

Université Badji Mokhtar –Annaba-

Badji Mokhtar –Annaba- University



جامعة باجي مختار - عنابة-

Année: 2015

Faculté des sciences de l'ingénierat
Département d'informatique

THÈSE

Pour obtenir le diplôme de
Docteur en science

Adaptation des hypermédias

Filière : Informatique
Spécialité : Intelligence Artificielle

Préparée par

Samia Drissi

Président :	Mr Djamel MESLATI	Professeur	Université Badji Mokhtar – Annaba
Directeur de thèse :	Mr Abdelkrim AMIRAT	Professeur	Université Med Chérif Messaidia-Souk Ahras
Examineurs :	Mr Hamid SERIDI	Professeur	Université 08 Mai 1945 – Guelma
	Mr Yacine LAFIFI	MCA	Université 08 Mai 1945 – Guelma
	Mr Tahar BOUHADAD	MCA	Université Badji Mokhtar – Annaba

Remerciements

Avant, toute personne, je tiens à remercier notre Dieu Tout Puissant pour m'avoir éclairci le chemin de ce travail.

Mes vifs remerciements vont également à Monsieur Abdelkrim AMIRAT professeur à l'université de Souk Ahras d'avoir assuré l'encadrement de cette thèse ainsi que pour ses précieux conseils et la confiance qu'il m'a accordée qui ont fortement contribué à mener à bien ce travail.

Je tiens à remercier vivement Monsieur Djamel MESLATI, Professeur à l'université Badji Mokhtar -Annaba, pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury de ma soutenance.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude à Monsieur Hamid SERIDI, Professeur à l'université de Guelma, pour avoir bien voulu juger le travail.

Je tiens également à remercier Monsieur Yacine LAFIFI, Maitre de Conférence à l'université de Guelma, pour ses remarques fructueuses et d'avoir lui aussi accepté de faire partie de mon jury de thèse.

Je tiens aussi à exprimer toute ma gratitude à Monsieur Tahar BOUHADADA, Maitre de Conférence à l'université de Badji Mokhtar-Annaba pour avoir bien voulu juger le travail et faisant partie de jury de soutenance.

Sans oublier de remercier Monsieur Mahieddine DJOUDI, Maitre de Conférence à l'Université de Poitiers-France, qui m'a tout le temps accordé son aide, sa confiance et son soutien. Je tiens à le remercier profondément pour ses conseils et ses encouragements qu'il m'a donnés au niveau de mon stage réalisé dans l'année 2011/2012 au sein de son université.

Je dois aussi remercier vivement les membres du laboratoire STEF de L'Ecole Normale Supérieure de Cachan-France pour l'accueil et l'aide précieuses, Plus précisément, je remercie monsieur Eric BRUILLAD, mon maître de stage pour l'année 2014/2015 qui m'a formé et accompagné avec beaucoup de patience et de pédagogie.

Je remercie aussi tous ceux que j'ai encadrés et avec lesquels j'ai eu le bonheur et l'honneur de collaborer.

Je remercie tous ceux qui ont participé aux expérimentations que j'ai réalisées, en particulier, les étudiants de première année Math et Informatique de l'université de Souk Ahras pour l'année 2013/2014.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail:

À ceux que j'ai de plus cher au monde : mes parents;

À Mon mari et mon petit fils SADJED ACIL

À mes frères, mes sœurs, mes neveux et mes nièces.

À tous mes amis et collègues.

À tous ceux qui m'ont aimé et me souhaitent le bonheur et la réussite.

Résumé

Des recherches dans les Environnements Informatiques d'Apprentissage Humain (EIAH) ont essayé de comprendre les relations entre les caractéristiques des apprenants, le matériel pédagogique et le contexte dans lequel se déroule l'apprentissage, afin d'introduire une adaptation au profil de l'apprenant. Pour cela, l'identification des caractéristiques relatives à la connaissance, aux intérêts, aux objectifs, aux prérequis et aux traits individuels s'avère indispensable.

Récemment, une attention croissante est accordée à des caractéristiques telles que les styles d'apprentissage, leur impact sur l'apprentissage, et comment ces caractéristiques individuelles peuvent être prises en charge par les systèmes d'apprentissage. Ces enquêtes sont motivées par les théories pédagogiques, qui affirment que donner des cours qui répondent aux caractéristiques individuelles des apprenants rend l'apprentissage plus facile pour eux et donc, augmente la progression de leur apprentissage.

La recherche que nous proposons s'inscrit dans le cadre spécifique des systèmes hypermédias éducatifs adaptatifs et porte plus particulièrement sur le modèle de Honey et Mumford et la théorie d'apprentissage expérimental ainsi que le rendement académique des apprenants.

Afin d'évaluer l'apport du style d'apprentissage en tant que critère d'adaptation d'un cours, nous nous sommes intéressés au modèle de Honey et Mumford et la théorie de l'apprentissage expérimentiel. Nous avons conçu et réalisé un système hypermédia d'enseignement adaptatif centré sur les styles d'apprentissage intitulé LS-AEHS (Learning Style based Adaptive E-learning Hypermédia System). Pour affirmer ou infirmer l'apport du style d'apprentissage vis-à-vis de l'adaptation, notre système a été validé expérimentalement par deux groupes d'étudiants en se basant principalement sur le T-test de Student issu de la statique d'inférence. Les résultats obtenus sont encourageants.

Mots-clés: Adaptation des EIAH, Hypermédias adaptatifs, Styles d'apprentissage, Modèle de Honey et Mumford, L'apprentissage Expérimental, Performance de l'apprentissage.

Abstract

Personalized e-learning implementation is recognized one of the most interesting research areas in the distance web-based education. Since the learning style of each learner is different we must to fit e-learning to the different needs of learners. Learning style is one of the individual differences that play an important but controversial role in the learning process. On the other hand, previous research suggested that learning styles significantly affect student learning because they refer to how learners process and organize information.

To this end, this thesis presents an approach to integrate learning styles into adaptive e-learning hypermedia. The main objective was to develop a Learning Style based on Adaptive E- learning Hypermedia System (LS-AEHS) that based on Honey and Mumford model and assess the effect of adapting educational materials individualized to the student's learning style.

To achieve the main objectives, a case study was developed. An experiment between two groups of students was conducted. Inferential statistics were applied in the form of independent sample t-test to make inferences from the sample data to more general conditions in order to evaluate the new approach of matching learning materials with learning styles and their influence on student's learning achievement. The findings support the use of learning styles as guideline for adaptation into the adaptive e-learning hypermedia systems.

Keywords: Adaptive learning, Personalization, Learning style, Honey and Mumford model, learning achievement.

ملخص

محيطات التعلم الرقمية (EIAH) هي عبارة عن وسائط قابلة للتعديل تمكن المتعلم من الحصول على الخدمات والولوج الى الموارد الرقمية اللازمة لنشاطه بكل بساطة وعبر الشبكات. و مع انفجار الحضور اليومي للإنترنت و تطور وسائل التكنولوجيا (TIC) فان المعرفة اليوم أصبحت تأتي للمتعلم عن بعد.

لكن قد اتضح ان بنية هذه الوثائق الرقمية ليست مكيمة و ملائمة تماما لاستخدامات تعليمية فعالة ولهذا يجب تكييفها و النموذج التعليمي الإدراكي لكل متعلم (style d'apprentissage de l'apprenant). في هذا الحقل الدراسي نهتم بدراسة الأنظمة المتعددة الوسائط (Les Hypermédias) حيث أن هذه الأخيرة تسمح بتقديم المعلومات عن طريق عدة أشكال: نصوص، صور، سمعيات الخ.. وبصورة غير خطية فهي تتكون من روابط و عقد.

الأنظمة المتعددة الوسائط المتكيفة تسجل كتحسين للأنظمة السابق ذكرها. في إطار تعليمي الوثائق المتعددة الوسائط المتكيفة تلعب دورا هاما في توجيه المتعلم أثناء دراسته، حيث تقوده إلى هدفه دون سلك روابط غير ضرورية، كما أنها تسمح بتقديم محتوى مكيمة مع معارف و شخصية هذا المتعلم.

في هذه الدراسة تمكنا من وضع طريقة جديدة لتكييف المحتوى والشكل وفقا للأسلوب التعليمي الإدراكي للمتعلم; وأخيرا لتجريب هذه الطريقة اخترنا درسا غنيا بصور و سمعيات مما يسهل علينا تكييف المحتوى وتكييف الروابط بالنسبة إلى النموذج التعليمي الإدراكي لهذا الأخير (style d'apprentissage). كما قمنا بإجراء دراسة تجريبية مع عدد من الطلاب لتقييم مدى تأثير الأسلوب التعليمي الإدراكي على النتائج الدراسية حيث ان النتائج المتحصل عليها تؤيد فكرة ادراج النموذج التعليمي الإدراكي لتكييف الوثائق المتعددة الوسائط.

كلمات مرشدة:

محيطات التعلم الرقمية (EIAH), الأنظمة المتعددة الوسائط المتكيفة, النموذج التعليمي الإدراكي

Table des matières

Introduction

Contexte de recherche	01
Problématique	02
Motivations et Objectifs	04
Organisation du document	05

Chapitre 1 La formation à distance : E- Learning

1.1 Introduction	07
1.2 Historique de E-learning	08
1.3 Définition de E-Learning	10
1.4 Acteur du E-learning	12
1.4.1 L'apprenant	12
1.4.2 Le Tuteur	13
1.4.3 L'administrateur	13
1.5 Les outils et les technologies clés du E-learning	14
1.6 Comparaison du E-learning et formation traditionnelle	14
1.7 Topologie de E-Learning	16
1.7.1 Les bases de données de connaissances	17
1.7.2 Les supports en ligne	17
1.7.3 Formation multimédia interactive	17
1.7.4 La formation asynchrone	17
1.7.5 La formation synchrone	18
1.8 Les principaux avantages de e-learning	18
1.8.1 Une formation «juste à temps»	18
1.8.2 Une formation en toute souplesse	18
1.8.3 Réduction des coûts de formation	19
1.8.4 Uniformité et personnalisation l'apprentissage	19

1.8.5	Automatisation de la gestion des certificats	19
1.9	Les inconvénients du E-learning	20
1.9.1	Le sentiment d'isolement	20
1.9.2	Interactions limitées entre les individus	20
1.9.3	Les difficultés à maîtriser une méthode de travail inconnue	20
1.9.4	Nécessité de l'accès à l'outil informatique	21
1.9.5	La difficulté pour certains publics à travailler seuls	21
1.9.6	La conception des ressources	21
1.10	Les plateformes d'apprentissage	21
1.10.1	LMS: Learning Management System	21
1.10.2	LCMS: Learning Content Management System	22
1.11	Les organismes de standardisation	22
1.12	Exemples des systèmes LMS	23
1.12.1	Claroline	24
1.12.2	Ganesha	24
1.12.3	Moodle	26
1.13	Synthèse	28
1.14	Conclusion	30

Chapitre 2 Les systèmes hypermédias adaptatifs

2.1	Introduction	31
2.2	Hypermédias classiques	32
2.2.1	Origine des termes Hypertexte et Hypermédia	32
2.2.1.1	Définitions des termes hypertexte et hypermédia	33
2.2.1.2	Concepts de base d'un hypertexte/hypermédia	36
2.2.2	Avantages dans un cadre éducatif	37
2.2.3	Inconvénients dans un cadre éducatif	37
2.3	Hypermédias adaptatifs	38
2.3.1	Principes et définitions	38
2.3.2	Adaptation dans les hypermédias	39
2.3.3	Méthodes et techniques d'adaptation	39
2.3.3.1	Adaptation de contenu	40

2.3.3.2	Adaptation de la navigation	42
2.3.3.3	Adaptation de la présentation	44
2.3.4	Données utilisées pour l'adaptation	44
2.3.4.1	Modélisation du domaine	45
2.3.4.2	Modélisation de l'apprenant	45
2.3.5	Processus d'adaptation	47
2.3.6	Avantages des hypermédias adaptatifs	50
2.3.7	Inconvénients des hypermédias adaptatifs	50
2.4	Hypermédias adaptatifs dynamiques	50
2.5	Modèles des systèmes hypermédias adaptatifs	51
2.5.1	Le modèle AHAM	51
2.5.2	Le modèle de référence MUNICH	52
2.5.3	Le modèle ALEM	53
2.6	Exemples des systèmes hypermédias adaptatifs	55
2.6.1	ELM-ART	55
2.6.2	Interbook	55
2.6.3	Netcoach	56
2.7	Conclusion	57
<i>Chapitre 3 Styles d'apprentissage et les EIAH</i>		
3.1	Introduction	58
3.2	Définition du terme style d'apprentissage	59
3.3	Quelques modèles de styles d'apprentissage	61
3.3.1	Modèle de Riding	61
3.3.2	Modèle de Dunn et Dunn	61
3.3.3	Modèle de Witkin	62
3.3.4	Modèle de Felder et Silverman	63
3.3.5	Modèle de MBTI	65
3.3.6	Modèle de Kolb	67
3.3.7	Modèle de Honey et Mumford	69
3.4	Classification des styles d'apprentissage	72
3.4.1	Modèle de Curry (1983)	72
3.4.2	Classification de Chevrier [Chevrier 2000]	73

3.4.3	Classification de de Riding [Riding 2001]	74
3.4.4	Classification de Coffield [Coffield 2004]	75
3.5	Multi dimensionnalité du style d'apprentissage	76
3.6	Styles d'apprentissage et performances de l'apprenant	77
3.7	Modélisation des styles d'apprentissage dans un EIAH	79
3.7.1	Méthode de modélisation explicite	79
3.7.2	Méthode de modélisation implicite	80
3.7.3	Méthode de modélisation mixte	81
3.8	Styles d'apprentissage et EIAH	82
3.8.1	EIAH basés sur une modélisation explicite des S.A	82
3.8.1.1	CS383	82
3.8.1.2	CAMELEON	83
3.8.1.3	LSAS	83
3.8.1.4	INSPIRE	84
3.8.1.5	SACS	84
3.8.1.6	MEDYNA	84
3.8.2	EIAH basés sur une modélisation implicite ou mixte des S.A	85
3.8.2.1	Arthur	85
3.8.2.2	MASPLANG	86
3.8.2.3	TANGOW	86
3.8.2.4	iWeaver	86
3.8.2.5	AHA !	87
3.8.2.6	HALS	88
3.8.2.7	SAVER	88
3.8.2.8	WELSA	88
3.9	Positionnement de notre travail	90
3.10	Conclusion	93

Chapitre 4 Conception et réalisation de notre système

4.1	Introduction	94
4.2	Conception de notre système	94
4.2.1	Cadre de recherche et méthodologie de conception	94
4.2.2	Architecture de notre environnement : LS-AEHS	98
4.2.2.1	Modèle apprenant	99
4.2.2.2	Modèle du domaine	101
4.2.2.3	Module d'adaptation	102

4.2.2.4	Module d'analyse de parcours	104
4.2.2.5	Module d'évaluation	104
4.3	Réalisation de notre système	105
4.3.1	Les outils de développement	105
4.3.1.1	Choix du langage PHP/MySQL	105
4.3.1.2	Ajax	106
4.3.1.3	Choix de l'éditeur	106
4.3.1.4	Choix du serveur web	107
4.3.1.5	Hot Potatoes	108
4.3.2	Prototype	109
4.3.3	Scénario d'utilisation de notre prototype	110
4.4	Conclusion	117

Chapitre 5 Evaluation et retour d'expérience

5.1	Introduction	118
5.2	Dispositif expérimental	118
5.2.1	Statistique d'inférence (le test de Student)	118
5.2.2	Participants	119
5.2.3	Processus d'évaluation	119
5.3	Résultats et discussions	120
5.3.1	Analyse des résultats propres au questionnaire démographique	121
5.3.2	Analyse des résultats propres au pré-test questionnaire	121
5.3.3	Analyse des résultats propres au LSQ-FA questionnaire	122
5.3.4	Analyse des résultats propres aux tests d'évaluation réalisés par le Groupe expérimental	124
5.3.5	Analyse des résultats propres au post-test questionnaire	128
5.3.6	Analyse des résultats propres au formulaire exprimant les avis des apprenants	129
5.4	Conclusion	129

Conclusion et perspectives

Bilan	130
Perspectives	131

Liste des travaux publiés

Bibliographie

<i>Annexe A</i>	144
<i>Annexe B</i>	147

Liste des figures

Chapitre 1		
1.1	Les différentes phases de l'évolution de E-learning	10
1.2	les acteurs et les éléments de E-Learning [Dossou 2008]	13
1.3	Organisation des outils nécessaire pour le E-learning.	14
1.4	Une topologie de la formation à distance [Blandin 2004]	16
1.5	Page d'accueil d'un cours dans Claroline	25
1.6	Page d'accueil du cours dans Ganesha (mode apprenant)	25
1.7	Page d'accueil d'un cours Moodle	27
Chapitre 2		
2.1	Sémantique dans les hypermédias	35
2.2	Représentation d'un hypertexte d'après [Conklin 1987]	36
2.3	Modèle utilisateur-adaptation [Brusilovsky 1996]	39
2.4	Méthodes et techniques d'adaptation de contenu.	40
2.5	Processus d'adaptation [Dieterich 1993]	49
2.6	Architecture du modèle AHAM [De Bra 1999]	52
2.7	Le modèle ALEM	54
Chapitre 3		
3.1	Les 16 types de personnalité suivant le modèle MBTI	66
3.2	La théorie d'apprentissage expérientiel et le modèle de Kolb [Kolb 1984]	67
3.3	Les styles d'apprentissage suivant le modèle de Honey et Mumford	70
3.4	Modèle d'oignon de [Curry 1983]	73
3.5	Classification de [Coffield 2004]	75
3.6	Corrélations entre les modèles de style d'apprentissage [Stash 2007]	77
3.7	Méthodes de modélisation des styles d'apprentissage dans un EIAH	82
Chapitre 4		
4.1	Le cycle de l'apprentissage expérientiel [Kolb 1984]	96
4.2	Architecture de notre système (LS-AEHS)	98
4.3	Le modèle apprenant établi par le questionnaire LSQ-FA	99
4.4	Organisation du modèle du domaine	101
4.5	Processus de génération des parcours pédagogiques	105
4.6	Page d'administration du serveur local Apache MySQL	108
4.7	Interface de JQuiz	109

4.8	Interface de JMatch	109
4.9	Page d'accueil	110
4.10	Page d'inscription d'un apprenant	111
4.11	Messages d'erreurs	111
4.12	Confirmation de l'inscription	112
4.13	Interface questionnaire de Honey et Mumford	112
4.14	Interface indiquant le style d'apprentissage de l'apprenant	113
4.15	Cours en mode abstraitif adapté à un apprenant théoricien	115
4.16	Cours en mode vérificateur adapté à un apprenant pragmatique	116
4.17	Test d'évaluation sous forme QCM	116

Chapitre 5

5.1	Répartition des indices de préférence par rapport au style d'apprentissage des apprenants	122
5.2	Répartition des styles d'apprentissage des apprenants par rapport aux indices de préférence	123
5.3	Pourcentage des modes sélectionnés	123
5.4	Répartition des succès et des échecs pour chaque mode d'apprentissage	124
5.5	Répartition des moyennes des notes en fonction des modes d'apprentissage	125
5.6	Les pourcentages des succès par rapport aux indices de préférence	126
5.7	Les pourcentages des succès par rapport aux indices de préférence après la mise en cause des styles d'apprentissage	127
5.8	Répartition des moyennes des notes en fonction des modes d'apprentissage après la mise en cause des styles d'apprentissage	127

Liste des tables

Chapitre 1		
1.1	Les différences entre la formation traditionnelle et E-learning [Drucker 2000]	16
Chapitre 3		
3.1	Description du modèle de Dunn et Dunn	62
3.2	Description du modèle de Witkin	63
3.3	Les quatre dimensions du modèle de Felder Silverman	64
3.4	Degré de confiance utilisé dans le questionnaire FSLSM	65
3.5	Description du modèle de Honey et Mumford	70
3.6	Description du modèle de Curry [Curry 1983]	73
3.7	Description de la classification de Chevrier [Chevrier 2000]	74
3.8	Description de la classification de Confield [Confield 2000]	75
3.9	Quelques EIAH basés sur une modélisation explicite des styles d'apprentissage	85
3.10	Exemples des EIAH basés sur une modélisation implicite ou mixte des styles d'apprentissage	89
Chapitre 4		
4.1	Description des styles d'apprentissage suivant le modèle de Honey et Mumford	100
4.2	La distribution des indices de préférence selon le modèle de Honey et Mumford	101
4.3	Les règles d'adaptation décrites selon le modèle de Honey et Mumford	103
Chapitre 5		
5.1	Caractéristiques démographiques des apprenants	121
5.2	Résultats de t-test indépendant réalisé à l'étape du pré-test	121
5.3	Résultats de t-test indépendant réalisé à l'étape du post-test	128
5.4	Formulaire exprimant quelques avis des apprenants	129

Introduction

Contexte de recherche

L'application des Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Enseignement (TICE) a donné naissance à une nouvelle forme d'apprentissage appelée E-learning ou la Formation Ouverte et A Distance (FOAD).

Dans le E-learning, l'accès quotidien à l'information sur le cours est plus libre que la formation classique qui exige le temps de formation. Dans ce type de formation l'apprenant est considéré l'acteur principal de son apprentissage c-à-d l'apprenant devient plus actif et peut interagir avec le contenu du cours, le formateur et les autres apprenants [Holmes 2006].

Aujourd'hui, le E-learning est dominé par l'utilisation des systèmes de gestion de l'apprentissage (LMS) appelés aussi des plateformes d'apprentissage, comme Blackboard, Moodle, ATutor ou dotLRN, qui offrent un soutien pour un large domaine d'activité dans le processus de formation en ligne [Popescu 2008a]. Ainsi, d'un côté, les enseignants peuvent utiliser les LMS pour la création des cours et des exercices d'évaluation, communiquer avec leurs étudiants, suivre et évaluer leurs travaux et d'un autre côté, les étudiants peuvent apprendre, communiquer et collaborer par l'utilisation de ces LMS.

Le problème est que les LMS n'offrent pas des services personnalisés aux différents types d'apprenant [Popescu 2008a ; Stash 2007 ; Behaz 2012 ; Bourekkeche 2014 ; Drissi 2015]. En fait, tous les apprenants sont donnés accès au même ensemble des ressources et des outils éducatifs sans tenir compte des différences de niveau de connaissance, des intérêts, des motivations et des objectifs [Popescu 2008a].

Pour affranchir ce problème, Les systèmes hypermédias adaptatifs éducatives essaient d'offrir une alternative aux approches non individualisées, en offrant divers services adaptés aux différents profils des apprenants [Popescu 2008a].

Les systèmes hypermédias adaptatifs éducatifs utilisent des techniques d'adaptation de contenu et de stratégies selon chaque apprenant pour satisfaire les besoins et les

préférences des apprenants hétérogènes et fournir un apprentissage personnalisé pour chaque apprenant.

Récemment, une attention croissante est accordée à des caractéristiques telles que les styles d'apprentissage, leur impact sur l'apprentissage, et comment ces caractéristiques individuelles peuvent être prises en charge par les environnements informatiques d'apprentissage humain. Ces enquêtes sont motivées par les théories pédagogiques, qui affirment que donner des cours qui répondent aux caractéristiques individuelles des apprenants rend l'apprentissage plus facile pour eux et donc, augmente la progression de leur apprentissage [Popescu 2008a ; Stash 2007 ; Mampadi 2011 ; Antony 2013 ; Wang 2013 ; Hwang 2013].

Notre projet de recherche s'inscrit dans ce contexte des environnements de formation hypermédias adaptatifs et s'intéresse plus particulièrement à la prise en compte du style d'apprentissage en tant que critère d'adaptation.

Problématique

Les recherches dans le domaine des Environnements Informatiques d'Apprentissage Humain (EIAH) portent sur les principes de conception, de développement et d'évaluation de systèmes informatiques qui permettent à des êtres humains d'apprendre [Piombo 2006]. L'objectif de tels systèmes est de venir en complément, et/ou de répondre aux problèmes rencontrés dans une situation classique de formation en termes de distance, assistance, adaptation, personnalisation, individualisation et suivi. Pour cela, l'identification des caractéristiques relatives à la connaissance, aux intérêts, aux objectifs, aux prérequis et aux traits individuels s'avère indispensable [Brusilovsky 2007].

Parmi les traits individuels considérés, plusieurs recherches en EIAH s'intéressent ces dernières années à la prise en compte du style d'apprentissage comme facteur clé dans le processus de formation.

Malgré l'importance accordée par les spécialistes en psychologie de l'éducation aux styles d'apprentissage depuis trois décennies, ils n'ont été mis en place dans les systèmes éducatifs qu'assez récemment [Carver 1999; Laroussi 1998].

Au cours des dernières années, ils ont eu une attention particulière, et plusieurs environnements éducatifs hypermédias adaptatifs basés sur les styles d'apprentissage sont

apparus. Citons par exemple les systèmes TANGoW [Paredes 2004], Heritage Alive Learning System [Cha 2006], et ceux qui ont été développés dans [Sanginetto 2007] et [Graf 2007]. Ces systèmes utilisent le modèle de Felder et Silverman [Felder 1988] qui contient quatre dimensions (sensing/intuitive, visual/verbal, sequential/global, active/reflective).

Alors, après des études bien renforcées dans le domaine d'adaptation des systèmes hypermédias éducatifs basés sur les styles d'apprentissage on a observé quelques lacunes.

La première est celle de l'identification des styles d'apprentissage, tel que la majorité des systèmes proposent généralement aux apprenants de remplir un questionnaire psychologique dédié, ou d'exprimer leurs styles d'apprentissage explicitement, au début de la formation ou du cours. Le résultat est enregistré dans le modèle de l'apprenant qui, généralement, n'est plus mis à jour, sauf dans certains systèmes où la mise à jour s'établit directement par l'étudiant ou par l'évaluation de ses résultats.

La deuxième est celle de la manière d'adaptation utilisée. Tel que la majeure partie des travaux concernant les documents multimédia adaptables aux styles d'apprentissage porte sur les médias à utiliser lors de l'adaptation pour la présentation. Toutefois, très peu de travaux se consacrent à la relation entre le style et la nature de l'activité et des tâches d'apprentissage puisque la plupart des modèles de style cités dans la littérature ont pour point de départ des éléments de l'environnement pédagogique et des processus cognitifs à l'œuvre dans une situation d'apprentissage. Or, la plupart des travaux ne prennent pas pour assise une théorie éducative comme par exemple la théorie d'apprentissage expérientiel qu'on va l'exploiter pour décrire l'ensemble des activités d'apprentissage.

La dernière est celle de l'expérimentation réelle et de l'évaluation de l'effet de l'adaptation dans ce domaine en termes de satisfaction et de performance. Tel que, d'un côté, la recherche expérimentale dans ce domaine est relativement récente et seulement quelques études comme celles présentées dans [Graf 2007 ; Popescu 2008a] montrent que l'adaptation d'un cours hypermédia basée sur les styles d'apprentissage a permis un apprentissage aisé et une satisfaction des apprenants. Et d'un autre côté, la pluparts des expérimentations menées dans ce domaine, utilisent les statiques descriptives sans faire appel au statique d'inférence pour affirmer ou infirmer l'apport du style d'apprentissage vis - à- vis de l'adaptation.

Par conséquent, notre recherche s'inscrit dans le cadre spécifique des systèmes hypermédias éducatifs adaptatifs et porte plus particulièrement sur les styles d'apprentissage et le rendement académique des apprenants. Cette recherche s'inscrit dans la continuité d'autres recherches qui ont souligné la pertinence et l'intérêt de prendre en compte les styles d'apprentissage à des fins d'optimisation de l'apprentissage dans ces environnements.

Motivations et Objectifs

En raison de ce manque d'études expérimentales, nous allons essayer dans la présente étude de répondre à un besoin clairement défini, à savoir évalué par les performances l'apport de l'adaptation d'un cours en fonction du style d'apprentissage de l'apprenant, dans le contexte des hypermédias adaptatifs basés sur le web.

Alors, dans le cadre de ce travail, nous nous intéressons aux documents hypermédias comme champ d'étude. Notre intérêt porte sur l'adaptation de la présentation (contenu) et de la navigation en fonction du style d'apprentissage selon la théorie d'apprentissage expérientiel. Cette dernière postule qu'un apprentissage ne peut avoir lieu que lorsqu'un apprenant expérimente les informations qui lui ont été transmises ou qu'il découvre au cours d'une expérience. Autrement dit, l'apprentissage se développe par l'action, ce qui signifie qu'il est indispensable que l'apprenant applique les informations reçues.

Selon cette théorie, l'apprentissage est organisé en quatre phases : l'expérience concrète, l'observation réfléchie, la conceptualisation abstraite et l'expérimentation active.

Dans cette thèse, nous avons reformulé ce problème en fixant les objectifs scientifiques suivants:

- Adopter la théorie de l'apprentissage expérientiel pour la conception d'un hypermédia adaptatif dynamique tout en déterminant un modèle apprenant et un modèle du domaine selon cette théorie.
- Fournir une adaptation basée sur les styles d'apprentissage des apprenants pour adapter la présentation des pages et des liens d'un cours hypermédia en utilisant l'ordonnancement et l'annotation des liens (une ordonnancement des lien selon le cycle de l'apprentissage expérientiel, et une annotation en utilisant des icônes pour donner

aux apprenants une idée sur l'objet à présenter), en se basant sur le modèle de Honey et Mumford.

- L'adaptation de la présentation utilisera une représentation multi points de vue de concepts selon la combinaison des différents médias (texte et image, son et texte, vidéo et texte ...).
- Fournir une description générale pour décrire des ressources pédagogiques adéquates pour chaque étape de l'apprentissage expérientiel et pour chaque style d'apprentissage donné.
- Déterminer des règles d'adaptation pour chaque style d'apprentissage en respectant chaque phase de l'apprentissage expérientiel.
- Offrir un module d'évaluation pour que les apprenants puissent évaluer et tester leurs niveaux de connaissance après l'apprentissage de chaque cours adapté à leurs styles d'apprentissage.
- Intégrer un module d'analyse de parcours pour aider l'apprenant dans l'exploration de nombreux parcours pédagogiques.
- Evaluer les performances de notre système pour affirmer ou infirmer l'apport des styles d'apprentissage vis-à-vis de l'adaptation en se basant sur les statiques descriptives d'un côté et sur les statiques d'inférence d'un autre côté.

Organisation du document

Cette thèse est organisée en cinq (05) chapitres, en plus d'une introduction et d'une conclusion générale.

La suite de ce manuscrit est organisée comme suit :

Chapitre 1. Ce chapitre présente le domaine de la formation à distance : E-learning. Il présente quelques définitions de E-Learning. il est aussi consacré à justifier l'utilisation des systèmes E-Learning et leurs avantages par rapport la formation traditionnelle. Il présente les topologies, les avantages et les limites de E-Learning. Ensuite, il va présenter une vue panoramique des différentes plateformes de E-Learning et les différents normes et standards existants dans ce domaine.

Chapitre 2. Pour bien expliquer notre sujet de recherche, nous décrivons premièrement dans ce chapitre intitulé les systèmes hypermédias adaptatifs, les trois types des systèmes hypermédias : hypermédias classiques, hypermédias adaptatifs et hypermédias adaptatifs dynamiques aussi que les inconvénients et les avantages de chaque type, deuxièmement, les méthodes et techniques d'adaptation utilisées, troisièmement, les différents modèles de références hypermédias adaptatifs existants dans la littérature ont été présentés et enfin quelques systèmes hypermédias adaptatifs éducatifs ont été illustrés dans ce chapitre.

Chapitre 3. Dans ce chapitre, nous définissons la notion de style d'apprentissage. Par la suite, nous étudions les différents modèles et classifications des styles d'apprentissage proposés dans la littérature. Nous analysons ensuite l'impact des styles d'apprentissage par rapport aux performances des apprenants. Ce chapitre est consacré principalement à l'étude de certains environnements hypermédias qui traitent cette notion de styles d'apprentissage en expliquant les différentes méthodes de modélisation existantes pour modéliser les styles d'apprentissage pour chaque environnement. Et enfin, nous discutons et justifions notre approche pour le choix du modèle de Honey et Mumford par rapport au EIAH basés sur les styles d'apprentissage.

Chapitre 4. Nous présentons dans ce chapitre, notre système hypermédia adaptatif dynamique intitulé LS-AEHS (Learning Style based Adaptive E-learning Hypermedia System) qui est basé sur le modèle de Honey et Mumford en détaillant notre conception pour les différents modèles élaborés : modèle de l'apprenant et le modèle du domaine et les différents modules incluant notre architecture et enfin, nous exprimons notre réalisation de ce système.

Chapitre 5. Dans ce chapitre, nous décrivons une expérimentation que nous avons effectuée pour affirmer ou infirmer l'apport des styles d'apprentissage vis-à-vis de l'adaptation en se basant sur les statiques descriptives d'un côté et sur les statiques d'inférence d'un autre côté.

En conclusion, nous faisons le bilan de ce travail, pour souligner très précisément notre contribution et nos résultats. Nous procédons ensuite à une critique de ce travail et proposons alors les raffinements et les perspectives possibles pour notre étude.

La formation à distance : E- Learning

1.1 Introduction

L'application des Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication (NTIC) au domaine de la formation a conduit à la création de cette nouvelle réalité appelée e-learning. Le E-Learning est la solution qui a permis actuellement l'admission des TIC dans la formation à distance. Il s'agit d'une transformation rapide des technologies pour l'apprentissage, rendue possible par le développement de l'Internet.

Par cette intégration de TIC dans les activités éducatives, les barrières de temps et de lieu sont supprimées, ainsi que la gestion et l'exécution de ces activités peuvent être effectués plus efficacement [Bourekache 2014]. L'introduction de ces TIC dans l'éducation vise à améliorer la qualité de la formation en facilitant l'accès aux ressources et aux services du web d'une part; et la collaboration à distance d'autre part [Blandin 2004].

La connexion entre réel et virtuel dans le e-learning s'effectue à travers des plateformes (*LMS : Learning Management Systems*). La plate-forme est un outil de diffusion et de gestion des connaissances, associant des contenus de cours à des moyens de communication, des outils d'entraînement et d'évaluation.

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

Dans ce chapitre, après une brève introduction nous allons présenter quelques définitions de E-Learning pour bien expliquer l'environnement de notre sujet de recherche. La section suivante est consacré à justifier l'utilisation des systèmes E-Learning et

leurs avantages par rapport la formation traditionnelle. Les topologies, les avantages et les inconvénients de E-Learning sont présenté dans la section suivante. Ensuite, on présente une vue panoramique des différentes plateformes de E-Learning et un survol de différent organismes de standardisation. Enfin, on conclut le chapitre.

1.2 Historique de la FAD (E-Learning)

La notion de formation à distance (FAD) est d'origine canadienne et remonte aux années 1980. Elle intègre deux notions distinctes: celle d'enseignement à distance et la notion d'apprentissage à distance. L'apprentissage dépend d'abord et avant tout de l'apprenant, alors que l'enseignement n'implique pas nécessairement que l'apprenant apprenne [Blandin 2004].

Le concept de la formation à distance a connu une évolution considérable au fil des années. La première utilisation s'est concrétisée par l'apparition du terme EAO (Enseignement Assisté par Ordinateur) dans les années 60. Il s'agit de l'application des principes du behaviorisme à l'enseignement.

Dans les années 1970, le développement des technologies de l'informatique (l'ordinateur, CDROM ...etc) a conduit à l'arrivée des premiers systèmes d'Enseignement Assisté par Ordinateur (EAO). Le transfert des connaissances était l'objectif de ces systèmes. Plusieurs programmes et systèmes éducatifs ont été développés mais leur contenu était limité et leur utilisation rigide. L'aspect cognitif a été totalement ignoré avec peu de travaux de recherche, de diagnostic et d'adaptation de stratégies. Mais, malgré leur application limitée, ces systèmes ont eu des retombées significatives dans le domaine de l'éducation.

L'intelligence Artificielle et les systèmes experts ont donné l'application des techniques de raisonnement. L'intégration de ces techniques dans le domaine d'apprentissage a permis la naissance des systèmes d'Enseignement Intelligemment Assisté par Ordinateur (EIAO) qui pallient les nombreux inconvénients des systèmes précédents. Les recherches ont développé des Systèmes Tutoriels Intelligents (STI) qui ont offert un degré très élevé d'interaction entre l'apprenant et la machine afin d'adapter l'apprentissage au niveau de connaissances de l'apprenant. Ces systèmes ont pour but de reproduire le comportement d'un tuteur intelligent afin de dispenser un enseignement personnalisé à l'utilisateur. Ces systèmes offrent une possibilité de

génération dynamique d'exercice, des adaptations au niveau de difficultés selon les performances de l'étudiant ainsi que l'analyse de l'interprétation du comportement de l'étudiant [Abi Chahine 2009]. En effet, les Systèmes Tutoriels Intelligents sont capables de réaliser des inférences sur des connaissances de l'étudiant, et peuvent interagir intelligemment avec lui en adaptant dynamiquement les sujets à présenter en fonction des résultats acquis et du mode d'apprentissage qui lui convient le mieux [Siddhartha 2012].

A la fin des années 80 comme le précise [Bruillard 2000], le même acronyme EIAO prenait un autre sens : un Environnement Interactif d'Apprentissage par Ordinateur, soulignant l'importance fondamentale de l'interactivité des systèmes. Plus récemment, c'est le terme EIAH (Environnement Informatique d'Apprentissage Humain) qui a pris la place des termes précédents.

Afin de lever toute confusion entre les sigles EIAO, la communauté francophone emploie plutôt le sigle EIAH pour désigner les Environnement Informatique d'Apprentissage Humain(EIAH). Un EIAH est « environnement informatique conçu dans le but de favoriser l'apprentissage humain, c-à-d la construction de connaissances chez un apprenant » [Tchounikine 2002]. L'objectif des travaux relatifs aux EIAH est d'étudier les situations pédagogiques informatisées et les logiciels permettant ces situations » [Tchounikine 2009].

Pour assurer une formation à distance, plusieurs moyens existent: la correspondance sur papier, des cassettes vidéo éducatives, éducation par ordinateur (enseignement multimédia, utilisation d'Internet pour l'éducation sur le Web), etc. Où trois phases de développement sont distinguées (qui sont tous des formes de développement de l'enseignement traditionnel) :

- **Première phase** : cette phase est connue sous le nom d'enseignement par correspondance. Dans cette phase, l'enseignement est basé sur la diffusion du contenu de cours élaborée par l'enseignant suivant sa propre logique qui s'impose à tous les apprenants. Le rythme de l'enseignement et lui aussi imposé par l'organisation de la formation.
- **Seconde phase** : Caractérisée par le développement de l'enseignement assisté par ordinateur (EAO), basée sur l'approche « behavioriste » ; qui a cherché à se

dégager de cette programmation linéaire et uniforme en proposant des parcours différents pour les élèves en fonction des résultats de tests.

- **Troisième phase** : Fondée sur l'approche constructiviste (le savoir ou la connaissance est construite par l'apprenant). Cette phase se caractérise par l'introduction d'une plus grande variété de technologies dont notamment le développement d'Internet. C'est une mixture entre l'enseignement à distance et l'enseignement présentiel (traditionnelle) connu sous le nom « blended learning ». Il essaye de cumuler les avantages des deux formules.

A travers cette évolution et comme le montre la figure 1.1, nous pouvons remarquer que ce sont les différents courants de pensée (béhaviorisme, constructivisme,...) et les réflexions scientifiques (système intelligents, interactivité...) qui ont influencé les choix des sigles présentés précédemment. Par contre les termes qui vont suivre sont l'héritage de l'utilisation des technologies qui ont participé à leur apparition. Les STIC (Science et Technologie de l'Information et de la Communication), en particulier Internet avec son réseau de serveurs d'information nommé le « world Wide Web », ont participé à l'apparition de nouvelles formes de formation appelée le E-learning (traduction du terme francophone E-formation) [Benmohamed 2007].

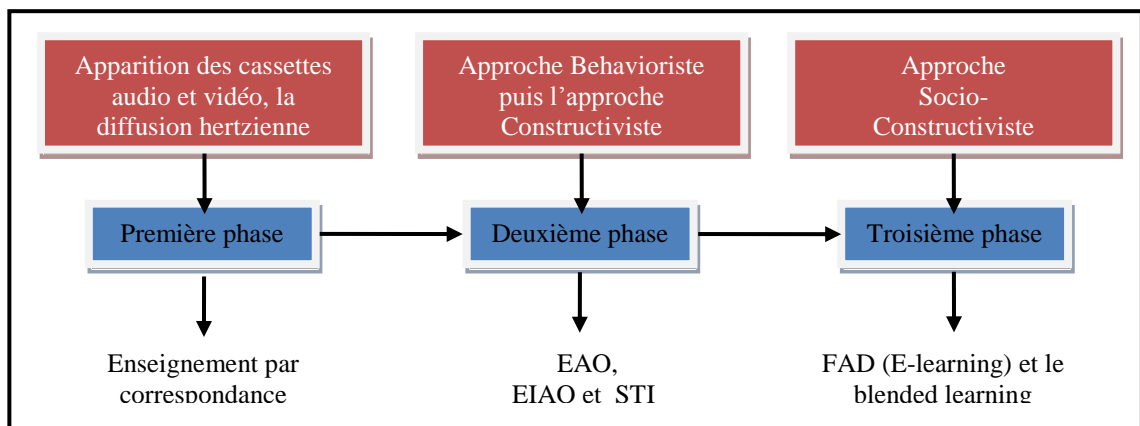


Figure 1.1 - Les différentes phases de l'évolution de E-learning.

1.3 Définition de E-Learning

Dans la littérature, il existe différentes définitions du « e-learning ». Dans le plan d'action européen de E-Learning, le concept est défini comme suit : « l'utilisation des nouvelles technologies multimédias et de l'Internet pour améliorer la qualité de

l'apprentissage en facilitant l'accès aux ressources et aux services, ainsi que les échanges à distance et la collaboration » [Holmes 2006].

Dans la définition précédente, les technologies électroniques sont considérées comme des véhicules pour les services et les ressources de l'éducation, et des conduits de la coopération et de la communication.

Pour éclaircir le domaine de la formation à distance et le terme E-learning on présente d'autres définitions :

- L'apprentissage à distance qui utilise la technologie de l'ordinateur (généralement Internet) [Yücel 2012].
- E-Learning peut être défini comme suit: l'accès en ligne à des ressources d'apprentissage, n'importe où et n'importe quand [Holmes 2006].

Donc E-learning se réfère à l'utilisation des applications et des processus électroniques à apprendre. Les applications des processus d'apprentissage en ligne incluent: l'apprentissage sur le Web, l'apprentissage assisté par ordinateur, des classes virtuelles et la collaboration numérique [Yücel 2012].

- La formation à distance est défini comme « fournir un contenu pédagogique qui est individuel, compréhensible et dynamique en temps réel, aider au développement des communautés de la connaissance, relier les apprenants et les praticiens avec des experts » [Drucker 2000].

Le terme E-Learning signifie l'éducation électronique et il est essentiellement la livraison en ligne de l'information, la communication et l'apprentissage.

Une définition très complète a été proposée par le système Cisco, qui définit le E-éducation est l'apprentissage sur l'Internet. Les composants de E-learning peuvent inclure la livraison de contenu dans des formats multiples, la gestion de l'expérience d'apprentissage, une communauté des apprenants, les développeurs de contenu et des experts. E-learning offre un apprentissage plus rapide à des coûts réduits, un meilleur accès à l'apprentissage, et une responsabilisation claire pour tous les participants au processus d'apprentissage. Dans la culture trépidant d'aujourd'hui, les organisations qui mettent en œuvre E-learning offrent leur force de travail avec la possibilité de transformer ce changement en avantage [Neeraj 2004].

Une définition plus large a été présentée dans [Rezaei 2006]:

« The use of the internet to access learning materials; to interact with the content, instructor and other learners; and to obtain support during the learning process, in order to acquire knowledge, to construct personal meaning, and grow from the learning experience ».

En effet, le e-learning promet de révolutionner la formation en réduisant les contraintes de temps et d'espace, ce qui peut conduire à une diffusion rapide du savoir. Les outils et les plates-formes de e-learning progressent rapidement et visent à donner aux enseignants et élèves les mêmes réflexes que ceux qui existent dans le monde physique. Le E-Learning est donc née pour permettre aux apprenants de se former sans se déplacer dans un lieu de formation, et sans s'inquiéter du temps de début ou de fin de formation puisque le formateur ne sera pas présent physiquement.

Cependant, dans ce nouveau mode de transmission et d'acquisition du savoir, concernant aussi bien des formations académiques que professionnelles, la relation directe enseignant/apprenant (face à face) est remplacée par une relation médiatisée par un support et un ensemble de techniques. Le principe consiste alors à remplacer les anciennes méthodes temps/place/contenu de l'apprentissage par des processus d'apprentissage rapides/ouverts/personnalisés.

1.4 Acteur du E-learning

Les acteurs de E-Learning qui interviennent dans la phase d'utilisation d'un dispositif de formation en ligne sont :

1.4.1 L'apprenant

L'apprenant est une personne engagée et active dans un processus d'acquisition ou de perfectionnement des connaissances et de leur mise en œuvre. Il peut, consulter en ligne ou télécharger les contenus pédagogiques, participer à des activités d'apprentissage en ligne (activités individuelles ou collaboratives), échanger des données, effectuer des exercices, s'auto-évaluer et transmettre des travaux à son tuteur pour les corriger. La communication entre apprenant et tuteur peut être individuelle ou en groupe. Il est possible de créer des thèmes de discussion et collaborer à des travaux communs en utilisant des moyens de travail et de communication à plusieurs : visioconférence, e-mail, forums, chats, annotations, tableaux blancs partagés, etc.

1.4.2 Le tuteur

Le tuteur joue un rôle fondamental dans le domaine de la formation à distance. Il aide à faire progresser les apprenants en mettant davantage au premier plan les fonctions d'évaluation, de suivi « *Tracking* » et d'accompagnement, pour atteindre un objectif d'apprentissage, plutôt que la capacité à transférer une expertise. Il communique et interagit avec eux, en jouant un rôle d'administrateur dans le cadre d'une activité collective. Ses rôles consistent alors à gérer les communications. Il facilite l'apprentissage et gère les apprenants et les environnements. Donc son rôle est de suivre l'évolution du travail de l'apprenant et de l'assister. La qualité du suivi d'un tuteur permet d'assurer au mieux l'encadrement d'un apprenant et ainsi maintenir sa motivation afin de réduire les risques d'abandon au cours de la formation.

1.4.3 L'administrateur

L'administrateur est chargé d'entretenir l'environnement technique c'est à dire assure l'installation et la maintenance du système, gère les droits d'accès, crée des liens vers d'autres systèmes et ressources externes (dossiers administratifs, catalogues, ressources pédagogiques, etc.). Il a en charge la médiatisation des contenus et la mise en forme des ressources pédagogiques et leur intégration sur l'environnement d'apprentissage. La figure 1.2 synthétise l'ensemble des éléments d'un dispositif de formation à distance.

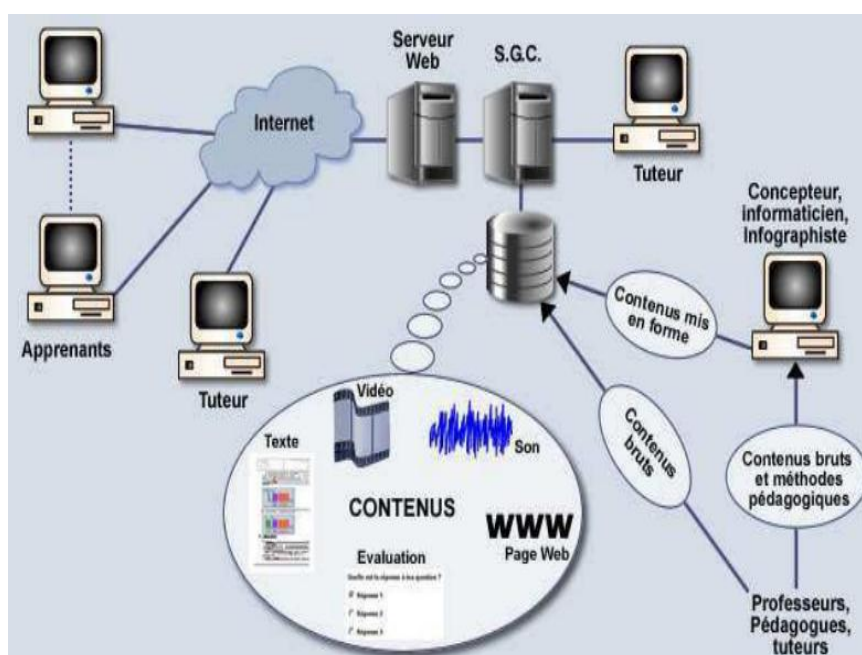


Figure 1.2 - Les acteurs et les éléments de E-learning [Dossou 2008].

1.5 Les outils et les technologies clés du E-learning

Internet permet un accès à l'ensemble des ressources humaines (communication), documentaires (documents) et administration (outils) nécessaires à la réalisation de la formation. La standardisation démultiplie considérablement les possibilités de diffusion. La figure 1.3 organise l'ensemble des outils nécessaire dans un dispositif de formation à distance.

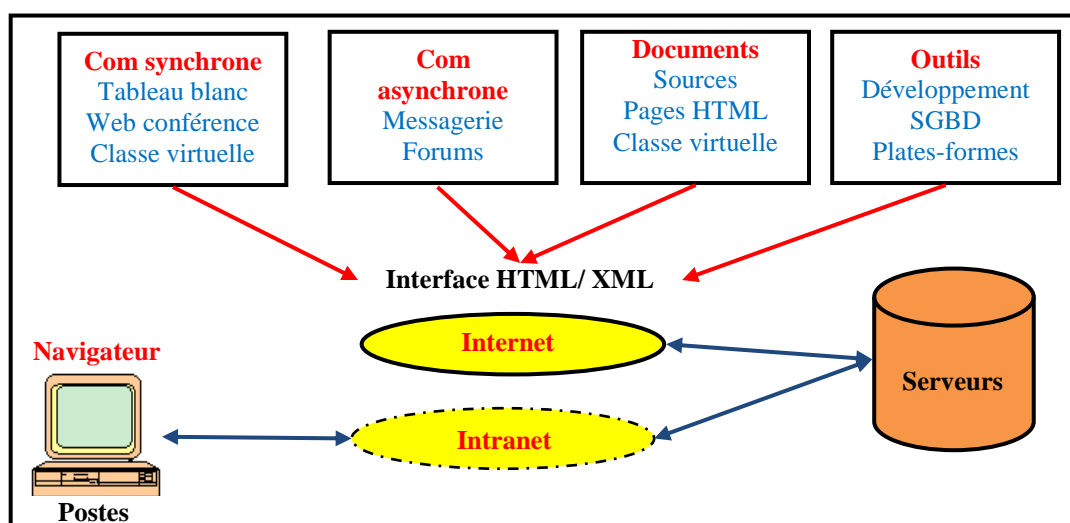


Figure 1.3 - Organisation des outils nécessaire pour le E-learning.

Les différents types d'outils pour mener à bien les fonctions indispensables au e-learning sont [ALGORA 2010]:

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

1.6 Comparaison du E-learning et la formation traditionnelle

La formation présentielle ou traditionnelle est caractérisée par :

- la présence physique de l'apprenant dans des temps prédéterminés, l'enseignant explique le contenu pédagogique aux étudiants, par conséquent il y a pas des explications et des contenu personnalisés (le contenu pédagogiques doit satisfaire les besoins de chaque étudiant).
- Ce style classique est considéré comme statique en termes de contenu pédagogique, le temps et le lieu.
- Aussi l'apprentissage présentiel est très lent, ne répond pas aux besoins de plusieurs étudiants.

Par contre, le e-learning consiste à utiliser les ressources de l'informatique et de l'Internet pour acquérir, à distance, des connaissances. Ce type d'apprentissage se différencie de l'apprentissage traditionnel par l'utilisation de la technologie Web. Ces applications et ces contenus sont dispensés via un ordinateur relié à un intranet, à un extranet ou encore à Internet. Les contenus constituent une étape plus avancée que l'utilisation du CD-Rom ou les cours sont dispensés en salle. Pour cela ce nouveau style (E-learning) rend la formation rapide, distribuée, *just-in-time*, dynamique et personnalisée (répond aux besoins des apprenants selon leurs préférences et objectifs). La table 1.1 exprime une comparaison entre la formation traditionnelle et E-learning [Drucker 2000].

Dimension	Formation traditionnelle	E-learning
<i>Livraison</i>	Les séquences des connaissances se sont déterminées par l'instructeur	L'apprenant qui détermine propre agenda
<i>Réactivité</i>	Anticipation: Suppose de connaître le problème	Réactionnaire: Répond à problème à la main
<i>Accès</i>	Accès à la séquence de connaissances d'une façon linéaire	Accès non linéaire à la connaissance selon chaque situation
<i>Symétrie</i>	La formation se produit comme une activité distincte (Asymétrique)	L'apprentissage se fait comme une activité Intégrée (Symétrique)
<i>Modalité</i>	La formation se déroule en morceaux dédiés avec des départs et des arrêts prédéfinis	L'apprentissage fonctionne dans les boucles parallèles et ne s'arrête jamais
<i>Autorité</i>	Le contenu est sélectionné à partir d'une bibliothèque de documents élaborés par l'éducateur (Centralisé)	Le contenu provient de l'interaction des participants et les éducateurs (Distribué)

Personnalisation	Le contenu doit répondre aux besoins d'un grand nombre	Le contenu est déterminé par les besoins de l'utilisateur individuel
Adaptabilité	Contenu reste sous sa forme originale sans égard aux changements environnementaux (statique)	Modifications de contenu sans cesse à travers l'entrée d'utilisateur, les expériences, les nouveaux apprenants, les règles de gestion et l'analyse heuristique (Dynamique)

Table 1.1 - *Les différences entre la formation traditionnelle et E-learning [Drucker 2000].*

1.7 Topologie de E-Learning

Le e-learning définit tout dispositif de formation qui utilise un réseau local, étendu ou l'internet pour diffuser, interagir ou communiquer, ce qui inclut l'enseignement à distance, en environnement distribué, l'accès à des sources par téléchargement ou en consultation sur le net. Il peut faire intervenir du synchrone ou de l'asynchrone, des systèmes tutoriels, des systèmes à base d'autoformation [Blandin 2004]. La figure 1.4 décrit une topologie pour la formation à distance.

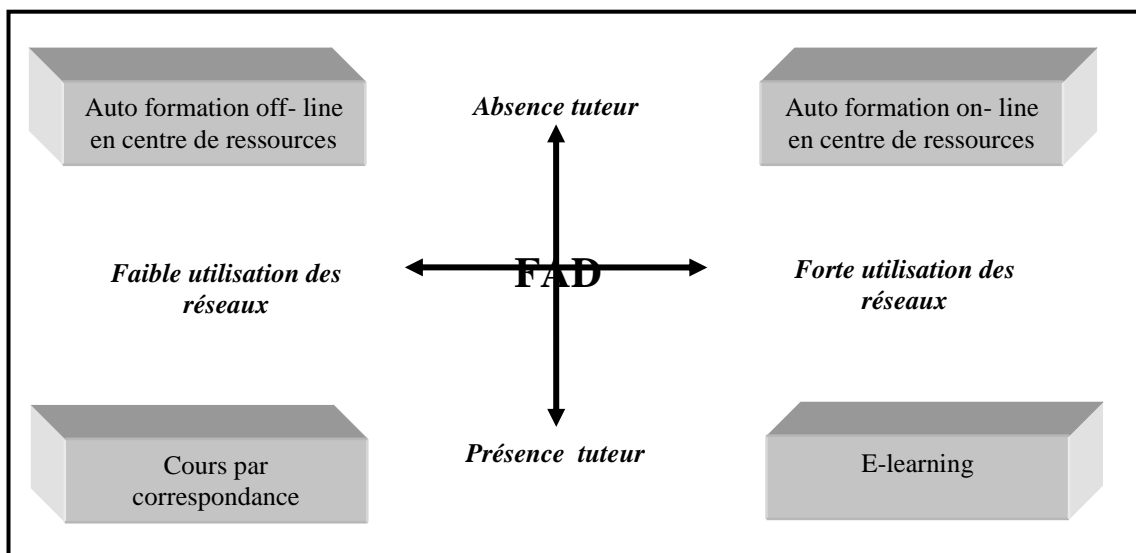


Figure 1.4 - *Une topologie de la formation à distance [Blandin 2004].*

Le e-Learning résulte donc de l'association de contenus interactifs et multimédia (son, texte, animation), de supports de distribution (PC, internet, intranet, extranet), d'un ensemble d'outils logiciels qui permettent la gestion d'une formation en ligne et d'outils de création de formations interactives. L'accès aux ressources est ainsi considérablement

élargi de même que les possibilités de collaboration et d'interactivité. En effet, il existe plusieurs topologies de E-learning qui sont:

1.7.1 Les bases de données de connaissances

Les bases de données sont visibles sur les sites de logiciels offrant des explications indexées et des orientations pour les questions de logiciels, ainsi que des instructions étape par étape pour effectuer des tâches spécifiques. Les bases de données sont la forme la plus élémentaire de E-learning. Elles sont généralement modérément interactives [Neepea 2012].

1.7.2 Les supports en ligne

Les supports en ligne se présentent sous la forme de forums, chat, babillards en ligne, e-mail ou le soutien direct de messagerie instantanée. Ils sont légèrement plus interactifs que les bases de connaissances [Neepea 2012].

1.7.3 Formation multimédia interactive

Le mot interactif consiste à ce nouvel outil offre plusieurs choix et scénarios ; le logiciel interagit avec l'étudiant et répond à ses propositions, comme dans [Després 2001]. Et le mot multimédia consiste à l'intégration de graphiques, de musiques, d'effets sonores, de voix, de vidéos et autres animations aux processus de formation.

1.7.4 La formation asynchrone

C'est une méthode de formation en temps différé qui permet à l'apprenant d'accéder à la formation à sa guise et autant de fois qu'il le désire (contenus sous forme de textes, animations multimédias...). Dans la formation asynchrone, l'échange avec les autres apprenants ou avec les tuteurs s'effectue via des modes de communication ne nécessitant pas une connexion simultanée. Il peut s'agir de forums de discussion ou bien encore de l'échange d'e-mails. Par ailleurs, ce mode de formation repose souvent sur un apprentissage dit "autodirigé", avec des cours, des exercices et des évaluations automatisées, impliquant une certaine autonomie de l'apprenant. Elle est appelée aussi l'autoformation [Després 2001].

1.7.5 La formation synchrone

La formation synchrone est une méthode en temps réel basée sur la parole et l'écoute. Tout le monde se connecte en même temps et peuvent communiquer directement avec l'enseignant et entre eux. Ce type de formation implique la connexion simultanée des participants à une session de formation. Ils peuvent communiquer en temps réel, soit par web-conférence ou visioconférence. Ils peuvent également partager des applications et interagir sur celles-ci au moment où le tuteur leur donne la main sur le document. Le tuteur analyse avec plus d'efficacité les capacités et les connaissances acquises par les apprenants. La classe virtuelle est l'un des exemples de la formation synchrone. Elle permet un échange à distance et en temps réel avec le formateur. Parmi les autres outils disponibles, on peut aussi citer: Les campus ou universités virtuels d'entreprise, la télévision interactive, les bornes interactives, les simulations, les jeu-formation, les agents intelligents [Després 2001].

1.8 Les principaux avantages de e-learning

1.8.1 Une formation « juste à temps »

Lorsque les modules de formation sont en place, le déploiement des cours est plus rapide que dans le cas de cours présentiels, notamment dans les environnements internationaux ainsi que dans les grandes entreprises (formation en masse des salariés). Alors l'apprentissage individuel sur un poste de travail dans les locaux de l'entreprise réduit les pertes de temps de déplacement. La formation peut être suivie à n'importe quel moment de la journée.

1.8.2 Une formation en toute souplesse

Les modes de diffusion de l'apprentissage virtuel offrent des larges possibilités pour recevoir la formation: dans une salle de classe traditionnelle aménagée en conséquence, dans un bureau réservé spécifiquement à l'apprentissage individuel ou à des stations de travail aménagées un peu partout dans l'entreprise pour les employés n'ayant pas accès à un ordinateur, et même à la maison.

1.8.3 Réduction des coûts de formation

L'apprentissage virtuel requiert un investissement initial important, mais son utilisation peut souvent engendrer des économies substantielles. Elles se réalisent principalement par la réduction des frais de déplacement des apprenants, des honoraires des formateurs, des pertes de temps de travail grâce à la diminution du temps requis pour l'apprentissage, des pertes de productivité en rendant accessible la formation sur les lieux de travail.

1.8.4 Uniformité et personnalisation de l'apprentissage

L'apprentissage virtuel assure à la fois l'uniformité de la formation et rend accessible aux employés des cours et des parties de cours selon les besoins exprimés par chacun. Avec ce type d'apprentissage, les enseignants et les apprenants peuvent facilement personnaliser les ressources d'apprentissage numériques pour adapter le rythme et le niveau appropriés à n'importe quel style d'apprentissage et les degrés d'intelligences.

1.8.5 Automatisation de la gestion des certificats

Les plates-formes d'e-learning permettent de suivre le parcours des apprenants et de gérer les certifications. Pour bien appréhender les avantages de E-learning [Olojo 2012] les organise comme suit:

- E-learning propose une large gamme d'outils pour permettre aux enseignants et aux apprenants d'être innovants, créatifs et ingénieux dans toutes les activités d'apprentissage. Les enseignants et les apprenants peuvent facilement personnaliser les ressources d'apprentissage numériques pour adapter le rythme et le niveau, appropriés à n'importe quel style d'apprentissage et les degrés d'intelligences.
- E-learning offre une formation dans un temps assez court par rapport à la formation classique et on accélère le délai d'apprentissage. Cette formation donne la possibilité de déterminer le rythme et le temps d'apprentissage ainsi les cours à étudier.
- E-learning crée en ligne des communautés de pratique. L'Internet peut apporter les apprenants, les enseignants, les communautés de spécialistes, des experts, des groupes d'intérêt pour partager des idées, des informations et de bonnes pratiques.

- E-learning peut fournir une expérience d'apprentissage individualisé pour tous les apprenants, y compris ceux qui sont défavorisés, handicapés, ont programme spécial ou des besoins personnelles.
- E-learning peut faciliter une plus grande participation et un accès plus équitable à un enseignement supérieur, en créant la possibilité de commencer à apprendre et à choisir des cours et du soutien en fonction des besoins des apprenants.
- E-learning offre un environnement d'apprentissage personnalisé grâce à des informations, des conseils et des services d'orientation. Il peut aider les apprenants à trouver le cours en fonction de leurs besoins et préférences.
- E-learning fournit des mondes virtuels d'apprentissage où les apprenants peuvent apprendre à travers des simulations, les jeux, le contrôle à distance d'outils et de dispositifs du monde réel, ou la collaboration.

1.9 Les inconvénients du e-learning

1.9.1 L'isolement de l'apprenant

Dans une formation à distance, le sentiment d'isolement est l'une des problématiques essentielles concerne les relations entre l'apprenant et le formateur. Alors, dans ce type d'enseignement l'apprenant est isolé. Cet isolement peut démotiver les apprenants. Plusieurs tentatives de résoudre cette limite comme la recherche des nouvelles formes d'accompagnement que suppose la mise en place de tutorat de proximité.

1.9.2 interactions limitées entre les individus

Certains mécanismes de communication ne peuvent pas être reproduits (langage du corps par exemple), alors qu'ils jouent un rôle important dans la diffusion du savoir.

1.9.3 Les difficultés à maîtriser une méthode de travail inconnue

Pour plusieurs étudiants, il est difficile d'être familiers avec ce nouveau style d'apprentissage donc on ne doit pas " lâcher " quelqu'un dans un cycle à distance sans encadrement. Dans chaque cours on peut ajouter des guides pour aider l'apprenant à suivre son cours.

1.9.4 Nécessité de l'accès à l'outil informatique

L'utilisation de l'outil informatique limite la diffusion du e-learning auprès d'une partie des collaborateurs. Ceci est un obstacle par exemple dans l'industrie.

1.9.5 La difficulté pour certains publics à travailler seuls

Les caractéristiques des personnes diffèrent d'un à autre, Notamment l'intelligence, l'apprenant qui est considéré moins intelligent ou moins organisé peut être incapable à comprendre ses cours et incapable à organiser son temps.

1.9.6 La conception des ressources

Le temps de conception des ressources est extrêmement long lors d'approches réellement interactives. La phase de la création des cours est un processus difficile et généralement exige plusieurs compétences.

1.10 Les plateformes d'apprentissage

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

Une plateforme de formation ouverte et à distance est un logiciel qui assiste la conduite de ces formations. Ce type de logiciel regroupe les outils nécessaires aux trois principaux utilisateurs: enseignant, apprenant et administrateur. C'est un dispositif qui a pour premières finalités la consultation à distance de contenus pédagogiques, l'individualisation de l'apprentissage et le télé-tutorat.

Ce système logiciel dit LMS ou LCMS (*Learning Content Management System*) est développé pour accompagner les enseignants dans leur gestion des cours d'éducation en ligne pour leurs étudiants. Les services offerts incluent généralement un contrôle d'accès, des outils de communication (synchrones et/ou asynchrones) et l'administration des groupes d'utilisateurs.

1.10.1 LMS: Learning Management System

LMS (*Learning Management System*) ou MLE (*Managed Learning Environment*) ou VLE (*Virtual Learning Environment*) ou CMS (*Course Management System*) ou

LSS (*Learning Support System*) sont des termes équivalents pour désigner la plateforme de e-learning. Cette plateforme est un système d'information conçu pour optimiser, sur un réseau Internet ou Intranet, la gestion de l'ensemble des activités de formation, l'hébergement du contenu pédagogique, l'inscription des participants, la distribution des ressources, l'organisation de parcours individualisés, le suivi par le tuteur et du tutorat (gestion intégrée des interactions apprenants formateur).

1.10.2 LCMS: Learning Content Management System

Il s'agit d'applications logicielles multiutilisateurs. Une solution de LCMS est un environnement permettant aux concepteurs de cours de créer, stocker, réutiliser, gérer et distribuer des contenus pédagogiques à partir d'un référentiel unique [PCBI 2003]. Ce référentiel stocke des objets pédagogiques et la plateforme LCMS permet de les associer et de les ordonner afin de construire un cours cohérent.

1.11 Les organismes de standardisation

L'intérêt des standards est de garantir l'interopérabilité des plates-formes et des modules du e-learning. Un module de formation compatible avec la norme AICC (*Aviation Industry Computer-based training Committee*) pourra par exemple être déployé sur n'importe quel LMS supportant ce standard. La compatibilité avec ces standards est donc essentielle, que ce soit pour les plateformes ou pour les modules de cours. Cinq principaux organismes de standardisation sont aujourd'hui présents dans le domaine du e-learning :

- L'**AICC** (*Aviation Industry Computer-based training Committee*)¹ est une association internationale regroupant des professionnels de la formation assistée par ordinateur. L'AICC édite des recommandations pour l'industrie aéronautique sur le développement, la diffusion et l'évaluation de formations assistées par ordinateur. Ses recommandations sont suivies en dehors du secteur aéronautique.
- L'**ADL** (*Advanced Distributed Learning*)² est une organisation sponsorisée par le gouvernement américain. Elle édite la norme SCORM (*Sharable Content Object Reference Model*), qui rassemble des éléments des spécifications IEEE et IMS dans un document pouvant facilement être implémenté. SCORM décrit des standards techniques

¹ www.aicc.org

² www.adlnet.org

permettant notamment de mettre en place une personnalisation des formations en fonction des objectifs, préférences et résultats d'un apprenant.

- **L'IMS**¹ est un consortium d'éditeurs et d'intégrateurs développant des spécifications techniques pour assurer l'interopérabilité des technologies de formation. Ses spécifications se basent sur le langage XML et décrivent les caractéristiques principales des cours, des inscriptions, des apprenants, etc.
- **ARIADNE**² (Alliance of Remote Instructional Authoring & Distribution Network for Europe) est un projet européen, piloté par la Suisse (EPFL-UNIL), sur le développement d'outils et de méthodologies pour produire, gérer et réutiliser des éléments pédagogiques sur ordinateur.
- Le groupe **Dublin Core**³ est à l'origine d'une spécification technique de référence sur les métadonnées appliquées au contenu des bibliothèques de documents électroniques. La spécification d'IMS sur les métadonnées pour les ressources éducatives incorpore des aspects provenant du Dublin Core.
- **L'IEEE LTSC**⁴ (Institute for Electrical and Electronic Engineers Learning Technology Standards Committee) est une organisation internationale de standardisation technique pour les systèmes électriques, électroniques, informatiques et de communication. Le comité LTSC est chargé de fournir des recommandations dans le domaine de la formation. L'IEEE a notamment édité la spécification LOM (Learning Object Metadata) qui est largement utilisée par l'ADL et l'IMS.

1.12 Exemples des systèmes LMS

Aujourd'hui, avec le mouvement open source et la massification du matériel informatique, un grand nombre de LMS est disponible sous licence libre pour son téléchargement et installation sur des serveurs propres aux institutions. Parmi les systèmes modernes open source, les plus répandus sont Moodle, ATutor, Claroline, Dokeos, Site@School et Interact. Nous présentons, dans ce qui suit les principaux environnements d'apprentissage à savoir: Claroline, Ganesha et surtout Moodle.

¹ www.imsproject.org

² www.ariadne-eu.org

³ dublincore.org

⁴ ltsc.ieee.org

1.12.1 Claroline

Claroline¹ est une plateforme de formation à distance et de travail collaboratif développée en 2002 par l'université de Louvain en Belgique. Elle permet aux formateurs de créer des espaces de cours en ligne et de gérer des activités de formation sur Internet. Traduite en 35 langues, Claroline bénéficie de l'appui d'une communauté mondiale d'utilisateurs et de développeurs. Utilisée par des centaines d'institutions issues de 84 pays, elle permet de créer sans coût de licence des espaces de travail et des cours en ligne. Claroline est une plateforme utilisée non seulement dans les écoles et les universités, mais également dans les centres de formation, les associations et les entreprises. Elle est personnalisable et offre un environnement de travail flexible et sur mesure.

La plateforme Claroline offre les fonctionnalités suivantes :

- Le formateur dispose d'une série d'outils lui permettant de rédiger une description du cours, publier des documents dans tous les formats nécessaires (texte, PDF, HTML, vidéo...).
- Administrer des forums de discussion publics ou privés.
- Elaborer des parcours pédagogiques.
- Créer des groupes de participants ayant des documents en commun et des forums privés.
- Composer des exercices (QCM).
- Utiliser le Wiki pour rédiger des documents collaboratifs.

La figure 1.5 représente la page d'accueil d'un cours dans la plateforme Claroline.

1.12.2 Ganesha

Ganesha² est une plateforme de téléformation créée et éditée par la société de formation spécialisée en e-Learning ANEMA³.

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

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

² Ganesha : <http://www/ganesha.fr>

³ ANEMA : <http://www.anema.fr>

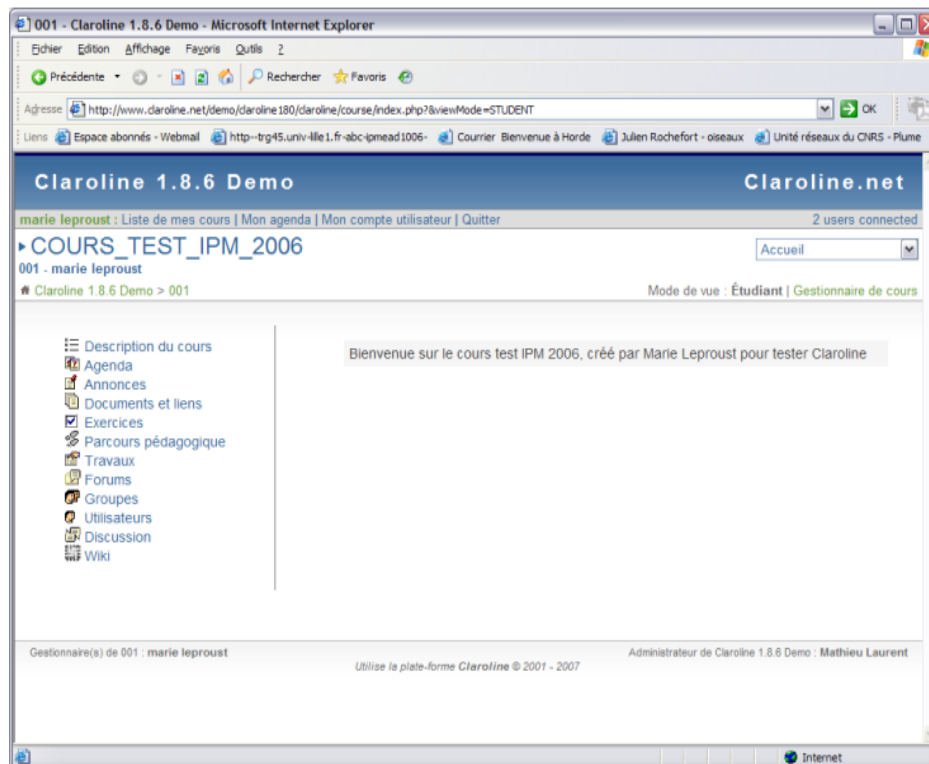


Figure 1.5 - Page d'accueil d'un cours dans Claroline.

La figure 1.6 représente la page d'accueil d'un cours dans la plateforme Ganesha.

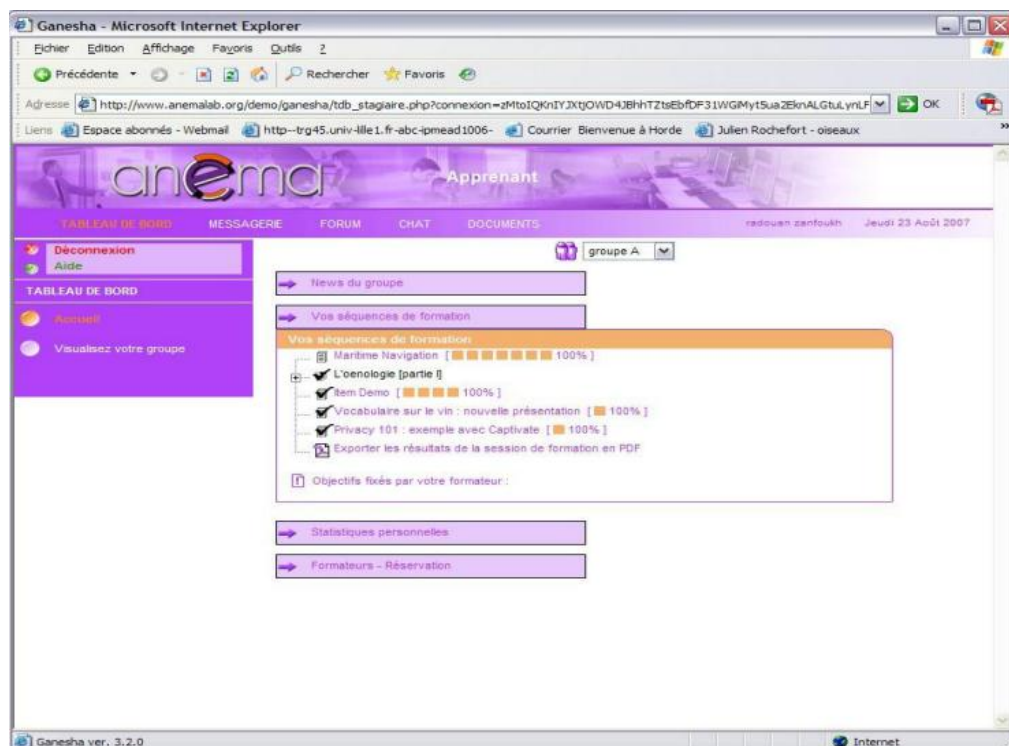


Figure 1.6 - Page d'accueil du cours dans Ganesha (mode apprenant).

La plateforme Ganesha offre autres fonctionnalités qui sont :

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

1.12.3 Moodle

Moodle¹ est une plateforme d'apprentissage en ligne sous Licence libre servant à créer des communautés d'apprenants autour de contenus et d'activités pédagogiques. Le terme « to moodle » était à l'origine un acronyme pour «*Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment* ».

Moodle fut créé par Martin Dougiamas, il a étudié les apports du constructivisme social dans la pédagogie en ligne. Ses travaux ont fortement influencé la conception de la plate-forme Moodle.

Le constructivisme postule que la connaissance est construite dans l'esprit de l'apprenant et non retransmise de manière statique via des livres ou des formateurs. La fonction du formateur, du point de vue du constructivisme, est de créer un environnement pédagogique permettant aux apprenants de construire leurs connaissances à partir de leurs expériences et compétences. Cette position s'éloigne de la pratique habituelle du formateur qui présente l'information et évalue l'information que doit maîtriser un apprenant.

¹ Moodle : <http://www.moodle.com>

À un système de gestion de contenu (SGC), Moodle ajoute des fonctions pédagogiques ou communicatives pour créer un environnement d'apprentissage en ligne. Moodle permet de créer, par l'intermédiaire du réseau, des interactions entre des pédagogues, des apprenants et des ressources pédagogiques. La figure 1.7 représente la page d'accueil d'un cours Moodle.

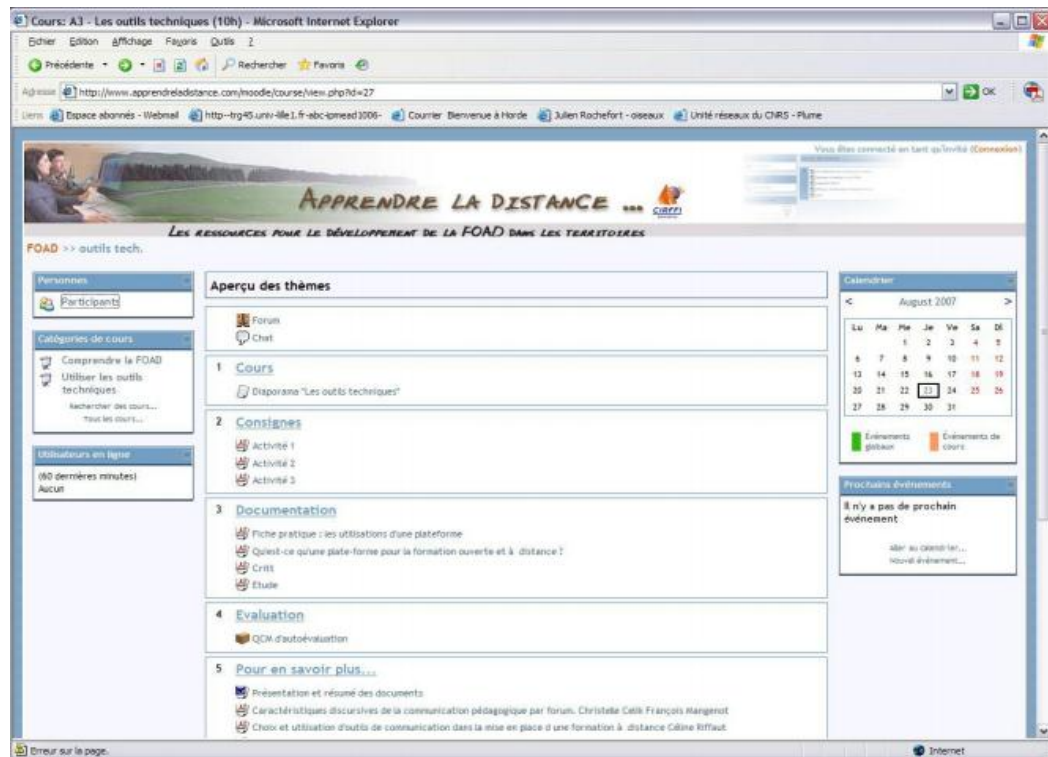


Figure 1.7 - Page d'accueil d'un cours Moodle.

Moodle présente de nombreuses caractéristiques partagées avec les autres plateformes de formation en ligne :

- Forums, gestionnaire de ressources, tests et neuf modules clé en main (Devoirs, clavardage, sondages, glossaires, journal, étiquettes, leçons, wiki, tests, base de données, blogues, flux RSS...).
- Elle intègre aussi un module de création de tests d'entraînement. Les questions créées avec ce module peuvent être mutualisées et réutilisées dans différents contextes d'épreuve.
- Moodle est très souple, elle a été conçue dès le départ de manière modulaire. Elle permet donc de répondre aux besoins d'un formateur isolé comme d'une institution académique.

- Aujourd'hui, le développement de Moodle est fortement influencé par les demandes de la communauté d'administrateurs et d'utilisateurs de Moodle (enseignants, pédagogues).
- On peut développer de nouveaux modules facilement puisque Moodle s'appuie sur PHP, le langage actuellement le plus utilisé pour le développement d'applications web.
- Elle présente une interface conviviale avec les formateurs, apprenants et administrateurs.
- Plusieurs langues peuvent être utilisées simultanément dans les divers cours d'une même plate-forme.
- Des filtres permettent d'utiliser facilement des fichiers multimédias ou des expressions mathématiques au sein des pages Moodle.
- Des rapports d'usage détaillés pour chaque apprenant permettent de superviser les efforts d'apprentissage.
- La communauté Moodle (plusieurs milliers d'individus) est fortement structurée à travers de nombreux forums présents sur le site: il s'agit de communautés de pratiques centrées sur des problématiques précises.
- S'inspirant fortement du courant pédagogique du constructivisme social, Moodle propose des outils de gestion du savoir (knowledge management) : wiki, fil RSS, forums et blog. Ces outils favorisent le travail collaboratif d'une communauté centrée autour d'un projet d'apprentissage.
- Moodle facilite la gestion dynamique d'un cours avec le calendrier.

1.13 Synthèse

Aujourd'hui, le E-learning est dominé par l'utilisation des systèmes de gestion de l'apprentissage (LMS), qui offrent un soutien pour un large domaine d'activité dans le processus de formation en ligne. Ainsi, les enseignants peuvent utiliser LMS pour la création des cours et des exercices d'évaluation, communiquer avec leurs étudiants, suivre et évaluer leurs travaux. Les étudiants peuvent apprendre, communiquer et collaborer par l'utilisation des LMS. Par conséquent, la plupart des universités aujourd'hui améliorent leur enseignement par l'utilisation des plateformes d'apprentissage [Drissi 2015]. Cependant, une inadéquation entre les styles d'apprentissage et des méthodes d'enseignement peut créer des conflits qui affectent la cognition et le comportement au cours du processus d'apprentissage [Ma 2014] parce que le problème est que les LMS n'offrent pas des

services personnalisés aux différents types d'apprenant [Drissi 2015]. En fait, tous les apprenants sont donnés accès au même ensemble des ressources et des outils éducatifs sans tenir compte des différences de niveau de connaissance, des intérêts, des motivations et des objectifs [Popescu 2008a].

Le développement de la formation en ligne conduit les apprenants à avoir moins de contacts avec les enseignants et les amène à être plus autonomes, à être davantage acteurs de leur formation. Parallèlement, ils peuvent disposer de plus en plus de documents ou de ressources, que celles-ci aient été produites dans le cadre de la formation qui leur est destinée ou qu'elles soient directement disponibles sur le web. Il est cependant souvent difficile, pour les apprenants et même pour les concepteurs de formations à distance, d'identifier les ressources pertinentes et de les organiser dans des ensembles cohérents [Behaz 2012].

Dans le même sens, pour que l'apprenant puisse utiliser l'ensemble des ressources mises à sa disposition avec efficacité, [Behaz 2012] aussi affirme qu'il faut satisfaire deux exigences a priori antinomiques, à savoir celle qui vise à lui accorder une certaine liberté de choix, et celle qui lui évite de se disperser eu égard à ses connaissances du moment.

C'est pour cela, un travail d'ingénierie pédagogique est généralement nécessaire. Un des points faibles des LMS est la difficulté qu'ils posent lorsque les institutions ont besoin d'une haute adaptation visuelle et d'un paramétrage de la navigation des cours. Ces environnements sont peu flexibles et quelquefois impossibles à paramétrer et à adapter aux besoins des utilisateurs. Pour cette raison, diverses institutions se sont intéressées au développement de leur propre plateforme [Behaz 2012].

Pour bien remédier aux problèmes pouvant rencontrés dans une formation à distance, certaines études et développements évaluent aussi la possibilité d'inclure au sein des plateformes éducatives des agents pédagogiques comme le travail réalisé par [Bourekache 2009], des systèmes adaptatifs hypermédias comme le travail réalisé par [Behaz 2012] ou bien des environnements 3D récréant des espaces physiques, des visualisations de l'information sous forme cartographique, et des bases de connaissances communes [Rety 2003].

1.14 Conclusion

La formation à distance est très importante car elle devient le support de base de l'apprentissage sur le web. Elle offre plusieurs services aux apprenants: le parcours des cours, la disponibilité, flexibilité, pas de frontières géographiques, haute qualité, et plusieurs techniques pour aider l'apprentissage des connaissances.

Dans ce chapitre, nous avons exploré le domaine de E-Learning. Nous avons commencé par introduire quelques définitions utilisées pour éclaircir ce concept. Puis, nous avons décrit les différents acteurs et les différentes topologies ainsi que les avantages et les limites de E-Learning. D'après cette étude, nous avons remarqué que le marché est plein d'outils, des technologies pour satisfaire les besoins d'évolution de e-Learning. C'est pour cela qu'on peut trouver plusieurs plates-formes d'apprentissage. Le support essentiel dans un environnement E-Learning sont les documents pédagogiques et l'hypermédia dédiés à l'éducation.

Dans un environnement E-learning, les apprenants sont, généralement, hétérogènes c'est à dire ont différents backgrounds, différentes capacités intellectuelles et préférences et différents objectifs et besoins. Ainsi, les apprenant n'apprennent pas si nous utilisons les mêmes cours et mêmes styles d'apprentissage dans toutes les situations; donc la qualité de compréhension va être faible pour la plupart des apprenants [Bourekache 2014]. Pour affranchir ce problème, nous devons utiliser des techniques d'adaptation de contenu et de stratégies selon chaque individu pour satisfaire les besoins et les préférences des apprenants hétérogènes et fournir un apprentissage personnalisé pour chaque apprenant. Donc, l'adaptation selon plusieurs critères et situations des apprenants est une technique inévitable. Par conséquent, une nouvelle génération de systèmes avancés d'apprentissage doit intégrer des nouvelles approches pédagogiques donnant à l'apprenant un rôle actif pour apprendre et construire ses connaissances. Ces systèmes doivent être plus interactifs, mais surtout intégrer une vision plus centrée sur l'apprenant. Les systèmes hypermédiés adaptatifs dans le domaine de l'enseignement à distance (E-Learning) proposent des solutions à ces problèmes [Brusilovsky 2005] [De Bra 2004]. L'objectif de ces systèmes est de proposer des contenus qui correspondent aux besoins de l'apprenant et une présentation adéquate des ressources sélectionnées, en fonction des préférences de celui-ci comme l'intérêt de notre présente recherche. C'est pour cela, le prochain chapitre est consacré à l'étude des systèmes hypermédiés adaptatifs.

Les systèmes hypermédias adaptatifs

2.1 Introduction

Sur le Web, les documents électroniques sont généralement présentés aux lecteurs sous la forme d'un hypermédia. La caractéristique de ces hypermédias traditionnels réside dans le fait que les mêmes pages et les mêmes liens sont souvent présentés à tous les utilisateurs. Or ces utilisateurs se différencient les uns des autres selon leurs besoins, leurs connaissances sur le sujet qu'ils traitent, etc. Ainsi, ils ne seront pas forcément intéressés par les mêmes informations et n'empruntent pas les mêmes chemins ou liens durant leur navigation [Brusilovsky 1996]. Les informations et les liens inutiles favorisent la surcharge cognitive chez l'utilisateur. L'utilisateur risque facilement de se perdre dans l'hyperespace. Cela entraîne une mauvaise représentation mentale du document qu'il parcourt qui influencera sa compréhension. En effet, en science cognitive, la compréhension d'un document est souvent caractérisée par la construction mentale d'une représentation du modèle de ce document. La lisibilité du document peut être définie comme l'effort mental nécessaire au processus de construction d'un modèle [Kaheneman 1973]. Assister l'utilisateur dans la construction de ce modèle s'avère nécessaire pour une meilleure compréhension du document. Les hypermédias adaptatifs permettent, entre autre, de réduire la charge cognitive de l'utilisateur et les risques d'incompréhension du document qui en résulte le plus souvent.

D'autre part, il faut savoir que ces documents ne sont pas utilisés que par des humains, mais de plus en plus par des robots, des agents et d'autres algorithmes. Il est extrêmement difficile pour ces programmes d'interpréter l'information peu ou pas structurée disponible sur Internet. Il est ainsi nécessaire d'augmenter le Web actuel avec de la connaissance formalisée et des descriptions sémantiques, on parle alors du web sémantique. L'idée du Web Sémantique consiste à séparer le sens de la structure, c'est-à-dire, étendre l'idée du document avec de la sémantique manipulable par des machines [Benadi 2004].

Dans le présent chapitre, nous abordons les versants théoriques et techniques menées dans le cadre des systèmes hypertextes/hypermédias. Nous détaillons dans un cadre éducatif, premièrement les hypermédias adaptatifs, deuxièmement, les différents types d'adaptation : adaptation de la navigation, adaptation de contenu et adaptation de la présentation, et troisièmement, les méthodes et techniques d'adaptation utilisées ainsi que les différentes données utilisées pour le processus d'adaptation. Enfin, nous décrivons quelques modèles de référence pour les hypermédias adaptatifs et nous terminons ce chapitre par la présentation de quelques systèmes hypermédias adaptatifs.

2.2 Hypermédias classiques

2.2.1 Origine des termes hypertexte et hypermédia

Vannevar Bush ancien conseiller scientifique du président américain F. D. Roosevelt, est considéré comme le grand père de l'hypertexte. Son rôle fondateur dans l'histoire de l'hypertexte est lié à son article intitulé "*As we may think*" (dans la revue "*Atlantic Monthly*" [Bush 1945]), où il décrit son projet MEMEX (*MEMoryindEX*) dans lequel il propose un dispositif qui permet à l'utilisateur de créer des index associatifs mémorisant des liens entre des items reliés sémantiquement. MEMEX est décrit comme une machine multimédia à base de microfilms, où un individu peut stocker ses livres, ses enregistrements et autres documents et qui lui permet de scanner les documents qui l'intéressent.

L'arrivée des ordinateurs a permis de rendre disponibles la plupart des fonctionnalités de MEMEX, mais en adoptant des technologies différentes de celle imaginée par Bush. Ainsi, Théodor Nelson est le premier à avoir inventé vers les années 60 le terme hypertexte en décrivant son premier projet hypertextuel Xanadu qui n'a jamais vraiment fonctionné. Dans son projet il a imaginé un réseau de machines coopérantes qui donne accès à un immense ensemble de connaissances réparties [Nelson 1981], une sorte de bibliothèque universelle réunissant des ouvrages connus et à laquelle chacun pouvait accéder.

Tandis que Nelson a des visions, l'ingénieur Douglas Engelbart a songé construire de vrais environnements d'hypertextes. Connue comme l'inventeur du développement d'interfaces utilisateurs conviviales, du travail coopératif et de la souris qui accompagne maintenant tous les ordinateurs, Engelbart est le premier à avoir implanté les idées hypertextes en 1968, en utilisant une base de données textuelles NLS (*N Line System*)

devenue ensuite AUGMENT qui est reconnue comme le premier hypertexte fonctionnel. Cette base est utilisable dans un environnement réseau multi - utilisateurs permettant de lier entre eux des segments de fichiers et de travailler en collaboration [Rhéaume 1994].

Les assises historiques de l'hypertexte se retrouvent complétées avec les trois approches des visionnaires précités, mais avec des perspectives différentes. De Bush à Engelbart, on est passé d'un dispositif personnel à un système universel jusqu'à des ressources partagées par un groupe d'utilisateurs. Leur objectif était de mettre en place de nouvelles formes de travail et de pensée associant étroitement l'Homme et la machine (la pensée assistée par ordinateur) [Rheingold 1993]. Ainsi Bush a proposé une approche analogique qui, si nous raisonnons par association, nous devons nous doter des outils qui travaillent dans ce style, ce qui est impossible sans ordinateur. Nelson reste le visionnaire qui a popularisé le concept et forgé le terme "*hypertexte*". Engelbart est un inventeur d'outils d'interfaces qui propose des environnements de travail en collaboration ou en réseaux.

2.2.1.1 Définitions des termes hypertexte et hypermédia

Comme nous l'avons déjà dit dans la section précédente, l'idée de l'hypertexte est antérieure à l'informatique, on l'attribue à Bush qui avait pensé un système de consultation non linéaire de l'information [Bush 1945] et qui définissait, donc, sommairement un hypertexte comme un ensemble de documents destiné à une consultation non linéaire. Lorsque les documents ne sont pas composés uniquement de texte (mais également d'images, de sons, de vidéos, etc.), on parle d'hypermédia. De manière plus approfondie, le terme hypermédia peut être défini suivant trois points de vue [Delestre 2002] : celui de sa structure (la définition structurelle), celui de l'interaction entre l'utilisateur et le système (définition fonctionnelle) ou encore du point de vue de la sémantique (définition sémantique). Nous allons voir ces trois définitions ainsi que leurs intérêts respectifs.

Définition structurelle

[Balasubramanian 1994] définit un hypertexte comme un système (graphe) composé de nœuds et de liens entre ces nœuds. Nous distinguons les nœuds qui sont à l'origine du lien (on parle de références) et les nœuds qui sont les destinations des liens (on parle de référés). Les liens peuvent être plus ou moins complexes : ils peuvent être unidirectionnels (permettant d'aller d'une page à une autre) ou bidirectionnels, afin de faciliter le retour au

point de départ. Ils peuvent aussi être typés afin de spécifier la sémantique du lien. Enfin les liens peuvent être disposés n'importe où dans une page.

Toutefois, leurs rôles peuvent parfois être définis, d'une part, par leur position dans le document, d'autre part, par la sémantique de la page (par exemple, si la page est une page d'index, les liens seront des index). Ce sont ces liens qui définissent l'architecture du graphe que l'on nommera l'hyper-espace. L'intérêt de cette définition et de mettre en évidence le fait de disposer d'un outil de modélisation efficace et bien maîtrisé (les graphes) pour travailler sur les hyper-espaces.

Définition fonctionnelle

L'hypertexte peut être considéré comme étant un procédé informatique permettant d'associer une entité (souvent minimale, c'est-à-dire un mot, une portion d'image ou une icône) à une autre entité (souvent plus étendue comme un paragraphe, une image ou une page). Ce mécanisme permet, donc, à l'utilisateur de se diriger librement dans l'information en activant, à l'aide d'un pointeur une zone du document qui est l'origine d'une association. Ainsi, l'utilisateur peut immédiatement atteindre une autre partie de l'hyperespace. Il n'est, donc, plus obligé de suivre le cheminement prévu par l'auteur, il définit son parcours en fonction de ses envies et de ses centres d'intérêts. Rhéaume [Rhéaume 1993] parle, alors, de document virtuel, qui n'est jamais globalement perceptible. Un hypertexte devient un document interactif dans lequel le lecteur tient une place prépondérante. Cependant, il est à noter qu'actuellement les systèmes hypermédias impliquent essentiellement une interaction utilisateur→système d'information. Cette définition privilégie la problématique de la présentation des informations et dénote de l'aspect éphémère et aléatoire des informations présentées dans les hypermédias.

Définition sémantique

Nanard [Nanard 1995] indique qu'épistémologiquement le mot hypertexte signifie "plus que du texte". Le mot "plus" ne signifie pas, pour cet auteur, plusieurs textes interconnectés, mais une entité qui est la combinaison de deux concepts : un ensemble de documents et une connaissance.

La concrétisation la plus pauvre de cette deuxième notion (la connaissance) est le lien inscrit à l'intérieur de l'ensemble de documents. A contrario, la forme la plus élaborée de

cette connaissance peut être générée par un système complexe se basant sur une modélisation du domaine et sur une modélisation de l'utilisateur.

Conceptuellement, on peut considérer que chaque nœud regroupe un ensemble d'unités élémentaires de pensée pour exprimer un raisonnement ou des structures mentales de plus haut niveau. Une analogie peut être faite avec la documentation imprimée, en comparant ce concept à la plus petite entité logique regroupant un ensemble de paragraphes. En typant les objets, il est possible d'enrichir la modélisation des hypermédias en ajoutant une sémantique aux nœuds (ce qui permet de mieux classer les nœuds) [Nanard 1998].

L'hypermédia peut être vu comme un couplage entre un ensemble de ressources et un ensemble de connaissances sur ces ressources, via un mécanisme d'ancrage, permettant divers types de parcours (dont la navigation). La couche représentant les connaissances ancrées sur un ensemble de ressources (avec éventuellement la possibilité de décrire plusieurs couches de connaissances sur un même ensemble de documents) est particulièrement importante. La qualité de la description de ces connaissances et de la gestion de leur ancrage dans les ressources conditionnent l'interprétation que pourra en faire un utilisateur dans des tâches de compréhension et d'accès à l'information. Par ailleurs, le lien ne doit pas se restreindre à un mécanisme de référence statique, mais doit être considéré comme un mécanisme de représentation de relations entre deux entités de l'hypermédia (en particulier deux nœuds). La figure 2.1 représente le modèle type de système hypermédia [Nanard 1995] tel que nous venons de le définir.

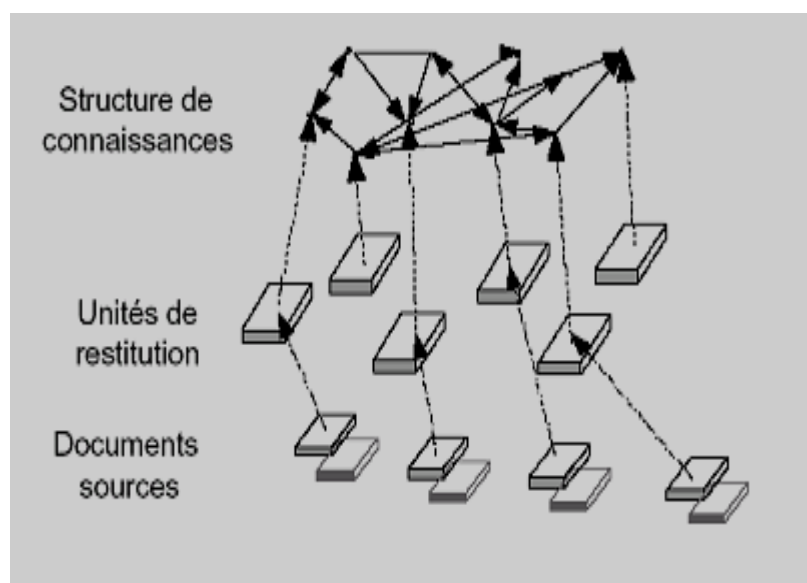


Figure 2.1 - Sémantique dans les hypermédias.

Selon la sémantique choisie, ces relations peuvent exprimer des inclusions, des références croisées, des séquences pour définir une structure logique de documents ou même des relations fonctionnelles entre les nœuds. Un hypermédia ne se résume, donc, pas à la simple juxtaposition dans un réseau de documents (les nœuds du réseau) et de liens (les arêtes du réseau) permettant un parcours non linéaire de la base.

2.2.1.2 Concepts de base d'un hypertexte/hypermédia

Conklin explique ceci en disant : « Le concept d'hypertexte est tout à fait simple : des fenêtres sur écran sont associées à des objets dans une base de données (BDD) et des liens sont fournis entre ces objets : graphiques sur écran (comme des signes libellés) et dans la BDD (comme des pointeurs) ». Donc l'hypertexte peut être assimilé à un réseau de nœuds et de liens, qui va être stocké pour devenir la base de données de l'hypertexte comme le montre la figure 2.2. Ce réseau correspond à la structure du domaine concerné par l'hypertexte ou au réseau sémantique de l'utilisateur. Les liens sont employés pour structurer la base hypertexte et mettre en œuvre des outils de localisation et d'exploration des nœuds.

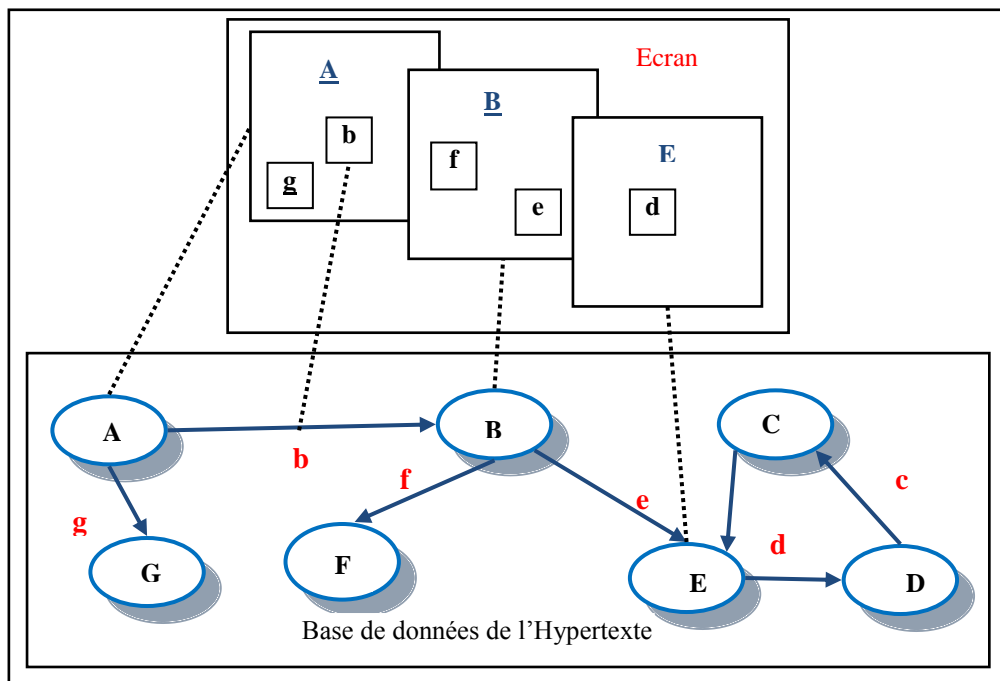


Figure 2.2 - Représentation d'un hypertexte d'après [Conklin 1987].

2.2.2 Avantages dans un cadre éducatif

Deux grands atouts, issus de la structure intrinsèque des hypermédias, émergent de leur utilisation dans un cadre éducatif : la composante multimédia et la composante hypertexte. Plusieurs études ont essayé d'évaluer l'intérêt des systèmes multimédia dans le cadre des systèmes d'enseignement. Ainsi [Hoogeveen 1995] a dégagé quelques critères par exemple ce qu'il nomme « *Level of Multimediality* », « *Level of Man-machine Interactivity* » et « *Level of Congruence* » permettant d'évaluer les qualités d'un logiciel éducatif multimédia interactif. Cette étude conclut que l'utilisation d'un système interactif multimédia peut améliorer l'aspect visuel et ludique, et par conséquent renforcer l'intérêt de l'élève par rapport au système.

Outre la composante multimédia des hypermédias, la composante hypertexte peut aussi grandement améliorer la qualité de l'enseignement. En effet, les hypermédias, par leur structure, aident l'apprenant à mieux se représenter la connaissance, à mieux appréhender les tenants et les aboutissants de chaque concept. La non-linéarité de la progression de l'apprenant l'oblige à se construire sa connaissance en créant des connections entre les concepts. En effet, comme l'indique F. Nadeau dans [Nadeau 1997] : L'apprentissage comme la pensée ne se font pas par des idées isolées mais par des relations significatives ou associatives entre idées. Donc l'hypermédia devient un outil de structuration de la pensée.

2.2.3 Inconvénients dans un cadre éducatif

Malheureusement, ces deux avantages peuvent devenir préjudiciables, puisqu'ils peuvent entraîner une désorientation et une surcharge cognitive [Rhéaume 1993]. La désorientation est issue de la facilité qu'a l'apprenant à se déplacer de nœuds en nœuds dans le système.

Ainsi, cette liberté de déplacement peut finir par troubler l'apprenant. Il risque de se poser des questions du type « Où suis-je ? », « Pourquoi suis-je là ? » « Que dois-je faire ? ». [Rhéaume 1993] explique que ceci est principalement dû à notre mémoire à court terme, puisque comme l'a montré [Miller 1956], les êtres humains ne sont capables de mémoriser sur le moment qu'un nombre limité d'informations (sept items à plus ou moins deux près).

La surcharge cognitive, quant à elle, est provoquée par « l'avalanche d'informations » que risque de « déverser » le système. En effet, la redondance, pour être bénéfique, doit

être construite de façon intelligente. En aucun cas, il ne faut présenter la même information à l'aide de différents médias ne nécessitant pas tous le même niveau de connaissance.

2.3 Hypermédias adaptatifs

2.3.1 Principes et définitions

Les recherches ont essayé de minimiser l'aspect négatif des hypermédias dits classiques (traditionnels) en créant des hypermédias adaptatifs. La caractéristique essentielle de ces systèmes est la possibilité de fournir une adaptation de l'hypermédia en se basant sur un modèle d'utilisateur.

Selon [Brusilovsky 2007] : « Les Hypermédia Adaptatifs et les systèmes adaptatifs basés sur le Web appartiennent à la classe des systèmes adaptatifs à l'utilisateur. Cette classe de systèmes se caractérise par la présence d'un modèle de l'utilisateur. Le modèle de l'utilisateur contient des informations concernant ce dernier qui sont utilisées par un système adaptatif afin de fournir un effet d'adaptation, i.e. avoir un comportement différent face à des utilisateurs différents ».

Un Système Hypermédia Adaptatif est donc un système qui (i) construit un modèle d'utilisateur plus ou moins automatiquement ; (ii) utilise ce modèle afin de fournir un effet d'adaptation ; (iii) cet effet d'adaptation consiste à modifier l'information hypermédia initialement construite pour un large public.

Pour être hypermédia adaptatif, le système doit satisfaire trois critères [Benadi 2004] :

- Etre un système d'information dont l'interface est un hypermédia,
- posséder un modèle utilisateur et,
- être capable d'utiliser ce modèle pour adapter l'hypermédia à l'utilisateur.

La figure 2.3 montre une boucle classique d'obtention d'un modèle utilisateur et de l'adaptation correspondante (effets d'adaptation). Le système doit d'abord collecter les informations (données) sur un utilisateur particulier afin de construire un modèle utilisateur. Un tel système devient adaptatif dans la mesure où il est capable de reconnaître chaque utilisateur (ses buts courants, ses intentions, ses préférences et ses connaissances) pour adapter l'hypermédia à cet individu. Cette boucle va se répéter tant qu'il y a des informations à adapter. Après chaque adaptation, le modèle de l'utilisateur est automatiquement mis à jour.

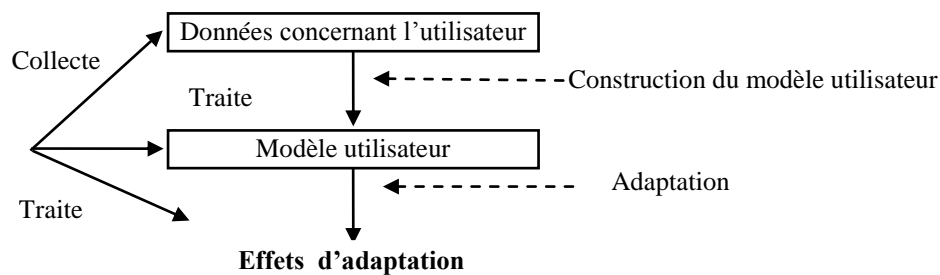


Figure 2.3 - *Modèle utilisateur-adaptation [Brusilovsky 1996].*

Ainsi, un système hypermédia adaptatif qui se caractérise par l'existence explicite d'un modèle utilisateur permet au système de distinguer les différents utilisateurs et d'adapter des pages et leur présentation à l'utilisateur [Brusilovsky 2004]. Selon Peter Brusilovsky, les systèmes hypermédias adaptatifs peuvent servir dans n'importe quel domaine où les applications doivent être utilisées par des personnes aux buts et aux connaissances différents et, quand l'hyperespace est étendu.

2.3.2 Adaptation dans les hypermédias

Dans les hypermédias adaptatifs, l'espace d'adaptation est limité aux nœuds et liens de l'hypermédia. L'adaptation dans ces systèmes est donc l'adaptation de la navigation (des liens) et de la présentation de pages (les nœuds) à l'utilisateur durant ses interactions avec le système.

Peter Brusilovsky définit ces deux catégories d'adaptation par : adaptation du contenu(ou présentation adaptative) et adaptation de la navigation(ou navigation adaptative) [Brusilovsky 1998]. Une troisième catégorie appelée adaptation de la présentation est introduite par Koch [Koch 2000]. Cependant, la terminologie employée par les auteurs prête à confusion. Ainsi, pour Peter Brusilovsky, l'adaptation de la présentation n'est rien d'autre que l'adaptation du contenu alors que pour Koch [Koch 2000] elle concerne les caractéristiques de mise en page, c'est-à-dire la forme ou l'apparence.

2.3.3 Méthodes et Techniques d'adaptation

Plusieurs méthodes et techniques d'adaptation ont été élaborées. En empruntant la terminologie proposée par [Brusilovsky 1998] et reprise par [Koch 2000], une méthode d'adaptation désigne une idée au niveau conceptuel, une manière d'envisager une

adaptation. Une technique d'adaptation correspond aux moyens mis en œuvre pour implémenter une méthode. Les techniques font partie du niveau implémentation d'un hypermédia adaptatif. Chaque technique peut être représentée par un type spécifique de représentation des connaissances et par un algorithme d'adaptation spécifique. Une méthode peut être implémentée grâce à différentes techniques et, une technique peut être utilisée par plusieurs méthodes. Ces techniques utilisées seules ou combinées permettent une action d'adaptation dans le système.

2.3.3.1 Adaptation du contenu

L'objectif de la présentation adaptative est de modifier les informations présentes dans une page hypermédia pour afficher leur contenu adapté à une ou plusieurs caractéristiques de l'utilisateur comme ses connaissances, ses objectifs, ses préférences, etc. Le contenu peut être adapté de plusieurs façons. La figure 2.4 illustre les différentes méthodes et techniques d'adaptation utilisées pour l'adaptation de contenu.

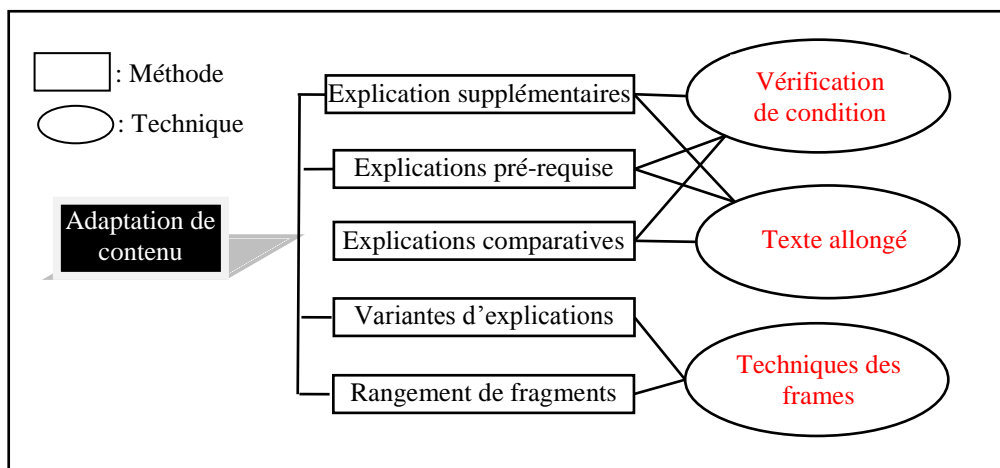


Figure 2.4 - Méthodes et techniques d'adaptation de contenu.

- **L'explication additionnelle, pré-requise ou comparative** au sujet d'un concept de base défini pour l'ensemble des utilisateurs. L'explication additionnelle consiste à présenter à l'utilisateur quelques parties de documents selon certaines conditions. L'explication pré-requise permet d'insérer des explications sur tous les concepts pré requis qui ne sont pas suffisamment maîtrisés par l'utilisateur. La méthode des explications comparative consiste à mettre en place des liens entre des concepts similaires. Si un concept similaire à celui déjà connu doit être présenté, l'utilisateur aura une explication comparative qui souligne les similarités et les différences entre les concepts courants et ceux déjà assimilés.

- **Les variantes d'explications** qui consistent à choisir parmi plusieurs alternatives, celle qui est adéquate à un utilisateur donné. Cette méthode défend l'hypothèse qu'il faut prévoir différentes présentations des informations pour différents types d'utilisateurs. Dans cette méthode le concepteur prévoit plusieurs variantes de pages ou de fragments et l'utilisateur reçoit la variante de page ou de fragment correspondant à son modèle.
- **Le tri de fragments**, le système trie les fragments selon leur pertinence par rapport à l'utilisateur. Ainsi, l'ordre de la présentation peut changer selon le modèle de l'utilisateur. Par exemple, certains utilisateurs peuvent préférer voir un exemple avant une définition ou vice versa.

Plusieurs techniques existent pour mettre en œuvre de telles adaptations. Elles portent majoritairement sur des données de type texte, mais peuvent être transposées à des données multimédias [Belkasmi 2005] :

- **Le texte conditionnel** permet de proposer des informations supplémentaires ou au contraire en cacher. Ceci peut être réalisé par l'association de conditions aux éléments d'information. Ces conditions expriment généralement des critères requis pour en accéder. Par comparaison avec les valeurs affectées à l'utilisateur pour ces critères, le système décide de montrer ou non l'information.
- **Le texte allongé** (*stretch text*) est une technique basée sur un principe d'expansion/réduction d'un texte dans un document hypermédia. Une partie du texte (un mot ou un groupe de mots) est associée à une information additionnelle qu'il est possible de faire apparaître. Le système choisit de dévoiler ou non l'information en référence à des spécifications données par un modèle utilisateur.
- **Les versions de pages et de fragments** (page variant/fragment variant) est une technique basée sur le choix de contenus alternatifs traduite de deux façons. La première consiste à créer autant de versions de pages que nécessaire. Chaque variante de page est prévue pour un niveau d'utilisateur. Au moment d'afficher une page, le système sélectionne celle qui correspond le mieux à l'utilisateur. La seconde technique adopte un principe similaire mais à un niveau de granularité plus fin, en créant différentes versions de fragments, relatives à un concept donné. Une sélection de la version adéquate est opérée pour construire une page à présenter à l'utilisateur.
- **L'organisation par cadres** (*frame based*) consiste à représenter un concept sous forme de structure de cadres. Chaque élément d'un cadre contient une variante du même concept et peut être lié à d'autres cadres. Une base de règles est nécessaire pour calculer

et déterminer les éléments de cadre les plus appropriés pour un utilisateur donné. Un cadre peut être masqué à la demande de l'utilisateur.

2.3.3.2 Adaptation de la navigation

L'objectif de la navigation adaptative est d'aider les utilisateurs à trouver leur chemin dans l'hypermédia en adaptant la façon de présentation des liens aux caractéristiques (connaissances, objectifs, etc.) des utilisateurs. Dans un environnement hypermédia, la navigation se fait en manipulant des liens contextuels et des liens non contextuels. Les liens contextuels sont des liens qui se trouvent dans le texte d'un document comme les ancres hypertextes. Les liens non contextuels sont les liens indépendants du contenu du document. Ils se présentent sous la forme de boutons, de menus ou d'index. L'adaptation de la navigation permet d'éviter à l'utilisateur de suivre des chemins le menant à des informations non pertinentes. Les méthodes permettant le guidage sont :

- **Le guidage global** peut être fourni lorsque les utilisateurs ont des buts d'information globaux (besoin d'information contenue dans un ou plusieurs nœuds de l'hypermédia), la navigation est le moyen qui permet de trouver l'information désirée. Pour aider l'utilisateur à trouver le plus court chemin pour accéder à l'information qu'il cherche, deux méthodes sont envisagées : la première appelée guidage direct permet de suggérer étape par étape le lien suivant à actionner. La seconde consiste à trier les liens potentiels par ordre décroissant de pertinence, l'utilisateur choisit le lien en tête de liste. Elle est équivalente à la première mais laisse à l'utilisateur la liberté de choisir d'autres chemins. Ces méthodes sont souvent utilisées dans les systèmes de recherche d'information, les systèmes d'aide en ligne ainsi que dans les hypermédias éducatifs.
- **Le guidage Local** a pour but d'aider l'utilisateur à passer d'une page à une autre en lui suggérant les liens les plus intéressants à suivre. Contrairement au guidage global qui se base sur un objectif général, le guidage local fait une suggestion à partir des préférences, de la connaissance et du savoir-faire de l'utilisateur. La méthode privilégiée à cet égard est également le tri des liens en fonction de leur pertinence par rapport aux caractéristiques de l'utilisateur.
- **Le support d'orientation globale** a pour objectif d'aider l'utilisateur à comprendre la structure globale de l'hypermédia ainsi que sa position dans celle-ci. Plusieurs méthodes sont utilisées à ce niveau : on trouve, les méthodes basées sur l'insertion de repères

visuels ou d’affichage de la cartographie de l’hypermédia, les visites guidées par la structuration en espaces plus petits, l’annotation de liens qui introduisent une certaine sémantique facilitant la compréhension de la structure, etc.

- ***Le support d’orientation locale*** a pour objectif d’orienter l’utilisateur dans l’hypermédia, en lui indiquant où il est, d’où il vient et aussi où il peut aller. A ce niveau, les méthodes d’annotation des liens ainsi que les méthodes qui cachent les informations non pertinentes (c’est-à-dire les liens vers des nœuds non pertinents) sont utilisées.
- ***Les vues personnalisées*** ont pour objectif d’offrir un accès personnalisé à une partie réduite de l’hyperespace qui correspond aux activités quotidiennes de l’utilisateur. Une vue est une organisation de liens pertinents pour l’utilisateur en fonction de ses objectifs particuliers de travail.

Les techniques utilisées pour implémenter les méthodes ci-dessus sont regroupées en cinq catégories :

- ***Le guidage direct*** est la technique la plus utilisée car simple à mettre en œuvre. Elle est basée sur l’ajout d’un lien hypertexte nommé « suivant » qui permet d’accéder à la page en adéquation avec les objectifs de l’utilisateur dans le contexte courant. Il décide du meilleur nœud suivant à visiter pour l’utilisateur.
- ***L’ordonnement (ou tri) des liens*** propose d’afficher les liens hypertextes suivant un ordre définissant l’intérêt ou l’importance des pages cibles. Les liens supposés les plus adéquats sont disposés de manière à réduire le nombre d’actions à effectuer pour atteindre une information voulue. L’inconvénient majeur de cette technique est qu’elle ne peut pas être utilisée avec des liens contextuels (se trouvant au sein de phrases), mais être appliquée sur des liens appartenant à un index ou à une carte décrivant l’hyperespace du système.
- ***Le masquage des liens*** consiste à supprimer les liens en inadéquation avec les objectifs de l’utilisateur.
- ***L’annotation des liens*** donne plus de responsabilité à l’utilisateur puisqu’on lui laisse le choix d’activer les liens qui l’intéresse en lui adjoignant une explication sur le contenu de la page cible pour chacun. Ces annotations peuvent apparaître sous forme d’indicateurs ou de bulles d’aides qui permettent de donner à l’apprenant des

informations sur les pages à visiter. Un exemple d'annotation est celui des éléments de couleur ajoutés aux liens dans AHA.

- *Les cartes adaptatives (mapping)* permettent de présenter à l'utilisateur l'organisation de l'hyperespace sous forme textuelle (arbre hiérarchique) ou sous forme graphique adéquate avec son profil. Ces cartes peuvent être locales (concernant un concept et ses voisins) ou globales (concernant tout le réseau).

2.3.3.3 Adaptation de la présentation

L'adaptation de la présentation concerne la mise en page du document final à présenter à l'utilisateur, c'est-à-dire sa forme ou son apparence. L'adaptation peut cependant porter sur les caractéristiques graphiques, les composants multimédias et sur l'organisation du document lui-même. Les méthodes d'adaptation de la présentation comporte donc deux sous catégories : les méthodes relatives à la gestion du texte et celles traitant de la gestion du contenu multimédia. Dans ce dernier cas, il s'agit de privilégier la présentation d'un contenu selon un ou plusieurs médias afin de limiter la charge cognitive de l'utilisateur lors de l'exploration de l'hypermédia [Habieb 2003].

Diverses techniques sont employées pour implémenter ces méthodes. Une première possibilité est de créer autant de versions de pages ou de régions de pages que nécessaire, à l'image de ce qui a été décrit pour les contenus alternatifs.

Une autre technique est offerte à travers la possibilité de recourir à des feuilles de styles. Tout d'abord avec les CSS (*Cascading Style Sheets*) associées à HTML (*HyperText Markup Language*), puis avec XSL (*eXtensible Stylesheet Language*) et les langages associés, proposés autour de XML (*eXtensible Markup Language*), la séparation du contenu et de sa présentation devient une procédure courante. Dès lors, la création de différentes feuilles de style (qui contiennent les spécifications des adaptations souhaitées) permet de produire différents documents bien que les feuilles de style soient appliquées à un même contenu.

2.3.4 Données utilisées pour l'adaptation

Les Hypermédias adaptatifs reposent sur un modèle de domaine et un modèle d'utilisateur. Ces deux modèles se sont construits au préalable pour la modélisation de l'adaptation.

2.3.4.1 Modélisation du domaine

Le modèle de domaine correspond au domaine des connaissances à mettre à la disposition des utilisateurs dans le système. Ces connaissances bénéficient des techniques de représentation des connaissances issues de l'IA : règles de production, réseaux sémantiques, frames, ontologies, etc. Il s'agit de concepts et de liens sémantiques entre ces différents concepts. Les concepts utilisés peuvent être nommés différemment dans les différents systèmes (sujets, objets, notions, éléments de connaissances, etc.) mais dans tous les cas, ils ne sont que des pièces élémentaires dans un domaine de connaissance donné [Benadi 2004]. Notons que dans le cadre des systèmes éducatifs, certains auteurs associent des ressources aux concepts (des exemples, des explications, des exercices, etc.). La distinction entre concepts (appartenant au domaine) et ressources n'est pas toujours faite, néanmoins certains modèles se distinguent sur cette question [Duitama 2005] en distinguant clairement les deux niveaux [Jacquio 2006].

2.3.4.2 Modélisation de l'apprenant

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

Pour qu'un système d'apprentissage soit « intelligent », il faut qu'il soit capable de s'adapter à l'apprenant qui se trouve devant la machine. Ceci ne peut être atteint que par la connaissance du modèle de l'apprenant. L'ensemble des connaissances aidera à définir les caractéristiques des apprenants de façon à ce qu'il soit plus facile d'adapter les contenus en fonction de leur profil d'apprentissage, de surveiller leur progression, de fournir un encadrement administratif et cognitif adapté, etc [Behaz 2012].

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

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

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

La modélisation de l'utilisateur peut être réalisée selon différents points de vue, dans cette section, nous allons décrire en détail chaque caractéristique.

- **Les Connaissances de l'apprenant** : C'est la donnée la plus importante dans tout système adaptatif. Il s'agit de sauvegarder ce qu'un apprenant connaît ou ne connaît pas par rapport aux concepts du domaine. Cette donnée peut être obtenue explicitement suite à un test par exemple ou bien implicitement par application du système des règles d'inférences. Les connaissances peuvent varier, pour le même apprenant, d'un moment à un autre. En effet, à chaque utilisation du système l'apprenant peut acquérir de nouvelles connaissances et augmenter son niveau ou au contraire le diminuer. Il est donc nécessaire de disposer d'outils d'évaluations robustes afin de confirmer les capacités effectives.
- **Les préférences** : contrairement à la donnée précédente cette caractéristique ne peut pas être déduite par le système. Chaque apprenant possède ses propres préférences, il doit les communiquer au système. Les préférences se divisent en deux catégories les préférences d'affichage taille des caractères, problèmes de couleurs, de contraste, etc., et les préférences de présentation. Ainsi, il a

possibilité par exemple de définir un classement sur les types physiques de média pour la présentation des contenus (texte, image, vidéo,...).

- **Les objectifs et plans** : [Laroussi 2001] définit un objectif comme étant l'état que l'apprenant souhaite atteindre et les plans décrivent les étapes pour y arriver. Ces informations peuvent être données explicitement par l'apprenant ou bien déduites par le système grâce à certaines règles d'organisation de la structure narrative d'un document.
- **Les styles d'apprentissage** : une autre classification du modèle utilisateur se base sur les styles d'apprentissage. Ces styles sont définis par Keefe [Keefe 1979] comme les caractéristiques cognitives, affectives et physiologiques indiquant de façon relativement stable comment les apprenants perçoivent, répondent à et interagissent avec l'environnement d'apprentissage. Les styles cognitifs sont les façons caractéristiques d'un individu de traiter l'information relevant des domaines de la perception, de la cognition, de la mémoire et de la résolution de problème. Sous le composant styles affectifs, il est surtout question des aspects des styles d'apprentissage liés à la personnalité des individus, plus particulièrement à leur attention, à leurs émotions et à leurs valeurs. Une étude détaillée sur les styles d'apprentissage est donnée au chapitre trois.

2.3.5 Processus d'adaptation

Un processus d'adaptation est un logiciel intelligent (un générateur ou un moteur selon le cas), alimenté par un modèle de domaine et un modèle d'utilisateur en vue de générer des documents hypermédias adaptés à l'utilisateur. Un ensemble de critères d'adaptation est appliqué sur ces données pour produire le document final à l'utilisateur. Cependant, la terminologie associée à l'adaptation est riche. Aux termes employés (adaptation, adaptabilité, adaptativité, personnalisation, customisation, etc.) correspondent différentes façons d'envisager le processus visant à adapter le système à l'utilisateur. Certains auteurs considèrent les termes comme des synonymes, la préférence allant à l'un ou à l'autre en fonction du domaine d'application qui l'emploie.

Ces deux termes personnalisation et customisation visent à répondre de façon adaptée aux besoins et caractéristiques uniques et particuliers de chaque utilisateur. Toutefois, le processus de personnalisation est généralement distingué de celui de customisation. La

customisation est un processus contrôlé par l'utilisateur qui effectue un choix entre plusieurs options qui guident la réponse fournie par le système. L'utilisateur est donc activement engagé dans une interaction avec le système délivrant l'information. Les messages qu'il envoie au système formulent explicitement ce qu'il attend. De plus, les options retenues par l'utilisateur restent identiques jusqu'à ce qu'il procède à de nouveaux choix.

Par opposition à la customisation, la personnalisation consiste en un processus guidé par le système lui-même qui gère de la connaissance relative à l'utilisateur (ses besoins, ses préférences, etc.) et exploite cette connaissance pour décider de ce qui doit être présenté à l'utilisateur. Ce processus est décrit par [Rosenberg 2001] comme une technologie « cognitive » dans la mesure où il s'appuie sur un apprentissage, par la machine, de ce que veut l'utilisateur. Cet apprentissage est basé sur une observation du comportement de l'utilisateur au cours des sessions. Le système a, par ailleurs, la capacité de s'adapter au cours du temps.

Cette technologie oppose généralement les capacités d'adaptabilité et d'adaptativité des systèmes, qui sont respectivement qualifiés d'adaptables et d'adaptatifs. L'adaptabilité fait référence à un processus d'adaptation basé sur des connaissances (à propos de l'utilisateur, de l'environnement, etc.) disponibles ou acquises par le système avant que ne soient engagées les interactions utilisateur/système. Les adaptations sont donc réalisées lors de l'initialisation du système qui se présente dans une version adaptée à l'utilisateur. Les connaissances utilisées par le système sont, de plus, supposées rester inchangées au cours de la session d'utilisation. Inversement, l'adaptativité traduit une vision plus dynamique du processus d'adaptation. Les connaissances sont ici acquises ou modifiées par le système au cours des interactions, via des techniques de suivi de session. Le système procède à des adaptations pendant que l'utilisateur interagit avec lui. Cette vision est également partagée par [Fras 2002] et [Kappel 2000], mais ces derniers appellent l'adaptabilité « adaptation statique » et l'adaptativité « adaptation dynamique ».

Selon une autre approche, l'opposition des termes est basée sur le degré de contrôle (c'est-à-dire le degré de liberté) que possède l'utilisateur dans le processus d'adaptation [Kobsa 2001]. Le processus d'adaptation est un processus de type Perception- Action. Il consiste successivement à percevoir le contexte (Perception) puis adapter l'interface en fonction du contexte observé (Action). Dans la taxonomie de [Dieterich 1993] pour la

classification des systèmes interactifs dotés de capacités d'adaptation à l'exécution, les auteurs proposent un découpage du processus d'adaptation en quatre étapes comme illustré dans la figure 2.5.

- L'initiative : elle représente la décision d'un acteur (système ou utilisateur) de suggérer une adaptation,
- La proposition : elle correspond aux différentes possibilités d'adaptation,
- La décision : elle reflète le choix d'une adaptation parmi celles proposées ;
- L'exécution : elle consiste en la mise en œuvre effective de l'adaptation choisie.

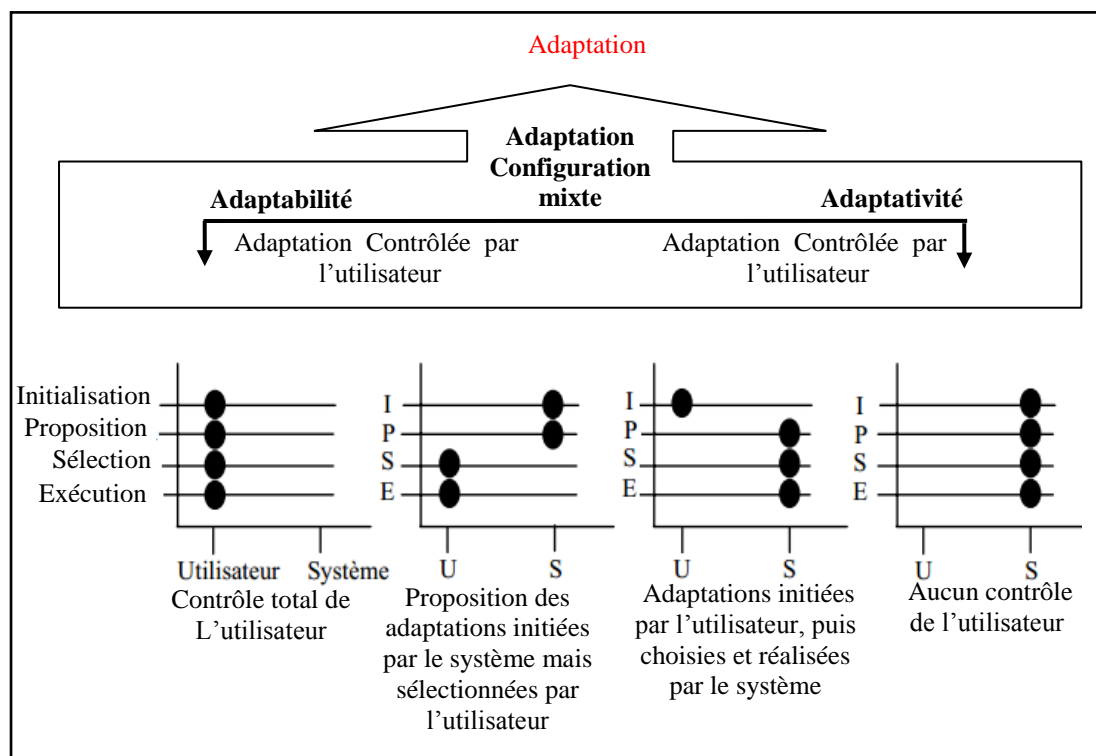


Figure 2.5 - Processus d'adaptation [Dieterich 1993].

Ces étapes, augmentées par l'étape de perception du contexte, couvrent l'ensemble du processus d'adaptation. La question du contrôle utilisateur se pose à chaque étape. Cependant, l'utilisateur peut intervenir aussi bien au niveau de la perception pour fixer les aspects du contexte à observer qu'au niveau de l'action pour orienter les décisions. De façon générale, on distingue quatre niveaux de contrôle :

- *Non observable* : l'adaptation s'opère à l'insu de l'utilisateur,
- *Observable* : l'adaptation est perceptible par l'utilisateur sans qu'il dispose de moyen de contrôle,
- *Négocié* : l'utilisateur est associé aux décisions,

- *Contrôlé*: le système laisse la liberté à l'utilisateur de contrôler le processus d'adaptation.

2.3.6 Avantages des hypermédias adaptatifs

Les hypermédias adaptatifs représentent une avancée non négligeable vis à vis des hypermédias classiques. En effet, les différentes techniques utilisées permettent à l'étudiant d'être guidé dans son apprentissage, et aux enseignants de mieux structurer leurs connaissances (surtout lorsque la structure de l'hypermédia est calquée sur la structure du modèle du domaine). Ainsi, sans toutefois annihiler la liberté de navigation intrinsèque aux hypermédias, l'étudiant est constamment guidé dans son cheminement. De même, le fait de distinguer la connaissance des outils qui permettent de la présenter éclaircit le travail de l'enseignant. Ce dernier peut alors mieux structurer son travail, en pensant tout d'abord à l'organisation des connaissances, et ensuite à la façon de les exposer.

2.3.7 Inconvénients des hypermédias adaptatifs

Cependant, quelques problèmes persistent. Tout d'abord, l'accent a surtout été mis sur l'adaptation des liens, afin de guider l'apprenant dans son cheminement. Or la deuxième composante de l'adaptation, c'est-à-dire l'adaptation du contenu, a souvent été mise de côté. Pourquoi ? Tout simplement parce que la méthodologie de développement de ces systèmes ne s'y est pas réellement prêtée. En effet, bon nombre de systèmes hypermédias adaptatifs sont issus de systèmes hypermédias classiques déjà définis, auxquels les chercheurs ont ajouté des outils d'adaptation. Or, alors qu'il est assez aisé de cacher des liens, ou bien de les annoter, il est beaucoup plus difficile de remplacer un item d'une page, ou bien de modifier la structure d'une page. Ensuite, l'uniformisation du système est apparue comme un facteur très important. D'un point de vue ergonomique, il est important que tous les cours aient la même structure. Enfin tout comme un enseignant, il faut que le système puisse utiliser immédiatement toute nouvelle connaissance. Ainsi, si une personne trouve ou construit un nouveau média en rapport avec un des concepts enseignés, le fait de l'ajouter doit permettre au système d'enrichir instantanément les cours sur ce concept.

2.4 Hypermédias Adaptatifs Dynamiques

Afin d'améliorer la qualité de l'adaptation et de prendre en compte instantanément de nouvelles données, depuis des années, les recherches se sont orientées également vers les hypermédias adaptatifs dynamiques.

La principale caractéristique de ces systèmes est d'offrir un hypermédia virtuel [Vassileva 1995]. Le système n'est pas constitué de pages et de liens prédéfinis : ils sont construits dynamiquement. L'architecture de ces systèmes repose sur quatre composantes principales que sont : le modèle du domaine, le modèle de l'élève, une base de données de matériaux pédagogiques [Vassileva 1994] et un générateur de cours. Le modèle du domaine, comme pour la dernière génération des hypermédias adaptatifs, permet de définir l'architecture globale du système. Il y a par conséquent adéquation entre les nœuds du modèle du domaine et les pages de l'hypermédia virtuel, ainsi qu'entre les relations du modèle du domaine et les liens de l'hypermédia virtuel.

L'utilisation d'un tel système apporte plusieurs avantages. Tout d'abord, l'adjonction d'un nouveau support peut être immédiatement pris en compte, puisque encore une fois, les pages du système sont construites dynamiquement. Ensuite, les enseignants ne sont pas obligés de penser à la façon d'agencer les différents médias, ils doivent juste définir l'architecture générale du système (le modèle du domaine) et déterminer, récupérer ou créer les matériaux pédagogiques qui vont servir à présenter chaque concept.

2.5 Modèles d'hypermédias adaptatifs

2.5.1 Le modèle AHAM

AHAM (*Adaptive Hypermedia Application Model*) [De Bra 1999] est un modèle de référence qui entend le modèle de Dexter pour décrire les systèmes hypermédias adaptatifs. Il divise les SHA en trois couches qui sont la couche d'exécution, la couche de stockage et la couche de contenu de composants. Ces couches sont interconnectées entre elles à l'aide de deux interfaces : spécification de présentation et ancrage.

Il est basé sur un découpage en trois modèles que l'on retrouve dans de nombreux autres modèles : le modèle de domaine, le modèle utilisateur et le modèle de l'adaptation. Le modèle du domaine représente le domaine d'application de l'hypermédia tel qu'il est aperçu par les auteurs. Il décrit de quelle manière les constituants du domaine traités sont structurés, en utilisant des concepts et des relations. Chaque concept est la représentation abstraite d'un fragment ou d'une agglomération de fragments de ressources physiques. Ainsi une page à présenter à l'utilisateur est un type de concept particulier dans le modèle du domaine.

Le modèle d'utilisateur contient les informations sur l'utilisateur, utiles pour l'adaptation. Il représente les connaissances, les préférences, les buts et l'historique de la navigation de l'utilisateur par le biais de tables. L'accent est surtout mis sur la représentation des connaissances relatives au domaine.

Le modèle d'adaptation repose sur un système de règles pour décrire de manière personnalisée le comportement adaptatif du système. Ces règles sont utilisées pour adapter l'hypermédia en combinant les informations présentes dans le modèle du domaine et le modèle de l'utilisateur. Ce système permet l'adaptation de contenu et de lien et met à jour le modèle de l'utilisateur à chaque fois qu'une page est visitée. L'adaptation de l'hypermédia est réalisée par un moteur d'adaptation. Un sélecteur de pages choisit les fragments à présenter à l'utilisateur et un constructeur de pages détermine la présentation à appliquer à ces fragments. Les stratégies de ces deux éléments peuvent être redéfinies.

Le modèle AHAM propose un cadre générique pour la création d'hypermédias adaptatifs. La présence de règles indépendantes d'un langage de programmation le rend plus facilement réutilisable. La figure 2.6 décrit l'architecture du modèle AHAM.

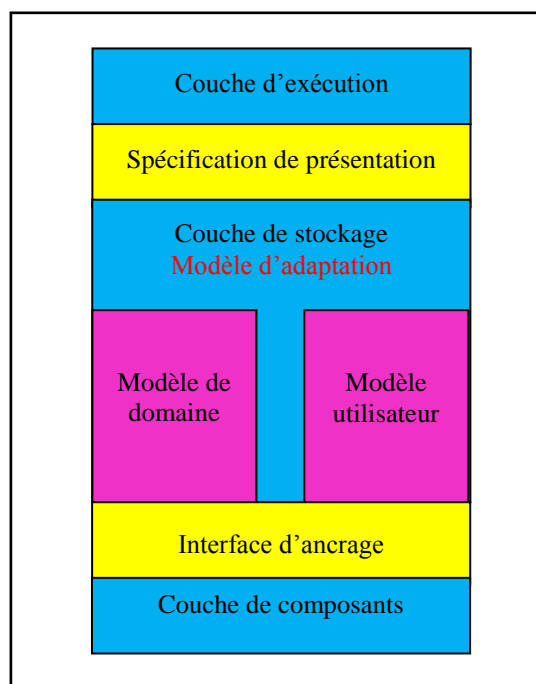


Figure 2.6 - Architecture du modèle AHAM [De Bra 1999].

2.5.2 Le modèle de référence Munich

Le modèle de référence Munich [Koch 2002] est basé sur le modèle de Dexter. Le principal apport de ce modèle est qu'il utilise un langage graphique pour décrire les

différents composants d'un système hypermédia adaptatif. L'architecture en couche est réalisée par un diagramme de package UML, de même la description des modèles de l'utilisateur, de domaine et d'adaptation sont réalisés par des diagrammes de classes UML. Ces derniers diagrammes sont utilisés pour décrire les différentes fonctions qui sont offertes par les trois modèles. Autre que l'aspect graphique de la modélisation, le modèle Munich apporte les extensions suivantes par rapport à AHAM :

- Les composants du modèle de domaine ne sont pas reliés seulement par des relations de navigation, mais aussi par d'autres relations conceptuelles tel que « part de », « pré requis de » et « variante de ».
- Le modèle de l'utilisateur inclut un gestionnaire d'utilisateur et un modèle pour chaque utilisateur du système composé d'attributs et de valeurs.
- Deux types d'attributs d'utilisateur sont pris en compte : les attributs qui sont dépendant du domaine et ceux qui sont indépendants du domaine ;
- Les règles sont classées en règles de construction, règles d'acquisition et règles d'adaptation (adaptateur de contenu, adaptateur de lien, et adaptateur de présentation) ;
- Le modèle d'adaptation modélise aussi le comportement de l'utilisateur (la navigation, les entrées et l'inactivité de l'utilisateur).

Le modèle de référence Munich n'est pas utilisé seulement pour les systèmes hypermédias adaptatifs éducatifs mais aussi pour les autres types de système hypermédia adaptatif.

Le modèle Munich et AHAM sont très similaires. Le premier modélise les systèmes hypermédias adaptatifs du point de vue de l'approche « orienté objet » tandis que le deuxième les modélise du point de vue de l'approche « base de données ». Le modèle Munich a été choisi comme modèle de base à cause de son approche de modélisation.

2.5.3 Le modèle ALEM

Le modèle ALEM (*Adaptive Learning Environment Model*) [Tadlaoui 2010] est une extension du modèle de référence Munich. L'apport essentiel du modèle ALEM est la modélisation du cours et du processus pédagogique. Les objectifs principaux qui ont guidé l'élaboration de ce modèle sont :

- Décrire les systèmes hypermédias adaptatifs existants ou futurs,

- Inclure la notion d'activité pédagogique et la notion de processus pédagogique, Prendre en compte tous les types de représentation du modèle de l'utilisateur (modèle de recouvrement, modèle de perturbation, modèle stéréotypé, etc.),
- Modéliser les buts de l'apprenant et les distinguer des buts des concepts du domaine.

Il reprend les mêmes modèles que ceux de Munich, auquel il rajoute un modèle de structuration de cours qui a pour rôle la modélisation de parcours personnalisé de l'apprenant. L'architecture du modèle ALEM contient les couches existantes dans Munich, avec une couche supplémentaire permettant de modéliser des systèmes pédagogiques. Les différentes couches du modèle ALEM, représentées dans la figure 2.7, sont les suivantes:

- la couche contenu de composant (Within Component Layer), contient le contenu et la structure des nœuds de l'hypermédia,
- la couche de stockage (Storage Layer) stocke les informations sur la structure de l'hypermédia, la couche pédagogique (Learning Layer) qui est une représentation abstraite du cours. Cette couche contient le modèle de structuration de cours,
- la couche d'exécution (Run Time Layer) est la description de la manière de présentation des nœuds. Cette couche est responsable de l'interaction avec l'apprenant, l'acquisition des données de l'apprenant et la gestion des sessions.

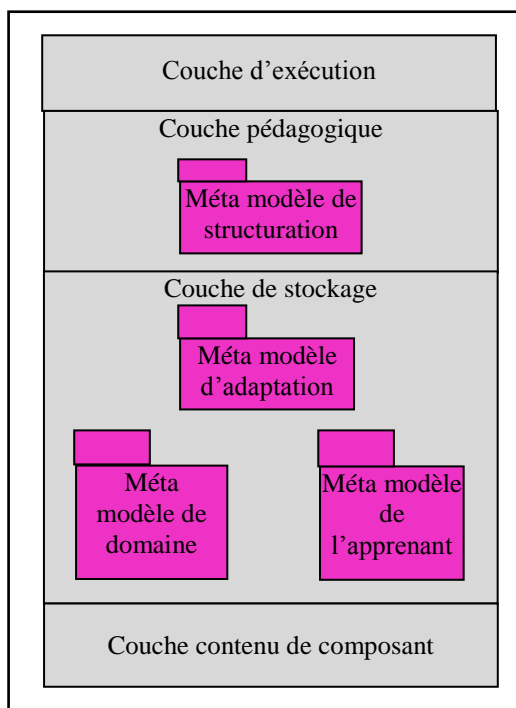


Figure 2.7- Le modèle ALEM.

2.6 Exemples des systèmes hypermédias adaptatifs

2.6.1 ELM-ART

ELM-ART [Brusilovsky 1996] est un système qui propose un cours adaptatif sur internet pour l'apprentissage du langage LISP. Le cours est organisé en chapitres, sections et sous-sections. Chaque unité est présentée à l'utilisateur sous la forme d'une page web. Un réseau de concepts est rajouté au-dessus du niveau des documents : chaque concept du réseau correspond à une page du manuel que représente ELM-ART.

Ce système fournit des informations en fonction du parcours choisi par l'utilisateur. Pour choisir les meilleurs documents à proposer, il utilise des informations sur les prérequis des notions à aborder. Afin de mettre à jour le profil de l'utilisateur, le système considère que si la page correspondant à un concept a été visitée, le concept est acquis. L'adaptation qui est fournie consiste à trier les liens et à les annoter avec des icônes de couleur. Des tests terminant les sections d'apprentissage permettent de vérifier les connaissances de l'utilisateur.

Ce système se focalise sur la navigation. Il propose une séparation entre les concepts et les ressources du système, et l'adaptation repose sur les concepts du domaine, non sur les ressources.

2.6.2 Interbook

Interbook [Brusilovsky 2004] est un système basé sur une version améliorée des principes d'ELM-ART, permettant de créer des hypermédias adaptatifs pour l'apprentissage. L'hypermédia obtenu est composé d'un glossaire et d'un manuel électronique. Le manuel est structuré en sections, sous-sections et éléments de base. Le modèle du domaine sert à structurer le contenu du manuel. Chaque élément de base du domaine est lié à un ensemble de concepts. Les concepts sont organisés par la relation de prérequis, qui permet de savoir quels concepts doivent être appris avant d'autres. Le glossaire permet de visualiser le plan de l'hypermédia. Chaque nœud du plan correspond à un concept différent, et est lié à tous les documents du domaine utilisant ce concept. Le modèle de l'utilisateur contient la connaissance qu'à l'utilisateur des différents concepts. Le niveau de connaissance de chaque concept est modifié en fonction des actions de l'utilisateur. Les buts de l'apprentissage peuvent être définis pour chaque utilisateur.

L'adaptation fournie porte sur l'agencement des composants que contient un document, l'annotation des liens par des icônes colorées, le guidage direct de l'utilisateur et l'aide basée sur la révision des prérequis.

Ce système fournit un outil auteur pour créer des systèmes utilisant l'architecture décrite. Le créateur d'hypermédia adaptatif qui réutilise Interbook doit donc donner la liste des concepts du domaine, structurer le manuel qui va servir de base à l'hypermédia adaptatif, lier les concepts et les éléments structurés du domaine, et enfin lier entre eux les concepts, en utilisant notamment la relation de pré requis. Les mécanismes d'adaptation sont implicites et ne peuvent être changés.

2.6.3 Netcoach

Netcoach [Weber 2001] successeur officiel d'ELM-ART, fournit un cadre pour la création de systèmes hypermédias adaptatifs. Il utilise une base de connaissance constituée de concepts, qui sont des représentations de pages hypertextes que le système pourra proposer à l'utilisateur.

Chaque concept correspond à un élément du domaine, comme les chapitres, sections ou sous sections. La base de connaissances permet de définir et d'utiliser des relations entre concepts.

Le modèle utilisateur comporte plusieurs niveaux, relatifs aux connaissances que l'utilisateur a du domaine. Le premier niveau décrit si l'utilisateur a déjà visité une page correspondant à un concept. Le deuxième contient des informations sur les réussites et les échecs de l'utilisateur aux exercices. Le troisième décrit quels concepts sont supposés connus, par inférence sur d'autres plus avancés, que l'utilisateur semble maîtriser. Le quatrième niveau contient la description des concepts que l'utilisateur affirme connaître. Ces niveaux sont indépendants, la modification d'un niveau n'entraîne pas l'écrasement de données des autres niveaux.

L'adaptation fournie consiste à annoter des liens, et à guider l'utilisateur et, prend en compte les buts de l'apprentissage de l'utilisateur. Pour que l'utilisateur puisse modifier quelques caractéristiques de l'adaptation, le système lui propose des options.

Tout comme ELM-ART, Netcoach utilise un outil auteur pour créer des systèmes éducatifs. Celui-ci dispose d'un éditeur de concepts pour définir les relations entre les différents concepts du cours, d'un éditeur de tests pour fournir des exercices corrigés

automatiquement à l'utilisateur. Il est possible de définir quels concepts doivent être acquis pour atteindre un but donné.

Dans Netcoach comme dans Interbook, les mécanismes d'adaptation sont implicites et ne peuvent pas être modifiés.

2.7 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les aspects essentiels des hypermédias et avons souligné la nécessité d'adaptativité à l'utilisateur ce qui a permis d'inventer les hypermédias adaptatifs.

Nous avons mis en évidence la diversité des dimensions susceptibles d'être adaptées à l'utilisateur dans ces systèmes, ainsi que les différentes terminologies associées à l'adaptation. Nous avons décrit plusieurs modèles de référence pour les systèmes hypermédias adaptatifs et plusieurs systèmes hypermédias adaptatifs existant dans la littérature.

Aux termes employés (adaptation, adaptabilité, adaptativité, personnalisation, customisation, etc.) nous avons constaté qu'il existe différentes façons d'envisager le processus visant à adapter le système à l'utilisateur et, que tout processus d'adaptation, quel qu'il soit, repose sur un modèle de l'utilisateur, c'est-à-dire une représentation de ses caractéristiques dont le système tient compte dans la mise en œuvre des adaptations. Parmi ces caractéristiques, nous avons cité les connaissances, les objectifs, les préférences et les différences individuelles.

Parmi les caractéristiques individuelles, nous allons intéresser dans cette thèse, plus particulièrement, aux styles d'apprentissage. Ce concept est lié à la fois à un ensemble de conduites et de stratégies dans la manière de gérer et d'organiser l'information et à la manière de mettre en œuvre ces conduites et stratégies. Les différentes façons d'envisager les styles d'apprentissage dans un environnement informatique d'apprentissage humain sont discutées dans le chapitre suivant.

Les styles d'apprentissage et les EIAH

3.1 Introduction

La problématique de la personnalisation au sein des Environnements Informatiques d'Apprentissage Humain (**EIAH**) n'est pas nouvelle. Elle remonte aux travaux sur les interactions entre aptitudes et traitements qui prônent l'adaptation de l'instruction aux caractéristiques de l'individu [Cronbach 1977]. A cette fin, de nombreux travaux de recherche se sont focalisés sur l'identification des dimensions des différences individuelles [Snow 1989]. Ces recherches ont mené à la naissance de la théorie du style d'apprentissage. Ce style est défini comme étant l'ensemble des processus mentaux qu'utilise l'individu pour percevoir et traiter d'une manière optimale l'information.

La personnalisation implique alors, l'estimation des différences dans les styles d'apprentissage, les approches pour apprendre et les niveaux de développement intellectuels des apprenants [Felder 2005]. Cette approche peut être utilisée dans les applications éducatives multimédia pour présenter différemment l'information basée sur les caractéristiques individuelles des apprenants [Barker 2002] telles que les objectifs, les préférences et la connaissance [Brusilovsky 2001] maintenues dans un modèle de l'apprenant multidimensionnel [Zukerman 2001].

Cependant, malgré l'importance accordée par les spécialistes en psychologie de l'éducation aux styles d'apprentissage depuis trois décennies, ils n'ont été mis en place dans les systèmes éducatifs qu'assez récemment [Carver 1999] [Laroussi 1998]. Au cours des dernières années, ils ont eu une attention particulière, et plusieurs environnements éducatifs hypermédias adaptatifs basés sur les styles d'apprentissage sont apparus.

Notre travail de recherche s'inscrit dans ce contexte d'environnements de formation hypermédia. Pour cela, et vu la richesse et la complexité de ce domaine, ce chapitre est consacré à l'étude de la théorie des styles d'apprentissage.

Dans ce chapitre, on va éclaircir la notion de style d'apprentissage. Par la suite, nous étudions les différents modèles et classifications des styles d'apprentissage proposés dans la littérature (sections 3 et 4). Nous analysons ensuite l'impact des styles d'apprentissage sur les performances des apprenants (section 6). Ensuite, dans la section 7, nous expliquons les différentes méthodes de modélisation du style d'apprentissage au sein d'un EIAH. La section 8 est consacrée à l'étude de certains environnements hypermédia qui traitent cette notion de styles d'apprentissage. La section 9 discute et justifie notre approche par rapport au EIAH basés sur les styles d'apprentissage. Enfin, dans la dernière section (section 10), on conclut notre état de l'art.

3.2 Définition du terme style d'apprentissage

Même si la question du style d'apprentissage a retenu l'attention de nombreux chercheurs au cours des dernières décennies, ce concept est loin d'être clairement défini [Chevrier 2000]. Pour certains auteurs, le style d'apprentissage émerge d'un ensemble de caractéristiques définissant le profil d'apprentissage unique d'un élève; pour d'autres, il renvoie à une typologie caractérisant des types de personnes.

[Riding 1998] a défini le terme du style d'apprentissage comme suit :

« Le terme style d'apprentissage renvoie à un ensemble individuel de différences qui incluent non seulement une préférence personnelle exprimée concernant l'enseignement ou une association avec une forme particulière d'activité d'apprentissage, mais aussi à des différences individuelles que l'on retrouve en psychologie de l'intelligence ou de la personnalité » [Chevrier 2000].

Pour bien assimiler ce concept, [Chevrier 2000] les organisent en trois catégories, selon qu'elles renvoient à :

- a) des manières caractéristiques d'agir, à des prédispositions ou à des préférences qui concernent des contextes d'apprentissage. Dans ce sens, nous pouvons citer la définition donnée par [Keefe 1979] : « Les styles d'apprentissage sont des comportements cognitifs, affectifs et physiologiques caractéristiques des individus

et qui servent comme indicateurs relativement stables de la manière dont les individus perçoivent, interagissent et répondent dans un environnement d'apprentissage ».

- b) des processus de traitement d'information, comme la définition de [Dunn 1993] : « Le style d'apprentissage est la manière dont chaque apprenant commence à se concentrer sur une information nouvelle et difficile, la traite et la retient ».
- c) des caractéristiques de la personnalité, comme par exemple la définition présentée dans [Hunt 1979] : « Le style d'apprentissage décrit un apprenant en termes des conditions éducatives qui sont les plus susceptibles de favoriser son apprentissage. Dire qu'un apprenant diffère par son style d'apprentissage signifie que certaines approches éducatives sont plus efficaces que d'autres pour lui ».

À partir de la définition précédente, on remarque que le style d'apprentissage se distingue du style cognitif en ce qu'il apparaît comme un concept plus englobant, dans la mesure où il prend en compte les aspects affectifs, physiologiques et sociologiques tandis que le style cognitif ne s'attache qu'à la dimension cognitive.

Pour bien clarifier cette distinction entre le style d'apprentissage et le style cognitif, [Therer 1998] souligne que : « Le style d'apprentissage et le style cognitif sont des concepts distincts, même s'ils sont souvent confondus ». Pour cet auteur, le style cognitif est inné et stable tandis que le style d'apprentissage résulte de l'inné et de l'acquis et peut donc évoluer par l'expérience. Alors, La distinction entre style cognitif et style d'apprentissage se fait en termes de partie et de tout. Le style d'apprentissage englobe le cognitif, l'affectif et le physiologique. Le style cognitif est donc une composante du style d'apprentissage. Il caractérise la manière d'un individu de traiter l'information relevant des domaines de la perception, de la cognition, de la mémoire et de la résolution de problème.

Cette distinction entre styles d'apprentissage et styles cognitifs reste encore un axe de recherche dans les domaines de la psychologie et les sciences cognitives, vu que le débat sur la stabilité ou non des styles d'apprentissage reste ouvert. En effet, à l'opposé des styles cognitifs supposés stables, certaines recherches assimilent les styles d'apprentissages aux stratégies d'apprentissage qui changent selon les activités, les situations et les contextes [Boussbia 2011]. Des précisions concernant la stabilité du style

seront discutées dans la suite de ce chapitre. Avant de détailler cela, nous allons découvrir, dans la section suivante, quelques modèles proposés dans la littérature.

3.3 Quelques modèles de styles d'apprentissage

Diverses théories de styles d'apprentissage ont été élaborées avec une fréquence accrue au cours des dernières décennies. [Coffield 2004] recensent 71 modèles, parmi lesquels 13 sont considérés les plus importants en raison de leurs apports, leurs larges usages et leurs influences sur d'autres modèles [Akbulut 2012]. Dans cette section, nous allons présenter certains modèles que nous avons sélectionnés, vu leur implémentation dans des EIAH.

3.3.1 Modèle de Riding

Le modèle de Riding [Riding 2001] soutient que l'individu développe des stratégies d'apprentissage qui reflètent les processus sous-jacents à son style. Ce modèle se fonde sur les habiletés cognitives et représente l'approche préférée et habituelle d'un individu pour organiser et se représenter l'information. Il est composé uniquement de deux dimensions :

- *global - analytique* : modélise la tendance d'un individu à organiser l'information comme un tout ou bien comme un ensemble de parties,
- *verbal - imager* : modélise la tendance d'un individu à se représenter l'information pendant la phase de réflexion sous forme verbale ou bien sous forme d'images mentales.

Riding propose le CSA (Cognitive Style Analysis) pour évaluer la position d'un individu sur les deux dimensions du modèle.

3.3.2 Modèle de Dunn et Dunn

Le modèle de style d'apprentissage de Dunn et Dunn a été proposé initialement en 1974, puis affiné au fil des années [Dunn 1978] [Dunn 2003]. Le modèle adopte une perspective de construction d'un profil d'apprentissage de l'apprenant et comprend cinq variables qui peuvent être sources de différences individuelles, chacune est

composée de plusieurs facteurs [Chevrier 2000]. La table 3.1 décrit pour chaque facteur l'ensemble des variables possibles.

Type de facteur	Variables possibles
<i>Facteurs environnementaux</i>	- Son, lumière, température et design
<i>Facteurs affectifs</i>	- Motivation, persistance, responsabilité et structure
<i>Facteurs sociologiques</i>	- Apprendre mieux seul, avec un autre, en équipe, avec un adulte ou de manière variée
<i>Facteurs physiologiques</i>	- Modalité perceptives efficaces visuelles, auditives, tactiles/kinesthésiques, fluctuation du niveau d'énergie selon le moment de la journée, besoin de nourriture et de mobilité pendant l'apprentissage
<i>les facteurs psychologiques</i>	- Traitement global vs analytique, degré de spécificité hémisphérique et fonctionnement réfléchi vs impulsif

Table 3.1 - Description du modèle de Dunn et Dunn.

Dunn et Dunn ont élaboré le LSI (*Learning Styles Inventory*) pour mesurer ces variables. le LSI existe en plusieurs versions : trois versions pour les enfants (de la maternelle à la 2^{ème} année, 3^{ème} et 4^{ème}, les classes de 5 à 12) avec 104 questions qui emploient 3 ou 5 choix [Dunn 1996]; et le *Building Excellence Inventory* pour les adultes avec 118 questions [Rundle 2000] [Graf 2007].

3.3.3 Modèle de Witkin

Le modèle [Witkin 1977] a été largement étudié vu qu'il reflète la capacité des apprenants à structurer l'information en se basant sur leur perception de l'environnement et du domaine [Coffield 2004]. Witkin dans ce modèle différencie les apprenants selon qu'ils soient dépendants ou indépendants à l'égard du champ (ou du domaine) [Chen 2008]. La table 3.2 donne une description pour les deux dimensions incluses dans le modèle de Witkin.

Pour mesurer les deux styles exprimés dans ce modèle, plusieurs outils ont été développés. Parmi ces outils, le test de figures imbriquées GEFT (*Group Embedded Figures Test*) proposé par [Witkin 1971], est un livret de trois parties comportant des figures géométriques de plus en plus complexes dans lesquels il est demandé de retrouver

des formes simples. Le score du sujet est le nombre de figures simples correctement identifiées dans les formes complexes. Le score total maximum est de 18. Plus le score est élevé, plus le sujet est considéré comme indépendant du domaine.

<i>Type apprenant</i>	<i>Description</i>
<i>Les apprenants indépendants du champ</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Ils ont tendance à présenter des comportements plus individualistes. - Ils sont plus susceptibles de développer leurs propres références et à restructurer leurs connaissances. - Ils ne sont pas facilement influencés par les autres, et sont plus analytiques dans leur approche d'apprentissage.
<i>Les apprenants dépendants du champ</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Ils ont une orientation plus sociale que les apprenants indépendants. - Ils sont plus facilement influencés par les opinions des autres. - Ils ont tendance à percevoir l'image globale dans leur approche d'apprentissage.

Table 3.2 - Description du modèle de Witkin.

3.3.4 Modèle de Felder et Silverman

[Akbulut 2012] affirme que le modèle de Felder et Silverman [Felder 1988] est parmi les modèles de styles d'apprentissage les plus utilisés. La première version du modèle FLSM (*Felder and Silverman Learning Style Model*), comprenait 5 dimensions : perception (sensoriel/intuitif) tirée de [Myers 1962] et aussi analogue à la dimension concret/abstrait du modèle de Kolb [Kolb 1984]; réception (visuel/auditif), organisation (inductif/déductif), traitement (actif/réfléchi) définie aussi dans le modèle de [Kolb 1984] ; et compréhension (séquentiel/global) fondée sur le modèle de style d'apprentissage de [Pask 1976].

Ce modèle est défini en répondant aux cinq questions suivantes :

1. Quel type d'information l'apprenant préfère-t-il percevoir : sensoriel (externe), des sons, des sensations physiques ; ou intuitif (interne), des possibilités, des idées, des intuitions ?
2. A travers quelle modalité sensorielle l'information externe est-elle efficacement perçue: visuelle, des images, des diagrammes, des graphiques, des démonstrations ; ou auditive, des mots, des sons ?
3. Avec quelle organisation de l'information l'apprenant est-il le plus à l'aise : inductive, à partir des faits et des observations les principes sont déduits, ou déductive, allant des principes les conséquences et les applications sont déduites ?

4. Comment l'apprenant préfère-t-il traiter l'information : activement par l'engagement dans des activités physiques ou des discussions ; ou de manière réfléchie, grâce à l'introspection ?
5. Comment l'apprenant progresse-t-il pour comprendre : de façon séquentielle avec des petits pas dans un ordre linéaire ; ou de manière globale avec de grands sauts dans un ordre aléatoire, jusqu'à ce qu'il saisisse l'ensemble du concept ?

Après, ce modèle a été réduit en quatre dimensions dans [Felder 1995] comme le montre la table 3.3, par la suppression de la dimension organisation (inductif/déductif), et le changement de nom de la dimension réception (visuel/auditif) vers visuel/verbal pour renvoyer aux représentations textuelles, indépendamment du fait qu'elles soient écrites ou parlées. Les raisons de ces changements sont détaillées dans [Felder 2002].

Dimension	Type	Description
Dimension 1 traitement	<i>actif</i>	- L'apprenant préfère de traiter l'information d'une manière active par l'engagement dans des activités physiques ou des discussions.
	<i>Réfléchi</i>	- L'apprenant préfère traiter l'information d'une manière réfléchie, grâce à l'introspection.
Dimension 2 Réception	<i>Visuel</i>	- L'apprenant préfère voir des images, des diagrammes, des graphiques, des démonstrations et des films.
	<i>Verbal</i>	- L'apprenant préfère les mots écrits ou parlés, les formules et les sons.
Dimension 3 perception	<i>sensoriel</i>	- L'apprenant préfère percevoir des sons, des sensations physiques.
	<i>Intuitive</i>	- L'apprenant préfère percevoir des possibilités, des idées, des théories et des intuitions.
Dimension 4 Compréhension	<i>séquentiel</i>	- L'apprenant comprend de façon séquentielle avec des petits pas dans un ordre linéaire.
	<i>Global</i>	- L'apprenant comprend de manière globale avec de grands sauts dans un ordre aléatoire, jusqu'à ce qu'il saisisse l'ensemble du concept.

Table 3.3 - Les quatre dimensions du modèle de Felder Silverman.

Ce modèle utilise des échelles de -11 à +11 pour chaque dimension des styles, en ne considérant que les valeurs impaires. Ces échelles facilitent la description des

préférences de style d'apprentissage plus en détail, comparée à la construction de types d'apprenants, comme dans les autres modèles. De plus, Felder et Silverman considèrent ces préférences comme des tendances, ce qui signifie que même un apprenant avec une forte préférence pour un style d'apprentissage peut parfois agir différemment. Par ailleurs, [Felder 1988] proposent pour chacune des dimensions des styles d'apprentissage les styles d'enseignement qui correspondent le mieux, afin d'être utilisés comme des recommandations pour la personnalisation des enseignements aux préférences des apprenants, ce qui explique sa forte popularité.

Enfin, pour identifier les styles d'apprentissage selon FSLSM, [Felder 1996] ont développé ILS (Index of Learning Styles), un questionnaire de 44 questions (11 questions pour chaque dimension) fermées à deux modalités (a et b). Pour localiser l'apprenant sur une dimension, il suffit de comptabiliser le nombre de réponses a et de réponses b sur les 11 questions correspondantes et d'en faire la soustraction afin d'obtenir un nombre positif. Soient A et B respectivement ces nombres. La différence A-B définit permet de situer le style de l'apprenant. Un nombre négatif indique que l'apprenant est proche de l'extrémité b et inversement. Les préférences sont exprimées en calculant le degré de confiance qui est représenté par la valeur absolue de la différence A-B. Ce degré de confiance peut prendre des valeurs impaires comprises entre -11 et +11 par dimension, pour exprimer une faible, moyenne, ou forte préférence. La table 3.4 donne la sémantique de cette mesure.

Degré de confiance	Signification
1-3	Faible
5-7	Moyen
9-11	Fort

Table 3.4 - Degré de confiance utilisé dans le questionnaire FSLSM.

3.3.5 Modèle de MBTI

Le modèle MBTI est un outil qui permet à un individu d'être conscient de ses propres préférences comportementales. Le MBTI repose sur le principe suivant lequel les différences de comportement d'une personne à l'autre peuvent être exprimées en termes de préférences entre des polarités. Quatre oppositions bipolaires définissent ainsi quatre dimensions principales de la vie psychique (MBTI) [Carolyn 2001]:

- **I : Introversion (Introvert) E : Extraversion (Extrovert)** : l'échelle E/I indique la préférence d'orienter son attention vers le monde extérieur des gens et des choses (E) ou vers le monde intérieur des idées (I).
- **S : Sensation (Sensing) N : iNtuition (iNtuitive)** : l'échelle S/N indique la préférence pour la perception des choses, des événements ou des détails du moment présent (S) ou les possibilités, les intuitions du futur (N).
- **T : pensée (Thinking) F : sentiment (Feeling)** : l'échelle T/F indique la préférence pour le jugement rationnel basé soit sur une analyse objective et logique (T) soit sur les valeurs subjectives (F).
- **J : Jugement (Judging) P : Perception (perceiving)** : l'échelle J/P indique la préférence pour l'organisation et le contrôle des événements extérieurs (J) ou pour l'observation et la compréhension de ces événements (P).

Comme le montre la figure 3.1, l'indicateur MBTI identifie alors 16 grands types de personnalité à partir des deux préférences possibles sur chacune des quatre dimensions précédentes. Par exemple, ENFP représente Extraversion, iNtuition, Sentiment, et Perception. Cela ne signifie pas qu'une personne ne possède que quatre préférences, mais que les quatre préférences montrent une plus grande présence.

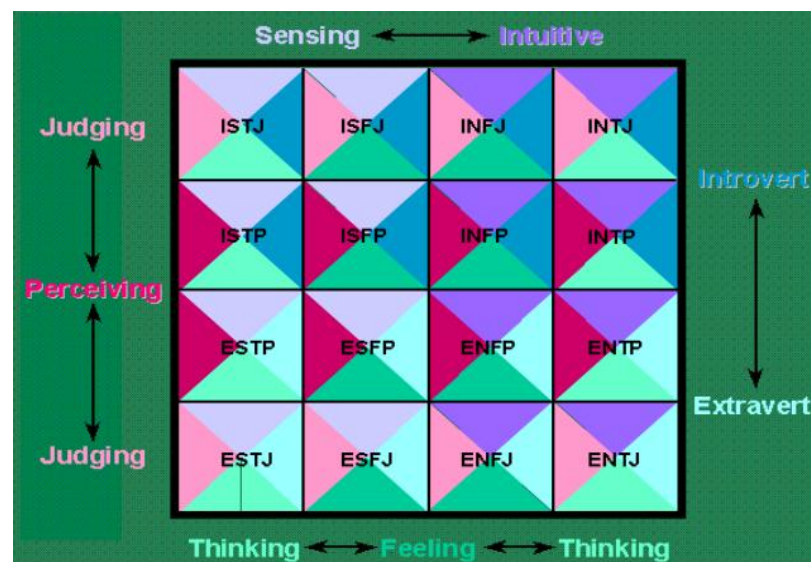


Figure 3.1 - Les 16 types de personnalité suivant le modèle MBTI.

3.3.6 Modèle de Kolb

Après l'étude des modèles de styles d'apprentissage cités précédemment, nous avons remarqué que ces précédents modèles ont pour point de départ des éléments de l'environnement pédagogique et des processus cognitifs à l'œuvre dans une situation d'apprentissage. Ils ne prennent pas, à proprement parler, un modèle d'apprentissage pour assise [Chevrier 2000]. C'est ce qui distingue les deux modèles de styles d'apprentissage que nous allons présenter au-dessous, qui adoptent pour cadre de référence un modèle d'apprentissage expérientiel. Le modèle de Kolb [Kolb 1974], le premier à avoir adopté une telle démarche, a influencé la construction d'autres modèles comme le modèle de Honey et Mumford [Honey 1992] par la suite.

Le modèle de style d'apprentissage de [Kolb 1984] est basé sur sa théorie du processus d'apprentissage expérientiel en quatre étapes [Kolb 1974]. Cette théorie de l'apprentissage expérientiel, conçu comme « le processus par lequel la transformation de l'expérience génère la connaissance » [Kolb 1984], comporte quatre phases, chacune constituant une étape essentielle : l'expérience concrète (EC), l'observation réfléchie (OR), la conceptualisation abstraite (CA) et l'expérimentation active (EA). La figure 3.2 décrit les différentes phases de la théorie d'apprentissage expérientiel.

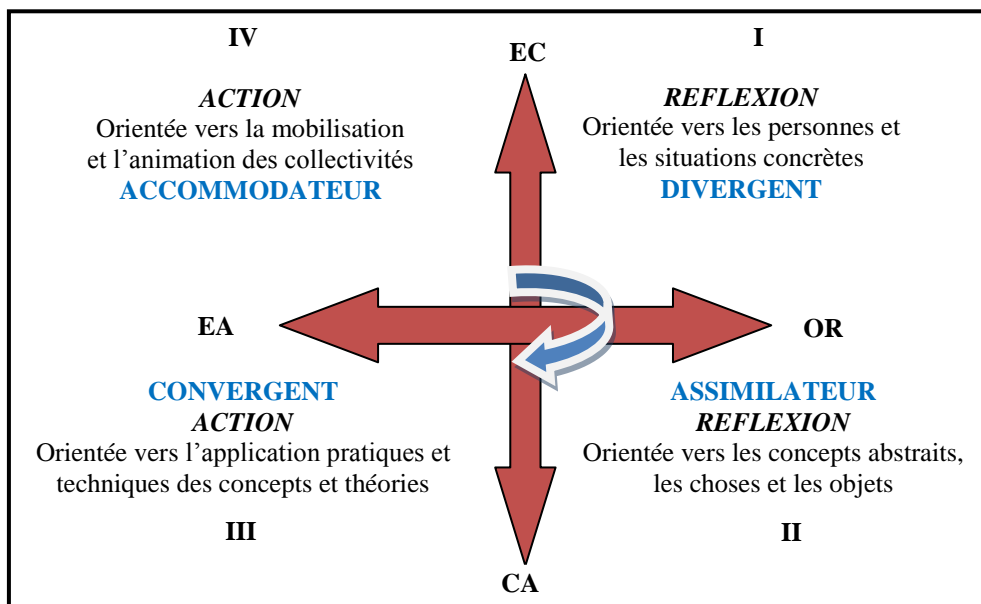


Figure 3.2 - La théorie d'apprentissage expérientiel et le modèle de Kolb [Kolb 1984].

L'expérience concrète est la base des observations et des réflexions. Ces observations sont utilisées pour former des concepts abstraits et des généralisations, ce qui agit en tant que base pour l'expérimentation de ces nouveaux concepts dans des situations nouvelles. La mise en œuvre des expérimentations résulte en l'expérience concrète, qui clôt le cycle d'apprentissage.

Sur la base de ce processus, [Kolb 1974] définit quatre modes s'articulent selon deux dimensions bipolaires, concret-abstrait et actif-réfléchi, chacune impliquant une tension, une opposition entre ces deux pôles : le pôle concret (l'immersion dans l'expérience concrète) vs le pôle abstrait (la conceptualisation abstraite), le pôle réflexif (la réflexion sur l'expérience) vs le pôle actif (l'expérimentation active). Le style d'apprentissage est la résultante de ce choix privilégié de l'un des deux pôles sur chacune des deux dimensions. Ainsi, théoriquement, les quatre pôles, pris deux à deux, peuvent définir quatre styles d'apprentissage possibles : convergent, divergent, assimilateur et accommodateur.

- **Le style divergent** (concret-réfléchi) se caractérise par l'interprétation de situations concrètes de différents points de vue. Pour le style divergent l'imagination constitue sa principale ressource et lui permet d'analyser les faits selon différentes perspectives, d'inventorier avec beaucoup de créativité les diverses utilisations d'un objet par exemple. Les divergents vont d'abord s'intéresser aux personnes et situations sociales car ils ont besoin d'interagir avec d'autres. Ils ont des intérêts culturels variés et sont attirés par les sciences humaines.
- **Le style assimilateur** (réfléchi-abstrait) s'explique par l'appropriation d'une gamme étendue d'informations et leur intégration concise et logique. Il peut élaborer des notions à partir des phénomènes observés et intégrer plusieurs observations disparates. Il assimile plusieurs théories qu'il utilise pour donner des explications aux phénomènes qui l'intéressent.
- **Le style convergent** (abstrait-actif) se caractérise par la recherche d'applications pratiques aux concepts et aux théories. Les convergents préfèrent travailler seuls plutôt qu'en équipe, et la technologie les intéresse particulièrement. Les choses les intéressent plus que les personnes et ils s'orienteront habituellement vers les sciences appliquées, le génie ou les cours techniques.

- *Le style accommodateur* (concret-actif) a des aptitudes particulières pour l'exécution et la réalisation et aime mener à terme des projets complexes impliquant la participation de plusieurs personnes. Il excelle dans la prise de décision rapide, l'adaptation sur le champ et l'improvisation commandée par des circonstances particulières. Ce style présente alors de fortes capacités de mise en œuvre d'expériences pratiques et l'implication personnelle dans de nouvelles expériences comportant un défi.

Pour mesurer ces quatre styles, Kolb propose le *Learning Style Inventory*, un questionnaire qu'il perfectionne depuis sa proposition en 1976, jusqu'à sa dernière version en 2005 [Kolb 2005]. Ce questionnaire est destiné aux adultes et adolescents. Il comporte 12 questions relatives aux préférences d'apprentissage, chacune ayant 4 réponses possibles.

D'après cette recherche, nous avons exploré les différents modèles de style d'apprentissage. Ainsi, nous avons remarqué que la présence de deux facteurs bipolaires anticipés par [Kolb 1984] ne semble toutefois pas confirmée par les recherches. Selon [Ruble 1990], les quatre modes d'apprentissage semblent être des construits relativement indépendants plutôt qu'opposés de manière bipolaire. [Cornwell 1991] met en question la validité du concept de dimensions bipolaires, prônant davantage un modèle à quatre facteurs.

Nous rappelons que le modèle de Kolb a inspiré d'autres modèles de styles d'apprentissage à travers sa théorie d'apprentissage expérientiel en quatre étapes tels que les modèles de [Gregorc 1979] et [Honey 1986]. Ce dernier est présenté dans la section suivante.

3.3.7 Modèle de Honey et Mumford

Tout en adoptant l'idée de Kolb d'un modèle d'apprentissage expérientiel en quatre phases, Honey et Mumford ne postulent aucune dimension bipolaire sous-jacente [Honey 1992]. Le style d'apprentissage est conçu comme une tendance à privilégier de manière différenciée les comportements et les attitudes propres à chacune des phases d'apprentissage. Les quatre styles d'apprentissage, qui correspondent respectivement aux quatre phases du processus d'apprentissage expérientiel, sont l'actif, le réfléchi, le théoricien et le pragmatique comme le montre la figure 3.3. Honey et Mumford ont décrit

les quatre styles de base, ainsi que le contexte d'apprentissage qui leur est propre [Honey 1992]. Une description plus détaillée de ces quatre styles est donnée dans la table 3. 5.

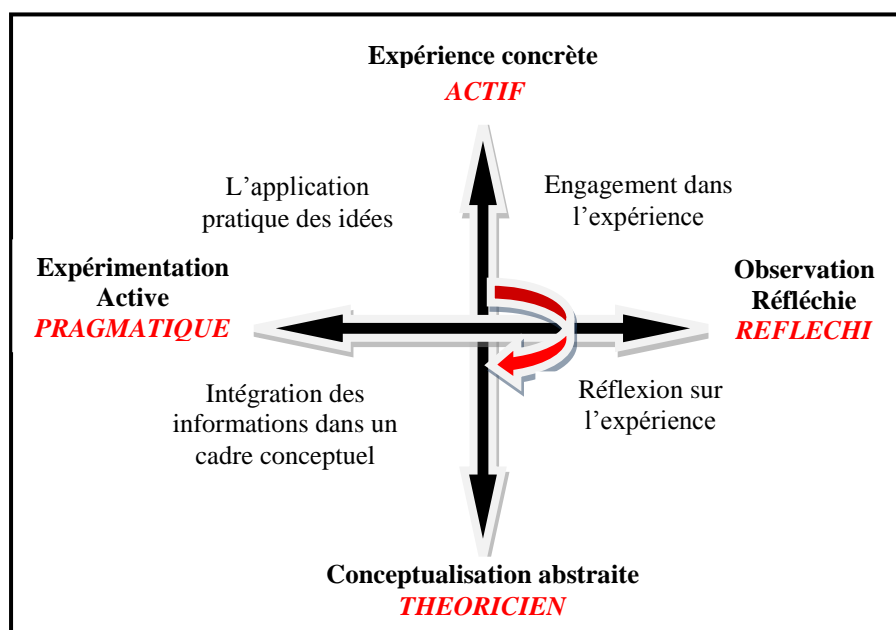


Figure 3.3 - Les styles d'apprentissage suivant le modèle de Honey et Mumford.

Style	Description
<i>Actif</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Il se caractérise par un engagement dans l'expérience. - Il se caractérise également par l'enthousiasme, la flexibilité. - les activistes prennent parfois des risques inutiles, à se lancer dans l'action sans suffisamment de préparation.
<i>réfléchi</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Il se caractérise par un recul face aux situations, un désir de les examiner selon différents points de vue et une préférence pour apprendre à partir d'activités exigeant de réfléchir, d'analyser et de pondérer une quantité d'informations. - Les réfléchis sont méthodiques, mais ont parfois tendance à être trop prudents et de ne pas prendre assez de risques, et peuvent être lents à se faire une opinion et de parvenir à une décision.
<i>théoricien</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Le style théoricien se caractérise par un besoin de situer et d'intégrer les informations dans un cadre conceptuel, une structure, un modèle ou une théorie. - Les théoriciens sont très logiques, rationnels et objectifs. - Ils ont une préférence d'apprendre à partir d'activités où des modèles sont présentés et où il est possible d'en construire. - Ils ne tolèrent pas l'incertitude, le désordre ou l'ambiguïté.
<i>pragmatique</i>	<ul style="list-style-type: none"> - se caractérise par l'application pratique d'idées, de théories et de procédures et par une préférence pour apprendre des activités où il y a des liens entre les connaissances et la vie réelle et où il y a possibilité de mettre en pratique ces connaissances. - Les apprenants pragmatiques sont plus axés sur les tâches et ont tendance à refuser des théories sans une application évidente.

Table 3.5 - Description du modèle de Honey et Mumford.

Selon le modèle de Honey et Mumford, ce qui caractérise la personne qui privilégie le mode actif est son esprit ouvert, son enthousiasme pour tout ce qui est nouveau, son goût pour le travail en équipe. La personne qui a une préférence marquée pour le mode réfléchi se signale par son recul par rapport aux personnes et aux choses, par son besoin d'écouter et de prendre une distance. La personne qui a un profil d'apprentissage théoricien est celle qui aime pousser plus loin la réflexion; elle se plaît à analyser, synthétiser, expliquer, suivre une démarche logique. La personne avec un profil pragmatique s'intéresse à l'application pratique et à la vérification des idées et des théories.

Pour mesurer ces quatre styles, Honey et Mumford proposent le *Learning Styles Questionnaire* (LSQ). Dans la version anglaise, le LSQ compte 80 énoncés auxquels on répond sur une échelle dichotomique en indiquant son accord ou son désaccord. Les items se regroupent en quatre échelles, chacune comprenant 20 items et mesurant le degré de préférence pour un style d'apprentissage donné.

Puis le LSQ a été révisé en plusieurs versions [Honey 2006]. Ce questionnaire existe maintenant en deux versions : une à 40 questions et une à 80 questions. Il a été adapté en français par LSQ-F [Fortin 1997], qui est aussi proposé en version abrégée LSQ-Fa par [Fortin 2000].

Le LSQ-F (« F » pour version française) comporte aussi 20 items par échelle, mais quelques-uns ont été modifiés afin d'améliorer sa fidélité et sa validité. Le LSQ-F utilise une échelle de réponse en sept points, différemment du format de réponse en deux points caractéristique de la version anglaise. L'échelle de réponse en sept points permet l'émergence d'une pensée plus nuancée et, ce faisant, une mesure plus fine des préférences du répondant [Nunnally 1978]. Ainsi, dans la version française, le répondant ne se contente pas de signifier son accord ou son désaccord à un énoncé, il doit en préciser l'intensité.

Le LSQ-F présente des qualités psychométriques acceptables pour mesurer les quatre styles d'apprentissage. Les coefficients alpha des échelles sont respectivement : 0,72 pour l'échelle Actif, 0,80 pour l'échelle Réfléchi, 0,76 pour l'échelle Théoricien et 0,77 pour l'échelle Pragmatique [Chevrier 2000].

Ces coefficients concordent avec ceux qui sont rapportés par d'autres chercheurs [Sims 1989], soit entre 0,68 et 0,78. Les indices de stabilité dans le temps, qui sont respectivement 0,89, 0,90, 0,85 et 0,83, demeurent très voisins de ceux qui ont été obtenus

par [Honey 1986], soit entre 0,81 et 0,95. Quant à la validité de construit du LSQ-F, on en retrouve des évidences à partir des résultats de l'analyse factorielle confirmatoire qui militent en faveur du modèle à quatre dimensions de Honey et Mumford [Fortin 1997]. En définitive, le LSQ comporte certains avantages :

1. Les coefficients de consistance interne et de stabilité du LSQ sont supérieurs à ceux du LSI.
2. Le LSQ présente une validité de construit acceptable.

Le LSQ-Fa (« Fa » pour version française abrégée) demeure identique au LSQ-F dans son objectif et sa structure, conservant le format de l'échelle de réponse en sept points. Toutefois, il diffère quant à la longueur des échelles, chacune passant de 20 à 12 items. Avec une échelle de réponse en sept points et douze items par échelles, le score à une échelle varie donc de 12 à 84 points. Les douze items de chacune des quatre échelles du LSQ-Fa ont été sélectionnés à partir des vingt items de chaque échelle du LSQ-F. Pour faire ce choix, les chercheurs ont retenu les items qui présentaient les meilleurs indices de saturation énoncé-facteur commun dans deux analyses factorielles confirmatoires [Chevrier 2000].

3.4 Classification des styles d'apprentissage

Plusieurs chercheurs [deBello 1990], [Vermunt 1998], [Chevrier 2000], [Riding 2001], [Cassidy 2003] et [Coffield 2004] ont classé les modèles selon les théories ou les aspects mis en valeur par leurs auteurs. Ces classifications s'inspirent en grande partie du modèle d'oignon de Curry [Curry 1983], considéré comme manière utile et pragmatique pour présenter et catégoriser les modèles actuels. Pour cela, nous allons présenter en premier ce modèle, ensuite, nous présentons brièvement quelques classifications.

3.4.1 Modèle de Curry [Curry 1983]

Le modèle d'oignon de Curry [Curry 1983] propose, à travers la métaphore de l'oignon en trois couches comme l'illustre la figure 3.4, de répartir les modèles de styles d'apprentissage en trois niveaux (un niveau externe, un niveau intermédiaire et un niveau interne) [Bentham 2002] [Chevrier 2000]. La table 3.6 donne une description de chaque niveau de ce modèle.

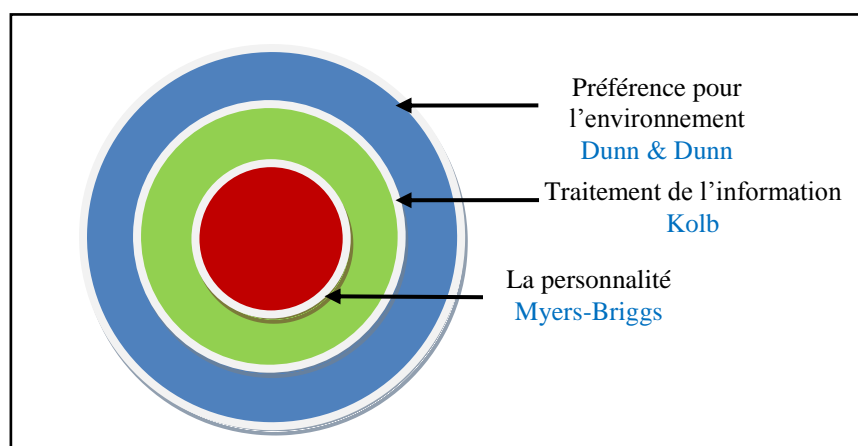


Figure 3.4 - *Modèle d'oignon de [Curry 1983].*

Niveau	Description
Niveau externe	<ul style="list-style-type: none"> - Ce niveau est le plus facilement observable, - Dans ce niveau se situent les préférences pour les conditions d'enseignement et d'apprentissage. - Dans ce niveau, on retrouve les dimensions les moins stables du style d'apprentissage puisque les plus sujettes à des influences contextuelles. - Le modèle de Dunn et Dunn (1993) est un bon exemple de ce premier niveau.
Niveau intermédiaire	<ul style="list-style-type: none"> - Dans ce niveau, sont classés les modèles de styles d'apprentissage qui s'intéressent à la manière dont l'apprenant traite l'information. - Ces modèles traduisent les préférences de l'apprenant en termes de moyens privilégiés pour assimiler et traiter l'information. - A ce niveau, On retrouve les modèles de [Kolb 1984] ou encore celui de [Honey 1992].
Niveau interne	<ul style="list-style-type: none"> - A ce niveau, nous avons les modèles de styles d'apprentissage qui traitent de la personnalité de l'apprenant, qui serait donc le niveau plus stable des trois niveaux en ce qu'il renvoie à des traits de la personnalité. - On retrouve par exemple dans cette catégorie le modèle de [Myers 1962].

Table 3.6 - *Description du modèle de Curry [Curry 1983].*

3.4.2 Classification de Chevrier [Chevrier 2000]

[Chevrier 2000] propose de classer 27 modèles des styles d'apprentissage en 6 cadres de référence : l'environnement pédagogique, les modalités d'encodage et de représentation, les modalités de traitement de l'information, l'apprentissage expérientiel, la théorie de la personnalité et les autres modèles mixtes. La description de ces références est donnée dans la table 3.7.

Référence	Description
<i>L'environnement pédagogique</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Les modèles de styles d'apprentissage classés dans cette classe s'intéressent aux préférences des apprenants pour certains aspects du contexte d'apprentissage (individuel ou en groupe, jeux, projets, simulation, etc.). - Parmi ces modèles, on retrouve ceux de [Grasha 1975] et [Renzulli 1978].
<i>Les modalités d'encodage et de représentation</i>	<ul style="list-style-type: none"> - ce cadre regroupe les modèles de styles d'apprentissage qui soulignent des différences relatives aux modalités d'encodage sensoriel (vision, audition, kinesthésique), tels que [Barbe 1988] ; et aux modalités de représentation (verbale et imagée), comme dans [Riding 1998].
<i>Les modalités de traitement de l'information</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Ce cadre accorde plus d'importance aux façons d'organiser l'information (stratégies d'organisation, globales ou séquentielles, orientation dans l'étude d'un texte, etc.). - On retrouve dans cette catégorie les modèles de [Hunt 1971] et [Pask 1976].
<i>L'apprentissage expérientiel</i>	<ul style="list-style-type: none"> - ce cadre distingue les modèles de styles d'apprentissage qui adoptent un modèle d'apprentissage expérientiel suivant la détermination, l'importance ou l'ordre des étapes du processus d'apprentissage comme dans [Kolb 1974], [Gregorc 1979] ou [Honey 1992].
<i>Une théorie de la personnalité</i>	<ul style="list-style-type: none"> - les modèles de styles d'apprentissage de ce cadre s'inspirent plutôt de connaissances développées dans les recherches sur la personnalité. - Ils sont généralement basés sur la théorie de Jung et le modèle de [Myers1962].
<i>Des modèles mixtes</i>	<ul style="list-style-type: none"> - ce dernier cadre regroupe les modèles qui renvoient à plus d'un cadre de référence, tels que [Hill 1972], [Dunn 1978], [Keefe 1986].

Table 3.7 - Description de la classification de Chevrier [Chevrier 2000].

3.4.3 Classification de Riding [Riding 2001]

Riding a esquissé une classification des principaux modèles de styles d'apprentissage [Riding 2001] qu'il a classé en trois groupes :

- Modèles axés sur *le processus d'apprentissage*,
- Modèles axés sur *les préférences pédagogiques*,
- Modèles axés sur *les habiletés cognitives* ainsi *que les stratégies d'apprentissage*.

Cependant, il démontre que tous ces modèles ne proposent pas un composant mental de base (*construct*). Pour lui, ce composant de base, non évolutif, existe et s'appelle le style cognitif. Celui-ci est à la base de toutes les activités cognitives humaines y compris l'apprentissage. [Riding 2001] soutient que l'individu développe des stratégies d'apprentissage qui reflètent les processus sous-jacents à son style.

3.4.4 Classification de Coffield [Coffield 2004]

A partir de son étude des modèles de styles d’apprentissage, Coffield classent les 71 modèles identifiés en 5 familles décrites dans la table 3.8.

famille	Description
<i>La première famille</i>	- regroupe les modèles de styles qui sont construits en grande partie sur la base des quatre modalités VAKT : Visuel, Auditif, Kinesthésique, et Tactile.
<i>La deuxième famille</i>	- concerne l’idée que les styles d’apprentissage témoignent de profondes caractéristiques de la structure cognitive, y compris des modèles de capacité.
<i>La troisième famille</i>	- se réfère aux styles d’apprentissage comme un élément relativement stable d’un type de personnalité.
<i>la quatrième famille</i>	- considère les styles d’apprentissage comme des préférences d’apprentissage stables de façon flexible.
<i>La cinquième famille</i>	- passe des styles d’apprentissage vers les méthodes, les stratégies, les orientations et les conceptions d’apprentissage.

Table 3.8 - Description de la classification de Confield [Confield 2000].

La classification de Confield se rapproche à celle de [Curry 1983], vu qu’elle se base sur le critère de stabilité ou non des styles d’apprentissage. En effet, de gauche à droit de la figure 3.5, nous retrouvons les modèles des plus stables au moins stables [Bousbia 2011].

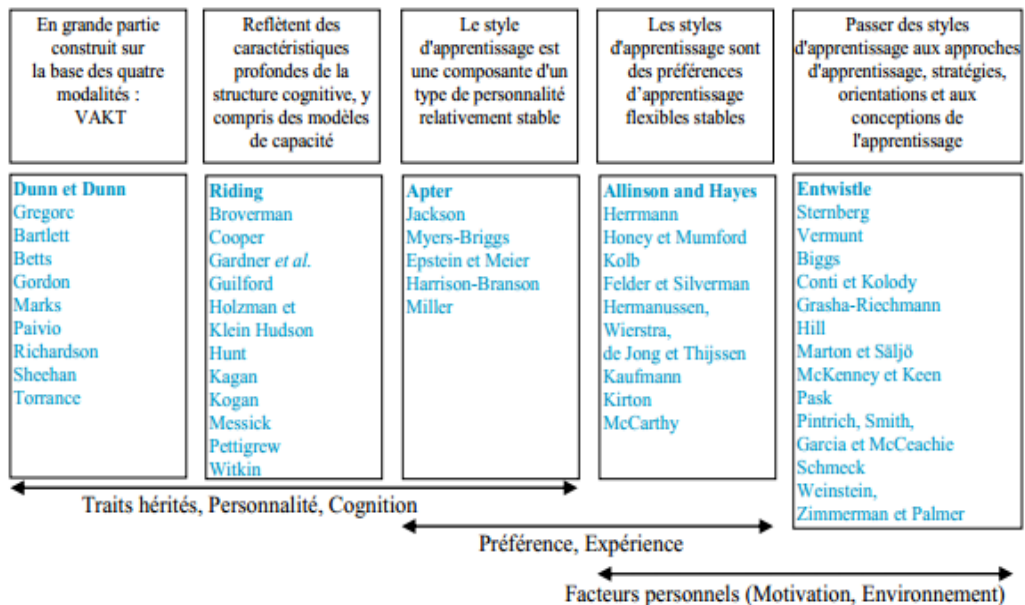


Figure 3.5 - Classification de [Coffield 2004].

Pour cette classification, dans les trois premières familles, nous trouvons les théories ayant de fortes croyances sur l'influence des traits hérités, de la personnalité et la connaissance sur les styles d'apprentissage. En se déplaçant à droite de la figure, nous retrouvons les modèles de styles d'apprentissage basés sur l'idée d'interaction dynamique entre la personnalité et l'expérience [Bousbia 2011].

Enfin, dans les dernières familles, les modèles prêtent plus d'attention aux facteurs personnels, comme la motivation ; aux facteurs exogènes, comme le travail collaboratif ou individuel ; ainsi qu'aux effets de conception des programmes d'enseignement et des tâches d'évaluation et comment les apprenants choisissent ou évitent des stratégies d'étude particulières [Bousbia 2011].

3.5 Multi dimensionnalité du style d'apprentissage

À travers cette étude, nous constatons que comment définir le style d'apprentissage? C'est une question à laquelle il est difficile de répondre de manière simple. La lecture des nombreux écrits sur le style d'apprentissage met rapidement en évidence la pluralité et la diversité des définitions de ce concept.

La diversité des définitions de la notion de style d'apprentissage a conduit à l'élaboration de plusieurs classifications qui tentent de regrouper les différents modèles selon l'aspect mis en valeur dans la définition. De plus, toutes ces classifications se basent sur l'idée de stabilité ou non des styles d'apprentissage, source principale de confusion entre les auteurs.

Un style d'apprentissage n'est pas unidimensionnel, il comporte plusieurs dimensions. Toutefois, le nombre et l'organisation de ces dimensions semblent très variables d'un modèle à l'autre.

Vu que la majorité des modèles de styles d'apprentissage sont composés de plusieurs dimensions, aucune classification ne prétend proposer une catégorisation de familles totalement indépendante. En effet, un modèle peut être affecté à plusieurs catégories, selon le point de vue mis en valeur. Par exemple, la classe modalité d'encodage et de représentation de [Chevrier 2000] se croise avec celle des structures cognitives de [Coffield 2004] pour le modèle de Riding (verbal-imager, global-analytique). Ce modèle peut être aussi affecté au cadre des modalités de traitement de l'information de

[Chevrier 2000] ou à la première famille VAKT de [Coffield 2004], selon la dimension considérée. La figure 3.6 représente certaines corrélations existantes entre les différents modèles de style d'apprentissage existants dans la littérature.

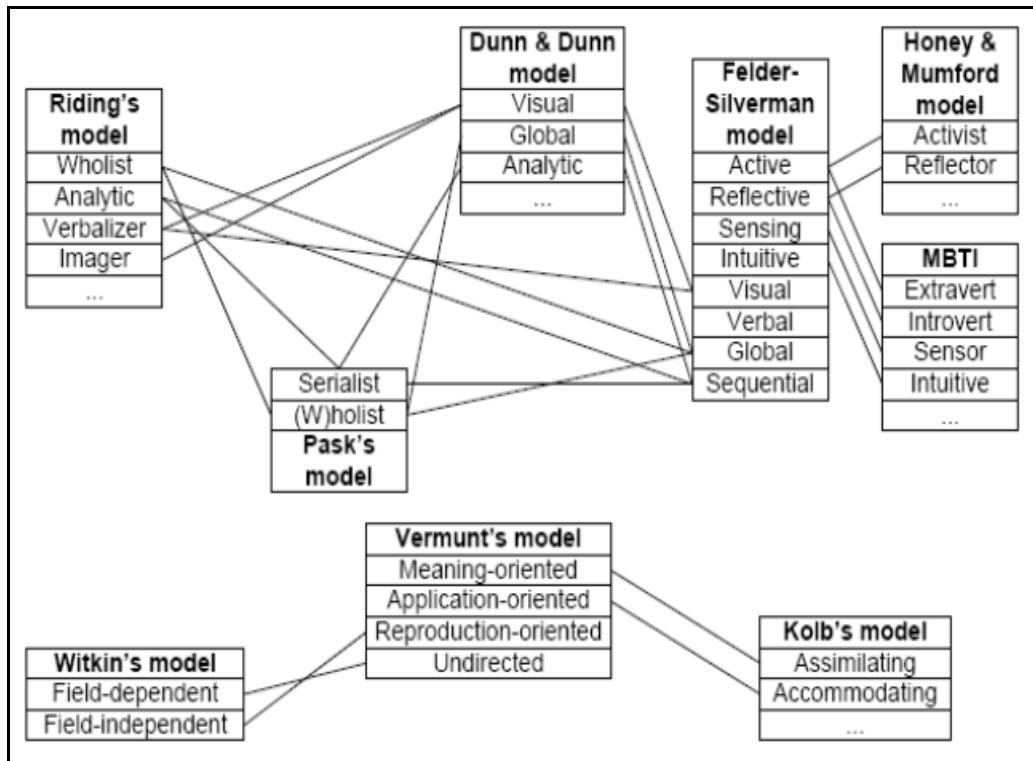


Figure 3.6 - corrélations entre les modèles de style d'apprentissage [Stash 2007].

[Bousbia 2011] confirme que cette confusion peut être un point faible dans cette théorie de styles d'apprentissage mais peut aussi être considéré comme une souplesse permettant de choisir la classification la plus adaptée suivant l'aspect que nous voulons mettre en valeur. Toutefois, cet auteur constate qu'il est plus intéressant de classer non pas les modèles, mais plutôt les dimensions ou les préférences des styles d'apprentissage afin d'avoir une classification plus discriminante.

3.6 Styles d'apprentissage et performances de l'apprenant

Depuis l'apparition des modèles sur le style d'apprentissage [Riding 2001], plusieurs études ont été menées afin de montrer si l'adéquation de la séquence pédagogique au style d'apprentissage améliorerait la performance de l'apprenant.

Les résultats semblent être mitigés [Redmond 2003 ; Miller 2004], mais la majorité des auteurs s'accordent à dire que la prise en compte du style

d'apprentissage dans la conception d'une séquence pédagogique ne peut qu'être un facteur positif pour le soutien de l'apprenant dans l'activité qui lui est proposée [McLoughlin 1999]. Par exemple, on a constaté que l'intérêt porté par un élève pour suivre une activité pédagogique, augmentait si cette dernière était en accord avec son style d'apprentissage [Rumetshofer 2003] notamment en incorporant dans les contenus des composants multimédia [McLoughlin 2002].

Dans ce sens, chaque modèle de style d'apprentissage suggère un ensemble de recommandations relatives aux stratégies et aux types de ressources pédagogiques qui doivent être utilisés avec les apprenants, se rapportant à leurs préférences en termes de styles d'apprentissage. FSLSM par exemple, exprime clairement les styles d'enseignement nécessaires pour chaque dimension des styles d'apprentissage [Felder 1988].

A cet égard, Felder signale que l'inadéquation des styles d'enseignement aux styles d'apprentissage peut avoir de graves conséquences [Felder 1993]:

« les apprenants ont tendance à obtenir des résultats inférieurs que ceux dont les styles d'apprentissage sont mieux adaptés au style d'enseignement et sont moins susceptibles de développer un intérêt au cours » [Popescu 2008a].

[Dunn 2003] suggère également d'adapter l'environnement d'apprentissage pour permettre aux apprenants de travailler avec leurs fortes préférences.

Riding a montré que dans certaines situations [Riding 2001], la performance d'un apprenant était affectée par une interaction entre son style d'apprentissage et les facteurs suivants :

- la structure utilisée pour le matériel pédagogique (position du titre, présence de sous-titre, ajout de présentations générales et leur position),
- son mode de présentation (texte, image, multimédia),
- son type de contenu (concret, abstrait).

Néanmoins, Triantafillou [Triantafillou 2003] précise que la majorité des apprenants, s'ils apprécient d'un côté que le système cherche à adapter la séquence pédagogique à leur style d'apprentissage, aiment malgré tout d'un autre côté pouvoir garder la maîtrise sur le fonctionnement du système. Ils apprécient de pouvoir sélectionner un lien de navigation même si le système ne le conseille pas.

Pour résumer, nous pouvons conclure que l'intégration des styles d'apprentissage au processus de formation est bénéfique. Elle permet d'accroître l'efficacité de l'apprentissage, que ce soit dans une approche d'adéquation ou d'inadéquation des styles d'apprentissage aux enseignements.

3.7 Modélisation des styles d'apprentissage dans un EIAH

L'objectif général de l'usage des styles d'apprentissage dans les environnements informatiques d'apprentissage humain (EIAH) est l'adaptation et la personnalisation de la formation. Et comme nous l'avons déjà exprimé dans le deuxième chapitre est que dans un EIAH, la modélisation de l'apprenant est le cœur de tous processus d'adaptation. Dans cette section, on s'intéresse à la manière d'identification du style d'apprentissage d'un apprenant au sein d'un EIAH.

On trouve dans la littérature que l'acquisition pertinente d'informations sur les styles d'apprentissage de l'apprenant peut être faite par des méthodes automatiques dites aussi implicites ou bien par un questionnement direct de l'apprenant [Popescu 2008a]. Alors, dans un EIAH, les méthodes de modélisation des styles d'apprentissage est de trois types qui sont : les méthodes explicites, les méthodes implicites et les méthodes mixtes.

3.7.1 Méthode de modélisation explicite

Dans la modélisation explicite, pour l'identification des styles d'apprentissage, les systèmes proposent généralement aux apprenants de remplir un questionnaire psychologique dédié, ou d'exprimer leurs styles d'apprentissage explicitement, au début de la formation ou du cours. Le résultat est enregistré dans le modèle de l'apprenant qui, généralement, n'est plus mis à jour, sauf dans certains systèmes où la mise à jour s'établit directement par l'étudiant ou par l'évaluation de ses résultats. Les apprenants sont donc classés comme des stéréotypes [Popescu 2008a]. Le système est alors axé sur la mise en œuvre d'une logique d'adaptation, au moyen d'un ensemble de techniques.

Cette démarche de modélisation des styles d'apprentissage est statique et soulève plusieurs problèmes. Il faut poser les bonnes questions à l'apprenant, pour l'affecter à un style et lui adapter le système. Cependant, comme le souligne [Rich 1999], les individus ne sont pas des sources fiables d'informations à propos d'eux-mêmes. Les

réponses peuvent ne pas refléter le comportement réel que les questions visent à vérifier [Draper 1996 ; Paredes 2004].

3.7.2 Méthode de modélisation implicite

La méthode de modélisation implicite consiste à observer l'apprenant en situation, pendant l'activité. Le système infère le modèle à partir de la trace des situations [Broisin 2006].

Dans [Kristofic 2005], les auteurs préconisent que la meilleure façon de découvrir les styles d'apprentissage de l'apprenant pour renseigner son modèle est de le faire par l'intermédiaire de fichiers de logs qui sont créés tout au long de la session. Ces fichiers peuvent contenir par exemple les attributs caractérisant les actions de l'apprenant, tels que :

- ***timestamp*** : définit l'heure de l'action. Il est utilisé pour ordonner les actions dans le temps et calculer le temps passé sur chaque concept ;
- ***user identification*** : identifie de façon unique chaque élève. Il est alors possible d'associer les actions à chaque élève afin d'envisager une personnalisation de l'analyse ;
- ***type*** : offre un raisonnement sur plusieurs niveaux. Les auteurs ont défini des types pour quelques actions élémentaires (avec la possibilité de les compléter par la suite)
- ***Login et Logout*** qui délimitent la session d'apprentissage d'un élève,
- ***ConceptVisit et FragmentDisplay*** qui contiennent des informations sur les concepts visités ainsi que les contenus élémentaires présentés pour un concept donné.
- ***object*** : spécifie l'identification de l'objet sur lequel l'action de l'apprenant a porté. Par exemple pour l'action *ConceptVisit* l'attribut *objet* contient l'identification du concept visité par l'apprenant.

D'après [Al-Azawei 2014], la modélisation implicite des styles d'apprentissage des apprenants assure une modélisation automatique et dynamique de sorte que la modélisation automatique implique que le comportement et les actions des apprenants sont observés afin d'en déduire leurs styles d'apprentissage et la modélisation dynamique signifie que les modèles des apprenants sont mis à jour en utilisant les informations qui ont été collectées automatiquement.

Dans un environnement d'apprentissage humain, la modélisation implicite des styles d'apprentissage est fondée sur deux approches principales qui sont bien détaillées dans [Al-Azawei 2014]: une approche axée données (*Data-Driven Approach*) et une approche axée littérature (*Literature-Based Approach*).

- ***L'approche axée données*** comme son nom l'indique, utilise des données observées sur le comportement de l'apprenant comme une entrée à des fins de formation. Afin de détecter automatiquement les styles d'apprentissage des apprenants en se basant sur cette approche, les recherches dans le domaine des EIAH ont associé certaines méthodes comme l'utilisation des réseaux bayésiens, des réseaux de neurones, des modèles de Markov cachés ou bien des arbres de décision. Cependant, l'approche axée données est l'un des problèmes de classification. Par la suite, la difficulté de mesurer et d'interpréter le comportement des apprenants représente le principal inconvénient de cette approche [Kelly 2003].
- ***L'approche axée littérature*** dans une certaine mesure similaire à l'approche axée données puisque la relation entre les modèles de comportement et le style d'apprentissage d'un apprenant doit être identifiée en premier. Ensuite, le comportement et les actions des apprenants sont contrôlés pour être utilisés comme des indices sur leurs préférences en appliquant un ensemble de règles simples. Cette approche a été innovée par Graf [Graf 2006] afin de surmonter l'inconvénient de l'approche axée données.

3.7.3 Méthode de modélisation mixte

La modélisation mixte combine à la fois une phase d'initialisation statique pour bâtir un premier modèle de l'apprenant en utilisant une méthode explicite et une phase dynamique de mise à jour du modèle en observant les interactions de l'apprenant avec le système. Alors, la modélisation mixte combine les deux méthodes précédentes [Popescu 2008a]. La figure 3.7 résume les trois méthodes de modélisation décrites au-dessus.

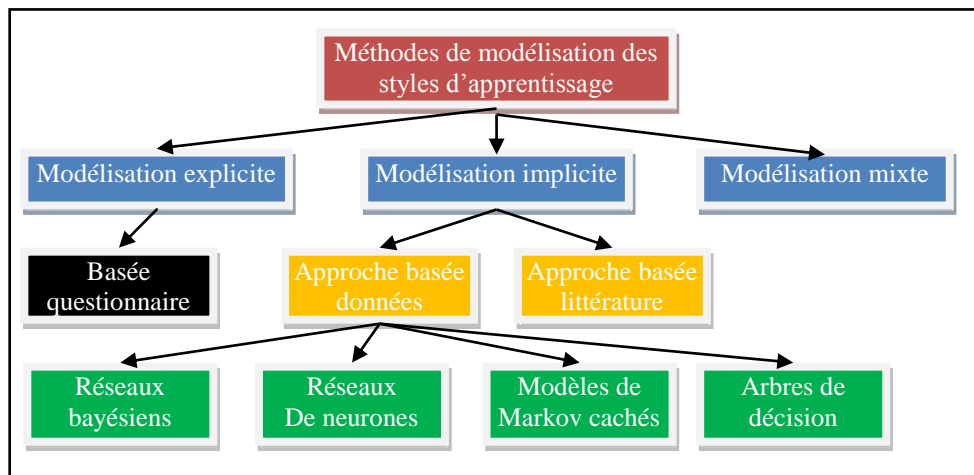


Figure 3.7 – Méthodes de modélisation des styles d'apprentissage dans un EIAH.

3.8 Style d'apprentissage et EIAH

L'objectif des Environnements des Informatiques d'Apprentissage Humain (EIAH) est de venir en complément, et/ou de répondre aux problèmes rencontrés dans une situation classique de formation en termes de distance, assistance, adaptation, personnalisation, individualisation et suivi.

Dans cette section, on va présenter quelques EIAH adaptatifs qui implémentent explicitement ou implicitement la théorie de styles d'apprentissage en expliquant les différentes approches sur lesquelles ils fondent leurs préférences d'apprentissage. La plupart de ces EIAH s'appuient sur l'approche d'adéquation entre les styles d'apprentissage et les styles d'enseignement afin de fournir une formation personnalisée. D'autres systèmes utilisent les styles d'apprentissage également pour le suivi et pour apporter une assistance aux apprenants [Schiaffino 2008].

3.8.1 EIAH basés sur une modélisation explicite des styles d'apprentissage

3.8.1.1 CS383

CS383 [Carver 1999] est l'un des premiers EIAH hypermédias adaptatifs qui gère les styles d'apprentissage. Le besoin d'intégrer les styles d'apprentissage a été motivé par la nécessité de trouver une approche permettant aux apprenants un usage efficace des ressources pédagogiques au milieu d'une pléthore d'objets multimédias, déjà disponibles sur le système [Wolf 2007]. Le système fournit l'adaptativité sur la base des

dimensions sensoriel/intuitif, visuel/verbal, séquentiel/global du modèle de [Felder 1988]. D'une part, il enregistre les styles d'apprentissage des apprenants dans le modèle de l'apprenant, suite à leurs réponses au questionnaire ILS du FSLSM qui est utilisé au début du cours. D'autre part, chaque type de ressources (vidéo, son, image, etc.) est classé selon son adéquation à un style d'apprentissage particulier. L'adaptation se fait par la proposition des ressources qui correspondent le mieux aux styles d'apprentissage des apprenants selon le classement établi.

3.8.1.2 CAMELEON

CAMELEON (Computer Aided Medium for Learning On Network) [Laroussi 1998] [Laroussi 2001] est un EIAH adaptatif, semblable à CS383 et basé également sur les trois dimensions du modèle de style d'apprentissage de [Felder 1988]. La dimension actif/réfléchi n'est pas considérée vu que les auteurs pensent que leur environnement couvre ces deux styles d'apprentissage, comme dans CS383. Le style d'apprentissage est évalué dans une étude initiale en utilisant le questionnaire ILS [Felder 1996]. Cette information est utilisée par le système pour préparer un ensemble d'objets pédagogiques aux apprenants qui sont préalablement classés sur une échelle de 1 à 100 selon leur adaptation à un style d'apprentissage spécifique. Toutefois, les apprenants peuvent choisir de ne pas tenir compte de leur style d'apprentissage et d'explorer librement l'environnement.

3.8.1.3 LSAS

LSAS (Learning Style Adaptive System) [Bajraktarevic 2003] est un EIAH qui intègre la dimension « séquentiel/global » du FSLSM. Pour identifier le style d'apprentissage le questionnaire ILS est utilisé. L'adaptativité est fournie grâce à deux différents modèles d'interface. Pour les apprenants séquentiels, chaque page contient des petits éléments d'informations, qui ne contiennent que du texte. Les seuls liens inclus dans les pages sont les boutons « précédent » et « suivant » pour fournir un parcours linéaire aux apprenants. A l'opposé, les apprenants ayant un style global ont plus de liberté de navigation.

3.8.1.4 INSPIRE

INSPIRE [Papanikolaou 2003] est système adaptatif basé sur l'apprentissage expérientiel. Ce système utilise le modèle de Honey et Mumford [Honey 1992] pour adapter l'ordre et l'apparence des modules d'enseignement (théorie, exemple, activité, exercice) suivant le style d'apprentissage des apprenants. L'identification des quatre styles (actif, pragmatique, réfléchi ou théoricien) est estimée par l'application du questionnaire fourni par le modèle de Honey et Mumford lorsque les apprenants se connectent pour la première fois. Par ailleurs, les apprenants ont la possibilité d'initialiser ou d'actualiser leur style d'apprentissage dans le modèle de l'apprenant.

3.8.1.5 SACS

SACS (Style-based Ant Colony System) [Wang 2008] est un autre système qui utilise les quatre modalités de perception des apprenants (visuelle, auditive, de lecture/écriture, kinesthésique). Le système est fondé sur le modèle de style d'apprentissage de VARK [Flemming 1995] afin de trouver un parcours adapté aux apprenants en utilisant les colonies de fourmis. L'identification des styles d'apprentissage est faite avec le questionnaire VARK. Par ailleurs, les apprenants peuvent exprimer volontairement leurs styles d'apprentissage.

3.8.1.6 MEDYNA

Le système MEDYNA [Behaz 2012] est un environnement numérique d'aide à l'apprentissage guidé par les ontologies. Cet environnement a permis de mettre l'apprenant en situation d'explorer les contenus des notions sans lui imposer des contraintes fortes. L'utilisation des relations sémantiques a permis aussi de bien restituer les objets pédagogiques pertinentes qui se rapprochent aux styles d'apprentissage des apprenants. Ce système propose une architecture ouverte pour l'indexation, la recherche, la sélection et la composition des objets pédagogiques selon les caractéristiques des apprenants en prenant en compte surtout leurs styles d'apprentissage en se basant sur le modèle MBTI [Carolyn 2001]. L'aspect intelligent de ce système se traduit par la recherche par inférence et la génération dynamique des contenus selon le modèle MBTI.

Dans le système MEDYNA, Les styles d'apprentissage des apprenants ont été définis par un module d'indicateur MBTI. Ce dernier permet la détection et le calcul des valeurs des types psychologiques d'un apprenant selon des questionnaires appropriés.

La table 3.9 présente une vue synthétique de tous les EIAH adaptatifs cités au-dessus en résumant la méthode de modélisation utilisée ainsi que les techniques utilisées pour l'identification du style d'apprentissage.

Type de modélisation	EIAH	Technique d'identification du style d'apprentissage
Explicite	CS383 [Carver 1999]	- Le questionnaire FSLSM [Felder 1988]
	CAMELEON [Laroussi 1998]	- Le questionnaire FSLSM [Felder 1988] - la dimension actif/ réfléchi n'est pas considérée
	LSAS [Bajraktarevic 2003]	- Le questionnaire FSLSM [Felder 1988] - Considère uniquement la dimension séquentiel/ global
	INSPIRE [Papanikolaou 2003]	- Questionnaire de Honey et Mumford [Honey 1992]
	SACS [Wang 2008]	- Le questionnaire VARK [Flemming 1995] - Ou mentionné volontairement par l'apprenant
	MEDYNA [Behaz 2012]	- Myers Briggs Type Indicator [Carolyn 2001]

Table 3.9 – *Quelques EIAH basés sur une modélisation explicite des styles d'apprentissage.*

3.8.2 EIAH basés sur une modélisation implicite ou mixte des styles d'apprentissage

3.8.2.1 Arthur

Arthur [Gilbert 2002] est un EIAH qui utilise les trois préférences d'apprentissage (auditif, visuel et tactile) du modèle proposé par [Sarasin 1998], qui traite les modalités de perception préférées par les apprenants (visuelle, auditive, lecture/écriture, kinesthésique). Ce système basé sur le Web, est similaire à CS383 et CAMELEON vu que l'adaptation se fait par la présentation des ressources qui correspondent le mieux au style d'apprentissage de l'apprenant. Toutefois, les objets pédagogiques sont spécifiquement conçus pour les styles d'apprentissage utilisés.

Pour mesurer les styles d'apprentissage, le système utilise une autre approche. En premier, un style d'apprentissage est attribué aléatoirement aux apprenants. Par la suite, l'identification du style d'apprentissage se fait en deux phases. Suite à leur premier

accès au cours, les apprenants répondent à un test à choix multiples. Si le résultat d'un apprenant est inférieur à 80%, il peut choisir librement son style d'apprentissage. Au cours de la seconde phase, Arthur affecte le style d'apprentissage aux apprenants à l'aide d'un raisonnement à base de cas.

3.8.2.2 MASPLANG

MASPLANG [Peña 2004] [Peña 2002] est un système multi-agents qui a été développé afin d'enrichir le système tuteur intelligent USD [Fabregat 2000], avec l'adaptation selon les styles d'apprentissage et le niveau de connaissances des apprenants. Le modèle de style d'apprentissage de Felder et Silverman et son questionnaire ILS sont utilisés pour identifier les styles d'apprentissage des apprenants. Par la suite, le profil des apprenants est affiné à l'aide d'un processus de raisonnement à base de cas [Habitat-ProEnvironment 2001] qui utilise le comportement des apprenants et leurs actions en tant que source. L'adaptativité est assurée par le choix des formats des médias, des stratégies et des outils de navigation. Les caractéristiques d'adaptation sont basées sur les techniques utilisées dans CS383 et les possibilités existantes dans USD.

3.8.2.3 TANGOW

TANGOW (Task-based Adaptive learNer Guidance On the Web) [Paredes 2004] [Carro 2001] est un autre EIAH basé sur deux dimensions du FSLSM : sensoriel/intuitif et séquentiel/global. L'adaptation est réalisée en modifiant l'ordre des tâches et l'ordre des éléments dans les tâches (ex. présenter l'exemple ou l'explication en premier). Le processus de modélisation des apprenants est basé sur une approche mixte [Paredes 2004]. Les apprenants sont invités à remplir le questionnaire ILS quand ils se connectent au système pour la première fois, afin d'initialiser le modèle de l'apprenant. Par la suite, le modèle de l'apprenant est mis à jour si le comportement attendu selon ces préférences diffère de celui réalisé. Les contenus d'apprentissage sont ensuite présentés aux apprenants dans l'ordre correspondant au modèle de l'apprenant créé.

3.8.2.4 iWeaver

iWeaver [Wolf 2002 ; 2007] est fondé sur les préférences de perception (auditif, visuel-image, visuel-texte, tactile kinesthésique, kinesthésique interne), ainsi que les quatre

préférences psychologiques des apprenants (impulsif, réfléchi, global, analytique) du modèle de style d'apprentissage de Dunn et Dunn [Dunn 2003].

Pour identifier les styles d'apprentissage, les apprenants répondent au questionnaire « Building Excellence Inventory » [Rundle 2000] lorsqu'ils utilisent le système pour la première fois. Sur la base de leurs réponses, le modèle initial de l'apprenant est construit. Par conséquent, uniquement les modes de présentation et les outils d'apprentissage qui conviennent sont présentés aux apprenants. Toutefois, les apprenants ont aussi accès à d'autres modes de présentation et des outils d'apprentissage cachés. En outre, le contenu du menu de navigation est généré dynamiquement en fonction des progrès des apprenants. Une extension de iWeaver est planifiée pour mettre à jour le modèle de l'apprenant en se basant sur le comportement des apprenants dans le cours, leurs commentaires et les réactions des apprenants ayant un profil similaire [Bousbia 2011].

3.8.2.5 AHA !

AHA! (Adaptive Hypermedia for All) [Stash 2006] [Stash 2007] est un système adaptatif qui permet aux concepteurs de cours d'implémenter un modèle de style d'apprentissage à prendre en compte dans leurs cours grâce à un outil auteur [de Bra 2002] et un langage générique d'adaptation des styles d'apprentissage appelé LAG-XLS [Stash 2006]. Le système AHA! est donc indépendant d'un modèle de style d'apprentissage particulier. Toutefois, il existe une limitation dans le type de stratégies qui peuvent être définies et, par conséquent, dans l'ensemble des préférences d'apprentissage qui peuvent être utilisées.

[Stash 2006] a présenté des exemples de stratégies prédéfinies pour les styles d'apprentissage actif/réfléchi, visuel/verbal, global/analytique, et dépendant du domaine/indépendant du domaine. [Stash 2007] a également présenté des stratégies pour déduire la préférence pour le texte ou l'image et pour l'ordre de navigation à choisir en premier : en largeur ou en profondeur.

Pour l'identification des styles d'apprentissage, AHA! ne prévoit pas de questionnaire. A la place, un formulaire d'inscription est proposé, dans le cas où les styles d'apprentissage intégrés sont décrits manuellement, à travers lequel les apprenants peuvent exprimer leurs préférences. Pour mettre à jour ou réviser les styles

d'apprentissage prédéfinis, les concepteurs définissent la manière dont les préférences de style d'apprentissage peuvent être déduites à partir des comportements de navigation des apprenants. En outre, les apprenants ont toujours la possibilité de modifier les informations de leur modèle, et donc choisir une autre stratégie didactique.

3.8.2.6 HALS

Le système HALS (*Heritage Alive Learning System*) [Cha 2006] est basé sur le modèle de Felder Silverman. Dans HALS, les styles d'apprentissage des apprenants sont diagnostiqués d'une manière implicite, par l'analyse de leurs comportements en interagissant avec le système. Cette analyse de comportement utilise les arbres de décision et le modèle de Markov caché.

3.8.2.7 SAVER

SAVER [Garcia 2007] est un EIAH basé sur trois dimensions du FSLSM : actif/réfléchi, sensoriel/intuitif et séquentiel/global. Dans le système SAVER, premièrement le modèle de style d'apprentissage de l'apprenant est initialisé en utilisant le questionnaire FSLSM, ensuite, pour mettre à jour le modèle de l'apprenant, le comportement de celui-ci est observé et analysé en utilisant les réseaux bayésiens.

3.8.2.8 WELSA

Enfin, un modèle qu'il est nécessaire de citer est celui de [Popescu 2008b]. Dans le cadre du projet WELSA (Web-based Educational system with Learning Style Adaptation) [Popescu 2008b], les auteurs proposent un modèle unifié de style d'apprentissage appelé ULSM (Unified Learning Style Model), ce modèle unifié englobe des caractéristiques de plusieurs modèles traditionnels, établissant un vocabulaire de base unifié.

Pour l'identification des styles d'apprentissage, WELSA applique une méthode de modélisation implicite, basée sur l'analyse et l'interprétation du comportement de l'apprenant dans le système, qui ne nécessite pas un effort supplémentaire de la part de l'étudiant et qui élimine les problèmes de fidélité et de validité des questionnaires actuels. L'approche de modélisation utilisée a été validée expérimentalement, obtenant des valeurs de précision élevées. Le système WELSA offre les fonctionnalités suivantes :

- une plateforme d'apprentissage pour les étudiants, qui leur permet de visualiser les cours, enrichie avec une fonctionnalité de collecte de traces et un module d'adaptation;

- un outil d'analyse des traces pour l'identification des styles d'apprentissage;
- un outil auteur pour les enseignants, qui leur permet de créer des cours conformes au format interne WELSA.

Avant de conclure cette section, la table 3.10 présente quelques exemples des EIAH adaptatifs utilisant une méthode de modélisation implicite ou mixte pour l'identification des styles d'apprentissage des apprenants.

Type de modélisation	EIAH	Technique d'identification du style d'apprentissage
Implicite ou mixte	Arthur [Gilbert 1999; 2002]	- L'initialisation du style d'apprentissage est faite d'une manière aléatoire. Par contre la mise à jour du style d'apprentissage se base sur un raisonnement à base de cas.
	MASPLANG [Peña, 2004; Peña, 2002]	- Utilise le questionnaire FSLSM [Felder 1988] pour initialiser le style d'apprentissage. Par la suite, un raisonnement à base de cas pour mettre à jour le style d'apprentissage.
	TANGOW [Paredes 2004]	- Le style d'apprentissage est initialisé à l'aide du questionnaire FSLSM [Felder 1988] (sensoriel/ intuitif et séquentiel/ global). Par la suite, le modèle de l'apprenant est mis à jour si le comportement attendu selon ces préférences diffère de celui réalisé.
	iWeaver [Wolf 2002]	- Pour initialiser le style d'apprentissage utilise le <i>Building Excellence Inventory</i> [Rundle 2000]. Un réseau bayésien est utilisé pour mettre à jour le style d'apprentissage.
	AHA! [De Bra 2003] [Stash 2004] [Stash 2007]	- un formulaire d'inscription à travers lequel les apprenants peuvent exprimer leurs préférences. - Pour mettre à jour le style d'apprentissage, les concepteurs définissent la manière dont les préférences de style d'apprentissage peuvent être déduites à partir des comportements de navigation des apprenants
	HALS [Cha 2006]	- Le style d'apprentissage est identifié en analysant le comportement de l'apprenant en se basant sur les arbres de décision et le modèle de Markov caché.
	SAVER [Garcia 2007]	- le modèle de style d'apprentissage de l'apprenant est initialisé en utilisant le questionnaire FSLSM, ensuite, pour mettre à jour le modèle de l'apprenant, le comportement de celui-ci est observé et analysé en utilisant les réseaux bayésiens.
	WELSA [Popescu 2008b]	- La modélisation du style d'apprentissage est basée sur l'analyse et l'interprétation du comportement de l'apprenant dans le système.

Table 3.10 – Exemples des EIAH basés sur une modélisation implicite ou mixte des styles d'apprentissage.

3.9 Positionnement de notre approche

A travers cette étude, nous constatons que dans le cadre spécifique de la formation en ligne, la recherche sur les styles d'apprentissage est encore à une étape préliminaire et exploratoire [Brusilovsky 2007 ; Boussbia 2008]. L'objectif général de l'usage des styles d'apprentissage dans les EIAH est l'adaptation et la personnalisation de la formation.

En termes de modèle utilisé, nous remarquons que les EIAH actuels exploitent quelques modèles de styles d'apprentissage considérés comme les plus populaires. La majorité de ces EIAH prennent en compte uniquement un seul modèle de style d'apprentissage, ou une partie de ses dimensions ou de ses préférences. Le modèle de Felder et Silverman [Felder 1988] reste le plus utilisé. Les raisons de sa popularité sont récapitulées par [Brown 2006], qui justifie leur choix de FSLSM par le fait qu'il accomplit la plupart des critères exigés : (i) le modèle devrait être capable d'évaluer quantitativement les styles d'apprentissage (et ainsi les modéliser en informatique); (ii) le modèle devrait montrer un bon degré de validité et de fiabilité (et ainsi fournir des évaluations précises des styles d'apprentissage) ; (iii) le modèle devrait être approprié pour l'utilisation dans un système éducatif adaptatif basé sur le Web; (iv) le modèle devrait être approprié pour l'utilisation avec du multimédia; (v) le modèle devrait être facilement administré pour des étudiants universitaires. En outre, comme [Sangineto 2007] le note, FSLSM a été largement expérimenté et validé. Il devrait être noté cependant que la plupart des théories des styles d'apprentissage proposées dans la littérature psychopédagogique sont conçues pour des situations d'apprentissage face à face, pas pour l'apprentissage avec des contenus numériques sur ordinateur [Popescu 2009]. En effet, aucun modèle de styles d'apprentissage n'a été proposé pour renseigner sur la manière de travail des apprenants avec des ressources numériques.

Plusieurs recherches en psychologie et en science de l'éducation affirment l'impact du style d'apprentissage sur le processus d'apprentissage et encouragent sa prise en compte dans les stratégies d'enseignement afin de faciliter la tâche aux apprenants et améliorer leurs résultats. Dans ce sens, chaque modèle de style d'apprentissage suggère un ensemble de recommandations relatives aux stratégies et aux types de ressources pédagogiques qui doivent être utilisés avec les apprenants, se rapportant à leurs préférences en termes de styles d'apprentissage.

La recherche expérimentale dans le domaine des hypermédias adaptatifs centrés sur les styles d'apprentissage est relativement récente et seulement quelques études comme celles présentées dans [Bajraktarevic 2003] [Popescu 2008a] et [stach 2007] montrent que l'adaptation d'un cours aux styles d'apprentissage des apprenants a amélioré les scores des apprenants. Une autre étude proposée dans [Graf 2007] montre que cette adaptation a permis un apprentissage aisé et une satisfaction des apprenants. En raison de ce manque d'études expérimentales, nous allons essayer dans la présente étude de répondre à un besoin clairement défini, à savoir évalué par les performances l'apport de l'adaptation d'un cours en fonction du style d'apprentissage de l'apprenant, dans le contexte de l'auto-apprentissage par le Web.

Par conséquent, la multiplicité des recherches menées dans ce domaine n'a pas réussi à répondre à plusieurs questions qui restent jusqu'aujourd'hui ouvertes conduisant à des interprétations aussi divergentes que controversées. Le principal défi est donc de clarifier ces controverses, de répondre aux questions ouvertes et de fournir une compréhension claire de ce domaine.

Quel est le modèle de style le plus propre à employer? Comment peut-on l'utiliser? Peut-on parler d'un seul style dominant ou bien de plusieurs styles dominants? Comment peut-on définir une stratégie d'adaptation pour chaque style défini? Quelle description peut-on utiliser pour décrire des ressources pédagogiques pour un modèle de style choisi? Pour ne pas surcharger et désorienter l'apprenant, comment peut-on adapter la navigation et le contenu en se basant sur un modèle de style choisi? Et enfin, comment peut-on évaluer les performances du système hypermédia réalisé pour affirmer ou infirmer l'apport du style d'apprentissage vis-à-vis de l'adaptation dans un contexte d'auto-apprentissage par le web?

A cet égard, notre travail de recherche s'inscrit dans ce contexte d'environnements de formation hypermédia. L'adaptation, l'enjeu majeur dans ce domaine, concerne deux entités principales: l'apprenant et l'objet pédagogique. Pour cela, et vu que la richesse et la complexité de ce domaine, cette thèse est consacrée à la proposition d'un ensemble de règles d'adaptation qui seront exploitées pour l'adaptation de la présentation ainsi que la navigation d'un hypermédia éducatif aux styles d'apprentissage d'un apprenant donné, tout en se basant sur le modèle de Honey et Mumford d'un côté et sur la théorie d'apprentissage expérientiel d'un autre côté. La théorie d'apprentissage expérientiel

postule qu'un apprentissage ne peut avoir lieu que lorsqu'un apprenant expérimente les informations qui lui ont été transmises ou qu'il découvre au cours d'une expérience. Autrement dit, l'apprentissage se développe par l'action, ce qui signifie qu'il est indispensable que l'apprenant applique les informations reçues. Selon cette théorie, l'apprentissage est organisé en quatre phases : l'expérience concrète, l'observation réfléchie, la conceptualisation abstraite et l'expérimentation active.

Dans cette thèse, nous avons reformulé ce problème pour répondre clairement aux questions posées au-dessus en fixant les points suivants:

- Utilisation de la théorie de l'apprentissage expérientiel et le modèle de Honey et Mumford pour concevoir un système hypermédia adaptatif dynamique.
- Adaptation de la navigation d'un cours hypermédia en utilisant la technique d'ordonnancement et celle de l'annotation des liens de tel sorte que l'ordonnancement des liens est basé sur l'ordre des phases de l'apprentissage expérientiel.
- Adaptation de la présentation en exploitant une représentation multi points de vue de concepts selon la combinaison des différents médias (texte et image, son et texte, vidéo et texte ...).
- Description des ressources pédagogiques adéquates pour chaque étape de l'apprentissage expérientiel et pour chaque style d'apprentissage donné afin de fournir une adaptation de contenu en se basant sur différents objets pédagogiques (objets exploratoires, objets illustratifs, objets théoriques et objet interactifs).
- Détermination d'un ensemble de règles d'adaptation pour chaque style d'apprentissage en respectant chaque phase de l'apprentissage expérientiel.
- Incorporation d'un module d'évaluation pour évaluer et tester les niveaux des connaissances des apprenants.
- Intégration d'un module d'analyse de parcours d'un côté pour contrôler l'apprenant dans sa navigation et d'un autre côté pour lui aider à explorer de nombreux parcours pédagogiques.
- Evaluation des performances du système réalisé pour affirmer ou infirmer l'apport des styles d'apprentissage vis-à-vis de l'adaptation.

3.10 Conclusion

A travers l'étude des modèles de styles d'apprentissage existants dans la littérature et à partir de ceux présentés dans ce chapitre, nous constatons que pour chacun, la définition des styles d'apprentissage revient à tenir compte des facteurs qui ont à la fois un rôle à jouer dans le processus d'apprentissage de l'apprenant et engendrent des différences individuelles importantes et pertinentes.

Et vu la multitude des modèles proposés dans la littérature, plusieurs classifications ont été proposées, point que nous avons détaillé dans ce chapitre.

Dans un EIAH, pour identifier et mesurer les styles d'apprentissage des apprenants, chacun utilise une méthode explicite en proposant un questionnaire dédié ou bien une méthode implicite en se basant sur l'analyse des actions et des comportements des apprenants en faisant appel aux différentes techniques comme le raisonnement à base de cas ou bien à des réseaux bayésiens.

Et avant de conclure ce chapitre, nous avons aussi positionné notre approche de recherche par rapport aux EIAH déjà existants en justifiant notre choix pour le modèle de Honey et Mumford et la théorie d'apprentissage expérientiel.

Enfin, nous avons conclu notre état de l'art et on va aborder dans le chapitre suivant la conception et la réalisation de notre système proposé.

Conception et réalisation de notre système (LS-AEHS)

4.1 Introduction

Les trois premiers chapitres de cette thèse ont été consacrés premièrement à l'exploration du domaine de e-learning, puis à la présentation de la problématique d'adaptation des systèmes hypermédias ainsi qu'à l'étude des différentes méthodes et techniques d'adaptation et enfin à l'étude des environnements informatiques d'apprentissage humains basés sur les styles d'apprentissage.

Dans ce chapitre, nous nous intéressons à la construction de notre environnement de type hypermédia adaptatif dynamique intitulé LS-AEHS (*learning Style Based Adaptive E-learning Hypermedia System*). Nous allons définir conceptuellement notre environnement LS-AEHS. Nous allons commencer par nous intéresser à l'image de l'apprenant dans notre environnement. Ensuite nous allons analyser les différentes connaissances du domaine, surtout comment sont caractérisés les objets pédagogiques d'apprentissage. Enfin, nous allons expliciter le comportement du module d'adaptation.

C'est pour cela, ce présent chapitre est subdivisé en deux parties. Dans la première partie, nous redéfinissons notre champ d'étude en s'exprimant nos objectifs à travers ce travail, puis nous détaillons notre système et l'architecture informatique qui le supporte. Dans la deuxième partie, nous présentons d'abord les outils et les langages de développement pour réaliser ce système puis nous finissons par la présentation de notre prototype réalisé ainsi que les différentes interfaces réalisées.

4.2 Conception de notre système

4.2.1 Cadre de recherche et méthodologie de conception

La plupart des cours enseignés dans la faculté des sciences et technologie dans l'université de Mohammed Chérif Messaadia (Souk Ahras- Algérie) sont de type présentiel.

L'utilisation d'un système hypermédia d'enseignement constitue pour les étudiants un changement dans leurs façons d'apprendre.

Différentes recherches ont essayé de comprendre les relations entre les caractéristiques des apprenants, le matériel pédagogique et le contexte dans lequel se déroule l'apprentissage afin d'autoriser une adaptation centrée sur les besoins de l'apprenant. Le but de cette adaptation est de maximiser la satisfaction subjective de l'apprenant, la vitesse d'apprentissage (efficacité) et les performances (rendement) [Popescu 2008a].

Notre thèse s'inscrit pleinement au sein de cette dynamique et s'intéresse plus particulièrement à la prise en compte du style d'apprentissage en tant que critère d'adaptation. Dans le champ disciplinaire psychopédagogique, le style d'apprentissage est considéré comme l'une des principales différences individuelles qui jouent un rôle dans l'apprentissage. Il peut renseigner sur les préférences liées à la modalité de perception, au traitement et à l'organisation de l'information, au raisonnement, aux aspects sociaux, etc.

La recherche expérimentale dans ce domaine est relativement récente et seulement quelques études montrent que l'adaptation d'un cours aux styles d'apprentissage des apprenants a amélioré les scores des apprenants. En raison de ce manque d'études expérimentales, nous allons essayer dans la présente étude de répondre à un besoin clairement défini, à savoir évalué par les performances l'apport de l'adaptation d'un cours en fonction du style d'apprentissage de l'apprenant, dans le contexte de l'auto-apprentissage par le Web.

Afin d'évaluer l'apport du style d'apprentissage en tant que critère d'adaptation d'un cours, nous avons conçu et réalisé un système hypermédia d'enseignement adaptatif centré sur les styles d'apprentissage intitulé LS-AEHS [Drissi 2013a] [Drissi 2013b]. Ce dernier a été expérimenté dans le cadre d'un cours de Chimie portant sur « *les réactions rapides et les réactions lentes* » et enseigné en ligne en parallèle avec les autres cours classiques en présentiel.

Dans le cadre de notre approche, nous nous sommes intéressés au modèle de Honey et Mumford, car il s'appuie sur la théorie de l'apprentissage expérientiel détaillée dans le chapitre précédent et qui est développée autour des notions d'apprentissage et d'expérience. Cette théorie postule qu'un apprentissage ne peut avoir lieu que lorsqu'un apprenant expérimente les informations qui lui ont été transmises ou qu'il découvre au

cours d'une expérience. Autrement dit, l'apprentissage se développe par l'action, ce qui signifie qu'il est indispensable que l'apprenant applique les informations reçues.

Le modèle de Honey et Mumford se prête en effet à notre domaine d'étude (un cours de chimie porté sur les réactions rapides et les réactions lentes). Puisque c'est un domaine d'ingénierie qui s'appuie essentiellement sur les aspects pratiques et les expérimentations pour assimiler et concrétiser les concepts théoriques. L'apprentissage expérientiel est organisé en quatre phases cycliques : l'expérience concrète, l'observation réfléchie, la conceptualisation abstraite et l'expérimentation active. La figure 4.1 décrit le cycle d'apprentissage expérientiel.

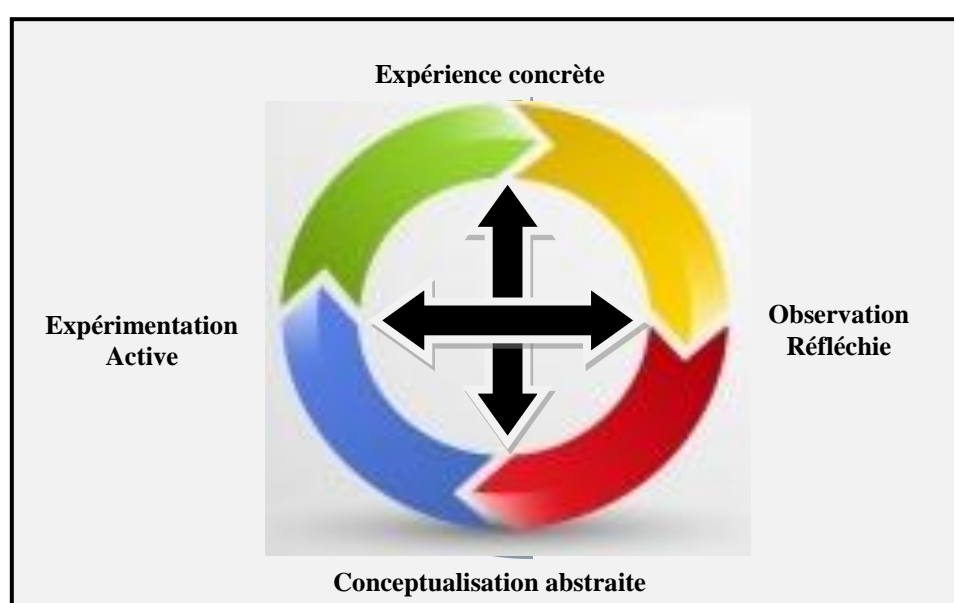


Figure 4.1 – *Le cycle de l'apprentissage expérientiel [Kolb 1984].*

Pendant la phase de l'expérience concrète, l'apprenant réalise une tâche. Durant l'observation réfléchie, l'apprenant réfléchit sur ce qui a été fait et vécu. Lors de la conceptualisation abstraite, l'apprenant interprète les événements qu'il a remarqués et essaye de les intégrer dans un système théorique. Enfin, durant l'expérimentation active, l'apprenant cherche à mettre en pratique des idées, des théories et des techniques afin de vérifier si celles-ci fonctionnent. La sélection du style d'apprentissage d'un apprenant selon Honey et Mumford traduira sa préférence pour l'une des quatre phases qui rythment l'apprentissage expérientiel. Ainsi, quatre styles d'apprentissage sont distingués : actif, réfléchi, théoricien et pragmatique. Ces derniers sont associés respectivement aux

différentes phases d'expérience concrète, d'observation réfléchie, de conceptualisation abstraite et d'expérimentation active.

À la suite de l'utilisation de ce système hypermédia, nous avons pu poursuivre les objectifs suivants [Drissi 2013b] :

- Conception d'un système hypermédia adaptatif dynamique tout en déterminant un modèle apprenant et un modèle du domaine selon la théorie de l'apprentissage expérientiel.
- Adaptation basée sur les styles d'apprentissage des apprenants pour adapter la présentation des pages et des liens d'un cours hypermédia en utilisant l'ordonnancement et l'annotation des liens (une ordonnancement des lien selon le cycle de l'apprentissage expérientiel, et une annotation en utilisant des icônes pour donner une idée sur l'objet à présenter), en se basant sur le modèle de Honey et Mumford .
- Identification d'un ensemble d'objets pédagogiques pour décrire des ressources pédagogiques adéquates pour chaque étape de l'apprentissage expérientiel et pour chaque style d'apprentissage donné.
- Détermination des règles d'adaptation pour chaque style d'apprentissage en respectant chaque phase de l'apprentissage expérientiel. .
- Incorporation d'un module d'évaluation pour que les apprenants puissent évaluer et tester leurs niveaux de connaissance après l'apprentissage d'un chapitre donné à partir des cours adaptés à leurs styles d'apprentissage.
- Intégration d'un module d'analyse de parcours pour aider l'apprenant dans l'exploration de nombreux parcours pédagogiques.
- Evaluation des performances de notre système pour affirmer ou infirmer l'apport des styles d'apprentissage vis-à-vis de l'adaptation en analysant les résultats propres au styles d'apprentissage des apprenants aussi que les résultats propres aux performances des apprenants.

4.2.2 Architecture de notre environnement : LS-AEHS

Le cœur de tout système adaptatif est composé d'un modèle de domaine et d'un modèle apprenant. Le modèle apprenant adopté dans cette thèse permet de prendre en compte le style d'apprentissage en tant que critère d'adaptation. Nous reprenons ces deux modèles auxquels nous ajoutons un module d'adaptation qui génère des cours adaptatifs en se basant sur des règles d'adaptation inspirées de la théorie d'apprentissage expérientiel [Drissi 2013c]. Cette architecture est décrite dans la figure 4.2.

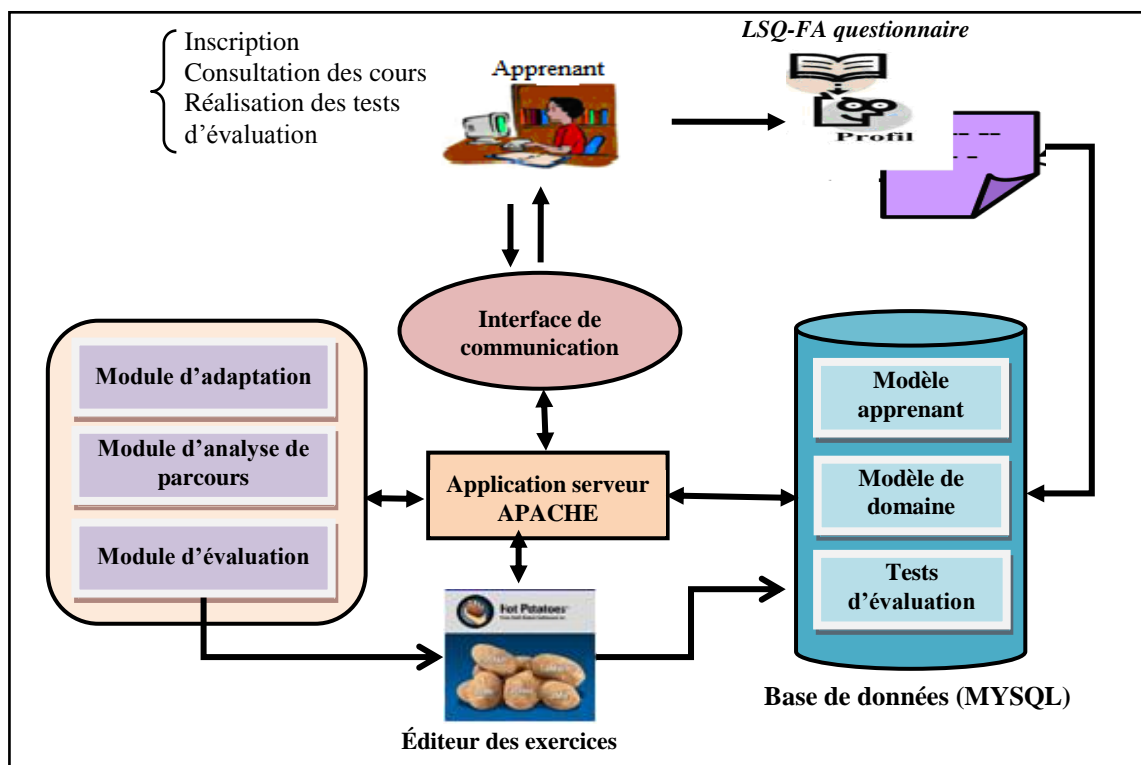


Figure 4.2 - Architecture de notre système (LS-AEHS).

1. Un modèle de l'apprenant qui définit son style d'apprentissage selon le modèle de Honey et Mumford.
2. Un modèle du domaine qui renseigne sur les objets d'apprentissage qui seront enseignés.
3. Un module d'adaptation qui permet d'adapter le cours en fonction du modèle apprenant.
4. Un module d'analyse de parcours qui sert à contrôler et à enregistrer tous les liens activés par l'apprenant. Ce module permet de guider l'apprenant dans l'exploration de l'hypermédia.
5. Et un module d'évaluation qui permet de générer les tests d'évaluation.

4.2.2.1 Modèle apprenant

Dans le cadre de cette thèse, pour élaborer le modèle de l'apprenant, nous allons suivre deux phases :

Phase 1: dans notre approche, l'apprenant peut être modélisé, d'abord, par des caractéristiques typiques qui sont regroupées dans une facette d'identification qui contient les données personnelles (nom, prénom, âge, mot de passe, mail, ...). Ces données sont renseignées par un questionnaire que doit compléter l'apprenant lors de sa première connexion.

Phase 2: la deuxième phase consiste à identifier les styles d'apprentissage des apprenants. Dans notre approche, la sélection des styles d'apprentissage est effectuée à l'aide de l'instrument Learning Style Questionnaire (LSQ) de Honey et Mumford « la version française adaptée LSQ-FA » [Fortin 2000] (voir l'annexe A). Cet instrument permet d'établir un modèle statique de chaque apprenant (modèle individuel) d'une manière explicite après la phase d'identification, en fonction de quatre styles d'apprentissage : actif, réfléchi, théoricien et pragmatique. Chacun de ces styles est pondéré par un indice de préférence : très faible, faible, moyen, fort ou très fort, qui reflète l'importance relative d'un style d'apprentissage vis-à-vis de l'apprenant comme montré dans la figure 4.3.

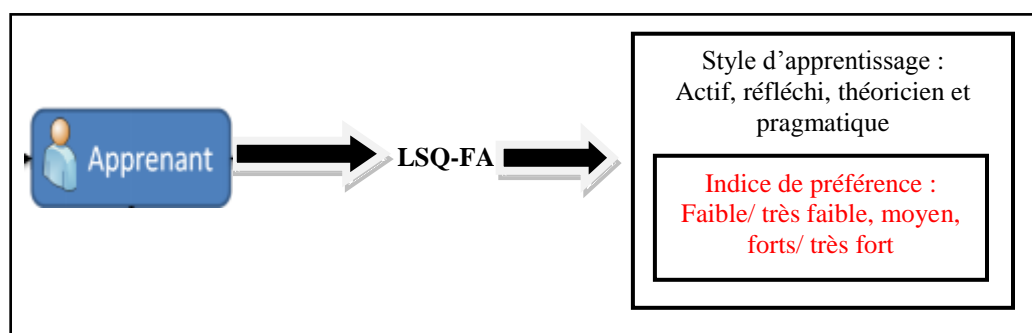


Figure 4.3 - Le modèle apprenant établi par le questionnaire LSQ-FA.

La description de ces styles d'apprentissage est donnée dans la table 4.1.

Style d'apprentissage	Description
<i>Style actif</i>	- Intérêt marqué pour l'acquisition de connaissances par l'expérimentation. - Élaboration des connaissances par une interaction active avec autrui. - Goût pour la confrontation d'idées ou la résolution de problèmes en équipe.
<i>Style réfléchi</i>	- Importance donnée au recul et à la distance par rapport aux gens et aux choses. - Style marqué par la réflexion.
<i>Style théoricien</i>	- Importance donnée à la logique, à la cohérence dans l'organisation des nouvelles connaissances. - Goût pour l'analyse et la synthèse, valorisation du rationnel et de l'objectivité. - Acquisition de nouvelles connaissances de façon méthodique et systématique.
<i>Style pragmatique</i>	- Intérêt pour la mise en application concrète des idées, des théories, des techniques, dans le but d'en expliciter et d'en valider le fonctionnement. - Préférence pour les solutions réalistes et pratiques. - Besoin de trouver des bénéfices concrets, des avantages pratiques aux nouvelles connaissances.

Table 4.1 - Description des styles d'apprentissage selon le modèle de Honey et Mumford.

- **Le style actif** : se renvoie à la phase de l'expérience concrète, il se caractérise par un engagement dans l'expérience du moment présent et une préférence pour apprendre à partir d'expériences nouvelles et de situations - problèmes.
- **Le style réfléchi** : se renvoie à la phase de l'observation réfléchie, il se caractérise par un recul face aux situations, un désir de les examiner selon différents points de vue et une préférence pour apprendre à partir d'activités exigeant de réfléchir, d'analyser, de pondérer une quantité d'informations.
- **Le style théoricien** : se renvoie à la phase de la conceptualisation abstraite, il se caractérise par un besoin de situer et d'intégrer les informations dans un cadre conceptuel, une structure, un modèle, une théorie et par une préférence pour apprendre à partir d'activités où des modèles sont présentés et où il est possible d'en construire.
- **Le style pragmatique** : se renvoie à la phase de l'expérimentation active, il se caractérise par l'application pratique d'idées, de théories et de procédures et par une préférence pour apprendre d'activités où il y a des liens entre les connaissances et la vie réelle et où il y a possibilité de mettre en pratique ces connaissances.

Comme nous l'avons déjà dit, chacun de ces styles est pondéré par un indice de préférence : très faible, faible, moyen, fort ou très fort, qui reflète l'importance relative d'un style d'apprentissage vis-à-vis de l'apprenant. La table 4.2 présente la distribution de chaque indice de préférence selon le modèle de Honey et Mumford.

Scores	Indice de préférence
01 % - 10%	Pour les scores se situant entre 01% et 10%, on parle de préférence très faible .
11 % - 30%	Pour les scores se situant entre 11% et 30%, on parle de préférence faible .
31 % - 70%	Pour les scores se situant entre 31% et 70%, on parle de préférence moyenne .
71 % - 90%	Pour les scores se situant entre 71% et 90%, on parle de préférence forte .
91%- 100%	Pour les scores se situant entre 91% et 100%, on parle de préférence très forte .

Table 4.2 - La distribution des indices de préférence selon le modèle de Honey et Mumford [chevrier 2000].

4.2.2.2 Modèle du domaine

La modélisation de domaine d'enseignement est parmi les priorités dans le processus de développement de tout système destiné pour l'enseignement ou la formation. Dans le cadre de notre thèse, le modèle du domaine est représenté par cinq niveaux hiérarchiques: cours, chapitre, section, sous-section et enfin les objets pédagogiques (ou appelés les objets d'apprentissage) [IMS MD 2008].

Plus précisément, un cours correspond à un sujet du domaine à étudier, chaque cours est associé à un ensemble de chapitres est lui-même relié à un ensemble de sections et sous sections. Le plus bas niveau des sous sections sont reliés eux-mêmes à un ensemble d'objets pédagogiques qui constituent les ressources que l'apprenant manipulera lors de son apprentissage. La figure 4.4 organise notre modèle de domaine.

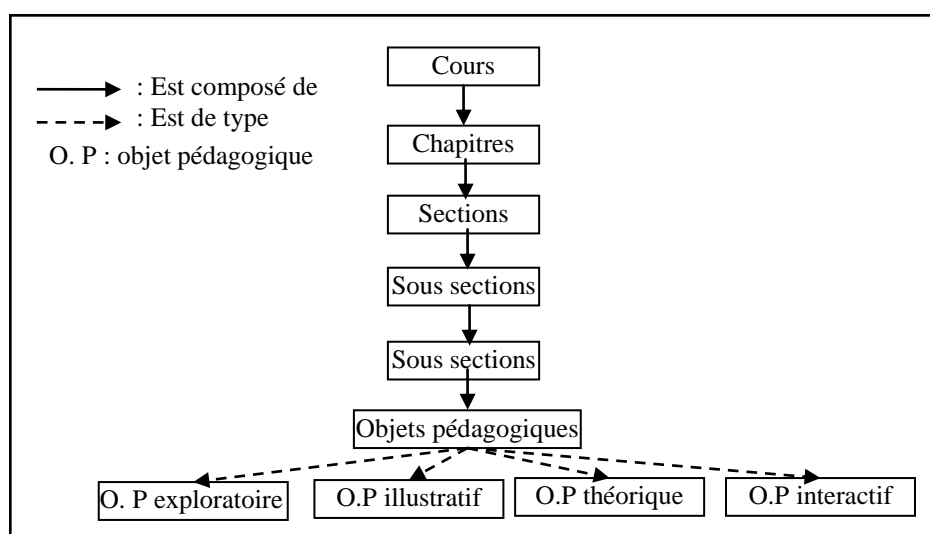


Figure 4.4 - Organisation du modèle du domaine.

Pour faire une association entre ce modèle de domaine et les quatre phases de l'apprentissage expérientiel, on va utiliser quatre types d'objets pédagogiques pour enseigner chaque concept d'un cours donné.

- **Objets pédagogiques exploratoires:** associés au mode exploratoire qui correspondent à la phase de l'expérimentation concrète, elle permet de décrire d'une manière concrète quelques expériences vécues par exemples étude de cas ou bien des expériences filmées...etc.
- **Objets pédagogiques illustratifs:** (par exemple : illustration, comparaison, analogie ou bien des contre exemples) associés au mode réfléchi qui correspond à la phase de l'observation réfléchie.
- **Objets pédagogiques théoriques:** renforcés par des présentations théoriques (par exemple : des définitions, formules, théorèmes, remarques, conclusions...) associés au mode abstraitif qui correspond à la phase de la conceptualisation abstraite.
- **Objets pédagogiques interactifs :** associés au mode vérificateur qui correspond à la phase de l'expérimentation active ; elle permet à l'apprenant l'application et l'essai des connaissances et des idées (par exemple des simulations interactives, des exercices d'application, résolution des problèmes, etc).

4.2.2.3 Module d'adaptation

Le module d'adaptation est en charge, pour une notion choisie par l'apprenant, de la construction dynamique d'une page de l'hypermédia, en fonction de l'état courant du modèle du domaine et du modèle de l'apprenant. Dans la section suivante, on va détailler chacune des règles d'adaptation qui vont être utilisées par le module d'adaptation.

Règles d'adaptation

La définition d'une règle d'adaptation est une tâche délicate et fastidieuse. Dans cette thèse, nous nous sommes intéressés au modèle de Honey et Mumford pour la définition d'un ensemble de règles d'adaptation en s'appuyant sur la théorie d'apprentissage expérientiel (table 4. 3).

Règles générales	<p>Si $SA_{H\&M}^{(Apprenant)}$ = “actif” alors appliquer un mode exploratoire</p> <p>Sinon si $SA_{H\&M}^{(Apprenant)}$ = “réfléchi” alors appliquer un mode réfléchi</p> <p>Sinon si $SA_{H\&M}^{(Apprenant)}$ = “théoricien” alors appliquer un mode abstraktif</p> <p>Sinon si $SA_{H\&M}^{(Apprenant)}$ = ”pragmatique” alors appliquer un mode vérificateur.</p>
Règles spécifiques	<p>Règles d’adaptation pour le style actif</p> <p>Si $SA_{H\&M}^{(Apprenant)}$ = “actif” alors afficher en plein écran des objets d’apprentissage exploratoires suivis par <u>des liens vers</u> des objets d’apprentissage illustratifs, des objets d’apprentissage théoriques et des objets d’apprentissage interactifs.</p>
	<p>Règles d’adaptation pour le style réfléchi</p> <p>Si $SA_{H\&M}^{(Apprenant)}$ = “réfléchi” alors afficher en plein écran des objets d’apprentissage illustratifs suivis par <u>des liens vers</u> des objets d’apprentissage théoriques, des objets d’apprentissage interactifs et des objets d’apprentissage exploratoires.</p>
	<p>Règles d’adaptation pour le style théoricien</p> <p>Si $SA_{H\&M}^{(Apprenant)}$ = “théoricien” alors afficher en plein écran des objets d’apprentissage théoriques suivis par <u>des liens vers</u> des objets d’apprentissage interactifs, des objets d’apprentissage exploratoires et des objets d’apprentissage illustratifs.</p>
	<p>Règles d’adaptation pour le style pragmatique</p> <p>Si $SA_{H\&M}^{(Apprenant)}$ = “pragmatique” alors afficher en plein écran des objets d’apprentissage interactifs suivis par <u>des liens vers</u> des objets d’apprentissage exploratoires, des objets d’apprentissage illustratifs et des objets d’apprentissage théoriques.</p>

Table 4.3 - Les règles d’adaptation décrites selon le modèle de Honey et Mumford.

Sachant que $SA_{H\&M}^{(Apprenant)}$: style d’apprentissage de l’apprenant selon le modèle de Honey et Mumford.

Alors, dans cette recherche, les objets pédagogiques seront présentés à l’apprenant en favorisant celui reflétant son style dominant. Par conséquent quatre (4) modes de parcours sont générés : parcours en mode exploratoire, parcours en mode réfléchi, parcours en mode abstraktif, et parcours en mode vérificateur.

Parcours en mode exploratoire : ce parcours est destiné aux apprenants actifs. Il commence par des objets exploratoires affichés en plein écrans, suivi d’un premier lien vers des objets illustratifs, puis d’un deuxième lien vers des objets théoriques, et enfin d’un lien vers des objets interactifs.

Parcours en mode réfléchi : ce parcours est destiné aux apprenants réfléchis. Il commence par des objets illustratifs affichés en plein écrans, suivi d’un premier lien vers des objets théoriques, puis d’un deuxième lien vers des objets interactifs, et enfin d’un lien vers des objets exploratoires.

Parcours en mode abstraktif : ce parcours est destiné aux apprenants théoriciens. Il commence par des objets théoriques affichés en plein écrans, suivi d’un premier lien vers

des objets interactifs, puis d'un deuxième lien vers des objets exploratoires, et enfin d'un lien vers des objets illustratifs.

Parcours en mode vérificateur: ce parcours est destiné aux apprenants pragmatiques. Il commence par des objets interactifs affichés en plein écran, suivi d'un premier lien vers des objets exploratoires, puis d'un deuxième lien vers des objets illustratifs, et enfin d'un lien vers des objets théoriques.

4.2.2.4 Module d'analyse de parcours

Ce module joue un rôle complémentaire avec le module d'adaptation ainsi que le module d'évaluation. Son premier objectif est de contrôler et sauvegarder tous les liens activés ou à activer par l'apprenant donc il joue un rôle de traçage afin de guider l'apprenant surtout au niveau d'activation des liens, donc ce module est capable de fournir des conseils et des suggestions aux apprenants s'il détecte un mauvais suivi des liens non convenables avec l'ordre proposé suivant le cycle de Honey et Mumford.

Son deuxième objectif est établi en complément avec le module d'évaluation, tel qu'à chaque issue d'un parcours pédagogique, un test d'évaluation sous forme de QCM fourni par le module d'évaluation permettant d'évaluer le niveau de connaissances de l'apprenant. Si ce dernier ne réussit pas le test d'évaluation (scores obtenu inférieur à 50 points), le module d'analyse des parcours met en cause le style d'apprentissage précédent et sélectionne par la suite un autre parcours pédagogique. Ainsi, plusieurs parcours peuvent être explorés pour apprendre un même cours. La figure 4.5 montre le processus de génération de plusieurs parcours pédagogiques.

4.2.2.5 Module d'évaluation

Ce module permet d'offrir à l'apprenant un ensemble d'exercices pour évaluer ses connaissances après un cours déjà lu. Notre module d'évaluation met à la disposition des apprenants différents types d'exercices parmi lesquelles : questions à choix multiples (QCM) et les questions à appariement.

- Question à choix multiple (QCM) : Suite d'items comprenant une question dont la réponse se trouve parmi plusieurs réponses proposées. Plus la liste de réponses possibles pour chaque question est importante, moins le sujet questionné pourra recourir à la chance pour choisir la bonne réponse.

grande qualité du langage PHP est le support d'un grand nombre de bases de données. Par conséquent, La réalisation d'une page web dynamique interfaçant une base de données est extrêmement simple. Pour notre projet, nous avons décidé d'utiliser la base de données MySQL.

4.3.1.2 AJAX

AJAX veut dire Asynchronous JavaScript and XML. En clair, c'est un moyen de faire une requête HTML (vers une page, ou un script) et d'afficher (à l'aide du DHTML) le résultat de la requête sans être obligé de recharger la page actuelle. Ça permet d'atteindre un niveau de dynamisme proche à une application standard. L'idée derrière l'AJAX date de bien longtemps. C'est avec Internet Explorer 5 que Microsoft introduit l'objet XMLHttpRequest qui est toujours utilisé aujourd'hui.

Pour comprendre AJAX, il suffit de comprendre ces 3 étapes faciles :

- Créer un objet XMLHttpRequest.
- Faire une requête à l'aide de celui-ci.
- Recevoir et afficher la réponse.

4.3.1.3 Choix de l'éditeur

Puisqu'il s'agit de construire des pages Web et de produire un document HTML lisible par un navigateur, un éditeur HTML peut convenir pour créer la structure générale des pages. Le code des scripts PHP peut quant à lui être écrit dans n'importe quel éditeur de texte, tel que le Bloc-notes de Windows. C'est pour ça Le choix de l'éditeur PHP est vaste et adapté à tous les goûts. Il est également un facteur essentiel de productivité. Choisir un bon éditeur est très important c'est pour cela nous avons opté pour un éditeur de type WYSIWYG « *What you see is what you get* » appelé Dreamweaver. Alors, Dreamweaver est un éditeur HTML Wysiwyg commercial largement utilisé par les professionnels du design. Il est très complet et pratique à exploiter. Dans ses dernières versions, il permet également d'éditer des sources de scripts et gère la plupart des fonctionnalités de base d'un éditeur PHP.

4.3.1.4 Choix du serveur web

Il est donc indispensable d'installer sur notre poste de travail un serveur local simulant notre serveur distant et nous permettant d'effectuer en direct tous les tests désirés. Le serveur local comprend les éléments suivants :

- Serveur Apache¹ : C'est le programme qu'utilisent les serveurs web. C'est le serveur http le plus populaire du Web.
- Interpréteur de code PHP²
- Base de données MySQL³ : est un système de gestion de base de données (SGBD).
- Utilitaire phpMyAdmin⁴, qui permet de créer et de gérer bases et tables de données MySQL.

On peut trouver sur le Web divers packages complets pour Windows, Linux ou Mac, qui permettent d'installer en une seule opération tous ces éléments, évitant du même coup les problèmes de configuration.

Un installeur est apparu à l'occasion de la sortie de PHP 5. Son auteur, Romain Bourdon, se montre très réactif en publiant une nouvelle version à chaque évolution. Son package nommé Wampserver, téléchargeable à l'adresse (<http://www.wampserver.com>), est destiné aux ordinateurs sous Windows. Une fois la procédure de téléchargement terminée, il nous suffit de lancer l'exécutable WampServer2.0b.exe, qui installe automatiquement Apache, PHP, MySQL, SQLite phpMyAdmin et SQLitemanager sur notre ordinateur comme montré dans la figure 4.6. Puis, pendant la phase d'installation, nous avons choisi d'installer PHP en tant que service Windows, le serveur est lancé automatiquement à chaque démarrage du système d'exploitation.

¹ Apache : <http://www.apache.org>

² PHP : <http://www.php.net>

³ MySQL : <http://www.mysql.com>

⁴ phpMyAdmin : <http://www.phpmyadmin.net>



Figure 4.6 - Page d'administration du serveur local Apache MySQL.

4.3.1.5 Hot Potatoes

Hot Potatoes est une suite logicielle incluant cinq applications permettant de créer des exercices à mettre en ligne sur le Web. Les applications s'appellent :

- JQuiz (éditeur de questionnaire à choix multiples ou QCM).
- JCloze.
- JCross (éditeur de mots croisés).
- JMix.
- JMatch (éditeur d'exercices d'appariement).

Le J de ces applications désigne une programmation en JavaScript, mais des sites en HTML peuvent être mis de façon interactive au milieu du matériel d'apprentissage. Dans le cadre de cette thèse, nous avons utilisé deux types d'applications parmi les cinq citées au-dessus qui sont : JQuiz, JMatch pour l'élaboration des tests d'évaluation.

- **JQuiz** : c'est un éditeur de questionnaire à choix multiples comme le montre la figure 4.7.
- **JMatch** : c'est un éditeur d'exercices d'appariement comme illustré par la figure 4.8.

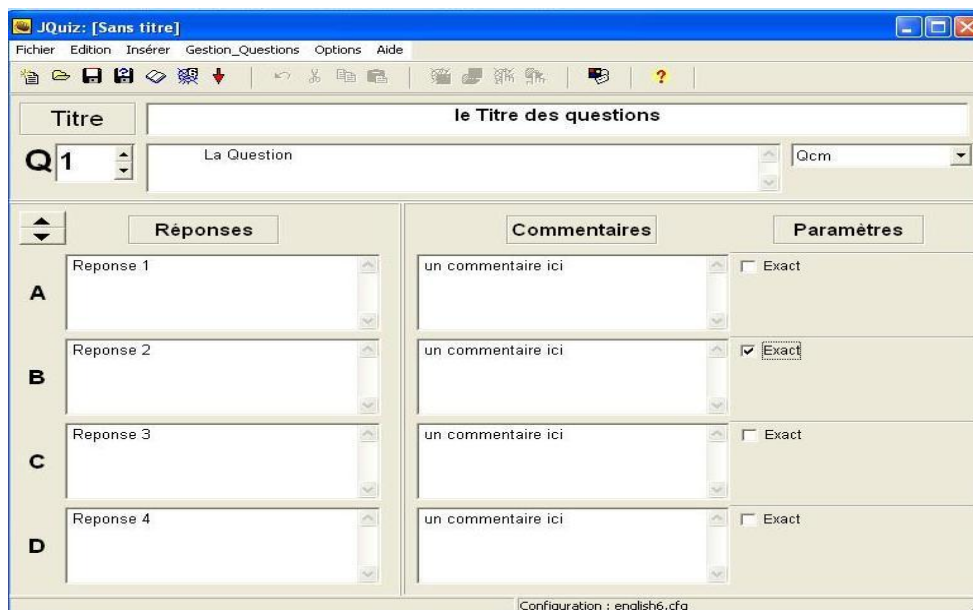


Figure 4.7 - Interface de JQuiz.

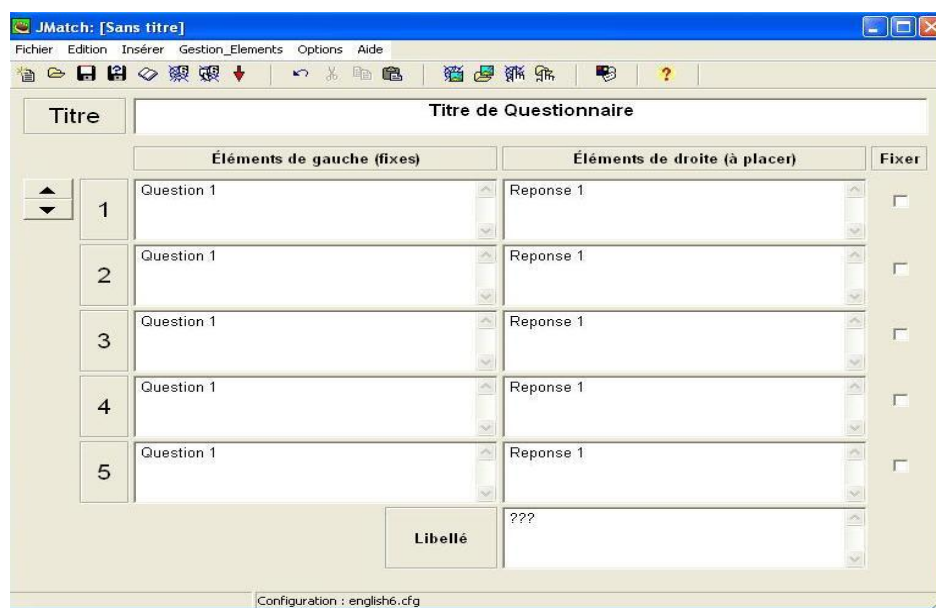


Figure 4.8 - Interface de JMatch.

4.3.2 Prototype

Afin de tester la fiabilité de notre approche, nous avons développé un prototype appelé LS-AEHS. Comme nous l'avons déjà décrit, notre environnement est composé d'un modèle apprenant qui définit son style d'apprentissage selon le modèle de Honey et Mumford, d'un modèle du domaine qui renseigne sur les objets d'apprentissage qui seront enseignés, d'un module d'adaptation qui permet d'adapter le cours en fonction du modèle apprenant et enfin d'un module d'évaluation qui permet de générer les tests d'évaluation.

Pour implémenter et sauvegarder notre modèle de l'apprenant et notre modèle du domaine de notre prototype, nous avons utilisé l'assistant de création de base de données type MySQL avec le serveur WampServer qui s'exécute sur PhpMyAdmin ce dernier est une interface conviviale réalisée en langage PHP afin de faciliter la gestion des bases de données MySQL sur un serveur.

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

4.3.3 Scénario d'utilisation de notre prototype

Dans ce qui suit, on va présenter notre environnement LS-AEHS et ses scénarios d'utilisation à travers des exemples exprimés en capture écran. Nous détaillons les différentes fonctionnalités offertes par notre environnement destinées aux apprenants.

Pour accéder à notre environnement LS-AEHS, il faut visualiser notre première page (**index.php**) intitulé page d'accueil qui est présentée dans la figure 4.9.

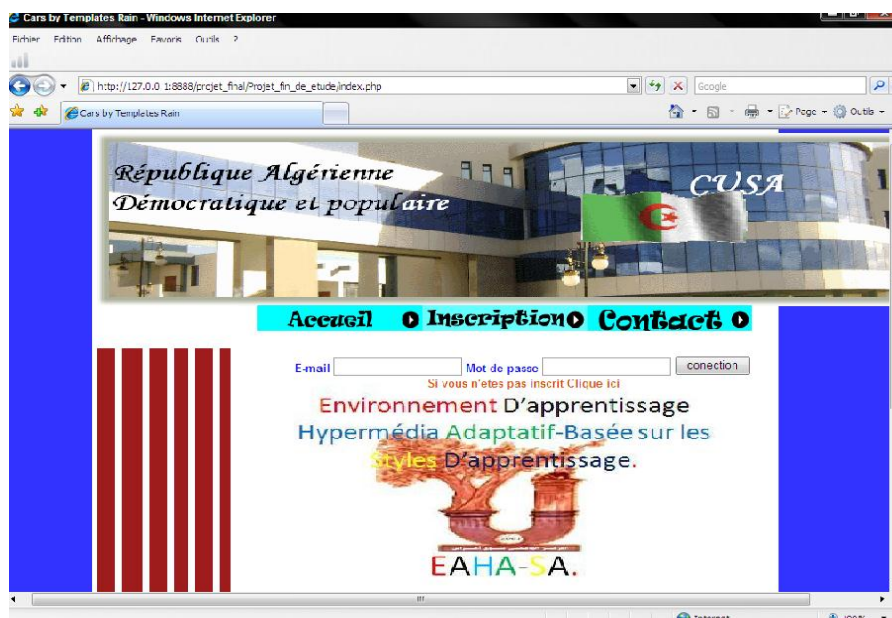


Figure 4.9 - Page d'accueil

A partir de cette page, l'apprenant a essentiellement la possibilité d'un côté d'accéder à une autre interface intitulée interface d'inscription en se cliquant sur le bouton « *inscription* ». Dans l'interface inscription, l'apprenant peut agir directement sur la partie "inscription" pour remplir la facette d'indentification en saisissant ses informations personnelles au début de session. La Figure 4.10 montre une capture d'écran d'un nouvel apprenant au système.

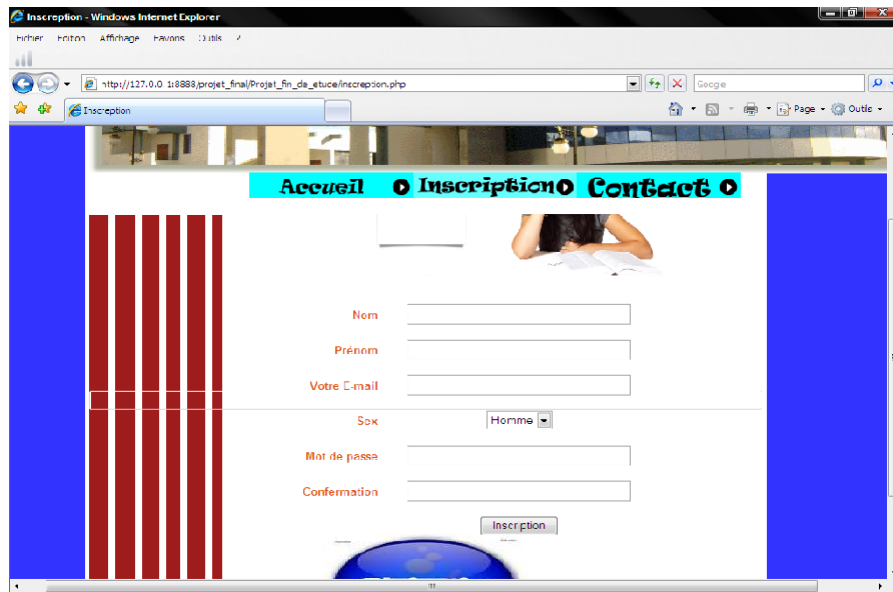


Figure 4.10 : Page d'inscription d'un apprenant.

Dans cette page tous les champs sont obligatoires à remplir, et lorsque l'apprenant commit des erreurs. Des messages d'erreurs devront être affichés sous forme des mots colorés pour indiquer la position du champ contenant l'erreur comme l'indique la figure 4.11.



Figure 4.11 - Messages d'erreurs.

Dans le cas où l'inscription d'un apprenant est réussie, une autre interface s'affichera pour lui confirmer son inscription comme le confirme la figure 4.12.



Figure 4.12 - Confirmation de l'inscription.

Une fois l'enregistrement d'un nouvel apprenant est effectué, un questionnaire lui est proposé pour déterminer son style d'apprentissage. La figure 4.13, montre une capture d'écran d'une partie du questionnaire LSQ-FA de Honey et Mumford pour détecter le style d'apprentissage de l'apprenant. Une fois rempli et validé par l'apprenant, le système calcul et enregistre le résultat dans le modèle apprenant.

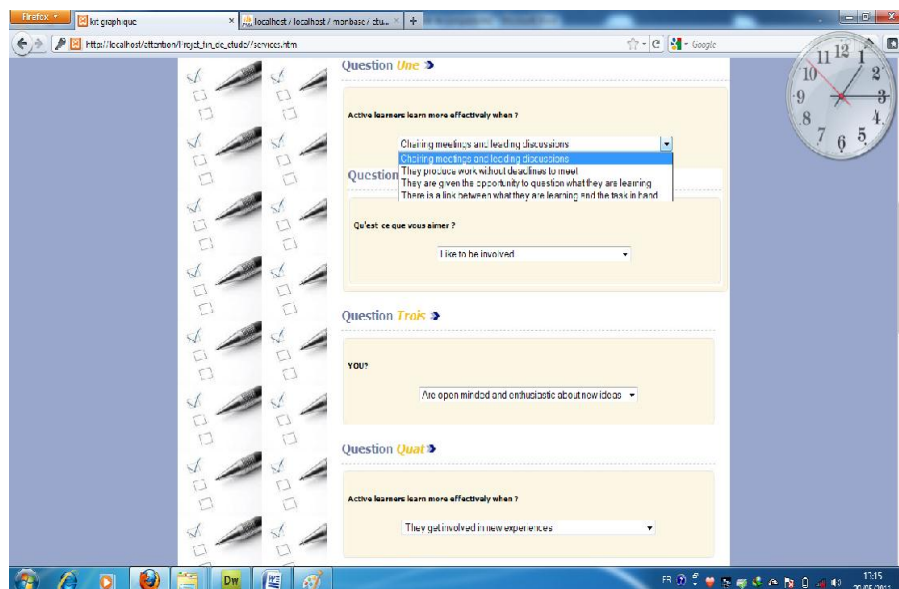


Figure 4.13 - Interface questionnaire de Honey et Mumford

Dans l'interface précédente, l'apprenant doit répondre à toutes les questions présentées dans le LSQ-FA, puis il clique sur le bouton « *valider* » pour passer à la page définissant son style d'apprentissage. La figure 4.14 montre une capture d'écran d'identification du style d'apprentissage d'un apprenant.

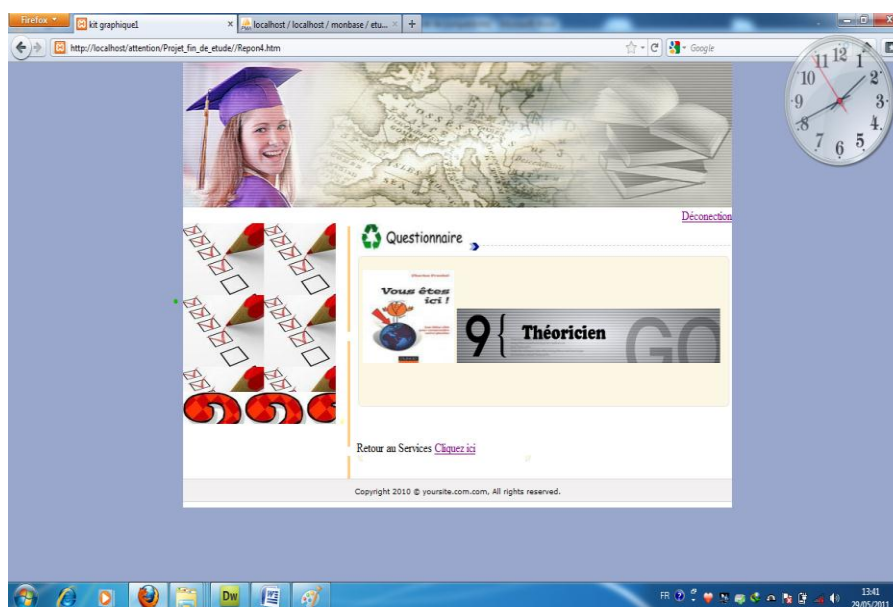


Figure 4.14 - Interface indiquant le style d'apprentissage de l'apprenant.

L'apprenant a la possibilité de modifier son style d'apprentissage en cliquant sur le lien « **clique ici** » présenté dans l'interface précédente, sinon il va suivre son cours qui est adapté à son style d'apprentissage prédéfini.

Dans notre travail, l'adaptation est basée sur le modèle de Honey et Mumford, car il s'appuie sur la théorie de l'apprentissage expérientiel qui postule qu'un apprentissage ne peut avoir lieu que lorsqu'un apprenant expérimente les informations qui lui ont été transmises ou qu'il découvre au cours d'une expérience. Autrement dit, l'apprentissage se développe par l'action, ce qui signifie qu'il est indispensable que l'apprenant applique les informations reçues. A cette raison notre travail a été expérimenté dans le cadre d'un cours de Chimie portant sur « *les réactions rapides et les réactions lentes* » car ce cours de chimie est un domaine d'ingénierie qui s'appuie essentiellement sur les aspects pratiques et les expérimentations pour assimiler et concrétiser les concepts théoriques. Et par conséquent le module d'adaptation, il va exploiter le modèle de l'apprenant et le modèle du domaine pour générer dynamiquement le document hypermédia adaptatif en exploitant les règles d'adaptation présentées au-dessous. Ainsi quatre (4) modes de parcours sont

généérés différemment : parcours en mode exploratoire, parcours en mode réfléchi, parcours en mode abstratif, et parcours en mode verificateoire.

Notre intérêt porte d'un coté sur l'adaptation des contenus des pages en se basant sur un ensembles des activités d'apprentissage (illustrations, exercices, simulations...) et d'un autre coté sur l'adaptation des liens en utilisant premièrement la technique d'ordonnancement qui consiste à ordonner les liens en fonction de leur pertinence pour un apprenant donné en suivant le cycle de l'apprentissage expérientiel, et deuxièmement celle d'annotation des liens dont le principe est de rajouter aux différents liens des commentaires pour indiquer à l'apprenant le contenu de la page qui est accessible par le lien, dans notre travail on a utilisé un ensemble d'icônes expliquant la nature de lien. Les hypermédias sur lesquels nous avons appliqué notre approche d'adaptation sont enrichis par une représentation multi points de vue de concepts selon les différentes modalités (texte, image, son, vidéo...) pour adapter aussi la présentation de l'hyperdocument.

A titre d'exemple, en prenant en premier lieu, un apprenant ayant un style théoricien. Alors, on va lui présenter un parcours en mode abstratif qui est présente premièrement des objets théoriques portant sur les réactions rapides et les réactions lentes , ces objets théoriques peuvent être représentés en utilisant des introductions, des définitions, des remarques, des formules ou bien des conclusions sous forme textuel en plein écran, et, deuxièmement un ensemble de liens ordonnés et annotés suivant le cycle de l'apprentissage expérientiel tel que : un premier lien lui dirige vers des objets interactifs lui permettant à appliquer et à essayer des connaissances et des idées , ces objets interactifs peuvent contenir des exercices à compléter ou bien des simulateur à interagir , puis un deuxième lien lui dirige vers des objets exploratoires permettant de décrire quelques expériences sur les réactions rapides et les réactions lentes, ces objets exploratoires peuvent être des expériences filmées ou bien des études de cas, et enfin un dernier lien lui dirige vers des objets illustratifs contenant des exemples , des illustrations, des comparaisons ou bien des contres exemples. La figure 4.15 montre une capture d'écran d'un cours présenté en mode abstratif destiné à un apprenant ayant un style théoricien.

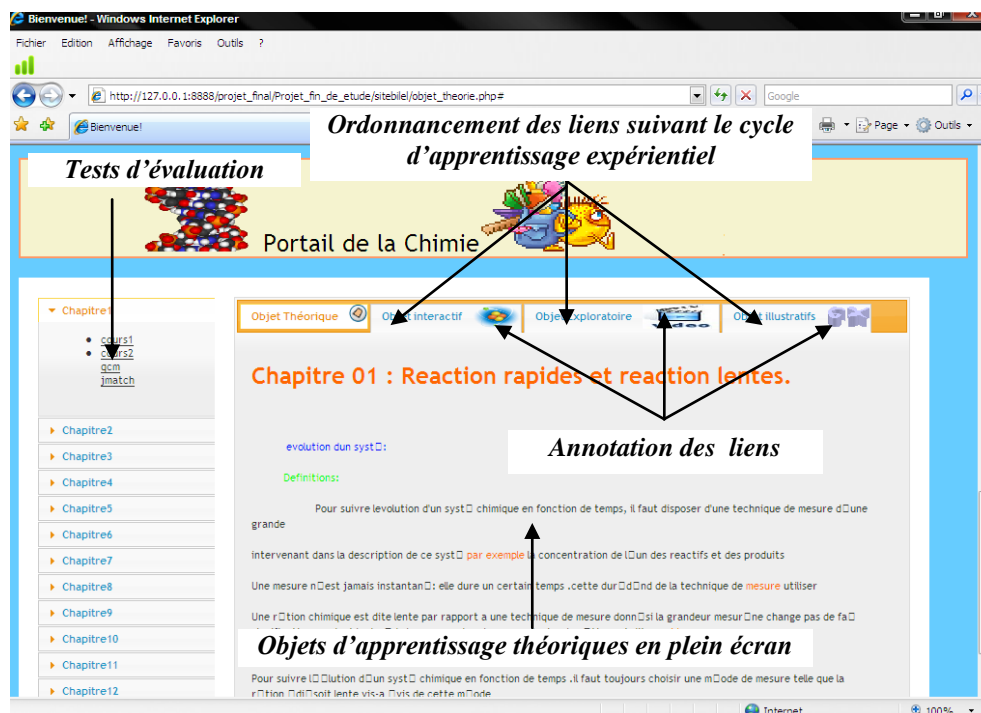


Figure 4.15 - Cours en mode abstraitif adapté à un apprenant théoricien.

En prenant en deuxième lieu, un apprenant ayant un style pragmatique. Alors, on va lui présenter un parcours en mode vérificateur. Ce parcours commence par des objets interactifs affichés en plein écran, suivi d'un premier lien vers des objets exploratoires, puis d'un deuxième lien vers des objets illustratifs, et enfin d'un lien vers des objets théoriques.

La figure 4.16 montre une capture d'écran d'un cours présenté en mode vérificateur destiné à un apprenant ayant un style pragmatique.

Enfin, nous rappelons aussi afin que les apprenants puissent valider leurs niveaux de connaissances après un cours déjà lu, notre système peut leur offrir un ensemble de tests d'évaluation sous forme de questions à choix multiples (QCM) ou bien des exercices d'appariement présentés par le module d'évaluation. La figure 4.17 montre une capture d'écran d'un ensemble d'exercices sous forme QCM.

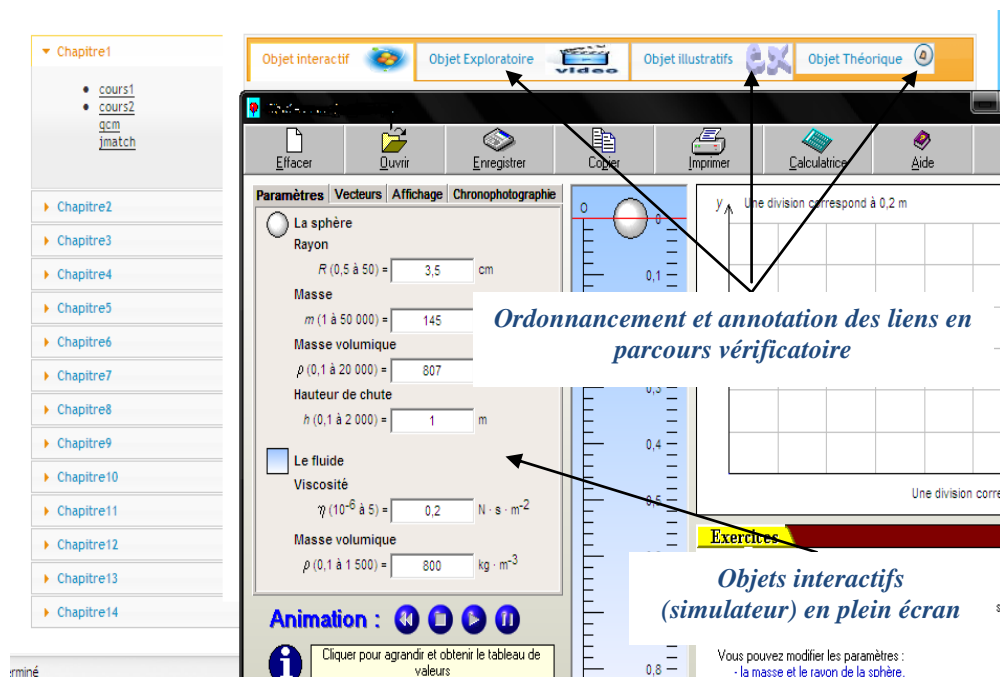


Figure 4.16 - Cours en mode vérificateur adapté à un apprenant pragmatique.

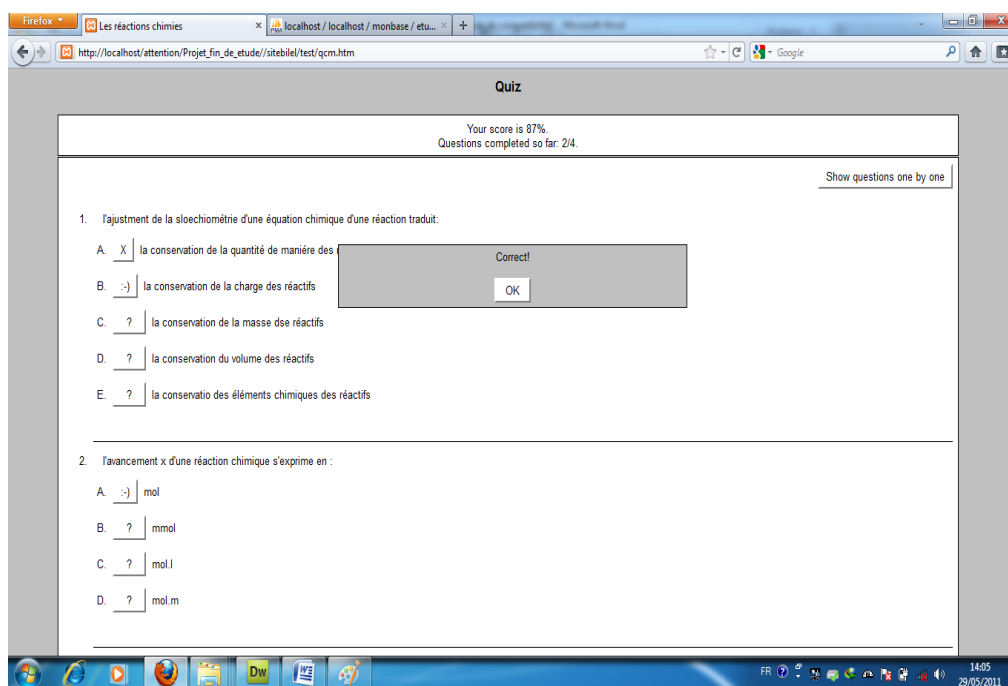


Figure 4.17 - Test d'évaluation sous forme QCM.

4.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit la réalisation de l'environnement LS-AEHS où plusieurs outils de développement ont été intégrés. Ces outils ont permis de réaliser les fonctionnalités et les choix des modèles élaborés. Nous avons présenté l'architecture adoptée, les fonctionnalités assurées par notre environnement et enfin, un prototype est décrit à travers des scénarios d'utilisation. LS-AEHS est un environnement hypermédia adaptatif d'apprentissage centré sur les styles d'apprentissage de l'apprenant. Cet environnement a permis de mettre l'apprenant en situation active d'explorer les objets pédagogiques. Dans le chapitre suivant, nous présentons les expérimentations effectuées.

Evaluation et retour d'expérience

5.1 Introduction

Afin d'explorer les effets d'adaptation par rapport aux styles d'apprentissage, nous avons fait une étude expérimentale tout en faisant appel aux statiques descriptives et très particulièrement aux statiques d'inférences en se basent sur le t-test de Student. Par conséquent, dans ce chapitre, nous décrivons le protocole d'évaluation utilisé dans notre environnement, à savoir le dispositif expérimental et le test de Student. Nous analysons les résultats obtenus. Enfin, nous présentons un bilan résultat de cette évaluation.

5.2 Dispositif expérimental

5.2.1 Statistiques d'inférence (le test de Student)

L'inférence statistique est la partie des statistiques qui, contrairement à la statistique descriptive, ne se contente pas de décrire des observations, mais extrapole les constatations faites à un ensemble plus vaste et permet de tester des hypothèses sur cet ensemble ainsi que de prendre des décisions.

Un test statistique est un mécanisme qui permet de trancher entre deux hypothèses au vu des résultats d'un échantillon [Mellot 2014]. Dans notre travail, nous allons utiliser le t-test de Student.

Le test-t de Student est un test statistique dit paramétrique car la formule dépend de la moyenne et de l'écart-type des observations à comparer. Ce test permettant de comparer les moyennes de deux groupes d'échantillons. Il s'agit donc de savoir si les moyennes des deux groupes sont significativement différentes au point de vue statistique. Il existe plusieurs variantes du test-t de Student: Le test-t de Student pour échantillon unique, Le test-t de Student comparant deux groupes d'échantillons indépendants (on parle de test de Student non apparié) et Le test-t de Student comparant deux groupes d'échantillons

dépendants (on parle de test de Student apparié). Dans le cadre de notre expérimentation, nous avons utilisé le test de Student non apparié (indépendant) au niveau de pré-test questionnaire et au niveau de post test questionnaire (voir l'annexe B).

5.2.2 Participants

Pour explorer les effets de l'adaptation par rapport au style d'apprentissage de notre système, nous avons mené une étude expérimentale [Drissi 2015]. Alors, avant d'aborder notre expérimentation en ligne, 60 étudiants issus de l'université de SOUK AHRAS en première année Math et Informatique ont été sélectionnés. Ces étudiants sont novices dans le domaine de la chimie. Par conséquent, ils n'avaient aucun pré-requis sur le cours intitulé « réactions rapides et réactions lentes ». Les participants ont été divisés au hasard en deux groupes le groupe expérimental ($n = 30$) et le groupe non expérimental ($n = 30$).

Avant que les étudiants utilisent en ligne notre système, nous leur avons exposé une courte formation sur les théories d'apprentissage et les différents modèles des styles d'apprentissages existants, en se terminant par une explication détaillée sur le modèle de Honey et Mumford utilisé dans notre expérimentation.

5.2.3 Processus d'évaluation

En premier stage, et avant de commencer le cours en ligne, les 60 apprenants ont été instruits dans la connaissance de base concernant le cours choisi «réactions rapides et réactions lentes». Après avoir reçu cette connaissance fondamentale, on a demandé aux apprenants de prendre un pré-test, qui visait à évaluer leurs connaissances de base avant de participer à l'activité d'apprentissage.

En deuxième stage, les apprenants du groupe contrôlé (non expérimental) et ceux du groupe expérimental sont invités premièrement à s'inscrire en ligne dans notre système (LS-AEHS), deuxièmement à répondre au questionnaire LSQ-FA afin d'établir leurs modèles.

Dans le troisième stage, les apprenants du groupe contrôlé sont invités à suivre leur apprentissage en utilisant une version non adaptée du cours choisi. Par contre les apprenants du groupe expérimental suivent leur apprentissage en utilisant une version adaptée du même cours choisi. Alors, la version adaptée du cours peut être présentée aux apprenants du groupe expérimental selon quatre modes de parcours pédagogiques :

parcours en mode exploratoire, parcours en mode réfléchi, parcours en mode abstraitif, ou parcours en mode vérificateur. Ces parcours sont sélectionnés tout en recommandant aux apprenants le parcours le plus adapté à leurs styles d'apprentissage.

En dernier stage, on a demandé aux apprenants (groupe contrôlé et groupe expérimental) à suivre le post-test questionnaire sous forme des tests d'évaluation notés sur (100) en répondant à des QCM ou bien à des exercices d'appariement pour mesurer leurs niveaux de connaissances et enregistrer les notes obtenues.

Avant de terminer notre expérimentation en ligne, Pour le groupe expérimental, si à l'issue d'un mode d'apprentissage généré, le test d'évaluation est réussi, alors nous enregistrons un succès ainsi que la note obtenue en faveur de l'indice de préférence associé au style d'apprentissage qui correspond à ce mode d'apprentissage. Sinon nous enregistrons un échec.

Dans le cas où le test d'évaluation est non réussi (dans le cas où la note obtenu est inférieure à 50), les étudiants sont réinvités à explorer d'autres parcours pédagogiques recommandés par le module d'analyse des traces, et à refaire le test d'évaluation dont les nouveaux résultats ont été enregistrés. Les résultats des apprenants ont servi par la suite pour évaluer l'apport de l'adaptation du notre cours en fonction des styles d'apprentissage.

A la fin de notre expérimentation, nous avons distribué aux mêmes étudiants un questionnaire afin qu'ils puissent exprimer leurs avis en terme de satisfaction ou non satisfaction concernant l'approche adoptée dans notre système hypermédia.

5.3 Résultats et discussions

Pour évaluer notre expérimentation, nous allons analyser et interpréter en premier lieu les résultats propres aux formulaires remplis par les étudiants conçus pour recueillir des données sur le contexte démographique des apprenants. Puis en deuxième lieu les résultats propres aux tests d'évaluation réalisés par ces étudiants en phase du pré-test et celle du post test, et enfin les résultats propres au questionnaire exprimant les avis des étudiants.

5.3.1 Analyse des résultats propres au questionnaire démographique

Items	Choix	Groupe contrôlé		Groupe expérimental		Total	
		F	%	F	%	F	%
<i>Sexe</i>	Masculin	12	40	06	20	18	30
	Féminin	18	60	24	80	42	70
<i>Age</i>	18 ans	11	36.7	14	46.7	25	41.4
	19 ans	09	30	08	26.7	17	28.3
	20 ans	07	23.3	05	16.6	12	20
	21 ans	03	10	03	10	06	10
<i>Age moyen</i>	M= 19.1		M=18.9		M=19		

F = fréquence, % = pourcentage

Table 5.1 - Caractéristiques démographiques des apprenants.

La table 5.1 montre les caractéristiques démographiques du groupe contrôlé et celles du groupe expérimental. Le groupe expérimental était composé de six étudiants (20%) de sexe masculin et vingt-quatre (80%) étudiants de sexe féminin. L'âge moyen était de 18,9 avec un écart type de 0,44. Le groupe contrôlé était constitué de douze étudiants (40%) de sexe masculin et dix-huit (60%) étudiants de sexe féminin. L'âge moyen était de 19,1 avec un écart type de 0,44.

5.3.2 Analyse des résultats propres au pré-test questionnaire

Comme nous l'avons déjà expliqué au-dessous, pour analyser et interpréter les résultats obtenus par les tests d'évaluations réalisés dans l'étape de pré-test nous avons fait appel au t-test indépendant de Student. Le t-test indépendant a été effectué en premier lieu afin de déterminer si le groupe contrôlé et le groupe expérimental avaient la même connaissance préalable sur le domaine étudié.

Comme on peut le voir dans la table 5.2, il n'y avait aucune différence significative entre le groupe expérimental et le groupe contrôlé dans leur connaissance préalable ($V-p > 0,05$). Ce résultat implique que ces deux groupes ne diffèrent pas de manière significative avant l'expérience. Autrement dit, les deux groupes d'apprenants avaient des capacités statistiquement équivalentes avant de prendre le cours en ligne.

Groupe contrôlé		Groupe expérimental		t-test indépendant		
Moyenne	DS	Moyenne	DS	t	dl	V-p
63.94	15.53	64.76	13.40	-0.215	58	0.831

DS: déviation standard, t: valeur t-test, dl: degré de liberté, V-p: valeur de probabilité

Table 5.2 - Résultats de t-test indépendant réalisé à l'étape du pré-test.

5.3.3 Analyse des résultats propres au LSQ-FA questionnaire réalisé par le groupe expérimental

Avant d'analyser les résultats spécifiques au post-test questionnaire, nous allons tout d'abord analyser et interpréter les résultats spécifiques à LSQ-FA de Honey et Mumford complété par les étudiants du groupe expérimental en se basant sur la statistique descriptive en utilisant différentes représentation sous forme d'histogramme et de secteur.

Les styles d'apprentissage des apprenants ont été sélectionnés en ligne par l'instrument LSQ-FA. La figure 5.1 représente la répartition des indices de préférence par rapport au style d'apprentissage de chaque apprenant. La figure 5.2 ci-dessous représente pour chacun des styles la répartition des apprenants par rapport aux indices de préférence: faible, très faible, moyen, fort et très fort. La figure 5.3, quant à elle, représente la répartition des indices de préférence affichés par l'ensemble des apprenants pour tous les styles d'apprentissage confondus.

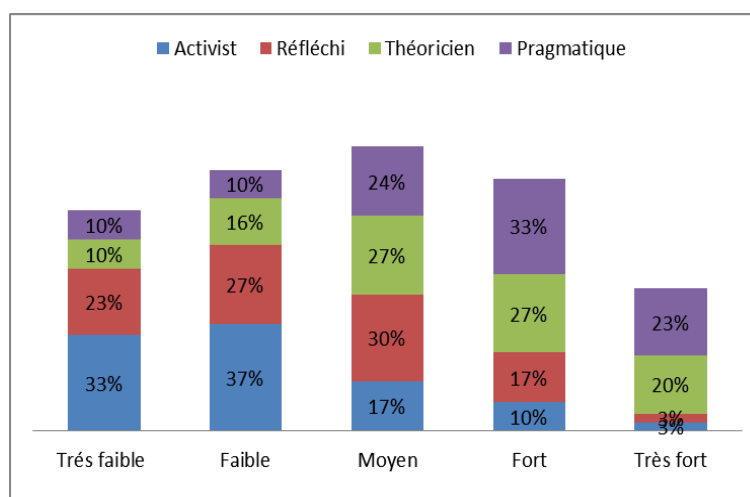


Figure 5.1 - Répartition des indices de préférence par rapport au style d'apprentissage des apprenants.

En se basant sur les résultats issus du LSQ-FA questionnaire pour le groupe expérimental exprimé dans la figure 5.2, nous avons observé les résultats suivants :

- 56% des apprenants pragmatiques ayant un indice de préférence fort/très fort,
- 47% des apprenants théoriciens ayant un indice de préférence fort/très fort,
- 70% des apprenants actifs ayant un indice de préférence faible/très faible,
- 57% des apprenants réfléchis ayant un indice de préférence faible/ très faible.

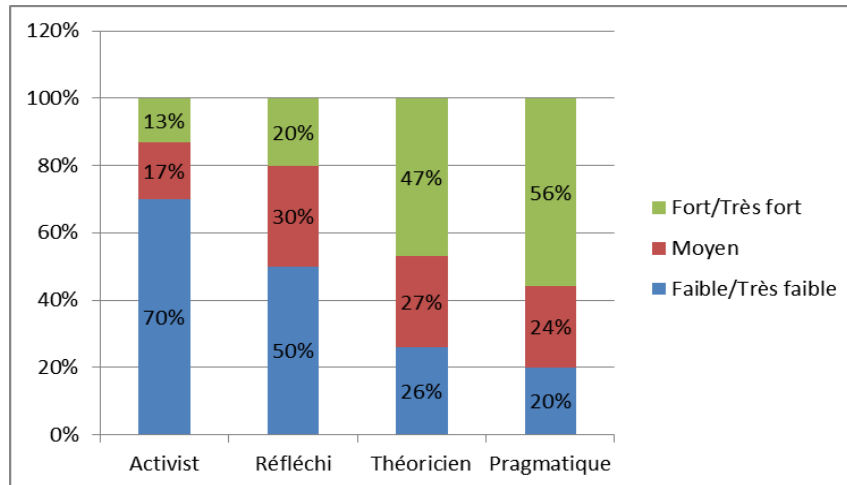


Figure 5.2 - Répartition des styles d'apprentissage des apprenants par rapport aux indices de préférence.

La répartition des apprenants par rapport aux indices de préférence met en évidence le style pragmatique et le style théoricien majoritairement marqués par l'indice fort-très fort. Après l'analyse des résultats propres au LSQ-FA, on a aussi constaté que les deux modes vérificateur et abstraitif sont les plus sélectionnés (44% pour le mode vérificateur et 33% pour le mode abstraitif). Par contre les deux modes exploratoire et réfléchi sont les moins sélectionnés comme montré par la figure 5.3 (10% pour le mode exploratoire et 13% pour le mode réfléchi).

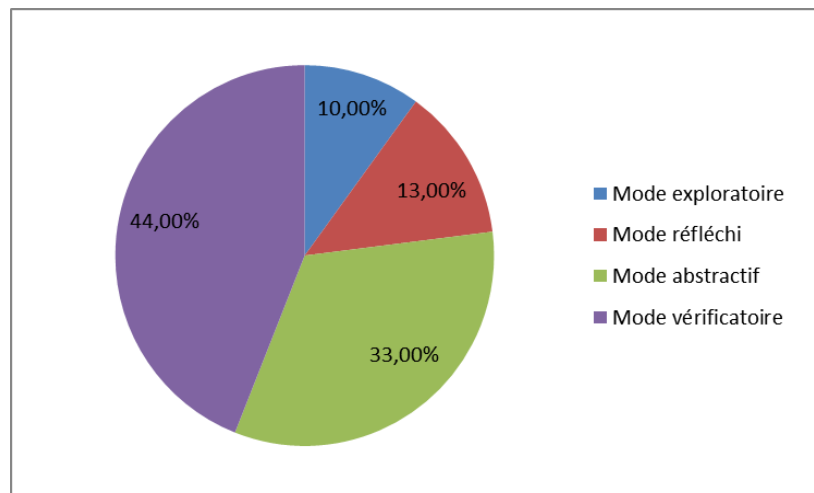


Figure 5.3 - Pourcentage des modes sélectionnés.

Ces résultats sont similaires à ceux de [page-Lamarche 2004] qui tendent à montrer que la majorité des apprenants ont un indice de préférence fort / très forte dans un style d'apprentissage ou dans une combinaison de styles d'apprentissage. Dans cette

expérimentation, nous pouvons donc dire que le style est dominant dans notre échantillon. Ces résultats ne rejoignent pas ceux de [Dahbi 2009] qui ont démontré dans leurs recherches que la plupart des apprenants n'ont pas un style d'apprentissage très distinctif.

Les résultats spécifiques au LSQ-FA questionnaire ont permis aussi de constater que les apprenants ont affiché un même indice en particulier pour les combinaisons de style suivantes: active- pragmatique et théoricien -pragmatique. Ceci s'explique par le fait que certains styles se combinent entre eux mieux que d'autres. Ce résultat est cohérent avec les études de [Fortin 1997] montrant que les gens avec le style active ont tendance à développer certaines caractéristiques de style pragmatique, mais rarement celles du style de réfléchi et théoricien.

5.3.4 Analyse des résultats propres aux tests d'évaluation réalisés par le groupe expérimental

Rappelons que notre environnement d'apprentissage offre quatre modes de parcours pédagogiques : mode exploratoire, mode réfléchi, mode abstraktif et mode pragmatique. La sélection d'un parcours est effectuée selon une probabilité qui favorise davantage le parcours relatif au style préféré de l'apprenant. Si à l'issue d'un parcours sélectionné le test d'évaluation est réussi, nous enregistrons un succès en faveur de ce parcours, sinon nous enregistrons un échec. En plus, une note est attribuée au parcours sélectionné pour établir par la suite la moyenne des notes par rapport aux parcours pédagogiques.

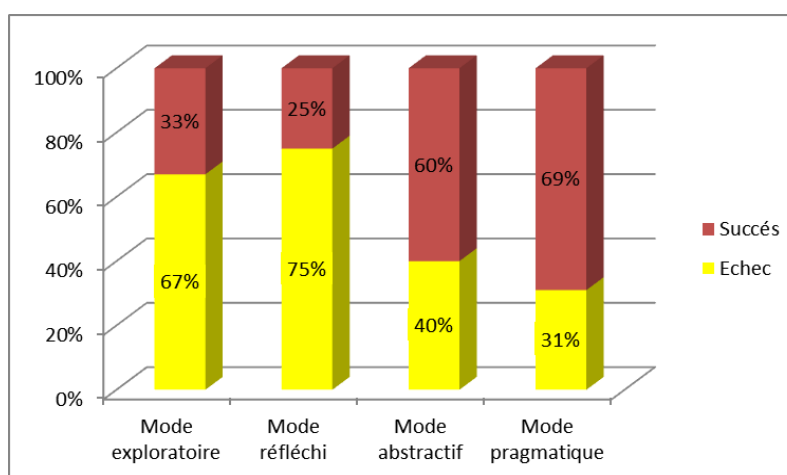


Figure 5.4 - Répartition des succès et des échecs pour chaque mode d'apprentissage.

La répartition des échecs et des succès décrite dans la figure 5.4 montre qu'il y a plus de réussite dans les deux modes vérificatoire (pragmatique) et abstraktif par rapport aux deux autres modes réfléchi et exploratoire. Ce résultat peut être expliqué par le nombre

important des étudiants pragmatiques et théoriciens qui ont un indice de préférence fort très fort (c'est à dire 56% des étudiants pragmatiques et 47% des étudiants théoriciens ont un indice fort très fort).

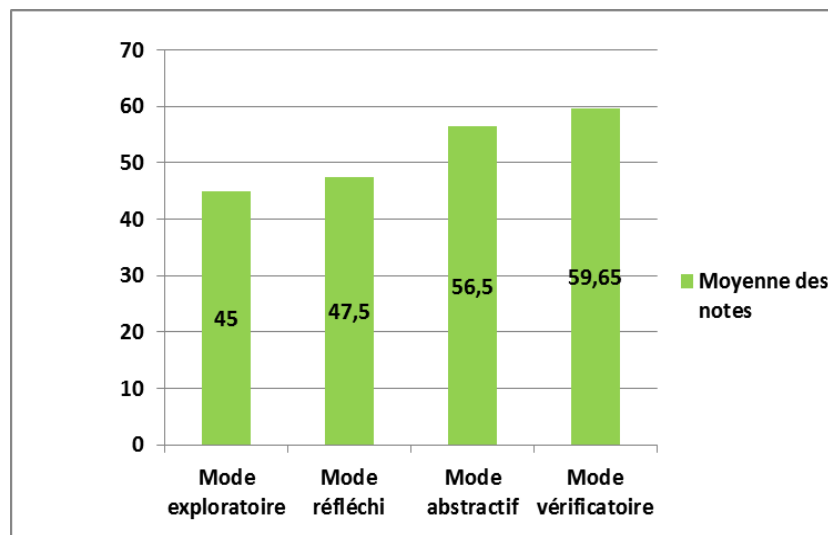


Figure 5.5 - Répartition des moyennes des notes en fonction des modes d'apprentissage.

La représentation des moyennes des notes obtenues en fonction des modes d'apprentissage mentionnée dans la figure 5.5 montre que les deux modes vérificateur et abstraitif sont marqués par une moyenne des notes supérieure à cinquante (50). Remarquant que la moyenne des notes obtenue pour le mode vérificateur est égale à 59.65 et celle du mode abstraitif est égale à 56.5. Ce résultat peut être expliqué par le nombre réduit des étudiants pragmatiques et théoriciens qui ont un indice de préférence faible très faibles pour les deux modes vérificateur et abstraitif (20% des étudiants pragmatiques et 26% des étudiants théoriciens ont un indice faible très faible).

Pour les deux modes exploratoire et réfléchi, nous avons marqué une mauvaise moyenne des notes obtenues, ce qui peut être interprété par le nombre important d'apprenants qui ont une préférence faible/ très faible pour les deux styles d'apprentissage actif et réfléchi (70% pour les actifs et 50% pour les réfléchis).

Ce faiblissement aussi peut être expliqué, par le fait que notre système (LS -AEHS) souffre d'un manque d'outil d'interaction (comme les chats, les forums...) qui favorisent les échanges entre les apprenants. Par conséquent, ceci peut influencer la performance des étudiants actifs. Par ce que ce type préfère discuter, soulever différentes hypothèses, confronter des idées aux autres et partager ses connaissances. Alors on souligne que ce résultat rejoint aussi celui démontré par [Dahbi 2009].

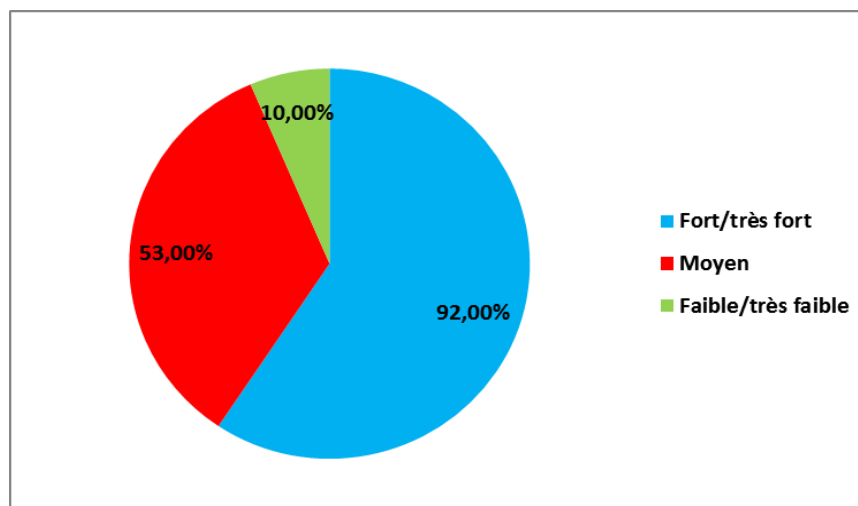


Figure 5.6 - Les pourcentages des succès par rapport aux indices de préférence.

D'après la figure 5.6, on peut conclure que l'indice de préférence marqué pour un style donné peut influencer d'une façon directe les performances des étudiants de tel sorte que lorsque le mode d'apprentissage présenté à l'apprenant correspond à son style, marqué par l'indice de préférence fort/ très fort, nous avons une réussite dans 92% des cas. Dans la même logique, lorsque le parcours pédagogique présenté à l'apprenant présenté par un style marqué par un indice de préférence faible/ très faible, nous avons une réussite dans 10% des cas seulement. Lorsque le parcours pédagogique est adapté à l'apprenant, marqué par un indice moyen, nous avons une réussite de 53% des cas.

Ces résultats sont conformes à ceux publiés dans [Bajraktarevic 2003] qui montrent que l'adaptation d'un cours aux styles d'apprentissage des apprenants améliore leurs scores. Une autre étude expérimentale proposée dans [Brown 2006] ne montre aucune influence sur les performances des apprenants. Les résultats de ces recherches peuvent parfois apparaître contradictoires. Par conséquent, à ce stade, nous ne pouvons donc affirmer définitivement que l'adaptation d'un cours au style d'apprentissage préféré de l'apprenant entraîne l'amélioration de ses performances, mais nous pouvons souligner que, dans notre cas, cette adaptation a contribué effectivement à une amélioration des performances et à un grand taux de succès.

Avant de finir l'interprétation des résultats propres aux tests d'évaluation, nous rappelons que dans le cas où les tests d'évaluation réalisés par les apprenants ont été échoués (score obtenu inférieur à 50), le module d'analyse de traces met en cause ces styles d'apprentissage qui provoquent ces échecs et leur propose d'autre mode d'apprentissage

pour ce même cours suivi par autres tests d'évaluation. Après la mise en cause de ces styles d'apprentissage nous avons marqué les résultats suivants montrés dans la figure 5.7 et la figure 5.8.

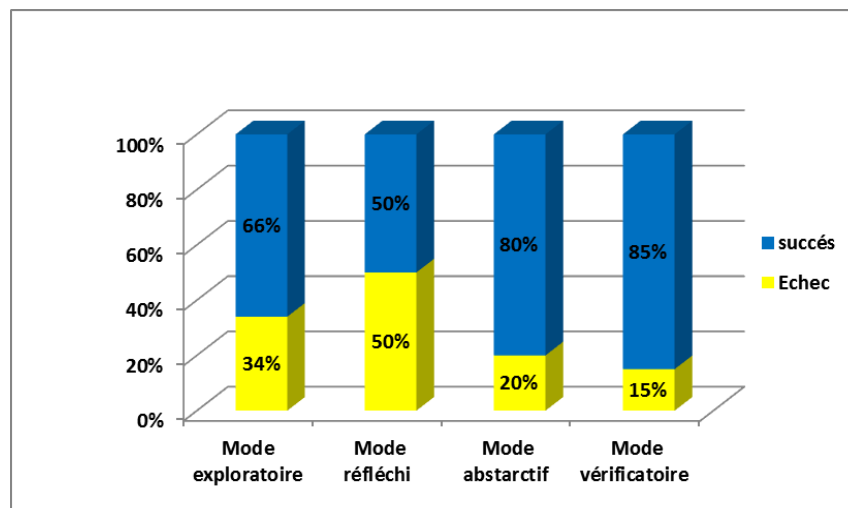


Figure 5.7 - Les pourcentages des succès par rapport aux indices de préférence après la mise en cause des styles d'apprentissage.

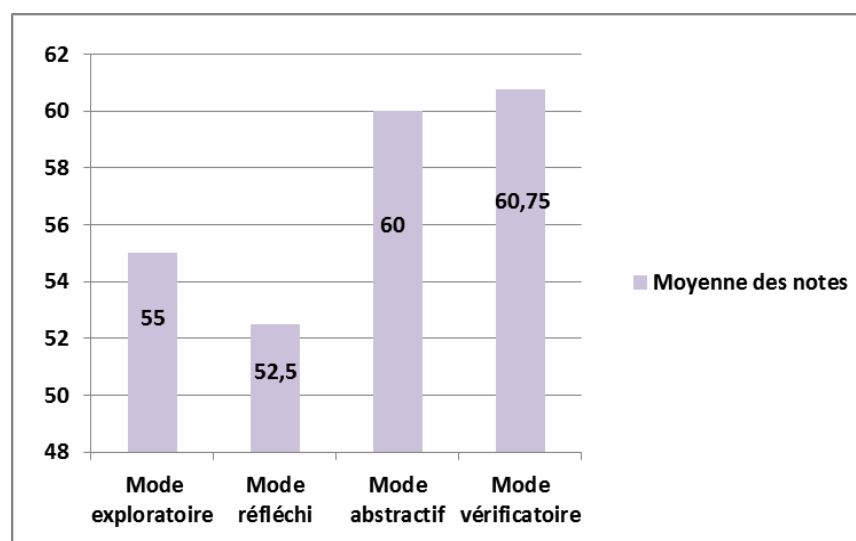


Figure 5.8 - Répartition des moyennes des notes en fonction des modes d'apprentissage après la mise en cause des styles d'apprentissage.

D'après les deux figures mentionnées au-dessus, nous constatons que le taux de succès et les moyennes des notes obtenues ont été améliorés pour chaque mode d'apprentissage et particulièrement pour le mode exploratoire ainsi que le mode réfléchi. Rappelons que le taux d'échec pour le mode exploratoire était égal à 67% et la moyenne des notes obtenues était égale à 45, par contre après la mise en cause des styles d'apprentissage des étudiants, le taux d'échec a diminué à 34% et la moyenne des notes obtenues a augmenté à 55. Cette

amélioration des scores des étudiants montre d'un autre côté, le rôle important que joue le module d'analyse de traces dans notre architecture.

Afin de répondre réellement à notre pertinente question qui consiste à affirmer ou à infirmer l'apport du style d'apprentissage vis-à-vis de l'adaptation dans un contexte d'auto-apprentissage par le web, nous avons renforcé notre expérimentation par l'utilisation pour la deuxième fois, de t-test de Student dans la phase du post-test questionnaire réalisé par le groupe expérimental et le groupe contrôlé qui sera présenté dans la section suivante.

5.3.5 Analyse des résultats propres au post-test questionnaire

Le t-test indépendant de Student a été réalisé à ce niveau afin de comparer la moyenne des notes des deux groupes (le groupe expérimental et le groupe contrôlé) obtenue dans le stage du post-test questionnaire.

Le t-test a déterminé que la différence mesurée entre la moyenne des notes du groupe contrôlé et celle du groupe expérimental était significativement différente. Les résultats montrent que le groupe expérimental qui a suivi une version de cours adapté à son style sous forme de quatre modes d'apprentissage a bien réussi dans le post-test questionnaire mieux que le groupe contrôlé qui a suivi une version non adapté du même cours ($t = -3.29$, $dl=58$, $v-p=0.0017 < 0.05$). La table 5.3 montre les résultats de comparaison.

Groupe contrôlé		Groupe expérimental		T-test Indépendant		
Moyenne	DS	Moyenne	DS	t	dl	V-p
69.42	12.05	78.63	09.12	-3.29	58	0.0017*

*Différence significative DS: déviation standard, t: valeur t-test, dl: degré de liberté, V-p: valeur de probabilité

Table 5.3 - Résultats de t-test indépendant réalisé à l'étape du post-test.

Les résultats obtenus montrent clairement que l'introduction de styles d'apprentissage en tant que critère d'adaptation dans un système hypermédia pour le e-learning améliore le rendement et les performances des apprenants. Par conséquent, nos résultats sont conformes à ceux publiés dans [Popescu 2008a], [Dahbi 2009], [Anthony 2013], [Stevens 2013], [Yang 2013] et [Eltigani 2011] qui montrent que l'adaptation d'un cours aux styles d'apprentissage des apprenants améliore leurs scores.

5.3.6 Analyse des résultats propres au formulaire exprimant les avis des apprenants

Question	Pourcentage	
	Oui	Non
Q1) L'organisation de cours sous formes des objets pédagogique (objets illustratifs, objets théoriques, objets interactifs et objets exploratoire) facilite l'assimilation de cours ?	67%	33%
Q2) L'ordonnancement et l'annotation des liens suivant le cycle de l'apprentissage expérimental facilitent notre navigation et exploration de document hypermédia sans risquer de désorientation et du surcharge cognitive ?	74%	26%
Q3) Nous sommes satisfaits à travers l'utilisation de LS-AEHS, et nous allons suivre notre apprentissage à travers son utilisation ?	75%	25%

Table 5.4 - Formulaire exprimant quelques avis des apprenants.

Globalement, d'après la table 5.4, les résultats montrent que la majorité des apprenants déclarent que l'adaptation des cours en fonction des styles d'apprentissage a été globalement utile. Deuxièmement que la plupart des apprenants ont apprécié les parcours d'apprentissage déduits par le système. Et enfin que les apprenants se sont satisfaits à utiliser notre système LS-AEHS dans le futur.

5.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les résultats des expérimentations faites sur notre environnement d'apprentissage adaptatif LS-AEHS. Ainsi, nos résultats sont cohérents avec ceux publiés dans [Cabada 2011], [Mampadi 2011], [Papanikolaou 2003], [Popescu 2009], [Sanginetto 2008] et [Schiaffino 2008] qui montrent que lors de l'adaptation d'un cours hypermédia basée sur le style d'apprentissage les niveaux de satisfaction des étudiants étaient plus élevés. Alors, les premiers tests de la mise en œuvre du système ont répondu aux objectifs définis au préalable dans cette thèse. Nous avons vérifié l'apport de la prise en compte des styles d'apprentissage, en tant que critère d'adaptation, aux performances des apprenants. Les résultats sont encourageants et montrent que cette adaptation a optimisé l'apprentissage et amélioré les performances des apprenants.

Conclusion et Perspectives

LS-AEHS est un environnement hypermédia adaptatif dynamique qui a été basé sur le modèle de Honey et Mumford et la théorie d'apprentissage expérientiel. Cet environnement fournit aux apprenants un parcours guidé par les styles d'apprentissage. Il suffit que l'apprenant choisisse la notion cible qui l'intéresse pour qu'un parcours d'apprentissage lui soit généré automatiquement. Les objets pédagogiques ainsi fournis à l'apprenant sont les résultats d'une recherche intelligente basée sur un ensemble de règles d'adaptation.

Bilan

Notre travail de recherche s'inscrit dans ce contexte d'environnements de formation hypermédia. L'adaptation, l'enjeu majeur dans ce domaine, concerne deux entités principales: l'apprenant et l'objet pédagogique. Pour cela, et vu que la richesse et la complexité de ce domaine, cette thèse est consacrée à la proposition d'un ensemble de règles d'adaptation qui seront exploitées pour l'adaptation de la présentation ainsi que la navigation d'un hypermédia éducatif aux styles d'apprentissage d'un apprenant donné, tout en se basant sur le modèle de Honey et Mumford d'un côté et sur la théorie d'apprentissage expérientiel d'un autre côté.

Ce projet de thèse a été effectué selon une démarche comportant les phases suivantes :

- Concevoir un système hypermédia adaptatif dynamique tout en adoptant la théorie de l'apprentissage expérientiel.
- Déterminer des styles d'apprentissage des apprenants en utilisant le modèle de Honey et Mumford.
- Ce servir de ces styles d'apprentissage pour adapter la navigation des liens d'un cours hypermédia en utilisant les techniques d'ordonnement et d'annotation des liens.

Rappelant que l'ordonnement des liens s'est basé sur le cycle de l'apprentissage expérientiel, et une annotation des liens s'est basée sur un ensemble des icônes différentes pour représenter un objet théorique, un objet illustratif, un objet exploratoire ou bien un objet interactif.

- Adapter la présentation de notre cours en utilisant des représentations multi points de vue de concepts selon la combinaison des différents médias (texte et image, son et texte, vidéo et texte ...).
- Fournir une description générale pour décrire des ressources pédagogiques adéquates pour chaque étape de l'apprentissage expérientiel et pour chaque style d'apprentissage donné.
- Déterminer des règles d'adaptation pour chaque style d'apprentissage en respectant chaque phase de l'apprentissage expérientiel.
- Offrir un module d'évaluation pour que les apprenants puissent évaluer et tester leurs niveaux de connaissance après l'apprentissage d'un chapitre donné à partir des cours adaptés à leurs styles d'apprentissage.
- Intégrer un module d'analyse de parcours pour aider l'apprenant dans l'exploration de nombreux parcours pédagogiques.
- Evaluer les performances de notre système pour affirmer ou infirmer l'apport des styles d'apprentissage vis-à-vis de l'adaptation.

Perspectives

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

- Pour rompre l'isolement de l'apprenant, nous proposons une approche de collaboration qui consiste à utiliser les connaissances du système sur les différents apprenants (stockées dans leurs modèles) pour former un groupe de travail. Par exemple les

apprenants qui ont des styles d'apprentissage similaires sont identifiés par le système et sont regroupés et proposés à l'apprenant qui sollicite de la collaboration.

- Effectuer une analyse des traces d'utilisation des différents objets pédagogiques par l'apprenant. Ceci va permettre surement d'affiner et de compléter la description de son style d'apprentissage préféré.
- Incorporer un outil auteur dans notre environnement pour faciliter la tâche des enseignants pour la production des contenus pédagogique en se basant sur notre approche élaborée.
- Incorporer un module d'identification de style d'apprentissage d'une manière implicite en se basant sur la détecte des traces d'apprentissage des apprenants.
- Faire appel au web sémantique pour la description de nos modèles élaborés comme le paradigme des ontologies pour la description du modèle apprenant et du modèle du domaine. Ces ontologies permettent d'avoir des descriptions partagées et communes, donc réutilisables et aisément adaptables pour répondre à différents besoins de formation.
- Intégrer des outils de collaboration pour faciliter le travail en groupe entre les apprenants comme le chat, messagerie et les forums.

Liste des travaux publiés

I- Revues Internationales (avec comité de lecture)

1. Samia Drissi and Abdelkrim Amirat. “*An experimental study to evaluate learning style personalisation in web-based adaptive e-learning systems*”, To appear in International journal of Innovation and Learning.
2. Samia Drissi and Abdelkrim Amirat. “*An adaptive e-learning hypermedia system: design and evaluation*”, Electronic Journal of Digital Entreprise(EJDE), Issue 37, ISSN 1776-2960, 2013.

II- Conférences Internationales (avec comité de lecture)

1. Samia Drissi and Abdelkrim Amirat, “*Modélisation, réalisation et évaluation d’un système hypermédia éducatif centré sur les styles d’apprentissage*”, Environnements Informatiques pour l’Apprentissage Humain(EIAH’13), 6th ed., Toulouse, France, 29–31 May 2013.
2. Samia Drissi and Abdelkrim Amirat, “*An adaptive e-learning hypermedia system: design and evaluation*”, 3rd. International Symposium ISKO-Maghreb’2013, Concepts and Tools for Knowledge Management (KM), Marrakech, Morocco, 8–9 November 2013 [online] <http://www.isko-maghreb.org>.
3. Samia Drissi and Abdelkrim Amirat, “*Evaluation of an Adaptive E-learning Hypermedia System based on learning styles*”. Second conference on theoretical and applicative aspects of computer sciences, CTAACS’2013, Skikda, Algérie, 25-26 November 2013.

III- Conférences Nationales (avec comité de lecture)

1. Samia Drissi and abdelkrim Amirat, “*An adaptative E-learning hypermedia system*”, Proceeding des 3ièmes journées doctorales en informatique de Guelma, page 122, à l’université 8 Mai 1945, Guelma, Algérie, 4-5 December 2013.

Bibliographie

- [ABI CHAHINE 2009] Abi Chahine, C., Kotowicz, J-P., Chaignaud N. and Pécuchet, J-P. Conception d'un outil d'aide à l'indexation de ressources pédagogiques. EIAH09 Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain, Le Mans 2009.
- [AKBULUT 2012] Akbulut, Y. and Cardak, C.S. (2012). Adaptive educational hypermedia accommodating learning styles: a content analysis of publications from 2000 to 2011, *Computers & Education*, Vol. 58, No. 2, pp.835–842.
- [AL-AZAWEI 2014] Al-Azawei, A. and Badii, A. (2014). State of the art of Learning Styles Based Adaptive Educational Hypermedia Systems (LS-BAEHSS). *International Journal of Computer Science & Information Technology*, Vol. 6, No. 3, pp. 1-19.
- [ALGORA 2010] http://ressources.algora.org/frontblocks/news/papers.asp?id_papers=1266.
- [ANTHONY 2103] Anthony, P., Joseph, N.E. and Ligadu, C. (2013). Learning how to program in C using adaptive hypermedia system, *International Journal of Information and Education Technology*, Vol. 3, No. 2, pp.151–155.
- [BAJRAKTAREVIC 2003] Bajraktarevic, N., Hall, W. and Fullick, P. (2003). Incorporating learning styles in hypermedia environment: Empirical evaluation. Proceedings of the Fourteenth Conference on Hypertext and Hypermedia, Nottingham.
- [BRAKER 2002] Barker T., Jones S., Britton C. and Messer D. (2002). The Use of a Co-operative Student Model of Learner Characteristics to Configure a Multimedia Application, *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 12(2-3), pp.207-241.
- [BALASUBRAMANIAN 1994] Balasubramanian, V. (1994). State of the Art Review on Hypermedia Issues and Applications. Graduate School of Management. Newark, NJ: Rutgers University, 1994. 85p.
- [BEHAZ 2012] Behaz, A. (2012). Environnement Numérique de Travail de type Hypermédia Adaptatif Dynamique. Thèse de doctorat, Université de Hadj Lakhdar Batna, Algérie.
- [BELKASMI 2005] Belkasm, Y. (2005). Spécification des contraintes spatiales temporelles dans le système de télé-enseignement SMART-Learning. Thèse de doctorat d'état, Rabat, Maroc.
- [BENADI 2004] Benadi, S. (2004). Structuration des données et des services pour le télé-enseignement. Thèse de Doctorat de l'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon.
- [BENMOHAMED 2007] Benmohamed, H. (2007). ICCT@LAB: UN environnement informatique pour la génération et l'exécution de scénarios de télé TP. Thèse de doctorat, Université de Lyon.
- [BENTHAM 2002] Bentham, S. (2002). Psychology and Education, Routledge.
- [BLANDIN 2004] Blandin, B. (2004). Historique de la formation ouverte et à distance, *Actualité de la formation Permanente*, n°189, pp. 69-7.
- [BOUREKKACHE 2009] Bourekache, S., Kazar, O. (2009). Agent-Based Approach for E-Learning. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, Vol 4, No 4, 2009.
- [BOUREKKACHE 2014] Bourekache, S. (2014). Un environnement sémantique à base d'agent pour la formation à distance (E-Learning). Thèse de doctorat, Université Mohamed Khider de Biscra.
- [BOUSBIA 2008] Bousbia, N., Labat, JM., Rebai, I., et Balla, A. (2008). Détection des Styles d'Apprentissage par l'Analyse des Comportements dans un Espace Numérique. Technologie de l'Information et de la Communication pour l'Enseignement TICE 2008, Paris, France.
- [BOUSBIA 2011] Bousbia, N. (2011). Analyse des traces de navigation des apprenants dans un environnement de formation dans une perspective de détection automatique des styles d'apprentissage. Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie - France & ESI -Algérie.

- [BROISIN 2006] Broisin J., Vidal P., Sibilla M. (2006). A management framework for tracking user activities in a web-based learning environment based on a model driven approach. Educational multimedia, hypermedia & telecommunications (EDMEDIA 2006), Orlando, AACE, juin2006.
- [BROWN 2006] Brown, E., Brailsford, T., Fisher, T., Moore, A., et Ashman, H. (2006). Reappraising Cognitive Styles in Adaptive Web Applications.
- [BRUILLARD 2000] BRUILLARD, E., DELOZANNE, E., LEROUX, P., DELANNOY, P., DUBOURG, X., JACOBONI, P., LEHUEN, J., LUZZATI, D., TEUTSCH, P. (2000). Quinze ans de recherche informatique sur les sciences et techniques éducatives au LIUM. *Revue Sciences et Techniques Educatives*, vol. 7, n°, pp. 87-145.
- [BRUSILOVSKY 1996] Brusilovsky, P., Schwarz & Gerhard, W. (1996). ELM-ART: An intelligent tutoring system on World Wide Web», In C. Frasson, G. Gauthier & A. Lesgold, «Intelligent Tutoring Systems», Volume 1086 of *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 261-269.
- [BRUSILOVSKY 1998] Brusilovsky, p. (1998). Methods and Techniques of Adaptive Hypermedia, in P. Brusilovsky, A. Kobsa & J. Vassileva (eds), *Adaptive Hypertext and Hypermedia*, Klumer Academic Publishers.
- [BRUSILOVSKY 2001] Brusilovsky, P. (2001). Adaptive Hypermedia. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, vol. 11, pp. 87-110.
- [BRUSILOVSKY 2007] Brusilovsky, P. et Millan, E. (2007). User models for adaptive hypermedia and adaptive educational systems. *The Adaptive Web: Methods and Strategies of Web Personalization*. A. K. a. W. N. Brusilovsky. Berlin Heidelberg, New York, 4321: 3-53, Springer-Verlag.
- [BRUSILOVSKY 2004] Brusilovsky, P. (2004). Adaptive Navigation Support: From Adaptive Hypermedia to the Adaptive Web and Beyond. *PsychNology Journal*, Vol. 2, No. 1, pp. 7-23.
- [BRUSILOVSKY 2005] Brusilovsky P. Nejd. (2005). Adaptive hypermedia and Adaptive Web, In: M. P. Singh (ed.) *Practical Handbook of Internet Computing*. Baton Rouge: Chapman Hall & CRC Press, pp. 1.1-1.14.
- [BUSH 1945] Bush, V. (1945). As we think. *Atlantic Monthly*, Vol. 176.
- [CABADA 2011] Cabada, R.Z., Estrada, M.L.B. and García, C.A.R. (2011) 'EDUCA: a web 2.0 authoring tool for developing adaptive and intelligent tutoring systems using a Kohonen network, *Expert Systems with Applications*, Vol. 38, No. 8, pp.9522–9529.
- [CARVER 1999] Carver, C.A., Howard, R.A., et Lane W.D. (1999). Addressing different learning styles through course hypermedia. *IEEE Transactions on Education*, 42(1): pp. 33-38.
- [CHA 2006] Cha, H. J., Kim, Y. S., Park, S. H., Yoon, T. B. , Jung Y. M., Lee J. H. (2006). Learning Styles Diagnosis Based on User Interface Behaviors for the Customization of Learning Interfaces in an Intelligent Tutoring System. Proc. ITS 06, Springer.
- [CARRO 2001] Carro, R.M., Pulido, E., et Rodriguez, P. (2001). TANGOW: a model for internet-based learning. *International Journal of Continuing Engineering Education and Life Long Learning*, 11(1-2): pp. 25-34.
- [CAROLYN 2001] Carolyn, S., (2001). Myers Briggs Type Preferences in Distance Learning Education. *International Journal of Educational Technology*, 2(2).
- [CASSIDY 2003] Cassidy, S. (2003). Learning styles: an overview of theories, models and measures . The 8th Annual Conference of the European Learning Styles Information.
- [CHEN 2008] Chen, S. Y. et Liu, X. (2008). An integrated approach for modeling learning patterns of students in Web-based instruction: A cognitive style perspective. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 15(1): pp. 28.

- [CHEVRIER 2000] Chevrier, J., Fortin, G., Théberge, M., et Le Blanc, R. Le style d'apprentissage : une perspective historique. *Le style d'apprentissage*, ACELF, XXVIII (1) (2000).
- [COFFIELD 2004] Coffield, F., Moseley, D., Hall, E., and Ecclestone, K. (2004). Learning styles and pedagogy in post-16 learning. *A systematic and critical review*. London: Learning and Skills Research Centre.
- [CONKLIN 1987]: Conklin, J. (1987). Hypertext: an introduction and survey. Microelectronic and Computer Technology Corp., pp. 18-40.
- [CORNWELL 1991] CORNWELL, J.M., MANFREDO, P.A. et DUNLAP, W.P. (1991). Factor Analysis of the 1985 Revision of Kolb's Learning Style Inventory. *Educational and Psychological Measurement*, vol. 51, pp. 455-462.
- [CRONBACH 1977] Cronbach L., et Snow R. (1977). Aptitudes and Instructional Methods: A Handbook for Research on Interactions. New York, Irvington Publishers.
- [CURRY 1983] Curry, L. (1983). An organization of learning style theory and constructs. Learning style in continuing medical education. L. C. (Ed.). Ottawa, Ontario, Council on Medical education, Canadian medical Association.
- [DAHBI 2009] Dahbi, A., El kamoun, NA., & Berraissoul, A. (2009) conception d'un système hypermédia d'enseignement adaptatif centré sur les styles d'apprentissage: modèle et expérience, *Revue internationale des technologies en pédagogie universitaire. International Journal of Technologies in Higher Education*, Vol. 6, No. 1, pp. 55-71.
- [DEBELLO 1990] DeBello, T. C. (1990). Comparison of eleven major learning styles models: Variables, appropriate populations, validity of instrumentation, and research behind them. *International Journal of Reading, Writing, and Learning Disabilities*, 6(3): pp.203-222.
- [DE BRA 1999] De Bra, p. G.J. Houben, H. Wu (1999). AHAM: A Dexter-based Reference Model for Adaptive Hypermedia Applications. Proc. 10 th ACM Conference on Hypertext and Hypermedia, pp. 147-156.
- [DE BRA 2002] De Bra, P., Aerts, A., Smits, D., et Stash, N. (2002). AHA! Version 2.0, More Adaptation Flexibility for Authors. Proceedings of the AACE ELearn'2002 Conference, October 2002.
- [DE BRA 2004] De Bra P., Nejdil W., (2004). Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems , Third International Conference, AH 2004, Eindhoven, Netherlands, August 23- 26.
- [DELESTRE 2002] DELESTRE, N, FRÉNOT, S, MOTTELET, S, VAYSSADE, S. TICE'2002, Lyon, 2002, pp. 149-159.
- [DESPRÉS 2001] Després (2001). Modélisation et Conception d'un Environnement de Suivi Pédagogique Synchronique d'Activités d'Apprentissage à Distance. Thèse de l'Université du Maine, Le Mans, France.
- [DIETERICH 1993] Dieterich, H., Malinowski, U., Khme, T. & Schneider-Hufschmidt M. (1993). State of the Art in Adaptive User Interfaces, In M. Schneider-Hufschmidt, T. Khme & U. Malinowski, (eds.): *Adaptive User Interfaces: Principle and Practice*, Amsterdam, North Holland, 1993.
- [DOSSOU 2008] Dossou, A-K., DOGBE, S., Anne, D. (2008). Etude comparative de plates-formes de formation à distance, dans le cadre du Projet @2L.
- [DRAPER 1996] Draper, S.W. (1996). Observing, Measuring, or Evaluating Courseware: A Conceptual Introduction. *Implementing Learning Technology, Learning Technology Dissemination Initiative*. G. Stoner: pp. 58-65.
- [DRISSI 2013A] Drissi, S. and Amirat, A. (2013a). Modélisation, réalisation et évaluation d'un système hypermédia éducatif centré sur les styles d'apprentissage. *Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (EIAH'13)*, 6th ed., Toulouse, France, 29–31 May.

- [DRISSI 2013B] Drissi, S. and Amirat, A. (2013b). An adaptive e-learning hypermedia system: design and evaluation', 3rd. International Symposium ISKO-Maghreb'2013, Concepts and Tools for Knowledge Management (KM), Marrakech, Morocco, 8–9 November [online] <http://www.isko-maghreb.org>.
- [DRISSI 2013C] Drissi, S., Amirat, A. (2013c). Evaluation of an Adaptive E-learning Hypermedia System based on learning styles. Second conference on theoretical and applicative aspects of computer sciences, CTAACS'2013, Skikda, Algérie.
- [DRISSI 2015] Drissi, S., Amirat, A. (2014). An experimental study to evaluate learning style personalisation in web-based adaptive e-learning systems. To appear in *Int. J. Innovation and Learning*.
- [DRUCKER 2000] Drucker P. (2000). Need to Know: Integrating e-Learning with High Velocity Value Chain, A Delphi Group White, 2000.
- [DUTAMA 2005] Duitama, F., Defude, B. Bouzghoub, A. & C. Carpentier, C. (2005). A framework for the generation of adaptive courses based on semantic metadata. *Multimedia Tools and Applications*, 26-3, pp.377-390.
- [DUNN 1978] Dunn, R., et Dunn, K (1978). Teaching Students Through Their Individual Learning Styles: A Practical Approach. Virginia, Reston Publishing.
- [DUNN 1996] Dunn, R., Dunn, K., et Price, G. E. (1996). Learning Style Inventory. Price Systems, Lawrence, KS.
- [DUNN 2003] Dunn, R., Griggs, S. (2003). Synthesis of the Dunn and Dunn Learning Styles Model Research: Who, What, When, Where and So What? The Dunn and Dunn Learning Styles Model and Its Theoretical Cornerstone. New York: St John's University.
- [DUNN 1993] Dunn, R., Dunn, K. (1993). Teaching Secondary Students through Their Individual Learning Styles: Practical Approaches for Grades 7-12. Boston : Allyn and Bacon.
- [ELTIGANI 2011] Eltigani, Y., Mustafa, M., and Sharif, M.S. (2011). An approach to adaptive Elearning hypemedia system based on learning styles (AEHS-LS): implementation and evaluation, *International Journal of Library and Information Science*, Vol. 3, No. 1, pp. 15-28.
- [FABREGAT 2000] Fabregat, R., Marzo, J. L., et Peña, C. I. (2000). Teaching support units. Computers and education in the 21st century. Kluwer Academic Publishers: 163-174.
- [FELDER 1988] Felder, R., et Silverman, L.K. (1988). Learning and Teaching Styles In Engineering Education. *Engr. Education*, 78(7): pp. 674-681.
- [FELDER 1993] Felder, R. (1993). Reaching the Second Tier: Learning and Teaching Styles in College Science Education. *College Science Teaching*, Vol 23(5), pp 286-290.
- [FELDER 1995] Felder, R., et Henriques (1995). Learning and Teaching Styles In Foreign and Second Language Education. *Foreign Language Annals*, 28(1): pp. 21-31.
- [FELDER 2002] Felder, R. (2002). Learning and Teaching Styles In Engineering Education.
- [FELDER 1996] Felder, R., et Soloman, B. A. (1996). ILS: Index of Learning Styles.
- [FELDER 2005] Felder R.M. and Brent R. (2005). Understanding Student Differences. *Journal of Engineering Education*, 94(1), pp. 57-72.
- [FLEMMING 1995] Flemming, N.D. (1995). I am Different; Not Dumb. Modes of Presentation (V.A.R.K.) in the Tertiary Classroom. In A. Zelmer (ed.): Research and development in higher education. Proceedings of the 1995 annual conference of the higher education and research development society of Australia (HERDSA), 18: pp. 308-313.

- [FORTIN 1997] Fortin, G., Chevrier, J., et Amyot, É. (1997). Adaptation française du Learning Styles Questionnaire de Honey et Mumford. *Dans Mesure et Évaluation en Éducation*, 19(3) : pp. 95-118.
- [FORTIN 2000] FORTIN, Gilles, CHEVRIER, Jacques, LEBLANC, Raymond et THÉBERGE, Mariette(2000). Le style d'apprentissage : un enjeu pédagogique en lien avec la personnalité. *Éducation et francophonie*, vol. XXVIII, n° 1, Québec : ACELF.
- [FRAS 2002] Frás, FF & Houben, G.J. (2002). Hypermedia Presentation Adaption on the Semantic Web, In P. De Bra, P. Brusilovsky & R. Conejo, (Eds.), *Proceedings of the 2 nd International Conference on Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems (AH 2002)*, Malaga, Spain, LNCS 2347, 2002.
- [GARCIA 2007] Garcia, P., Amandi, A., Schiaffino, S., Campo, M. (2007). Evaluating Bayesian Networks' Precision for Detecting Students' Learning Styles. *Computers & Education*, 49 (3), pp. 794-808.
- [GILBERT 2002] Gilbert, J. E. et Han, C. Y. (2002). Arthur: A Personalized Instructional System. *Journal of Computing In Higher Education*, 14 (1).
- [GRAF 2006] Graf, S. and Kinshuk, P. (2006). An Approach for Detecting Learning Styles in Learning Management Systems," *Sixth IEEE Int. Conf. Adv. Learn. Technol.*, pp. 161–163.
- [GRAF 2007] Graf, S. (2007). *Adaptivity in learning management systems focusing on learning styles*. Thèse de doctorat non publiée, Vienna. University of Technology, Autriche.
- [GREGORC 1979] Gregorc, A.F. (1979). Learning / Teaching styles: their nature and effects. In James W. Keefe (Ed.), *Student learning styles: diagnosing and prescribing programs*, Reston, VA: National Asssocation of Secondary School Principals (NASSP), pp. 19-26.
- [GRASHA 1975] Grasha, A. F., et Riechman, S.W. (1975). *Student learning styles questionnaire*. Cincinnati, OH: University of Cincinnati Faculty Resource Center.
- [HABIEB 2003] Habieb, H, Tarpin, F, Prevot, P (2003). Modélisation de document hypermédia pour ne représentation adaptative. *Copyright ACM, IHM Novembre 25-28, 2003*.
- [HABITAT-PROENVIRONMENT 2001] Habitat-ProEnvironment (2001). *Agents Inspired Technologies Corporation*. University of Girona, Spain.
- [HILL 1972] Hill, J., Puurula, A., Sito-Lutek, A., et Rokowska, A. (1972). Cognitive style and socialisation: an exploration of learned sources of style in Finland. *Poland and the UK. Educational Psychology*, 20(3): pp. 285-305.
- [HOLMES 2006] Holmes B., Gardner J.R. (2006). *E-Learning: Concepts and Practice*. London: Sage Publications Ltd.
- [HONEY 1986] Honey, P. et Mumford, A. (1986). *The Manual of Learning Styles*. Berkshire, England: Peter Honey.
- [HONEY 1992] Honey, P., et Mumford, A. (1992). *The Manual of Learning Styles*. Maidenhead, Peter Honey Publications.
- [HONEY 2006] Honey, P., et Mumford, A. (2006). *The Learning Styles Helper's Guide*. Peter Honey Publications Ltd., Maidenhead.
- [HOOGEVEN, 1995] HOOGEVEN, M. (1995). Toward a New Multimedia Paradigm: is Multimedia Assisted Instruction Really Effective. *Proceedings of ED-MEDIA 95 World Conference on Educational Multimedia and Hypermedia*, 1995, pp. 348-353.

- [HUNT 1979] Hunt, D.E. (1979). Learning style and student needs: an introduction to conceptual level. In James W. Keefe (Ed.), *Student learning styles: diagnosing and prescribing programs*, Reston, VA: National Association of Secondary School Principals (NASSP), pp. 27-38.
- [HWANG 2013] Hwang, G.-J., Sung, H.-Y., Hung, C.-M., & Huang, I. (2013). A Learning Style Perspective to Investigate the Necessity of Developing Adaptive Learning Systems. *Educational Technology & Society*, 16 (2), pp. 188–197.
- [IMS MD 2008] IMS MD (2008) [online] <http://www.imsglobal.org/metadata/index.html>.
- [JACQUIO 2006] Jacquot, C. (2006). Modélisation logique et générique des systèmes d’hypermédias adaptatifs. Thèse de doctorat, Université Paris-Sud XI Orsay, 2006.
- [KAHENEMAN 1973] KAHENEMAN, D, Attention and Effort, Englewood Cliffs: Prentice Hall. 1973.
- [KAPPEL 2000] Kappel, G., Retschitzegger, W. & Schwinger W. (2000). Modeling Customizable Web Applications – A Requirement’s Perspective», In PICDL (ICDL, 2000), Kyoto, Japan, 2000.
- [KEEFE 1979] Keefe, J. (1979). Learning Style: An Overview. NASSP’s Student Learning Styles: Diagnosing and Prescribing Programs, pp. 1-17.
- [KEEFE 1986] Keefe, J.W. et Monk, J.S. (1986). Learning Style Profile: examiner's manual, Reston, VA: National Association of Secondary School Principals.
- [KELLY 2003] Kelly, D. and Teevan, J.. (2003). “Implicit feedback for inferring user preference: a bibliography,” *ACM SIGIR Forum*, vol. 37, no. 2, pp. 18-28.
- [KOBASA 2001] Kobsa, A., Koenemann J. & Pohl W. (2001). Personalized Hypermedia Presentation Techniques for Improving Online Customer Relationships, *the Knowledge Engineering Review*, 16(2), Cambridge University Press, UK, 2001.
- [KOCH 2000] Koch, N. (2000). Software Engineering for Adaptive Hypermedia Systems Reference Model, Modelling Techniques and Development Process. Thèse de Doctorat, faculté de mathématique et informatique, université Ludwig-Maximilians, München.
- [KOCH 2001] Koch, N., Wirsing, M. (2001): The Munich reference model for adaptive hypermedia applications. pp. 213–222.
- [KOCH 2002] Koch, N., Wirsing M. (2002). The Munich Reference Model for Adaptive Hypermedia Applications. Proc. 2nd Intl. Conference on Adaptive Hypermedia and Adaptive Webbased Systems, pp. 213-222.
- [KOLB 1974] Kolb, D.A. (1974). On Management and The Learning Process. Dans D.A. Kolb, I.M. Rubin, & J.M. McIntyre (Ed), *Organizational psychology - A book of readings*, Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, pp. 27-42.
- [KOLB 1984] Kolb, D.A. (1984). *Experiential learning: experience as the source of learning and development*. New Jersey, Prentice Hall.
- [KOLB 2005] Kolb, A.Y, et Kolb, D.A, (2005). The Kolb Learning Style Inventory - Version 3.1, 2005, Technical Specifications: 72p.
- [KRISTOFIC 2005] Kristofic, A., Bielikov, M. (2005). Improving Adaptation in WebBased Educational Hypermedia by means of Knowledge Discovery, HT’05 ACM 1595931686/05/0009, Salzburg, Austria September 6–9, 2005.
- [LAROUSSI 1998] Laroussi, M., et Benahmed, M.: Providing an adaptive learning through the Web case of CAMELEON: Computer Aided MEdium for LEarning on Networks ,Proceedings of CALISCE'98, 4th International conference on Computer Aided Learning and Instruction in Science and Engineering, Goteborg, Sweden(1998).

- [LAROUSSI 2001] Laroussi, M. (2001). Conception et réalisation d'un système didactique hypermédia adaptatif : CAMELEON. Thèse de Doctorat, Université Manouba et El-Manar, Tunisie.
- [MA 2014] Ma, W.W.K., Sun, K. and Ma, J. (2014). The impacts of cognitive learning styles on the use of online learning and collaborative writing environments, *International Journal of Innovation and Learning*, Vol. 16, No. 1, pp.97-111.
- [MAMPADI 2011] Mampadi, F., Chen, S. Y., Ghinea, G., & Chen, M.-P. (2011). Design of adaptive hypermedia learning systems: a cognitive style approach. *Computers & Education*, 56(4), pp. 1003-1011.
- [MCCLOUGHLIN 1999] McLoughlin C. (1999). The implications of the research literature on learning styles for the design of instructional material, *Australian Journal of Educational Technology*, 15(3), pp.222-241.
- [MCCLOUGHLIN 2002] McLoughlin C., Hutchinson H., Koplin M. (2002). Different Media for Language Learning: Does Technology Add Quality?, International Conference on Computers in Education (ICCE' 02), pp. 681, December 2002.
- [MELLOT 2014] Mellot, G. (2014). Comprendre et réaliser les tests statistiques à l'aide de R. 2ème édition. Editions De Boeck.
- [MILLER 1956] MILLER, G. A. (1956). The magical number seven plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 1956, 81-97.
- [MILLER 2004] Miller, M. (2004). Using learning styles to evaluate computer based instruction, *Computers in Human Behavior*, Elsevier, 2004.
- [MYERS 1962] Myers, I. et Briggs, K. (1962). The Myers-Briggs Type Indicator, Princeton: Educational testing Services.
- [NADEAU 1997] Nanard, F. (1997). Applications et impacts de l'hypermédia constructif sur l'apprentissage, 1997.
- [NANARD 1995] Nanard, M. (1995). Les hypertextes : au-delà des liens, *la connaissance. Sciences et techniques Éducatives*, Edition Hermes, 1995, vol. 2, n°1, pp. 31-59.
- [NANARD 1998] Nanard, J, KAHN,P. (1998). Pushing reuse in hypermedia design: Golden rules, design patterns and generic templates. Proceedings of the 8rd ACM Conference on Hypertexts HTX'98, ACM Press, Pittsburg, PS, June, 1998, pp. 11-20.
- [NEEPA 2012] Neepa K. Shah. (2012). E-Learning and Semantic Web, *International Journal of eEducation, e-Business, e-Management and e-Learning*, Vol. 2, No. 2, April 2012.
- [NELSON 1981] Nelson, T. (1981). Litterary Machines, Swarthmore, Pensylvanie, 1981.
- [NEERAJ 2004] Neeraj K-C., Ganesh, K. (2004). E-Education : An Online Perspective, 2nd International CALIBER-2004, New Delhi, pp.11-13 February, 2004.
- [NUNNALLY 1978] NUNNALLY, Jum C. (1978). Psychometric Theory. New York: McGraw-Hill.
- [OLOJO 2012] Olojo, O-J., Adewumi M-G., Ajisola K-T. (2012). ELearning and Its Effects on Teaching and Learning in a Global Age. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, Vol. 2, No. 1.
- [PAGE-LAMARCHE 2004] Page-Lamarche, V. (2004). Styles d'apprentissage et rendement académique dans les formations en ligne. Université de Montréal.
- [PAPANIKOLAOU 2003] Papanikolaou, K.A., Grigoriadou, M., Kornilakis, H. et Magoulas, G.D. (2003). Personalizing the interaction in a Web-based educational hypermedia system: the case of INSPIRE. *User Modeling and UserAdapted Interaction*.

- [PAREDES 2004] Paredes, P. et Rodriguez, P. (2004). A mixed approach to modelling learning styles in adaptive educational hypermedia. *Advanced Technology for Learning*, 1(4), pp. 210-215.
- [PASK 1976] Pask, G. (1976). Styles and Strategies of Learning. *British Journal of Educational Psychology*, 46: pp. 128-148.
- [PCBI 2003] PCBI, Ministère de la jeunesse, de l'éducation nationale et de la recherche (France). Etude des outils de gestion de ressources numériques pour l'enseignement. Juin, 2003.
- [PEÑA 2004] Peña, C.-I. (2004). Intelligent Agents to Improve Adaptivity in a Web -Based Learning Environment. Thèse de Doctorat, University of Girona.
- [PEÑA 2002] Peña, C.I., Marzo, J.L., et de la Rosa, J.L. (2002). Intelligent agents in a teaching and learning environment on the Web. In Proceedings of the international conference on advanced learning technologies.
- [PIOMBO 2006] Piombo, C. (2006). Modélisation probabiliste du style d'apprentissage et application à l'adaptation de contenus pédagogiques indexés par une ontologie. Thèse de doctorat. Université de Toulouse, France.
- [POPESCU 2008A] Popescu, E. (2008a). Dynamic adaptive hypermedia systems for e-learning. Thèse de Doctorat. Université de Craiova, Roumanie.
- [POPESCU 2008B] Popescu, E., Badica, C., Trigano, P. (2008b). Learning Objects' Architecture and Indexing in WELSA Adaptive Educational System. *Scalable Computing*, 9: pp. 11-20.
- [POPESCU 2009] Popescu, E. (2009). Learning Styles and Behavioral Differences in Web-Based Learning Settings. The 2009 Ninth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, ICAALT 2009, pp. pp. 446-450.
- [REDMOND 2003] Redmond J., Walsh C., Parkinson A. (2003). Equilibrating instructional media for cognitive styles, ACM SIGCSE Bulletin , Proceedings of the 8th annual conference on Innovation and technology in computer science education, Volume 35 Issue 3.
- [RENZULLI 1978] Renzulli, J.S. et Smith, L.H. (1978) Learning styles inventory: a measure of student preference for instructional techniques. Mansfield Center, Connecticut: Creative Learning Press.
- [RETY 2003] Rety, J-H., Martin, J-C., Bensimon, N., Pelachaud C. (2003). Coopération entre un hypermédia adaptatif éducatif et un agent pédagogique , in Balpe, J-P., Saleh, D. Lepage, et F. Papy (ed.) Hypertextes, hypermédias : créer du sens l'ère numérique. H2PTM'03. Paris : Hermès Science Lavoisier. pp. 191-200.
- [REZAEI 2006] Rezaei Sharifabadi S. (2006). How Digital Libraries Can Support E-learning. *The Electronic Library* , V. 24, No3. pp. 389-401.
- [RHEAUME 1993] Rhéaume, J.(1993). Les hypertextes et les hypermédias. *Revue EducaTechnologie*, vol. 1, n°2, pp. 6-23.
- [RHÉAUME 1994] Rhéaume, J. (1994). Les hypertextes et les hypermédias, Département de technologie de l'enseignement, Faculté des sciences de l'éducation, Université Laval, 1994.
- [RHEINGOLD 1993] Rheingold, H. (1993). *La réalité virtuelle*», Dunod, Paris.
- [RIDING 1998] Riding, R., and Rayner, S. (1998). *Cognitive Styles and Learning Strategies*, London: David Fulton Publishers.
- [RIDING 2001] Riding, R., and Rayner, S. (2001). *Cognitive styles and learning strategies*. London, David Fulton Publishers.
- [RICH 1999] Rich, E. (1999). Users are individuals: individualizing user models. *International Journal on Human-Computer Studies*, pp. 323-338.

- [ROSENBERG 2001] Rosenberg, M. (2001). The personalization story ITworld.com.
- [RUMETSHOFER 2003] Rumetshofer H., Wöß, W. (2003). Digital contents in education: An approach for adaptable learning systems with respect to psychological aspects, Proceedings of the 2003. ACM symposium on Applied computing, March 2003.
- [RUBLE 1990] RUBLE, Thomas L. and STOUT, David E. (1990). Reliability, Construct Validity, and Response-set Bias of the Revised Learning Style Inventory (LSI-1985). *Educational and Psychological Measurement*, vol. 50, p. 619-629.
- [RUNDLE 2000] Rundle, S. M. et Dunn, R. (2000). The guide to individual excellence: A self directed guide to learning and performance solutions. New York: Performance Concepts International.
- [SANGINETO 2007] Sangineto, E., Capuano, N., Gaeta, M. et Micarelli, A. (2007). Adaptive course generation through learning styles representation. *Universal Access in the Information Society*, 7(1-2), pp. 1-23.
- [SARASIN 1998] Sarasin, L. C. (1998). Learning Style Perspectives: Impact in the Classroom. Madison : Atwood Publishing.
- [SCHIAFFINO 2008] Schiaffino, S., Garcia, P., et Amandi, A. (2008). eTeacher: Providing personalized assistance to e-learning students. *Computers & Education*, 51: pp. 1744-1754.
- [SIDDHARTHA 2012] Siddhartha K., A., Devshri R. (2012). Learning Content Management Using Machine Learning. *International Journal of Information and Education Technology*, Vol. 2, No. 5.
- [SIMS 1989] SIMS, Ronald R., VERES III, John G. and SHAKE, Leasa G. (1989). An exploratory examination of the convergence between the Learning Styles Questionnaire and the Learning Style Inventory II. *Educational and Psychological Measurement*, vol. 49, p. 227-233.
- [SNOW 1989] Snow R. Aptitude-Treatment Interaction as a framework on individual differences in learning. In P. Ackermann, R.J. Sternberg, & R. Glaser (eds.), *Learning and Individual Differences*. New York: W.H. Freeman, 1989.
- [STASH 2006] Stash, N., Cristea, A., et de Bra, P. (2006). Adaptation to Learning Styles in ELearning: Approach Evaluation. World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education, VA, AACE.
- [STASH 2007] Stash, N. (2007). Incorporating Cognitive/Learning Styles in a General-Purpose Adaptive Hypermedia System, Eindhoven University of Technology, Netherlands. Thèse de Doctorat : 250 p.
- [STEVENS 2013] Stevens, D.P. (2013) 'Assessing the effects of learning style in business statistics', *International Journal of Innovation and Learning*, Vol.13, No.3, pp. 268–283.
- [TADLAOUI 2010] Tadlaoui, M., Chikh,A., Bouamrane, K.(2010). ALEM : un Modèle de Référence pour les Application Web Adaptatif Educatif. Conférence e-learning for all, Hammamet, 2010.
- [TCHOUNIKINE 2002] Tchounikine, P. (2002). Quelques éléments sur la conception et les ingénieries des EIAH, 2002.
- [TCHOUNIKINE 2009] Tchounikine, P. (2009). Précis de recherche en ingénierie des EIAH, Juin 2009.
- [THERER 1998]Therer, J. (1998). Styles d'enseignement, styles d'apprentissage et pédagogie différenciée en sciences. *Informations Pédagogiques* n° 40 - Mars 1998.
- [TRIAANTAFILLOU 2003] Triantafillou E., Pomportsis A., Demetriadis S. (2003). The design and the formative evaluation of an adaptive educational system based on cognitive styles, *Computers & Education*, Vol 41, pp. 87-103.

- [VASSILEVA 1994] Vassileva, J. A practical Architecture for User Modeling in a Hypermedia-based Information System. In: Proceedings of the User Modeling 94 Conference. The Mitre Corporation, 1994. pp 115-120.
- [VASSILEVA 1995] Vassileva, J. (1995). Dynamic Courseware Generation : at the Cross of CAL, ITS and Autoring. In Proceedings of the International Conference on Computers in Education, ICCE'95, Singapore, 1995, pp. 290-297.
- [VERMUNT 1998] Vermunt, J.D. (1998). The Regulation of Constructive Learning Processes. *British Journal of Educational Psychology*, 68: pp. 149-171.
- [WANG 2008] Wang, T.-I., Wang, K.-T., et Huang, Y.-M. (2008). Using a style-based ant colony system for adaptive learning. *Expert Systems with Applications*, 34: pp. 2449-2464.
- [WEBER 2001] Weber, G., Kuhl, H.-C, et Weibelzahl, S. (2001). Developing Adaptive Internet Based Courses with the Authoring System NetCoach. In Proceedings of Third Workshop on Adaptive Hypertext and Hypermedia. pp.35-48. Sonthofen, Germany.
- [WITKIN 1971] Witkin, H. A., Oltman, P. K., Raskin, E., and Karp, S. A. (1971). *A Manual For The Group Embedded Figures Test*. Consulting Psychologists Press, Palo Alto, CA.
- [WITKIN 1977] WITKIN, Herbert A. and GOODENOUGH, Donald R. (1977). Field Dependence and Interpersonal Behavior. *Psychological Bulletin*, vol. 84, pp. 661-689.
- [WOLF 2002] Wolf, C. (2002). iWeaver: Towards an Interactive Web-Based Adaptive Learning Environment to Address Individual Learning Styles. The fifth Australasian conference on computing education.
- [WOLF 2007] Wolf, C. (2007). Construction of an Adaptive E-learning Environment to Address Learning Styles and an investigation of the Effect of Media Choice. Thèse de Doctorat en philosophie, RMIT University, Melbourne, Australia.
- [YANG 2013] Yang, T.-C., Hwang, G.-J. and Yang, S.-J.-H. (2013). Development of an adaptive learning system with multiple perspectives based on students' learning styles and cognitive styles', *Educational Technology & Society*, Vol. 16, No. 4, pp.185–200.
- [YÜCEL 2012] Yücel Y. (2012). Knowledge management in E-learning practices, *TOJET: The Turkish Online Journal of Educational Technology*, Volume 11 Issue 2, April 2012.
- [ZUKERMAN 2001] Zukerman I., Litman D. (2001). Natural Language Processing and User Modeling: Synergies and Limitations. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 11(1-2), pp. 129-158, 2001.

Annexe A

I Le Learning Styles Questionnaire (LSQ, LSQ-F et LSQ-FA)

Les quatre styles d'apprentissage selon [Honey 1992] sont le style actif, le style réfléchi, le style théoricien et le style pragmatique. Le style actif décrit le comportement de la personne qui privilégie les attitudes et les conduites propres à la phase d'expérience; le style réfléchi, celles de la phase du retour sur l'expérience; le style théoricien, celles de la phase de formulation de conclusions; et le style pragmatique, celles de la phase de planification.

Pour mesurer ces quatre styles d'apprentissage, le Learning Styles Questionnaire (LSQ) a été élaboré par [Honey 1992]. Dans sa version anglaise, le LSQ comporte 80 énoncés auxquels on répond sur une échelle dichotomique en indiquant son accord ou son désaccord. Les items se regroupent en quatre échelles, chacune comprenant 20 items et mesurant le degré de préférence pour un style d'apprentissage donné.

Une adaptation française du LSQ a été élaborée par [Fortin 1997]. Le LSQ-F (« F » pour version française) comporte aussi 20 items par échelle, mais quelques-uns ont été modifiés afin d'améliorer sa fidélité et sa validité. Aussi, le LSQ-F utilise une échelle de réponse en sept points, différemment du format de réponse en deux points caractéristique de la version anglaise. L'échelle de réponse en sept points permet l'émergence d'une pensée plus nuancée et, ce faisant, une mesure plus fine des préférences du répondant [Nunnally 1978]. Ainsi, dans la version française, le répondant ne se contente pas de signifier son accord ou son désaccord à un énoncé, il doit en préciser l'intensité.

À la suite de l'étude de [Fortin 1997], une version abrégée du questionnaire a été élaborée afin d'accroître l'efficacité de l'outil, particulièrement en réduisant sa longueur de 80 à 48 items. Le LSQ-Fa (« Fa » pour version française abrégée) demeure identique au LSQ-F dans son objectif et sa structure, conservant le format de l'échelle de réponse en sept points. Toutefois, il diffère quant à la longueur des échelles, chacune passant de 20 à 12 items. Avec une échelle de réponse en sept points et douze items par échelles, le score à une échelle varie donc de 12 à 84 points.

Les douze items de chacune des quatre échelles du LSQ-Fa ont été sélectionnés à partir des vingt items de chaque échelle du LSQ-F. Pour faire ce choix, ils ont retenu les items qui présentaient les meilleurs indices de saturation énoncé-facteur commun dans deux analyses factorielles confirmatoires, l'une faite initialement avec l'échantillon de 463 étudiantes et étudiants universitaires de l'étude originale [Fortin 1997], l'autre avec un nouvel échantillon de 838 étudiantes et étudiants universitaires en formation des maîtres. Les items qui ont été retenus sont donc ceux qui semblent être le plus en lien avec la dimension mesurée par l'échelle à laquelle ils appartiennent.

Dans notre projet de recherche, pour identifier les styles d'apprentissage des apprenants nous avons utilisé le LSQ-FA. c'est pour cela dans les paragraphes qui suivent, nous présentons la démarche à suivre

pour répondre au questionnaire LSQ-FA, compiler les quatre scores et établir le profil d'apprentissage correspondant au degré de préférence relatif des quatre styles pour un individu.

II Comment répondre au questionnaire LSQ-Fa

Il est bon de rappeler aux apprenants qu'ils disposent de tout le temps nécessaire pour répondre au questionnaire. Généralement, quinze minutes suffisent pour le parcourir. Le questionnaire ne renferme pas de questions pièges; il tend seulement à cerner les modes privilégiés d'apprentissage. En somme, il n'y a pas de bonnes ou de mauvaises réponses. L'important est de répondre honnêtement à tous les items [Chevrier 2000].

Donner cette consigne est de la plus haute importance, car celle-ci prédispose à une façon de répondre. Il faut aussi s'assurer que les répondants comprennent bien l'échelle de réponse. L'utilisateur répond au questionnaire en indiquant sur une échelle graduée jusqu'à quel point il est en accord ou en désaccord avec l'énoncé de chaque item. Il indique l'intensité de son accord ou de son désaccord en encerclant l'un des sept chiffres de l'échelle. Chaque chiffre possède une signification précise comme suit :

1. Tout à fait en désaccord
2. Moyennement en désaccord
3. Un peu en désaccord
4. Ni en accord, ni en désaccord
5. Un peu en accord
6. Moyennement en accord
7. Tout à fait en accord

Lorsque les répondants ont répondu à toutes les questions, ils peuvent passer à l'étape du calcul de leur score pour chacune des échelles.

Pour calculer le score obtenu à chacune des quatre échelles du LSQ-Fa, le répondant doit remplir la Feuille de compilation des échelles. Cette opération se fait assez rapidement, soit en une dizaine de minutes. La Feuille de compilation des échelles comprend quatre ensembles d'items, chacun correspondant à l'une des échelles du questionnaire, c'est-à-dire à un style d'apprentissage. Pour chaque ensemble d'items, on trouve deux colonnes : celle de gauche contient la liste des numéros des items de l'échelle; celle de droite est laissée vide pour permettre l'entrée de la réponse correspondant à chacun des items. Le répondant doit s'assurer de la correspondance entre sa réponse et le numéro de l'énoncé. Cette étape terminée, il fait, pour chacune des colonnes (échelles), la somme des scores, qu'il inscrit dans la case prévue à cet effet au bas de la colonne. On se souviendra que le score minimum est de 12 et le score maximum, de 84. Lorsque les répondants ont compilé leur score brut pour chaque style d'apprentissage, ils peuvent passer à l'étape d'établissement de leur profil d'apprentissage.

Pour établir son profil d'apprentissage, le répondant doit transférer les quatre scores de la Feuille de compilation des échelles sur la feuille intitulée Profil individuel.

Afin de rendre ces quatre scores bruts plus significatifs, ils ont opté, à l'instar de [Honey 1992], pour l'utilisation de normes auxquelles on peut comparer les scores individuels. Ces normes ont été établies à

partir d'un échantillon de 563 étudiantes et étudiants universitaires de premier cycle (89 %) et de deuxième cycle (11 %) admis dans des programmes d'origines disciplinaires multiples (administration, arts, biologie, counselling, éducation, éducation physique, informatique, orthopédagogie, relations industrielles, psychoéducation, sciences infirmières, théâtre et travail social) qui ont répondu au LSQ-Fa. Sur la base des rangs percentiles calculés à partir des données recueillies, cinq catégories de préférences ont été établies pour chacun des styles d'apprentissage en respectant la répartition proposée [Honey 1992].

Scores	Indice de préférence
01 % - 10%	Pour les scores se situant entre 01% et 10%, on parle de préférence très faible .
11 % - 30%	Pour les scores se situant entre 11% et 30%, on parle de préférence faible .
31 % - 70%	Pour les scores se situant entre 31% et 70%, on parle de préférence moyenne .
71 % - 90%	Pour les scores se situant entre 71% et 90%, on parle de préférence forte .
91%- 100%	Pour les scores se situant entre 91% et 100%, on parle de préférence très forte .

La distribution des indices de préférence selon le modèle de Honey et Mumford

Annexe B

I Les statistiques d'inférence (Test de Student)

L'inférence statistique est la partie des statistiques qui, contrairement à la statistique descriptive, ne se contente pas de décrire des observations, mais extrapole les constatations faites à un ensemble plus vaste et permet de tester des hypothèses sur cet ensemble ainsi que de prendre des décisions.

Un test statistique est un mécanisme qui permet de trancher entre deux hypothèses au vu des résultats d'un échantillon Soient H_0 et H_1 deux hypothèses (H_0 est appelée hypothèse nulle, H_1 hypothèse alternative), dont une et une seule qui est vraie. La décision consiste à retenir H_0 ou H_1 [Mellot 2014].

Dans notre thèse, on a fait appel au test de Student indépendant non apparié. Ce test permet de comparer les moyennes de deux échantillons indépendants qui sont l'échantillon du groupe contrôlé et l'échantillon du groupe expérimental et comme nous l'avons expliqué ce test a été utilisé au niveau de pré-test questionnaire et au niveau de post test questionnaire.

Pour réaliser les calculs propres au test de Student non apparié, nous avons suivi les étapes de calcul suivantes :

1. Calculer les moyennes et les écarts types de chaque groupe (groupe expérimental et groupe contrôlé avec $N_1=N_2=30$ étudiants et X_i représente la moyenne des notes obtenues par chaque étudiants) en se basant sur la formule 1 et 2.

$$\text{Moyenne} = \frac{\sum x_i}{N} \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{Ecart - type} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \text{moyenne})^2}{N - 1}} \dots\dots\dots (2)$$

2. Calculer de la variance totale en utilisant la formule 3.

$$S^2 = \frac{(N_1 \times \sigma_1^2) + (N_2 \times \sigma_2^2)}{(N_1 + N_2) - 2} \dots\dots\dots (3)$$

3. Calculer la valeur t test de Student en se basant sur la formule 4.

$$t = \frac{|\text{moyenne}_1 - \text{moyenne}_2|}{S \sqrt{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}}} \dots\dots\dots (4)$$

4. Comparer la valeur t calculée au t de la table statistique, avec un degré de liberté $DL=N_1+N_2-2$ (dans notre expérimentation $DL= 30+30-2=58$).
5. Si t calculé est supérieur au t de la table il existe une différence significative.
6. Si t calculé est inférieur au t de la table il n'existe pas de différence significative.

