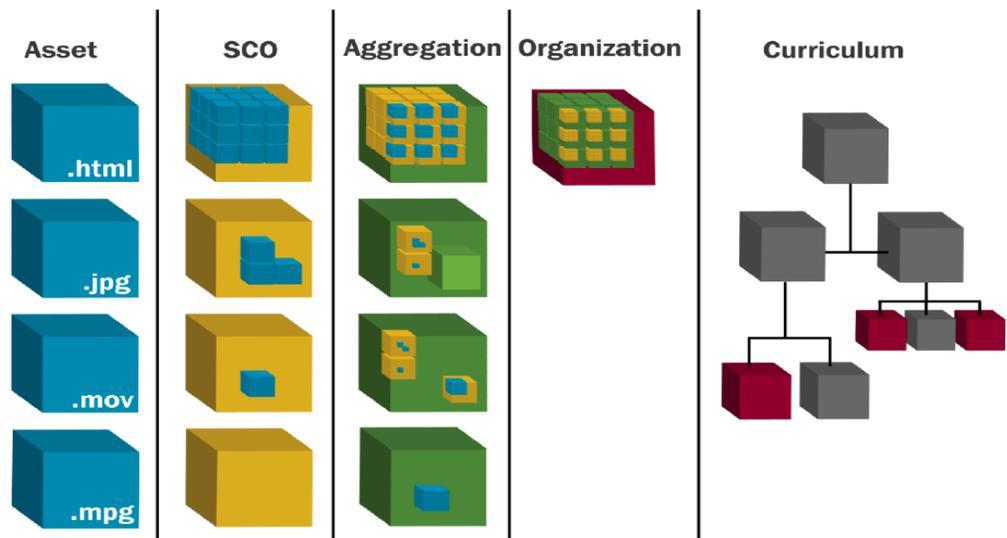


Figure 20 : les Composants du contenu SCORM [137]

- Les ressources :

Les ressources sont une liste des « parties – parts » qui composent le cours et ils sont divisés en deux groupes : les SCO et les Assets. Les Assets sont la représentation physique et électronique des médias, textes, vidéos, etc. Généralement, les Assets ne doivent pas communiquer avec les systèmes externes ainsi qu'ils sont considérés les éléments les plus réutilisables dans le sens où Ils peuvent être partagés, redéployés, réorganisés, réutilisés dans de nombreux contextes et applications. Les SCO représentent les objets de contenu partageables composé de plusieurs Assets. Ces objets sont considères la plus petite unité logique qui peut être transmise à l'apprenant (leçon, simulation, etc. [138]).

- Les organisations :

Les organisations sont des groupements logiques des ressources du cours qui sont décrites par un fichier nommé manifeste. Ce fichier peut contenir plusieurs organisations, mais on utilise souvent une seule organisation nommée "organisation par défaut". Les autres différentes organisations d'un cours peuvent être utilisées comme différentes versions d'affichage et de construction d'un cours.

Une organisation a une structure hiérarchique sous la forme d'un arbre. Chaque nœud (élément) de cet arbre peut avoir des enfants qui y sont connectés. Si le nœud a des enfants, il sera considéré comme une agrégation. Sinon il doit impérativement faire référence à une ressource (contenu).

Une agrégation n'est pas autorisée à faire référence à des ressources dans le sens où elle est considérée comme collections des SCO et Assets.

En plus de cette structure organisationnelle, SCORM prend en charge de nombreuses spécifications de séquençage permettant aux auteurs de contenu de :

- Contrôler l'ordre dans lequel les SCO sont livrés aux apprenants.
- Spécifier certaines conditions préalables aux SCO pour s'assurer que les apprenants connaissent certaines informations ou peuvent compléter une SCO particulière avant de passer à une autre matière ou à une autre SCO.

- Nul besoin de s'appuyer sur des technologies de navigateur telles que HTML / JavaScript
- Prises-en charge des scénarios d'apprentissage déconnectés.

Malgré la révolution du xAPI, SCORM reste utile et permet d'exécuter des tâches que xAPI ne les supportent pas. En réalité, il ne faut pas dire que xAPI est un successeur du SCORM dans le sens où ils ne sont pas du tout la même chose. Cela rejoint ce que Art Werkenthin - président Risc, Inc - a déclaré dans une interview [145] : «SCORM et Experience API peuvent coexister ensemble, mais ne sont pas liés l'un à l'autre dans le sens que les concepteurs de cours peuvent utiliser l'une des deux dans la conception de leur modules d'apprentissage " – « both SCORM and Experience API can co-exist together but they are really unrelated to each other, in the sense that course designers can go one way or another with their modules ».

De plus, de nombreux développeurs ont trouvé que la xAPI est très ouverte et offre beaucoup de liberté, chose qui parfois rend les concepteurs confus et perdus. Ben Clark - Développeur SCORM et collaborateur de Rustici Software - explique dans une interview [146] qu'avec Experience API, les développeurs peuvent faire beaucoup au point de ne pas savoir à quoi s'attendre du xAPI.

De ce fait, la spécification CMI5 a été élaborée afin de remettre certaines règles au-dessus du xAPI et devenir un cas d'utilisation du xAPI dans le monde des LMS.

Cette nouvelle spécification a été développée conjointement par Advanced Distributed Learning (ADL) et le Comité de la formation assistée par ordinateur du secteur de l'aviation (AICC). Les concepteurs du CMI5 visaient à reprendre les avantages du xAPI et de SCORM tout en tenant compte des limitations de chacun d'eux et en ajoutant de nouvelles fonctionnalités.

Comme toute spécification, ils existent de nombreuses éditions. La 'Quartz - 1ère édition' [147] est l'une des spécifications du CMI5 publiée en 2016. Cette édition décrit et ajoute quelques règles d'utilisation de la spécification avec les systèmes de gestion de l'apprentissage traditionnels (LMS) et décrit également les données de structure des cours.

Dans nos recherches, nous avons conçu le diagramme de classe - Figure 24- qui englobe tous les éléments qui composent la structure du cours défini par CMI5 en utilisant un formatage XML.

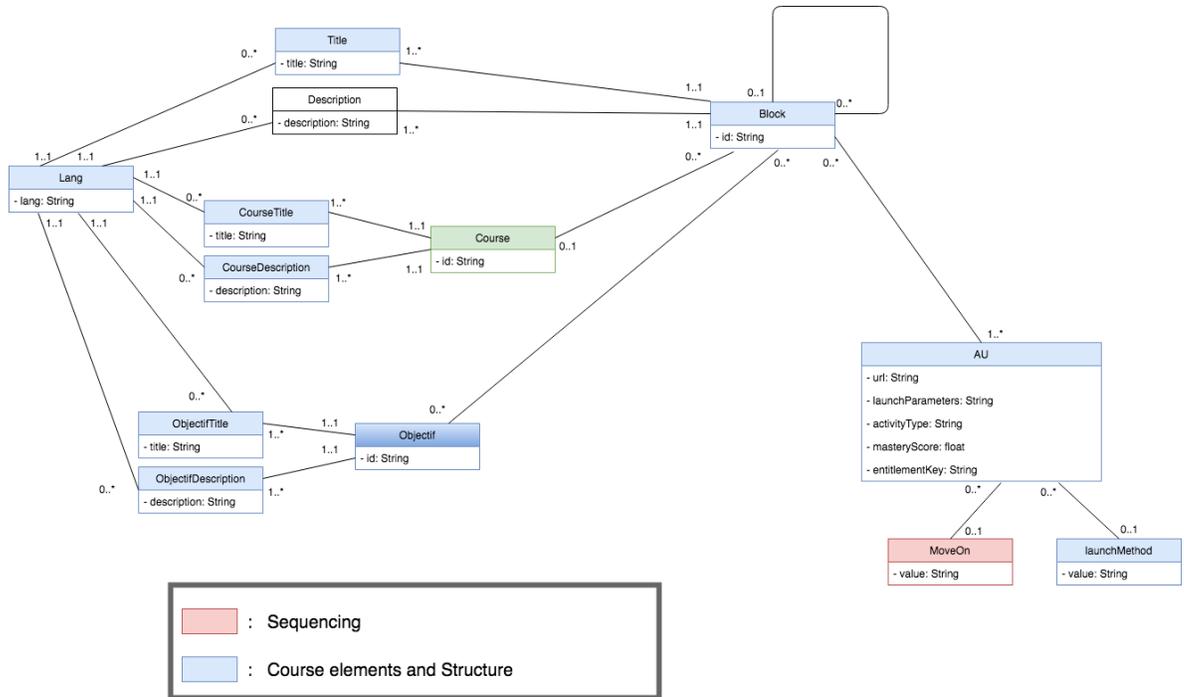


Figure 24 : Diagramme des classes UML2 de la structure du cours en CMI5

Dans ce qui suit nous présentons des descriptifs des éléments présents dans notre conception :

- Le cours – course : est une classe qui a un identifiant ‘IRI’ unique, un titre (dans de nombreuses langues), une description (dans de nombreuses langues) et plusieurs blocs.
- Un bloc : a un identifiant ‘IRI’ unique, un titre (dans de nombreuses langues), une description (dans de nombreuses langues) et une liste d’une ou plusieurs unités assignables (AU). Les blocs peuvent également contenir des références à des objectifs apprentissages ou à d’autres blocs.

- Objectif : possède une adresse 'IRI' unique pour l'objectif d'apprentissage en question, un titre (dans de nombreuses langues) et une description (dans de nombreuses langues).
- Unité assignable (AU) : cette classe est l'élément principal de cette spécification. Elle représente le contenu d'apprentissage décrit par un identificateur 'IRI' unique, une propriété launchMethod, une propriété masteryScore, une propriété moveOn, une propriété activityType, des objectifs, des launchParameters, un autlementKey, un titre (dans de nombreuses langues), une description (dans de nombreuses langues) et un URL (valeur relative ou complète). Cet URL fait référence au point de lancement de l'UA.

Il est bien clair que le diagramme des classes de structure du cours en CMI5 est bien moins compliquée que celui du SCORM. Dans le tableau 17 nous présentons une comparaison côte à côte de SCORM et de cmi5 [148] :

Fonctionnalité	SCORM	CMI5	Description
Hébergement du contenu n'importe où	Non	Oui	Dans SCORM, tout le contenu (ressources) doit résider dans le système de gestion de l'apprentissage. CMI5 n'a aucune restriction, le contenu peut résider n'importe où, il suffit de spécifier l'URL de celui-ci.
Remédiation	Oui	Non	Avec SCORM, l'assainissement peut être mis en œuvre par le biais de règles logiques « séquençage simple ». CMI5 n'a pas de règles de correction. La correction est spécifique au contenu et au fournisseur LMS.
Conditions préalables	Oui	Non	Avec SCORM, les conditions préalables peuvent être implémentées par des règles logiques de "séquençement simple". CMI5 a la notion de critère "MoveOn" pour l'achèvement de chaque UA.
Contenu distribué	Non	Oui	Avec SCORM, tout le contenu doit être situé dans le package et généralement stocké dans le même domaine que le système de gestion de l'apprentissage. Avec CMI5, le contenu ne doit pas obligatoirement figurer dans le package et peut être situé sur n'importe quel

			emplacement du domaine que sa soit local ou distant.
--	--	--	--

Tableau 17 : Comparaison côte à côte de SCORM et de cmi5 [148]

4.2.2.3 Remarques et Discussions

Nos remarques concernant SCORM et CMI5 sont très nombreuses. En effet, SCORM dispose d'un mécanisme de séquençage très complexe qui offre de nombreuses fonctionnalités et possibilités, tandis que CMI5 a été conçu pour ne pas inclure de règles de séquençage dans la structure du cours. La raison derrière ceci réside dans le fait que les clients (tuteurs) des structures de cours préfèrent choisir leurs propres règles de séquençage en fonction de leurs besoins. CMI5 offre une méthode plus simple introduite par la notion "MoveOn" qui peut être associée à chaque unité assignable (AU). Cette notion "MoveOn" détermine si l'apprenant a suffisamment complété l'AU pour pouvoir "passer" à la prochaine AU.

Un autre élément très important que nous avons remarqué est la sémantique. En effet, SCORM et CMI5 supportent cette notion en l'incluant dans leur contenu sous forme d'objectifs. La seule différence est que dans SCORM, les objectifs peuvent être utilisés pour les mécanismes du séquençage. Tandis que dans CMI5 ils n'ont aucun effet. En outre, les critiques concernant l'architecture orientée contenu cités précédents sont aussi applicables pour SCORM et CMI5 dans le sens où nous pensons que le modèle de domaine devrait rester aussi abstrait que possible et se contente juste de décrire les structures du cours, des connaissances et des concepts, tout en ignorant tout ce qui est structure et présentation de la page à transmettre à l'apprenant.

Notre troisième remarque concerne la représentation du contenu d'apprentissage. En effet, dans SCORM et CMI5 le contenu n'a qu'une seule représentation (Image, vidéo, texte ...).

Finalement, SCORM et CMI5 ont été délibérément conçues pour fournir du contenu à un apprenant et non pas pour favoriser ou supporter l'adaptation. Cependant, nous avons remarqué qu'il y a des mises en œuvre partielle et minimale des techniques d'adaptation du contenu. À savoir : le support de multiples valeurs dans différentes langues pour les titres et

les descriptions des éléments du cours. Ceci peut être utilisé pour adapter le contenu en fonction des préférences de langue de l'apprenant.

4.3 Notre proposition

Avant de présenter notre modèle de domaine, nous allons discuter d'abord nos idées de conception réalisées pour résoudre les diverses remarques et critiques présentés précédemment concernant les modèles de référence MUNICH et AHAM et les normes des techniques d'apprentissage en ligne SCORM et CMI5

4.3.1 Nos solutions et idées de conception

La première démarche que nous avons implémentée est l'abstraction du modèle de domaine. En effet, nous allons continuer à soutenir notre vision de l'abstraction du modèle de domaine en ignorant tout élément pouvant décrire une page.

Deuxièmement, nous avons conçu une nouvelle vision fondée autour des objectifs d'apprentissage. Cette vision consiste à construire le cours autour des objectifs plutôt qu'autour du contenu. Cette nouvelle architecture accorde plus d'attention à la sémantique et aux motivations d'apprendre un concept. De plus, nous pensons que cette nouvelle vision facilitera également le processus d'adaptation, car la structure hiérarchique du cours ne se présente plus sous la forme d'arborescence de contenu, mais sous la forme d'une arborescence d'objectifs contenant plusieurs types de sa représentation. Ainsi, au lieu d'avoir plusieurs structures orientées contenu pour le même cours (voir Figure 25) où chaque structure fait référence à un type de représentation, Nous n'aurons qu'une seule et unique structure orientée objectif (voir Figure 26).

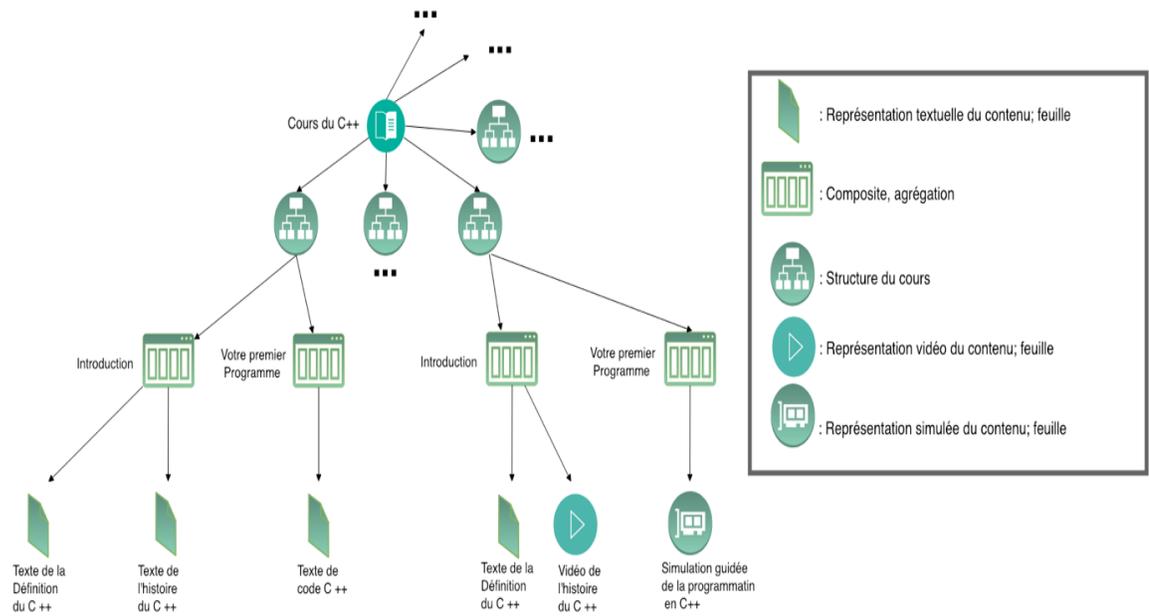


Figure 25 : Exemple de structure de cours orientée contenu

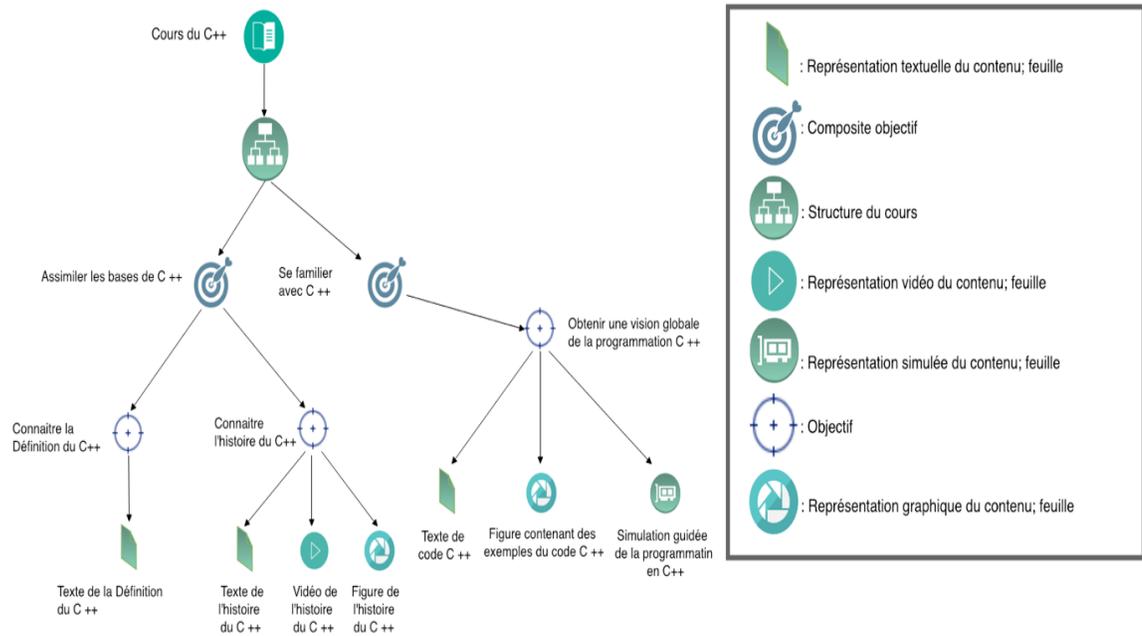


Figure 26 : Exemple de structure de cours axée sur les objectifs

Finalement concernant le séquençage, nous avons implémenté premièrement une règle concernant les présentations du contenu d'apprentissage (AU). En effet, nous avons repris

la notion du "MoveOn" du CMI5 pour l'achèvement des AU individuelles. Cette notion aura l'une des valeurs suivantes [147] : {"Réussi", "Complété - Completed", " Terminé et Passé – Completed and Passed", " Terminé ou Passé – Completed Or Passed", "non applicable – Not Applicable"}

Une autre règle concernant les objectifs a été implémentée dans notre modèle. Cette règle consiste à que chaque objectif ayant des conditions préalables. Ces conditions peuvent être utilisées pour contrôler l'apprentissage ou juste uniquement à des fins informatives et descriptives.

4.3.2 Notre proposition

Outre que les idées de conception détaillées ci-dessus, nous avons introduit dans notre modèle de domaine proposé dans la Figure 27 une structure globale décrivant la structure externe d'un cours et qui est Ordonné comme suit :

Discipline -> Cours -> Module -> Leçon -> Chapitre.

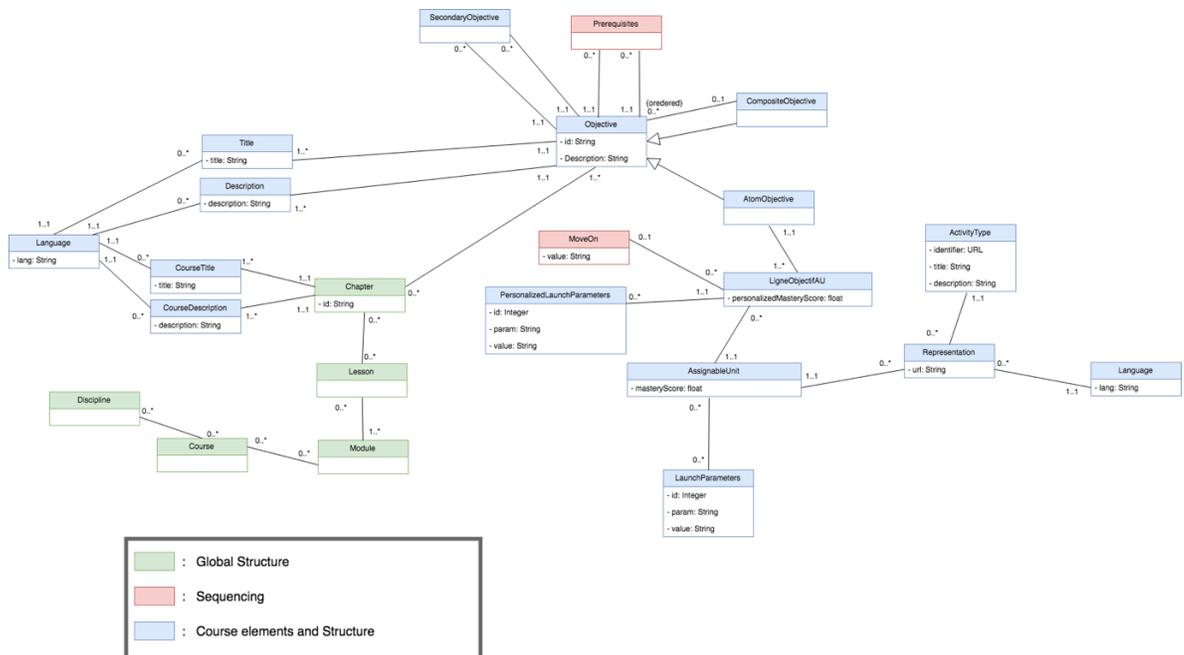


Figure 27 : Diagramme de classe du modèle du domaine proposé

Étant donné que le chapitre représente le plus petit regroupement logique deS concepts (connaissances) à livrer à l'apprenant. Il se compose de plusieurs objectifs comportant trois types de relations :

- Le patron de conception ‘composite’ : nous avons utilisé ce patron de conception pour former une structure logique d'objectifs sous la forme d'un arbre.
- Conditions préalables – Prerequisites : cette relation peut être utilisée soit pour contrôler l'apprentissage (séquençage), soit uniquement à des fins informatives et descriptives.
- Objectifs secondaires - Secondary Objectives : En plus de l'objectif principal, chaque objectif peut être lié à de nombreux objectifs secondaires. Ce type de relation sera toujours utilisé à des fins informatives et d'adaptation et n'aura aucune influence sur le processus de séquençage.

Dans notre modèle, nous avons implémenté notre architecture orientée objectif. De ce fait, la classe Objectif est devenu l'élément principal et pertinent de notre modèle qui moyennant la classe ‘CompositeObjective’ peut former une structure logique d'objectifs sous la forme d'un arbre. D'une façon générale, les ‘CompositeObjective’ sont considérés comme des conteneurs pour les objectifs atomiques et composites. Seuls les objectifs atom (feuille) sont autorisés à avoir des unités d'apprentissage (classe AssignedLearningUnit).

L'unité d'apprentissage (LU) représente la définition abstraite de la ressource utilisée pour atteindre certains objectifs. Cependant vu que l'unité d'apprentissage peut résider partout, nous avons utilisé une URL relative ou entièrement qualifiée faisant référence au point de son lancement.

En outre, la même LU peut être utilisée par plusieurs objectifs et peut avoir de nombreuses représentations dans différents types d'activités (Texte, image, vidéo) ainsi dans différentes langues. Ces types d'activité sont identifiés par des URL. Ce choix suit nos fins d'inclure des maintenant le vocabulaire du xAPI et du web sémantique dans notre modèle de domaine. Dans le tableau 18 nous présentons certains types d'activité inspirées du vocabulaire proposé par xAPI et que nous avons utilisé dans notre modèle.

Type d'activité exprimé en URL	Titre	Description
http://activitystrea.ms/schema/1.0/image	Image	Représente une image graphique.
http://adlnet.gov/expapi/activities/media	Média	Le média fait référence au texte, l'audio ou la vidéo utilisé pour transmettre des informations. Le média peut être consommé (suivi: terminé), mais ne comporte pas de composant interactif pouvant entraîner un score, un succès ou un échec.
http://adlnet.gov/expapi/activities/simulation	Simulation	Une simulation est une tâche tentée ou une série de tâches exécutées dans un contexte artificiel qui imite la réalité. Les tâches prendraient probablement la forme d'interactions ou la simulation pourrait être un contenu autonome.

Tableau 18 : Certains types d'activité utilisés dans le vocabulaire Experience API [149]

Finalement, la classe des paramètres de lancement 'Launch Parameters' et l'attribut 'Score de maîtrise - masteryScore' ont été intentionnellement inclus deux fois, d'abord dans l'unité d'apprentissage, puis dans la classe AtomObjective pour la simple raison de donner aux concepteurs de cours le choix de fournir leurs propres valeurs tout en recommandant l'utilisation des valeurs par défaut valeurs.

4.3.3 Outils d'implémentation et d'utilisation

D'une façon similaire au modèle d'adaptation nous avons développé un ensemble d'outils permettant l'utilisation de notre modèle de domaine. Nous avons choisi de l'élaborer dans une application Web Java EE. Nous avons également choisi de prendre en charge dans la couche de présentation un client léger qui ne nécessite qu'un navigateur présent sur toutes les machines, ce qui simplifiera le travail en éliminant le besoin de diffuser et d'installer le logiciel client sur les machines des apprenants.

Nous avons développé trois gestionnaires en total qui sont :

- Gestionnaire des Cours (Figure 28) : ce gestionnaire permettra de gérer les informations générales d'un cours. À savoir son titre et sa description. Nous avons implémenté le multi-langage par la possibilité d'ajouter plusieurs titres et descriptions en différentes langue à un cours.

Finalement, nous avons développé un tableau de bord concernant les niveaux d'adaptation d'un cours. C'est à dire que pour chaque cours sélectionné nous faisons un calcul en pourcentage des éléments d'adaptation (type de média, niveau de détail, relation avec d'autres sujets, multi-langues) et nous affichons les résultats dans le diagramme.

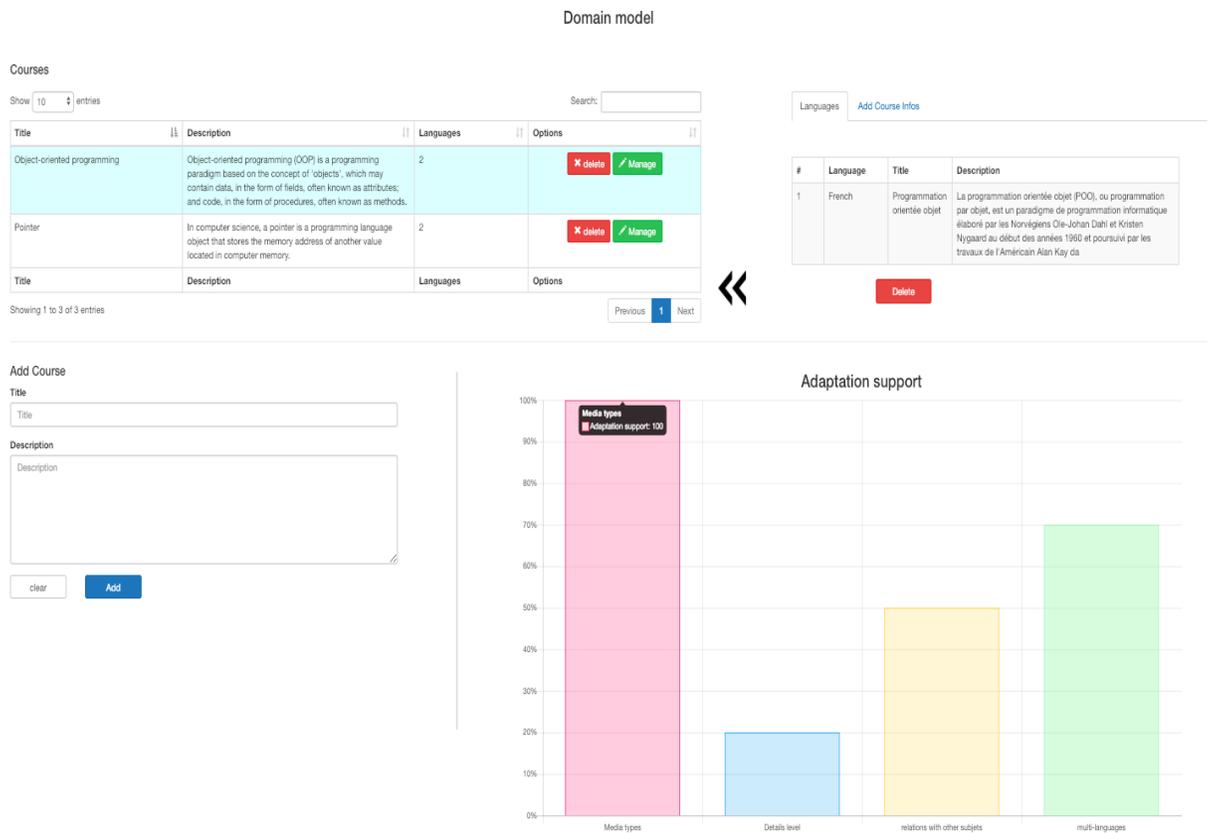


Figure 28 : Gestionnaire des Cours

- Gestionnaire des AUs (Assignable Unit) : cet outil (Figure 29) a comme fonctionnalité de gérer les informations des AUs et leurs présentations. Nous avons

aussi implémenté un affichage en box (shadowBox) de tout type de présentation sans exception en utilisant l'Iframe.

Assignable Units

List of Assignable Units

Show entries Search:

Name	Representations	Mastery Score	Options
Pointer definition	5	10.0	X delete
Pointer Description	0	12.0	X delete
Pointer in action	0	16.0	X delete

Showing 1 to 3 of 3 entries [Previous](#) [1](#) [Next](#)

Add Assignable Unit

Name :

Mastery Score :

[clear](#) [Add](#)

Representations

Show entries Search:

Details level	Type	Languages	Options
high	Video	French	preview delete
low	Video	English	preview delete
medium	Simulation	English	preview delete
low	Text	French	preview delete
high	Video	Arabe	preview delete

Showing 0 to 0 of 0 entries [Previous](#) [Next](#)

Add Representation

Language :

Type :

Details level :

Url or Upload File

[clear](#) [Add](#)

Figure 29 : Gestionnaire des AUs (Assignable Unit)

- Gestionnaire des Objectifs (Figure 30) : cet outil représente la création du graphe des objectifs d'un cours. Nous avons choisi d'afficher la hiérarchie du cours sous la forme d'un arbre (arborescence) qui selon un élément choisi nous affichons l'ensemble des détails, représentations, pré requis et objectives secondaires tout en permettant l'ajout et la suppression.

Pointer course

Objectives hierarchy

- ▼ Pointer Course
 - ▼ Understand the notion of the pointer
 - ▶ know the pointer definition
 - ▶ know the pointer Utility
 - ▶ practically use pointers

Add Objective

Title

Description

Q AssignableUnit

➔➔

Representations of Pointer definition

Type	Details Level	Language	Options
Pdf file	high	English	<input type="button" value="preview"/>
Pdf file	high	Arabic	<input type="button" value="preview"/>
Video	medium	English	<input type="button" value="preview"/>
Image	medium	French	<input type="button" value="preview"/>
Video	low	French	<input type="button" value="preview"/>

Figure 30 : Gestionnaire des Objectifs

4.4 Conclusion

On s'est intéressé dans ce chapitre à nos études réalisées sur le modèle de domaine.

Dans un premier temps, nous avons présenté l'ensemble des travaux connexes puis suivant une étude technique et critique nous avons proposé notre nouveau modèle de domaine.

Les normes d'apprentissage en ligne tels que SCORM et CMI5 ont fait aussi l'objet de nos études dont nous avons étudié premièrement leur architecture puis réaliser leur conception UML afin de mieux les analyser.

Puis nous avons présenté trois outils que nous avons développés exploitant notre modèle de domaine tout en le mettant en œuvre.

Le modèle de domaine que nous avons conçu représente le troisième fragment du puzzle pour développer notre hypermédia adaptatif. De ce fait dans le prochain chapitre nous allons présenter l'architecture globale de notre hypermédia adaptatif tout en indiquant l'ensemble des outils et processus à développer pour son fonctionnement.

Chapitre V : Hypermédia Adaptatif " Architecture et Implémentation

5.1 Introduction

Dans les chapitres précédents, nous avons étudié et développé plusieurs propositions de conception de modèle pour chacun des trois modèles requis pour les systèmes hypermédia adaptatifs.

Ainsi, et comme prochaine étape de notre recherche, nous avons travaillé sur l'architecture globale de notre hypermédia adaptatif en apportant d'abord quelques modifications locales concernant chacun des trois modèles, puis nous avons apporté quelques ajustements pour les interconnecter et les relier. Cet ensemble de modifications sera présenté en détails dans ce chapitre.

Un modèle intelligent que nous avons conçu fera aussi l'objet de ce chapitre. Ce modèle est là pour supporter les hypermédiads adaptatifs et fonctionnera parallèlement avec les trois modèles tout en les permettant de devenir plus dynamiques et plus flexibles en surmontant les deux principaux problèmes de flexibilité conceptuelle et de démarrage à froid.

Et enfin, nous présenterons l'architecture globale de notre hypermédia adaptatif ainsi que tous les processus et moteurs d'arrière-plan nécessaires au fonctionnement de notre hypermédia adaptatif.

5.2 Conception Global des trois modèles

Dans cette section, nous allons commencer par présenter notre proposition des trois modèles, liés et ajustés dans un seul diagramme de classes UML (Figure 31). Et afin de rendre le modèle visible et lisible, nous avons utilisé différentes couleurs pour différencier d'abord les différents modèles, puis pour nous concentrer sur chacune de leurs facettes et de leurs composants.

5.2.1 Facette historique du modèle apprenant

Comme mentionné dans le chapitre 3, notre modèle d'apprenant proposé avait une facette nommée historique où nous enregistrons et suivons tous les types d'expériences d'apprentissage.

Cependant, ceci a été implémenté de manière très basique où nous avons stocké toutes les transactions effectuées par cet apprenant dans plusieurs instructions Insert / delete / update / select.

Le problème et l'inconvénient de cette proposition était le manque de sémantique et d'interopérabilité avec d'autres systèmes, où aucun système ne peut utiliser nos données historiques stockées et journalisées.

Ainsi, et comme mentionné dans le chapitre 4, l'xAPI et son cas d'utilisation «CMI5» seront toujours pour nous une source d'inspiration, car ils représentent une spécification très prometteuse qui permet aux logiciels d'apprentissage en ligne d'enregistrer et de suivre tous les types des expériences d'apprentissage.

Suivant notre intention de supporter pleinement ces spécifications, nous avons introduit le «modèle de données de déclaration xAPI», qui est la partie principale de cette spécification, qui décrit la structure et les propriétés de la déclaration 'Statement' (historique) pour tout type d'expériences et événements concernant l'apprenant.

En bref, le modèle de données de xAPI se présente sous la forme: «Acteur + Verbe + Activité + Propriétés supplémentaires».

Et c'est seulement en utilisant cette structure (Figure 32) que nous pouvons déjà sentir l'extensibilité et le monde ouvert de cette spécification, d'où la nécessité de lui redonner quelques règles et de la personnaliser pour l'adapter à notre cas d'utilisation particulier.

xAPI Statement



Figure 32 : Structure de données de xAPI

Puisque nous allons gérer ces informations avec une architecture orientée objet, puis les stocker dans une base de données relationnelle, nous avons concentré nos études uniquement sur les sections relatives à toutes les informations structurelles et propriétés de l'instruction xAPI.

Dans le tableau suivant (Tableau 19), nous présenterons en détail les principales propriétés d'une instruction xAPI que nous avons choisi d'implémenter en expliquant tous les ajustements que nous avons apportés pour les adapter à notre cas d'utilisation.

Propriétés xAPI	Descriptions	Ajustements	Classes
Acteur	une personne ou groupe de personne.	L'acteur ne peut être qu'un agent, qui est l'apprenant lui-même dans notre cas.	Learner
Verbe	Action prise par l'acteur.		Verb ,VerbDisplay, Language
Objet	L'objet définit la	L'objet ne peut	Representation

	chose sur laquelle on a agi. Il peut s'agir d'une activité, d'un agent / groupe, d'un sous-relevé ou d'un renvoi d'instruction.	être qu'une activité (chapitre, exercice, quiz...)	
Résultat	Détails représentant le résultat mesuré d'une activité (objet).		Propriété situé à l'intérieur de la classe Action/Statement
Inverse Functional Identifier (IFI)	Valeur d'un agent ou d'un groupe identifié dont la garantie est de ne jamais faire référence qu'à cet agent Agent or Identified Group.	Chaque apprenant (acteur) peut avoir plusieurs valeurs de l'IFI, mais sous différents formats (mbox, compte ...) et utiliser l'un d'eux pour l'identifier dans une activité.	InverseFunctionalIdentifier et ses enfants (héritage)
Timestamp	Moments des évènements		propriété à l'intérieur de la classe Action/Statement
Stored	moment quand cette déclaration a été enregistrée.		propriété à l'intérieur de la classe Action/Statement

Attachments	Il peut s'agir d'un essai, d'une vidéo ou de l'image d'un certificat délivré à la suite d'une expérience.		Attachment, Title, Description, UsageType, Language
-------------	---	--	---

Tableau 19 : Propriétés d'une instruction xAPI

Comme indiqué dans le tableau 19, chaque instruction xAPI est associée à une propriété 'Object' qui fait référence à une activité.

Dans le contexte hypermédia adaptatif, le terme activité fait référence au contenu d'apprentissage qui réside dans le modèle de domaine et précisément à la représentation réelle de ce contenu.

Nous avons également pensé à attribuer à chaque instruction xAPI de l'apprenant l'état émotionnel enregistré et l'objectif d'apprentissage associé, qui seront ajoutés à la compétence et aux connaissances de cet apprenant en fonction de ses résultats à la fin de l'activité. Cela a été mis en œuvre dans notre modèle global par une relation directe entre ces différents éléments.

En bref, nous voulions avoir toutes les informations possibles sur les activités de l'apprenant, ainsi que sur tous les objectifs et réalisations.

Dans la Figure 33, nous montrons un exemple de la façon dont l'information sera divisée sur les différents modèles.

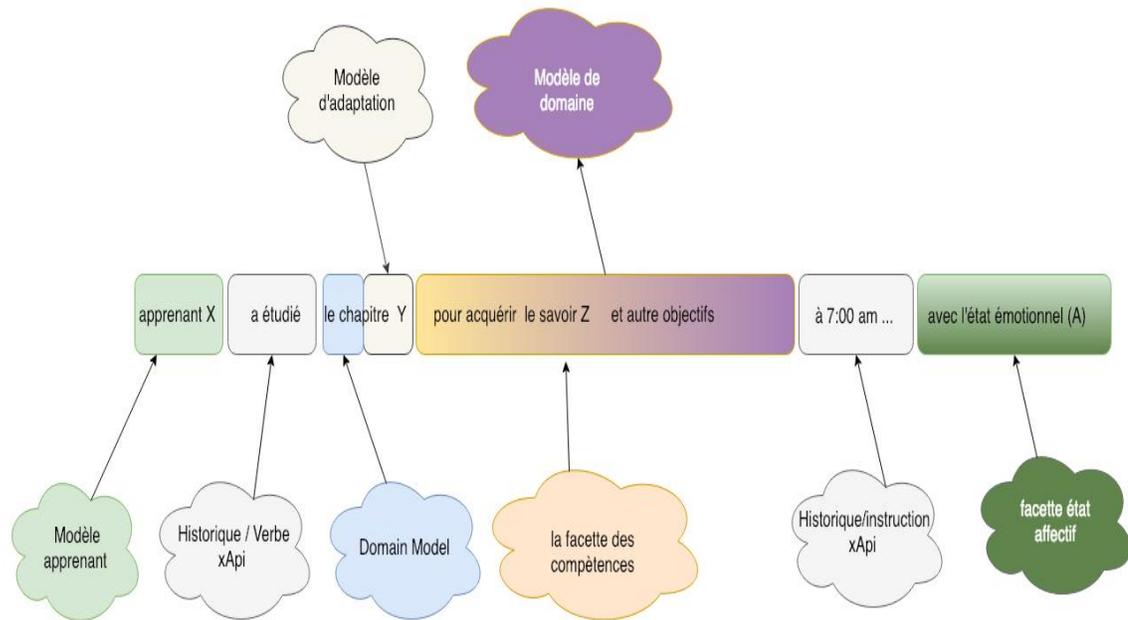


Figure 33 : Exemple de données de xAPI

L'instruction xAPI peut également contenir d'autres informations, telles que les préférences de langue et audio, etc. mais nous avons choisi de ne pas les introduire dans la facette historique du modèle de l'apprenant, car ils ont déjà été introduits dans les autres facettes, telles que la "facette état émotionnel" où les préférences audio et autres propriétés font partie de ses détecteurs et signes.

5.2.2 Facette des Compétences et Connaissances

Définir et modéliser les connaissances et les compétences de l'apprenant a été au centre de nos travaux présentés dans le chapitre 4, dans lesquels nous avons choisi l'approche basée sur les compétences comme support pour l'introduire dans notre modèle d'apprenant.

Malheureusement, avec le temps et les progrès de nos recherches et de nos travaux sur le modèle de domaine, nous avons remarqué certains problèmes et critiques.

En effet, en utilisant et en différenciant plusieurs éléments qui semblent similaires, tels que les compétences, la performance, etc., le niveau de complexité augmente et nécessite une gestion accrue des données ainsi que le développement de plusieurs processus.

En outre, nous pensons qu'il n'est pas approprié de conserver les informations réelles sur les connaissances et les compétences de l'apprenant sur le modèle même parce que ces informations appartiennent au modèle de domaine. C'est là que nous avons inventé une nouvelle architecture appelée "Structure orientée objectif" qui consiste à faire de l'objectif d'apprentissage l'élément principal autour duquel s'articulent les connaissances et le contenu du cours.

Ainsi, en réponse à ces réflexions, nous avons étendu notre architecture «orienté objectifs» afin de prendre en charge la diversité et la différence entre compétences, connaissances et savoirs tout en les reliant à l'apprenant en tant qu'objectifs atteints et en supprimant tous les travaux précédents que nous avons effectués dans cette facette.

5.2.3 Divers

En plus de ces modifications précédentes, voici un résumé des autres ajustements que nous avons apportés :

- Nous avons changé le nom de la classe 'Page' en Container dans le diagramme de classes du modèle d'adaptation. Cette classe fera référence à l'élément qui contiendra tous les composants graphiques qui vont ensemble pour présenter un type d'activité spécifique. Notre vision du support de présentation multi-type était la raison principale de ce changement. En effet, nous prévoyons que notre hypermédia d'adaptation se présentera sous la forme d'un service Web fournissant un contenu adéquat aux apprenants, quel que soit le type d'appareil utilisé. Nous avons également ajouté pour chaque conteneur un type d'activité (Classe ContainerActivityType) décrivant la portée et l'utilisation de ce conteneur (Exercice, cours, démonstration ...).

- Il était prévu que les modèles d'adaptation et de domaine soient connectés, mais la question était toujours de savoir où et comment. En fait, cette connexion doit toujours être dynamique et réalisée en temps réel car le même contenu extrait du modèle de domaine peut être affiché sous plusieurs formes (fournies par le modèle d'adaptation) en fonction des préférences de l'apprenant et inversement. Nous avons donc délégué ce processus à une interface "ContentProvider" qui sera expliquée plus loin dans ce chapitre pour choisir le contenu approprié et l'associer au composant en question.
- Dans le modèle de domaine, nous avons deux éléments qui exigent en permanence que les fournisseurs les alimentent et les gèrent. Le premier élément est l'objectif qui représente l'élément principal du graphe de la connaissance où chaque nœud (objectif) sera introduit et géré par un fournisseur spécifiant son type (compétence, connaissances, compétence). Le deuxième élément est la représentation physique d'une unité d'apprentissage (Vidéo, Image, Texte) où les fournisseurs peuvent télécharger et ajouter du contenu d'apprentissage. La raison derrière cela est que nous prévoyons que les étudiants seront peut-être familiarisés avec le contenu développé ou introduit par un fournisseur donné, à partir duquel nous pourrions l'exploiter dans le contexte de l'adaptation.
- Plusieurs autres modifications ont été apportées au modèle de domaine et que nous les avons constatés qu'au moment de développement d'un ensemble d'outils dédié à gérer le modèle de domaine.

5.3 Modèle intelligent

Au fil des jours, la recherche scientifique nous apporte de nouveaux éléments et relations qui influencent le processus d'apprentissage et qui doivent être ajoutés manuellement et ensuite appliqués par notre système hypermédia adaptatif. Malheureusement, et comme on

le sait, de tels fréquents changements au niveau conceptuel sont souvent coûteux en termes de performances et temps et ont des risques en termes d'intégrité des données.

En outre, les travaux et les références qui forment la base de notre les modèles peuvent ne pas être entièrement applicables et dépendent du contexte.

Concernant le problème du "démarrage à froid", le principal défi a toujours été comment collecter des données sur les apprenants sans lui questionner directement par des questionnaires, surtout au moments de ses premières interactions avec le système où les apprenants peuvent perdre leur motivation et s'ennuyer si nous leur souhaitons la bienvenue avec des pré-tests et des quiz.

Alors, pour surmonter ces problèmes, nous nous sommes inspirés de la nature humaine (l'apprenant) lui-même. Et nous proposons pour les systèmes adaptatif hypermédia un système évolutif et flexible qui imite la complexité humaine et qui a la capacité d'apprendre et de prendre des décisions automatiquement.

5.3.1 Inspiration et Projection

Au début de notre réflexion, nous avons pensé à un modèle intelligent qui apprend et prend automatiquement des décisions. En fait, ce type de modèle ressemble au travail effectué sur l'intelligence artificielle et l'apprentissage en profondeur 'deepLearning'. Mais nous n'avons pas emprunté ce chemin et nous nous sommes simplement observés et pensé profondément à la nature humaine, qui est très complexe en soi.

5.3.1.1 Inspiration

Nous ; en étant des humains ; tous nos souvenirs, expériences, capacités et connaissances sont gérés principalement par notre cerveau. En effet, Le cerveau humain est très organisé, il est composé de plusieurs parties qui ont chacune des rôles spécifiques tout en étant complémentaires les unes des autres. Cette complémentarité est faite par les neurones. En fait, le nombre total de neurones était estimé à 85 milliards [150], mais des études récentes [151] ont estimé à 105 milliards le nombre de neurones dans le seul cervelet humain [152].

Dans la 34, nous montrons la composition interne d'un neurone et comment se fait la communication entre différents neurones.

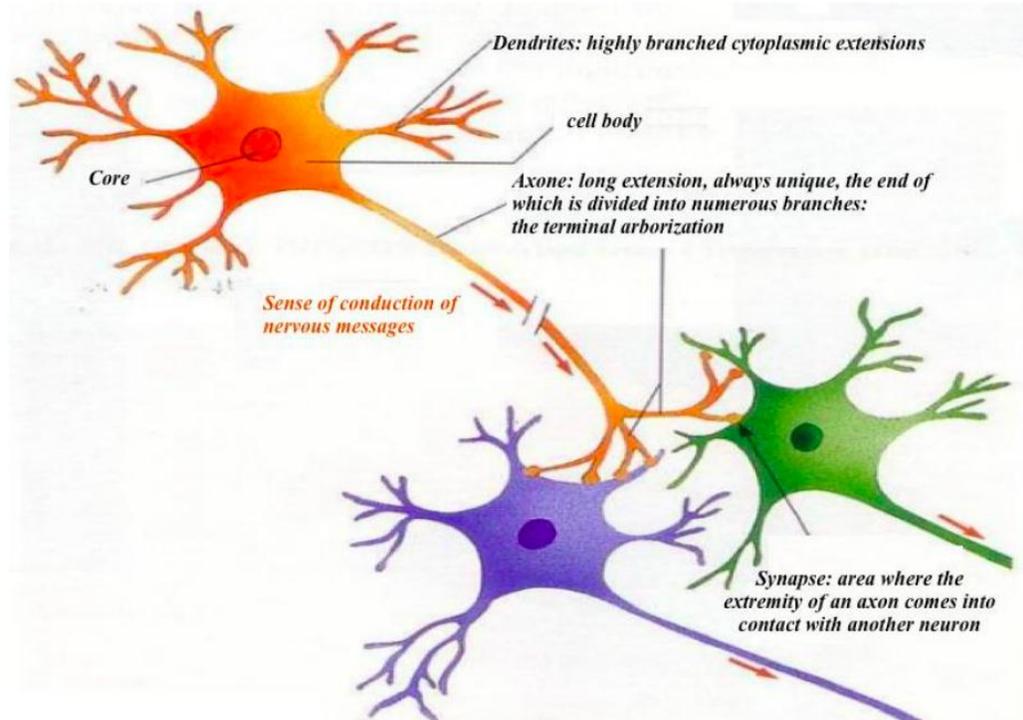


Figure 34 : Les différents éléments d'un neurone et comment se fait la communication

En fait, chaque neurone a un corps cellulaire, des dendrites et un axone. La communication entre deux neurones se fait par des processus chimiques et électriques, les messages nerveux électriques qui arrivent au bout des nerfs se retrouvent dans un neurone et déclenchent une sécrétion de molécules chimiques qui se déposeront sur le prochain neurone, où elles se trouveront traduit à nouveau dans un message électrique dans l'autre neurone [153].

Enfin, les neurones ont la capacité d'apprendre et, selon le type d'apprentissage, les connexions entre les neurones impliqués sont soit « significatives et plus fortes », soit « moins fortes et plus faibles » (comme le montre la Figure 35).

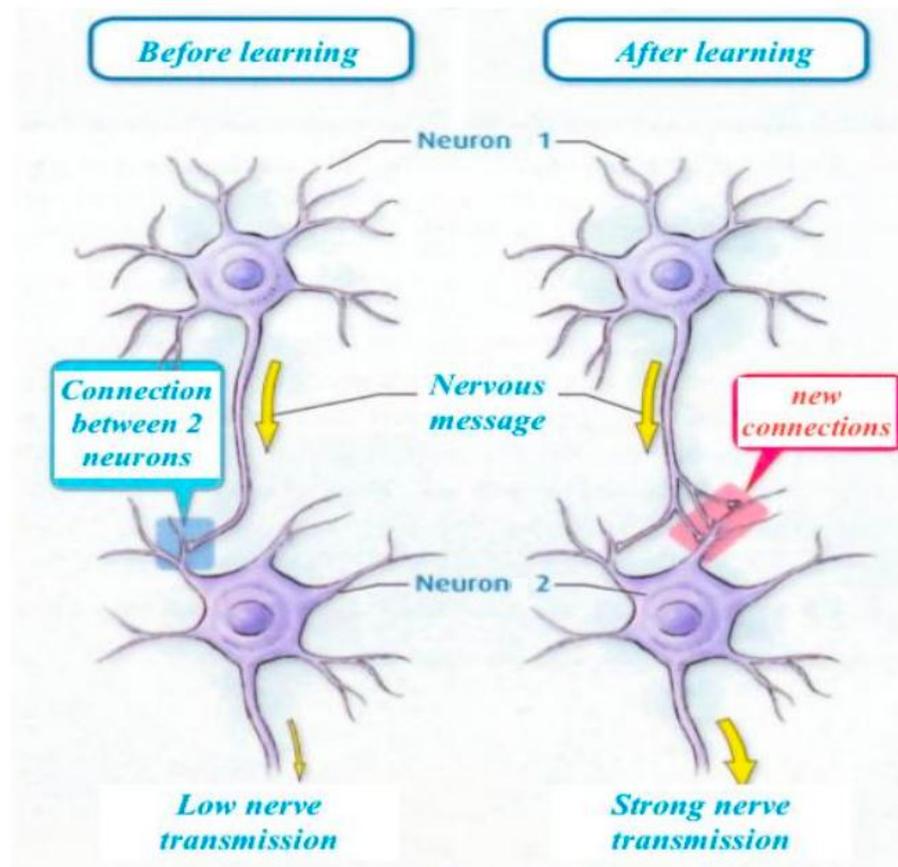


Figure 35 : Neurones avant et après l'apprentissage [154]

5.3.1.2 Projection

Ce qui précède n'était que quelques définitions et explications du fonctionnement du cerveau humain. Faisons maintenant une reformulation de cette complexité tout en faisant une projection sur notre champ de recherche.

Puisque chaque neurone représente une information, nous suivons la même logique en considérant que tout élément de notre système jouera le rôle de neurone. Cet élément fait référence à des informations concrètes et uniques au sein de notre système et sera défini comme un couplet (nom de l'élément, valeur de l'élément).

En ce qui concerne la communication entre les neurones, nous allons la mettre en œuvre en tant que relations logiques et réflexives entre les éléments, où ils peuvent jouer à la fois le

rôle d'entrées (comme les dendrites de neurones) ou de sorties (comme les neurones axones) pour ces relations.

Enfin, et comme nous l'avons mentionné précédemment concernant la capacité d'apprentissage des neurones, nous avons pensé à un mécanisme de coefficient qui indiquera la force des connexions et des relations entre les éléments.

5.3.2 Proposition

Au début, notre modèle n'était pas conçu au début pour gérer tout l'hypermédia adaptatif, en effet nous avons publié [155] une version de ce modèle destiné à gérer seulement le modèle apprenant. Cependant, et avec le progrès de nos recherches nous avons élargir le champ d'intervention de notre modèle intelligent pour gérer tout l'hypermédia adaptatif.

Dans ce qui suit et comme le montre la Figure 36, nous allons présenter notre modèle intelligent publié [156] et basé sur la projection décrite précédemment et conçu avec un diagramme de classes UML2.

Nous présenterons d'abord les différentes composantes et relations de notre modèle, puis nous expliquerons les contraintes et les règles nécessaires à son fonctionnement, puis nous détaillerons comment les mettre en œuvre tout en présentant le cas d'utilisation principal et une extension future de notre modèle.

5.3.2.1 Composants et relations

Notre modèle est composé de trois classes, qui sont:

- **Element** : cette classe représente une information au sein de notre système et se caractérise par un identifiant unique, un nom, une valeur et une description. L'identifiant [id property] référencera de manière unique ces informations. De plus, chaque instance de la classe d'élément peut jouer simultanément plusieurs rôles «entrée» et «sortie» dans différentes relations.

- **Relation** : Cette classe est caractérisée par un identifiant unique, un nom, une règle et une date. La propriété 'rule' définit les actions et opérations à effectuer pour tous les résultats de cette relation. Les valeurs autorisées sont: {Update, Delete et aucune action}. De plus, chaque instance de la classe Relation peut avoir un ou plusieurs résultats, et une instance de la classe de résultat concerne une et une seule relation.
- **Résultat** : cette classe est caractérisée par un identifiant unique, un coefficient, un état et une date. La propriété coefficient, qui est une valeur entière ; varie de 1 à ∞ en fonction du nombre de fois que le système a approuvé ce résultat. Enfin la propriété de l'état ; qui est une chaîne de caractère ; décrit l'état de cette relation. Les valeurs autorisées sont : {current, historic}.

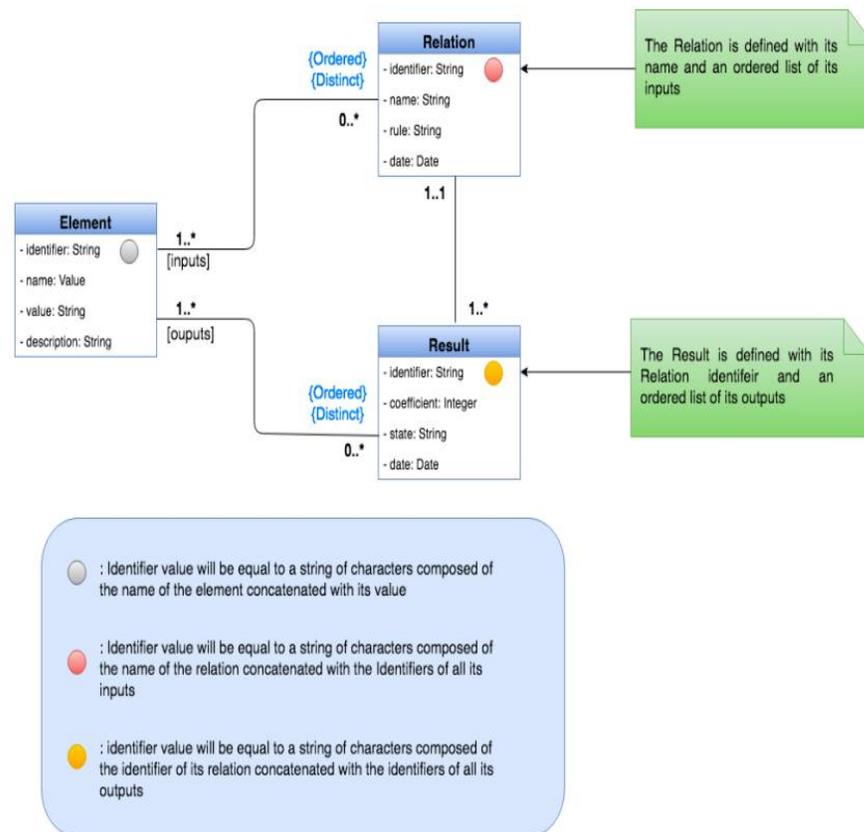


Figure 36 : Diagramme de classe de notre modèle intelligent [156]

5.3.2.2 Contraintes et règles

Toutes les contraintes et règles que nous allons expliquer sont développées pour assurer le caractère unique de certains composants de notre modèle.

- La première règle concerne le caractère unique de l'élément, c'est-à-dire qu'il est impossible d'avoir deux éléments avec le même identifiant.
- La deuxième règle concerne le caractère unique d'une relation, qui est définie par son nom et une liste ordonnée et distincte de ses entrées. Cette règle rendra impossible et interdit d'avoir deux relations ayant le même nom et les mêmes entrées. Dans la Figure 37, nous présentons une explication concrète de cette règle dans laquelle nous avons une 'relation: {r1}', qui a "define" comme nom et deux éléments d'entrées e1 et e2. En impliquant la contrainte susmentionnée, la "relation: {r4}" ne peut pas être créée et le système la considèrera comme une "relation: {r1}".

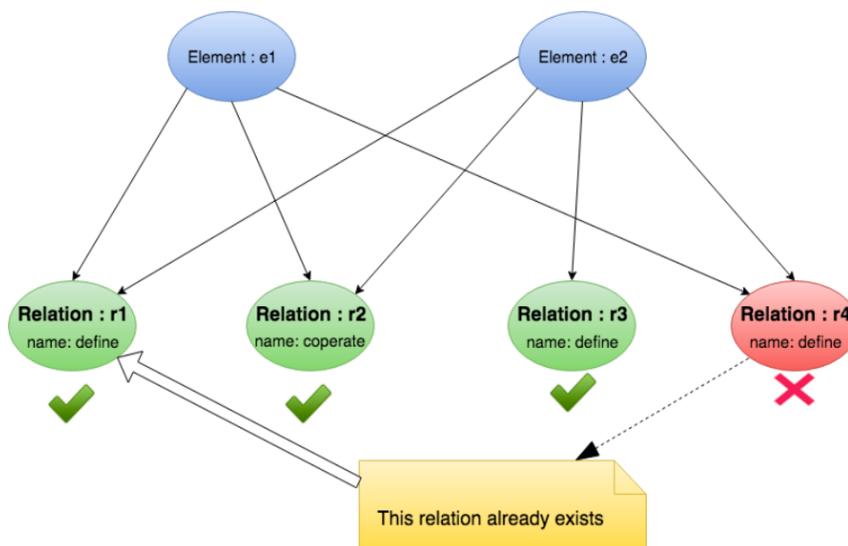


Figure 37 : Diagramme exprimant la contrainte de l'identifiant de relation. [156]

- La troisième règle concerne le caractère unique d'un résultat, qui est défini par le nom de sa relation et par une liste ordonnée et distincte de ses sorties. Cette règle rend impossible et interdit d'avoir deux résultats ayant la même relation et les mêmes entrées. Dans la Figure 38, nous présentons une explication concrète de cette règle. Chaque fois que le système approuve un résultat existant, il sera traduit en incrémentant le coefficient du résultat, {res1} 'au lieu de créer un nouveau "Résultat: {res3}"

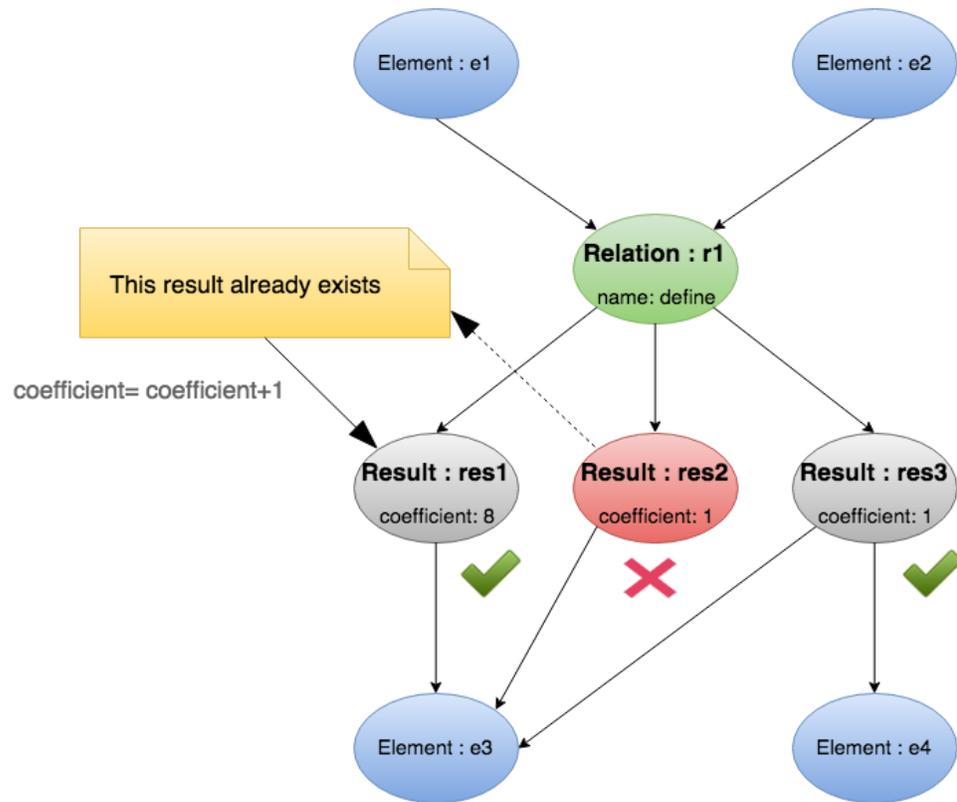


Figure 38 : Diagramme exprimant la contrainte de l'identifiant de relation. [156]

5.3.2.3 Règles de mise en œuvre

La difficulté majeure de l'expression de ces règles expliquées ci-dessus est résumée dans la manière de garantir l'unicité d'un élément, d'une relation et d'un résultat ?

En fait, nous avons utilisé le modèle de logique relationnelle de données (MLD-R) et nous avons travaillé sur des algorithmes qui assureront la génération des clés primaires. Dans ce qui suit, nous allons présenter pour chaque règle le mécanisme de génération de son identifiant.

- En ce qui concerne l'unicité de l'élément, l'identifiant sera égal à une chaîne de caractères composée du nom de l'élément concaténé avec sa valeur.

$$\text{Identificateur d'élément} = \text{nom de l'élément} + \text{valeur de l'élément}$$

- En ce qui concerne l'unicité de la relation, l'identifiant sera égal à une chaîne de caractères composée du nom de la relation concaténée avec une séquence triée et distincte des identifiants d'élément d'entrée.

$$\text{Identifiant de relation} = \text{Nom de la relation} + \text{Identifiant de l'élément1} + \text{Identifiant de l'élément2} + \dots + \text{Identifiant de l'élément}$$

Nous avons ajouté des contraintes {ordonné - ordered} et {distinctes - distinct} à la liste des éléments en entrée dans le diagramme de classes (Figure 36) pour nous assurer que nous n'aurons en aucun cas deux relations ayant le même nom et la même liste d'éléments en entrée. Et aussi pour empêcher le même élément de jouer plusieurs rôles d'entrée pour la même relation.

De plus, au moment où le système approuve ou déclenche une relation, notre système générera d'abord l'identifiant dédié à cette relation. Ensuite, à partir de cet identifiant généré, le système recherchera cette relation et suivant le résultat de cette requête, notre système décidera soit de créer une nouvelle relation, soit d'utiliser simplement la relation existante.

- En ce qui concerne l'unicité du résultat, l'identifiant sera égal à une chaîne de caractères composée de l'identifiant Relation concaténé avec une séquence triée et distincte des identifiants des éléments de sortie.

$$\text{Identifiant de résultat} = \text{Identifiant de relation} + \text{Identifiant d'élément1} + \text{Identifiant d'élément2} + \dots + \text{Identifiant d'élément}$$

Nous avons ajouté des contraintes {ordonné} et {distinctes} à la liste des éléments de sortie dans le diagramme de classes (Figure 36) dans le même but expliqué précédemment.

De plus, lorsque le système approuve ou déclenche un résultat, notre système génère d'abord l'identificateur dédié à ce résultat. Ensuite, à partir de cet identifiant généré, le système vérifiera si nous avons déjà un résultat avec cet identifiant et suivant cette requête, notre système décidera soit de créer un nouveau résultat et initialisera son coefficient à 1 soit il va simplement utiliser le résultat existant tout en incrémentant son coefficient.

5.3.2.4 Cas d'utilisation principal et extension future

Nous avons prévu deux phases pour notre système :

La première est la phase d'apprentissage de notre modèle intelligent. Au cours de cette phase, l'hypermédia adaptatif repose principalement sur les trois modèles, tandis que notre modèle intelligent se contente d'observer et d'apprendre en définissant et en connectant les différents éléments de ces trois modèles (Figure 39).

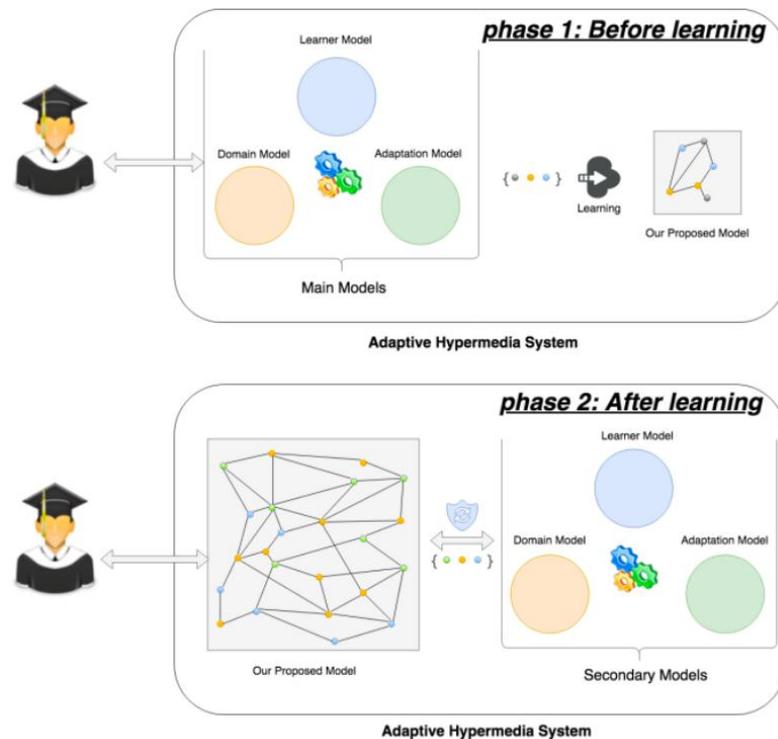


Figure 39 : Schéma des deux phases du modèle intelligent au sein de l'hypermédia

En fait, nous imaginons que notre modèle proposé est un bébé qui doit être éduqué d'abord et, avec le temps, il commencera à appliquer ce qu'il a déjà appris.

La deuxième phase représente la phase finale où notre modèle intelligent fait un pas en avant et devient le modèle principal qui pilote l'hypermédia adaptatif, tandis que les trois modèles deviennent secondaires (Figure 39) et considérés comme ses soutiens.

De plus, le mécanisme des coefficients que nous avons mis en place dans notre système a été conçu pour imiter la conscience et le subconscient de l'être humain. Ainsi, chaque fois que nous forçons notre système à générer un résultat ou à lui fournir des données, le système est considéré comme étant en mode conscient, tandis que le mode subconscient est réservé aux décisions et comportements autonomes de notre système.

En ce qui concerne le problème du démarrage à froid, nous avons dès le début pensé à réorienter le principal défi de « comment collecter des données sur les apprenants sans les déranger avec des questionnaires ? » À « comment prendre des décisions en utilisant un minimum de données ? »

En effet, à partir de toutes les explications précédentes, nous pouvons clairement voir que notre système forme un réseau d'éléments connectés qui continue à se développer tout en offrant une flexibilité totale en termes de structure et de profondeur.

En conséquence, plus il grossit, moins les données d'entrée sont nécessaires pour prendre des décisions.

Enfin, nous avons pensé à une future extension de notre modèle. Cette extension s'appuiera sur notre modèle actuel pour générer un réseau d'éléments abstraits. Par élément abstrait, nous nous référons à la définition ou aux métadonnées de l'élément.

Cette extension présentera toutes nos règles globales et théories établies qui sont basées sur les expériences acquises par notre système.

5.4 Architecture Globale

La proposition ci-dessus (Figure 40) représente le noyau et les modèles indispensables au fonctionnement de l'hypermédia adaptatif, dans ce qui suit nous allons expliquer cette

architecture en passant de la couche de stockage et de persistance des données au côté client, qui est le dispositif d'apprentissage.

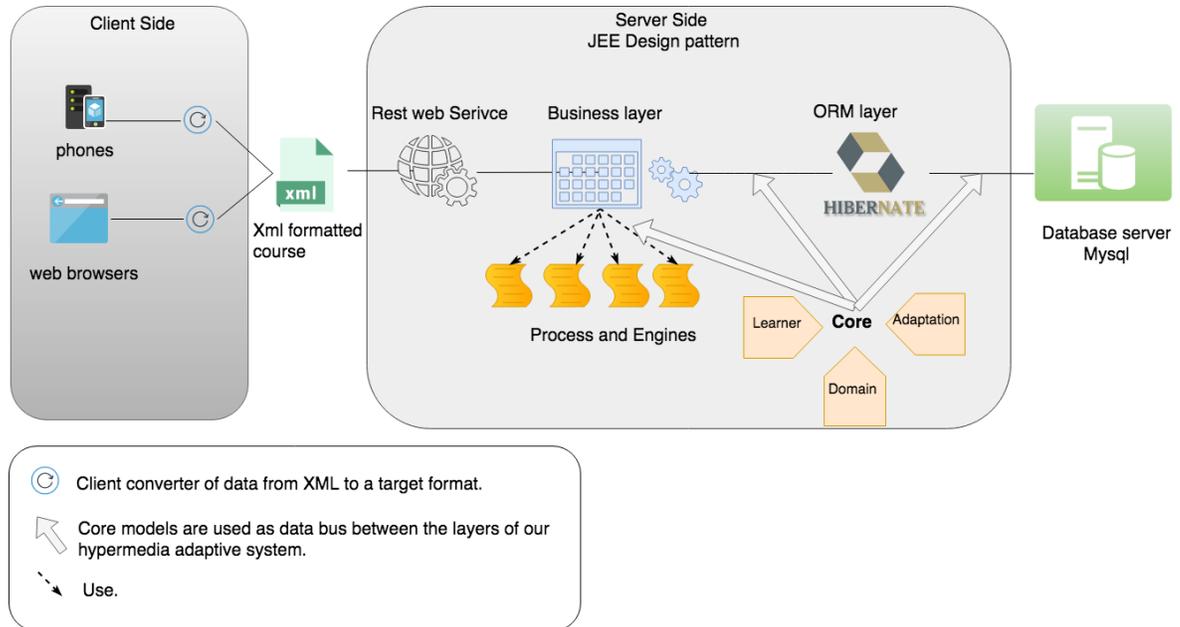


Figure 40 : Architecture Globale de l'hypermédia adaptatif

5.4.1 Stockage et sources de données

Cette couche représente les formes de stockage et les ressources de données des modèles principaux (modèle de domaine, modèle d'adaptation, modèle de l'apprenant et modèle intelligent).

Nous avons distingué trois formes :

- **Données structurées :** il s'agit des données brutes des modèles de base, nous avons choisi le modèle relationnel comme implémentation. NB: nous mentionnons que nous pouvons migrer à tout moment vers une autre forme d'implémentation sans mettre à jour ni modifier les autres couches.

- Fichiers : représente les ressources physiques des processus d'apprentissage, telles que les figures, les vidéos, etc. Ces fichiers doivent résider sur le même serveur que l'adaptateur hypermédia.
- Données externes : fait référence aux données et aux fichiers stockés en dehors du serveur hypermédia adaptatif. Ils sont exprimés par des URL.

5.4.2 Serveur hypermédia adaptatif

Représente le serveur d'applications de notre système hypermédia adaptatif construit conformément aux recommandations du modèle de conception JEE, qui seront expliquées en détail dans la section suivante.

Comme le montre la Figure 40, le côté serveur comprend trois couches principales:

- Modèles ' Core' : également appelés beans, représentent les données et les éléments des modèles de base structurés et exprimés par des classes UML représentant les trois modèles (apprenant, domaine et adaptation) ainsi que le modèle intelligent. Ces modèles servent de bus de données entre les différentes couches de l'architecture JEE implémentée.

- Processus et moteurs : cette couche contient tous les algorithmes et processus nécessaires au fonctionnement du système hypermédia adaptatif. Nous avons distingué 4 processus:

- Collecteur et détecteur de variables d'état émotionnel : il a pour fonction de collecter et de préserver les données d'environnement et les variables de comportement de l'apprenant pendant sa phase d'apprentissage tout en indiquant s'il est favorable ou non à l'activité d'apprentissage.
- Fournisseur de contenu: Ce processus est responsable de la collecte et de la construction du contenu d'apprentissage approprié à fournir à l'apprenant tout en le présentant dans le format et la structure les plus appropriés. Ce processus est basé sur les informations fournies par le modèle d'apprenant tels que : capacité cognitive, état émotionnel, historique, style d'apprentissage et connaissances. On distingue quatre sous-processus regroupés dans le tableau 20 :

Sous-processus	Description
Fournisseur des templates et des conteneurs	choisit le bon modèle et le conteneur le plus approprié pour l'activité d'apprentissage en question.
Fournisseur de structure de contenu	Puisque chaque apprenant a, en plus de la structure par défaut du conteneur, de nombreuses structures personnalisées. Ce sous-processus doit être mis en œuvre pour choisir la structure la plus appropriée.
Fournisseur de présentation de contenu	ce sous-processus choisit pour chaque composant du conteneur la présentation la plus appropriée
Fournisseur de données de contenu	recherche du contenu disponible et approprié sur le modèle de domaine en fonction du travail des trois sous-processus précédents.

Tableau 20 : Descriptifs des sous-processus du processus 'Fournisseur de contenu'

- Créateur de contenu : le créateur de contenu utilise le contenu d'apprentissage généré et le transforme en un format XML qui décrit et fournit toutes les informations sur le contenu du cours, sa structure et ses règles de présentation.

Le choix de la technologie XML nous évitera de nous préoccuper de la génération du cours dans plusieurs formats afin de prendre en charge tous les types d'appareils d'apprentissage, tels que les téléphones, les applications bureau, les applications Web, etc. Tous ces appareils d'apprentissage utiliseront notre contenu formaté en XML pour produire leur propre version du cours en respectant d'abord le contenu puis les règles de représentation et de structure.

- Superviseur de modèle intelligent : Comme nous l'avons déjà expliqué précédemment, notre système hypermédia comportera deux phases :

La première phase consiste à extraire toutes les informations et données sur les comportements des trois modèles (apprenant, adaptation et domaine), tandis que le modèle intelligent consiste simplement à observer et à apprendre en définissant et en connectant les différents éléments de ces trois modèles. Nous avons donc prévu un processus pour cela.

La deuxième phase est celle où notre modèle intelligent a suffisamment appris et peut prendre le contrôle et remplacer les trois modèles principaux pour devenir le modèle principal qui gère le système hypermédia adaptatif. Nous avons donc à nouveau planifié un processus de communication et de gestion de ce modèle intelligent.

5.4.3 Côté client

Cette partie représente la fenêtre avec laquelle les apprenants vont communiquer avec le système hypermédia adaptatif. En utilisant le processus de livraison XML, nous pouvons prendre en charge tout type de périphérique et de technologie, à condition que pour chaque nouveau périphérique et nouvelle technologie. De ce fait, nous développerons un programme qui exploitera le cours au format XML pour le reproduire dans un format cible.

5.5 Conclusion

On s'est intéressé premièrement dans ce chapitre à la conception de l'architecture global de notre hypermédia adaptatif. Cela a été fait en reliant nos trois modèles proposés et en décrivant l'architecture proposé et ses processus. Ainsi, le modèle intelligent a fait l'objet de ce chapitre. Ce modèle fonctionnera parallèlement avec les trois modèles tout en les permettant de devenir plus dynamiques et plus flexibles en surmontant les deux principaux problèmes de flexibilité conceptuelle et de démarrage à froid.

Finalement on va résumer nos contributions et proposer des perspectives qui peuvent être perçues comme une continuation/amélioration de notre hypermédia adaptatif.

Conclusion et perspectives

Durant cette thèse, nous avons premièrement mis l'accent sur l'importance de l'apprentissage et l'éducation tout en détaillant leurs différentes méthodes et techniques. Ensuite, par une illustration des différentes limites de l'apprentissage classique nous avons introduit l'apprentissage à distance en allant de la correspondance vers le E-learning.

Vu le succès de ce dernier, nous avons présenté nos études réalisées sur les différents systèmes d'apprentissage en ligne. Puis en illustrant leurs limites nous avons introduit les systèmes hypermédias adaptatifs qui représente le sujet principal de cette thèse.

Et suite à des études diverses concernant plusieurs disciplines, nous avons traité et proposé de nouvelles conceptions pour les modèles fondamentaux dont reposent ces systèmes. D'une façon générale, nous avons tirée des modèles existants en littérature un ensemble de reproches et critiques que nous avons utilisé pour proposer de nouvelles idées que nous avons exprimées dans plusieurs propositions de modèle implémentées et testées dans plusieurs outils que nous avons développés.

Une proposition d'un modèle intelligent a fait aussi l'objet de cette thèse. Ce modèle est conçu spécialement pour surmonter les deux fameux problèmes des hypermédias adaptatifs qui sont : la flexibilité conceptuelle et de démarrage à froid.

Dans ce travail nous avons fait appels à plusieurs domaines à savoir : Éducation, Système d'information, Base de données, Design (IHM), Programmation, Technologies web et XML.

À la fin de ce travail, notre vision est devenu clair. Nous avons dépassé nos objectifs fixés au début et nous pensons maintenant à développer notre hypermédia adaptatif. Pour se faire, nous prévoyons dans un futur proche développer l'ensemble des processus discutés précédemment :

- Créateur de contenu : ce processus va construire le contenu à livrer aux apprenant en format XML.

- Superviseur de modèle intelligent : ce processus sera chargé d'alimenter notre modèle intelligent en se basant sur les actions des trois modèles (adaptation, apprenant, domaine) au sein de l'hypermédia adaptatif.
- Fournisseur de contenu : Ce processus est responsable de la collecte et de la construction du contenu d'apprentissage approprié à fournir à l'apprenant tout en le présentant dans le format et la structure les plus appropriés
- Collecteur et détecteur de variables d'état émotionnel : ce processus sera implémenté coté client et il sera chargé premièrement de collecter et de préserver les données d'environnement et les variables de comportement de l'apprenant pendant sa phase d'apprentissage puis les envoyer au serveur (hypermédia adaptatif)

Et ensuite créer les différents templates en respectant les normes et les recommandations des 16 types psychologiques des apprenants.

Bibliographie

- 1- ARUN.K 2011, “CULTURE & CIVILIZATION”, University of Calicut School of Distance Education Calicut University P.O. malappuram, kerala, india - 673 635
- 2- Diakhate Anne, Catherine Distelzwey , Julie Dittel et all. 2017, “Plate-forme pédagogique Moodle -Guide de l'enseignant”, Compus virtuel de l'université Laarbi Tebessi-Tébessa.
- 3- Rustici Software. “What is SCORM?” [En ligne] <http://www.scorm.com/scorm-explained/> . Dernier accès le 17 janvier 2019.
- 4- Rustici Software. “What is cmi5: the Experience API (xAPI) and cmi5” [En ligne] <https://xapi.com/cmi5/> . Dernier accès le 17 janvier 2019.
- 5- Raymond J. Manding. “What is learning?”, Learning Theories. November 23, 2016
- 6- Peter C. Brown, Henry L. Roediger III, Mark A. McDaniel. Interview : Make It Stick: The Science of Successful Learning.
- 7- Jan de Houwer, J., Barnes-Holmes, D., Moors A. 2013. What is learning? On the nature and merits of a functional definition of learning. *Psychonomic Bulletin and Review*, 20(4), 631–642.
- 8- Wikipedia, “Apprentissage” [En ligne] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Apprentissage> . Dernier accès le 17 janvier 2019.
- 9- Fatima Borsali. Apprentissage par observation chez le jeune enfant avec autisme. *Psychologie*. Université Paul Valéry - Montpellier III, 2015. Français.
- 10- Harbonnier-Topin, N., & Barbier, J.-M. 2014. “L'apprentissage par imitation en danse : une « résonance » constructive ?”, *Staps*, 103(1), 53.
- 11- Isabelle Burgun , 2012. “Les enfants nous imitent pour apprendre et s'améliorer ” . AgenceScience – Presse. [Enligne], <https://naitreetgrandir.com/fr/nouvelles/2012/05/28/20120528-imitation-apprentissage/> . Dernier accès le 17 janvier 2019.
- 12- Favrel José, 2018. “Approches cognitive et comportementale” - PSYCHOLOGIE DES APPRENTISSAGES. L2 EFEC.
- 13- Guido H.E. Gendolla et assistants. “La psychologie de la motivation et de l'apprentissage” - Behaviorisme Ila: Le conditionnement opérant I. Université de Genève.
- 14- Philippe Clauzard, “Cours apprendre & enseigner Quels processus? Quels liens?” - UE Tronc Commun Entrée n3. MCF Université de la Réunion ESPE

- 15- Sophie Dufour et Chantal Parpette, 2017 “Le cours magistral : interrogations didactiques et analyse de discours ”, Les Carnets du Cediscor [En ligne] <https://journals.openedition.org/cediscor/1023> Dernier accès le 17 janvier 2019.
- 16- Silva, G., & Santos, D.C. (2006). “Framing Participation Through Repetition: The Case of a Portuguese Learner in Different Settings.”
- 17- Ebrahim, Ali (2004). The effects of traditional learning and a learning cycle inquiry learning strategy on students’ science achievement and attitudes toward elementary science (Kuwait) Ohio University.
- 18- Cornelius, E., Gautney, T., Rainer, R., Notar, C. E., & Webb, S. A. 2008. “Do Class and School Size Matter”- A Crucial Issue to School Improvement. *International Education Studies*, v1 n4 p3-9 Nov 2008.
- 19- Zyngier, D. 2014. “Class size and academic results, with a focus on children from culturally, linguistically and economically disenfranchised communities”. Evidence Base. DOI: <http://doi.org/10.4225/50/5582118F8790B>
- 20- Marie-France Garceau, 2011. “LA FORMATION À DISTANCE : UN APPRENTISSAGE VERT?” – distances Université TÉLUQ. [en ligne] http://distances.teluq.ca/wp-content/uploads/2011/06/Apprentissagevert_MFGarceau.pdf . Dernier accès le 17 janvier 2019.
- 21- Venkata Subrahmanyam C. V., D. K. R. 2013. “Technology and Online Distance Mode of Learning”. *International Journal of Humanities and Social Science Invention*, 2(1), 5–13.
- 22- Wendy Wright, Carol Jeffs, Jean Wood. 1995. “Distance Education: Must it be ‘Out-of-Sight, Out-of-Mind’ Education?”. ASCILITE95 conference Melbourne.
- 23- MARCO BERTOLINI, 2014. “Petite histoire de la formation à distance – infographie”. *FORMATION 3.0*. [en ligne] <https://format30.com/2014/02/04/petite-histoire-de-la-formation-a-distance-infographie/> . Dernier accès le 17 janvier 2019.
- 24- Nasseh, B. (2000). A Brief History of Distance Education. *Senior Net*, 27(1991), 1–6.
- 25- Wikipédia , “Distance education” [en ligne] https://ipfs.io/ipfs/QmXoypizjW3WknFiJnKLwHCnL72vedxjQkDDP1mXWo6uco/wiki/Distance_education.html . Dernier accès le 17 janvier 2019.
- 26- Dwayne D. Cox and William J. Morison. 1999. “livre : The University of Louisville”, pp 115–117.
- 27- Cuban. (1986). “Teachers and Machines: The Classroom Use of Technology Since 1920”, pp 19–26
- 28- Phipps, Ronald; Merisotis, Jamie. 1999 “What's the Difference? A Review of Contemporary Research on the Effectiveness of Distance Learning in Higher Education”. Institute for Higher Education Policy, 1320 19th St., NW, Suite 400, Washington, DC
- 29- Terry T. Kidd. 2010. “A Brief History of eLearning”- *Online Education and Adult Learning: New Frontiers for Teaching Practices*. Page 8

- 30- Kathleen Cotton.1991. "Computer-Assisted Instruction" - School Improvement Research Series, Research You Can Use.
- 31- Hubackova, S. 2015. "History and Perspectives of Elearning. Procedia" - Social and Behavioral Sciences, 191, 1187–1190.
- 32- Varis, T. 2005. "The future of eLearning. A Short History of eLearning and a Look into the Future of Computer Mediated Learning" University of Helsinki Department of Communication Argonaut Study Program, 1–11.
- 33- Honeycut, Joan K. 1974. "The Effects of Computer Managed Instruction on Content Learning of Undergraduate Students". Paper presented at the American Educational Research Association Annual Meeting. Chicago.
- 34- Venkata Subrahmanyam, K. Ravichandran. 2013. "Technology & Online Distance Mode of Learning". International Journal of Humanities and Social Science Invention. Volume 2 Issue 1, PP.05-13.
- 35- Commission of the European Communities, 2001. Communication from the Commission to the Council and the European Parliament - e-Learning Action Plan - Thinking about tomorrow's education. Bruxelles, COM (2001)172 final.
- 36- Heloisa Moura, 2006. "Adaptive e-Learning Environment Design". Interactive Educational Multimedia, Number 12 , pp. 62-71.
- 37- The Online Learning Consortium (OLC), 2015. "Online Report Card – Tracking Online Education in the United States". The Online Learning Consortium (OLC). [en ligne] <https://onlinelearningconsortium.org/read/online-report-card-tracking-online-education-united-states-2015/> . Dernier accès le 17 janvier 2019.
- 38- Abbas Abdoli Sejzi, Baharuddin Aris, Noraffandy Yahya. 2012. "The Phenomenon of Virtual University in New Age: Trends and Changes". Procedia - Social and Behavioral Sciences 56 (2012) 565 – 572
- 39- Johnson, C. 2005. "Lessons Learned from Teaching Web"-Based Courses: the 7-year itch. Nursing Forum, 40, 11-17
- 40- Izzat Gul, Muhammad Ramzan, Sumera Batool. 2017. "The Efficacy of E-learning Technologies in Higher Education: Students' Perspective" urnal of Distance Education and Research (JDER)
- 41- The Year of the MOOC . New York Times (2 Novembre 2012)
- 42- William R, Watson, Sunnie Lee Watson.2007. "What are Learning Management Systems, What are They Not, and What Should They Become?". TechTrends, Volume 51, Number 2
- 43- Szabo, M., & Flesher, K. 2002. "CMI theory and practice: Historical roots of learning management systems". World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, & Higher Education, Montreal, Canada
- 44- Epignosis LLC, 2014 "E-learning concepts, trends, applications". San Francisco, California, CA 94104 United States of America
- 45- Open source TM, 2015. "The Open Source Definition" - The Open Source Initiative. pp 10
- 46- Talent LMS, "About This Company" [en ligne] <https://www.lms.org/reviews/talentlms/> . Dernier accès le 18 janvier 2019.

- 47- TrainCaster LMS. "LMS Common Features". [en ligne] <https://www.traincaster.com/blog/features-common.pdf> .Dernier accès le 18 janvier 2019.
- 48- Ramón Garrote Jurado, Angel Regueiro-Gómez, Tomas Pettersson, Max Scheja, 2014. "Classification Of The Features In Learning Management Systems". 17th scientific convention on engineering and architecture. Havana International Conference Center
- 49- Ramón Garrote Jurado, Tomas Pettersson. 2011. "The use of learning managements systems: A Longitudinal Case Study". ELEED, issue 8 pp 1-12.
- 50- Andrew Ng, Jennifer Widom. 2014. "Origins of the Modern MOOC (xMOOC)". Center for Benefit? Cost Studies of Education, Teachers College, Columbia University, NY.
- 51- Jean-Charles Pomerol. 2013. "Rapport pour le Conseil Scientifique de Paris sur les MOOC". [en ligne] <https://api-site.paris.fr/images/143588.pdf> . Dernier accès le 18 janvier 2019.
- 52- Fiona M. Hollands. Devayani Tirthali.2014. "MOOCs: Expectations and Reality Full Report",Center for Benefit-Cost Studies of Education.
- 53- Mehmet Kesim and Hakan Altinpulluk. 2015. "A Theoretical Analysis of Moocs Types From A Perspective of Learning Theories" - 5th World Conference on Learning, Teaching and Educational Leadership . Procedia - Social and Behavioral Sciences 186 (2015) 15 – 19
- 54- Smith, L. 2012. "five education providers offering MOOCs now or in the future". EducationDive. [en ligne] <https://www.educationdive.com/news/5-mooc-providers/44506/> Dernier accès le 18 janvier 2019.
- 55- Bates, T. 2012. "What's right and what's wrong about Coursera-style MOOCs". Online Learning and Distance Education Resources [en ligne] <http://www.tonybates.ca/2012/08/05/whats-right-and-whats-wrong-about-coursera-style-moocs/> Dernier accès le 18 janvier 2019.
- 56- Anderson, T. and Dron, J. 2011. "Three generations of distance education pedagogy". International Review of Research in Open and Distance Learning
- 57- Jean-Marie Gilliot, Anne-Céline Grolleau, Magnin Morgan, Christine Vaufrey. 2013 "ITyPA, un pre- mier MOOC francophone et connectiviste" . QPES 2013: colloque questions de pédagogies dans l'enseignement supérieur, Jun 2013, Sherbrooke, Canada. 2013.
- 58- Siemens, G. Downes S. ,2008. "The Connectivism and Connective Knowledge course (CCK08)". [en ligne] <https://sites.google.com/site/themoocguide/3-cck08---the-distributed-course> . Dernier accès le 18 janvier 2019.
- 59- Matthieu cisel. 2013. "Anatomie d'un mooc" la révolution des moocs. [en ligne] <http://blog.educpros.fr/matthieu-cisel/2013/06/25/mooc-une-proposition-de-grille-de-lecture> . Dernier accès le 18 janvier 2019.
- 60- Bryant Nielson. 2015. "What's the Difference Between a MOOC and an LMS?". your Training Edge - your Online Resource for Corporate Training. [en ligne] <http://www.yourtrainingedge.com/whats-the-difference-between-a-mooc-and-an-lms> . Dernier accès le 18 janvier 2019.

- 61- Moallem, M. 2007. "Accommodating individual differences in the design of online learning environments: A comparative study". *Journal of Research on Technology in Education*, 40(2), 217-245
- 62- Brusilovsky, P. 2003. "Adaptive navigation support in Educational Hypermedia: The role of student knowledge level and the case for meta-adaptation". *British Journal of Educational Technology*, 34(4), 487-497.
- 63- Ahuja, J. S. and Webster, J. 2001. "Perceived disorientation: An examination of a new measure to assess web design effectiveness". *Interacting with Computers*, 14(1), 15-29.
- 64- G. Kaya and A. Altun, "A Learner Model for Learning Object Based Personalized Learning Environments," *Commun. Comput. Inf. Sci.*, vol. 240, pp. 349-355, 2011.
- 65- Brusilovsky, P. 2001. "Adaptive hypermedia". *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 11(1-2), 87-110.
- 66- A. Behaz, M. Djoudi, 2009 "Approche de Modélisation d'un Apprenant à base d'Ontologie pour un Hypermédia adaptatif Pédagogique", In: CIIA, 2009
- 67- G. Kaya and A. Altun, 2011 "A Learner Model for Learning Object Based Personalized Learning Environments," *Commun. Comput. Inf. Sci.*, vol. 240, pp. 349-355
- 68- Kara, N., & Sevim, N. (2013). "Adaptive Learning Systems: Beyond Teaching Machines". *Contemporary Educational Technology*, 4(2), 108-120
- 69- Milosavljevic, M. 1997, "Augmenting the user's knowledge via comparison". In: A. Jameson, C. Paris and C. Tasso (eds.): *Proceedings of 6th International Conference on User Modeling, UM97*. Wien: SpringerWienNewYork, pp. 119-130
- 70- Milosavljevic, M. and Oberlander, J. 1998. "Dynamic hypertext catalogues: Helping users to help themselves". *Proceedings of Ninth ACM International Hypertext Conference (Hypertext'98)*, Pittsburgh, USA, pp. 123-131
- 71- P. Brusilovsky, 1998. "Methods and Techniques of Adaptive Hypermedia", In *Adaptive Hypertext and Hypermedia*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp. 1- 43
- 72- Brusilovsky, P. and Beaumont, I. 1994, *Proceedings of the Workshop 'Adaptive Hypertext and Hypermedia' at 4th International Conference on User Modeling, UM97*. Hyannis, MA.
- 73- Viet, A. N., & Si, D. H. 2006. "ACGs: Adaptive course generation system - An efficient approach to build e-learning course". *Proceedings - Sixth IEEE International Conference on Computer and Information Technology, CIT 2006*, 1-6.
- 74- Bra, P. De, Ruitter, J. 2001. "Aha! adaptive hypermedia for all". *Proceedings of the AACE WebNet Conference*, 262-268.
- 75- Kubeš, T. 2007. "Overview of Existing Adaptive Hypermedia e-Learning Systems. *Technology for ELearning*", 111(15), 1-186.
- 76- Balík, M., & Jelínek, I. 2006. "Modelling of Adaptive Hypermedia Systems". *Proceedings of the International Conference on Computer Systems and Technologies (CompSysTech'06)*, V-8-1-V-8-6.

- 77- Schofield, S. J., Hine, N. A., Arnott, J. L., Joel, S. D., Judson, A., & Rentoul, R. M. S. 2003 . “The Adaptive Learning Environment : Customising the System to the Users’ Accessibility Needs”. *Assistive Technology, (Aaate)*, 165–169.
- 78- Koch, N., & Wirsing, M. 2002. “The Munich Reference Model for Adaptive Hypermedia Applications An Overview of the Reference Model”. In 2nd International Conference on Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-based Systems (pp. 213–222)
- 79- Tadlaoui, M., Chikh, A., & Bouamrane, K. 2010. “ALEM: Un Modèle de Référence pour les Applications Web Adaptatif Educatif”. In Actes de la 1ère Conférence internationale LEAFA 2010« e-Learning For All ». Tunisie.
- 80- Sara Brambilla, Sara Comai, Piero Fraternali, Maristella Matera. “Designing Web Applications with Webml and Webratio” chapter 9. [en ligne] www.csun.edu/~twang/595WEB/Slides/WebML.pdf . Dernier accès le 18 janvier 2019.
- 81- Brusilovsky P. 1996. “Adaptive hypermedia: An attempt to analyze and generalize”. In: Brusilovsky P., Kommers P., Streitz N. (eds) *Multimedia, Hypermedia, and Virtual Reality Models, Systems, and Applications*. MHVR 1996. *Lecture Notes in Computer Science*, vol 1077. Springer, Berlin, Heidelberg
- 82- Kobsa, A., Koenemann, J. and Pohl, W.1999. “Personalized hypermedia presentation techniques for improving online customer relationships”. Technical report No. 66 GMD, German National Research Center for Information Technology, St. Augustin, Germany.
- 83- Halasz, F., & Schwartz, M. 1994. “The Dexter hypertext reference model”. *Communications of the ACM*, 37(2), 30–39.
- 84- Joerding, T. 1999. “A temporary user modeling approach for adaptive shopping on the Web”. *Proceedings of Second Workshop on Adaptive Systems and User Modeling on the World Wide Web*, Toronto and Banff, Canada. *Computer Science Report 99-07*, Eindhoven University of Technology, pp. 75-79.
- 85- Garlatti, S., Iksal, S. and Kervella, P. 1999. “Adaptive on-line information system by means of a task model and spatial views” .*Proceedings of Second Workshop on Adaptive Systems and User Modeling on the World Wide Web*, Toronto and Banff, Canada. *Computer Science Report 99-07*, Eindhoven University of Technology, pp. 59-66.
- 86- Brusilovsky, P. 1996. “Methods and techniques of adaptive hypermedia”. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 6(2–3), 87–129.
- 87- Bra, P. De, Houben, G.-J., & Wu, H. 1999. “AHAM: A Dexter-based Reference Model for Adaptive Hypermedia”. In *tenth ACM Conference on Hypertext and hypermedia: returning to our diverse roots: returning to our diverse roots* (pp. 147–156).
- 88- Beckert, B., Andau. “The Z Specification Language”. *Formal Specification of Software*.
- 89- Sagar Khillar. 2018. "Difference Between Hypertext and Hypermedia." DifferenceBetween.net. [en ligne]

- <http://www.differencebetween.net/technology/difference-between-hypertext-and-hypermedia/> . Dernier accès le 18 janvier 2019.
- 90- Ian RCampbell-Grant.1991. “Introducing ODA”. Computer Standards & Interfaces Volume 11, Issue 3, March 1991, Pages 149-157
- 91- Worrying M., Buitenhuis R., Smeulders A.W.M. 1995. “An ODA/Dexter hyperdocument system with automated link definition”. In: Spaccapietra S., Jain R. (eds) Visual Database Systems 3. VDB 1995. IFIP — The International Federation for Information Processing. Springer, Boston, MA
- 92- D. Samia, B. Taher, and L. Yacine, 2009 .“Une nouvelle approche pour l’adaptation d ’ un hypermédia pédagogique au profil cognitif de l’apprenant en utilisant XML,” in 2nd Conférence Internationale sur l’Informatique et ses Applications (CIIA’09).
- 93- P. M. E. Wu, H.; Houben, G.J.P.M.; De Bra.2000. “Supporting user adaptation in adaptive hypermedia applications,” in P. Vet, van der, & P. M. E. De Bra (Eds.), Proceedings Conferentie Informatiewetenschap 2000. Vol. 00-20, pp. 88–98.
- 94- Champion, V. 2013. Modélisation UML, 1–12.
- 95- DI GALLO Frédéric.2001. “Méthodologie des systèmes d'information”- MERISE Cours du Cycle Probatoire. CNAM ANGOULEME 2000-2001
- 96- De Bra, P., 2008. “Adaptive hypermedia”. Adelsberger, H.H., Kinshuk, P., Pawlowski, J.M., Sampson, D. (eds.) Handbook on Information Technologies for Education and Training, 2nd edn., pp. 29–46. Springer, Heidelberg (2008).
- 97- EBook, Design Patterns Explained Simply: “Composite Design Pattern” [en ligne] https://sourcemaking.com/design_patterns/composite .Dernier accès le 18 janvier 2019.
- 98- Mehdi TMIMI, Mohamed BENSLIMANE, Mohammed BERRADA and Kamar OUZZANI, 2019. “ Implemented and Tested Conception Proposal of Adaptation Model for Adaptive Hypermedia”. International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET). (In press)
- 99- Franzoni, A. L., & Assar, S., 2009. “Student Learning Styles Adaptation Method Based on Teaching Strategies and Electronic Media”. Educational Technology & Society, 12 (4), 15–29.
- 100- The world’s largest web developer site, 2017. “CSS Flexible Box Layout Module”. [en ligne] https://w3schools.com/css/css3_flexbox.asp . Dernier accès le 18 janvier 2019.
- 101- Arnaud LABARBE, 2015. “Development of a WEB application, clientserveur vs AngularJS.js”. High School of Management of Geneva (HEG-GE). Carouge, le 12 October 2015
- 102- Carchiolo, V., & Mangioni, G. 2007. “An Architecture to Support Adaptive E-Learning”. Ijcsns, 7(1), 166.
- 103- Stéphanie Assante, 2012. Livre : “Les 16 grands types de personnalité”, Editions Dangles.
- 104- Paneva D., 2006. “ Ontology-based Student Modeling”, In the Proceedings of the Open Workshop “Ubiquitous Learning Challenges: Design, Experiments and Context Aware Ubiquitous Learning”, 20 - 21 Turin, Italy, pp. 17-21.

- 105- Businessballs. Multiple Intelligences concept: Howard Gardner 1983; review and other materials: Alan Chapman 2003-2014 “[en ligne] <https://www.businessballs.com/self-awareness/howard-gardners-multiple-intelligences/> . Dernier accès le 18 janvier 2019.
- 106- S. Jean-Daubias, T.T.H. Phan.2011. “Différents niveaux de modélisation pour des profils d'apprenants”. EIAH 2011.
- 107- M. Tmimi, M. Benslimane, M. Berrada, K. Ouazzani, 2016. “Elaboration d’une ontologie apprenant pour les hypermédias adaptatifs”, Conférence Internationale sur les Approches Pédagogiques & E-Learning, Morocco, Appel’2016.
- 108- M. Tmimi, M. Benslimane, M. Berrada, K. Ouazzani, 2017. “A Proposed Conception of the Learner Model for Adaptive Hypermedia”. International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 12, Number 24 (2017) pp. 16008-16016
- 109- S. Jean-Daubias, T.T.H. Phan, 2011. “Different levels of modeling for learner profiles”. Research Report RRLIRIS-2011-009, Submitted to EIAH 2011 - Computing Environments for Human Learning.
- 110- Collier, V. P.,1988. “The Effect of Age on Acquisition of a Second Language for School”. New Focus. The National Clearinghouse for Bilingual Education. No: 2, Winter: 1987-1988.
- 111- George E. Miller, M.D., 1990. “The assessment of clinical skills/competence/performance”. Acad Med Volume 65,number 9 September supplement 1990.
- 112- D Pitts D, Rowley DI, Sher JL , 2005. “Assessment of performance in orthopaedic training”. J Bone Joint Surg [Br] 2005; 87-B:1187-91.
- 113- Jonnaert P. et al, 2004. “Critical contribution to the development of curricula: skills, constructivism and interdisciplinary”, Journal of educational sciences, Volume 30, No 3, p. 667-696.
- 114- A. Hachmoud, A. Khartoch, L. Oughdir, S. K. Alami, 2017. “Bridging the Gap between Competency Based Approach and Intelligent Tutoring Systems”. International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 12, Number 19 (2017) pp. 9099-9111
- 115- Thierry Vaira, 2015. “Activity: LOG file”. [en ligne] <http://tvaira.free.fr/projets/activites/activite-fichierlog.pdf> . Dernier accès le 18 janvier 2019.
- 116- A. Hulstaert, G. Ogonowski, 2013. “Management Summary: Archiving databases”. [en ligne] https://www.smalsresearch.be/download/research_reports/management_summary/Database%20Archiving.pdf . Dernier accès le 18 janvier 2019.
- 117- JOY M. REID, 1987. “The Learning Style Preferences of ESL Students”. Colorado State University, TESOL QUARTERLY, Vol. 21, No. 1, March 1987.
- 118- Sridhar Iyer, 2011. “Learner Modeling”. National Workshop on Adaptive Instruction CDAC, Navi Mumbai, Dec 15-16

- 119- Sabine Graf, Silvia Rita Viola, Kinshuk, Tommaso Leo, 2006. "Representative Characteristics of Felder Silverman Learning Styles: An Empirical Model". IADIS Press , 2006
- 120- Peter Briggs Myers and Katharine D. Myers, 2005. "Myers-Briggs Type Indicator MD Rapport explicatif "- Niveau II (MD) - Level II Report préparé pour Suzanne Exemple. [en ligne] https://www.psychometrics.com/wp-content/uploads/2015/05/mbtifr_st2_ir.pdf . Dernier accès le 18 janvier 2019.
- 121- Anon, 2008. "Developing cognitive capacities and working methods of apprentices"-March 2008 GIP FCIP Experience - CAFOC of Nantes / CFA of Pays de la Loire the Loire
- 122- Bart Rienties, Bethany Alden Rivers, 2014. "Learning Analytics Community Exchange Measuring and Understanding Learner Emotions: Evidence and Prospects". Learning Analytics Review 1 ISSN:2057- 7494.
- 123- LeDoux, J., 1999. "The Emotional Brain: The Mysterious Underpinnings of Emotional Life". London: Phoenix.
- 124- Russell, J. A., 1980. "A circumplex model of affect". Journal of Personality and Social Psychology - PSP, 39, 1161-1178.
- 125- Imène Jraïdi, 2013. These: "Modélisation des émotions de l'apprenant et interventions implicites pour les Systèmes Tutoriels Intelligents",University of Montreal (Canada), ProQuest Dissertations Publishing, 2014.
- 126- Kort, B., Reilly, R., & Picard, R., 2001. An Affective Model of Interplay Between Emotions and Learning: Reengineering Educational Pedagogy-Building a Learning Companion. In T. Okamoto, K. R. Hartley & J. P. Klus (Eds.), IEEE International Conference on Advanced Learning Technology: Issues, Achievements and Challenges (pp. 43-48). Madison, Wisconsin: IEEE Computer Society.
- 127- Albert Mehrabian, 1996. "Pleasure-arousal-dominance: A general framework for describing and measuring individual differences in Temperament". Current Psychology, 14(4), 261- 292
- 128- Oertel, K., Kaiser, R., Voskamp, J. r. & Urban, B., 2007. "AFFectIX - An Affective Component as Part of an E-Learning-System". In D. Schmorow & L. Reeves (Eds.), Foundations of Augmented Cognition (Vol. 4565, pp. 385-393): Springer Berlin Heidelberg.
- 129- Gauthier picard, 2007. "Design Patter"-Outils pour la Gestion de Projets Examen ACSI, 1-98.
- 130- X. H. Zhu, B. Zhang, and Y. Zhang. 2009. "A learning object organization model based on conceptual domain," Proc. - 2009 Int. Conf. Comput. Intell. Softw. Eng. CiSE 2009, pp. 0-3.
- 131- A. Maratea, A. Petrosino, and M. Manzo, 2012. "Integrating navigational and structural information in SCORM content aggregation modeling," Proc. 12th IEEE Int. Conf. Adv. Learn. Technol. ICALT 2012, pp. 379-380, 2012.
- 132- "ADL Initiative," Advanced Distributed Learning, 2010. [en ligne]. www.adlnet.gov/help/Pages/CommonQuestions.aspx . Dernier accès le 19 janvier 2019.

- 133- Rustici Software, “What is SCORM?” [en ligne].
<http://www.scorm.com/scorm-explained/>. Dernier accès le 19 janvier 2019.
- 134- Advanced Distributed Learning (ADL), 2009. Content Aggregation Model (CAM) SCORM 2004 4th Ed. v1.1. 2009.
- 135- Advanced Distributed Learning, SCORM 2004 Run-Time Environment [RTE]. 2009.
- 136- Advanced Distributed Learning (ADL), “Sequencing and Navigation (SN) SCORM 2004 4th Ed. v1.1,” p. 234, 2009.
- 137- ADL, “SCORM Users Guide for Programmers,” 2011.
- 138- Advanced Distributed Learning, 2011. “SCORM Users Guide for Instructional Designers,” Best Pract. Guid. Instr. Des., p. 55.
- 139- mike.rustici, “SCORM – SCORM 2004 Manifest Structure - SCORM” 2009. [en ligne] <https://scorm.com/scorm-explained/technical-scorm/content-packaging/manifest-structure/> Dernier accès le 19 janvier 2019.
- 140- Rustici Software, “SCORM 2004 Sequencing Definition XML Binding” 2009. [en ligne] <https://scorm.com/scorm-explained/technical-scorm/content-packaging/sequencing-definition-structure/> . Dernier accès le 19 janvier 2019.
- 141- M. Melia, R. Barrett, and C. Pahl, 2006. “A Model-based Approach to SCORM Sequencing,” in Sixth Annual Irish Educational Technology User’s Conference (EdTech06) - Research Track. ILTA.
- 142- K. C. Lim, 2015. “Case Studies of xAPI Applications to E-Learning,” in The Twelfth International Conference on eLearning for Knowledge-Based Society.
- 143- R. S. Jerry Gschwind, 2016. “Trends : The Experience API & Learning Analytics,” Expertus, 2016.
- 144- L. K. Chew, 2015. “Tracking Learning Experiences Using the Experience API,”
- 145- Art Werkenthin (President Risc. Inc),2015 “What is cmi5 ? Art Werkenthin explains - YouTube,” ADL Initiative. [en ligne]
https://www.youtube.com/watch?v=j0Lci2tesU8&list=PLlv_yyODMQs5t2aom5cYp1Z5Dv6BxMVkg Dernier accès le 19 janvier 2019.
- 146- Ben Clark, 2015 “What is cmi5 ? Ben Clark Explains - Youtube” ADL Initiative.[En ligne].
https://www.youtube.com/watch?v=ZNETexCpHsk&list=PLlv_yyODMQs5t2aom5cYp1Z5Dv6BxMVkg Dernier accès le 19 janvier 2019.
- 147- E. Cohen et al., 2016. “AICC/CMI-5_Spec_Current cmi5 Specification Profile for xAPI,” AICC. [En ligne].
https://github.com/AICC/CMI5_Spec_Current/blob/quartz/cmi5_spec.md Dernier accès le 19 janvier 2019.
- 148- AICC, “SCORM vs cmi5 Comparaison,” The cmi5 Project. [En ligne]. Available: http://aicc.github.io/CMI-5_Spec_Current/SCORM Dernier accès le 19 janvier 2019.
- 149- XAPI Communities of Practice & Profiles Group and XAPI Profile Specification Group, “xAPI Vocabulary and Profile Publishing Server”

- 150- Williams RW, Herrup K .1988. "The control of neuron number". *Annu Rev Neurosci* 11:423–453.
- 151- Andersen BB, Korbo L, Pakkenberg B . 1992. "A quantitative study of the human cerebellum with unbiased stereological techniques". *J Comp Neurol* 326:549–560
- 152- Suzana Herculano-Houzel ,Roberto Lent : Isotropic Fractionator: . 2015. "A Simple, Rapid Method for the Quantification of Total Cell and Neuron Numbers in the Brain", *The Journal of Neuroscience*, 25(10):2518 –2521
- 153- La 3D: Cerveau, [en ligne] <http://tpela3d.e-monsite.com/pages/i-la-vision-de-l-homme/cerveau.html> Dernier accès le 19 janvier 2019.
- 154- Editeur Belin, Svt, 1ere s, Manuel de l'élève (édition 2011) DUCO, ANDRE.
- 155- Mehdi TMIMI, Mohamed BENSLIMANE, Mohammed BERRADA and Kamar OUAZZANI, 2017 "Inspiration and Pre-Conception of an Intelligent and Dynamic System Supporting Learner Ontologies". *International Journal of Engineering and Technology (IJET)*, Vol 9 No 4
- 156- Mehdi TMIMI, Mohamed BENSLIMANE, Mohammed BERRADA and Kamar OUAZZANI, 2018 "Intelligent Model Conception Proposal for Adaptive Hypermedia Systems" *International Journal of Advanced Computer Science and Applications(IJACSA)*, 9(8)

Glossaire

ACGs: Adaptive Course Generation System

ADL : Advanced Distributed Learning

AHA!: Adaptive Hypermedia for All

AHAM : The Adaptive Hypermedia Application Model

ALE : Adaptive Learning Environment

CBE : Computer Based Education

CBI : Computer Based Instruction)

CMI : L'instruction gérée par ordinateur

DC : Diagramme de Classes

FSLSM : Felder-Silverman Learning Style Model

IAO : L'instruction assistée par ordinateur

IGES : Initial Graphics Exchange Specification

JEE : Java Enterprise Edition.

LMS : Learning Management System

MOOC : Massive open online courses

NBC : National Broadcasting Company

ODA : Open Document Architecture

UML : Unified Modeling Language.

UMUAI : User Modeling and User-Adapted Interaction

Productions Scientifiques

- 1- TMIMI Mehdi, BENSLIMANE Mohamed, BERRADA Mohammed, OUAZZANI Kamar, 2016. “Elaboration d’une ontologie apprenant pour les hypermédias adaptatifs”. Communication Orale à la Conférence Internationale en Approches Pédagogiques et E-Learning, FST Fès.
- 2- TMIMI Mehdi, BENSLIMANE Mohamed, BERRADA Mohammed, OUAZZANI Kamar, 2016. “Proposition d’une ontologie apprenant par benchmark”. Communication Orale à la Journée Doctorale et PostDoctorale des Systèmes d’Information et Télécommunications, ENSA Fès.
- 3- TMIMI Mehdi, BENSLIMANE Mohamed, BERRADA Mohammed, OUAZZANI Kamar, 2017. “Inspiration and Pre-Conception of an Intelligent and Dynamic System Supporting Learner Ontologies”, International Journal of Engineering and Technology (IJET), Vol 9, No 4, Aug-Sep 2017, p 3035
- 4- TMIMI Mehdi, BENSLIMANE Mohamed, BERRADA Mohammed, OUAZZANI Kamar, 2017. “A Proposed Conception of the Learner Model for Adaptive Hypermedia” , International Journal of Applied Engineering Research (IJAER). Vol 12, No 24 (2017), p 16008
- 5- TMIMI Mehdi, BENSLIMANE Mohamed, BERRADA Mohammed, OUAZZANI Kamar, 2017. “Conception d’un Système Intelligent et Dynamique pour Supporter les Ontologies Apprenants”. Communication Orale à la Journée Doctorale et PostDoctorale des Systèmes d’Information et Télécommunications, ENSA Fès.
- 6- TMIMI Mehdi, BENSLIMANE Mohamed, BERRADA Mohammed, OUAZZANI Kamar, 2018. “Intelligent Model Conception Proposal for Adaptive Hypermedia Systems”, International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA). Vol. 9, No. 8, 2018, p 200
- 7- TMIMI Mehdi, BENSLIMANE Mohamed, BERRADA Mohammed, OUAZZANI Kamar, 2018. “Propositions de modèles innovants pour l’implémentation des

hypermédias adaptatifs”. Communication Orale à la Journée Doctorale et PostDoctorale des Systèmes d'Information et Télécommunications, ENSA Fès.

- 8- TMIMI Mehdi, BENSLIMANE Mohamed, BERRADA Mohammed, OUAZZANI Kamar, 2019. “Implemented and Tested Conception Proposal of Adaptation Model for Adaptive Hypermedia”, International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET). Vol 14, No 02 (2019)
- 9- TMIMI Mehdi, BENSLIMANE Mohamed, BERRADA Mohammed, OUAZZANI Kamar, 2019. “Innovative Models Proposals for the Implementation of Adaptive Hypermedia Systems”. International Conference on Computing and Wireless Communication Systems, FS Kenitra.