

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

Faculté des Sciences de l'Ingénierat

Département d'Informatique

THESE

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de

Doctorat en Sciences

**Optimisation à l'aide de styles  
d'apprentissage dans les applications  
hypermédia adaptatives**

Option

Génie Logiciel

Par

**Lamia HAMZA**

**Directrice de Thèse**

Mme. Yamina Guiassa TLILI      Professeur      UBM- Annaba

**DEVANT LE JURY**

**Présidente :**      Mme. Hayet Farida MEROUANI      Professeur      UBM-Annaba

**Examineurs :**      Mr. Rafik DJEMILI      Professeur      Université de Skikda

Mr. Yacine LAFIFI      Professeur      Université de Guelma

**Année 2018-2019**

## *Dédicace*

*Je dédie ce mémoire de DOCTORAT*

*A ma mère*

*A mon père*

*A mes frères*

*A mon mari*

*A mes deux petites filles Sarra et Hadjer*

*A toute ma famille*

## ***Remerciements***

*Ce travail n'aurait pu être mené jusqu'à son terme sans la bienveillance de mon encadreur de thèse, Madame Yamina Guiassa TLILI, professeur de l'Université Badji Mokhtar de Annaba, qui m'a toujours accordé sa confiance. Je la remercie profondément pour ses conseils, ses encouragements et son soutien constant.*

*Je remercie sincèrement Mme. MEROUANI Hayet Farida, professeur à l'université de Annaba, qui m'a fait l'honneur de présider ce jury. Je tiens également à remercier Mr. DJIMILI Rafik, professeur à l'université de Skikda et Mr. LAFIFI Yacine, professeur à l'université de Guelma pour avoir acceptés d'examiner ma thèse.*

*C'est un énorme remerciement que j'adresse maintenant à toute ma famille : mon père, ma mère, mes frères: Fares et Salah, ma sœur : Karima.*

*Enfin, Je remercie chaleureusement mon mari, Sans leur soutien dans les moments difficiles, je n'en serai pas là où j'en suis.*

## ملخص

أنظمة الهيبارميديا المتكيفة هي أنظمة هيبارميديا قابلة لتكييف المحتوى و أشكال المعلومات و خصائص التنقل لمختلف خصائص المستخدمين المحتملين. هدف هذه الأنظمة هو تقديم المعلومات الأساسية والشكل الأنسب لكل مستخدم . في أنظمة الهيبارميديا المتكيفة يمكن العثور على العديد من التكيفات لمتعلم واحد . إذن، المعلومة الأنسب هي المعلومة الأكثر تكيفا مع المتعلم. لذلك، فإن السؤال الذي يطرح نفسه هو: ما هو التكيف الأمثل للمتعلم؟

وقد أدرجت بعض أنظمة الهيبارميديا المتكيفة الأساليب المعرفية أو أنماط التعلم لدى المتعلمين كسمات مميزة للتكيف. هذه الطريقة الجديدة لضبط المعلومات لكل نوع من المتعلمين تأخذ في الاعتبار أنها لا تصل إلى نفس المستوى من الأداء مع نفس النوع من التعليم؛ فهي تتطلب استراتيجيات تعلم مصممة خصيصا لطرق معالجتها وإدراكها للمعلومات.

وتستخدم الأنظمة القائمة على أنماط التعلم نماذج مختلفة من هذه الأنماط لتقديم طرق مختلفة للتأقلم . وتعتبر هذه الأنظمة أن التكيف مع أنماط التعلم مهمة يجب مراعاتها أثناء مرحلة تصميم التتابعات التربوية.

ومع ذلك، فإن أنظمة الهيبارميديا المتكيفة القائمة على أنماط التعلم لا يمكن أن تضمن أن التكيفات المقدمة للمتعلم هي التكيفات الأنسب بالنسبة له. لذلك فإن الأسئلة التي لا تزال قائمة في هذا المجال هي: هل التكيف المقدم للمتعلم هو التكيف الأنسب بالنسبة له؟ كيف يمكن تحسين عملية التكيف المقدمة للمتعلمين؟ الهدف من عملنا هو اقتراح نظام يقوم على أنماط التعلم لتقديم التكيف الأمثل لمختلف المتعلمين.

**الكلمات المفتاحية:** أنظمة الهيبارميديا المتكيفة، التكيف ، أنماط التعلم، التحسين.

## ***Abstract***

*Adaptive Hypermedia Systems (AHS) are Hypermedia Systems capable of adapting the presentation of content, information formats and navigation options to the characteristics of their potential users. Their goal is to provide the main information and the most appropriate formats to each user. In AHS, several adaptations can be found for a single learner. In this sense, the most appropriate information is the information most adapted to a learner. So the question is: What is the most optimized adaptation for a learner?*

*Some AHS have incorporated cognitive styles or learners' learning styles as distinctive features of adaptation. This new way of adjusting information to each type of learners takes into account the fact that they do not all reach the same level of performance with the same type of education; they require learning strategies tailored to their ways of dealing with and perceiving information.*

*AHS based on learning styles use different models of these styles to offer different ways of adaption. These systems consider that adapting to learning styles is an important task that must be taken into account during the design phase of the pedagogical sequences.*

*However, AHSs based on learning styles cannot guarantee that the adaptation provided to the learner is the most appropriate adaptation for him. So the questions asked in this area are: Is the adaptation provided to the learner the most appropriate adaptation for him? How to optimize the adaptation provided to the learners? The objective of our work is to propose an adaptive hypermedia system based on learning styles to deliver optimized adaptation to different learners.*

***Keywords:*** *Adaptive Hypermedia System, Adaptation, Learning Style Optimization.*

## **Résumé**

*Les Systèmes Hypermédia Adaptatifs (SHA) sont des Systèmes Hypermédia capables d'adapter la présentation des contenus, les formats d'information et les options de navigation aux caractéristiques de leurs utilisateurs potentiels. Leur but est de fournir l'information principale et les formats les plus adéquats à chaque usager. Dans un SHA, plusieurs adaptations peuvent être trouvées pour un seul apprenant. Dans ce sens l'information la plus adéquate désigne l'information la plus adaptée à un apprenant. Donc, la question qui se pose est : Quelle est l'adaptation la plus optimisée pour un apprenant ?*

*Certains SHA ont incorporé les styles cognitifs ou les styles d'apprentissage des apprenants comme des caractéristiques distinctives d'adaptation. Cette nouvelle manière d'ajuster l'information à chaque type d'apprenants tient compte du fait que ces derniers n'arrivent pas tous au même degré de performance avec un même type d'enseignement; ils exigent des stratégies d'apprentissage ajustées à leurs manières de traiter et percevoir l'information.*

*Les SHA fondés sur les styles d'apprentissage utilisent différents modèles de ces styles pour offrir différentes manières d'adaptation. Ces systèmes considèrent que l'adaptation aux styles d'apprentissage est une tâche importante qui doit être prise en compte lors de la phase de conception des séquences pédagogique.*

*Cependant, les SHA basés sur les styles d'apprentissage ne peuvent pas garantir que l'adaptation fournie à l'apprenant est une adaptation la plus adéquate pour lui. Donc les questions posées dans ce domaine sont : L'adaptation fournie à l'apprenant est-elle l'adaptation la plus appropriée? Comment optimiser l'adaptation fournie à l'apprenant? L'objectif de notre travail est de proposer un SHA basé sur les styles d'apprentissage pour offrir des adaptations optimisées aux différents apprenants.*

**Mots clés:** *Système hypermédia adaptatif, Adaptation, Style d'apprentissage Optimisation.*

<b>Introduction générale</b> .....	<b>1</b>
<b>CHAPITRE 1 : Systèmes hypermédia adaptatifs</b> .....	<b>6</b>
1 Introduction .....	6
2 Concepts généraux.....	7
2.1 Définitions.....	7
2.2 Bref historique .....	8
2.3 Distinction entre hypermédia adaptable et hypermédia adaptatif.....	8
2.4 Types de systèmes hypermédiés adaptatifs.....	9
3 Notion d'adaptation.....	10
3.1 Critères d'adaptation.....	10
3.2 Méthodes et techniques d'adaptation.....	11
3.2.1 Adaptation de la navigation.....	11
3.2.2 Adaptation du contenu.....	12
3.2.3 Méta-adaptation.....	13
4 Architecture des systèmes hypermédia adaptatifs.....	14
4.1 Modèle d'utilisateur .....	15
4.1.1 Définitions.....	15
4.1.2 Caractéristiques à modéliser.....	16
4.1.3 Méthodes d'acquisition des caractéristiques de d'utilisateur.....	19
4.1.4 Classification de modèle d'utilisateur .....	20
4.2 Modèle de domaine.....	23
4.2.1 Domaine fermé.....	23
4.2.2 Domaine ouvert.....	23
4.3 Modèle d'adaptation.....	24
5 Systèmes hypermédia adaptatifs proposés dans la littérature.....	26
5.1 SHA basés sur le modèle utilisateur.....	26
5.2 SHA basé sur le modèle de contenus .....	27
5.3 SHA basé sur une stratégie d'adaptation.....	28
5.3.1 Adaptation de la présentation.....	28
5.3.2 Adaptation de la navigation.....	29
5.4 Synthèse.....	30
5 Conclusion.....	32
<b>CHAPITRE 2: Styles d'Apprentissage pour les Systèmes Hypermédia Adaptatifs</b> .....	<b>34</b>
1 Introduction.....	34
2 Définitions de style d'apprentissage.....	35
3 Théories d'apprentissage.....	37
3.1 La théorie empiriste.....	38
3.2 La théorie behavioriste.....	38
3.3 La théorie constructiviste.....	39
3.4 La théorie cognitive.....	40
3.5 La théorie socioconstructiviste.....	40
4 Modèles de styles d'apprentissage.....	41

4.1 Le modèle de Grasha et Riechmann.....	42
4.2 Le modèle de Dunn et Dunn.....	43
4.3 Le modèle MBTI (Myers Briggs Type Indicator).....	44
4.4 Le modèle de Gregorc.....	44
4.5 Le modèle de Kolb.....	45
4.6 Le modèle de Honey et Mumford.....	46
4.7 Le modèle de Felder et Silverman.....	47
4.8 Le Modèle de Witkin.....	49
4.9 Le Modèle de Fleming.....	50
4.10 Synthèse.....	52
5 Classification des modèles de styles d'apprentissage selon Lun Curry.....	52
6 Styles d'apprentissage dans SHA.....	53
6.1. SHA basés sur FSLSM .....	54
6.1.1 CS383.....	54
6.1.2 CAMELEON.....	55
6.1.3 LSAS.....	55
6.1.4 MASPLANG.....	56
6.1.5 TANGOW.....	56
6.2. SHA centrés sur le modèle de Fleming VARK .....	57
6.2.1 Arthur.....	57
6.2.2 iWeaver.....	57
6.2.3 SACS.....	58
6.3 SHA basés sur d'autres modèles de styles d'apprentissage existants.....	58
6.4 SHA acceptants plusieurs modèles de styles d'apprentissage.....	59
6.4.1 AHA .....	59
6.4.2 ADAPT .....	60
6.5 Synthèse.....	60
7 Conclusion.....	62
<b>CHAPITRE 3 : L'Optimisation dans les Systèmes Hypermédias Adaptatifs .....</b>	<b>64</b>
1 Introduction.....	64
2 Problème de l'optimisation.....	65
3 Méthodes d'optimisation.....	65
3.1 Méthodes à base de solution unique.....	66
3.1.1 Méthode de descente.....	66
3.1.2 Le recuit simulé.....	67
3.1.3 La méthode de recherche avec tabous.....	68
3.1.4 La méthode GRASP.....	69
3.2 Les méthodes à population de solutions.....	69
3.2.1 Les algorithmes évolutionnaires.....	70
3.2.2 L'intelligence en essaim.....	71
3.3 Optimisation multiObjectif.....	73
3.4 Optimisation sous contraintes.....	75
3.5 Fonctions analytiques de tests .....	77

4 Algorithmes et modèles d'optimisation d'adaptation .....	78
4.1 Système GAITS.....	79
4.2 Algorithme d'optimisation par colonie de fourmi.....	79
4.3 Algorithme pour l'ajustement de la présentation d'un document hypermédia	81
4.4 Algorithme d'optimisation par fusion des classes d'utilisateurs.....	82
4.5 Modèle d'optimisation par génération dynamique de documents adaptatifs..	84
4.6 Modèle basé sur l'optimisation par ontologie.....	86
4.7 Modèle par conception de contenu.....	87
4.8 Modèle d'optimisation basée sur une adaptation multi aspect.....	88
4.9 Synthèse.....	89
5 Conclusion.....	91
<b>CHAPITRE 4: Optimisation d'adaptation par utilisation des styles d'apprentissage</b>	<b>92</b>
1 Introduction .....	92
2 Architecture de système proposé.....	92
2.1 Modèle apprenant.....	95
2.2 Modèle de contenu.....	97
2.3 Module d'adaptation et d'optimisation.....	99
2.3.1 Rôle de l'adaptation.....	99
2.3.2 Rôle de l'optimisation.....	101
2.4 Module d'évaluation.....	104
3 Conception et modélisation de système proposé à l'aide d'UML.....	106
3.1 Diagramme de classes.....	107
3.2 Diagramme de cas d'utilisation .....	110
3.3 Diagramme d'activité.....	112
4 Conclusion .....	115
<b>CHAPITRE 5 : Expérimentation et analyse des résultats .....</b>	<b>117</b>
1 Introduction .....	117
2 Expérimentation.....	118
3 Analyse des résultats .....	124
3.1 Analyse des résultats propres aux styles d'apprentissage des étudiants.....	124
3.2 Analyse des résultats après une première présentation.....	125
3.3 Analyse des résultats après la répétition de la première présentation.....	128
3.4 Analyse des résultats après les optimisations proposées par le système.....	130
3.4.1 Résultats affichés après une deuxième présentation de cours.....	131
3.4.2 Résultats affichés après une troisième présentation de cours.....	132
3.4.3 Comparaison des résultats affichés après les trois présentations de cours....	133
4 Quelques aspects d'implémentation.....	134
5 Conclusion .....	136
<b>CONCLUSION ET PERSPECTIVE .....</b>	<b>138</b>
<b>REFERENCES .....</b>	<b>141</b>
<b>ANNEXE .....</b>	<b>160</b>

## Liste des figures, tableaux et algorithmes

<b>Figure 1.1</b> : Architecture générale des SHA [Triantafillou et al, 2003].....	15
<b>Figure 2.1</b> : Modèle d'oignon de [Curry, 1983].....	53
<b>Figure 4.1</b> : Principe de fonctionnement du système proposé [Hamza et al, 2018].....	94
<b>Figure 4.2</b> : Modèle d'apprenant [Hamza et al, 2018].....	96
<b>Figure 4.3</b> : Modèle de contenu [Hamza et al, 2018].....	99
<b>Figure 4.4</b> : Règles d'adaptation selon la dimension visuelle [Fleming, 2001].....	100
<b>Figure 4.5</b> : Règles d'adaptation selon la dimension auditive [Fleming, 2001].....	100
<b>Figure 4.6</b> : Règles d'adaptation selon la dimension kinesthésique [Fleming, 2001].....	101
<b>Tableau 4.1</b> : Détermination de niveau de connaissance d'apprenant et l'état de la présentation offerte [Hamza et al, 2018].....	102
<b>Algorithme 4.1</b> : Algorithme d'optimisation d'adaptation [Hamza et al, 2018].....	103
<b>Figure 4.7</b> : Phases de réalisation du système [Hamza et al, 2018].....	107
<b>Figure 4.8</b> . Diagramme de classes du modèle apprenant.....	108
<b>Figure 4.9</b> : Diagramme de classe de modèle de domaine.....	110
<b>Figure 4.10</b> : Diagramme de cas d'utilisation du système proposé.....	112
<b>Figure 4.11</b> : Diagramme d'activité du système proposé.....	114
<b>Figure 5.1</b> : Questionnaire d'estimation du style d'apprentissage.....	119
<b>Figure 5.2</b> : Ressources à explorer.....	120
<b>Figure 5.3</b> : Résultat du style d'apprentissage estimé.....	120
<b>Figure 5.4</b> : Cours « Introduction aux ordinateurs» présenté à un étudiant visuel.....	121
<b>Figure 5.5</b> : Cours « Introduction aux ordinateurs» présenté à un étudiant auditif.....	122
<b>Figure 5.6</b> : Cours «Introduction aux ordinateurs» présenté à un étudiant kinesthésique...	123
<b>Figure 5.7</b> : Répartition des étudiants selon leurs styles d'apprentissage.....	125
<b>Figure 5.8</b> : Répartition des étudiants après la première présentation du cours.....	126
<b>Figure 5.9</b> : Répartition des étudiants après la répétition de la première présentation	128
<b>Tableau 5.1</b> : Comparaison des résultats affichés par la figure 5.8 et la figure 5.9.....	129
<b>Figure 5.10</b> : Répartition des étudiants après la deuxième présentation du cours.....	131
<b>Figure 5.11</b> : Répartition des étudiants après la troisième présentation du cours.....	132
<b>Figure 5.12</b> : Répartition des étudiants pendant les trois présentations du cours.....	133

## Introduction générale

### 1 Contexte de travail

La présentation d'information en mode hypermédia concerne un domaine qui fait l'objet de nombreuses recherches et discussions. Les systèmes hypermédiés sont devenus très populaires grâce aux facilités qu'ils offrent à l'apprenant d'accéder à l'information. Ils offrent un ensemble de chemins permettant à chaque apprenant de choisir son trajet parmi les données [Tircot, 1994]. Les systèmes hypermédiés visent à favoriser l'acquisition de la connaissance et à offrir un ensemble de documents sous la forme de nœuds (textes, images, sons, animations) connectés par des liens [Brusilovsky, 2001].

Les systèmes hypermédiés adaptatifs (SHA) ont la capacité de modifier leurs caractéristiques selon leur perception des buts, des caractéristiques personnelles, des préférences et des connaissances de l'apprenant [Brusilovsky, 1994]. De ce fait, les SHA visent à mettre en adéquation le contenu de document hypermédia et les profils des utilisateurs. Ils utilisent, à cette fin, un ou plusieurs modèles pour représenter la connaissance et une ou plusieurs stratégies d'adaptation. L'objectif de l'adaptation est de fournir à l'utilisateur, à tout moment, l'information pertinente présentée d'une manière appropriée [Fischer, 2001].

La personnalisation de l'apprentissage humain remonte aux travaux sur les interactions entre aptitudes et traitements qui prônent l'adaptation de l'instruction aux caractéristiques de l'individu [Cronbach et al, 1977]. A cette fin, de nombreux travaux de recherche se sont focalisés sur l'identification des dimensions des différences individuelles [Snow, 1989 ; Henri et al, 2001; Page-Lamarque, 2005]. Ces recherches ont mené à la naissance de la théorie du style d'apprentissage.

Les styles d'apprentissage seraient selon certains théoriciens la ou les façon(s) dont un apprenant est programmé pour apprendre de la manière la plus efficace. Des apprenants auraient des cheminements nerveux plus rapides et plus efficaces que

d'autres, et ils préféreraient de ce fait travailler en les utilisant. [Marchand, 2001; Jacquinot, 1993; Dessaints, 1995]. Il ne faut pas confondre la notion de "*style d'apprentissage*" avec celle de "*stratégies d'apprentissage*" qui sont des "*actions volontaires (ou involontaires) d'un apprenant qui servent à améliorer une partie de son apprentissage ou à résoudre un problème dans sa production d'une langue.*" [Legendre, 1993]. Par exemple, nous pouvons traduire un mot pour le retenir.

## 2 Problématique

La recherche dans le domaine des SHA progresse dans le sens à améliorer le critère de l'adaptation en se basant sur le style d'apprentissage de l'apprenant. Quelques études présentées dans [De Bra et al, 2003] montrent que l'adaptation d'un cours aux styles d'apprentissage permet d'améliorer les scores des apprenants. Une étude proposée dans [Graf, 2007] montre que cette adaptation aux styles d'apprentissage a permis un apprentissage aisé et une satisfaction des apprenants. Une autre étude proposée dans [Dahbi et al, 2009] montre que la prise en compte des styles d'apprentissage, en tant que critère d'adaptation, permet d'optimiser l'apprentissage et d'améliorer les performances des apprenants. Le Framework définit dans [Laroussi et al, 2011] propose une adaptation générique et itérative aux interactions des apprenants, en rapprochant ces interactions des styles d'apprentissage.

Cependant, les SHA basées sur les styles d'apprentissage ne peuvent pas garantir que l'adaptation offerte à l'apprenant est une adaptation la plus adéquate pour lui [Hamza et al, 2012a]. Dans un autre sens, la recherche dans le domaine des SHA progresse vers le traitement de problème de l'optimisation d'adaptations offertes aux apprenants [Hamza et al, 2014 ; 2018]. Plusieurs systèmes et algorithmes d'optimisation de l'adaptation ont été apparus. Parmi ce ces, nous pouvons cités le système GAITS [Quafafou, 1993] où le tuteur interagit avec l'apprenant en utilisant des dialogues prédéfinis pour offrir un contenu pédagogique optimal. L'algorithme d'optimisation proposée dans [Iksal et al, 2002] permette la génération dynamique de documents hypermédias adaptatifs afin d'améliorer la qualité d'adaptation. Un autre système basé sur une optimisation de l'adaptation multi aspect a été proposé dans [Montserrat et al, 2017]. Ce système présente un modèle d'adaptation générique MAGAM (*Multi-Aspect Generic*

*Adaptation Model*) ayant la capacité à prendre en compte de multiples aspects dans le choix d'une adaptation.

Donc, le traitement de la notion de l'optimisation de l'adaptation devient un problème majeur dans le domaine des SHA [Hamza et al, 2012a ; 2014 ; 2018]. Les deux questions qui restent toujours posées dans ce domaine sont : *Est ce que l'adaptation fournie à l'apprenant est l'adaptation la plus optimisée pour lui ? Et comment optimiser une adaptation fournie aux apprenants ?* C'est l'objectif de notre recherche.

### **3 Objectifs**

Ce travail présente un SHA basé sur les styles d'apprentissage pour offrir des adaptations optimisées aux différents apprenants. Ce système consiste en premier temps d'estimer les styles d'apprentissage de l'apprenant. Ensuite une présentation de contenu selon le premier style dominant est offerte à l'apprenant. Pour garantir l'acquisition des connaissances, le système proposé utilise un questionnaire d'évaluation afin d'évaluer l'apport de l'adaptation de parcours d'apprentissage de l'apprenant par rapport à leur performance. Enfin, Si le système indique que les connaissances ne sont pas acquises par l'apprenant, alors, il faut offrir des présentations de contenus selon le deuxième et le troisième style d'apprentissage dominant.

L'architecture de notre système hypermédia est issue de l'architecture standard des hypermédiats adaptatifs d'apprentissage par le Web, dans laquelle l'apprenant est modélisé par son style d'apprentissage. Le modèle de style d'apprentissage utilisé dans notre système est le modèle de Fleming VAK (Visuel, Auditif et Kinesthésique) [Fleming, 2001]. Ce modèle constitue l'un des modèles préférés pour l'adaptation des systèmes d'apprentissage en ligne.

La structure de cette architecture proposée comprend : un modèle de l'apprenant qui renseigne sur le style d'apprentissage selon le modèle de Fleming, un modèle de contenu qui renseigne sur les concepts à offrir à l'apprenant, un module d'adaptation et d'optimisation qui permet de générer le contenu à offrir en fonction de modèle d'apprenant, et un module d'évaluation qui permet de générer des questions constituant des tests d'évaluations pour évaluer l'optimisation de l'adaptation offerte.

### 4 Plan de travail

Cette thèse est divisée en Cinq chapitres : le premier chapitre présente l'état de l'art des SHA, à savoir : l'identification des concepts de base des systèmes hypermédia adaptatifs, la présentation de la notion d'adaptation avec ces différents critères, la présentation de l'architecture globale des SHA et enfin quelques SHA proposés dans la littérature.

Le second chapitre précise d'abord le terme « style d'apprentissage », ses différentes définitions avec les théories d'apprentissage proposées dans la littérature. Ce chapitre expose ensuite les différents modèles de style d'apprentissage, à savoir le modèle de Fleming [Fleming, 2001] utilisé dans notre système. Ensuite, il présente une classification des modèles de styles d'apprentissage selon le modèle d'oignons de Lun Curry [Curry, 1983]. En fin, ce chapitre présente l'utilisation des styles d'apprentissage dans les différents SHA proposés dans la littérature pour garantir la notion de l'adaptation.

Le troisième chapitre présente le problème de l'optimisation avec les différentes méthodes d'optimisation présentées dans la littérature. Il présente ensuite le problème de l'optimisation dans le domaine des SHA. Cette présentation est basée sur l'étude de quelques systèmes et algorithmes d'optimisation d'adaptation.

Le quatrième chapitre présente l'architecture et le fonctionnement de notre système hypermédia proposé, les différentes phases d'utilisation de ce système, et ensuite leur modélisation par les différents diagrammes de langage UML.

Le dernier chapitre, et avant d'aborder la phase de conclusion de la présente recherche, expose l'expérimentation des concepts développés dans cette thèse. Cette expérimentation porte sur deux aspects principaux. Le premier aspect consiste à expérimenter le système proposé auprès d'un échantillon des étudiants universitaires. Le deuxième aspect consiste à évaluer l'expérimentation par l'analyse des résultats obtenus. L'interprétation de ces résultats permettra d'envisager des perspectives améliorant et faisant évoluer le système proposé.

Pour terminer, une conclusion générale met l'accent non seulement sur la contribution et les limites de la recherche, mais aussi sur les perspectives de recherche, le but étant de contribuer à l'amélioration des stratégies d'adaptation et des méthodes d'optimisation par le style d'apprentissage pour garantir une bonne acquisition des connaissances qui conduit à une intégration efficace des systèmes hypermédia dans les pratiques pédagogiques, les méthodes d'enseignement et d'apprentissage.

**CHAPITRE 1****Systèmes hypermédia adaptatifs****1 Introduction**

Depuis le début des années 1990, un certain nombre de recherches [Hammond, 1989] ont mis en évidence les limites des systèmes hypermédia statiques qui proposent le même contenu à des utilisateurs dont les besoins sont différents. De ce constat ont émergé les premières études qui s'intéressent aux diverses façons d'adapter l'information aux spécificités de chaque individu. Les applications hypermédia principales s'intéressent alors à la personnalisation de ressources éducatives en ligne [Brusilovsky, 1996] et donnent peu à peu la naissance au domaine des Systèmes Hypermédia Adaptatifs (SHA).

L'avènement du *World Wide Web* comme hypermédia accessible à tous, a accéléré le développement de ce domaine d'étude qui a gagné en pertinence. La démocratisation de ce « réseau des réseaux » a donné l'opportunité de mettre à l'épreuve les techniques jusqu'à présent développées à l'échelle de laboratoire et de les confronter à des problèmes et des utilisateurs réels [Lemouzy, 2011]. Parmi ces applications, nous pouvons citer les systèmes de recommandation et le commerce électronique (e-commerce). Cependant, la nature ouverte et dynamique du Web a rendu ardue la mise en œuvre de stratégies d'adaptation classiques basées sur des corpus d'information fermés [Lemouzy et al, 2010].

Dès lors, un certain nombre de techniques furent empruntées au domaine de la recherche d'information et furent appliquées aux systèmes hypermédia [Brusilovsky, 2001; Montaner et al, 2003]. Ces techniques de personnalisation sont maintenant appliquées dans l'industrie, notamment dans le domaine du e-commerce et de la publicité en ligne.

Bien que ces applications prouvent la maturité de ces technologies, l'adaptation à l'utilisateur demeure relative et un large champ d'investigation reste ouvert [Laroussi et al, 2011]. Au cours de ce chapitre, et après avoir présenté quelques concepts fondamentaux relatifs aux SHA, nous passons en revue les différentes classes des SHA existantes afin d'analyser les différentes mises en œuvre de l'adaptation.

## 2 Concepts généraux

Dans cette section, nous essayons de présenter quelques concepts fondamentaux reliés aux SHA.

### 2.1 Définitions

Un système hypermédia, suivant la définition de Legendre [Legendre, 1993] est un système qui *« utilise la technologie la plus avancée afin de faciliter l'interaction la plus efficace entre les personnes et la technologie dédiée au traitement du savoir »*.

Selon cette définition, un hypermédia n'est qu'un prolongement de l'hypertexte à des données multimédias. Par conséquent, il partage les intérêts de ces deux derniers. Son contenu n'est restreint seulement aux documents textuels, il peut être des images fixes ou animées, des séquences vidéo, des sons, etc. Comme l'hypertexte, l'hypermédia fonctionne en mode interactif et produit de divers types de parcours des liens.

La définition des SHA proposée par P. Brusilovsky est la suivante : *« Par systèmes d'hypermédias adaptatifs, nous entendons tout système d'hypertexte ou d'hypermédia qui reflète certains aspects de l'utilisateur dans le modèle de l'utilisateur, et utilise ce modèle pour adapter à l'utilisateur différents aspects visibles du système. »* [Brusilovsky, 1996].

Une autre définition des systèmes hypermédia adaptatif, suivant la définition de [Brusilovsky et al, 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. »*

Selon ces deux dernières définitions, un SHA 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.

## 2.2 Bref historique

Depuis 1990, de nombreuses équipes de recherches ont reconnu les problèmes résultants de l'hypertexte statique dans différents domaines d'applications [Brusilovsky et al, 1996 ; Balla et al, 2004 ; Laroussi et al, 2011]. Ils ont commencé à explorer un ou plusieurs moyens pour adapter les informations fournies et le comportement de l'hypertexte aux besoins de l'utilisateur. En premier lieu, les travaux ont été indépendants. À cause de ça, les chercheurs n'ont pas pris de conscience des travaux de chacun d'eux à cette époque.

En 1994, le premier séminaire destiné à étudier les questions liées au domaine d'hypermédias adaptatifs a vu le jour. Le journal UMUAI (*User Modeling and User Adapted Interaction*) a publié un article concernant les hypermédia adaptatifs grâce à *Kluwer Academic Publishers* [Brusilovsky et al, 1998]. Les sociétés établissant des recherches en modélisation de l'utilisateur ont publié les anciennes démarches et ont suggéré une élaboration ou une extension des techniques d'adaptation déjà proposées. Finalement, un résultat spécifique de l'UMUAI est publié en 1996 [Brusilovsky et al, 1998]. Cette année constitue l'âge d'or des systèmes hypermédia adaptatifs à cause de deux facteurs : la croissance d'utilisation du WWW (*World Wide Web*) et la publication des anciens travaux relatifs aux hypermédia adaptatifs [Fuselier, 2002].

À cette époque, les SHA sont devenus très populaires. Plusieurs techniques d'adaptation ont été développées. De nombreux étudiants ont choisi le domaine d'hypermédias adaptatifs comme étant un sujet de leurs thèses.

## 2.3 Distinction entre un hypermédia adaptable et un hypermédia adaptatif

Il ne faut pas confondre les systèmes hypermédia adaptables avec les systèmes hypermédia adaptatifs [Mobasher, 2007]. Ils se différencient principalement dans la manière d'adaptation. Les systèmes hypermédia adaptables sont des hypermédia où l'utilisateur

définit un ensemble de contraintes. Par conséquent, le système provoque une adaptation qui correspond à ces contraintes. L'adaptabilité s'appuie sur un processus d'adaptation basé sur des connaissances acquises par le système avant qu'il soit en interaction avec l'utilisateur. Les connaissances utilisées par le système sont supposées invariantes au cours de la session d'utilisation. C'est l'utilisateur qui décide quand son modèle devrait être changé. Donc, le système ne peut pas mettre à jour le modèle utilisateur de son soi-même [Lemouzy, 2011].

À côté des SHA, c'est le système qui s'adapte à l'état actuel du modèle utilisateur en suivant dynamiquement le comportement de l'utilisateur. L'adaptabilité ajoute au processus d'adaptation un aspect plus dynamique. En conséquence, les connaissances sont acquises ou modifiées par le système au cours des interactions à l'aide des techniques de suivi de session telles que : l'apprentissage, la détection d'évènements [Jameson, 2003]. Lorsque l'utilisateur est en mode interactif, le système provoque des adaptations de façon autonome. Généralement, le système utilise les actions exécutées par les usagers pendant leur navigation pour modifier les liens et les nœuds pertinents aux besoins de ceux-ci. Ces systèmes sont capables de mettre à jour le modèle utilisateur en fonction de l'évolution des préférences, connaissances et besoins de l'utilisateur [Adomavicius et al, 2016].

## 2.4 Types de systèmes hypermédias adaptatifs

Selon Brusilovsky [Brusilovsky, 2001], les systèmes hypermédias adaptatifs peuvent être classés en cinq domaines d'applications :

- **Les systèmes d'apprentissage électronique (e-learning) :** ces systèmes d'apprentissage en ligne ont un fort besoin d'adaptation de leur contenu et des activités pédagogiques qu'ils proposent en fonction du niveau de connaissances de l'apprenant<sup>1</sup> [Lin et al, 2017].
- **Les systèmes d'information en ligne :** ce genre de systèmes a pour seul but de diffuser un pool d'informations hypermédia. Les encyclopédies multimédia ou les guides virtuels font par exemple partie de cette classe. Les SHA permettent alors de proposer l'information la plus en adéquation avec les intérêts et/ou les objectifs des utilisateurs [Brusilovsky, 1996].

<sup>1</sup> L'utilisateur dans les hypermédias éducatifs appelé Apprenant

- **Les systèmes de recherche d'information** : l'objectif de ces applications est d'assister l'utilisateur dans le processus de recherche d'information. L'emploi des technologies des SHA permet alors de prendre en compte le profil de l'utilisateur et notamment ses intérêts afin de personnaliser les résultats de recherche [Micarelli et al, 2007].
- **Les systèmes de filtrage d'information** : ces applications permettent d'alléger la tâche de filtrage des divers flux d'informations que l'utilisateur consulte quotidiennement (i.e. les courriels, les flux de news). Elles se proposent en effet d'automatiser le filtrage de ces flux en fonction du profil de l'utilisateur [Montaner et al, 2003].
- **Les systèmes de recommandation** : à la différence des précédents systèmes, la recommandation ne filtre pas un flux d'informations mais sélectionne et propose un certain nombre d'informations à l'utilisateur. [Adomavicius et al, 2016]. Cette information est sensée être en adéquation avec les intérêts et/ou buts de l'utilisateur grâce à l'exploitation de son profil.

### 3 Notion d'adaptation

Dans cette section, nous essayons de présenter la notion de l'adaptation avec ces différents critères, ainsi que les différentes méthodes et techniques d'adaptation.

#### 3.1 Critères d'adaptation

La particularité d'un système hypermédia réside dans sa complexité : c'est un support qui est composé de nombreuses unités documentaires reliées entre elles selon une structure en réseau ou arborescente [Miled, 2014]. Cette structure non linéaire offre à l'utilisateur une grande liberté de parcours par miles unités documentaires, donc une adaptation à ses besoins réels devient une meilleure implication dans une situation d'apprentissage basée sur des traitements profonds, la confrontation de points de vue et l'élaboration progressive des connaissances.

Dans [Monterrat et al, 2017] trois boucles d'adaptation sont distinguées: conception tâche et étape. Adapter suivant la boucle de conception implique d'étudier les données relatives aux apprenants et à l'apprentissage, puis de les prendre en compte lors des itérations de conception des enseignements. Cette boucle vise à adapter l'apprentissage

à un groupe d'apprenants selon leurs points communs. Dans la boucle de tâche, le rôle du système d'adaptation est de sélectionner une tâche pour l'apprenant. Enfin, la boucle d'étape est responsable d'adaptations réalisées plusieurs fois au sein d'une même tâche en réaction aux actions d'un apprenant. Les systèmes d'adaptation basés sur la boucle de tâche et d'étape se focalisent plutôt sur les différences entre les apprenants. Les adaptations suivant la boucle de tâche ou d'étape reposent sur deux opérations d'une part, la sélection et le paramétrage d'activités adaptées à l'apprenant et d'autre part la mise à jour de son profil.

### 3.2 Méthodes et techniques d'adaptation

Pour qu'un hypermédia soit adaptatif, il doit être susceptible d'adapter le contenu de ces pages et ces liens pour mieux aider à s'orienter l'utilisateur. Il en existe de nombreuses méthodes d'adaptation des hypermédias. Ainsi que pour chaque méthode d'adaptation, il y en a de diverses façons ou techniques pour s'adapter. [Brusilovsky, 2001] identifie deux grandes classes d'adaptation de l'information hypermédia : l'adaptation de la navigation et l'adaptation du contenu.

#### 3.2.1 Adaptation de la navigation

La première façon d'adapter l'information hypermédia consiste à agir au niveau de la structure navigationnelle via la suppression, l'ajout, la modification de liens présents dans les items d'information [Brusilovsky, 2007]. Le but recherché étant de guider l'utilisateur au travers de l'espace hypermédia.

- **Suppression de liens** : nous trouvons tout d'abord certains systèmes qui suppriment les liens vers des pages dont le contenu n'est pas adapté au niveau de l'utilisateur ou à ses besoins [Brusilovsky et al, 1998]. Cette technique s'est avérée pertinente dans le cadre de l'apprentissage électronique, où l'utilisateur a peu de connaissances dans le domaine d'information. Dans le cas contraire, interdire l'accès à un certain nombre de ressources peut générer une frustration chez l'utilisateur.
- **Annotation de liens** : Cette stratégie consiste à annoter les liens plutôt que à les supprimer radicalement. La forme la plus simple d'annotation, appelée « direct guidance » [Joachims et al, 1997] (guidage direct), met en évidence seulement

un seul lien qui est considéré comme celui le plus pertinent : « the next best node ». Diverses autres façons d'annoter les liens ont été expérimentées afin d'ajouter un certain nombre d'informations au texte du lien et d'aider l'utilisateur dans la localisation des liens pertinents. Parmi les différentes annotations, certains systèmes utilisent des icônes, d'autres utilisent des codes de couleur, d'autres jouent sur le taille de la police [Hohl et al, 1996]. Il a été montré que l'annotation de liens est surtout bénéfique lorsque l'utilisateur a peu de connaissances en rapport avec le domaine d'information.

- **Réarrangement de liens** : Certains systèmes [Kaplan et al, 1993] ont proposé de trier les liens situés dans le contenu hypermédia consulté afin de faire apparaître les plus pertinents en premier. Cette technique n'est pas très répandue car elle ne peut être appliquée efficacement que de façon limitée. En effet, réarranger l'ordre des liens sur une page n'est faisable que lorsque les liens sont relativement indépendants du contenu (par exemple dans un menu de navigation). De plus, d'une visite à l'autre, les liens sont susceptibles de changer de place, ce qui peut aboutir à désorienter l'utilisateur et à nuire de facto à l'utilisabilité du système.
- **Génération de liens** : La technique la plus avancée de navigation adaptative consiste à générer un ensemble de liens pointant vers des items d'information que le système juge pertinents pour l'utilisateur, ses buts ou tout simplement le contexte dans lequel il se trouve. Si les premières applications de cette idée se plaçaient dans le contexte de l'apprentissage électronique [Kavcic, 2004], de nombreux systèmes basés sur le Web proposent ce genre d'aide à la navigation notamment dans le commerce électronique et les systèmes de recommandation.

### 3.2.2 Adaptation du contenu

Le second levier sur lequel il est possible d'agir afin d'adapter l'information hypermédia est l'adaptation du contenu de l'information [Bunt et al, 2007]. Selon ce dernier, nous identifions deux grands principes d'adaptation : l'adaptation de la structure et l'adaptation de la version de l'information.

- **Adaptation de la structure** : La structure des items d'information peut être adaptée via la mise en valeur des parties les plus pertinentes

[Tsandilas et al, 2004] ou via la suppression de certains détails jugés superflus [Hook, 2000]. Par exemple, dans le cadre d'un guide en ligne, le système peut décider de ne présenter que certaines parties d'un document. Dans un contexte de commerce électronique, l'adaptation régule la quantité de détails dans la présentation des produits. Comme pour la suppression de liens, l'élagage pur et dur de détails peut frustrer les utilisateurs. Afin d'éviter ce désagrément certains systèmes « replient » les parties non pertinentes sous forme d'un icône sur lequel l'utilisateur peut cliquer afin de « déplier » et consulter cette partie.

- **Adaptation de versions de l'information :** Cette manière d'adapter l'information est généralement réservée aux systèmes dont l'adaptation est basée sur des connaissances. L'idée est de proposer, pour un même item d'information, un contenu informationnel différent en fonction du profil de l'utilisateur. Un item d'information possède alors plusieurs versions de contenu, chacun dédié en général à un niveau de connaissance (apprentissage électronique) et/ou à des besoins spécifiques (adaptation aux contraintes techniques). Pour des raisons d'accessibilité, les versions peuvent différer au niveau du média utilisé (texte, audio, vidéo, images de diverses qualités). En pratique, les applications sont généralement dédiées à l'apprentissage électronique. Certains systèmes adaptent le contenu via diverses versions de documents [Nicola et al, 2000], d'autres vont plus loin et fournissent des documents composés de fragments dont les différentes versions sont sélectionnées à la volée [Fink et al, 1998].

En marge de ces deux techniques, il existe des travaux qui proposent de générer du contenu à partir d'une base d'informations abstraites [Micarelli et al, 2007 ; Seefelder de Assis et al, 2006]. Cependant, les préoccupations ne se concentrent pas particulièrement sur l'adaptation à l'utilisateur mais plutôt sur la génération de contenu en langage naturel [Adomavicius et al, 2016].

### 3.2.3 Méta-adaptation

Les différentes manières de recomposer l'information ont leurs propres avantages et inconvénients. La pertinence d'une stratégie d'adaptation peut fortement varier en fonction de l'utilisateur et de ses connaissances. Par exemple, il est désormais

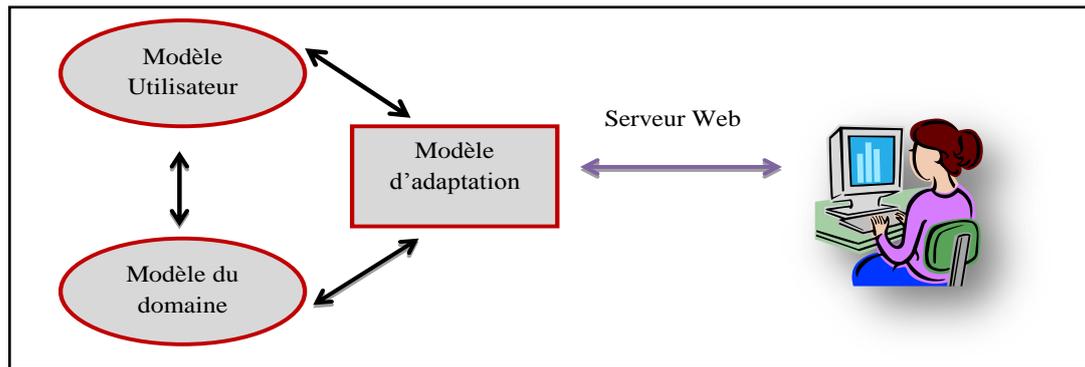
acquis qu'un utilisateur expérimenté est frustré de se voir interdire l'accès à certaines ressources (suppression de liens) alors que cet effet est bénéfique pour de nombreux utilisateurs néophytes. Ce problème a suscité ces dernières années l'intérêt de la communauté des SHA et a donné lieu à la notion de méta-adaptation [Brusilovsky, 2003; Paramythis, 2006]. L'idée est d'adapter et de modifier à la volée la manière d'adapter l'information en fonction du profil de l'utilisateur. De ce fait, la méta-adaptation se place à un niveau plus abstrait que l'adaptation du contenu ou de la navigation [Seefeld de Assis et al, 2006].

Bien que ce genre d'adaptation soit considéré comme une voie d'amélioration des SHA, nous constatons qu'en pratique la méta-adaptation est rendue possible par l'usage intensif de modèles, de connaissances et de bases de règles préétablies [Seefeld de Assis et al, 2006] qui ne sont valides que dans un domaine d'information restreint et fermé. En d'autres termes, la méta-adaptation telle qu'envisagée par la communauté des SHA est pour l'instant très rigide et peu applicable dans un domaine ouvert et dynamique.

En pratique, les techniques de suppression de liens et de réarrangement de liens sont pratiquement inexistantes car peu applicables. Les techniques d'annotation de lien, d'adaptation de la structure et d'adaptation de version de l'information sont en général confinées à des SHA fermés à cause d'un besoin trop important en connaissance. La génération de liens est l'effet d'adaptation le plus souvent rencontré dans les SHA ouverts basés sur le Web (recommandation, e-commerce et recherche d'information) [Paramythis, 2006].

#### **4 Architecture des systèmes hypermédia adaptatifs**

La plupart des SHA exploitent dans leurs architectures divers modèles de connaissances [Zhang et al, 2003] pour offrir un apprentissage et des techniques d'enseignement personnalisés. Dans [Triantafillou et al, 2003], les auteurs montrent que l'architecture générale de la majorité des systèmes hypermédia adaptatifs se résume à : *un modèle d'utilisateur, un modèle de contenu et une stratégie d'adaptation.*



**Figure 1.1** : Architecture générale des systèmes hypermédia adaptatifs  
[Triantafillou et al, 2003].

#### 4.1 Modèle d'utilisateur

Les hypermédia adaptatifs mettent l'accent principalement sur le modèle d'utilisateur. Pour adapter ou personnaliser un contenu à un utilisateur particulier, on doit disposer d'informations sur ce dernier. Donc une modélisation de l'usager est devenue nécessaire. D'après Paul De Bra, « *la modélisation de l'utilisateur est la représentation de son état mental* » [De Bra et al, 2003]. Cette représentation peut contenir des caractéristiques sur les connaissances, les préférences, les objectifs, les compétences de l'utilisateur, etc.

Ce modèle est couramment utilisé en génie logiciel, puis aux systèmes hypermédia adaptatifs. Il est utilisé pour la première fois dans les EIAH (*Environnements Interactifs d'Apprentissage Humain*). Le modèle utilisateur est un modèle qui englobe des caractéristiques de l'utilisateur et il peut être modélisé selon différents points de vue en même temps [Hamza et al, 2012b].

##### 4.1.1 Définitions

Différentes définitions du modèle utilisateur ont été proposées. D'après Wahlster [Wahlster, 1991], le modèle utilisateur est défini par : « *une source de connaissances contenant des suppositions explicites à propos de tous les aspects des utilisateurs qui peuvent être pertinents dans le dialogue du système* ». Il est évident que cette définition met l'accent sur le caractère incertain de la modélisation car une modélisation de l'utilisateur doit fournir une représentation concrète la plus proche possible de sa représentation mentale.

Voici l'énoncé de la définition proposée par Höök [Höök et al, 1996] : « *Un modèle utilisateur est une connaissance à propos de l'utilisateur explicitement ou implicitement codée, utilisée afin d'améliorer son interaction* ». Cette définition s'appuie sur la typologie du modèle utilisateur. Un modèle implicitement codé est un modèle utilisateur inséré par le concepteur d'un système. Or, la connaissance à propos de l'utilisateur est codée dans le système lui-même dans un module séparé pour un modèle explicitement codé.

#### 4.1.2 Caractéristiques à Modéliser

Un modèle utilisateur peut être réalisé selon différents points de vue, en tenant compte de diverses caractéristiques de celui-ci. Selon [Habieb-Mammar, 2003], les différentes caractéristiques de l'utilisateur devant être prises en considération lors de la création de modèle d'utilisateur sont les suivantes:

- **Les objectifs et les plans :** Chaque utilisateur possède des objectifs et souhaite les accomplir. Ainsi, il dispose d'un ensemble de plans ou tâches constituant les étapes parcourues pour atteindre ses objectifs voulus. L'utilisateur peut informer explicitement le système de ses objectifs et ses tâches ou bien le système va les déduits en utilisant des outils de reconnaissance de plans. Cette spécificité n'est pas prise en considération dans les premiers hypermédia adaptatifs. Avec l'apparition des systèmes d'aide en ligne, ils ont attribué les buts de l'utilisateur dans la modélisation de celui-ci. L'utilisateur est porté à faire choisir uniquement la partie du document qui dépend de ses objectifs [Hamza et al, 2012b]. Un exemple très parfait est celui des encyclopédies. Dans un tel système, les buts de l'utilisateur seront utiles pour savoir les hyper nœuds pertinents. Dans la plupart des cas, Les objectifs ainsi que les plans d'un utilisateur peuvent se varier lors d'une situation d'apprentissage. Cela fait un obstacle. La méthode présentée par [Laroussi, 2001] est l'une des méthodes proposées pour résoudre ce phénomène. Cette méthode consiste à présenter à l'utilisateur un éditeur de modèles de tâches. Ce modèle comporte un catalogue de tâches et offre explicitement la séquence de tâches que l'utilisateur souhaite la réaliser.

- **Les connaissances :** Les connaissances sont un paramètre qui se varie d'un utilisateur à un autre et qui peut subir un changement et une mise à jour. Selon leurs connaissances, les utilisateurs peuvent être classés en trois catégories : des novices, des initiés et des experts [Brusilovsky, 2001]. Pour que le système hypermédia soit adaptatif, il doit prendre en considération le niveau de connaissances d'un utilisateur particulier lorsqu'il lui fournit des informations. De ce fait, l'information sera présentée différemment suivant les connaissances de l'utilisateur. Cependant, les connaissances se varient d'un moment à l'autre pour un même utilisateur. Donc, le système adaptatif doit mettre à jour le modèle de connaissances de l'utilisateur [Brusilovsky, 2003]. De diverses techniques ont été utilisées pour gérer les connaissances de l'utilisateur. La technique la plus évidente est de mémoriser ce que l'utilisateur connaît ou ne connaît pas par rapport aux concepts renseignés dans le modèle du domaine. Les modèles de connaissances sont variés selon la nature de la connaissance. D'après Kobsa et Pohl [Kobsa et al, 1995], les concepts d'un domaine peuvent être effectivement connus par l'utilisateur où l'utilisateur croit qu'il les connaît ou bien le système les considère connus par celui-ci. Dans la littérature, de nombreuses techniques de la présentation adaptative s'appuient principalement sur les connaissances de l'utilisateur. Le modèle de connaissance est très utilisé dans les hypermédias éducatifs.
- **L'expérience et la formation :** Les utilisateurs se varient aussi en fonction de leurs expériences et leurs formations. Ceux sont deux spécificités voisines de la caractéristique connaissance. Elles peuvent être vues comme étant l'ensemble des capacités aidant à comprendre la structure hypertextuelle et la structure de navigation de l'hypermédia [Brusilovsky, 2003]. L'expérience de l'utilisateur signifie tout pratique permettant d'acquérir un savoir-faire tandis que sa formation correspond à un ensemble des connaissances théoriques et pratiques acquises en dehors du sujet de l'hypermédia. L'expérience est souvent modélisée par un stéréotype. Selon le niveau d'expertise de l'utilisateur, le système hypermédia adaptatif réagit. S'il s'agit d'un utilisateur qualifié, le système lui donnera tous les paramètres nécessaires à

une commande donnée en même temps. Si l'utilisateur est un novice, le système va réagir étape par étape en lui guidant à chaque fois. Le système C-Book prend en compte l'expérience et la formation de l'utilisateur et les applique à l'adaptation du support de navigation [Brusilovsky, 2007].

- **Les préférences :** Les préférences d'un utilisateur renvoient aux goûts propres à lui tel que son choix d'une présentation, d'une organisation de l'espace de travail, du type de police ou encore l'auteur, du technique d'adaptation, de l'objet d'interaction, etc. Ceux sont difficilement déductibles. Pour cette bonne raison, l'utilisateur doit partager explicitement ses préférences au système [Crampes et al, 1998]. Les préférences peuvent être utilisées pour de nombreux intérêts : soit pour s'adapter et surtout pour paramétrer la présentation, soit pour sélectionner des stéréotypes, ou bien pour déduire des hypothèses sur l'utilisateur [Kobsa, 1993]. Les systèmes d'information en ligne se concentrent principalement sur les préférences des usagers.
- **Les traits individuels, la cognition et les styles d'apprentissage :** Ces trois critères constituent les traits principaux de l'utilisateur. La personnalité décrit le comportement de l'utilisateur qui s'adapte à ses besoins physiques et psychologiques. La cognition inclut l'attention, la perception, la mémoire, le raisonnement, le jugement, l'imagination, et la pensée. Les styles d'apprentissage peuvent englober la personnalité et la cognition [Sauvé et al, 1993]. Les styles d'apprentissage constituent l'état de l'art de ce mémoire. Le deuxième chapitre sera dédié à étudier ce critère. De nombreuses caractéristiques perceptives et cognitives peuvent être négligées lors de la modélisation de l'utilisateur à cause de la difficulté de leurs manipulations. Il est assez difficile d'extraire ces traits. Les entretiens ainsi que les questionnaires sont des méthodes d'évaluation de la personnalité très utilisées. Un test psychologique peut sembler mieux lors de la tâche d'évaluation de style d'apprentissage. Dans ce sens, le système *Manhali* [El Haddioui, 2015] (système de gestion d'apprentissage adaptatif pour la modélisation du comportement et la détection du style d'apprentissage de

l'apprenant) est l'un des plusieurs systèmes d'apprentissage qui sont proposés pour la détection de style d'apprentissage de l'apprenant.

#### 4.1.3 Méthodes d'acquisition des caractéristiques d'utilisateur

Il existe de différentes manières d'acquisition de l'information concernant les spécificités des utilisateurs. Nous trouvons notamment les méthodes explicites ou implicites [Rich, 1989]. Les méthodes explicites utilisent une source externe pour compléter le modèle utilisateur. Tandis que les méthodes implicites donnent au système la possibilité de déduire les caractéristiques de l'utilisateur à l'aide des règles d'inférences. Selon Rich [Rich, 1989], les méthodes explicites constituent rarement des sources fiables d'information si elles reposent sur des questions aux utilisateurs concernant leurs préférences ou leurs connaissances. Un autre inconvénient se rajoute à l'acquisition explicite est qu'elle est difficilement supportable par les utilisateurs. Nous essayons de présenter dans la suite les techniques les plus courantes :

- **L'observation directe :** Cette technique permet d'identifier les clusters ou classes d'utilisateurs ainsi que leurs tâches. Elle peut aussi identifier quelques facteurs critiques. Bien qu'elle soit la méthode la plus précise, l'observation directe est très coûteuse car elle a besoin de personnes expertes derrière chaque usager observé [Dunn et al, 2003].
- **Les interviews :** Une interview est un entretien au cours duquel nous pouvons obtenir spécifiquement les avis à propos des outils existants, de l'expérience et des motivations relatives à l'attitude d'un usager. Elles sont plus courtes et moins coûteuses que la première technique. Cependant, une interview nécessite aussi des personnes expertes [Dunn et al, 2006].
- **Les questionnaires :** Un questionnaire est une liste des questions posées à un utilisateur pour un sujet déterminé. Il fournit des statistiques et des généralisations plus puissantes que les interviews. La caractéristique essentielle de cette technique est qu'elle peut être allouée à des personnes qualifiées ou non. Cette technique est moins coûteuse, comme elle résulte d'une quantité très importante des données [Garrot, 2007]. Toutefois, un questionnaire n'est pas toujours fiable car il est d'une part restreint aux questions dépendant du sujet

déterminé, et d'autres parts n'est pas fait parfaitement lorsque l'utilisateur répond aux questions sans faire attention.

- **L'apprentissage :** Il permet d'obtenir des comportements de l'utilisateur en capturant les traces d'usage du système. Le système peut se servir à des données de l'historique pour capturer ces comportements. Il existe des algorithmes d'apprentissage qui permettent de collecter des informations comportementales sur l'utilisateur [Kobsa et al, 1995]. Les données de l'historique sont procédées par un module d'apprentissage, chargé dans le système ou externe. D'autres systèmes s'appuient sur des règles de sélection pour découvrir les motivations comportementales de l'utilisateur [De Bra et al, 2003].

#### 4.1.4 Classification de modèle d'utilisateur

Selon [Brusilovsky et al, 2007], le modèle utilisateur peut être classé selon deux points de vue principaux : la granularité du modèle et le type de la tâche à laquelle il sera utilisé. Le premier point précis à qui s'adresse le modèle utilisateur : à un utilisateur particulier (modélisation basée contenu) ou à un cluster d'utilisateurs (modélisation collaborative). Pour le second point, nous distinguons notamment quatre types de tâches : la prédiction, la recommandation, la classification et le filtrage. La prédiction est la capacité de prévoir les besoins de l'utilisateur en utilisant le comportement courant de celui-ci. La recommandation est la capacité de suggérer des éléments intéressants à un utilisateur particulier en se basant sur certaines informations supplémentaires.

La classification construit un modèle qui classe les données en une classe prédéfinie parmi plusieurs classes existantes. Finalement, le filtrage est défini par la sélection d'un sous ensemble des éléments intéressants l'utilisateur (à partir d'un ensemble original). Une architecture du modèle utilisateur peut influencer sur la modélisation de celui-ci et par conséquent sur la représentation concrète attendue. Le choix de type du modèle utilisateur peut être attaché aux avantages apportés par ce type. Nous présentons ici les différentes classes du modèle utilisateur proposées dans la littérature.

- **Le modèle individuel / canonique/ stéréotype :** le modèle individuel et le modèle canonique se distinguent par la façon de percevoir les usagers : un individu ou un groupe d'individus [Brusilovsky et al, 1996]. Le modèle individuel conserve et regroupe les caractéristiques spécifiques d'un utilisateur particulier. Pour initialiser le modèle individuel d'un utilisateur, nous pouvons utiliser les stéréotypes. L'intérêt principal de ce modèle est qu'il offre une bonne adaptation pour chaque utilisateur. Ce modèle est généralement utilisé dans les systèmes éducatifs et les systèmes d'aide à la navigation en faisant appel à des techniques de recouvrement. Contrairement au modèle individuel, le modèle canonique conserve les informations d'un groupe d'utilisateurs supposés homogènes. Les utilisateurs appartenant à une même classe seront traités de la même façon. Il présente un intérêt raisonnable. Il offre une représentation de l'ensemble des utilisateurs. Ce modèle est très utilisé dans des systèmes destinés à des groupes d'utilisateurs ayant des caractéristiques en commun. Les systèmes Smart-Guide [Gates, 1998] et Sagres [Bertoletti, 1999] utilisent ce modèle en permettant à des groupes de personnes d'accéder à certaines informations. Pourtant, ce modèle ne peut pas être utilisé pour quelques systèmes lorsque les caractéristiques des utilisateurs sont préjugées trop différentes tels que le système éducatif Interbook [Brusilovsky et al, 1996] et le système d'aide à la navigation PowerBookmarks [Li et al, 1999]. Le modèle stéréotype constitue une approche intermédiaire permettant de raffiner individuellement différents modèles de groupes [Koch, 2000]. Un stéréotype constitue un résumé de caractéristiques les plus représentatives d'une classe d'usagers. Le stéréotype peut être utilisé comme une façon de catégorisation des utilisateurs. La caractéristique principale de ce modèle réside dans la facilité de mettre en œuvre. Pour les systèmes destinés à suivre une personne particulière, ce modèle ne peut pas être envisagé.
- **Le modèle explicite / implicite :** Cette catégorie de modèles permet de déterminer la façon d'acquisition et de mise à jour du modèle utilisateur [Lemouzy, 2011]. Les modèles explicites sont construits par l'utilisateur ou le concepteur. Lors de l'utilisation du modèle explicite, c'est l'utilisateur, ou un gestionnaire, qui remplit les différents champs du modèle utilisateur, en utilisant

des formulaires par exemple. Or, les modèles implicites sont construits par le système sur la base du comportement de l'utilisateur.

- **Le modèle à long terme / à court terme :** Les modèles à long terme/à court terme permettent de distinguer une information à propos de la nature des caractéristiques de l'utilisateur : persistantes ou évolutives [Lemouzy et al, 2010]. Les modèles à long terme conservent uniquement les caractéristiques persistantes et ponctuelles pour une longue période de temps. Si un utilisateur utilise régulièrement un système, ce modèle peut être envisagé. Les modèles à court terme permettent un stockage temporel des informations de l'utilisateur. Ces informations peuvent être évolutives. De ce fait, Ce modèle conserve l'information disponible seulement pendant le temps de la session. La caractéristique essentielle de ce modèle est qu'il permet aux utilisateurs de garder secret leurs informations personnelles.
- **Le modèle psychologique ou cognitif :** Ce modèle conserve les styles d'apprentissage, les capacités de concentration et de raisonnement et les traits de personnalité des utilisateurs. Les modèles psychologiques ou cognitifs sont souvent utilisés dans les hypermédias éducatifs pour représenter les styles d'apprentissage [Koch, 2000]. Dans la littérature, il en existe de différents modèles psychologiques de styles d'apprentissage. Un tel choix du modèle du style d'apprentissage à adopter doit être justifié.
- **Le modèle de recouvrement :** Il permet de modéliser les connaissances d'un utilisateur particulier à propos d'un sujet déterminé, comme un recouvrement du domaine [Iksal, 2001]. Le modèle mémorise une valeur pour chaque concept du domaine. Cette valeur constitue une estimation de la connaissance d'un utilisateur à propos de ce concept. Elle peut être exprimée par une valeur binaire indiquant si le concept est connu ou non ou par des valeurs discrètes appartenant à un ensemble de valeurs prédéfinies ou bien à l'aide de probabilités. Le modèle de recouvrement indique exactement le niveau de connaissance d'un usager. Sa structure est identique à celle du modèle stéréotype dans certains cas [Iksal, 2001]. Bien qu'il soit puissant, flexible et facile à mettre à jour, le modèle

de recouvrement est souvent difficile à initialiser. Les stéréotypes peuvent être utilisés pour initialiser ce modèle.

## 4.2 Modèle de domaine

La modélisation du domaine permet au système de se construire une représentation des différentes informations qu'il fournit. Selon les caractéristiques du domaine d'information présentées dans [Lemouzy, 2011], nous trouvons principalement deux types de modélisation.

### 4.2.1 Domaine fermé

Lorsque le domaine d'information est fermé, la modélisation du domaine est communément assurée par les concepteurs du système ou par les personnes en charge de la maintenance du système. Le modèle du domaine est alors matérialisé sous forme d'une base de données [base de données de produits) ou de ressources qui décrivent le contenu du domaine (ontologies, réseaux sémantiques, etc.) [Lemouzy, 2011].

### 4.2.2 Domaine ouvert

Un domaine ouvert interdit toute modélisation manuelle d'une part à cause de la gigantesque masse d'informations à modéliser et d'autre part à cause de la dynamique de cette masse d'informations. Deux problèmes majeurs sont donc à prendre en compte : le traitement automatique de l'information (textuelle dans la grande majorité des cas) et la synchronisation avec le domaine [Lemouzy, 2011].

Dans la majorité des travaux du domaine [Montaner et al, 2003; Gauch et al, 2007 Micarelli et al, 2007] on retrouve les techniques d'indexation classiques issues du domaine de la Recherche d'Information. En dehors de la représentation vectorielle pondérée [Salton et al, 1983], on trouve les principales techniques de classification automatique de textes telles que les Machines à Vecteurs de Support (SVM), les k-plus proches voisins, la classification Bayésienne Naïve, les arbres de décision et les réseaux de neurones artificiels.

Bien que nécessaire lorsque que le domaine d'information est dynamique [Micarelli et al, 2007], la synchronisation du modèle du domaine n'est pas au centre des préoccupations de la communauté SHA. Cette problématique concerne pour l'instant principalement la communauté de la Recherche d'Information alors que les recherches

concernant les SHA se concentrent pour l'instant sur la «Synchronisation» et l'adaptation à l'utilisateur [Hamza et al, 2012b].

Selon [Brusilovsky et al, 2007], dans un modèle du domaine nous pouvons distinguer notamment : les métadonnées ou les méta-concepts, les concepts et les fragments :

- **Les méta-concepts** constituent un haut niveau d'abstraction. Ceux sont des informations supplémentaires selon lesquelles le système s'adapte à un utilisateur spécifique. Les méta-concepts simplifient la recherche de documents et il sera nécessaire de fournir des formalismes de représentation de ces méta-concepts [Brusilovsky et al, 2007].
- **Les concepts** sont les informations les plus importantes d'un système car elles définissent l'espace d'information accessible aux différents utilisateurs. Ce sont les connaissances qu'un expert souhaite faire partager aux personnes accédant aux services proposés. Un concept peut être atomique ou composite [Brusilovsky et al, 2007].
- **Un fragment** peut être vu comme une partie d'un document, il peut contenir un concept, une connaissance, une image, une idée, etc. Pour que le système hypermédia soit adaptatif, il ne doit générer que les fragments pertinents aux besoins de l'utilisateur [Brusilovsky et al, 2007].

### 4.3 Modèle d'adaptation

Le modèle d'adaptation permet d'effectuer le lien entre le modèle du domaine et le modèle utilisateur en décrivant la façon du système à effectuer son adaptation [Triantafillou et al, 2003]. Un tel modèle doit notamment permettre de représenter la situation dans laquelle se trouve l'utilisateur, la façon dont son profil est mis à jour et les techniques d'adaptation à appliquer [Hamza et al, 2012b]. Il existe de nombreuses approches pour modéliser l'adaptation à l'aide de la logique, qui reposent le plus souvent sur l'utilisation de règles [Stash et al, 2005]. Chaque système propose une manière d'adapter les informations. Pour cette raison, La syntaxe de ces règles dépend principalement du système. Un modèle d'adaptation doit être capable de prendre en compte les différents aspects dynamiques des hypermédiat adaptatifs. Plusieurs aspects ne sont pas modélisés formellement tels que la prise en compte des règles, le

raisonnement sur ses règles, l'insertion de ses règles dans le processus d'adaptation ainsi que les principes d'adaptation sous-jacents [Lemouzy, 2011].

Le modèle de connaissances d'un utilisateur dépend du domaine concerné. De ce fait, un modèle peut être créé pour chaque type de domaine étudié [Triantafillou et al, 2003]. Dans un hypermédia éducatif, l'utilisateur dispose de certaines connaissances à propos d'une matière enseignée. Donc, le modèle de connaissances dépend évidemment de cette matière. Cependant si l'utilisateur nécessite d'autres cours ou d'autres matières, ce modèle sera inutile [Brusilovsky et al, 1998]. En addition, les modèles de connaissances rapportent les causes d'éventuels échecs aux déficiences en matière de connaissances. Or, dans la plupart des cas ces causes correspondent à la méthode d'apprentissage. Ainsi, les modèles de préférences ne permettent pas de prendre en compte l'évolution des préférences de l'utilisateur dans sa session. L'hypermédia risque d'être adaptable qu'adaptatif [Frasincar et al, 2004].

Le recours aux modèles visant le dynamisme de l'adaptation est devenu nécessaire. Plus ces modèles sont capables d'évoluer et de se modifier, plus l'adaptabilité est élevée [Brusilovsky et al, 2007]. En fait, l'utilisabilité et plus généralement l'ergonomie d'un hypermédia adaptatif requièrent des reconfigurations complexes lorsque le changement de contexte est important. Or, il est extrêmement difficile d'élaborer des processus entièrement automatique de reconfiguration. Ceci met en valeur l'importance d'adopter des méthodes qualitatives pour évaluer le bienfondé de l'adaptation effective. Messick [Messick, 1976] souligne que la prise en compte du style d'apprentissage est un meilleur moyen de rendre l'enseignement plus individualisé et l'apprentissage plus efficace.

Les styles d'apprentissage visent à distinguer les différences chez les utilisateurs en termes de caractéristiques spécifiques et d'aller au-delà de ces différences pour améliorer les scores des utilisateurs [Cassidy, 2003]. De cette manière, chaque étudiant peut alors mieux se concentrer pour intégrer le contenu à apprendre, sans constamment faire un effort pour s'ajuster à la manière dont ce contenu lui est présenté. Le modèle de style d'apprentissage est capable de définir des attributs caractéristiques, indispensables et communs à tous les utilisateurs. Ainsi, il est capable de définir des catégories d'attributs permettant de séparer les préférences de l'utilisateur, de son parcours

scolaire/professionnel et des autres attributs. Cette distinction permettra de faciliter l'importation de données, la maintenance du système, ainsi que la communication avec des systèmes extérieurs [Cha et al, 2006].

## 5 Systèmes hypermédia adaptatifs proposés dans la littérature

Dans cette section, nous essayons de présenter les différents SHA proposés dans la littérature selon les trois modèles présentés dans la section 4.

### 5.1 SHA basés sur le modèle d'utilisateur

Selon [Trella et al, 2002] le modèle de l'utilisateur peut être scindé en modèle de connaissances et de préférences (attitude). Le modèle de connaissances de l'utilisateur contient des informations sur le niveau de connaissances de l'utilisateur au regard de chaque concept considéré dans le modèle conceptuel de contenus.

Le système ELM-ART-II (*Educational Learning Material-Adaptive Remote Tutor*) [Weber et al, 1997] permet définir un modèle de connaissances à plusieurs niveaux (concepts: visited, evaluated, inferred, etc). Dans ce système les connaissances que l'utilisateur peut avoir acquises au préalable ne sont pas tenus en compte. La séquence de contenu qui lui sera proposée risque donc de ne pas être adaptée. Le système CUMULATE (*Centralized User Modeling for User and Learner-Adaptive Environments*) [Brusilovsky, 2004] présenté dans le cadre d'un système d'enseignement adaptatif distribué utilise aussi le même principe que le système ELM-ART-II.

Le modèle de préférences contient des informations qui décrivent des caractéristiques autres que le niveau de connaissances. Dans [Cristea et al, 2004], les auteurs envisagent plusieurs solutions, telles que la saisie explicite en début de session par l'utilisateur de quelques attributs le concernant (ex : background knowledge) ou bien une saisie indirecte de données pour définir son style d'apprentissage par le biais d'un questionnaire comme le fait le système INSPIRE (*INtelligent System for Personalized Instruction in a Remote Environment*) [Papanikolaou et al, 2003].

Dans certains systèmes tels que le système TANGOW (*Task-based Adaptive learner Guidance On the WWW*) [Carro et al, 1999] le modèle d'utilisateur est basé sur le style d'apprentissage pour aider l'utilisateur dans sa tâche. Le principe est de supposer que

les utilisateurs ayant des caractéristiques proches auront un comportement similaire face à une tâche d'apprentissage.

Le système HALS (*Heritage Alive Learning System*) [Cha et al, 2006] et les systèmes qui ont été développés dans [Sangineto et al, 2007] exploitent aussi le style de l'apprentissage pour adapter l'information à l'utilisateur. Ils utilisent le modèle de Felder et Silverman [Felder et al, 1988] qui contient quatre dimensions (*sensing/intuitive, visual/verbal, sequential/global, active/reflective*).

Le système 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 utilisateurs (*impulsif, réfléchi, global et analytique*). Pour identifier les styles d'apprentissage, les utilisateurs répondent au questionnaire « *Building Excellence Inventory* » [Rundle et al, 2000] lorsqu'ils utilisent le système pour la première fois. Sur la base de leurs réponses, le modèle initial de l'utilisateur est construit.

SACS (*Style-based Ant Colony System*) [Wang et al, 2008] est un autre système qui utilise les trois modalités de perception des utilisateurs (*visuelle, auditive et kinesthésique*). Le système est fondé sur le modèle de style d'apprentissage de VAK (*Visuel, Auditif, Kinesthésique*) [Fleming, 2001] afin de trouver un parcours adapté aux utilisateurs en utilisant les colonies de fourmis. L'identification des styles d'apprentissage est faite avec le questionnaire VAK. Par ailleurs, les utilisateurs peuvent exprimer volontairement leurs styles d'apprentissage.

## 5.2 SHA basé sur le modèle de contenu

Le modèle de contenu des systèmes hypermédia adaptatifs est composé d'un ensemble d'éléments qui représentent des fragments élémentaires de connaissances du domaine étudié [Brusilovsky, 2003]. Ils sont nommés différemment en fonction des systèmes hypermédia adaptatifs (concepts, éléments de connaissances, sujet) et sont souvent organisés de façon hiérarchique. Le système ALEA (*Adaptive LEarning*) [Brusilovsky et al, 2004] possède un modèle de contenu hiérarchique qui suit le principe qu'un concept peut contenir de la connaissance ou de la connaissance spécifique. Il est composé de concepts auxquels les auteurs ont associé des types différents. Chaque concept est ensuite décomposé en fragments élémentaires.

Le framework MEDEA (*Metodologías y herramientas para el Desarrollo de entornos inteligentes de Enseñanza y. Aprendizaje*) pour (*Methodology and tools for the development of intelligent teaching and learning environments*) [Trella et al, 2002] est composé d'un modèle de contenu organisé sous la forme d'un réseau sémantique de connaissances. D'un point de vue conceptuel, MEDEA est défini par un réseau sémantique de concepts et des données pédagogiques qui visent à aider l'enseignement des concepts. Dans [Brusilovsky et al, 2003], les auteurs ont conçu le modèle de contenu du système DCG (*Dynamic Course Generation*) sur la base du modèle hiérarchique.

Le système INSPIRE (*INtelligent System for Personalized Instruction in a Remote Environment*) [Papanikolaou et al, 2003] exploite la structure hiérarchique pour son modèle de contenu. Il s'agit d'un système hypermédia d'enseignement adaptatif. INSPIRE utilise les métadonnées pour décrire les modules de connaissances [Piombo, 2007]. Celles-ci utilisent trois types de descripteurs : *attributs pédagogiques, sémantique de la ressource, information générale sur la ressource*. Le contenu de ces descripteurs est utilisé par le système pour développer une stratégie d'adaptation qui consiste à proposer des contenus adaptés au niveau de connaissance de l'utilisateur.

L'outil hypermédia conçu dans [Nafidi, 2017] comporte un ensemble de cours, animations et autres ressources. La structure de cet outil est arborescente, ce qui permet à l'apprenant de faire des choix et de créer son propre cheminement dans le contenu du produit multimédia en fonction de ses besoins et ses modes d'apprentissage.

### **5.3 SHA basé sur une stratégie d'adaptation**

Les systèmes adaptatifs ont la capacité de s'ajuster à chaque utilisateur en analysant les actions des différents utilisateurs [Gaudioso et al, 2002]. Ils utilisent essentiellement deux techniques d'adaptation : adaptation de la présentation et adaptation de la navigation [Brusilovsky, 2001].

#### **5.3.1 Adaptation de la présentation**

Les systèmes qui adoptent l'adaptation de la présentation offrent le choix entre différents médias pour présenter le matériel pédagogique. C'est pourquoi, en plus du traditionnel média (texte) utilisé dans la plupart des systèmes éducatifs, il est proposé

d'utiliser des vidéos, du son, des animations, etc [Brusilovsky, 2001]. Adapter la présentation peut aussi consister à modifier la manière de présenter une information à l'utilisateur. Par exemple, il est possible de modifier le comportement d'un système lorsque l'utilisateur réalise une évaluation formative [Trella et al, 2002].

### 5.3.2 Adaptation de la navigation

Les systèmes qui mettent en œuvre l'adaptation de la navigation ont une structure de contenus hiérarchique. Des hyperliens offrent à l'utilisateur de naviguer entre les chapitres ou les sections. Deux techniques sont utilisées pour implémenter l'adaptation de la navigation : annotation adaptative et Ordonnancement de programme.

- *Annotation adaptative*

Le système Hera [Frasincar et al, 2004] préconise une adaptation de la navigation basée sur le niveau d'expertise de l'utilisateur dans le domaine étudié. Cette adaptation est statique, c'est à dire qu'elle n'évolue pas en cours de séquence.

Le système ELM-ART (*Educative Learning Material-Adaptive Remote Tutor*) [Weber, 2001] ajoute à chaque lien présent à l'écran un feu bicolore qui conseille l'utilisateur sur le parcours à suivre dans la page. Ce genre d'annotation ne donne pas à l'utilisateur une image de son niveau de connaissances ou de sa progression dans le système sur le sujet étudié. Le système INSPIRE [Papanikolaou et al, 2003], pour combler cette lacune, complète l'information par une coupe dont le niveau de liquide est proportionnel au niveau de connaissances dans le sujet du lien. Une coupe vide indiquera que le système considère l'utilisateur comme un novice dans le sujet, alors qu'une coupe pleine sera le reflet d'un niveau d'expert sur le domaine.

Le système AHA (*Adaptive Hypermedia for All*) [Stash, et al, 2006] est un système adaptatif qui utilise la technique d'annotation adaptative pour offrir à l'utilisateur une navigation adaptée dans les contenus. Ce système 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 et al, 2002] et un langage générique d'adaptation des styles d'apprentissage appelé LAG-XLS (*Language Adaptation Generic, and a new Xml adaptation language for Learning Styles*) [Stash, 2007].

- ***Ordonnancement de programme***

La technique d'ordonnancement de programme est largement utilisée dans le domaine des ITS (*Intelligent Tutoring System*). Cette technique consiste à prendre des décisions sur les chapitres ou sections vers lesquels l'utilisateur doit être dirigé en fonction de pré-requis et de ce qu'il a déjà effectué. L'idée est de générer un cours individualisé pour chaque utilisateur en sélectionnant la meilleure activité pédagogique (*présentation, exemple, question ou problème*) pour l'apprentissage d'un concept donné. Ce choix ayant pour but ultime d'amener l'utilisateur dans les meilleures conditions pour atteindre l'objectif pédagogique.

Dans [Brusilovsky et al, 2003], les auteurs présentent le système DCG (*Dynamic Course Generation*). Ce système est capable de générer un cours individualisé pour chaque utilisateur en tenant compte de l'objectif pédagogique à atteindre. Le système INSPIRE [Papanikolaou et al, 2003] est construit sur ce principe. Il a comme objectif d'aider l'utilisateur dans la phase d'apprentissage en proposant des contenus adaptés à leur niveau de connaissances dans le domaine étudié et selon son style d'apprentissage.

Le système hypermédia d'enseignement adaptatif centré sur les styles d'apprentissage proposé dans [Dahbi, et al, 2009] a été conçu pour résoudre cette situation. Ce système traite le style d'apprentissage en tant que critère d'adaptation d'un cours en ligne. Une première étape consiste à choisir le modèle des styles d'apprentissage. La sélection de ces styles est réalisée par un questionnaire dédié. D'autre part, les activités d'apprentissage sont conçues afin de refléter les dimensions liées aux styles d'apprentissage. Enfin, la présentation de ces activités est gérée par un module d'adaptation probabiliste. Dans [Laroussi et al, 2011] un Framework générique de web service a été défini. Ce Framework permettant une adaptation d'un artefact plate-forme de formation aux différents styles (visuel, auditif, kinesthésique) des utilisateurs.

#### **5.4 Synthèse**

A partir de l'état d'art que nous avons présenté dans la section 5, nous pouvons premièrement, décomposer les SHA selon le modèle utilisé pour traiter le critère de l'adaptation en trois catégories qui peuvent se chevaucher entre elles: la première catégorie utilise le modèle utilisateur pour adapter les contenus de document

hypermédia à partir d'estimation de l'ensemble des caractéristiques de l'utilisateur (préférences et connaissances) comme le système ELM-ART-II [Weber et al, 1997] et le système CUMULATE présenté dans le cadre d'un système d'enseignement adaptatif distribué [Brusilovsky, 2004].

La deuxième catégorie parte de modèle de contenu pour traiter le critère de l'adaptation, ce modèle est organisé se forme d'un ensemble d'éléments (concepts, éléments de connaissances, sujet) qui représentent des fragments élémentaires de connaissances du domaine étudié, comme le framework MEDEA [Trella et al, 2002].

La troisième catégorie utilise des stratégies d'adaptation pour garantir la notion de l'adaptation. Ces systèmes utilisent essentiellement deux techniques d'adaptation: adaptation de la présentation et adaptation de la navigation, comme le système Hera [Frasincar et al, 2004].

Certains systèmes hypermédia adaptatifs appartiennent à chacune des trois catégories précédentes comme le fait le système INSPIRE [Papanikolaou et al, 2003]. Le modèle utilisateur de ce système utilise un questionnaire pour définir le style d'apprentissage de l'utilisateur. Le système INSPIRE possède un modèle de contenu hiérarchique. Ce modèle de contenu est basé sur la notion d'objectifs d'apprentissage que l'utilisateur est autorisé à choisir pour débiter son étude. Le système INSPIRE utilise la stratégie d'adaptation "*annotation adaptatif*" pour garantir la notion d'adaptation de la navigation.

Deuxièmement, nous pouvons classer les SHA selon leurs utilisations de style d'apprentissage pour garantir la notion de l'adaptation en deux classes. Les systèmes de la première classe utilisent seulement le niveau de connaissance de l'utilisateur pour proposer une adaptation, comme les cas des systèmes ELM-ART-II [Weber et al, 1997] et CUMULATE [Brusilovsky, 2004].

Les systèmes de la deuxième classe sont basés sur les styles d'apprentissage. Ces systèmes considèrent que l'adaptation aux styles d'apprentissage est une tâche importante qui doit être prise en compte lors de la phase de conception des séquences pédagogique, comme les cas des systèmes TANGOW [Carro et al, 1999], iWeaver [Wolf, 2007] et SACS [Wang et al, 2008]. Le système hypermédia d'enseignement

adaptatif centré sur les styles d'apprentissage proposé dans [Dahbi et al, 2009] est aussi basé sur les styles d'apprentissage pour garantir la notion de l'adaptation. Ainsi que le Framework définit dans [Laroussi et al, 2011] qui propose de mettre en place un processus dynamique d'adaptation de l'EIAH (Environnement Informatique pour l'Apprentissage Humain) au style des utilisateurs dans le cadre d'un dispositif de formation de type industriel.

## 6 Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre les principales caractéristiques des SHA en termes de modèles adoptés, méthodes d'adaptation et domaines d'applications.

A partir des connaissances présentées, nous pouvons dire que le domaine des SHA est très vaste. Partant des concepts de base de ces systèmes, nous pouvons focaliser les points suivantes : (i) les différentes définitions de terme *Hypermédia* s'articule sur la construction d'un modèle utilisateur et sur l'utilisation de ce modèle pour garantir la notion d'adaptation ; (ii) la distinction entre les deux termes *hypermédia adaptable* et *hypermédia adaptatif* se détermine par les interactions de utilisateur avec le système; (iii) les domaines d'applications des SHA engendrent plusieurs types de ces systèmes.

Pour qu'un hypermédia soit adaptatif, il doit être susceptible d'adapter leur contenu pour mieux aider à orienter l'utilisateur pendant leur parcours pédagogique. Il en existe de nombreuses méthodes d'adaptation dans les SHA. Ainsi que pour chaque méthode d'adaptation, il ya de diverses façons ou techniques pour s'adapter. Dans ce sens, nous avons présenté les deux grandes classes d'adaptation de l'information hypermédia identifiées dans [Brusilovsky, 2001]: *l'adaptation de la navigation et l'adaptation du contenu*.

La plupart des SHA exploitent dans leurs architectures divers modèles de connaissances [Zhang et al, 2003] pour offrir un apprentissage et des techniques d'enseignement personnalisés. Dans [Triantafillou et al, 2003], les auteurs montrent que l'architecture générale de la majorité des systèmes hypermédia adaptatifs se résume à : *un modèle utilisateur, un modèle de contenu et une stratégie d'adaptation*.

Nous avons utilisé cette architecture pour exposer les SHA proposés dans la littérature à travers d'une classification selon leur traitement de la notion d'adaptation. Selon cette classification, nous pouvons conclure que l'objectif principal des SHA est de fournir des adaptations de contenu hypermédia aux différents utilisateurs. Nous avons vu dans la section 4 que plusieurs recherches s'orientent vers l'utilisation des styles d'apprentissage pour garantir l'aspect de l'adaptation. Pour cette raison nous essayons dans le deuxième chapitre de cette thèse de présenter les notions de base des styles d'apprentissage.

## CHAPITRE 2

# Styles d'Apprentissage pour les Systèmes Hypertexte Adaptatifs

### 1 Introduction

La personnalisation de l'apprentissage humain remonte aux travaux sur les interactions entre aptitudes et traitements qui prônent l'adaptation de l'instruction aux caractéristiques de l'individu [Cronbach et al, 1977]. A cette fin, des nombreux travaux de recherche se sont focalisés sur l'identification des dimensions des différences individuelles [Carver et al, 1999; Laroussi et al, 1998]. Ces recherches ont mené à la naissance de domaine du style d'apprentissage. Ce dernier attire dans l'ensemble une variété de disciplines (science de l'éducation, psychologie, etc.), bien que la psychologie cognitive soit dominante.

Plusieurs recherches en systèmes hypermédia adaptatifs s'intéressent ces dernières années à la prise en compte du style d'apprentissage comme facteur clé dans le processus d'adaptation de contenu, [Laroussi et al, 1998 ; Carver et al. 1999 de Bra et al, 2002 ; Stash et al, 2006 ; Stash, 2007 ; Wang et al, 2008 Dahbi et al, 2009 ; Laroussi et al, 2011]. L'intégration de ces styles dans un environnement informatique permet de bénéficier plusieurs avantages et apporte également la possibilité de considérer le style d'apprentissage de chaque apprenant individuellement par l'adaptation des contenus, en terme de forme, de structure, d'ordre de présentation des activités d'apprentissage et de choix de ces activités [El Haddioui, 2015].

Notre travail de recherche s'inscrit dans le contexte d'environnements des hypermédia adaptatives et vise à produire un système qui permet d'optimiser les adaptations offertes aux utilisateurs selon leurs styles l'apprentissage. 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.

Au cours de ce chapitre, et après avoir défini la notion de style d'apprentissage et étudié les différents modèles et classifications des styles d'apprentissage proposés dans la littérature, nous présentons les différents SHA qui utilisent les styles d'apprentissage.

## 2 Définitions de styles d'apprentissage

Définir les styles d'apprentissage n'est une tâche simple. Un survol de la littérature met rapidement en évidence la pluralité et la diversité des définitions [Page-Lamarche, 2005]. Dans cette section, nous essayons de présenter les définitions les plus récentes. Ces définitions peuvent être renvoyées à au moins une des trois dimensions suivantes citées dans [Chevrier et al, 2000]: (i) les préférences relatives aux contextes de l'enseignement et l'apprentissage ; (ii) les processus et les modalités de traitement de l'information ; (iii) les caractéristiques individuelles de la personnalité.

Claxton et Ralston [Claxton et al, 1978] ont défini le style d'apprentissage par : *«la manière constante d'un élève de répondre à des stimuli et de les utiliser en cours d'apprentissage»*. Selon Keefe [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 apprenants perçoivent, interagissent et répondent dans un environnement d'apprentissage»*. Cette définition perçoit le style d'apprentissage d'un individu comme étant des structures cognitives, affectives et psychologiques chez lui.

Une autre définition proposée par Reinert [Reinert, 1976]: *«Le style d'apprentissage d'un individu est la manière dont cette personne est programmée pour apprendre le plus efficacement, c'est-à-dire pour recevoir, comprendre, retenir et être capable d'utiliser une nouvelle information»*. Reinert mettent l'accent sur le caractère personnel mais en disant que le style d'apprentissage correspond à une sorte de programme intérieur qui gère notre comportement. Celle de Curry [Curry, 1983] est la suivante : *«Il y a peut-être une sorte d'entente émergeant des écrits qui est d'utiliser le terme style pour désigner des routines de traitement d'information qui fonctionnent comme des traits au*

*niveau de la personnalité*». Cette vision rend en quelque sorte l'individu prisonnier de son comportement.

Selon le point de vue d'Entwistle [Entwistle, 1981], le style d'apprentissage renvoie à la tendance d'agir d'une certaine manière servant à qualifier non seulement le comportement mais la personne elle-même. Il a proposé la définition suivante : *«Le style d'apprentissage correspond à la tendance générale à adopter une stratégie particulière»*. Or, la définition proposée par Schmeck [Schmeck, 1983] est la suivante : *«Un style d'apprentissage est une prédisposition chez certains élèves à adopter une stratégie d'apprentissage particulière de manière indépendante des demandes spécifiques de la tâche d'apprentissage»*. D'après Das [Das, 1988], *«Le style d'apprentissage est une prédisposition à adopter une stratégie d'apprentissage particulière»*.

La définition du style d'apprentissage donnée par Patureau [Patureau, 1990] est la suivante : *«Si l'on peut définir le style d'apprentissage d'une personne comme sa façon à elle d'apprendre, modelée par son style cognitif (sa façon de fonctionner) et son vécu en matière d'enseigner-apprendre »*. Or, Dunn et Dunn [Dunn et Dunn, 1978] insistent sur la manière de traitement de l'information. La définition qu'ils ont proposée est comme suit : *«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»*. Ces auteurs mettent l'accent sur le caractère personnel et distinct d'agir et de s'adapter dans un contexte d'apprentissage plutôt que sur l'habileté ou le produit.

Deux définitions mettent l'accent sur l'aspect préférentiel du style d'apprentissage. La première définition est celle de Kirby [Kirby, 1979]. Il a défini le style d'apprentissage par : *«la façon personnellement préférée de transiger avec l'information et l'expérience dans des situations d'apprentissage indépendamment des contenus»*. Selon Legendre [Legendre, 1993], le style d'apprentissage est le : *«mode préférentiel modifiable via lequel le sujet aime maîtriser un apprentissage, résoudre un problème, penser ou, tout simplement, réagir à une situation pédagogique. Cette caractéristique propre à chacun se traduit par une orientation marquée vers les personnes ou vers les tâches, par des capacités perceptuelles différentes, par une*

*sensibilité plus ou moins grande à un encadrement extérieur, par une propension à travailler seul ou en équipe, par une préférence pour un enseignement structuré, etc».*

Les trois dimensions de style d'apprentissage sont effectivement reprises dans la définition de Riding et Rayner [Riding et al, 1998] : *«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».*

La nature du style d'apprentissage demeure encore un bon débat à cause de la diversité des définitions de ce concept. Nous trouvons des différences de termes et de concepts dans les définitions du style d'apprentissage proposées dans la littérature. Les travaux sur les styles d'apprentissage font appel à des concepts issus des théories de l'apprentissage. Donc, c'est à partir d'une théorie ou d'une combinaison des théories de l'apprentissage que les styles peuvent être définissent. Dans la section 3, nous essayons de présenter ces différentes théories d'apprentissage.

### **3 Théories d'apprentissage**

Les théories de l'apprentissage apparaissent comme des modèles théoriques et abstraits qui proposent des explications cohérentes des causes, processus et des produits de l'apprentissage [Dessaints, 1995]. De fait, la théorie de l'apprentissage à laquelle adhèrent le formateur, mais également le concepteur de l'environnement d'apprentissage, fait partie des déterminants environnementaux auxquels l'apprenant doit s'adapter [Marchand, 2001]. La récente émergence des nouvelles technologies pose le besoin d'une théorie de l'apprentissage qui prenne en compte ces environnements technologiques [Jacquinot, 1993]. La réflexion sur la manière dont on apprend n'est pas véritablement nouvelle. Les théories de l'apprentissage traitent de la conduite d'un individu moyen, ou d'un «sujet épistémique» [Legendre, 1993].

Selon [Henri et al, 2001; Dessaint, 1995; Marchand, 1997], nous distinguons notamment cinq théories d'apprentissage, chacune semblant s'appuyer sur un cadre théorique et des paradigmes pédagogiques distincts : la théorie empiriste, la théorie béhavioriste, la théorie constructiviste, la théorie cognitiviste et la théorie socioconstructiviste. Le choix d'une telle théorie dépend de son efficacité en termes

d'apprentissage. Nous allons présenter dans la suite ces différentes théories d'apprentissage.

### **3.1 La théorie empiriste**

L'empirisme est à la fois un mode de pensée et d'action fondé sur l'observation et l'expérience personnelle des faits, et une doctrine philosophique qui fait de la perception sensorielle la source unique de la connaissance. Les empiristes refusent l'abstraction des discours et ne veulent s'en tenir qu'à la vérité des faits observables. Selon le point de vue de Giordan [Giordan, 1988], l'empirisme représente le savoir fondé sur l'expérience, l'observation, le hasard, rejetant tout recours à la théorie ou au raisonnement. Cette théorie repose sur l'idée que l'apprentissage procède par des processus d'imprégnation et de mémorisation, et se réalise à travers un acte de transmission.

L'avantage de cette approche est qu'elle permet de fournir une quantité importante d'informations à un maximum de personnes en un temps raisonnable [Dessaint, 1995]. Cependant, de nombreux obstacles persistent. Le principal inconvénient réside dans le décalage inévitable entre le message transmis par l'enseignant et celui retenu par l'apprenant. Ainsi, mémoriser un concept et réussir une tâche, ne veut pas dire systématiquement que l'on ait compris. Cela se réside dans la fréquente absence de questionnement des apprenants au regard des problèmes abordés par l'enseignant. Ces paramètres conduisent nécessairement à des obstacles lors de la situation d'apprentissage [Marchand, 1997].

### **3.2 La théorie béhavioriste**

Le béhaviorisme constitue une forme plus évoluée d'empirisme. La théorie béhavioriste s'intéresse à l'étude des comportements observables et mesurables et considère l'esprit comme une « boîte noire » [Cyert et al, 1970]. La théorie béhavioriste tire ses origines des recherches pionnières du physiologiste Pavlov sur le conditionnement des animaux. Pavlov proposa une théorie de l'apprentissage essentiellement basée sur le conditionnement. L'expérience de Watson, avec le jeune garçon Albert et son rat blanc, montre que l'homme n'est que le reflet de son milieu [Marchand, 1997]. Dès les années 1950, les théories béhavioristes se sont cristallisées dans les travaux de Skinner qui a mis au point un programme de conditionnement plus

élaboré que celui initialement développé par Watson. Les expériences de Skinner consistent à introduire un rat affamé dans une cage et par essais successifs pour sortir ou trouver la sortie, le rat est capable d'atteindre sa nourriture [Henri et al, 2001].

Avec ces expériences, Skinner annonçait une forme nouvelle de conditionnement, lié au seul renforcement de conduites. Skinner introduit une modalité pédagogique révolutionnaire à son époque : l'enseignement programmé, conçu pour renforcer le comportement du sujet avec une récompense [Page-Lamarche, 2005]. Bien qu'il conserve encore un intérêt réel, le béhaviorisme comporte certaines limites. Les béhavioristes sont incapables d'expliquer certains comportements sociaux. De plus, ils peuvent modeler de nouveaux comportements plusieurs jours après l'observation initiale sans y avoir été renforcé [Henri et al, 2001]. Vers les années 1960, étant donné ces observations, des auteurs proposent d'intégrer les conceptions et les processus mentaux au processus d'apprentissage, ce qui mènera à l'apparition des théories du cognitivisme et éventuellement du socioconstructivisme [Page-Lamarche, 2005].

### **3.3 La théorie constructiviste**

Les constructivistes croient que chaque apprenant construit son propre savoir, en se basant sur sa perception d'expériences passées [Riding et al, 1998]. Selon eux, la connaissance ne consiste pas en un reflet de la réalité telle qu'elle se présente, mais en une construction de celle-ci. Le constructivisme tire ses origines des travaux du psychologue suisse Jean Piaget [Piaget, 1969], ensuite il a été influencé par les travaux du psychologue américain Jérôme Bruner [Bruner, 1966]. Les travaux de Piaget et Scott portent sur le développement intellectuel des enfants. L'apprenant construit ses connaissances par son action propre et ne peut assimiler des connaissances nouvelles que s'il dispose des structures mentales qui le permettent [Page-Lamarche, 2005]. La théorie constructiviste de Bruner met l'accent sur la catégorisation partant du principe que l'homme interprète le monde en termes de ressemblances et dissemblances. Ainsi, la construction des connaissances est un processus dynamique où la connaissance est activement construite par l'apprenant, non passivement reçue de l'environnement, et ce qu'un individu va apprendre dépend de ce qu'il sait déjà [Marchand, 1997].

La théorie constructiviste permet d'augmenter l'autonomie et la créativité chez l'apprenant. Bien que cette théorie conduit à une meilleure compréhension du

phénomène abordé, l'assimilation et l'accommodation de connaissances nouvelles sont insuffisants pour dépasser des connaissances ou reflexes de pensée naïfs antérieurs. La pédagogie constructiviste reste donc très limitée pour comprendre les difficultés ou les erreurs lors de fausses réponses [Riding et al, 1998].

### **3.4 La théorie cognitive**

La théorie cognitive part du principe que nous pouvons inférer des représentations, des structures et des processus mentaux à partir de l'étude du comportement [Gardner, 1985]. Elle étudie les grandes fonctions psychologiques de l'être humain que sont la mémoire, le langage, l'intelligence, le raisonnement, la résolution de problèmes, la perception ou l'attention. Contrairement au behaviorisme, elle défend l'idée que la psychologie est bien l'étude du mental et non du comportement. Parmi les auteurs les plus influents ayant développé la théorie du traitement de l'information nous retrouvons les travaux de Gagné ainsi que ceux d'Ausubel [Ausubel, 1968].

A ce sujet, Ausubel souligne le rôle central joué par les processus de structuration dans l'apprentissage et reprend l'idée de Bruner [Bruner, 1966] qu'il est essentiel de prendre en compte ce que l'apprenant connaît déjà. Contrairement à ce dernier, Ausubel [Ausubel, 1968] refuse la conception constructiviste selon laquelle un apprentissage en profondeur ne peut être réalisé qu'en confrontant l'apprenant à des problèmes.

La théorie cognitiviste comporte toutefois une limite importante, liée au fait qu'un matériel bien structuré ne suffit pas pour assurer un apprentissage, il faut aussi que l'étudiant ait le désir et la motivation d'apprendre. De ce fait, les aspects affectifs (motivation, intérêt, buts poursuivis) jouent un rôle important puisqu'ils fournissent l'énergie nécessaire pour effectuer un apprentissage [Page-Lamarche, 2005].

### **3.5 La théorie socioconstructiviste**

Le socioconstructivisme est une théorie qui met l'accent sur la dimension relationnelle de l'apprentissage, inspirée des travaux de Bandura [Bandura, 1986]. Issu en partie du constructivisme, le socioconstructivisme ajoute la dimension du contact avec les autres apprenants, la collaboration, afin de construire en commun ses connaissances. La construction d'un savoir, bien que personnelle, s'effectue dans un cadre social. Les informations sont en lien avec le milieu social, le contexte culturel et

proviennent à la fois de ce que l'on pense et de ce que les autres apportent comme interactions. En pédagogie, nous dirons que l'apprenant élabore sa compréhension de la réalité par la comparaison de ses perceptions avec celles de ses pairs et celles de l'enseignant.

Vygotsky [Vygotsky, 1978] a posé les premiers jalons de la théorie socioconstructiviste qui s'oppose à une vision individualiste de l'apprentissage. Le thème majeur de ses travaux exhorte le rôle fondamental joué par les interactions sociales dans le développement de la cognition et apporte un puissant correctif social à la théorie de Piaget [Piaget, 1970]. Vygotsky [Vygotsky, 1978] aborde l'apprentissage sous l'angle de l'action structurante des nombreuses interactions que le sujet vit dans son environnement social. Ces interactions conduisent l'apprenant à réorganiser ses conceptions antérieures et à intégrer de nouveaux éléments apportés par la situation.

Selon les théories d'apprentissage présentées dans cette section, nous pouvons conclure qu'il existe plusieurs manières d'apprendre, chaque manière constitue un style spécifique. Dans la suite de cette thèse, le terme « style d'apprentissage » sera utilisé comme un concept englobant les styles cognitifs, les préférences et les stratégies d'apprentissage. Dans la section 4, nous allons découvrir quelques modèles de style d'apprentissage proposés dans la littérature.

### **4 Modèles de styles d'apprentissage**

Dans la littérature, il existe un très grand nombre de modèles de styles d'apprentissage (plus de 100 modèles dans [Mitchell, 1994]). Ces modèles se différencient selon la théorie d'apprentissage adoptée ainsi que le nombre et la description des dimensions qu'ils incluent. Coffield [Coffield, 2004] a identifié 71 modèles de styles d'apprentissage dont 13 modèles ont reconnu un usage répandu et une influence sur les autres modèles grâce à leur importance théorique.

Selon Lynn Curry [Curry, 1983], les modèles de styles d'apprentissage sont regroupés en trois classes :

- Les modèles de style d'apprentissage qui s'intéressent aux préférences pour les conditions d'enseignement et d'apprentissage tels que la luminosité de la pièce, le niveau de bruit ambiant, etc. Nous distinguons notamment le modèle

de Grasha et Reichmann [Grasha et al, 1975], le modèle de Dunn et Dunn [Dunn et al, 1978], etc.

- Les modèles de style d'apprentissage qui s'intéressent aux traits de la personnalité de l'apprenant. Nous trouvons ici le modèle de Myers et Briggs [Myers et al, 1962], le modèle de Witkin [Witkin et al, 1971], etc.
- Les modèles de style d'apprentissage qui s'intéressent à la manière dont l'apprenant traite l'information, en termes de moyens privilégiés pour assimiler l'information tels que la modalité sensorielle la plus performante. Nous trouvons dans cette classe le modèle de Gregorc [Gregorc, 1982], le modèle de Fleming [Fleming, 1995], le modèle de Honey et Mumford [Honey et al, 1986], le modèle de Kolb [Kolb, 1984], etc.

### 4.1 Le modèle de Grasha et Riechmann

Le modèle de Grasha et Riechmann [Grasha et al, 1975] développe la notion du style d'apprentissage dans une perspective de relations interpersonnelles. Grasha et Riechmann classifient les apprenants en six catégories: compétitif, collaborateur, fuyant participant, dépendant et indépendant. Le tableau ci-dessous donne des descriptions de chaque style:

- **Le style compétitif** : se caractérise par son attitude compétitive, sa motivation et son désir de gagner. Un apprenant ayant ce style acquière des connaissances pour obtenir de meilleurs résultats et croit qu'il doit se mesurer aux autres pour obtenir les récompenses offertes.
- **Le style collaborateur** : se caractérise par la coopération, le partage ainsi que le plaisir d'interagir avec d'autres. Les apprenants collaborateurs estiment qu'ils peuvent apprendre en partageant des idées et des talents entre eux.
- **Le style fuyant** : manifeste peu d'enthousiasme à apprendre le contenu du cours. Les apprenants fuyant se caractérisent par l'absence de participation avec les autres étudiants et les enseignants aux activités.
- **Le style participant** : se caractérise par son désir d'apprendre le contenu du cours et sa réaction positive à réaliser avec les autres ce qui est demandé. Les

apprenants participants aiment prendre part au plus grand nombre possible d'activités.

- **Le style dépendant** : se caractérise son manque de curiosité intellectuelle et son besoin de l'enseignant comme source d'information et de structure. Les apprenants dépendants apprennent uniquement la matière obligatoire.
- **Le style indépendant** : se caractérise par son autonomie de pensée, sa confiance en soi, sa capacité de structurer soi-même son travail. Les apprenants indépendants préfèrent acquérir les connaissances qu'ils jugent importantes et travailler seuls.

Grasha et Riechmann [Grasha et al, 1975] ont aussi élaboré un instrument, *Student Learning Styles Scale*, qui suppose l'existence de trois dimensions bipolaires: compétitif par rapport à collaborateur, participant par rapport à fuyant et indépendant par rapport à dépendant. Plusieurs recherches par la suite ont montré que seule la dimension participant-fuyant donne de manière constante des scores opposés. Le style d'apprentissage est évalué à partir du profil de réponses de l'élève.

### 4.2 Le modèle de Dunn et Dunn

Le modèle de Dunn et Dunn [Dunn et al, 1978; Dunn et al, 2003] est un très bon exemple des modèles appuyant sur les préférences individuelles de l'apprenant et leur développement. Dunn et Dunn proposent un certain nombre de variables qu'ils jugent importantes dans l'apprentissage et qui peuvent être sources de différences individuelles. Au cours des années soixante-dix, ce nombre de variables augmentera de douze à vingt pour former cinq catégories:

- *Variables environnementales* : son, lumière, température et le design.
- *Variables affectives* : motivation, persistance, responsabilité et structure.
- *Variables sociologiques* : apprendre mieux seul, avec un autre, en équipe, avec un adulte ou de manière variée.
- *Variables physiologiques* : modalités perceptives efficaces, fluctuation du niveau d'énergie selon le moment de la journée, besoin de mobilité pendant l'apprentissage.

- *Variables psychologiques* : traitement global par apport à analytique, degré de spécificité hémisphérique et fonctionnement réfléchi par apport à impulsif.

Toutes ces variables sont mesurées à l'aide d'un instrument intitulé par : *Learning Styles Inventory*. Ils ont principalement concentré leurs recherches à mettre en lumière les relations entre les différentes composantes de leur modèle [Dunn et al, 1996].

### 4.3 Le modèle MBTI (*Myers Briggs Type Indicator*)

Le modèle MBTI [Myers et al, 1985] inspiré de la théorie des types psychologiques de Jung, est un instrument développé pendant 40 ans de travail par Isabel Briggs Myers et sa mère Katherine Cook Briggs en 1962. Cet instrument vise à mesurer quatre dimensions de la personnalité: *l'orientation de l'énergie, extraversion par apport à introversion, le recueil d'information, sensation par apport à intuition, la prise de décision, raison par apport à émotion, et le mode d'action, jugement par apport à perception*. Les combinaisons de ces quatre dimensions permettent de déterminer seize grands types de personnalité.

Le modèle de Myers et Briggs reconnaît une vaste gamme d'utilisation. En se basant sur l'idée que des caractéristiques de la personnalité définissent le style d'apprentissage d'une personne, certains auteurs ont montré comment identifier les conduites éducatives caractéristiques de chacun des types et spécifier des styles d'apprentissage [Lawrence, 1994].

### 4.4 Le modèle de Gregorc

Le modèle de Gregorc [Gregorc, 1982] comporte quatre styles d'apprentissage dégagés des deux dimensions qui caractérisent le comportement des apprenants : séquentiel-aléatoire et concret-abstrait. Gregorc a identifié:

- **Le style concret-séquentiel** : se caractérise par une préférence pour ce qui est pratique, ordonné, stable et pour la prise d'informations dans des expériences concrètes et pratiques.
- **Le style concret-aléatoire** : se caractérise par une préférence pour un environnement riche de stimulations, libre de toutes restrictions et par un besoin d'expérimenter les concepts et les idées en privilégiant une démarche par essais et erreurs.

- **Le style abstrait-séquentiel** : se fonde sur la logique pour comprendre les situations et se caractérise par une préférence de lecture et des présentations stimulantes mentalement.
- **Le style abstrait-aléatoire** : se caractérise par une préférence pour une atmosphère d'apprentissage non structurée laissant place à la liberté d'expression et une forte conscience des comportements humains et une habileté à les interpréter.

Ainsi il a construit un questionnaire, *Gregorc Learning Style Delineator*, qui permet d'évaluer les quatre styles d'apprentissage définis à partir de la position relative sur ces deux dimensions.

### 4.5 Le modèle de Kolb

Le modèle de Kolb [Kolb, 1984] se fonde sur un processus d'apprentissage expérientiel comportant quatre phases chacune constituant une étape essentielle : l'expérience concrète, l'observation réfléchie, la conceptualisation abstraite et l'expérimentation active. 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. Les quatre phases se regroupent selon deux dimensions [Kolb, 1974] : concret/abstrait et action/réflexion.

La typologie de Kolb compte quatre styles d'apprentissage issus des diverses combinaisons possibles selon le mode dominant sur chaque dimension [Chevrier et al, 2000]:

- **le style divergeant (concret-réfléchi)** : se caractérise par l'interprétation de situations concrètes de différents points de vue,
- **le style assimilateur (réfléchi-abstrait)** : s'explique par l'appropriation d'une gamme étendue d'informations et leur intégration concise et logique,
- **le style convergeant (abstrait-actif)** : se caractérise par la recherche d'applications pratiques aux concepts et aux théories,

- **le style accommodateur (concret-actif) :** présente de fortes capacités de mise en œuvre d'expériences pratiques et l'implication personnelle dans de nouvelles expériences comportant un défi.

Pour mesurer ces styles, Kolb [Kolb, 1974] a développé l'instrument LSI (*Learning Style Inventory*). Le LSI comprend neuf groupes de quatre mots. Pour chaque ensemble de mots, le répondant assigne une pondération différente de 1 à 4. La cote 4 est réservée au mot qui désigne le mieux la manière habituelle d'apprendre et la cote 1 à celui qui caractérise le moins la manière habituelle d'apprendre. De ces neuf groupes de mots, seulement six seront retenus dans la compilation des scores. Pour déterminer le mode dominant sur un axe, Kolb calcule la différence entre les scores obtenus sur chacun des modes. Ce procédé permet ainsi d'en arriver à déterminer le mode dominant sur chaque dimension et par là le style d'apprentissage de l'apprenant correspond à la combinaison des deux modes dominants [Kolb, 2000].

### 4.6 Le modèle de Honey et Mumford

Le modèle de Honey et Mumford [Honey et al, 1986], fondé sur les travaux de Kolb, s'appuie essentiellement sur les aspects pratiques et les expérimentations pour assimiler et concrétiser les concepts théoriques. Selon Honey et Mumford, chacune des phases comporte des conduites et des attitudes propres et est importante pour compléter avec succès le processus d'apprentissage. 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.

Honey et Mumford ont décrit quatre styles d'apprentissage. Ces styles sont associés respectivement aux différentes phases d'apprentissage expérientiel :

- **Le style actif :** 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. Il se caractérise également par l'enthousiasme, la flexibilité mais les activistes prennent parfois des risques inutiles, à se lancer dans l'action sans suffisamment de préparation.
- **Le style réfléchi :** 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.

- **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.
- **le style pragmatique :** 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.

Honey et Mumford [Honey et al, 1986] ont développé un instrument qui mesure les quatre styles d'apprentissage LSQ (*Learning Styles Questionnaire*). Cet instrument a été adapté en français par Fortin, Chevrier et Amyot, en 1997. Dans sa version anglaise, le LSQ compte 80 énoncés auxquels on répond sur une échelle dichotomique en indiquant l'accord ou le désaccord. Les items se regroupent en quatre échelles, chacune comprenant 20 items et mesurant le degré de préférence pour un style d'apprentissage donné. La version française comporte aussi 20 items par échelle mais quelques-uns ont été modifiés afin d'améliorer sa fidélité et sa validité.

### 4.7 Le modèle de Felder et Silverman

Parmi les modèles de styles d'apprentissage les plus utilisés, celui proposé par [Felder et al, 1988]. Ce modèle est défini en répondant aux cinq questions suivantes [Laroussi, 2001]:

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?

Ainsi, dans cette première version du FSLSM (*Felder and Silverman Learning Style Model*), le modèle comprenait 5 dimensions : perception (sensoriel/intuitif) tirée de [Myers et al, 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, et compréhension (séquentiel/global) fondée sur le modèle de style d'apprentissage de [Pask, 1976]. Ce modèle a été réduit en quatre dimensions dans [Felder et al, 1995], 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]. Bien que ces dimensions ne soient pas nouvelles, la façon de décrire les styles d'apprentissage est innovante. En effet, 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 [Felder et al, 1988] 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 et Silverman, 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 and Silverman Learning Style Model*) [Felder et al, 1996] ont développé ILS (*Index of Learning Styles*), un questionnaire de 44 questions (11 questions pour chaque dimension). Les préférences sont exprimées avec des valeurs impaires comprises entre -11 et +11 par dimension, pour exprimer une faible, moyenne, ou forte préférence.

### 4.8 Modèle de Witkin

Parmi les modèles de styles d'apprentissage ayant une grande notoriété dans la communauté, nous pouvons citer celui de [Witkin et al, 1971]. Ce modèle 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 et al, 2004]. Dans ce sens, ce modèle différencie les apprenants selon qu'ils soient dépendants ou indépendants à l'égard du champ (ou du domaine) [Chen et al, 2008]:

- Les apprenants indépendants du champ ont tendance à présenter des comportements plus individualistes, car ils n'ont pas besoin d'aide externe pour le traitement de l'information. Ils sont plus susceptibles de développer leurs propres références et à restructurer leurs connaissances. Par conséquent, ils ne sont pas facilement influencés par les autres, et sont plus analytiques dans leur approche d'apprentissage.
- Les apprenants dépendants du champ ont une orientation plus sociale que les apprenants indépendants, car ils sont plus susceptibles de solliciter des références et de l'aide externes. Ils sont plus facilement influencés par

les opinions des autres, et ont tendance à percevoir l'image globale dans leur approche d'apprentissage.

Pour mesurer ces deux styles, plusieurs outils ont été développés. Parmi ces outils, le test de figures imbriquées GEFT (*Group Embedded Figures Test*) proposé par [Witkin et al, 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. Ce test est reconnu comme étant fortement corrélé aux performances académiques.

En effet les étudiants en cursus scientifiques ont souvent de meilleurs scores que des étudiants en cursus littéraires [Tinajero et al, 1997; Clark et al., 2000 Pithers, 2002] dans [Tyndiuk, 2005]. Nous pouvons également citer CSA (*Cognitive Styles Analysis*) proposé par [Riding, 1991] qui est composé de deux parties. La première consiste à juger si des formes complexes sont semblables ou différentes, la seconde partie a le même principe que le GEFT (*Group Embedded Figures Test*) [Chen et al, 2008].

### 4.9 Modèle de Fleming

Le modèle de Neil Fleming [Fleming, 2001] est l'un des modèles de styles d'apprentissage les plus connus et les plus faciles à utiliser. Le modèle de Neil Fleming se base sur les principaux modes sensoriels d'apprentissage : la vision, l'ouïe et le toucher. Il s'intéresse aux modalités de traitements de l'information par l'apprenant. Dans sa forme originale, le modèle de Fleming englobe quatre styles d'apprentissage : le style visuel, le style auditif, le style lecture/écriture et le style kinesthésique. De nombreux concepteurs incluent la préférence lecture/écriture dans le style d'apprentissage visuel [Barbe et al, 1988]. Ainsi, les préférences d'apprentissage visuelles, auditives et kinesthésiques fournissent des renseignements précieux sur la manière dont les gens apprennent, un contexte pour songer à ce que les enseignants peuvent faire pour intéresser diverses préférences d'apprentissage [Fleming, 2001]. De ce fait, on va s'intéresser uniquement aux trois styles d'apprentissage VAK : le style visuel (V), le style auditif (A) et le style kinesthésique (K).

- **Le style visuel :** les apprenants visuels se caractérisent par une meilleure mémoire en utilisant la vision. Ils apprennent mieux avec du matériel visuel comme les cartes, les graphiques, les diagrammes, les images, les vidéos, les documents de cours, les diaporamas, les marches à suivre illustrées dans les manuels, etc. La couleur joue un rôle très important dans l'apprentissage visuel. Généralement, elle permet d'attirer les attentions des apprenants visuels aux documents pertinents pour améliorer l'apprentissage.
- **Le style auditif :** les apprenants auditifs apprennent mieux en écoutant. Ils aiment acquérir des connaissances avec des discussions, des exposés, des débats et d'autres situations qui donnent l'occasion de discuter et d'écouter ce que les autres ont à dire. La narration orale des histoires ou la création des analogies verbales joue un rôle très important dans l'illustration d'un point précis lors d'une situation d'apprentissage. Ils sont sensibles aux sens sous-entendus que dégagent le ton et la hauteur de la voix ainsi que le débit de l'orateur.
- **Le style kinesthésique :** les apprenants kinesthésiques apprennent en bougeant, en exécutant et en touchant. Ils aiment souvent prendre des notes, qu'ils embellissent d'illustrations, de diagrammes, de situations d'apprentissage pratiques, etc. Ainsi, Ils préfèrent balayer du regard le matériel écrit au départ pour avoir une idée générale avant de se concentrer sur les détails. Lors de la situation d'apprentissage, les apprenants kinesthésiques aiment écouter de la musique et font souvent des pauses. Pour apprendre une langue, ils préfèrent se réunir avec d'autres personnes pour tenir une conversation.

Barbe, Swassing et Milone [Barbe et al, 1988] ont développé un instrument, « *Swassing-Barbe Perceptual Modality Instrument* » permettant d'identifier les styles visuel, auditif et kinesthésique. L'originalité de ce modèle est de mesurer les styles à partir du rapport entre des scores de performance à des tests de mémorisation plutôt qu'à partir des perceptions de l'apprenant de son comportement. Dans le chapitre 3, nous avons justifiée notre choix d'adopter le modèle de Fleming VAK (*visuel, auditif et kinesthésique*) pour déterminer les styles d'apprentissage des apprenants.

### 4.10 Synthèse

A travers l'étude des modèles de styles d'apprentissage existants dans la littérature, 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. Pour mesurer ces préférences, chacun propose un questionnaire, avec des questions à choix multiple ou unique, ou la reconnaissance de formes, dont le nombre est souvent important.

Notons également que les auteurs des modèles présentés dans la section 4, sauf pour [Witkin et al, 1971], considèrent que le style d'apprentissage n'est pas stable, mais plutôt des préférences qui changent en fonction des situations, ou des périodes, mais qui peut être relativement stable pour une période donnée [Kolb, 2000].

Enfin, vu la multitude des modèles proposés dans la littérature, plusieurs classifications ont été proposées, Dans la section 5, nous essayons de présenter une classification des styles d'apprentissage selon Lun Curry [Curry, 1983].

## 5 Classification des modèles de styles d'apprentissage selon Lun Curry

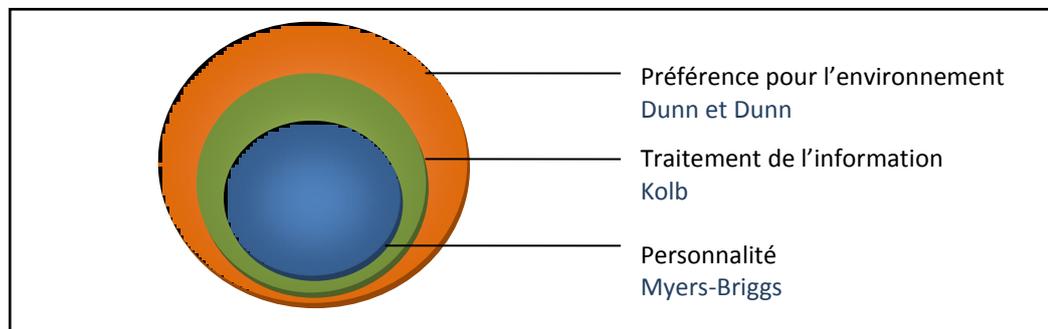
Plusieurs chercheurs [deBello, 1990; Vermunt, 1998; Riding et al, 1998 ; Chevrier et al, 2000; Cassidy, 2003; Coffield et al, 2004] ont classé les modèles de style d'apprentissage selon les théories ou les aspects mis en valeur par leurs auteurs. Ces classifications s'inspirent en grande partie du modèle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

Le modèle d'oignon de Curry [Curry, 1983] est considéré comme une bonne base pour distinguer entre les différentes théories des styles d'apprentissage. Partant de la confusion remarquée dans les définitions et la stabilité ou non des styles d'apprentissage, il propose, à travers la métaphore de l'oignon en trois couches de répartir les modèles de styles d'apprentissage en trois catégories [Chevrier et al, 2000] :

1. Dans la première classe nous retrouvons les préférences pour des conditions d'enseignement et d'apprentissage particulières (*instructional preference*). Par

exemple, la luminosité de la pièce, le niveau de bruit ambiant font partie de ces préférences, etc. Le modèle de Dunn et Dunn [Dunn et al, 1978] est un bon exemple de ce premier niveau.

2. Dans la deuxième classe, il y a le style de traitement d'information (*information processing style*) correspondant aux caractéristiques de l'approche de l'individu en termes de moyens privilégiés pour assimiler l'information tels que, par exemple, la modalité sensorielle la plus performante. Le modèle de Kolb [Kolb, 1984] ainsi que celui d'Honey et Mumford [Honey et al, 1992] constituent de bons exemples pour ce second niveau.
3. Enfin, la troisième classe. il s'intéresse au style de la personnalité cognitive (*cognitive personality style*). Ce niveau réfère aussi aux caractéristiques d'assimilation d'information de la personne mais en fonction de traits de la personnalité tels que ceux mesurés dans le modèle de MBTI [Myers et al, 1985] ou ceux qui constituent les styles cognitifs. Par exemple, la personne reconnaît qu'elle est plus introvertie qu'extravertie ou l'inverse.



**Figure 2.1** : Modèle d'ignon de [Curry, 1983]

## 6 Styles d'apprentissage dans SHA

Des recherches dans le domaine des SHA portent sur les principes de conception, de développement et d'évaluation de systèmes informatiques qui permettent à des êtres humains d'apprendre [Li et al, 1999; Frasinca et al, 2004; Seefelder et al, 2006; Bunt et al, 2007; Dahbi et al, 2009; Bousbia, 2011]. 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 pré-requis et aux traits individuels s'avère indispensable [Brusilovsky et al, 2007].

Parmi les traits individuels considérés, plusieurs recherches en systèmes hypermédia adaptatifs s'intéressent ces dernières années à la prise en compte du style d'apprentissage comme facteur clé dans le processus d'adaptation de contenu [Brusilovsky et al, 2004; Cha et al, 2006; Laroussi et al, 2011; Mitrovic, 2014 El Haddioui, 2015; Aleven et al, 2017]. L'intégration de la théorie d'apprentissage dans un environnement informatique permet de bénéficier des avantages de ces styles et apporte également la possibilité de considérer le style de chaque apprenant individuellement par l'adaptation des contenus, de structure, d'ordre de présentation des activités d'apprentissage et de choix de ces activités. Ces différentes tâches sont difficiles à prendre en considération par un enseignant dans une situation traditionnelle de formation avec un groupe ou une classe d'apprenants [Bousbia, 2011].

Dans cette section, nous essayons d'utiliser une étude présentée dans [Bousbia, 2011] pour présenter, en premier temps, les systèmes qui utilisent le modèle de style d'apprentissage de Felder et Silverman [Felder et al, 1988], suivi par les systèmes utilisant les modalités de perception, par la suite les SHA utilisant d'autres modèles de styles d'apprentissage, et enfin les systèmes proposant une architecture indépendante d'un modèle spécifique. Pour chacun, nous précisons les préférences de styles d'apprentissage implémentées et l'approche utilisée pour les identifier.

### **6.1. SHA basés sur FSLSM**

Dans la suite, nous essayons de présenter les SHA basés sur le modèle de Felder et Silverman FSLSM (*Felder and Silverman Learning Style Model*) [Felder et al, 1988].

#### **6.1.1. CS383**

CS383 [Carver et al. 1999] est l'un des premiers SHA qui gère les styles d'apprentissage. Le besoin d'intégrer ces styles a été motivé par la nécessité de trouver une approche permettant aux apprenants un usage efficace des ressources pédagogiques au milieu d'un ensemble d'objets multimédias, déjà disponibles sur le

système présenté dans [Wolf, 2007]. Le système CS383 fournit l'adaptabilité sur la base des dimensions sensoriel/intuitif, visuel/verbal, séquentiel/global du modèle de [Felder et al, 1988]. D'une part, il enregistre les styles d'apprentissage dans le modèle apprenant, suite à leurs réponses au questionnaire ILS (*Index of Learning Styles*) du FLSM 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 les styles d'apprentissage des apprenants selon le classement établi.

### 6.1.2. CAMELEON

CAMELEON (*Computer Aided Medium for Learning On Network*) [Laroussi et al, 1998; Laroussi, 2001] est un SHA, semblable à CS383 et basé également sur les trois dimensions du modèle de style d'apprentissage de [Felder et al, 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 (*Index of Learning Styles*) [Felder et al, 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 spécifique. Toutefois, les apprenants peuvent choisir de ne pas tenir compte de leur style et d'explorer librement l'environnement.

### 6.1.3. LSAS

LSAS (*Learning Style Adaptive System*) [Bajraktarevic et al, 2003] est un SHA qui intègre la dimension « séquentiel/global » du FLSM (*Felder and Silverman Learning Style Model*). Pour identifier le style d'apprentissage, le questionnaire ILS (*Index of Learning Styles*) est utilisé. L'adaptabilité 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.

### 6.1.4. MASPLANG

MASPLANG (*Adaptive Presentation, Adaptive Navigation and Affective Behavior in an E-Learning Hypermedia System with Intelligent Agents*) [Peña, 2004] est un système multi-agents qui a été développé afin d'enrichir le système tuteur intelligent USD (*Unitats de Suport a la Docencia*) pour (*Teaching support units*) [Fabregat et al, 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 [Felder et al, 1988] et son questionnaire ILS (*Index of Learning Styles*) 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 qui utilise le comportement des apprenants et leurs actions en tant que source. L'adaptabilité 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.

### 6.1.5. TANGOW

TANGOW (*Task-based Adaptive learner Guidance On the Web*) [Carro et al, 1999] est un autre SHA 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 et al, 2004].

Les apprenants sont invités à remplir le questionnaire ILS (*Index of Learning Styles*) quand ils se connectent au système pour la première fois, afin d'initialiser le modèle apprenant. Par la suite, le modèle 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 apprenant créé [Laroussi, 2001].

### 6.2. SHA centrés sur le modèle de Fleming VARK

#### 6.2.1. Arthur

Arthur [Gilbert et al, 2002] est SHA qui utilise les trois préférences d'apprentissage (auditif, visuel et tactile) du modèle proposé par [Sarasin, 1998] semblable au modèle de styles d'apprentissage de VARK (*Visual, Auditory Reading/ writing and Kinesthetic*) [Fleming, 1995] qui traite les modalités de perception préférées par les apprenants (visuelle, auditive, lecture/écriture et kinesthésique). Ce système basé sur le Web, est similaire à CS383 [Carver et al. 1999] et CAMELEON [Laroussi, 2001] vu que l'adaptation se fait par la présentation des ressources qui correspondent le 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, le système Arthur affecte le style d'apprentissage aux apprenants à l'aide d'un raisonnement à base de cas [Gilbert et al, 2002].

#### 6.2.2. iWeaver

Le SHA iWeaver (*Towards an Interactive Web-Based Adaptive Learning Environment to Address Individual Learning Styles*) [Wolf, 2002 ; 2007] est basé sur les préférences de perception (auditif, visuel-image, visuel-texte, tactile kinesthésique et kinesthésique interne) inspirés de modèle de VAK de Fleming [Fleming, 2001], ainsi que les quatre préférences psychologiques des apprenants (impulsif, réfléchi, global et analytique) du modèle de style d'apprentissage de Dunn et Dunn [Dunn et al, 2003]. Dans iWeaver, les apprenants répondent au questionnaire (*Building Excellence Inventory*) pour identifier leurs styles d'apprentissage [Rundle et al, 2000] lorsqu'ils utilisent le système pour la première fois., le modèle initial de l'apprenant est construit sur la base de leurs réponses .

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 [Wolf, 2007] 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.

### 6.2.3. SACS

Le système SACS (*Style-based Ant Colony System*) [Wang et al, 2008] est un autre système qui est basé sur le modèle de style d'apprentissage de VARK (*Visual, Auditory, Reading/ writing and Kinesthetic*) [Fleming, 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.

### 6.3. SHA basés sur d'autres modèles de styles d'apprentissage existants

Un autre modèle de style d'apprentissage utilisé dans les SHA est celui proposé par [Kolb, 1974]. Ce modèle a été implémenté dans le projet de recherche 3DE (*Design, Development, and Delivery Electronic Environment for Educational Multimedia*) [Garrot, 2007], ainsi que dans les premières versions de AHA (*Adaptive Hypermedia for All*) ! [de Bra et al, 2002]; [Stash et al, 2006].

Dans le même sens, un autre modèle de style d'apprentissage basé sur l'apprentissage expérientiel est utilisé dans les SHA, celui de [Honey et al, 1992]. Le système INSPIRE (*INtelligent System for Personalized Instruction in a Remote Environment*) [Papanikolaou et al, 2003] l'utilise 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.

Enfin, le modèle de style d'apprentissage de [Witkin et al, 1971] relatif à la dépendance ou l'indépendance des apprenants à l'égard du domaine a été implémenté dans AES-CS (*Adaptive Educational System based on Cognitive Styles*) [Triantafillou et al, 2003]. Le système guide les apprenants dépendants du domaine via l'adaptation du support de navigation. Les apprenants indépendants du domaine peuvent contrôler leurs navigations et adopter différentes stratégies de navigation. Pour identifier les styles d'apprentissage le système utilise le test GEFT (*Group Embedded Figures Test*) [Witkin et al, 1971] dédié au modèle.

### 6.4. SHA acceptants plusieurs modèles de styles d'apprentissage

#### 6.4.1. AHA !

AHA! (*Adaptive Hypermedia for All*) [Stash et al, 2006; Stash, 2007] est un SHA 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 et al, 2002] et un langage générique d'adaptation des styles d'apprentissage appelé LAG-XLS (*Language Adaptation Generic, and a new Xml adaptation language for Learning Styles*) [Stash et al, 2004]. 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 et al, 2006] ont 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 [Stash, 2007].

[Stash et al, 2006] ont procédé à une évaluation de l'utilisation de AHA! avec 34 étudiants en informatique et systèmes d'information. Une des conclusions tirées de cette évaluation est que des différences significatives ont été trouvées lors de la comparaison des styles d'apprentissage déclarés dans le formulaire d'inscription avec les résultats du questionnaire ILS (*Index of Learning Styles*). Ceci tendrait à prouver que les apprenants n'ont que peu de connaissances sur leurs préférences des styles d'apprentissage. Par conséquent, le modèle de l'apprenant pourrait s'initialiser avec des données erronées.

### 6.4.2. ADAPT

Dans le cadre du projet ADAPT [Brown et al, 2005], les auteurs proposent une extension du modèle d'oignon de [Curry, 1983], pour la modélisation de l'apprenant. Les EIAH (*Environnement Informatique d'Apprentissage Humain*) implémentant la théorie des styles d'apprentissage sont classés dans la couche appropriée [Bousbia, 2011]. Ces couches sont subdivisées en catégories plus fines. Il s'agit des dimensions communes aux différents modèles de styles d'apprentissage existant dans la littérature, et utilisées par les différents système adaptatifs. Par exemple, la couche « traitement de l'information », dans laquelle nous retrouvons la majorité des systèmes adaptatifs qui implémentent cette théorie, peut être subdivisée en trois sections: global/analytique, verbal/imager et sensoriel/intuitif.

L'objectif de cette taxonomie est de concevoir un modèle de l'apprenant permettant un maximum d'adaptabilité en abordant des questions telles que les paramètres qui doivent être enregistrés, comment ces paramètres influent sur l'adaptation et comment l'adaptation pourrait se produire (au niveau du contenu ou des liens ou les deux). Cette classification a permis dans le cadre du projet ADAPT de créer un profil apprenant à base de styles [Bousbia, 2011].

### 6.5 Synthèse

A travers cette étude, nous constatons que l'objectif général de l'usage des styles d'apprentissage dans les SHA est de garantir l'adaptation et la personnalisation de la formation. En termes de modèle utilisé, nous remarquons que les systèmes

adaptatifs actuels exploitent quelques modèles de styles d'apprentissage considérés comme les plus populaires. La majorité de ces systèmes prennent en compte uniquement un seul modèle de style d'apprentissage, ou une partie de ses dimensions ou de ses préférences [Bousbia, 2011].

Le modèle de Felder et Silverman [Felder et al, 1988] reste le plus utilisé dans plusieurs SHA comme les systèmes : CS383 [Carver et al. 1999], CAMELEON [Laroussi, 2001], LSAS [Bajraktarevic et al, 2003] MASPLANG [Peña, 2004] TANGOW [Carro et al, 1999]. Les raisons de sa popularité sont récapitulées par [Bousbia, 2011], qui justifie leur choix de FLSM par le fait qu'il accomplit la plupart des critères exigés : (i) le modèle devrait être capable d'évaluer quantitativement les styles d'apprentissage; (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.

Le modèle de style d'apprentissage de Fleming [Fleming, 1995 ; 2001] est aussi parmi les modèles les plus utilisés dans les SHA, comme les systèmes : Arthur [Gilbert et al, 2002], iWeaver [Wolf, 2007] et SACS [Wang et al, 2008]. Selon [Popescu, 2009], la justification de la popularité de ce modèle de Fleming peut être traduite par le fait que ce modèle accomplit les critères suivants : (i) Le modèle réalise un bon degré de validité, de fiabilité et de cohérence ; (ii) Le modèle a été largement expérimenté ; (iii) Le modèle a une influence significative pour le processus d'apprentissage selon la psychologie éducationnelle ; Ainsi, (iv) Le modèle conserve une grande simplicité à être implémenté. De plus, bien que d'autres modèles puissent avoir des bases théoriques plus fortes, Le modèle de Fleming a une influence significative pour le processus d'apprentissage selon la psychologie éducationnelle et contient des recommandations pragmatiques utiles pour personnaliser l'enseignement selon les profils des apprenants [Popescu, 2009]. Pour toutes ces raisons nous avons aussi choisi d'utiliser le modèle de Fleming pour nos expérimentations dans la suite de cette thèse.

Des tentatives de conception de modèles de styles d'apprentissage pour les systèmes hypermédia adaptatifs à base de ceux existants ont été proposées [Bousbia, 2011]. Dans [Brown et al, 2005] les auteurs proposent de créer une classification des styles pouvant être utilisée avec un modèle apprenant en rajoutant des couches au modèle de Curry [Curry, 1983]. [Popescu, 2009] construisent un modèle à partir des différents modèles existants, en incluant les styles satisfaisant un ensemble de conditions. Pour l'identification des styles d'apprentissage, ces 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 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. Le système est alors axé sur la mise en œuvre d'une logique d'adaptation, au moyen d'un ensemble de techniques (questionnaires, tests, ...).

## 7 Conclusion

Les études présentées dans ce chapitre montrent que le domaine des styles d'apprentissage est complexe. Partant de la définition du concept du style d'apprentissage, nous avons remarqué qu'il existe plusieurs définitions, et plusieurs terminologies telles que styles cognitifs, préférences et stratégies d'apprentissage, qui ont également conduit à des confusions sur la stabilité ou non des styles d'apprentissage, et l'élaboration de plusieurs modèles. Pour clarifier et prendre en compte tous ces aspects, nous avons choisi de considérer la définition de Riding et Rayner [Riding et al, 1998] qui prend en compte les 3 dimensions des définitions proposées dans [Chevrier et al, 2000] et citées dans la section 1 de ce chapitre.

Par conséquent, suites au nombre important de modèles de styles d'apprentissage proposés dans la littérature, nous avons choisi d'utiliser le modèle de Fleming [Fleming, 2001]. La justification de notre choix a été présentée dans la section 6.5 de ce chapitre.

Des études présentées par des auteurs des SHA indiquent une influence positive de l'usage des styles d'apprentissage dans tels environnements d'apprentissage [Carver et al, 1999; Papanikolaou et al, 2003; Sangineto et al, 2007; Wang et al, 2008].

Dans ce sens, les styles d'apprentissage ont été utilisés dans ce domaine pour offrir un contenu adaptatif à un apprenant. Dans un autre sens, la dimension de l'optimisation d'adaptation est un critère très important qui doit être traité dans le domaine des SHA. Cette dernière dimension permet de vérifier que les connaissances offertes pendant un parcours pédagogique sont acquises par l'apprenant [Hamza et al, 2014]. Des tentatives de prendre en considération de la notion d'optimisation de l'adaptation lors de développement des SHA ont été proposées dans la littérature, c'est l'objectif de chapitre suivant de présenter cette nouvelle tendance.

**CHAPITRE 3****L'optimisation dans les Systèmes Hypermédia  
Adaptatifs****1 Introduction**

Dans la section 5 du premier chapitre, nous avons exposé les différents SHA proposés dans la littérature ([Weber et al, 1997; Brusilovsky, 2004 ; Wolf, 2007 Wang et al, 2008 ; Dahbi et al, 2009; Laroussi et al, 2011]) selon une classification qui utilise l'architecture de [Triantafillou et al, 2003] qui est basée sur les trois modèles de base d'un SHA. Dans le même sens, nous avons vu dans la section 6 de deuxième chapitre que la majorité des recherches dans le domaine des SHA s'orientent ces dernières années vers la prise en compte du style d'apprentissage comme un facteur clé dans le processus d'adaptation de contenu [Brusilovsky et al, 2004; Cha et al, 2006; Laroussi et al, 2011; Mitrovic, 2014 ; El Haddioui, 2015; Aleven et al, 2017].

L'étude de ces différents SHA nous a permis de conclure que la recherche dans ce domaine progresse dans le sens d'améliorer le critère de l'adaptation, c'est-à-dire, trouvé des nouvelles techniques et des stratégies d'adaptation pour offrir un contenu plus adapté au profil de l'utilisateur [Hamza et al, 2014].

L'expression « *plus adapté* » signifie qu'ils existent plusieurs adaptations pour chaque utilisateur de document hypermédia, et parmi ces adaptations, il se trouve des adaptations qui sont plus adéquates à son profil. Donc, la question qui se pose est « Quelle est l'adaptation optimale pour un utilisateur de document hypermédia? ». La réponse de cette question engendre la résolution de problème d'optimisation des adaptations offertes par les SHA. Dans la première partie de ce chapitre, nous essayons de présenter le problème général de l'optimisation. Ensuite, dans la deuxième partie

nous essayons de présenter les algorithmes et les modèles d'optimisation d'adaptation proposés dans le domaine des SHA.

## 2 Problème de l'optimisation

L'optimisation est une discipline en plein essor qui entre en jeu dans beaucoup de domaines, comme dans la conception de circuits électroniques, la recherche opérationnelle, la biologie, mais aussi pour répondre aux besoins croissants des secteurs économique et industriel (maximisation des performances, minimisation des coûts) [Boussaid, 2013].

Un problème d'optimisation se définit comme la recherche, parmi un ensemble de solutions possibles  $S$  (appelé aussi *espace de décision* ou *espace de recherche*), de la (ou des) solution(s)  $x^*$  qui rend(ent) minimale (ou maximale) une fonction mesurant la qualité de cette solution. Cette fonction est appelée *fonction objectif* ou *fonction coût*. Si l'on pose  $f : S \rightarrow R$  la fonction objectif à minimiser (respectivement à maximiser) à valeurs dans  $R$ , le problème revient alors à trouver l'optimum  $x^* \in S$  tel que  $f(x^*)$  soit minimal (respectivement maximal) [Yang et al, 2011].

La résolution d'un problème d'optimisation consiste à rechercher la meilleure solution possible à ce problème, c'est-à-dire l'optimum global. Cependant, il peut exister des solutions intermédiaires, qui sont également des optimums, mais uniquement pour un sous-espace restreint de l'espace de recherche : nous parlons alors d'optimums locaux. La seule hypothèse faite sur  $S$  est qu'il s'agit d'un espace topologique, c'est-à-dire, sur lequel est définie une notion de voisinage. Cette hypothèse est nécessaire pour définir la notion de solutions locales du problème d'optimisation. Nous pouvons alors définir un optimum local (relativement au voisinage  $V$ ) comme la solution  $x^*$  de  $S$  telle que  $f(x^*) \leq f(x); \forall x \in V(x^*)$  [Yang et al, 2011].

## 3 Méthodes d'optimisation

Les méthodes d'optimisation recherchent une solution, ou un ensemble de solutions dans l'espace de recherche, qui satisfont l'ensemble des contraintes et qui minimisent ou maximisent, la fonction objectif. Pour certains de ces problèmes d'optimisation, la

solution optimale ne peut être trouvée par des méthodes exactes. C'est le cas des problèmes dits d'optimisation difficile [Gardeux, 2011].

Pour résoudre ces problèmes difficiles, des techniques ont été conçues pour déterminer des points qui ne sont pas rigoureusement optimaux, mais qui s'en approchent. Ces méthodes, appelées Heuristiques et métaheuristiques, se basent généralement sur des phénomènes physiques, biologiques, socio-psychologiques ou font appel au hasard. Les domaines d'application de ce type de méthodes sont vastes et s'étendent souvent bien au-delà des problèmes pour lesquels elles ont été initialement conçues [Dréo et al, 2003].

Dans une application hypermédia adaptative, plusieurs adaptations peuvent être présentées pour un seul utilisateur, et parmi ces adaptations, il se trouve des adaptations qui sont plus proches à son profil. Donc l'optimisation de l'adaptation dans le domaine des SHA est un problème d'optimisation difficile [Hamza et al, 2018]. C'est pour cette raison que nous allons présenter dans cette section une classification générale des différentes méthodes d'optimisation difficile selon une classification présentée dans [Dréo et al, 2003].

### 3.1 Méthodes à base de solution unique

Les méthodes d'optimisation à base de solution unique sont appelées aussi des *méthodes de trajectoire*. Contrairement aux méthodes à base de population (Section 3.2), L'optimisation à solution unique commence avec une seule solution initiale et s'en éloignent progressivement, en construisant une trajectoire dans l'espace de recherche [Boussaid, 2013]. Les méthodes de trajectoire englobent essentiellement la méthode de descente, la méthode du recuit simulé, la recherche tabou, la méthode GRASP.

#### 3.1.1 Méthode de descente

La méthode de descente (*DM : Descent method*) est l'une des méthodes les plus simples de la littérature. Elle est également appelée « *hill climbing* » dans les problèmes de maximisation. Son principe consiste, à partir d'une solution initiale, à choisir à chaque itération un point dans le voisinage de la solution courante qui améliore strictement la fonction objectif. Il existe plusieurs moyens de choisir ce voisin : soit par

le choix aléatoire d'un voisin parmi ceux qui améliorent la solution courante (*first improvement*) ; soit en choisissant le meilleur voisin qui améliore la solution courante (*best improvement*). Dans tous les cas, le critère d'arrêt est atteint lorsque plus aucune solution voisine n'améliore la solution courante [Papadimitriou et al, 1982].

Le principal inconvénient de la DM est qu'elle reste piégée dans le premier optimum local rencontré. Les méthodes de ce type ne présentent aucune forme de diversification. Une amélioration de cet algorithme consiste à redémarrer plusieurs fois, lorsqu'un optimum local est trouvé, à partir d'une nouvelle solution générée aléatoirement. Nous parlons alors d'algorithme de descente avec relance (*multiple start random hill climbing*) [Boussaid, 2013].

### 3.1.2 Le recuit simulé

La méthode du recuit simulé (*SA : Simulated annealing*) trouve ses origines dans le formalisme de mécanique statistique (*algorithme Metropolis* [Metropolis et al, 1953]). Elle a été mise au point par trois chercheurs de la société IBM, S. Kirkpatrick, C.D. Gelatt et M.P. Vecchi en 1983 [Kirkpatrick et al, 1983], et indépendamment par Cerny en 1985 [Cerny, 1985]. La méthode du SA est inspirée du processus de recuit physique utilisé en métallurgie, lui-même reposant sur les lois de thermodynamique énoncées par Boltzmann. Le recuit en métallurgie est un processus visant à réorganiser la structure cristallographique des métaux en alternant des cycles de refroidissement lent et de réchauffage (recuit), qui ont pour effet de minimiser l'énergie du matériau. Chaque température est maintenue jusqu'à ce que le matériau atteigne l'équilibre thermodynamique. Le but étant d'obtenir une structure « bien ordonnée » du matériau à l'état solide d'énergie minimale, tout en évitant les structures « métastables » caractéristiques des minima locaux de l'énergie.

Cette méthode est transposée en optimisation pour trouver les extrema d'une fonction: la fonction objective, assimilée à l'énergie d'un matériau, est alors minimisée moyennant l'introduction d'une température fictive, qui est contrôlée par une fonction décroissante qui définit un schéma de refroidissement. L'algorithme commence par générer une solution initiale (soit de façon aléatoire ou par une heuristique). À chaque nouvelle itération, une solution  $s'$  est générée de manière aléatoire dans le voisinage

$N(s)$  de la solution courante  $s$ . La solution  $s'$  est retenue si elle est de performance supérieure ou égale à celle de la solution courante, i.e.,  $f(s') \leq f(s)$ . Dans le cas contraire,  $s'$  est acceptée avec une probabilité  $\exp(-\Delta f/T)$ . Cette probabilité dépend de deux facteurs : d'une part l'importance de la dégradation ( $\Delta f = f(s') - f(s)$ ); d'autre part, un paramètre de température  $T$ , une température élevée correspond à une probabilité plus grande d'accepter des dégradations. Ainsi, au début de la recherche, la probabilité d'accepter des dégradations est élevée et elle diminue progressivement [Gardeux, 2011].

Dans la méthode SA, les mécanismes d'intensification et de diversification sont contrôlés par la température. La température  $T$  ne fait que décroître pendant le processus de recherche, de sorte que la recherche tend à s'intensifier vers la fin de l'algorithme. L'idée est de diminuer petit à petit la chance d'accepter des solutions qui dégradent la fonction objective [Boussaid, 2013].

### 3.1.3 La méthode de recherche avec tabous

La méthode de recherche avec tabous, ou simplement recherche tabou (*TS: Tabu Search*) a été formalisée par Fred Glover en 1986 [Glover, 1986]. Elle utilise explicitement l'historique de la recherche, à la fois pour échapper aux minima locaux et pour mettre en œuvre une stratégie d'exploration. Sa principale caractéristique est en effet basée sur l'utilisation de mécanismes inspirés de la mémoire humaine. De ce point de vue, la méthode tabou prend un chemin opposé à celui de SA (*Simulated annealing*) totalement dépourvu de mémoire, et donc incapable de tirer les leçons du passé.

La méthode TS utilise une mémoire appelée liste tabou (d'où le nom attribué à la méthode par Glover), qui enregistre les dernières solutions rencontrées (ou des caractéristiques de solutions) vers lesquelles il est interdit de se déplacer. Ce procédé simple de mémoire permet de choisir le meilleur voisin non tabou, même si celui-ci dégrade la fonction-objectif  $f$ . Cependant, dans certains cas, les interdictions occasionnées par la liste tabou peuvent être jugées trop radicales. En effet, nous risquons d'éliminer (en les rendant tabous), certains mouvements particulièrement utiles. Pour éviter cela, un mécanisme d'aspiration doit être incorporé dans l'algorithme TS (*Tabu Search*), ce mécanisme permet de déterminer des critères selon lesquels un

mouvement, bien que tabou, peut quand même être accepté, s'il permet d'obtenir une meilleure solution que toutes celles déjà parcourues [Dréo et al, 2003].

La taille de la liste tabou contrôle la mémoire du processus de recherche. Pour favoriser l'intensification, il suffit de diminuer la taille de la liste tabou. En revanche augmenter la taille de la liste tabou, forcera le processus de recherche à explorer des régions plus vastes, favorisant ainsi la diversification. La taille de la liste tabou peut être modifiée au cours de la recherche [Battiti et al, 1994]. Une autre amélioration intéressante de la TS est l'utilisation de structure de mémoire à moyen et à long terme afin d'approfondir les notions d'intensification et de diversification [Dréo et al, 2003].

### 3.1.4 La méthode GRASP

La procédure de recherche gloutonne aléatoire adaptative (*GRASP : Greedy Randomized Adaptive Search Procedure*), proposée par Feo et Resende dans [Feo et al, 1989 ; 1995], est une méthode à départs multiples, dépourvue de mémoire, fondée sur les algorithmes gloutons randomisés et les techniques de recherche de voisinage. Chaque itération de l'algorithme GRASP se compose de deux étapes dites de construction et de recherche locale.

L'étape de la construction est similaire à l'heuristique semi-gloutonne (*semi-greedy heuristic*) proposée indépendamment par Hart et Shogan [Hart et al, 1987]. Elle génère une solution réalisable par l'application d'une procédure d'initialisation gloutonne. Dans la deuxième étape, cette solution est utilisée comme solution initiale de la procédure de recherche locale. Après un nombre donné d'itérations, l'algorithme GRASP se termine et la meilleure solution trouvée est conservée. Une étude bibliographique de la méthode GRASP est fournie dans [Festa et al, 2009].

## 3.2 Les méthodes à population de solutions

Contrairement aux algorithmes partant d'une solution singulière, les méthodes à population de solutions améliorent, au fur et à mesure des itérations, une population de solutions [Dréo et al, 2003]. Nous distinguons dans cette catégorie, les algorithmes évolutionnaires, qui sont une famille d'algorithmes issus de la théorie de l'évolution par la sélection naturelle, énoncée par Charles Darwin [Darwin, 1859] et les algorithmes

d'intelligence en essaim qui, de la même manière que les algorithmes évolutionnaires, proviennent d'analogies avec des phénomènes biologiques naturels.

### 3.2.1 Les algorithmes évolutionnaires

Les algorithmes évolutionnistes ou algorithmes évolutionnaire (*EC: Evolutionary Computation*), sont une famille d'algorithmes s'inspirant de la théorie de l'évolution « darwinienne » pour résoudre des problèmes divers. Selon la théorie du naturaliste Charles Darwin, énoncée en 1859 [Darwin, 1859], l'évolution des espèces est la conséquence de la conjonction de deux phénomènes : d'une part la sélection naturelle qui favorise les individus les plus adaptés à leur milieu à survivre et à se reproduire, laissant une descendance qui transmettra leurs gènes et d'autre part, la présence de variations non dirigées parmi les traits génétiques des espèces (mutations) [Dréo et al, 2003].

Le terme *Evolutionary Computation* englobe une classe assez large des méthodes telles que les algorithmes génétiques [Holland, 1975], les stratégies d'évolution [Rechenberg, 1973], la programmation évolutive [Fogel et al, 1966], et la programmation génétique [Koza, 1992]. Chaque itération de l'algorithme correspond à une génération, où une population constituée de plusieurs individus, représentant des solutions potentielles du problème considéré, est capable de se reproduire. Elle est sujette à des variations génétiques et à la pression de l'environnement qui est simulée à l'aide de la fonction d'adaptation, ce qui provoque la sélection naturelle (la survie du plus fort).

Les opérateurs de variation sont appliqués (avec une probabilité donnée) aux individus parents sélectionnés, ce qui génère de nouveaux descendants appelés enfants (ou *offsprings*), nous parlons de mutation pour les opérateurs unaires, et de croisement pour les opérateurs binaires (ou n-aires). Les individus issus de ces opérations sont alors insérés dans la population. Le processus d'évolution est itéré, de génération en génération, jusqu'à ce qu'une condition d'arrêt soit vérifiée, par exemple, quand un nombre maximum de générations ou un nombre maximum d'évaluations est atteint [Dréo et al, 2003].

### 3.2.2 L'intelligence en essaim

L'intelligence en essaim (*SI: Swarm Intelligence*) est née de la modélisation mathématique et informatique des phénomènes biologiques rencontrés en éthologie [Bonabeau et al, 1999]. Elle recouvre un ensemble d'algorithmes, à base de population d'agents simples (entités capables d'exécuter certaines opérations), qui interagissent localement les uns avec les autres et avec leur environnement. Ces entités, dont la capacité individuelle est très limitée, peuvent conjointement effectuer de nombreuses tâches complexes nécessaires à leur survie. Bien qu'il n'y ait pas de structure de contrôle centralisée qui dicte la façon dont les agents individuels devraient se comporter, les interactions locales entre les agents conduisent souvent à l'émergence d'un comportement collectif global et auto-organisé [Dréo et al, 2003].

Deux exemples phares d'algorithmes de l'intelligence en essaim sont les algorithmes de colonies de fourmis et les algorithmes d'optimisation par essaim particulaire [Boussaid, 2013]. D'autres algorithmes d'optimisation qui proviennent d'analogies avec des phénomènes biologiques naturels ont été proposés. Parmi les plus significatifs d'entre eux figurent : l'algorithme « *Bacterial foraging optimization* » [Passino, 2002] qui s'inspire du comportement de recherche de nourriture et de reproduction des bactéries, l'optimisation par colonie d'abeilles (*Bee Colony Optimization*) [Walker et al, 1993], les systèmes immunitaires artificiels [Farmer et al, 1986] et l'algorithme d'optimisation basé sur la biogéographie insulaire « *Biogeography-Based Optimization* » [Simon, 2008].

#### a. Les colonies de fourmis

L'optimisation par colonie de fourmis (*ACO: Ant Colony Optimization*) a été initialement introduite par Marco Dorigo et ses collègues [Dorigo et al, 1991; Dorigo, 1992; Dorigo et al, 1996]. Elle puise son inspiration dans le comportement des fourmis réelles à la recherche de nourriture [Deneubourg et al, 1990]. En effet, celles-ci parviennent à trouver le chemin le plus court entre leur nid et une source de nourriture, sans pour autant avoir des capacités cognitives individuelles très développées. Les fourmis explorent d'abord les environs de leur nid en effectuant une marche aléatoire. Le long de leur chemin entre la source de nourriture et le nid, elles déposent sur le sol

une substance chimique volatile appelée phéromone afin de marquer certains chemins favorables qui devraient guider leurs congénères à la source de nourriture [Dorigo et al, 2005]. Après un certain temps, le chemin le plus court entre le nid et la source de nourriture présente une plus forte concentration de phéromone et, par conséquent, attire plus de fourmis. Les colonies de fourmis artificielles exploitent cette caractéristique pour construire des solutions à un problème d'optimisation [Dréo et al, 2003]. Elles construisent des solutions en parcourant un graphe de construction complet  $G_C (V, E)$  dont les nœuds  $V$  sont des composants de solutions, et les arêtes  $E$  sont des connexions entre les composants.

### ***b. L'optimisation par Essaim particulière***

L'optimisation par essaim particulière (*PSO: Particle Swarm Optimization*) a été inventée par Russel Eberhart et James Kennedy en 1995 [Kennedy et al, 1995]. Elle s'inspire des déplacements collectifs observés chez certains animaux sociaux tels que les poissons et les oiseaux migrateurs qui ont tendance à imiter les comportements réussis qu'ils observent dans leur entourage, tout en y apportant leurs variations personnelles. Elle trouve ses origines dans les travaux de C. Reynolds [Reynolds, 1987] et de Heppner et Grenander [Heppner et al, 1990] qui ont créé des modèles mathématiques permettant de simuler des vols groupés d'oiseaux et de bancs de poissons.

L'essaim particulière correspond à une population d'agents appelés «particules». Chaque particule, modélisée comme une solution potentielle au problème d'optimisation, parcourt l'espace de recherche, en quête de l'optimum global. Le déplacement d'une particule est influencé par trois composantes: (1) une composante physique : la particule tend à suivre sa direction courante de déplacement ; (2) une composante cognitive : la particule tend à se diriger vers le meilleur site par lequel elle est déjà passée ; (3) une composante sociale : la particule tend à se fier à l'expérience de ses congénères et, ainsi, à se diriger vers le meilleur site déjà atteint par ses voisins [Dréo et al, 2003].

Le voisinage peut être défini spatialement en prenant par exemple la distance euclidienne entre les positions de deux particules ou sociométriquement, en prenant la

position de l'individu dans l'essaim [Kennedy et al, 2002]. Chaque particule  $i$  de l'essaim est caractérisée à la fois par sa position et par un vecteur de changement de position (appelé vélocité ou vitesse) [Boussaid, 2013].

### 3.3 Optimisation MultiObjectif

Toutes les méthodes présentées ci-dessus (section 3.1 et section 3.2) concernent le cas de problèmes mono objectif. Cependant, la plupart des problèmes réels sont en fait des problèmes multiobjectifs, c'est-à-dire que nous cherchons à optimiser simultanément plusieurs critères qui sont généralement conflictuels (par exemple, nous pouvons avoir besoin de maximiser la qualité d'un produit tout en minimisant son prix de revient) [Boussaid, 2013]. L'optimisation multiobjectif (dites aussi multicritère) consiste donc à optimiser simultanément plusieurs fonctions. Elle trouve ses racines au cours du XIX<sup>ème</sup> siècle dans les travaux en économie d'Edgeworth [Edgeworth, 1885] et de Pareto [Pareto, 1896].

Un problème d'optimisation multiobjectif peut être défini comme suit [Boussaid, 2013]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \min F(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x)) \\ \text{sous la contrainte } x \in C \end{array} \right.$$

où  $x = (x_1, \dots, x_n)$  est le vecteur représentant les variables de décision ;  $C$  représente l'ensemble des solutions réalisables associé à des contraintes d'égalité, d'inégalité et des bornes explicites (*espace de décision*), et  $F(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x))$  est le vecteur de fonctions objectifs à optimiser (ou critères de décision) avec  $m \geq 2$  le nombre de fonctions objectifs. L'image de l'espace de décision par la fonction objectif  $F$  (ou ensemble des points réalisables  $Y = F(C)$ ) est appelée espace des objectifs (ou espace des critères). Une relation d'ordre partiel appelée relation de dominance a été imposé sur cet ensemble [Boussaid, 2013].

Dans la littérature, deux classifications différentes des méthodes de résolution des problèmes d'optimisation multiobjectif sont rencontrés [Taillard, 2002]. Le premier

classement adopte un point de vue décideur. Il divise ces méthodes en trois familles suivant la coopération entre la méthode d'optimisation et le décideur:

- **Les méthodes a priori** : Le décideur intervient en amont de la méthode d'optimisation. Il définit ses préférences en pondérant par exemple les objectifs selon leurs importances.
- **Les méthodes progressives ou interactives** : Le décideur affine son choix, en écartant ou en favorisant des solutions, au fur et à mesure du déroulement du processus de résolution.
- **Les méthodes a posteriori** : Le décideur intervient en aval de l'optimisation. Il choisit la solution qui lui semble la plus intéressante parmi l'ensemble des solutions fournies par la méthode d'optimisation.

La deuxième classification divise les méthodes suivant leur façon de traiter les fonctions objectives. Selon [Boussaid, 2013], nous pouvons distinguer :

- **Les Méthodes agrégées** : ces méthodes transforment un problème multiobjectif en un problème monoobjectif, en regroupant les critères à optimiser dans une unique fonction objectif. Les méthodes d'agrégation les plus simples utilisent une fonction de mise à l'échelle de chaque critère, afin de pouvoir les additionner (modèle additif) ou bien les multiplier (modèle multiplicatif). La méthode d'agrégation la plus connue et la plus employée est la moyenne pondérée. Cette méthode consiste à additionner tous les objectifs en affectant un coefficient de poids. Ce coefficient traduit l'importance relative que le décideur attribue à l'objectif [Dréo et al, 2003].
- **Méthodes basées sur l'équilibre de Pareto** : Ces méthodes reposent sur le postulat de V. Pareto [Pareto, 1896] : « Il existe un équilibre tel que l'on ne peut pas améliorer un critère sans détériorer au moins un des autres critères ». La notion de solution optimale unique dans l'optimisation monoObjectif disparaît pour les problèmes d'optimisation multiobjectif au profit de la notion d'ensemble de solutions Pareto optimales, selon le critère de dominance au sens de Pareto.

- **Méthodes non agrégées et non Pareto :** En général, les méthodes non agrégées et non Pareto possèdent un processus de recherche qui traite séparément les objectifs. L'algorithme génétique à évaluation vectorielle (*VEGA : Vector Evaluated Genetic Algorithm*), présenté par Schaffer en 1985 [Schaffer, 1985] en est un exemple. La seule différence avec un algorithme génétique simple est la manière dont s'effectue la sélection. Si nous avons  $m$  objectifs et une population initiale de  $n$  individus, alors la population est divisée en  $m$  sous-populations, chacune de ces sous-populations contenant les  $n/m$  meilleurs individus pour un objectif particulier. La population est ensuite reconstruite et les opérateurs génétiques de croisement et de mutation sont appliqués.

### 3.4 Optimisation sous contraintes

Les problèmes posés dans le monde réel sont souvent soumis à des contraintes. Plusieurs méthodes, classiques et évolutionnaires, ont été développées pour prendre en compte les contraintes. Le problème général d'optimisation sous contraintes peut être formulé comme suit:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Trouver } x \text{ qui optimise } f(x) \\ \text{sous les contraintes } g_i(x) \leq 0, i = 1, 2, \dots, p \\ h_j(x) = 0, j = 1, 2, \dots, q \end{array} \right.$$

Le vecteur  $x = (x_1, \dots, x_n)$  est le vecteur des  $n$  variables de décision ( $x \in F \subseteq S \subseteq \mathbb{R}^n$ ), avec  $F$  l'espace des solutions réalisables du problème et  $S$  l'espace de recherche. Les contraintes sont des fonctions qui vont restreindre l'espace de recherche. Elles vérifieront si la solution est réalisable, mais elles ne mesureront pas la qualité de cette solution. Il en existe de deux types : contraintes d'inégalité  $g_i(x) \leq 0, i = 1, 2, \dots, p$  et contraintes d'égalité  $h_j(x) = 0, j = 1, 2, \dots, q$ . Si une solution  $x$  ne satisfait pas au moins une des contraintes, elle est dite solution infaisable, contrairement aux solutions faisables, qui vérifient l'ensemble des  $p + q$  contraintes. L'ensemble des solutions faisables constitue le domaine admissible de l'espace de recherche ou encore l'espace faisable  $F$ . La recherche de l'optimum faisable est d'autant plus difficile que la taille de l'espace faisable est petite et sa forme est complexe (par exemple des petites régions dispersées). Le rapport entre la taille de l'espace faisable et celle de l'espace de

recherche  $|F| / |S|$  peut être utilisé comme un indice de difficulté du problème [Michalewicz, 1994].

Plusieurs méthodes ont été conçues pour résoudre le problème d'optimisation sous contraintes. Selon [Boussaid, 2013], nous pouvons citer les méthodes suivantes :

- **Les méthodes basées sur le principe de pénalisation :** ces méthodes sont probablement les plus largement utilisées dans la pratique. L'intérêt de ces méthodes est la simplicité de leur mise en œuvre et leur relative efficacité pratique. Elles consistent à transformer un problème sous contraintes en un problème d'optimisation sans contrainte en associant à la fonction objectif une pénalité dès qu'une contrainte est violée. La fonction à optimiser doit non seulement mesurer la valeur des solutions admissibles, mais également pénaliser les solutions non réalisables. L'ordre de grandeur de la pénalité à accorder à une violation de contrainte n'est pas simple à déterminer. Plusieurs techniques avec des approches différentes ont été proposées dans la littérature. Les plus populaires utilisent la mesure de violation de contraintes pour définir la pénalité [Dréo et al, 2003].
- **Recherche des solutions faisables :** Deux types de méthodes se rattachent à cette catégorie: la réparation des individus infaisables et l'échantillonnage de l'espace faisable. L'objectif de ces deux méthodes est de ramener les individus infaisables dans le domaine réalisable. La méthode de réparation des individus infaisables se base sur l'idée suggérée par Michalewicz [Michalewicz, 1994]. Elle consiste à faire évoluer deux populations : la première contient les points qui satisfont les contraintes linéaires du problème, appelés points de recherche et la deuxième comporte les individus faisables qui satisfont toutes les contraintes du problème (linéaires et non linéaires), et ils sont appelés points de référence. La l'échantillonnage de l'espace faisable a été proposée par Schoenauer et Xanthakis en 1993 [Schoenauer et al, 1993]. Le principe de cette méthode est d'échantillonner l'espace faisable en traitant les contraintes une par une suivant un ordre particulier. Pour chaque contrainte, l'algorithme fait évoluer la population jusqu'à ce qu'un certain pourcentage de la population

devienne faisable pour la contrainte en cours, tout en restant faisable pour les contraintes précédentes.

- **Méthodes hybrides :** Les méthodes hybrides ont la caractéristique de séparer la fonction objectif des contraintes. Deux approches présentées dans la littérature permettent de réaliser cette séparation. Nous trouvons d'un côté les méthodes qui traitent les contraintes avec des procédures d'optimisation déterministes, alors que la fonction objective est toujours optimisée par un EA (*Evolutionary Algorithm*). Cette approche ne peut pas être appliquée sur des problèmes où la fonction objective ou une des fonctions des contraintes n'est pas dérivable puisqu'elle nécessite le calcul du gradient de toutes les fonctions du problème [Boussaid, 2013].

### 3.5 Fonctions analytiques de tests

Selon l'étude présentée dans cette section, nous pouvons dire qu'il existe de nombreux algorithmes d'optimisation dans des domaines très variés. Une question fondamentale qui se pose ici est : « Comment pouvons-nous comparer les différents algorithmes d'optimisation de manière à pouvoir choisir le plus performant pour un problème d'optimisation donné ? ». Selon le No Free Lunch Theorem, énoncé en 1997 par Wolpert et Macready dans [Wolpert et al, 1997], aucun algorithme d'optimisation n'est plus adapté que les autres pour résoudre tous les types de problèmes. Néanmoins cela n'empêche pas certains algorithmes d'être mieux que d'autres sur des classes particulières de problèmes [Boussaid, 2013].

Selon [Taillard, 2002 ; Dréo et al, 2003], plusieurs fonctions analytiques de tests regroupées sous l'appellation de « benchmarks », ont été mises en place pour évaluer les performances et les capacités de convergence des algorithmes d'optimisation. Les fonctions proposées par les benchmarks possèdent certaines caractéristiques que nous les retrouvons dans des problèmes réels difficiles. Elles peuvent être classées selon les propriétés suivantes [Gardeux, 2011] :

- **Unimodalité :** Les fonctions unimodales n'ont qu'un seul optimum local, qui est donc l'optimum global. Elles sont, la plupart du temps, considérées comme des

fonctions «faciles». La résolution du problème peut se faire par des techniques d'optimisation locales.

- Multimodalité : les fonctions « faiblement multimodales » possèdent peu d'optimums locaux, mais en densité relativement faible par rapport à la taille de l'espace de recherche. Ces fonctions sont plus faciles à résoudre que les fonctions « hautement multimodales » qui, elles, possèdent un grand nombre d'optimums locaux.
- Discontinuité : Une fonction qui présente des « sauts » est dite discontinue. La notion de saut correspond à l'existence d'une limite à droite et d'une limite à gauche qui ne valent pas la même chose.
- Séparabilité : Une autre caractéristique importante des fonctions de benchmarks est leur séparabilité. Une fonction est séparable si nous pouvons la minimiser (ou la maximiser) en minimisant (respectivement maximisant) ses composantes prises séparément.
- Rugosité : La rugosité donne une indication sur la difficulté à résoudre un problème à l'aide d'une recherche locale utilisant un voisinage donné. En effet si cette mesure est élevée, le voisinage est peu adapté car les valeurs des solutions voisines semblent peu corrélées (la fonction objectif représente un paysage très irrégulier), alors que si cette mesure est faible, on aura un paysage lisse, avec relativement peu d'optimums locaux, donc un problème facile à optimiser à l'aide d'une recherche locale [Taillard, 2002].

Donc, plusieurs fonctions analytiques de tests existent. Dans ces fonctions les optimums globaux sont connus à l'avance. À la fin d'une simulation, il est donc possible d'évaluer l'erreur commise par l'algorithme [Boussaid, 2013].

#### **4 Algorithmes et modèles d'optimisation d'adaptation**

Dans cette section, nous allons présenter le problème de l'optimisation dans le domaine des SHA. Nous basons notre présentation sur l'étude de quelques SHA utilisant des algorithmes et des modèles d'optimisation d'adaptation de contenu hypermédia.

#### 4.1 Système GAITS

Le système GAITS (*Genetic Algorithms for Intelligent Tutoring System*) proposé par [Quafafou et al, 1993] était l'un des premiers systèmes hypermédia éducatifs utilisant les algorithmes d'optimisation génétiques. Les techniques d'éducation supervisée sont employées, l'enseignant assigne un objectif pédagogique pour chaque apprenant avant que la formation commence.

Dans le but à offrir un contenu pédagogique optimal, le tuteur interagit avec l'apprenant en utilisant des dialogues prédéfinis. Ces dialogues sont composés d'un entête et d'un corps. L'entête contient les connaissances préliminaires requis pour considérer ce dialogue comme un candidat de la leçon actuelle, un niveau d'apprentissage et une stratégie d'apprentissage pour présenter la leçon. Le corps représente le matériel pédagogique qui définit les interactions (exposition, question/réponse, jeux, etc) [Mock, 1996].

Le modèle de l'apprenant contient une population d'individus, où un individu est un tableau contenant des connaissances acquises, un niveau d'apprentissage, une stratégie d'apprentissage, et le nombre de fois où l'étudiant a accepté et a rejeté cette connaissance. Compte tenu d'une population de tableaux de ces tuples (connaissances acquises, niveau d'apprentissage, stratégie d'apprentissage, nombre de fois d'acceptation et de rejet de connaissance), Mock [Mock, 1996] emploie un algorithme d'optimisation génétique sur la population afin de maximiser les individus dont les caractéristiques ont reçu des commentaires positifs.

#### 4.2 Algorithmes d'optimisation par colonie de fourmi

Plusieurs travaux de recherche ont utilisé les algorithmes de colonies de fourmis (une classe des algorithmes évolutionnaires récemment proposée pour les problèmes difficiles d'optimisation) [Semet et al, 2003 ; Van den berg et al, 2005 ; Gutierrez et al, 2007 ; Wang et al, 2008 ; Wong et al, 2009 ; Dahbi et al, 2014]. Le but d'utilisation de ces algorithmes était d'effectuer le suivi de l'apprenant pendant la navigation dans les liens des cours et étudier ses traces. Avec une simple décomposition de contenu en sections et unités, l'algorithme de colonies de fourmis pourrait résoudre le problème de guider les utilisateurs dans leur parcours. Les principaux mécanismes

utilisés dans cet algorithme est la propagation de l'information (l'efficacité de la didactique des unités de contenu, la pertinence des arcs et la tendance des utilisateurs) accumulés par le système grâce à la navigation des utilisateurs entre les unités de contenu. Ce mécanisme de communication de l'information décrit le mode de fonctionnement de la colonie de fourmis. L'objectif de ce dispositif de commutation est de guider l'utilisateur à la plus conforme unité.

Nous citons ici quelques travaux qui ont utilisé l'optimisation par les algorithmes de colonie de fourmi :

- a. [Semet et al, 2003] ont développé une approche qui recommande le prochain nœud en fonction d'un facteur de l'enseignant, un facteur du collectif (performances) et un facteur individuel.
- b. [Van den berg et al, 2005] ont développé un algorithme qui recommande le prochain nœud en fonction du nombre de réussites des apprenants précédents.
- c. [Gutierrez et al, 2007] ont développé une approche qui guide l'apprenant vers le choix du prochain nœud en lui présentant le nombre de visites, de réussites et d'échecs des apprenants précédents.
- d. [Wang et al, 2008] ont développé un système (*Style-based Ant Colony System [SACS]*) qui recommande le prochain nœud en fonction du nombre de transitions des apprenants précédents ayant un parcours similaire à celui de l'apprenant en cours.
- e. [Wong et al, 2009] ont développé un système (*DYnamic Learning Path Advisor [DYLPA]*) qui recommande le prochain nœud en fonction des performances des apprenants précédents ayant des attributs similaires à ceux de l'apprenant en cours.
- f. [Dahbi et al, 2014] proposent une approche pour la recommandation des chemins d'apprentissage dans un cours en ligne. Dans l'objectif de recommander des chemins d'apprentissage considérés optimaux et d'évaluer ainsi leur impact sur l'apprentissage d'un cours en ligne, cette approche proposée est basée à la fois sur la recommandation de chemins

pertinents par l'enseignant et sur les résultats stockés au fur et à mesure par les apprenants sur les chemins empruntés.

### 4.3 Algorithme pour l'ajustement de la présentation d'un document hypermédia

Dans [Bruno et al, 2001] un algorithme pour l'ajustement de la présentation d'un document hypermédia a été proposé. Le but de cet algorithme est de satisfaire au mieux les exigences d'un auteur de document hypermédia. Le problème est modélisé sous la forme d'un problème de tension de coût minimum dans un graphe et un algorithme basé sur la méthode de mise à conformité (out-of-kilter) pour le problème de flot de coût minimum a été proposé.

Selon [Bruno et al, 2001], la variété des composants qui forment un document (audio, vidéo, texte, image...) font de l'animation un problème compliqué. Ces documents sont composés d'objets multimédia dont les durées de présentation doivent être ajustées afin de satisfaire un ensemble de contraintes temporelles qui traduit le déroulement de l'animation envisagée par l'auteur. Mais pour que ses contraintes soient satisfaites, l'auteur doit accepter une certaine flexibilité concernant la durée idéale de chaque objet, les temps morts non exprimés explicitement étant complètement interdits.

Pour estimer la qualité d'un ajustement, une fonction de coût est introduite pour chaque objet. Si l'objet reste à sa durée idéale, le coût est nul, sinon il est positif et il augmente à mesure que l'ajustement s'éloigne de l'idéal. Ce qui se traduit généralement en pratique par une fonction de coût convexe. En résumé, le problème à résoudre dans [Bruno et al, 2001] consiste à trouver un ajustement de la meilleure qualité possible autrement dit qui minimise la somme des coûts sur chaque arc. L'ajustement doit être calculé avant la présentation mais il peut être modifié ensuite au cours de la présentation, à cause de l'interaction avec l'utilisateur ou de retards liés aux transferts sur le réseau. [Buchanan et al, 1993; Kim et al, 1995] proposent chacun un programme linéaire différent pour résoudre le problème avec la méthode du *Simplex* dans le cas de coûts convexes linéaires par morceaux avec seulement deux morceaux. Cette méthode est adaptée uniquement à la préparation du document. [Sabry et al, 1999] propose une solution basée sur une approche gloutonne pour un ajustement en temps réel pendant la présentation, mais il ignore complètement la notion de qualité.

Avec quelques restrictions, [Bruno et al, 2001] proposons de modéliser le problème comme le problème de trouver une tension de coût minimum dans un graphe. Dans un premier temps, les fonctions de coût ont été considérées comme dans [Bunchanan et al, 1993; Kim et al, 1995], et un algorithme de mise à conformité présenté dans [Pla, 1971 ; Hadjiat, 1996] a été adapté. Ensuite [Bruno et al, 2001] ont proposé une variante de cet algorithme pour traiter le problème avec des coûts convexes différentiables. La flexibilité de la modélisation proposée et la vitesse de résolution de l'algorithme rendent la méthode tout à fait adaptée pour une utilisation en temps réel pendant la présentation.

#### **4.4 Algorithme d'optimisation par fusion des classes d'utilisateurs**

Dans [Ranwez et al, 2001], un algorithme pour la génération de documents personnalisés structurés a été proposé. Cet algorithme consiste à optimiser le contenu personnalisé par fusion des classes d'utilisateurs. Les méthodes de composition automatique présentées dans [Crampes et al, 1998 ; 2000] se situent dans le contexte particulier où la composition a pour but de fournir un document personnalisé à un utilisateur donné. Dans [Ranwez et al, 2001], le contexte est élargi à la composition automatique d'un document pour un grand nombre de personnes. Cette situation se retrouve, par exemple, dans le cas de l'envoi en grand nombre de résumés d'actualité. Le modèle proposé est généralisable, par exemple, à la composition de bande annonces, de publicités personnalisées ou des cours à distance. Ce contexte précis dans [Ranwez et al, 2001] impose d'optimiser l'étape de composition.

En effet, l'envoi en nombre de documents personnalisés implique la génération d'un grand nombre de documents. L'optimisation du temps de composition consiste alors à factoriser certaines parties du document spécifiques à une classe d'utilisateurs. Les principes de la composition automatique de documents adaptatifs et leur mise en œuvre sont présentés dans [Ranwez, 2000]. Ce modèle utilise les ontologies du domaine comme base à la qualification des segments documentaires, appelés briques d'information. Ces ontologies sont également utilisées dans le processus même de la composition [Crampes, 2000].

[Ranwez et al, 2001] ont défini la composition comme étant la structuration d'un ensemble de briques d'information, réalisée pour un être humain, avec l'objectif d'émerger une plus grande valeur sémantique.

Le processus de composition peut être divisé en quatre phases distinctes: recherche d'information, sélection – filtrage, organisation, assemblage.

- **L'Organisation :** Selon [Ranwez et al, 2001], l'étape d'organisation des segments peut être réalisée à posteriori. Connaissant les différentes briques d'information qui doivent apparaître dans le document, le rôle qu'elles peuvent jouer est déterminé et un ordre entre ces briques d'information est défini de façon à respecter une trame narrative pertinente. Néanmoins, l'étape d'organisation peut également être le point de départ de la composition et c'est elle qui initie alors l'étape de recherche d'informations. Connaissant la structure finale du document, les informations sont cherchées, en fonction du rôle, c'est-à-dire, de la place qu'elles occupent, dans le document final. Pour cela les grammaires formelles [Roisin, 1999] peuvent être utilisées. Dans le cas d'envoi de "news" personnalisées, plusieurs grammaires peuvent être utilisées, la composition suivant l'une d'elles, en fonction des préférences des utilisateurs.
- **La recherche d'information :** Selon [Ranwez et al, 2001], l'étape de recherche d'information consiste à déterminer les briques d'information candidates pour faire partie d'un document. Ce choix est réalisé en fonction des objectifs et grâce à la description sémantique du contenu des briques d'information. Plus performante qu'une simple recherche par mots-clés, la recherche par la sémantique du contenu permet dans un contexte particulier, défini par l'ontologie du domaine, d'éviter les problèmes liés à la polysémie des mots et d'affiner les recherches. Dans [Ranwez et al, 2001], les objectifs sont fixés par l'annonceur. La structure du document est alors connue et c'est en fonction des différentes parties du document que va s'effectuer la recherche.
- **La sélection / filtrage :** Selon [Ranwez et al, 2001], la sélection consiste à filtrer uniquement les informations nécessaires pour un profil utilisateur donné. C'est à ce niveau-là que les temps de traitement peuvent s'avérer coûteux puisqu'il s'agit de déterminer le degré de pertinence, de chaque brique

d'information en fonction de certains critères de l'utilisateur. Ensuite, suivant le temps disponible de celui-ci, un seuil est mis en place de façon à ne sélectionner que les briques d'information pertinentes et d'une durée acceptable.

- **L'assemblage :** Selon [Ranwez et al, 2001], les techniques d'assemblage permettent d'insérer des transitions entre les briques d'information de façon à créer un liant qui facilite la lecture. Par exemple si deux briques d'information qui ont comme support médiatique la vidéo se succèdent, un fondu enchaîné par le noir entre les deux peut être insérer.

L'intérêt de définir des classes d'utilisateurs est d'éviter de composer plusieurs fois les mêmes parties d'un document, c'est-à-dire regrouper les utilisateurs ayant exactement le même profil. Plus le nombre de critères utilisés pour décrire les utilisateurs est important plus la personnalisation du document est pertinente. Evidemment il devient alors de plus en plus rare d'avoir des utilisateurs ayant exactement le même profil [Ranwez et al, 2001].

#### 4.5 Modèle d'optimisation par génération dynamique de documents adaptatifs

Selon [Behaz et al, 2005], l'objectif principal de la génération dynamique de documents hypermédia adaptatifs est d'améliorer la qualité d'adaptation. Les SHA dynamiques sont particulièrement caractérisés par le fait d'offrir un hypermédia virtuel. Le système dans ce cas n'est pas constitué de pages et de liens prédéfinis. Ces derniers sont construits dynamiquement et doivent adapter leur offre de formation de manière dynamique, en fonction des règles pédagogiques et des réactions des apprenants. Ces systèmes donnent un moyen d'accès intuitif et non-linéaire à l'information et facilitent la navigation.

[Delestre, 2000] remarque que les SHA dynamique sont généralement constitués de trois composants essentiels à savoir :

- **Modèle du domaine :** Une des principales caractéristiques de ce modèle est sa compétence en termes de capacité de représentation des connaissances. Il permet de définir des fragments d'information en spécifiant leur taille, type, media contenu, indexation, mécanismes de filtrage, organisation, assemblage afin de suivre l'apprenant [Delestre, 2000].

- **Modèle apprenant** : Le modèle apprenant ou utilisateur est le noyau de tout système adaptatif [Brusilovsky, 1996]. Le modèle apprenant permet d'adapter le contenu, la présentation d'un cours document ainsi que la navigation. Il constitue un modèle individuel puisqu'il permet de gérer des informations individuelles [Delestre, 2000].
- **Générateur de cours** : Selon [Brusilovsky, 1996], ce générateur a pour but de générer un document personnalisé à partir de l'espace d'informations du modèle utilisateur. Ce composant est en mesure de créer des pages qui vont être présentées à l'apprenant en appliquant des règles de structuration et de présentation.

Selon [Behaz et al, 2005], les SHA dynamiques souffrent d'une limite assez importante, en l'occurrence leur complexité due d'une part, aux différents traitements de sélection et de combinaisons (assemblage) effectués sur les données. Et d'autre part à la manière de caractériser les objets pédagogiques impliqués. Le principal attrait de ce type de systèmes est d'assurer une meilleure adaptation aussi bien au niveau contenu qu'au niveau lien. Ceci permet de fournir un document virtuel personnalisable, concept émergé avec le développement de ces systèmes.

Le document virtuel personnalisable est généré à partir d'une composition de fragments de contenu (texte, image ou son) en utilisant des programmes et en définissant des liens vers d'autres fragments ou documents. Le document virtuel est dit dynamique car il est généré dynamiquement de manière à répondre instantanément à un besoin particulier de l'apprenant [Behaz et al, 2005].

[Iksal et al, 2002] définit un document virtuel adaptatif personnalisable comme un document composé d'un ensemble de fragments d'informations, ainsi que d'un moteur de composition sémantique permettant la sélection des fragments pertinents, leur assemblage. Autrement dit, leur organisation en fonction d'une spécification de l'auteur et/ou de l'objectif du lecteur et finalement d'adapter certains aspects visibles du document fournis au lecteur. Or le document virtuel personnalisable en tant que support pédagogique est un document où il existe plusieurs types d'adaptabilités [Behaz et al, 2005].

#### 4.6 Modèle basé sur l'optimisation par ontologie

Ranwez [Ranwez, 2000] a proposé un modèle d'optimisation de contenu adaptatif des applications hypermédia par utilisation des ontologies. Ce modèle consiste à garantir les trois objectifs suivants :

- Le premier objectif concerne la conception d'un système hypermédia adaptatif. Le raisonnement dans ce modèle est basé sur une formalisation de la structure documentaire des hypermédiats et des documents virtuels. L'adjectif virtuel traduit le fait que le document n'est pas consultable en l'état, mais nécessite la mise en œuvre de certaines techniques de composition de façon à produire un document adapté à un lecteur tout en respectant certaines contraintes narratives et temporelles. La composition consiste alors à effectuer les différentes étapes de transformation d'un document virtuel en un document réel.
- Le deuxième objectif de ce modèle concerne le choix d'un mode de représentation doté d'une bonne expressivité et qui facilite les calculs afin d'améliorer la communication entre différents acteurs, humain ou non, d'un projet et de favoriser une recherche d'information et un traitement basé sur la sémantique.
- Ainsi que le troisième objectif concerne la réalisation d'un outil de composition adaptative de documents structurés à des fins pédagogiques. Le transfert de connaissance est une préoccupation essentielle des spécialistes et des chercheurs en matière d'éducation.

Selon [Ranwez, 2000], ce modèle est à différencier des interfaces adaptatives, dans la mesure où c'est le document lui-même qui est construit de manière adaptative, et non pas seulement la présentation d'un même document qui varie en fonction d'un modèle utilisateur. Les informations composant ce document peuvent être de natures divers tant par le média qui les supportent, que par leur lieu de stockage et leur accessibilité: il peut s'agir de données stockées dans une base de données propre, mais aussi d'informations trouvées sur le Web.

#### 4.7 Modèle par conception de contenu

Ce modèle a été proposé par [Balla et al, 2004], elle permet d'atteindre les objectifs suivants :

- a. Contrôle d'accès au système d'apprentissage ;
- b. Modélisation des connaissances relatives aux cours dispensés ;
- c. Suivi et évaluation des apprenants ;
- d. Adaptation des cours en fonction des profils des apprenants.

Pour le premier objectif a), [Balla et al, 2004] disposent des tables concernant les auteurs, les cours, les questions à choix multiples (QCM) ainsi que les apprenants inscrits dans le système. Les liens entre ces différentes entités sont dynamiquement mis en place (" tel " auteur a déposé " tel " cours qui fait référence à " telle " liste de QCM et suivi par " tel " apprenant, etc.)

Pour le deuxième point b), [Balla et al, 2004] utilisent le concept de "graphe d'unités de connaissances" permettant de modéliser le contenu sémantique d'un cours par un graphe où chaque sommet représente une notion du cours (ou "unité de connaissance"). Ces notions sont reliées entre elles par des arcs formalisant deux types de liens : "hiérarchiques" et "de précédence". Les liens hiérarchiques définissent un sous graphe de type arborescent où les sommets supérieurs représentent les notions thématiques d'un cours, alors que les sommets inférieurs de l'arborescence modélisent les connaissances atomiques. Les liens de précédence établissent un ordre de parcours des notions de même niveau par un apprenant donné. De plus, chaque unité de connaissance (ou sommet du graphe) possède une liste de notions pré requises formalisée par une expression disjonctive de sommets.

Quand un auteur dépose un cours dans le serveur, il met en place le graphe de connaissances associé en indiquant pour chaque sommet, la partie du cours qui lui est liée. Le graphe des connaissances est matérialisé par une table UC (*Unité Connaissance*) où chaque "tuple" représente une unité de connaissance et la table Liens représentant les deux types de liens entre unités de connaissances (lien hiérarchique et lien de précédence).

Pour le troisième point suivre et évaluer un apprenant c) ainsi que pour le quatrième point adapter les cours en fonction du profil des apprenants d), [Balla et al, 2004] ont représenté l'état des connaissances d'un apprenant (ou modèle de l'apprenant) en utilisant la méthode dite de " *l'overlay* ". C'est-à-dire que le modèle de l'apprenant peut être vu comme étant un sous graphe du modèle du domaine (graphe des connaissances). Pour cela [Balla et al, 2004] ont associé, dans une table *ConnaissancesApp*, le degré de maîtrise des unités de connaissances par chaque apprenant. Cette valeur (le degré de maîtrise) est calculée à partir des évaluations (par QCM) de l'apprenant. A chaque unité de connaissance (ou notion) peut être associée une liste de questions à choix multiples (QCM). L'adaptation d'un cours pour un apprenant donné est possible car certaines parties du cours sont dites mobiles, c'est-à-dire que leur présence lors de la visualisation (*DisplayCourse*) dépend des connaissances acquises par l'apprenant concernant les prérequis associés à l'unité de connaissance en cours [Balla et al, 2004].

#### 4.8 Modèle d'optimisation basé sur une adaptation multi aspect

[Monterrat et al, 2017] propose le modèle d'adaptation générique MAGAM (*Multi-Aspect Generic Adaptation Model*) ayant la capacité à prendre en compte de multiples aspects dans le choix d'une activité. Ce modèle est basé sur l'approche de la Q -matrice. Il a été implémenté et utilisé expérimentalement. L'adaptation expérimentale visait à sélectionner des activités suivant leur aspect ludique et didactique pour 97 étudiants. Cette expérimentation a démontré l'utilité de MAGAM pour associer plusieurs aspects d'adaptation en conditions écologiques. Ce modèle d'adaptation est basé sur un ensemble constitué de trois entités: les utilisateurs les activités pédagogiques ou leurs caractéristiques et les propriétés appliquées aux activités et utilisateurs.

Afin de visualiser le modèle, [Monterrat et al, 2017] ont proposé une représentation sur les trois faces visibles d'un pavé droit. Les profils des utilisateurs sont l'ensemble des valeurs qui relient les utilisateurs aux propriétés, ces derniers sont enregistrées dans une matrice M. Les valeurs qui relient les activités aux propriétés sont enregistrées dans une matrice Q. Enfin, un calcul fournit une matrice de valeurs

qui exprime à quel degré chaque activité est adaptée à chaque utilisateur. Cette matrice est appelée  $R$ .

Les valeurs des profils d'utilisateur ( $M$ ) peuvent être collectées par divers moyens tels que l'usage de questionnaires ou l'analyse de traces (en temps réel ou issues de sessions antérieures). Il y a également plusieurs méthodes pour obtenir la matrice  $Q$ , comme solliciter l'avis d'experts du domaine ou par de l'analyse de données. Pour calculer la matrice  $R$ , [Monterrat et al, 2017] ont défini un calcul noté  $C$ , comme une application qui construit une matrice  $R$  à partir de  $M$  et  $Q$  :  $C(Q, M) \rightarrow R$ .

#### 4.9 Synthèse

Selon les travaux de recherche exposés dans la section 4 de ce chapitre, comme les travaux de [Quafafou, 1993; Ranwez et al, 2001; Dahbi et al, 2014; Monterrat et al, 2017], nous remarquons que plusieurs algorithmes et modèles sont apparus pour traiter le problème de l'optimisation d'adaptation dans le domaine des SHA. Donc, la recherche dans ce domaine progresse dans le sens à trouver des méthodes et des techniques pour améliorer le critère de l'optimisation d'adaptation [Hamza et al, 2018].

Selon le modèle utilisé pour le traitement de problème de l'optimisation d'adaptation nous pouvons classer les travaux présentés dans la section 4 de ce chapitre en trois classes qui peuvent se chevaucher entre elles:

- La première classe est basée sur le modèle apprenant pour offrir un contenu optimal. Parmi ces travaux nous pouvons citer le système GAITS [Quafafou, 1993] où le tuteur interagit avec l'apprenant en utilisant des dialogues prédéfinis pour offrir un contenu pédagogique optimal. Dans cette classe, nous pouvons citer aussi l'algorithme d'optimisation par fusion des classes d'utilisateurs proposé par [Ranwez et al, 2001]. Dans ce dernier, un algorithme pour la génération de documents personnalisés structurés a été proposé.
- La deuxième classe est basée sur le modèle de contenu pour répondre au besoin d'optimisation d'adaptation. Les travaux de recherche qui ont été

utilisé les algorithmes de colonies de fourmis [Semet et al, 2003; Van den berg et al, 2005; Gutierrez et al, 2007 ; Wang et al, 2008 ; Wong et al, 2009 Dahbi et al, 2014] sont appartiennent à cette deuxième classe . Avec une simple décomposition de contenu en sections et unités, l'algorithme de colonies de fourmis pourrait résoudre le problème de guider les utilisateurs dans leur parcours. Le modèle d'optimisation par génération dynamique de documents hypermédia adaptatifs proposé dans [Iksal et al, 2002] est l'un des modèles de deuxième classe. Ce dernier permet la génération dynamique de documents hypermédia adaptatifs afin d'améliorer la qualité d'adaptation.

- La troisième classe est basée sur une stratégie d'adaptation pour garantir la notion d'optimisation d'adaptation. Dans cette classe, nous pouvons citer l'algorithme pour l'ajustement de la présentation d'un document hypermédia proposé par [Bruno et al, 2001]. Selon cet algorithme, les durées de présentation des objets multimédia qui forment le document hypermédia doivent être ajustées afin de satisfaire un ensemble de contraintes temporelles qui traduit le déroulement de l'animation envisagée par l'auteur.

Le modèle d'optimisation d'adaptation par utilisation des ontologies proposé par Ranwez [Ranwez, 2000] peut être classé dans la deuxième classe comme il peut être classé dans la troisième classe parce que le premier objectif de ce modèle concerne la conception d'un système hypermédia basé sur une formalisation de la structure documentaire et des documents virtuels (modèle de contenu : principe de la deuxième classe). Le deuxième objectif de ce modèle concerne le choix d'un mode de représentation doté d'une bonne expressivité et qui facilite les calculs afin d'améliorer la communication entre différents acteurs, humain ou non, d'un projet et de favoriser une recherche d'information et un traitement basé sur la sémantique. Ainsi que le troisième objectif concerne la réalisation d'un outil de composition adaptative de documents structurés à des fins pédagogiques (stratégie d'adaptation : principe de la troisième classe).

## 5 Conclusion

Nous avons concentré notre effort dans ce chapitre pour la présentation des deux parties essentielles de notre thèse. Premièrement, nous avons présenté un état de l'art de problème d'optimisation. Après avoir présenté la définition de problème d'optimisation dans le cas général, nous avons passé en revue les principales méthodes d'optimisation difficile, en les divisant en quatre classes selon la classification de [Dréo et al, 2003] (méthodes à base de solution unique, méthodes à population de solutions, méthodes d'optimisation MultiObjectif et méthodes d'optimisation sous contraintes). Le problème d'optimisation d'adaptation traité dans le domaine des SHA est un problème d'optimisation difficile [Hamza et al, 2018], c'est pour cette raison que nous avons choisi de présenter les méthodes d'optimisation difficile.

Dans la deuxième partie de ce chapitre, nous avons exposé les différents travaux proposés dans la littérature pour traiter le problème de l'optimisation d'adaptation dans le domaine des SHA [Quafafou, 1993; Ranwez et al, 2001; Dahbi et al, 2014; Monterrat et al, 2017]. Ces travaux sont basés sur des algorithmes et des modèles nécessaires pour offrir des adaptations optimales aux différents utilisateurs des SHA.

Dans le deuxième chapitre de cette thèse, nous avons vu que plusieurs études présentées par des auteurs des SHA indiquent une influence positive de l'usage des styles d'apprentissage dans tels environnements d'apprentissage [Carver et al, 1999 Papanikolaou et al, 2003 ; Sangineto et al, 2007 ; Wang et al, 2008]. Mais, malgré l'importance de ces styles dans la modélisation du profil de l'utilisateur, ils n'ont pas exploités comme un critère essentiel pour optimiser l'adaptation offerte aux différents apprenants [Hamza et al, 2018].

Dans notre travail, nous essayons d'exploiter les styles d'apprentissage comme un critère important dans la proposition d'un système hypermédia adaptatif permettant d'offrir des adaptations optimisées aux différents apprenants. Dans le chapitre 4, nous essayons de détailler notre système proposé dans [Hamza et al, 2012a ; 2014 ; 2018].

## CHAPITRE 4

# Optimisation d'adaptation par utilisation des styles d'apprentissage

## 1 Introduction

Il est généralement admis que l'identification des styles d'apprentissage est un facteur déterminant dans le comportement des apprenants en situation d'apprentissage. L'utilisation de méthodes d'enseignement et d'approches spécifiques améliore la performance et l'attitude des apprenants [Hamza et al, 2012a]. Dans ce chapitre, nous présentons l'architecture de notre système hypermédia adaptatif qui permet d'établir des correspondances entre le style d'apprentissage et les ressources d'apprentissage [Hamza et al, 2018].

En fonction de la tâche à accomplir, le système doit fournir l'information appropriée pour chaque apprenant en tenant compte son style d'apprentissage. Le système proposé s'appuie sur le modèle de Fleming [Fleming, 2001] pour offrir les trois présentations de contenu suivante : présentations visuelle, présentations auditive et présentations kinesthésique. La justification de notre choix de ce modèle de style d'apprentissage sera détaillée dans le début de la section 2 de ce chapitre.

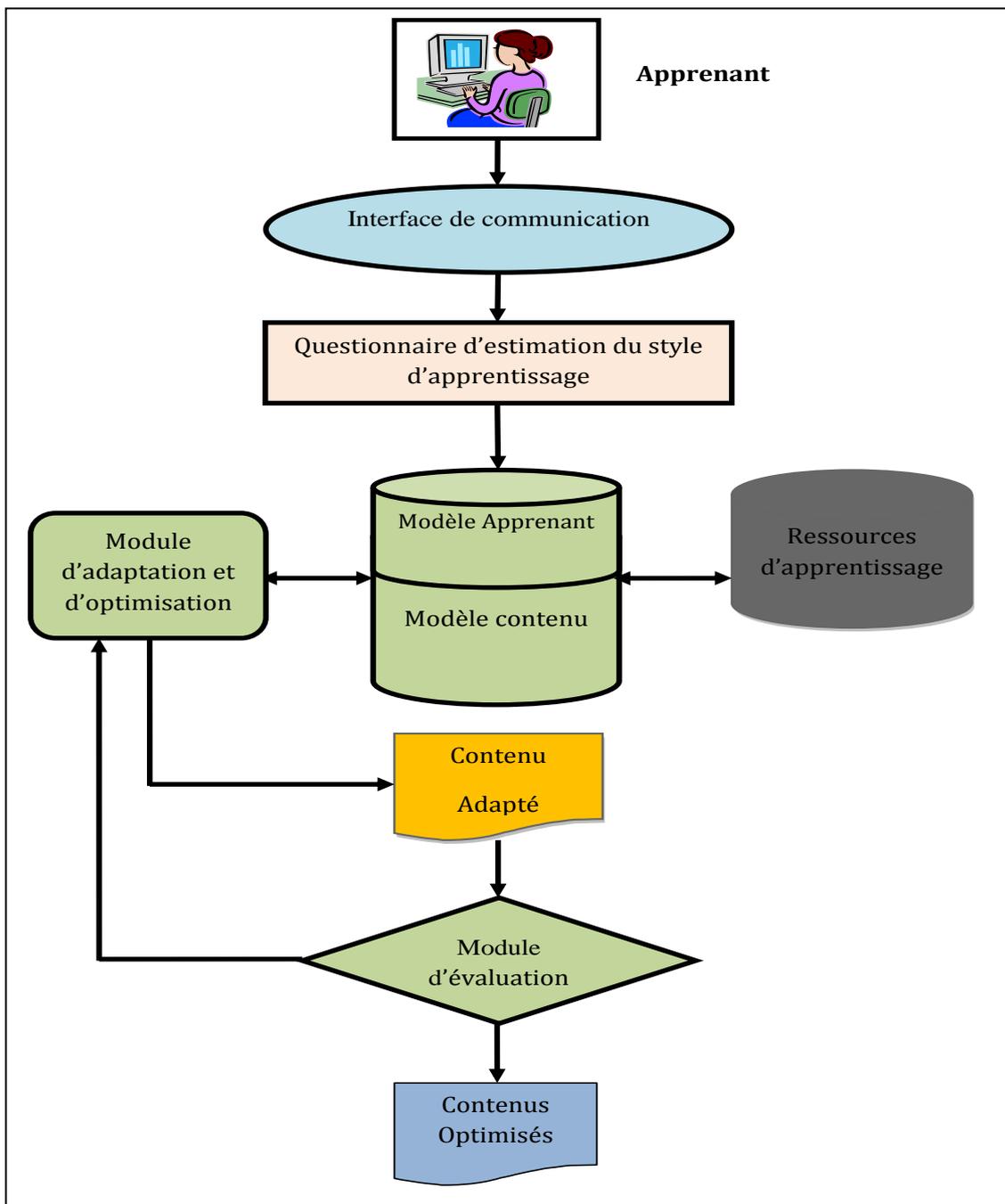
## 2 Architecture du système proposé

L'architecture de notre SHA proposé dans [Hamza et al, 2018] est issue de l'architecture standard des hypermédiats adaptatifs d'apprentissage par le Web dans laquelle l'apprenant est modélisé par son style d'apprentissage. Nous avons présenté dans la section 4 de chapitre 2, une taxonomie des modèles de styles d'apprentissage. Ces modèles se diffèrent selon la théorie d'apprentissage prise en considération, la

définition du style d'apprentissage sélectionné, le nombre des styles d'apprentissage identifiés. Un tel choix dépend fortement des objectifs attendus, du contexte d'apprentissage et de la cohérence du modèle [Hamza et al, 2012a].

Le modèle de style d'apprentissage utilisé dans notre système est le modèle de Fleming VAK (Visuel, Auditif et Kinesthésique) [Fleming, 2001]. Ce modèle constitue l'un des modèles préférés pour l'adaptation des systèmes d'apprentissage en ligne. La justification de notre choix peut être traduite par le fait que le modèle de Fleming accomplit les critères suivants:

- Le modèle est compétent de quantifier le style d'apprentissage de l'apprenant à l'aide de l'instrument « *Swassing-Barbe Perceptual Modality Instrument* » [Barbe et al, 1988].
- Le modèle réalise un bon degré de validité, de fiabilité et de cohérence. Il a été largement expérimenté. En addition, il a une influence significative pour le processus d'apprentissage selon la psychologie éducationnel. Ainsi, il est facilement administrer aux apprenants.
- Le modèle est souhaitable à utiliser dans les hypermédias éducatives. Nous avons vu précédemment (dans la section 5 de chapitre 1 et dans la section 6 de chapitre 2) que le modèle de Fleming est utilisé dans plusieurs systèmes tels que le système SACS [Wang et al, 2008].
- Le modèle a des fondements théoriques forts. Il s'appuie principalement sur nos organes du sens qui constituent les sources principaux d'apprentissage chez l'homme.
- Le modèle conserve une grande simplicité à être implémenter.



**Figure 4.1** : Principe de fonctionnement de système proposé [Hamza et al, 2018].

Cette architecture comprend :

- Un modèle apprenant qui renseigne sur le style d'apprentissage de l'apprenant selon le modèle de Fleming [Fleming, 2001].
- Un modèle de contenu qui renseigne sur les concepts à offrir à l'apprenant.

- Un module d'adaptation et d'optimisation : c'est un module générateur de contenus qui permet de générer le contenu à offrir à l'apprenant en fonction de leur modèle apprenant.
- Un module d'évaluation qui permet de générer des questions qui constituent des tests d'évaluations pour évaluer l'optimisation de l'adaptation offerte à l'apprenant.

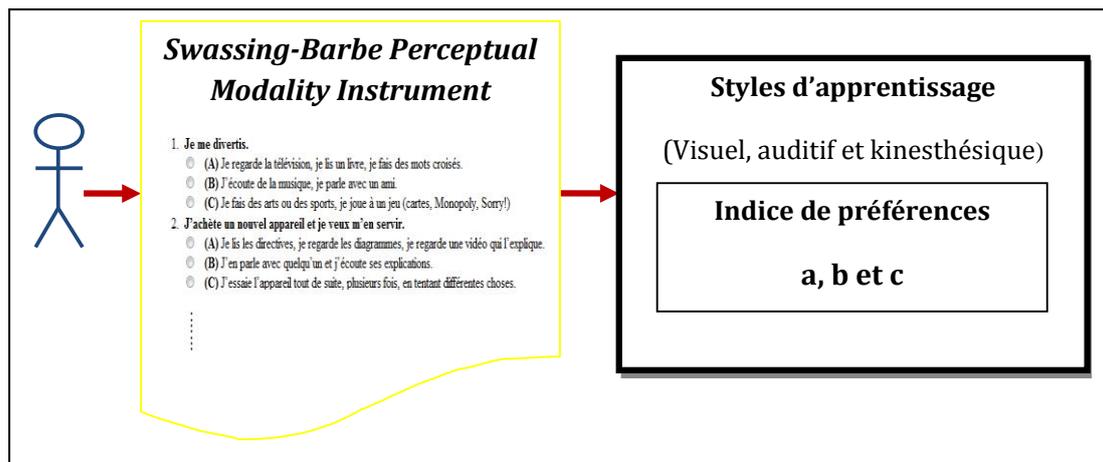
L'implémentation logicielle du système proposé repose sur une architecture Web à trois niveaux:

- Le premier niveau s'occupe de l'interface avec l'utilisateur depuis le navigateur et permet à l'apprenant d'interagir avec le système.
- Le second niveau s'appuie sur un serveur d'applications qui exécute les traitements demandés lors de l'appel d'une page.
- Le troisième niveau assure la gestion des données au sein d'un système de gestion de bases de données et répond aux requêtes.

### 2.1 Modèle apprenant

Le modèle apprenant de notre système englobe les préférences individuelles de l'apprenant en termes de son style d'apprentissage. Le style d'apprentissage de l'apprenant est estimé à l'aide du questionnaire « *Swassing-Barbe Perceptual Modality Instrument* » [Barbe et al, 1988] qui permet d'identifier le style d'un apprenant parmi les trois styles de Fleming [Fleming, 2001]: visuel, auditif et kinesthésique.

Chacun de ces styles est pondéré par un indice de préférence : (a, b et c) qui reflète l'importance relative d'un style d'apprentissage vis-à-vis de l'apprenant (La figure 4.2 illustre le procédé d'acquisition des préférences individuelles de l'apprenant.



**Figure 4.2 :** Modèle apprenant établi par l'instrument « *Swassing-Barbe Perceptual Modality Instrument* » [Hamza et al, 2018].

Ainsi, les différentes étapes nécessaires pour estimer le style d'apprentissage de l'apprenant sont présentées comme suit [Hamza et al, 2018] :

1. En premier lieu, l'apprenant doit répondre au questionnaire en sélectionnant une possibilité parmi trois réponses possibles : **a**, **b** et **c**.
  - La préférence renvoie **a** au style d'apprentissage visuel.
  - La préférence renvoie **b** au style d'apprentissage auditif.
  - La préférence renvoie **c** au style d'apprentissage kinesthésique.
2. Après avoir remplir le questionnaire, l'apprenant doit valider ses réponses.
3. Des valeurs seront attribuées aux réponses de l'apprenant afin de pouvoir estimer son style d'apprentissage.
4. Le système estime le style d'apprentissage de l'apprenant à travers une grille d'encodage. En premier lieu, le système calcule les scores obtenus pour chacune des possibilités a, b et c pour chaque question. La grille d'encodage procède comme suit :
  - Si on a un plus grand nombre de **a**, le style dominant est **visuel**.
  - Si on a un plus grand nombre de **b**, le style dominant est **auditif**.
  - Si on a un plus grand nombre de **c**, le style dominant est **kinesthésique**.

Dans notre système, nous avons traité les cas possibles de l'égalité comme suit :

- Si  $a=b$  et  $a \geq c$ , le premier style dominant est **visuel**, le deuxième style dominant est **auditif** et le troisième style dominant est **kinesthésique**
- Si  $a=b$  et  $a < c$ , le premier style dominant est **kinesthésique**, le deuxième style dominant est **visuel** et le troisième style dominant est **auditif**
- Si  $a=c$  et  $a > b$ , le premier style dominant est **visuel**, le deuxième style dominant est **kinesthésique** et le troisième style dominant est **auditif**
- Si  $a=c$  et  $a < b$ , le premier style dominant est **auditif**, le deuxième style dominant est **visuel** et le troisième style dominant est **kinesthésique**.
- Si  $b=c$  et  $a < b$ , le premier style dominant est **auditif**, le deuxième style dominant est **kinesthésique** et le troisième style dominant est **visuel**.
- Si  $b=c$  et  $a > b$ , le premier style dominant est **visuel**, le deuxième style dominant est **auditif** et le troisième style dominant est **kinesthésique**.

La justification de choisir ces ordres d'affectation des styles d'apprentissage dans les cas possibles de l'égalité est de respecter l'ordre des préférences (visuel, auditif et kinesthésique) mentionné dans la modèle VAK de Fleming [Fleming, 2001].

### 2.2 Modèle de contenu

Dans le cas général, le générateur de contenu décrit la façon de retrouver des ressources d'apprentissage adaptées au style d'apprentissage estimé et de les assembler pour les présenter à l'apprenant. Lorsque l'apprenant décide d'explorer un cours qu'il voudrait suivre ou lorsqu'il clique sur un lien qui l'amène vers un autre concept du même cours ou d'un autre cours, le processus de génération aura lieu [Hamza et al, 2014].

Lorsque l'apprenant est en interaction avec le système, nous devons déterminer quelles données seront présentées à cette personne. Parmi les données du système, nous devons déterminer celles qui sont les plus adéquates pour la personne connectée en fonction de son style d'apprentissage estimé. A ce niveau, le processus de sélection est évoqué. Ce processus permet de générer des ressources d'apprentissage assemblées

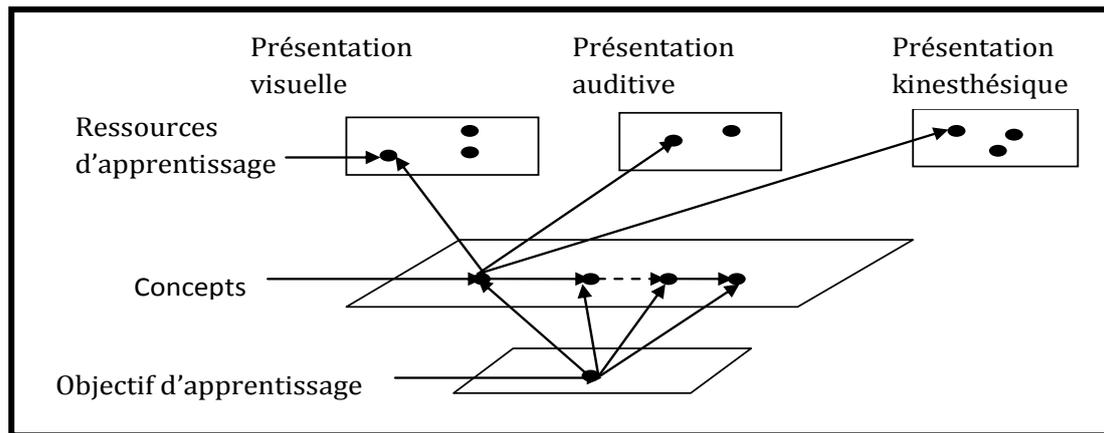
selon la similarité de style d'apprentissage et en fonction des besoins de l'apprenant. Le mécanisme de sélection des données permet de réduire l'espace de navigation d'un apprenant dans le système. L'ensemble résultat des fragments fournis possède une taille inférieure à l'ensemble d'origine. Cela conduit, par conséquent, à réduire la surcharge cognitive chez l'apprenant [Hamza et al, 2014].

Après l'étape de sélection, il est nécessaire de déterminer comment il faut présenter l'ensemble de fragments sélectionnés à l'apprenant. Il faut alors déterminer le positionnement et l'organisation de ces éléments en utilisant les contraintes de présentation [Hamza et al, 2014].

Dans le cadre de notre approche, le modèle de contenu est représenté par trois niveaux hiérarchiques: objectif d'apprentissage, concept et matériel pédagogique. Un objectif d'apprentissage correspond à un sujet du domaine à étudier, chaque objectif est associé à un ensemble de concepts du domaine à étudier et chaque concept est lui-même relié à un ensemble de matériels pédagogiques qui constituent les ressources que l'apprenant manipulera lors de l'apprentissage (Figure 4.3).

Dans notre modèle, nous avons utilisé trois types de présentations pour présenter les ressources pédagogiques. Ces présentations reflètent les dimensions liées au modèle de Fleming [Fleming, 2001] qui conserve trois styles d'apprentissage (Visuel, Auditif et kinesthésique) que nous avons adoptés [Hamza et al, 2018] telles que :

- **Une présentation visuelle :** la présentation visuelle doit inclure des diagrammes, des photos, de cartes, de graphiques, des couleurs et d'autres dispositifs visuels.
- **Une présentation auditive :** la présentation auditive doit fournir du matériel audio, des explications, des occasions de discuter en groupe, etc.
- **Une présentation kinesthésique :** la présentation kinesthésique doit inclure des résumés, des sommaires, des exemples, des exercices, d'exposés, du matériel audio, etc.



**Figure 4.3 :** Modèle de contenu [Hamza et al, 2018].

### 2.3 Module d'adaptation et d'optimisation

L'adaptation des ressources d'apprentissage ou le choix de la présentation à proposer à l'apprenant est une tâche extrêmement difficile. Cette difficulté est principalement liée à l'incertitude associée à la validité des critères qui serviraient à faire le choix [Mitrovic et al, 2014]. Pour répondre à cette problématique, notre système proposé utilise un module d'adaptation et d'optimisation dont l'objectif est d'aider l'apprenant pour obtenir leur objectif d'apprentissage tout en lui recommandant la présentation la plus adaptée à son style d'apprentissage [Hamza et al, 2018]. Donc, ce module joue deux rôles principaux : le rôle d'adaptation et le rôle d'optimisation.

#### 2.3.1 Rôle d'adaptation

Dans un apprentissage expérientiel, l'apprenant est très favorisé dans la phase reflétant son style dominant, moins favorisé dans la phase reflétant son deuxième mode préférentiel, et peu favorisé dans le dernier [Fortin et al, 2011]. Dans le cadre de notre approche, les ressources d'apprentissage associées aux trois présentations (visuelle auditive et kinesthésique) seront présentées à l'apprenant en favorisant celle reflétant son style dominant.

L'adaptation des ressources d'apprentissage doit prendre en considération les préférences individuelles de chaque style d'apprentissage du modèle adopté. Un apprenant visuel a tendance à apprendre à l'aide de diagrammes, de cartes, de graphiques et d'autres dispositifs visuels. Donc, pour satisfaire les besoins des

apprenants visuels et optimiser leur apprentissage, nous devons utiliser des diagrammes des photos, des graphiques, etc. nous pouvons utiliser aussi les couleurs pour attirer l'attention des apprenants visuels aux concepts clés. La figure 4.4 illustre les règles d'adaptation des ressources d'apprentissage selon la dimension visuelle du modèle de Fleming [Fleming, 2001].

**Si** style d'apprentissage estimé =" *Visuel*" **Alors** offrir à l'apprenant une présentation visuelle

**Donc**

- Intégrer des images, des graphiques, des cartes, etc.
- Utiliser les couleurs pour accentuer les concepts clés.
- Réduire les explications et les instructions verbales.

**Figure 4.4 :** Règles d'adaptation selon la dimension visuelle du modèle de Fleming [Fleming, 2001].

Un apprenant auditif a tendance à apprendre à l'aide de discussions, d'entretiens d'exposés, du matériel audio, etc. Alors, la stratégie d'adaptation suivie pour satisfaire les besoins des apprenants auditifs doit fournir du matériel audio, des explications, des occasions de discuter en groupe, etc. Les règles d'adaptation des ressources d'apprentissage selon la dimension auditive du modèle de Fleming sont résumées dans la figure 4.5.

**Si** style d'apprentissage estimé =" *auditif*" **Alors** offrir à l'apprenant une présentation auditive

**Donc**

- Intégrer du matériel audio.
- Présenter des occasions de discussions (chat).
- Réduire les dispositifs visuels.

**Figure 4.5 :** Règles d'adaptation selon la dimension auditive du modèle de Fleming [Fleming, 2001].

Un apprenant kinesthésique a tendance à apprendre à l'aide des expériences pratiques, des notes, etc. il aime comprendre l'idée générale du support d'apprentissage et travailler en groupe. Donc, les ressources d'apprentissage devant être fournies aux apprenants kinesthésiques doivent inclure des résumés, des sommaires, des exemples, des exercices, d'exposés, du matériel audio, etc. La figure 4.3 regroupe les règles d'adaptation des ressources d'apprentissage selon la dimension Kinesthésique du modèle de Fleming [Fleming, 2001].

**Si** style d'apprentissage estimé = " *kinesthésique* "

**Alors**

- Intégrer des résumés en haut des pages.
- Présenter des exemples pratiques, et des exercices.
- Offrir des sommaires au début des documents et proposer des exposés.

**Figure 4.6:** Règles d'adaptation selon la dimension kinesthésique du modèle de Fleming [Fleming, 2001].

### 2.3.2 Rôle de l'optimisation

Dans notre système, nous avons utilisés un questionnaire d'évaluation se forme d'un QCM (*Questions à Choix Multiple*) pour mesurer le niveau d'acquisition des connaissances montrées par la présentation offerte à l'apprenant [Hamza et al, 2018]. Donc, notre problème de l'optimisation se définit par la recherche, parmi un ensemble des présentations possibles  $P$ , de la présentation  $p^*$  qui rend maximale le résultat du questionnaire d'évaluation. Le but de cette évaluation est de garantir l'acquisition des concepts offerts à l'apprenant en fonction de leur style d'apprentissage dominant. Si l'apprenant ne réussit pas le test, le système met en cause le style d'apprentissage dominant et sélectionne par la suite une autre présentation selon le deuxième style favorisé et ainsi de suite jusqu'à ce que l'apprenant réussit le test [Hamza et al, 2018].

Selon ce processus, plusieurs présentations peuvent être présentées à l'apprenant pour apprendre un même concept. Le but de ce processus est de garantir que l'apprenant a bien acquis les connaissances offertes par les différentes présentations des ressources d'apprentissage demandées [Hamza et al, 2018].

Le résultat du questionnaire d'évaluation est une valeur  $V$  comprise entre 0 et 20. Dans cet intervalle, nous avons défini deux bornes : une borne minimale  $V_{Min}$  et une borne maximale  $V_{Max}$ . Le but de définition de ces bornes est de déterminer le niveau d'acquisition des connaissances par l'apprenant comme suit :

La valeur de $V$	Niveau d'acquisition des connaissances	Etat de la présentation	Décision
$0 \leq V < V_{Min}$	Faible	N'est pas adaptée	La présentation nécessite une adaptation
$V_{Min} \leq V < V_{Max}$	Moyen	Adaptée mais n'est pas optimisée	La présentation nécessite une optimisation
$V_{Max} \leq V < 20$	Fort	Optimisée	La présentation est adéquate

**Tableau 4.1 :** Détermination de niveau de connaissance d'apprenant et l'état de la présentation [Hamza et al, 2018].

L'algorithme d'optimisation d'adaptation que nous avons proposé dans notre système [Hamza et al, 2018] a été défini comme suit :

```

1  | Affecter une valeur initiale pour le variable i
2  | Tant que ( $i \leq n$ ) et (non optimisé) faire
3  |   Offrir la présentation  $p_i$  à l'apprenant
4  |   Evaluer l'apprenant par le questionnaire d'évaluation proposé par le système
5  |   Mettre le résultat d'évaluation dans le variable V
6  |   Si ( $V \geq V_{Max}$ ) alors
7  |   |   Optimisé=vrais
8  |   |   Niveau_acquisition=Fort
9  |   Sinon
10 |   |   Si ( $V \geq V_{Min}$ ) alors
11 |   |   |   Niveau_acquisition =Moyen
12 |   |   |   Incréments le variable i
13 |   |   Sinon
14 |   |   |   Niveau_acquisition =Faible
15 |   |   |   Incréments le variable i
16 |   |   Fin
17 |   Fin
18 | Fin

```

**Algorithme 4.1 :** Algorithme d'optimisation d'adaptation [Hamza et al, 2018].

La valeur de **n** est le nombre des présentations offertes par le système hypermédia. Dans notre système proposé, les présentations offertes aux apprenants sont trois présentations : la présentation visuelle, la présentation auditive et la présentation kinesthésique. Le variable **i** désigne l'itération de processus d'adaptation et d'optimisation. L'itération dans notre algorithme désigne la présentation offerte à

l'apprenant, donc la valeur initiale de  $i$  est 1 et la valeur maximale de  $i$  est  $n$  (nombre de présentations proposées par le système). Comme la valeur de  $i$  a une valeur maximale le risque de la boucle infinie n'est pas posé dans cet algorithme [Hamza et al, 2018].

$P_i$  désigne la présentation à offrir à l'apprenant dans l'itération  $i$ , alors  $P_i$  peut être l'une des trois présentations suivantes (visuelle, auditive et kinesthésique). Les ressources d'apprentissage associées aux trois présentations (visuelle, auditive et kinesthésique) seront présentées à l'apprenant en favorisant celle reflétant son style dominant.

Les valeurs de variable « Niveau\_acquisition » permettent au système de connaître le niveau d'acquisition des connaissances pour les ressources d'apprentissages demandés par l'apprenant.

Si la variable « Niveau\_acquisition » prend la valeur « Fort » cela signifie que la présentation  $P_i$  offerte à l'apprenant est optimisée, donc elle ne nécessite pas une adaptation. Si la variable « Niveau\_acquisition » prend la valeur « Moyen » cela signifie que la présentation  $P_i$  offerte à l'apprenant est présentation adaptée mais, elle n'est pas optimisée, donc il est nécessaire d'offrir une autre présentation  $p_{i+1}$  à l'apprenant. La question qui se pose ici est « comment le système va choisir la présentation  $p_{i+1}$  ? ». Dans notre système, la présentation,  $p_{i+1}$  est une présentation selon le style dominant suivant. Si la variable « Niveau\_acquisition » prend la valeur « Faible » cela signifie que la présentation  $P_i$  offerte à l'apprenant n'est pas adaptée, donc, il est nécessaire d'offrir une autre présentation  $p_{i+1}$  [Hamza et al, 2018].

### 2.4 Module d'évaluation

Depuis quelques années, une réforme des systèmes d'éducation a fait place à de nombreux changements concernant les méthodes d'évaluation utilisées dans le processus d'apprentissage des apprenants. L'évaluation, qui consiste à porter un jugement sur les apprentissages, permet de recueillir, d'analyser et d'interpréter des données en vue de répondre à des décisions pédagogiques [Bruno, 2015].

Nous pouvons d'abord se référer aux autres définitions de l'évaluation que citées dans [Charton, 2005] : « L'évaluation est une opération qui consiste à estimer, à apprécier, à porter un jugement de valeur où à accorder une

importance à une personne, à un processus, à un événement, à une institution ou à tout objet à partir d'informations qualitatives et/ou quantitatives et de critères précis en vue d'une décision. Evaluer c'est comprendre, éclairer l'action de façon à pouvoir décider avec justesse de la suite des événements ».

L'autre définition insiste sur le caractère normatif éventuel de l'évaluation: « Démarche ou processus conduisant au jugement et à la prise de décision en comparant les caractéristiques observables à des normes établies, à partir de critères explicites, en vue de fournir des données utiles à la prise de décision dans la poursuite d'un but ou d'un objectif » [Charton, 2005].

Plusieurs types d'évaluations sont utilisés dans l'apprentissage, mais le plus connu et le plus utilisé est l'évaluation de l'apprentissage, dite « évaluation sommative » [Bruno, 2015]. Ce type d'évaluation permet de confirmer que l'apprenant a appris les concepts de l'apprentissage, ensuite elle consiste d'élaborer un classement, de voir si l'apprenant possède les qualifications requises pour passer à la prochaine étape d'apprentissage, mais surtout, s'il possède les prérequis pour l'obtention d'un diplôme. En ce sens, l'objectif principal de l'évaluation sommative est d'informer de la progression des apprentissages et des acquisitions effectuées des apprenants à la fin d'une étape d'un cursus éducative [Bruno, 2015].

Lors d'évaluations sommatives, l'apprenant peut connaître ses erreurs, mais il n'est pas possible de connaître le raisonnement qui l'a mené à produire une réponse erronée. [Charton, 2005]. A la méthode d'évaluation sommative s'oppose une évaluation au service de l'apprentissage, dite de type formatif. L'évaluation formative consiste en des évaluations interactives démontrant les acquis et la progression des apprentissages des apprenants, tout en identifiant les besoins de chacun afin d'ajuster l'enseignement en conséquence [Bruno, 2015].

L'évaluation formative permet ainsi de présenter à l'apprenant ses faiblesses, mais aussi ses forces et ses progrès. Les enseignants peuvent alors être plus aptes à répondre à la diversité des besoins identifiés des apprenants en adaptant leur pédagogie pour améliorer les résultats des apprenants, réduire l'inégalité des résultats et les aider à mieux apprendre pour ensuite surmonter leurs difficultés. En évaluation formative, les commentaires ont tous autant d'importance que la note en soit [Bruno, 2015].

Le module d'évaluation, que nous avons défini dans l'architecture de notre SHA proposé [Hamza et al, 2018], permet de générer des questions constituant des tests d'évaluations pour évaluer l'optimisation de l'adaptation offerte à l'apprenant. Donc, le but de l'évaluation dans notre système est de confirmer que l'apprenant a acquis les connaissances offertes pendant le parcours pédagogique de l'apprentissage.

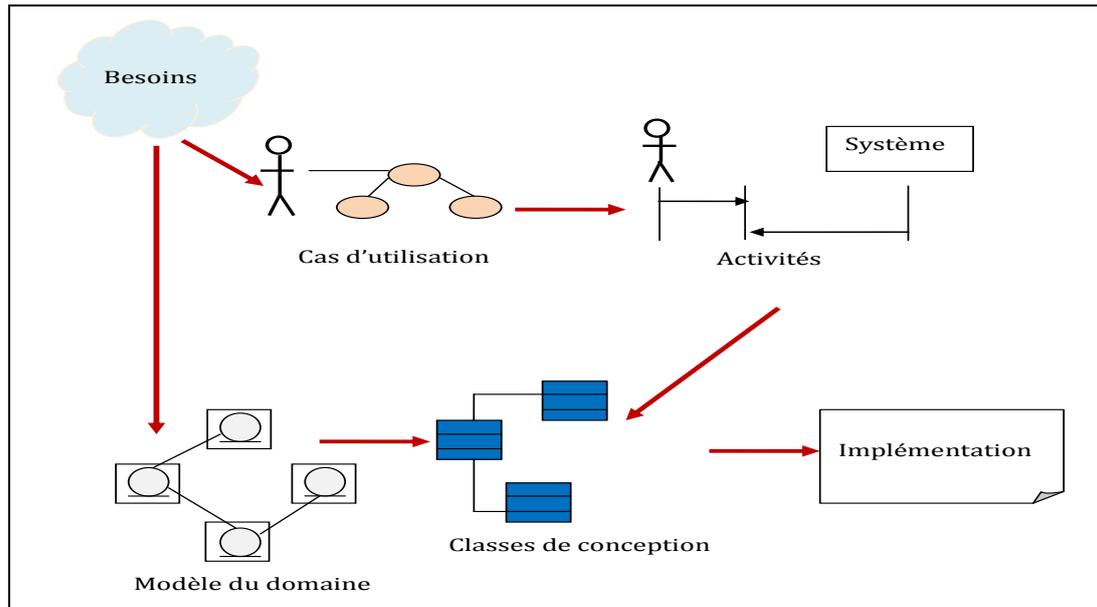
L'évaluation utilisée dans notre système est de type sommatif, parce que la note obtenue à la fin de l'évaluation sera utilisée par le système pour estimer le niveau d'acquisition des connaissances pour chaque apprenant. Selon la valeur de cette estimation, le système décide de passer à la prochaine étape pour poursuivre le processus pédagogique ou de rester dans l'étape en cours jusqu'à la confirmation de l'acquisition des connaissances [Hamza et al, 2018]. L'outil de l'évaluation utilisé dans notre système est un QCM (*Questionnaire à Choix Multiple*) préparés par mes collègues enseignants au niveau de département de l'informatique dans l'université l'Arbi Ben M'hidi d'Oum el bouaghi. Ce QCM est composé de questions réparties sur trois niveaux de difficulté (facile, moyen, difficile). Ces questions peuvent être des questions théoriques qui examinent les connaissances acquises de nature théorique, comme elles peuvent être des questions pratiques qui examinent les connaissances acquises de nature pratique.

### **3 Conception et modélisation de système proposé à l'aide d'UML**

Avant de développer notre environnement hypermédia, il faut savoir précisément à quoi il devra servir, avec quoi il va régir, etc. La modélisation sert à représenter la structure du système proposé à un niveau d'abstraction qui va au delà de l'implémentation physique du système. La conception, quant à elle, est en grande partie un processus d'affinement du modèle résultant de la modélisation du système. Dans ce cadre, le langage de modélisation orienté objet UML<sup>1</sup> est imposé comme un standard que rencontrent tous les ingénieurs dans l'industrie informatique.

---

<sup>1</sup> Unified Modelling Language.



**Figure 4.7 :** Phases de réalisation du système [Hamza et al, 2018].

Dans la suite, nous allons décrire la modélisation, à l'aide de langage UML, de différentes vues de notre système proposé: la vue statique, la vue fonctionnelle et la vue dynamique.

- La vue, aspect ou statique résume les données sur lesquelles le système agit.
- La vue fonctionnelle donne des informations sur ce que fait le système.
- La vue dynamique illustre le séquençage des actions dans le système.

Pour cette raison, nous allons présenter les diagrammes UML suivants : le diagramme de classes pour modéliser la vue statique, le diagramme de cas d'utilisation pour modéliser la vue fonctionnelle et le diagramme de séquence pour modéliser la vue dynamique.

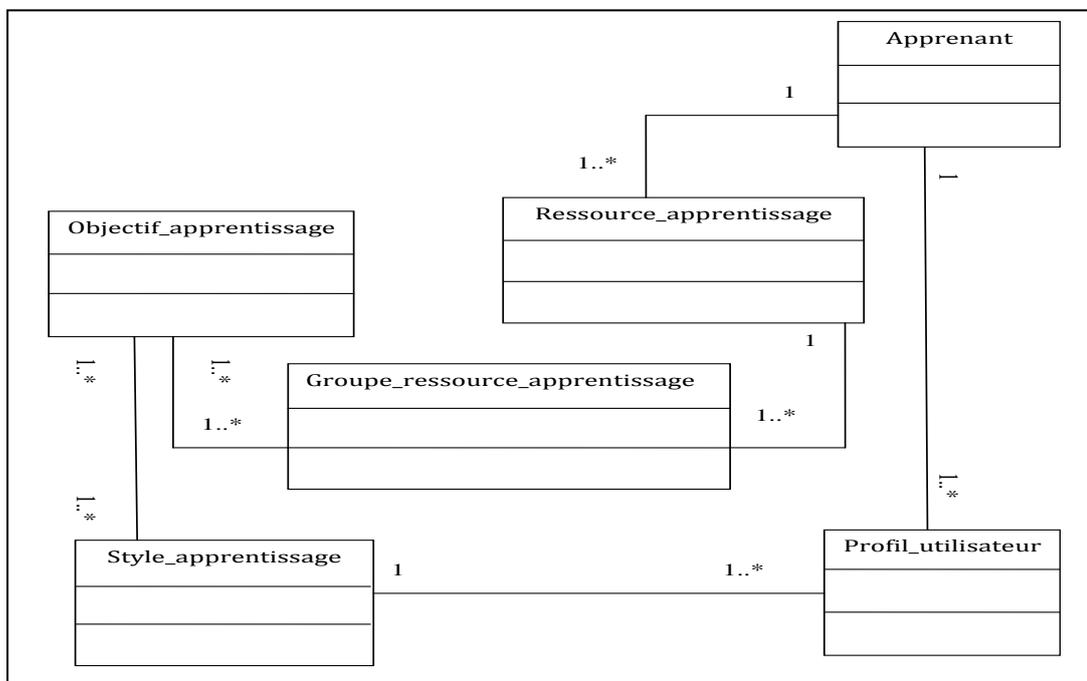
### 3.1 Diagramme de classes

Les diagrammes de classes permettent de spécifier la structure et les liens entre les objets dont le système est composé. Une classe est une représentation abstraite d'un ensemble d'objets, elle contient les informations nécessaires à la construction de l'objet (c'est-à-dire la définition des attributs et des méthodes). La classe peut donc être considérée comme le modèle, le moule ou la notice qui va permettre la construction d'un objet. Nous pouvons encore parler de type (comme pour une donnée). Nous pouvons dire également qu'un objet est l'instance d'une classe (la concrétisation d'une classe).

Le diagramme des classes est un diagramme structurel (statique) qui permet de représenter : les classes (attributs et méthodes), les associations (relations) entre les classes. Le diagramme de classes est le plus important des diagrammes UML, c'est le seul qui soit obligatoire lors de la modélisation objet d'un système.

La figure 4.8 décrit les différentes classes de modèle apprenant de notre système ainsi que les relations entre elles. Voici une description de ces classes ainsi que les relations entre elles :

- Un Apprenant doit pouvoir générer les ressources d'apprentissage.
- Un Apprenant a un Profil\_utilisateur qui inclut des détails spécifiques sur son style d'apprentissage.
- Un Apprenant accède à la ressource d'apprentissage. Cette dernière appartient à un groupe de ressource d'apprentissage.
- Un groupe de ressource d'apprentissage inclut des ressources d'apprentissage adapté au style d'apprentissage estimé et en fonction de l'objectif d'apprentissage.



**Figure 4.8.** Diagramme de classes du modèle apprenant.

Le diagramme de classe de modèle de domaine est présenté par la figure 4.9, Il peut être décrit comme suit:

- Le *Domaine* se compose d'un ou de plusieurs *Ressources\_apprentissage*.
- Une *Ressource\_apprentissage* se compose de plusieurs liens hypertextuels qui relient les différentes ressources pédagogiques.
- Une *Ressource\_apprentissage* se compose de plusieurs ancres ordonnés qui permettent de passer entre les différentes ressources pédagogiques.
- Le *Concept* peut être un composant *Composite* de *Ressources\_apprentissage* comme il peut être un élément *Atomique* qui se compose de plusieurs *Contenus*.
- Une *Page* est un *Concept Composite* est se construite par des *Concepts Atomiques*.
- Les *Concepts* qui ont une relation entre eux sont décrits par la classe *Relation\_Concept*. Les relations entre les concepts peuvent être des pré\_requis des apprenants. Ces relations sont décrites par des liens entre les pages, comme elles peuvent être dans la même page.

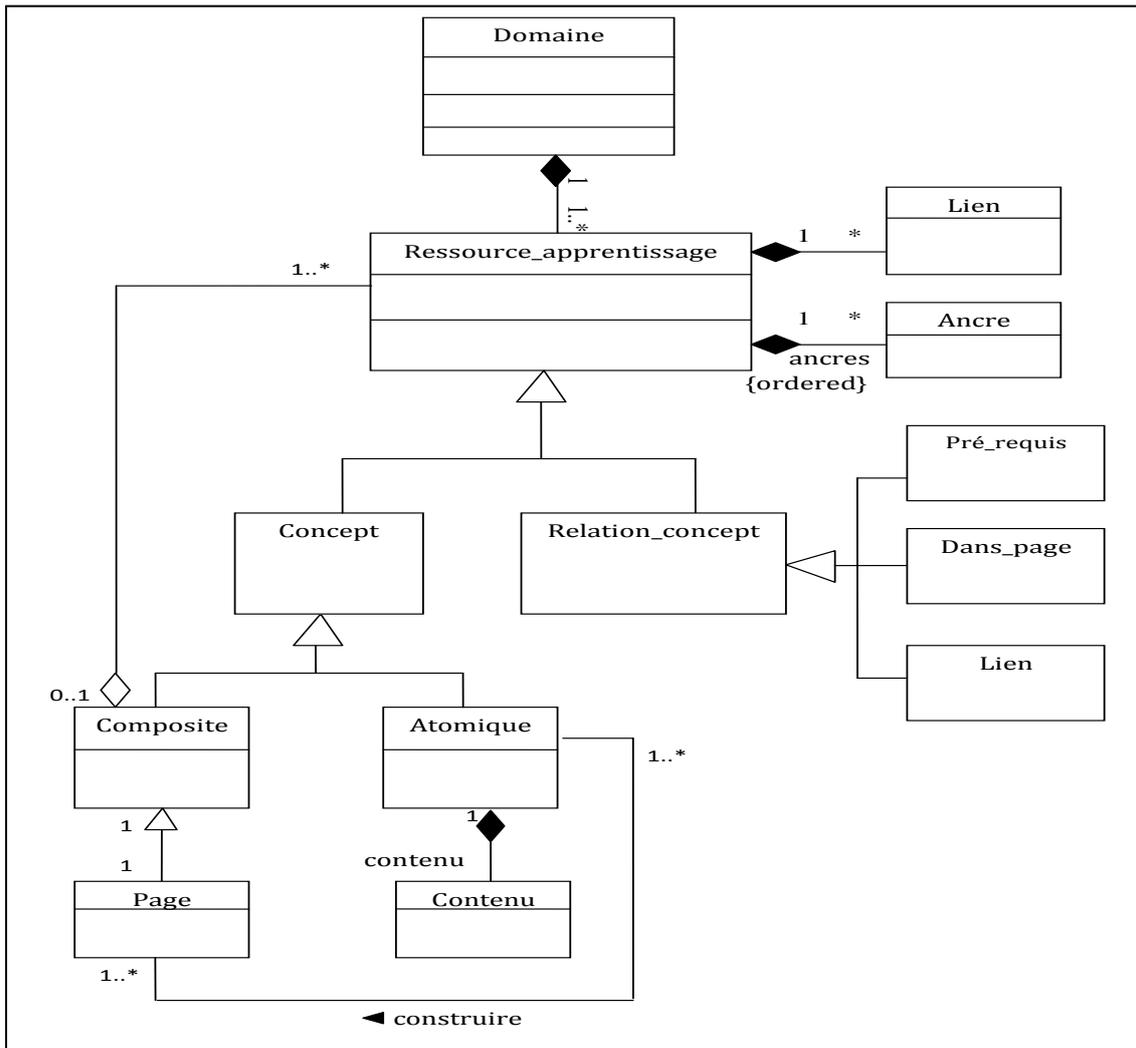


Figure 4.9 : Diagramme de classe de modèle de domaine.

### 3.2 Diagramme de cas d'utilisation

Le diagramme des cas d'utilisation (*Use Case Diagram*) constitue la première étape de l'analyse UML en :

- Modélisant les besoins des utilisateurs.
- Identifiant les grandes fonctionnalités et les limites du système.
- Représentant les interactions entre le système et ses utilisateurs.

Le diagramme des cas d'utilisation apporte une vision utilisateur et absolument pas une vision informatique. Il ne nécessite aucune connaissance informatique et l'idéal serait qu'il soit réalisé par le client.

Le diagramme des cas d'utilisations n'est pas un inventaire exhaustif de toutes les fonctions du système. Il ne liste que des fonctions générales essentielles et principales sans rentrer dans les détails.

Les services rendus à l'utilisateur impliquent des séries d'actions plus élémentaires. Les diagrammes des cas d'utilisation modélisent ces actions en décrivant les besoins à atteindre par le système du point de vue des acteurs. Dans notre cas, l'acteur ici est l'apprenant.

Les différents cas d'utilisation de notre système sont :

- Quand l'apprenant demande une ressource ; il doit remplir le questionnaire d'estimation du style d'apprentissage.
- L'apprenant doit valider ses réponses pour que le système puisse estimer son style d'apprentissage.
- L'apprenant peut explorer les ressources d'apprentissage une fois le système a déterminé son style d'apprentissage dominant.
- L'apprenant doit remplir le questionnaire d'évaluation associées aux ressources d'apprentissage explorées.
- L'apprenant doit valider ses réponses pour que le système puisse estimer son niveau d'acquisition des connaissances pour les ressources d'apprentissage explorées.
- Selon les résultats du questionnaire d'évaluation, l'apprenant peut explorer les ressources d'apprentissage demandés mais avec une autre présentation selon l'ordre de leur styles d'apprentissage dominants. La figure 4.8 illustre ces différents cas d'utilisation.

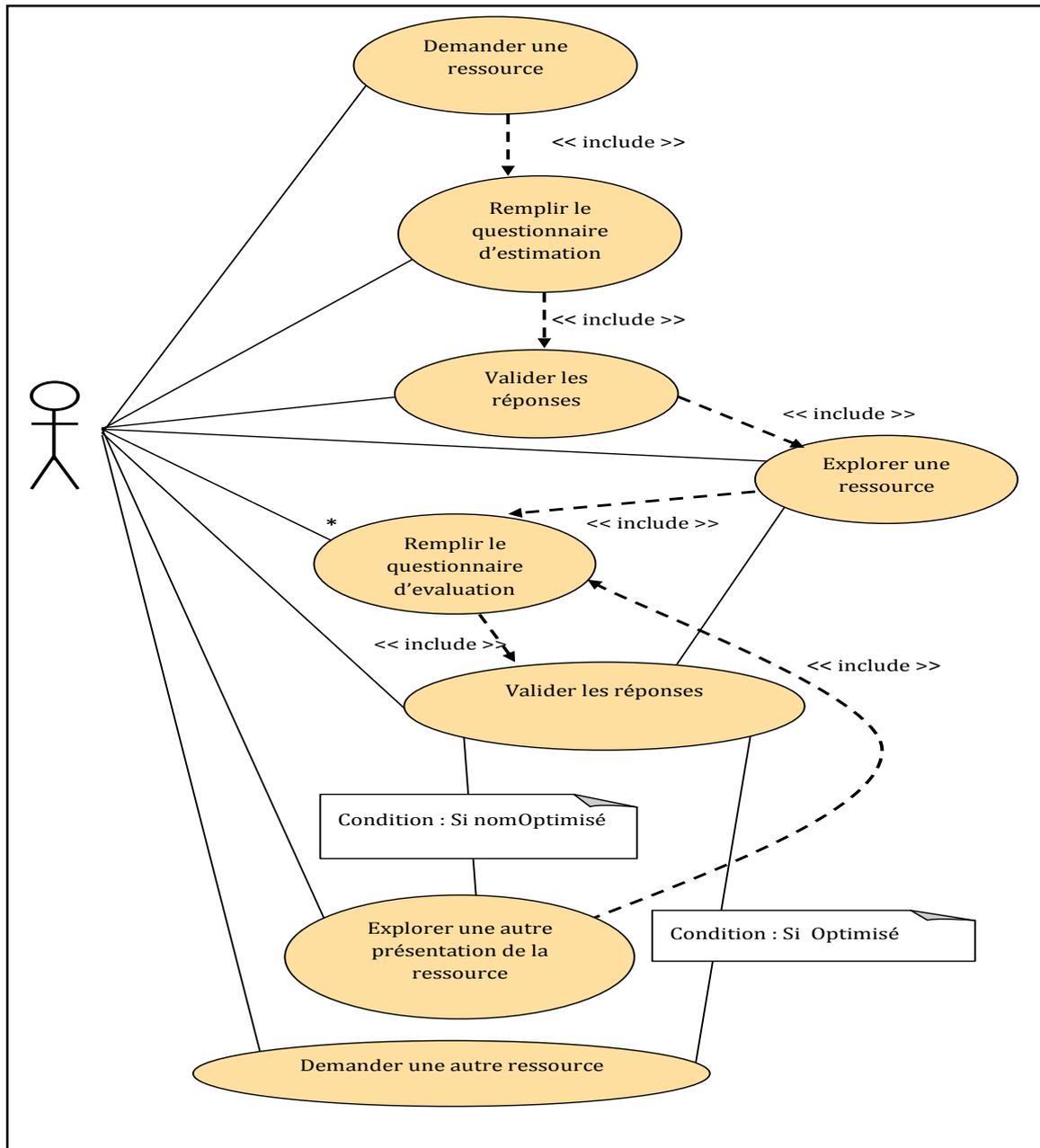


Figure 4.10 : Diagramme de cas d'utilisation du système proposé.

### 3.3 Diagramme d'activité

Pour la représentation de comportement de notre système, nous avons utilisé les diagrammes d'activités. Ils sont adaptés à la modélisation du cheminement de flots de contrôle (toutes les instructions, branches, chemins...) et de flots de données (toutes les définitions de variable, les utilisations...). Ils représentent graphiquement le comportement d'une méthode ou le déroulement d'un cas d'utilisation. Les diagrammes

d'activité ne sont pas rattachés à un classeur particulier. Ils peuvent être attachés à n'importe quel élément de modélisation afin de visualiser, spécifier, construire ou documenter le comportement de cet élément.

Dans la phase de conception, les diagrammes d'activités sont particulièrement adaptés à la description des cas d'utilisation car ils viennent illustrer et consolider leur description textuelle. De plus, leur représentation sous la forme d'organigrammes les rend facilement compréhensible et accessible.

Les diagrammes d'activités permettent de spécifier des traitements a priori séquentiels et offrent une vision très proche de celle des langages de programmation impératifs comme C++ ou Java. Ainsi, ils peuvent être utiles dans la phase de réalisation, car ils permettent une description si précise des opérations qu'elle autorise la génération automatique du code. La modélisation d'une opération peut toutefois être assimilée à une utilisation d'UML comme langage de programmation visuelle, ce qui n'est pas sa finalité. Il ne faut donc pas y avoir recours de manière systématique, mais la réserver à des opérations dont le comportement est complexe ou sensible.

Dans notre système, deux types d'activités peuvent être représentées par le diagramme d'activité illustré par la figure 4.11. Le premier type de ces activités est les activités générées par l'apprenant, le deuxième type est les activités générées par le système hypermédia adaptatif. L'apprenant commence par la demande d'une ressource d'apprentissage à apprendre, ensuite il remplit un formulaire d'estimation de style d'apprentissage envoyé par le système. Ce dernier traite le formulaire envoyé et détermine le style d'apprentissage dominant de l'apprenant. Une présentation de la ressource selon le style d'apprentissage dominant sera envoyée par le système à l'apprenant. Ce dernier commence à explorer la ressource d'apprentissage, ensuite, il remplit un formulaire d'évaluation envoyé par le système pour évaluer l'acquisition des concepts de base de la ressource explorée par l'apprenant. A cet point la, le système utilise l'algorithme d'optimisation d'adaptation [Hamza et al, 2018] proposé dans cette thèse pour offrir des adaptations plus optimisées.

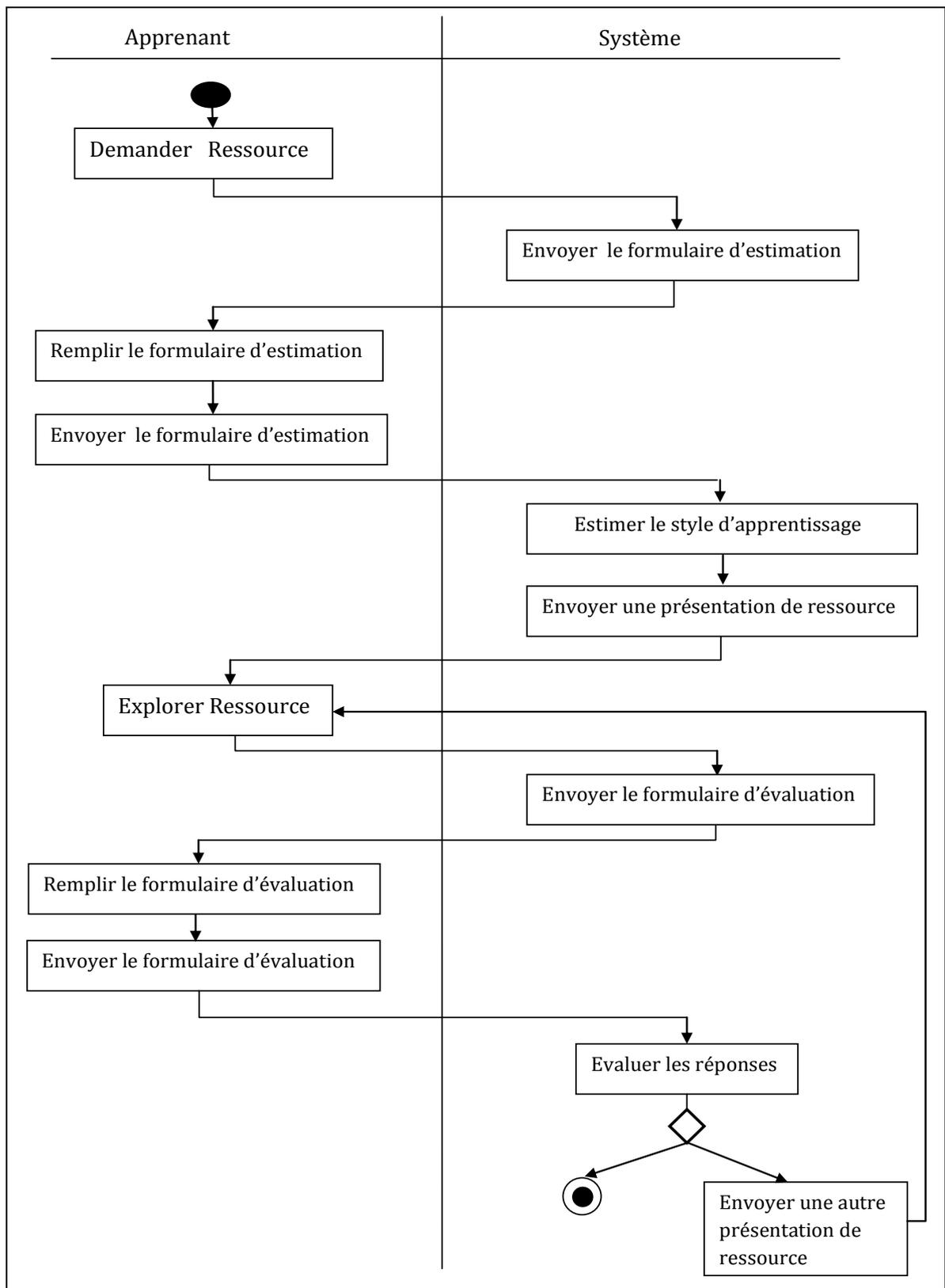


Figure 4.11 : Diagramme d'activité de système proposé.

## 4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la conception et la modélisation de notre SHA proposé [Hamza et al, 2018]. Ce système permet de garantir l'optimisation de l'adaptation offerte à l'apprenant à l'aide de leur style d'apprentissage.

Dans un premier temps, nous avons présenté l'architecture de notre système proposé en se basant sur le principe de fonctionnement de chaque modèle. Nous avons vu que cette architecture comprend les modèles suivant : (i) un modèle apprenant qui renseigne sur le style d'apprentissage de l'apprenant selon le modèle de Fleming, les trois styles identifiés dans ce modèle sont : le style visuel, le style auditif et le style kinesthésique (ii) un modèle de contenu qui renseigne sur les concepts à offrir à l'apprenant, les trois présentations de contenu identifiées dans ce modèle sont : la présentation visuelle, la présentation auditive et la présentation kinesthésique; (iii) un module d'adaptation et d'optimisation qui permet de générer le contenu à offrir à l'apprenant en fonction de leur modèle apprenant, dans ce module un algorithme d'optimisation d'adaptation a été identifiées, cet algorithme permet d'offrir les trois présentations de contenu selon le style d'apprentissage de chaque apprenant ; (iv) un module d'évaluation qui permet de générer des questions qui constituent des tests d'évaluations pour évaluer l'optimisation d'adaptation offerte à l'apprenant, dans ce module un questionnaire de type QCM a été identifiées pour obtenir une note qui sera d'utiliser par le système pour estimer le niveau d'acquisition des connaissances pour chaque apprenant. Selon la valeur de cette estimation, le système décide de passer à la prochaine étape pour poursuivre le processus pédagogique ou de rester dans l'étape en cours jusqu'à la confirmation de l'acquisition des connaissances.

Ensuite nous avons présenté les différentes étapes de conception et de modélisation du système proposé à l'aide de langage UML. Nous avons utilisé les diagrammes UML suivant : (i) le diagramme de classes pour modéliser les données sur lesquelles le système agit ; le diagramme de cas d'utilisation pour modéliser le fonctionnement de système ; (iii) le diagramme de séquence pour modéliser le séquençement des actions dans le système.

Dans le cinquième chapitre, nous essayons de présenter l'expérimentation de notre système proposé sur un exemple d'une application hypermédia éducative développées

au sein de l'université d'Oum el Bouaghi pour offrir les cours pour le module « Initiation à l'informatique » aux étudiants de première année licence. Cette expérimentation permet de vérifier la validité du système proposé.

**CHAPITRE 5****Expérimentation et analyse des résultats****1 Introduction**

L'objectif de ce chapitre est de présenter l'expérimentation de notre système proposé sur un exemple d'une application hypermédia éducative développées au sein de l'université d'Oum el Bouaghi pour offrir les cours pour le module « Initiation à l'informatique » aux étudiants de première année licence.

Ensuite, nous avons analysé les résultats obtenus au sein de l'évaluation de cette expérimentation. Cette évaluation est basée sur les critères suivant : (i) l'analyse des résultats propres aux styles d'apprentissage des étudiants ; (ii) l'analyse des résultats après une première présentation de cours ; (iii) l'analyse des résultats après une répétition de la première présentation ; (iv) l'analyse des résultats après les optimisations proposées par le système.

La plupart des cours enseignés à la faculté des sciences exactes d'Oum El Bouaghi (Algérie) sont des cours de type présentiel. L'utilisation d'un système hypermédia d'enseignement constitue pour les étudiants un changement dans leur façon d'apprendre. Afin d'évaluer l'apport du style d'apprentissage en tant que critère d'optimisation d'adaptation d'un cours, nous avons implémenté un exemple de système hypermédia adaptatif proposé dans notre travail [Hamza et al, 2018]. Ce dernier a été expérimenté dans le cadre d'un cours portant sur les concepts de base de l'informatique et enseigné en ligne en parallèle avec les autres cours classiques en présentiel.

Donc, le présent chapitre est divisé en deux parties : la première partie illustre les étapes principales d'utilisation de notre système proposé, la deuxième partie montre l'analyse des résultats obtenus selon des critères sélectionnés.

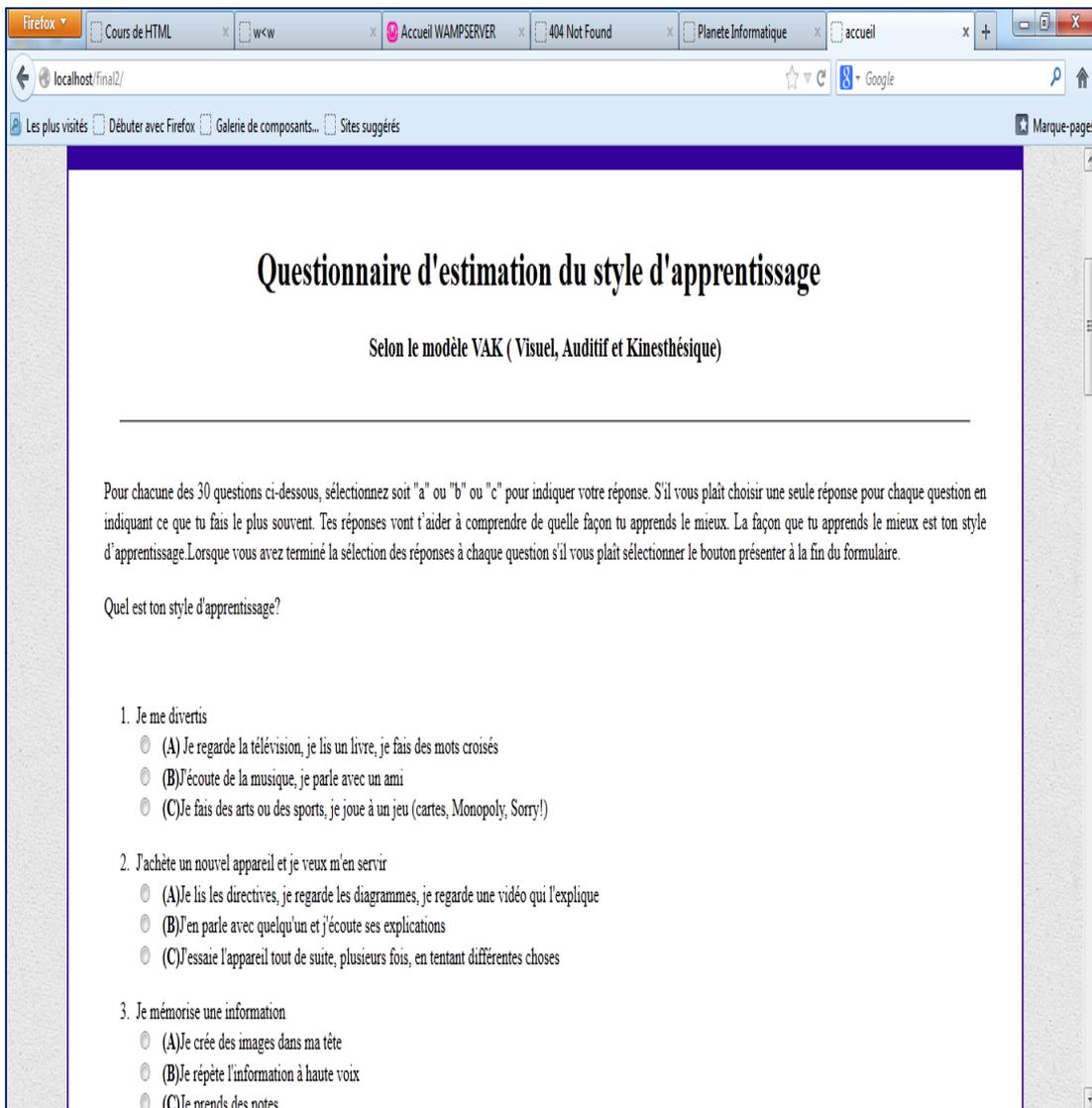
## 2 Expérimentation

Notre contribution est basée sur deux apports principaux : premièrement, la définition d'une démarche générale pour l'optimisation d'adaptation par l'utilisation des styles d'apprentissage de l'apprenant. Si les styles d'apprentissage commencent à devenir un sujet commun du domaine des systèmes hypermédia adaptatifs, la mise en oeuvre de ces styles constituée une problématique de la recherche récente [Hamza et al, 2012a ; 2014]. Ensuite, la proposition d'un système hypermédia adaptatif centré sur les styles d'apprentissage pour optimiser l'adaptation de contenu couvre la complexité des connaissances gérées dans ces systèmes et propose diverses structurations pour organiser ces connaissances et faciliter leur gestion.

Pour montrer la validité de notre système hypermédia adaptatif proposé dans cette thèse, nous avons mené une expérimentation auprès d'un échantillon de 81 étudiants universitaires qui sont novices dans le domaine de l'informatique. Tous les étudiants ont suivi le même cours pédagogique. Ce cours est constitué de trois parties qui traitent respectivement les concepts suivants : Introduction aux ordinateurs, Matériels et Logiciels.

Les étapes nécessaires passées par les étudiants pour suivre ce cours pédagogique sont présentées dans la suite par une série des interfaces graphiques de notre système proposé.

1. La première étape consiste à remplir le formulaire de questionnaire « *Swassing-Barbe Perceptual Modality Instrument* » présenté dans la figure 5.1. Ce questionnaire permet d'identifier le style d'apprentissage de l'étudiant parmi les trois styles d'apprentissage de Fleming : visuel, auditif et kinesthésique.



Firefox

Cours de HTML x wkw x Accueil WAMPSEVER x 404 Not Found x Planete Informatique x accueil x

localhost/final2/

Google

Les plus visités Débuter avec Firefox Galerie de composants... Sites suggérés

## Questionnaire d'estimation du style d'apprentissage

Selon le modèle VAK ( Visuel, Auditif et Kinesthésique)

Pour chacune des 30 questions ci-dessous, sélectionnez soit "a" ou "b" ou "c" pour indiquer votre réponse. S'il vous plaît choisir une seule réponse pour chaque question en indiquant ce que tu fais le plus souvent. Tes réponses vont t'aider à comprendre de quelle façon tu apprends le mieux. La façon que tu apprends le mieux est ton style d'apprentissage. Lorsque vous avez terminé la sélection des réponses à chaque question s'il vous plaît sélectionner le bouton présenter à la fin du formulaire.

Quel est ton style d'apprentissage?

1. Je me diverts
  - (A) Je regarde la télévision, je lis un livre, je fais des mots croisés
  - (B) J'écoute de la musique, je parle avec un ami
  - (C) Je fais des arts ou des sports, je joue à un jeu (cartes, Monopoly, Sorry!)
2. J'achète un nouvel appareil et je veux m'en servir
  - (A) Je lis les directives, je regarde les diagrammes, je regarde une vidéo qui l'explique
  - (B) J'en parle avec quelqu'un et j'écoute ses explications
  - (C) J'essaie l'appareil tout de suite, plusieurs fois, en tentant différentes choses
3. Je mémorise une information
  - (A) Je crée des images dans ma tête
  - (B) Je répète l'information à haute voix
  - (C) Je prends des notes

**Figure 5.1 :** Questionnaire d'estimation du style d'apprentissage.

2. Une fois l'étudiant rempli le formulaire d'estimation de style d'apprentissage et validé ses réponses, il sera invité à explorer les différents ressources d'apprentissage existantes dans le système, comme illustre la figure 5.2. Ainsi, il peut connaître son style d'apprentissage estimé comme illustre la figure 5.3.

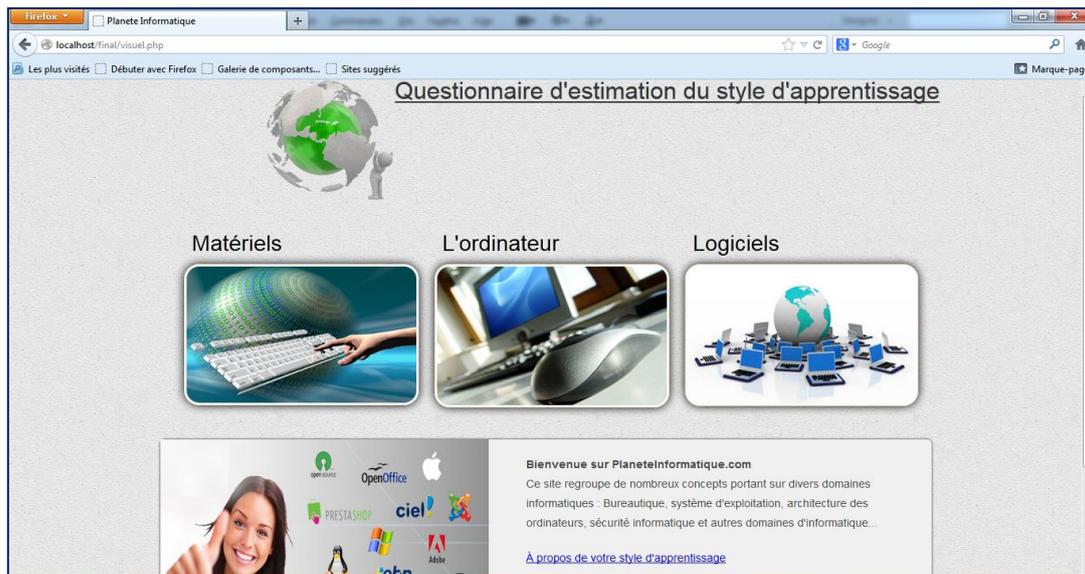


Figure 5.2 : Ressources à explorer.

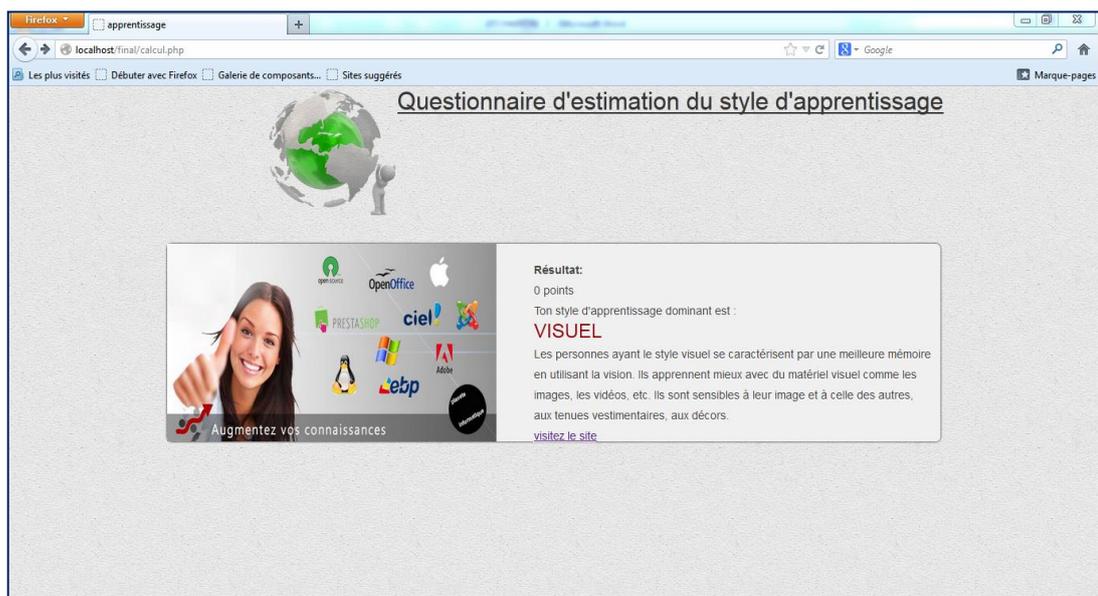


Figure 5.3 : Résultat du style d'apprentissage estimé.

3. Chaque partie du cours peut être présentée à l'apprenant selon les trois présentations suivantes : visuelle, auditive ou kinesthésique. Ces présentations sont sélectionnées par le modèle apprenant tout en recommandant à l'étudiant le parcours le plus adapté à son style d'apprentissage dominant. A l'issue de chaque présentation, l'étudiant répond à un questionnaire d'évaluation QCM associé à chaque partie du cours pour estimer son niveau d'acquisition des connaissances.

Le résultat de cette évaluation est une note entre 0 et 20. Ce résultat est utilisé par l'algorithme de l'adaptation et d'optimisation proposé dans notre système [Hamza et al, 2018] pour déterminer les indices d'évaluations des étudiants. Ces indices d'évaluations (*Fort, moyen et faible*) ont servi par la suite pour évaluer l'apport de l'optimisation d'adaptation en fonction des styles d'apprentissage. Les trois figures suivantes permettent de présenter les trois présentations: visuelle (figure 5.4), auditive (figure 5.5) ou kinesthésique (figure 5.6).

The screenshot shows a web browser window with the following content:

- Navigation bar:** Firefox browser, address bar showing 'localhost/final/materiel.php', and search engine 'Google'.
- Menu items:** 'Matériels', 'L'ordinateur', and 'Logiciels', each with a representative image (a hand on a keyboard, a computer monitor and mouse, and a globe with network icons).
- Main Content Area:**
  - Title:** *Introduction aux ordinateurs*
  - Text:** 'Dans cet article' followed by a bulleted list of links: 'Qu'est-ce qu'un ordinateur?', 'Types d'ordinateurs', and 'Que pouvez-vous faire avec un ordinateur?'.
  - Text:** 'Vous êtes novice dans le domaine des ordinateurs et vous vous demandez à quoi ils servent et quelles raisons vous auriez d'en utiliser un ? Bienvenue, vous êtes sur la bonne page ! Cet article offre une vue d'ensemble des ordinateurs : ce qu'ils sont, leurs différents types et ce que vous pouvez faire avec.'
  - Section Header:** **Qu'est-ce qu'un ordinateur ?**
  - Text:** 'Un ordinateur est une machine qui exécute des tâches ou des calculs selon un ensemble d'instructions, ou des programmes. Les premiers ordinateurs entièrement électroniques, apparus dans les années 1940, étaient des machines énormes qui nécessitaient le concours d'équipes d'opérateurs pour fonctionner.'
  - Image:** A photograph of various computer hardware including a tower PC, a laptop, a monitor, and a mouse.
  - Caption:** 'Ordinateurs'
  - Text:** 'Les ordinateurs fonctionnent grâce à l'interaction entre le matériel et le logiciel. Le matériel les éléments d'un ordinateur que vous pouvez voir et toucher. L'élément matériel le plus important est une minuscule puce rectangulaire placée dans l'ordinateur et appelée unité centrale (CPU) ou microprocesseur. Les éléments matériels tels que le moniteur, le clavier, la souris ou l'imprimante sont souvent appelés périphériques ou périphériques matériels.'
  - Text:** 'Le logiciel désigne les instructions ou programmes qui indiquent au matériel ce qu'il doit faire. Un programme de traitement de texte qui peut être utilisé pour écrire des lettres sur un ordinateur est un type de logiciel. Le système d'exploitation est le logiciel qui gère l'ordinateur et les périphériques qui y sont connectés. Windows est un système d'exploitation bien connu.'
  - Section Header:** **Types d'ordinateurs**
  - Text:** 'L'étendue des tailles et des possibilités des ordinateurs est très vaste. À une extrémité de l'échelle se trouvent les superordinateurs. À l'autre extrémité figurent les minuscules ordinateurs incorporés aux voitures.'
  - Text:** 'L'ordinateur personnel ou PC, est conçu pour être utilisé par une personne à la fois. Cette section décrit les différents types d'ordinateurs personnels : ordinateurs de bureau, ordinateurs portables, ordinateurs de poche et Tablet PC.'
  - Section Header:** **Ordinateurs de bureau**
  - Text:** 'Les ordinateurs de bureau sont conçus pour être utilisés sur un bureau ou une table. Ils sont généralement plus gros et plus puissants que les autres types d'ordinateurs personnels. Ils sont constitués de composants distincts.'

**Figure 5.4 :** Cours « Introduction aux ordinateurs » présenté à un étudiant visuel.

The screenshot shows a Firefox browser window displaying a web page. The browser's address bar shows 'localhost/final/materiel.php'. The page has a header with three columns: 'Matériels' (with an image of a keyboard and mouse), 'L'ordinateur' (with an image of a computer monitor and mouse), and 'Logiciels' (with an image of a globe and laptops). Below the header is a large box containing the following text:

**Introduction aux ordinateurs**

Dans cet article

- [Qu'est-ce qu'un ordinateur ?](#)
- [Types d'ordinateurs](#)
- [Que pouvez-vous faire avec un ordinateur ?](#)

Vous êtes novice dans le domaine des ordinateurs et vous vous demandez à quoi ils servent et quelles raisons vous auriez d'en utiliser un ? Bienvenue, vous êtes sur la bonne page ! Cet article offre une vue d'ensemble des ordinateurs : ce qu'ils sont, leurs différents types et ce que vous pouvez faire avec.

**Qu'est-ce qu'un ordinateur ?**

Un ordinateur est une machine qui exécute des tâches ou des calculs selon un ensemble d'instructions, ou des programmes. Les premiers ordinateurs entièrement électroniques, apparus dans les années 1940, étaient des machines énormes qui nécessitaient le concours d'équipes d'opérateurs pour fonctionner. Les ordinateurs actuels n'ont plus rien à voir avec leurs prédécesseurs. Non seulement ils sont des milliers de fois plus rapides, mais ils tiennent sur le bureau, sur les genoux ou même parfois dans la poche !

Les ordinateurs fonctionnent grâce à l'interaction entre le matériel et le logiciel. Le matériel désigne les éléments d'un ordinateur que vous pouvez voir et toucher, notamment le boîtier et tout ce qu'il renferme. L'élément matériel le plus important est une minuscule puce rectangulaire placée dans l'ordinateur et appelée unité centrale (CPU) ou microprocesseur. Il s'agit du « cerveau » de l'ordinateur, c'est-à-dire du composant qui traduit les instructions et exécute les calculs. Les éléments matériels tels que le moniteur, le clavier, la souris ou l'imprimante sont souvent appelés périphériques ou périphériques matériels.

Le logiciel désigne les instructions ou programmes qui indiquent au matériel ce qu'il doit faire. Un programme de traitement de texte qui peut être utilisé pour écrire des lettres sur un ordinateur est un type de logiciel. Le système d'exploitation est le logiciel qui gère l'ordinateur et les périphériques qui y sont connectés. Windows est un système d'exploitation bien connu.

**Types d'ordinateurs**

L'étendue des tailles et des possibilités des ordinateurs est très vaste. À une extrémité de l'échelle se trouvent les superordinateurs, des ordinateurs très volumineux constitués de milliers de microprocesseurs associés qui exécutent des calculs extrêmement complexes. À l'autre extrémité figurent les minuscules ordinateurs incorporés aux voitures, téléviseurs, systèmes stéréo, calculatrices et appareils électroménagers. Ces ordinateurs sont construits pour effectuer un nombre limité de tâches.

L'ordinateur personnel ou PC, est conçu pour être utilisé par une personne à la fois. Cette section décrit les différents types d'ordinateurs personnels : ordinateurs de bureau, ordinateurs portables, ordinateurs de poche et Tablet PC.

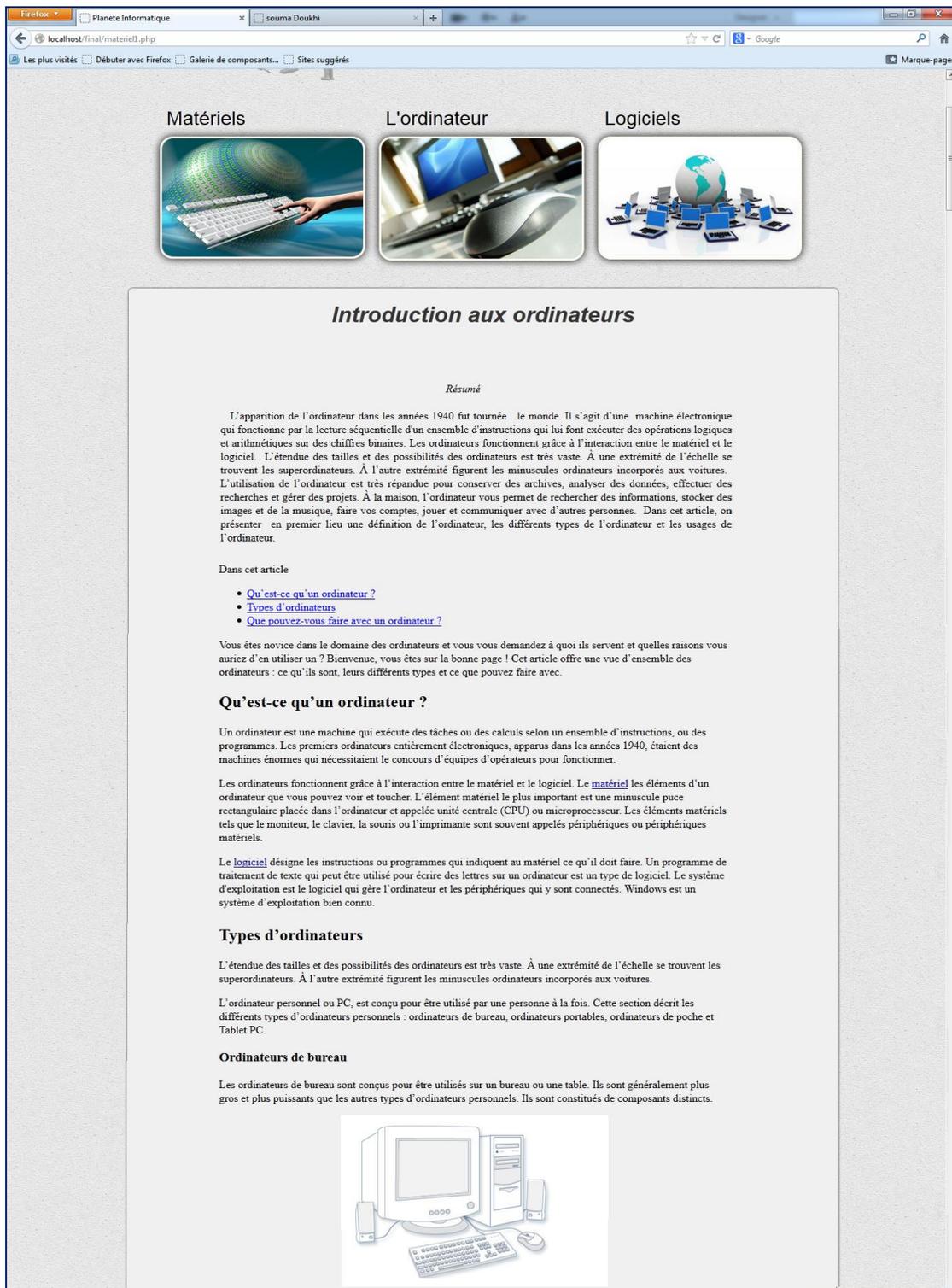
**Ordinateurs de bureau**

Les ordinateurs de bureau sont conçus pour être utilisés sur un bureau ou une table. Ils sont généralement plus gros et plus puissants que les autres types d'ordinateurs personnels. Ils sont constitués de composants distincts. Le composant principal, appelé unité système, est généralement un boîtier rectangulaire posé sur ou sous un bureau. D'autres composants tels que le moniteur, la souris et le clavier se connectent à l'unité système.

**Ordinateurs portables et petits PC bloc-notes**

Les ordinateurs portables sont des ordinateurs de bureau portables et légers dotés d'un écran fin. Ils peuvent fonctionner sur batterie, ce qui permet de les emporter partout. Contrairement aux ordinateurs de bureau, les ordinateurs portables combinent l'unité centrale, l'écran et le clavier en un boîtier unique. L'écran se replie sur le clavier lorsque l'ordinateur n'est pas utilisé.

**Figure 5.5 :** Cours « Introduction aux ordinateurs » présenté à un étudiant auditif.



The screenshot shows a Firefox browser window with the address bar at localhost/final/materiel.php. The page layout includes three navigation tabs: 'Matériels' (with an image of a hand on a keyboard), 'L'ordinateur' (with an image of a computer monitor and mouse), and 'Logiciels' (with an image of a globe and laptops). The main content area is titled 'Introduction aux ordinateurs' and contains the following text:

*Résumé*

L'apparition de l'ordinateur dans les années 1940 fut tournée le monde. Il s'agit d'une machine électronique qui fonctionne par la lecture séquentielle d'un ensemble d'instructions qui lui font exécuter des opérations logiques et arithmétiques sur des chiffres binaires. Les ordinateurs fonctionnent grâce à l'interaction entre le matériel et le logiciel. L'étendue des tailles et des possibilités des ordinateurs est très vaste. À une extrémité de l'échelle se trouvent les superordinateurs. À l'autre extrémité figurent les minuscules ordinateurs incorporés aux voitures. L'utilisation de l'ordinateur est très répandue pour conserver des archives, analyser des données, effectuer des recherches et gérer des projets. À la maison, l'ordinateur vous permet de rechercher des informations, stocker des images et de la musique, faire vos comptes, jouer et communiquer avec d'autres personnes. Dans cet article, on présenter en premier lieu une définition de l'ordinateur, les différents types de l'ordinateur et les usages de l'ordinateur.

Dans cet article

- [Qu'est-ce qu'un ordinateur ?](#)
- [Types d'ordinateurs](#)
- [Que pouvez-vous faire avec un ordinateur ?](#)

Vous êtes novice dans le domaine des ordinateurs et vous vous demandez à quoi ils servent et quelles raisons vous auriez d'en utiliser un ? Bienvenue, vous êtes sur la bonne page ! Cet article offre une vue d'ensemble des ordinateurs : ce qu'ils sont, leurs différents types et ce que vous pouvez faire avec.

**Qu'est-ce qu'un ordinateur ?**

Un ordinateur est une machine qui exécute des tâches ou des calculs selon un ensemble d'instructions, ou des programmes. Les premiers ordinateurs entièrement électroniques, apparus dans les années 1940, étaient des machines énormes qui nécessitaient le concours d'équipes d'opérateurs pour fonctionner.

Les ordinateurs fonctionnent grâce à l'interaction entre le matériel et le logiciel. Le **matériel** les éléments d'un ordinateur que vous pouvez voir et toucher. L'élément matériel le plus important est une minuscule puce rectangulaire placée dans l'ordinateur et appelée unité centrale (CPU) ou microprocesseur. Les éléments matériels tels que le moniteur, le clavier, la souris ou l'imprimante sont souvent appelés périphériques ou périphériques matériels.

Le **logiciel** désigne les instructions ou programmes qui indiquent au matériel ce qu'il doit faire. Un programme de traitement de texte qui peut être utilisé pour écrire des lettres sur un ordinateur est un type de logiciel. Le système d'exploitation est le logiciel qui gère l'ordinateur et les périphériques qui y sont connectés. Windows est un système d'exploitation bien connu.

**Types d'ordinateurs**

L'étendue des tailles et des possibilités des ordinateurs est très vaste. À une extrémité de l'échelle se trouvent les superordinateurs. À l'autre extrémité figurent les minuscules ordinateurs incorporés aux voitures.

L'ordinateur personnel ou PC, est conçu pour être utilisé par une personne à la fois. Cette section décrit les différents types d'ordinateurs personnels : ordinateurs de bureau, ordinateurs portables, ordinateurs de poche et Tablet PC.

**Ordinateurs de bureau**

Les ordinateurs de bureau sont conçus pour être utilisés sur un bureau ou une table. Ils sont généralement plus gros et plus puissants que les autres types d'ordinateurs personnels. Ils sont constitués de composants distincts.



**Figure 5.6 :** Cours « Introduction aux ordinateurs » présenté à un étudiant kinesthésique.

### 3 Analyse des résultats

L'expérimentation de notre système hypermédia adaptatif a été déroulée pendant le mois d'Octobre 2016. Comme nous avons mentionnés dans la deuxième section, tous les étudiants ont suivi le même cours pédagogique. Ce cours est constitué de trois parties qui traitent respectivement les concepts suivants : Introduction aux ordinateurs Matériels et Logiciels.

Avant de commencer le cours, l'étudiant est invité à répondre au questionnaire « *Swassing-Barbe Perceptual Modality Instrument* » afin d'établir leur modèle de style d'apprentissage. Chaque partie du cours peut être présentée à l'étudiant selon les trois présentations suivantes : visuelle, auditive et kinesthésique. Ces présentations seront sélectionnées par un algorithme d'adaptation et d'optimisation tout en recommandant à l'étudiant la présentation la plus adaptée à son style d'apprentissage dominant. A l'issue de chaque parcours, l'étudiant va répondre à un QCM pour mesurer son niveau d'acquisition des connaissances et enregistrer la note obtenue. Les performances des étudiants seront servies par la suite pour évaluer l'apport de l'optimisation d'adaptation en fonction des styles d'apprentissage.

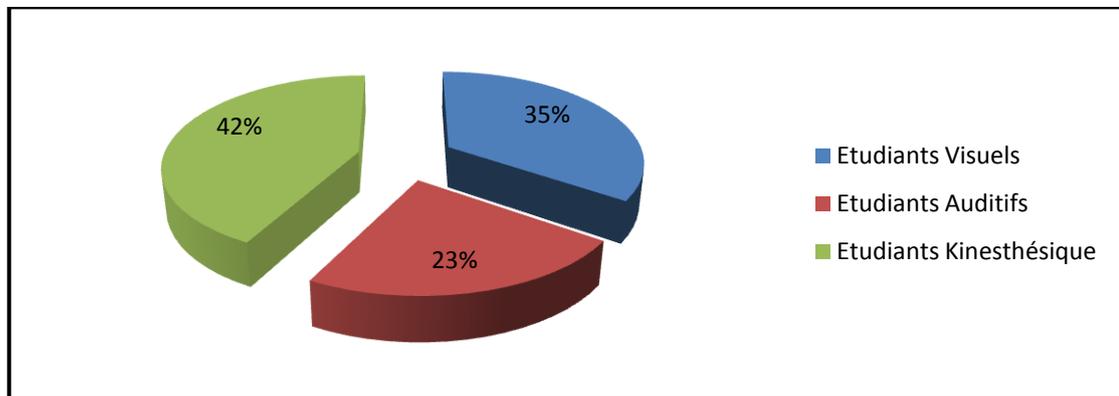
L'évaluation de l'expérimentation de notre système hypermédia proposé est basée sur :

- l'analyse des résultats propres aux styles d'apprentissage des étudiants.
- l'analyse des résultats après une première présentation de cours.
- l'analyse des résultats après une répétition de la première présentation de cours.
- l'analyse des résultats après les optimisations proposées par le système.

#### 3.1 Analyse des résultats propres aux styles d'apprentissage des étudiants

Comme nous avons mentionné précédemment, avant de commencer le cours l'étudiant est invité à répondre au questionnaire « *Swassing-Barbe Perceptual Modality Instrument* » afin de définir leur style d'apprentissage. Le cours est présenté à l'étudiant selon la présentation adéquate à leur style dominant, donc les étudiants de notre échantillon sont classés en trois classes selon leur style dominant : des étudiants visuels, des étudiants auditifs et des étudiants kinesthésiques.

La figure 5.7 ci-dessous représente la répartition des styles d'apprentissage affichés par l'instrument « *Swassing-Barbe Perceptual Modality Instrument* » pour tous les étudiants.



**Figure 5.7 :** Répartition des étudiants selon leurs styles d'apprentissage.

D'après l'analyse des résultats propres aux styles d'apprentissage, nous constatons que :

- Le style kinesthésique est le style le plus marqué en comparaison avec les styles visuel et auditif (42% des étudiants ont le style kinesthésique).
- Le style auditif est le style le moins marqué dans cet échantillon (23% des étudiants sont auditifs).
- Le tiers des étudiants (35%) ont marqués le style d'apprentissage visuel.

Ces résultats peuvent être justifiés par le domaine étudié par les étudiants : comme les étudiants de cet échantillon sont des informaticiens, ils préfèrent les concepts pratiques (programmation, construction des réseaux, montage de matériels etc.) plus que les concepts visuels et auditifs.

### 3.2 Analyse des résultats après une première présentation

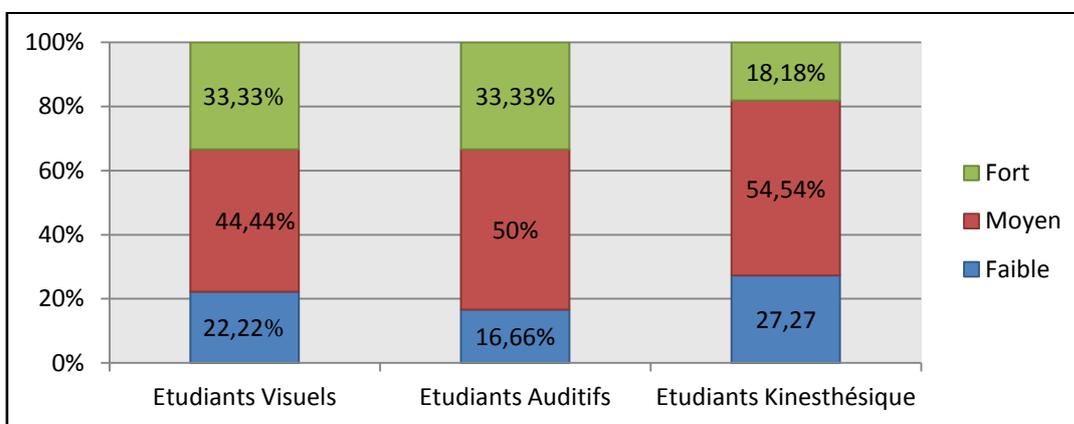
Dans l'objectif d'évaluer l'apport de l'optimisation d'adaptation d'un cours en fonction des styles d'apprentissage des étudiants, nous avons procédé à une évaluation sommative basée sur un QCM pour évaluer le niveau d'acquisition des connaissances des étudiants à l'issue de chaque présentation du cours. Le QCM est composé de questions réparties sur trois niveaux de difficulté (facile, moyen, difficile). Ces

questions peuvent être des questions théoriques qui examinent les connaissances acquises de nature théorique, comme elles peuvent être des questions pratiques qui examinent les connaissances acquises de nature pratique.

En effet, les questions de niveau facile sont notées sur 1 point, les questions de niveau moyen sont notées sur 2 points, et les questions de niveau difficile sont notées sur 3 points. Dans le cadre de notre expérimentation, un concept est considéré acquis par l'étudiant si ce dernier obtient une note de 12/20. Pour évaluer l'apport de l'optimisation d'adaptation de cours, nous avons utilisé des indices d'évaluation pour estimer le niveau d'acquisition des connaissances, ces indices sont répartis comme suit :

- Si la note est inférieure strictement à 12, l'indice est *faible*
- Si la note est entre 12 et 16, l'indice est *moyen*.
- Si la note est supérieure strictement à 16, l'indice est *fort*.

La figure 5.8 ci-dessous représente, pour chacun des styles, la répartition des étudiants par rapport aux indices d'évaluation : *faible, moyen et fort*.



**Figure 5.8** : Répartition des étudiants par rapport aux indices d'évaluation après la première présentation du cours.

D'après l'analyse des résultats de la figure 5.8, nous constatons que :

- Les trois indices d'évaluation (*fort, moyen et faible*) ont été marqués dans les trois styles visuels, auditifs et kinesthésique.

- L'indice d'évaluation *moyen* est l'indice le plus marqué dans les trois styles (44,44% pour les étudiants visuels, 50% pour les étudiants auditifs et 54,54% pour les étudiants kinesthésiques).
- Dans le style auditif, l'indice d'évaluation *faible* est l'indice le moins marqué (16,66%) en comparaison avec le même indice (*faible*) dans les deux styles : visuels (22,22%) et kinesthésiques (27,27%).
- Dans le style kinesthésique, l'indice d'évaluation *fort* est l'indice le moins marqué (18,18%) en comparaison avec le même indice (*fort*) dans les deux autres styles : visuels et auditif (33,33% pour chacun).

D'après ces résultats, nous remarquons que : les deux indices *moyen* et *fort* sont les plus marqués dans les deux styles d'apprentissage : visuel et auditif. L'indice *faible* est le moins marqué dans ces deux styles. Ces résultats sont logiques et raisonnables, parce que les présentations de cours sont offertes aux ces étudiants selon leurs styles d'apprentissage dominants. Tandis que, l'indice *fort* est le moins marqués dans le style kinesthésique, ce résultat peut être traduit par la nature théorique du cours présenté dans notre exemple de système hypermédia et les étudiants kinesthésiques préfèrent les concepts pratiques.

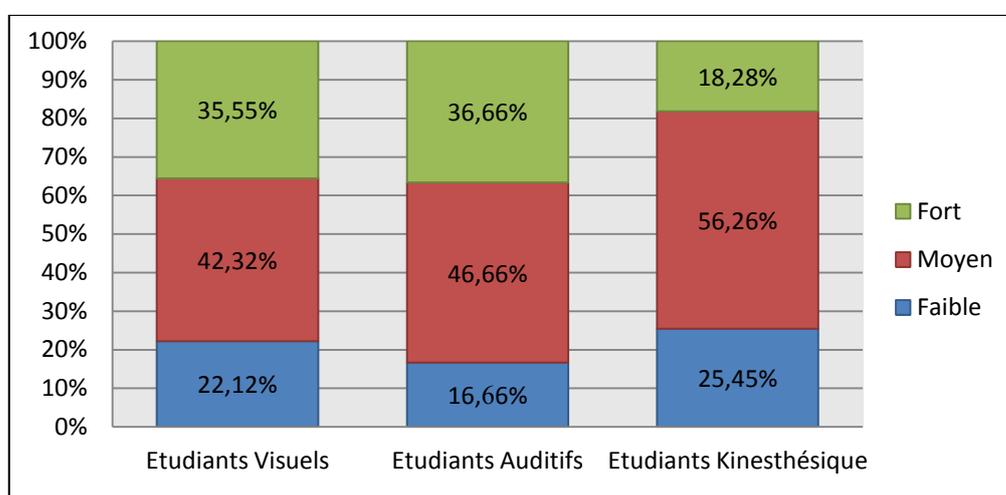
L'apparition de l'indice d'évaluation *faible* indique que les connaissances offertes par les différentes présentations de cours ne sont pas acquises par les étudiants marqués par cet indice. Et comme ces présentations sont offertes selon le style d'apprentissage dominant de chaque étudiant, nous ne pouvons pas donc affirmer qu'un style est dominant dans notre échantillon. Alors, les présentations offertes aux étudiants qui sont marqués par l'indice *faible* ne sont pas adaptées aux ces étudiants.

Nous pouvons conclure que chaque style marqué dans notre échantillon peut être un style dominant même ce n'est pas le premier style marqué par l'étudiant. Et cela justifie le marquage des deux indices d'évaluations *faible* et *moyen* dans notre échantillon. Alors, des autres présentations de cours selon le deuxième et le troisième style d'apprentissage dominant deviennent nécessaires pour optimiser le niveau d'acquisition des connaissances des étudiants de notre échantillon. A cet point la, notre système commence à appliquer l'algorithme d'optimisation d'adaptation proposé dans notre travail [Hamza et al, 2018].

### 3.3 Analyse des résultats après la répétition de la première présentation

Afin de motiver la validité de l'algorithme d'optimisation d'adaptation proposé dans cette thèse et avant de passer à présenter le cours selon le deuxième style d'apprentissage dominant des étudiants qui affichent les deux indices *moyen* et *faible* nous présentons le même cours avec la même présentation précédente afin d'affirmer que l'amélioration des valeurs des indices d'évaluation marquées dans la suite de ce chapitre ne peut être pas atteindre par un simplement une répétition de la même présentation de cours.

Les résultats de la répétition de la même présentation aux étudiants sont présentés dans la figure suivante (figure 5.9) :



**Figure 5.9 :** Répartition des étudiants par rapport aux indices d'évaluation après la répétition de la première présentation du cours.

D'après l'analyse des résultats de la figure 5.9, nous constatons que :

- Les trois indices d'évaluation (*fort*, *moyen* et *faible*) sont marqués dans les trois styles visuels, auditifs et kinesthésique.
- L'indice d'évaluation *moyen* est l'indice le plus marqué dans les trois styles (42,32% pour les étudiants visuels, 46,66% pour les étudiants auditifs et 56,26% pour les étudiants kinesthésiques).
- L'indice d'évaluation *faible* est l'indice le plus marqué par le style kinesthésique (25,45%) en comparaison avec les deux autres indices *faible* dans les deux styles visuels (22,12%) et auditifs (16,16%).

- L'indice d'évaluation *fort* est l'indice le moins marqué par le style kinesthésique (18,28%) en comparaison avec les deux autres indices *fort* dans les deux styles visuels (35,55%) et auditifs (36,66%).
- Dans le style kinesthésique, l'indice d'évaluation *fort* est l'indice le moins marqué (18,28%) en comparaison avec les deux autres indices *moyen* (56,26%) et *faible* (25,45%) dans le même style.

Nous avons essayé de résumer les résultats affichés par les deux figures 5.8 et 5.9 dans le tableau suivant :

Index	Etudiant Visuel			Etudiant Auditif			Etudiant Kinesthésique		
	P1	P1 Répétée	Différence	P1	P1 Répétée	Différence	P1	P1 Répétée	Différence
<b>Faible</b>	22,22%	22,12%	0,1%	16,66%	16,66%	0%	27,27%	25,45%	1,82%
<b>Moyen</b>	44,44%	42,32%	2,12%	50%	46,66%	3,34%	54,54%	56,26%	1,72%
<b>Fort</b>	33,33%	35,55%	2,22%	33,33%	36,66%	3,33%	18,18%	18,28%	0,1%

**Tableau 5.1:** Comparaison des résultats affichés par la figure 5.8 et la figure 5.9.

- Pour le style d'apprentissage visuel, la différence entre les deux résultats (P1 et P1 répétée) affichés pour les indices *faible*, *moyen* et *fort* est 0,1%, 2,12% et 2,22% respectivement.
- Pour le style d'apprentissage auditif, la différence entre les deux résultats (P1 et P1 répétée) affichés pour les indices *faible*, *moyen* et *fort* est 0%, 3,34% et 3,33% respectivement.
- Pour le style d'apprentissage kinesthésique, la différence entre les deux résultats (P1 et P1 répétée) affichés pour les indices *faible*, *moyen* et *fort* est 1,82%, 1,72% et 0,1% respectivement.
- La plus grande valeur de la différence (3,34%) est marquée dans le style auditif pour l'indice d'évaluation *moyen*.
- La plus petite valeur de la différence (0%) est marquée dans le style auditif pour l'indice d'évaluation *faible*.

Pour le style d'apprentissage visuel, la plus grande valeur de la différence marquée est (2,22%) pour l'indice d'évaluation *fort*, c'est-à-dire que parmi les 35% des étudiants visuels, (32,78%) des étudiants ont marqué le même indice d'évaluation que la première présentation avant la répétition et seulement 2,22% des étudiants ont modifié leurs indices d'évaluation.

Nous remarquons que la plus grande valeur de la différence (3,34%) est marquée dans le style auditif pour l'indice d'évaluation *moyen*, c'est-à-dire que parmi les 23% des étudiants auditifs, seulement 3,34% des étudiants ont modifié leurs indices d'évaluation et 19,66% des autres étudiants auditifs ont marqué le même indice avant la répétition.

Et pour le style d'apprentissage kinesthésique, la plus grande valeur de la différence marquée est (1,82%) pour l'indice d'évaluation *faible*, c'est-à-dire que parmi les 42% des étudiants kinesthésiques, (40,18%) des étudiants ont marqué le même indice d'évaluation que la première présentation avant la répétition et seulement 1,82% des étudiants ont modifié leurs indices d'évaluation.

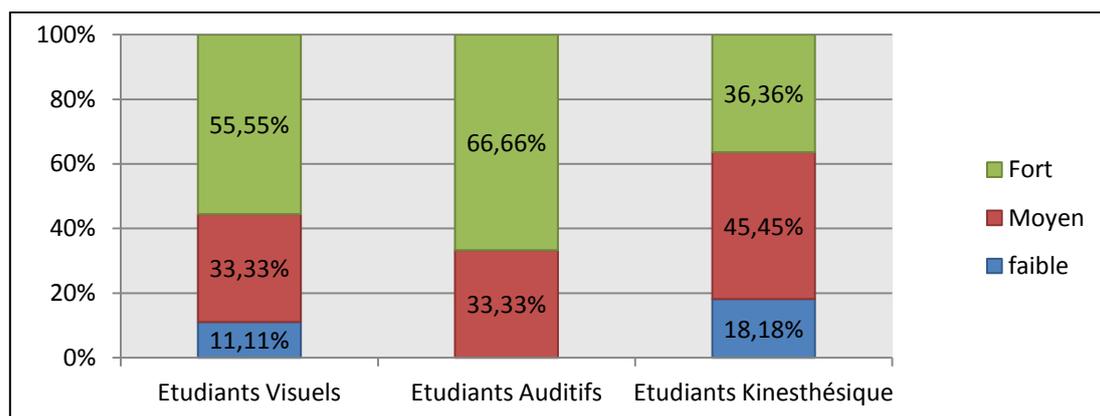
Les résultats présentés dans le tableau 5.1 signifient que, la répétition de la même présentation ne permet pas d'améliorer le niveau d'acquisition des connaissances des étudiants. Alors, une autre présentation du cours selon le deuxième style d'apprentissage dominant sera nécessaire pour améliorer les résultats.

### **3.4 Analyse des résultats après les optimisations proposées par le système**

Selon l'algorithme d'optimisation d'adaptation proposé dans notre travail et présenté dans la section (2.3.2) de chapitre 4, l'indice d'évaluation *faible* signifié que la présentation de cours n'est pas adaptée aux étudiants marqués par cet indice, et l'indice d'évaluation *moyen* signifié que la présentation de cours n'est pas optimisées aux étudiants marqués par cet indice. Donc les étudiants qui ont le besoin d'optimiser leurs niveaux de connaissances sont les étudiants marqués par les deux indices d'évaluation *moyen* et *faible*. En effet, autres présentations du cours sont nécessaires pour les étudiants qui affichent ces deux derniers indices d'évaluations.

### 3.4.1 Résultats affichés après une deuxième présentation de cours

La Figure 5.10 présente la répartition des étudiants par rapport aux indices d'évaluations après une deuxième présentation du cours. Cette deuxième présentation est offerte selon le deuxième style dominant des étudiants qui affichent, après la première présentation, les deux indices d'évaluations *faible* et *moyen*.



**Figure 5.10 :** Répartition des étudiants par rapport aux indices d'évaluation après la deuxième présentation du cours.

D'après les résultats affichés par la figure 5.10, nous remarquons que :

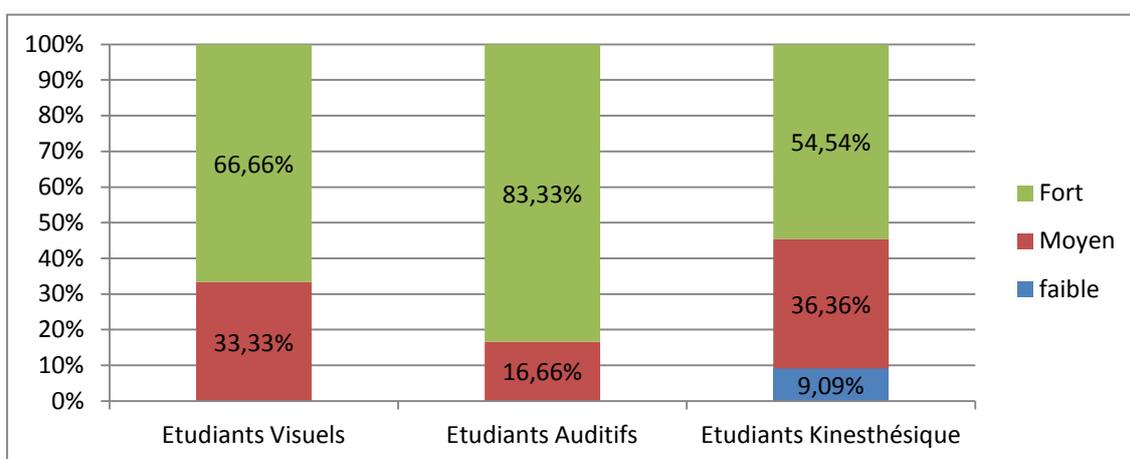
- L'indice d'évaluation *faible* n'est pas marqué dans le style auditif et il est l'indice le moins marqué dans les deux styles visuel (11,11%) et kinesthésique (18,18%).
- Les deux indices d'évaluation *moyen* et *fort* sont marqués dans les trois styles visuels, auditifs et kinesthésique.
- L'indice d'évaluation *fort* est l'indice le plus marqué dans les deux styles visuel (55,55%) et auditif (66,66%).

L'absence de l'indice *faible* dans le style auditif et la diminution de leurs valeurs dans les deux styles visuel et kinesthésique, ainsi que, l'augmentation de la valeur de l'indice *fort* pour les trois styles visuel, auditif et kinesthésique indique que dans l'échantillon des étudiants que nous avons choisi, il existe des étudiants qui ont amélioré leurs niveaux de connaissances après la deuxième présentation de cours proposée par le système hypermédia. Selon l'algorithme d'optimisation d'adaptation

proposé dans notre travail, une troisième présentation devient nécessaire pour les étudiants marqués par les deux indices *faible* et *moyen* après la deuxième présentation de cours.

### 3.4.2 Résultats affichés après une troisième présentation de cours

La Figure 5.11 présente la répartition des étudiants par rapport aux indices d'évaluations après une troisième présentation du cours. Cette troisième présentation est offerte selon le troisième style d'apprentissage dominant des étudiants qui affichent, après la deuxième présentation, les deux indices d'évaluations *faible* et *moyen*.



**Figure 5.11 :** Répartition des étudiants par rapport aux indices d'évaluation après la troisième présentation du cours.

D'après les résultats affichés par la figure 5.11, nous constatons que :

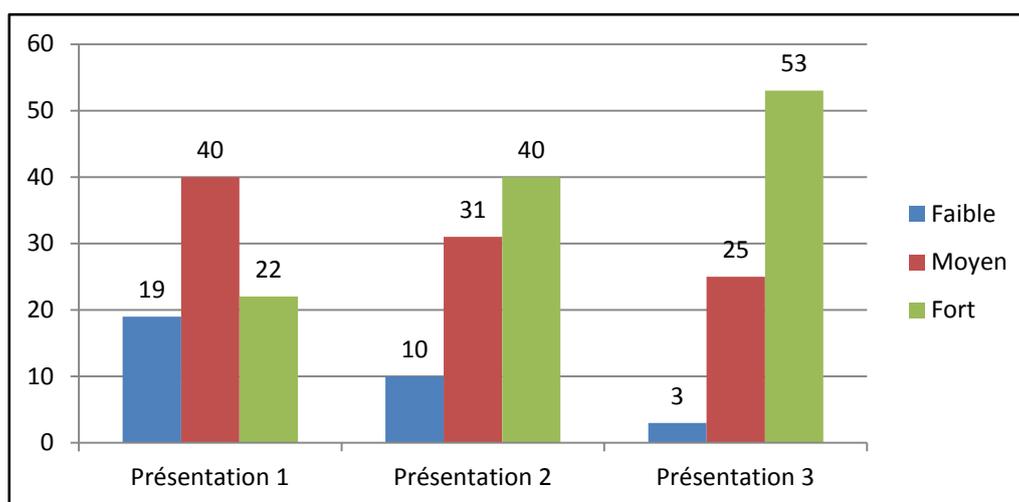
- L'indice d'évaluation *faible* est marqué seulement dans le style kinesthésique et il est l'indice le moins marqué dans ce style d'apprentissage (9,09%).
- Les deux indices d'évaluations *moyen et fort* sont marqués dans les trois styles visuels, auditifs et kinesthésique.
- L'indice d'évaluation *fort* est l'indice le plus marqué dans les trois styles visuel (66,66%), auditif (83,33%) et kinesthésique (54,54%).

L'absence de l'indice *faible* dans les deux styles visuel et auditif et la diminution de leur valeur dans le style kinesthésique, ainsi que, l'augmentation de la valeur de

L'indice *fort* dans les trois styles visuel, auditif et kinesthésique indique que les étudiants de notre échantillon ont toujours la capacité d'améliorer leur niveau de connaissance après chaque présentation de cours proposée par le système.

### 3.4.3 Comparaison des résultats affichés après les trois présentations de cours

La figure 5.12 montre une répartition des étudiants par rapport aux trois indices d'évaluations *fort*, *moyen* et *faible* pendant les trois présentations du cours.



**Figure 5.12 :** Répartition des étudiants par rapport aux indices d'évaluations pendant les trois présentations du cours.

D'après cette figure nous remarquons que :

- Parmi les 19 étudiants qui affichent l'indice d'évaluation *faible* après la première présentation de cours, seulement 3 étudiants affichent cet indice après la troisième présentation.
- Le nombre des étudiants qui affichent l'indice d'évaluation *moyen* a diminué de 40 étudiants après la première présentation à 25 étudiants après la troisième présentation.
- Le nombre des étudiants qui affichent l'indice d'évaluation *fort* a augmenté de 22 étudiants après la première présentation à 53 étudiants après la troisième présentation.

Généralement, selon les résultats affichés par la figure 5.12 le nombre des étudiants marqués par les deux indices *faible* et *moyen* a diminué pendant les trois présentations du cours, tandis que le nombre des étudiants marqués par l'indice *fort* a augmenté pendant ces trois présentations de cours. Et comme l'indice *fort* signifie que les connaissances présentées par les présentations du cours sont bien acquises par les étudiants, leur augmentation signifie que le niveau d'acquisition des étudiants est amélioré pendant les optimisations des adaptations proposées par le système. Nous pouvons donc dire que le système proposé permet de garantir leurs deux principaux rôles : l'adaptation des connaissances d'apprentissage selon le style dominant de l'étudiant et l'optimisation de niveau d'acquisition de ces connaissances selon les autres styles dominants de cet étudiant.

#### 4 Quelques aspects d'implémentation

Dans cette section, nous essayons de présenter les outils et les langages utilisés pour la réalisation du système proposé.

- **Le langage HTML**

Le langage HTML (*HyperText Markup Language*) fut apparu en 1990. HTML est défini par le W3C<sup>1</sup> (*World Wide Web consortium*). Son rôle est de formaliser l'écriture d'un document avec des balises de formatage. Les balises permettent d'indiquer la façon dont doit être présenté le document et les liens qu'il établit avec d'autres documents. Il s'agit d'un type particulier d'annotations destiné au WWW (*World Wide Web*) et qui correspond à une collection de styles reconnaissables par les navigateurs. Un navigateur est donc un logiciel qui interprète à l'écran les commandes HTML contenues dans un document accessible sur le WWW.

En d'autres termes, HTML est un ensemble de balises utilisés pour définir les différents composants d'un document. Les documents HTML sont des textes ASCII ponctués par des séquences `<BALISE>` et `</BALISE>`. Les balises de la page HTML marquent une action pour le navigateur et précisent les modalités de faire cette action par les attributs. Le langage HTML étant un ensemble de balises et d'attributs, il paraît

---

<sup>1</sup> Organisme indépendant chargé de la normalisation et de la recherche sur la technologie Web, <https://www.w3.org/>

utile de les passer en revue. Le langage HTML permet notamment la lecture de documents sur internet à partir de machines différentes.

- **Le langage PHP**

Le langage PHP (*Pre Hypertext Processor*), a été mis au point en 1994 par Rasmus Lerdorf [Lerdorf, 2007]. PHP est un langage de programmation, très proche syntaxiquement du langage C, destiné à être intégré dans des pages HTML. Contrairement à d'autres langages, PHP est principalement dédié à la production de pages HTML générées dynamiquement. La syntaxe de PHP est relativement simple, et la plus grande partie de la richesse du langage réside dans ses innombrables fonctions. Il existe des fonctions pour créer des images, pour générer du PDF (*Portable Document Format*), pour lire ou écrire dans des fichiers, pour accéder à des bases de données, etc. Cette création de contenu par concaténation de texte simple, de variables PHP et de balises HTML est l'une des principales forces de PHP [Rigaux, 2009].

Un script PHP est exécuté par un interpréteur situé du côté serveur. En cela, PHP est complètement différent d'un langage qui s'exécute sur le navigateur. En général l'interpréteur PHP est intégré à Apache sous forme de module, et le mode d'exécution est alors très simple. Quand un fichier avec une extension (.php) est demandé au serveur web, ce dernier le charge en mémoire et y cherche tous les scripts PHP qu'il transmet à l'interpréteur. L'interpréteur exécute le script, ce qui a pour effet de produire du code HTML qui vient remplacer le script PHP dans le document finalement fourni au navigateur. Ce dernier reçoit donc de l'HTML pur.

- **Le langage CSS**

Le langage CSS (*Cascading Style Sheets*) a été mis au point en 1996 pour compenser les manques du langage HTML en ce qui concerne la mise en page et la présentation. Le rôle du CSS est de gérer l'apparence de la page web : l'agencement, le positionnement la décoration, les couleurs, la taille du texte, etc. Le principe des feuilles de style consiste à regrouper dans un même document des caractéristiques de mise en forme associées à des groupes d'éléments.

Les feuilles de styles permettent d'améliorer le graphisme et donc l'ergonomie des applications hypermédia, la séparation du contenu de sa forme propre s'est vite révélée

indispensable. Les feuilles de styles en cascades sont le système aujourd'hui standardisé de mise en page des pages web, utilisés par la majorité des concepteurs web. Grâce aux feuilles de style, il suffit de modifier la définition des feuilles de style en un seul endroit pour changer l'apparence de l'environnement hypermédia tout entier.

- **DreamWeaver**

*Dreamweaver* est un éditeur HTML qui permet de visualiser immédiatement la page HTML sur l'écran. Il est destiné à la conception, au codage et au développement des sites. Il s'agit d'un environnement professionnel pour le développement Web proposé par la société Adobe. Il permet de créer des interfaces graphiques de façon très flexible avec des méthodes très simple à apprendre. L'utilisation de *Dreamweaver* permet donc de manipuler du code HTML, des styles CSS, des scripts PHP, etc. *Dreamweaver* dispose de toute une série de fonctions incorporées destinées à assurer la maintenance d'un site tant statique que dynamique. Par ailleurs, le programme intègre parfaitement d'autres programmes de conception de sites.

## 5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'expérimentation et l'évaluation de notre SHA proposé. Dans un premier temps, nous avons présenté les étapes nécessaires passées par les étudiants pour suivre un cours pédagogique. Ces étapes sont présentées comme suit : (i) la première étape consiste à remplir le formulaire de questionnaire « *Swassing-Barbe Perceptual Modality Instrument* », ce questionnaire permet d'identifier le style d'apprentissage de l'étudiant parmi les trois styles d'apprentissage de Fleming : visuel, auditif et kinesthésique ; (ii) une fois l'étudiant rempli le formulaire d'estimation de style d'apprentissage et validé ses réponses, il sera invité à explorer les différentes ressources d'apprentissage existantes dans le système, ainsi, il peut connaître son style d'apprentissage estimé ; (iii) à l'issue de chaque présentation cours, l'étudiant répond à un questionnaire d'évaluation QCM associé à chaque partie pour mesurer leur niveau d'acquisition des connaissances.

Selon ces étapes présentées, nous remarquons que chaque étudiant a été guidé par le système dès la demande des ressources d'apprentissage jusqu'à l'obtention de ces ressources, en passant par des étapes intermédiaires d'optimisation des adaptations offertes par les divers présentations proposées. Donc, notre système proposé est facile à

utiliser et il peut être exploité par tous les utilisateurs à différents niveaux (novices et experts).

Selon les résultats affichés pendant l'expérimentation de notre système proposé nous remarquons que le nombre des étudiants marqués par les deux indices *faible* et *moyen* a diminué pendant les trois présentations du cours, tandis que le nombre des étudiants marqués par l'indice *fort* a augmenté pendant ces trois présentations de cours. Et selon l'algorithme d'optimisation d'adaptation utilisé par le système [Hamza et al, 2018], l'indice *fort* signifie que les connaissances présentées par les présentations du cours sont bien acquises par les étudiants, et leur augmentation signifie que le niveau d'acquisition des étudiants est amélioré pendant les optimisations des adaptations offertes par le système. Nous pouvons donc dire que notre système proposé permet de garantir leurs deux principaux rôles : l'adaptation des connaissances d'apprentissage selon le style dominant de l'étudiant et l'optimisation de niveau d'acquisition de ces connaissances selon les autres styles dominants de cet étudiant [Hamza et al, 2018].

## Conclusion et perspectives

### 1 Conclusion

Le travail présenté dans cette thèse s'inscrit dans le cadre de domaine des environnements d'apprentissage adaptatifs et vise à mettre en place un SHA basé sur les styles d'apprentissage pour offrir des adaptations optimisées aux différents apprenants.

Afin de proposer des contributions bénéfiques, nous avons entamé notre recherche par un état de l'art couvrant les domaines attachés à notre problématique. Dans la première partie de cette thèse, nous avons présenté un aperçu couvrant le domaine de SHA en général. L'étude de ce domaine nous a montré l'évolution des méthodes et des techniques utilisées pour garantir le critère de l'adaptation dans les systèmes hypermédia. Ainsi, nous avons présenté le deuxième domaine attaché à notre recherche, à savoir les styles d'apprentissage. En fait, ce domaine a été présenté sous un angle spécifique : l'utilisation des styles d'apprentissage dans le domaine des SHA. Nous avons terminé la première partie de cette thèse par la présentation des algorithmes et de modèles d'optimisation d'adaptation dans le domaine les systèmes hypermédia. Nous avons vu que plusieurs travaux sont apparus dans ce sens. Plusieurs techniques et méthodes sont utilisées pour répondre au besoin d'optimisation d'adaptation. Nous avons remarqué le manque d'exploitation des styles d'apprentissage comme un critère principal et essentiel pour traiter le problème de l'optimisation d'adaptation dans SHA.

Dans la deuxième partie de cette thèse, nous avons, premièrement, présenté notre SHA proposé. Ce système est basé sur un algorithme d'optimisation utilisant le style d'apprentissage de l'apprenant comme un critère principal pour offrir des adaptations plus adéquates aux apprenants.

Dans notre système, le style d'apprentissage est estimé à l'aide du questionnaire « *Swassing-Barbe Perceptual Modality Instrument* » qui permet d'identifier le style d'apprentissage d'un apprenant parmi les trois styles de Fleming : visuel, auditif et kinesthésique. Ensuite, le système utilise un module d'adaptation et d'optimisation

dont l'objectif est d'aider l'apprenant pour obtenir leur objectif d'apprentissage tout en lui recommandant la présentation la plus adaptée à leur style. Dans le cadre de notre système, les ressources d'apprentissage associées aux trois présentations (visuelle, auditive, kinesthésique) seront présentées à l'apprenant en favorisant celle reflétant son style dominant. Le système proposé utilise un questionnaire d'évaluation se forme d'un QCM (*Questions à Choix Multiple*) pour mesurer le niveau d'acquisition des connaissances montrées par la présentation offerte à l'apprenant. Selon les valeurs rendues par le questionnaire d'évaluation, le système estime le niveau d'acquisition des connaissances des apprenants.

Pour monter la validité de notre SHA, nous avons l'expérimenté auprès d'un échantillon des étudiants universitaire. La comparaison entre les résultats affichés pendant les différentes présentations du cours montre que les indices d'évaluations des étudiants sont améliorés au fur et à mesure de chaque type de présentations des concepts d'apprentissage. L'analyse des résultats obtenus nous constatons que : le nombre des étudiants marqués par les deux indices *faible* et *moyen* a diminué pendant les trois présentations du cours, tandis que le nombre des apprenants marqués par l'indice *fort* a augmenté pendant ces trois présentations. Et comme l'indice *fort* signifie que les présentations du cours sont adaptées aux étudiants, leur augmentation signifie qu'il existe une optimisation de ces adaptations pendant les différentes présentations. Donc nous pouvons dire que le système proposé permet de garantir leurs deux principaux rôles : l'adaptation des connaissances d'apprentissage selon le style dominant de l'apprenant et l'optimisation de niveau d'acquisition de ces connaissances selon les autres styles dominants de cet apprenant.

## 2 Perspectives

Ce travail ouvre la voie à notre sens vers diverses perspectives de recherche. Le SHA proposé utilise le modèle de Fleming pour la modélisation de styles d'apprentissage des apprenants. Il serait intéressant, dans un premier temps, d'améliorer notre SHA par la possibilité d'utiliser les autres modèles de styles d'apprentissage où le choix de tel modèle à utiliser sera selon la spécialité de domaine d'enseignement.

Dans notre système proposé, les présentations des parcours pédagogique offertes aux apprenants sont générées préalablement à la demande des ressources pédagogiques par les apprenants, cela peut créer le problème de la surcharge cognitive. Donc, notre deuxième perspective consiste à générer ces présentations de manière dynamique après la phase d'évaluation de l'acquisition des connaissances. Le but de cette perspective est d'exploiter la note d'évaluation de l'apprenant dans la génération des présentations personnalisées.

Une troisième perspective consiste à utiliser un large échantillon des étudiants inscrits dans des divers domaines de spécialités et avec plusieurs niveaux d'enseignements afin de construire une base solide de validation de notre système pour montrer leur importance dans le domaine d'éducation et d'enseignement. Pour cela notre objectif principal aujourd'hui, est de poursuivre la validation de notre dispositif par une expérimentation plus amplement avec un plus grand nombre d'apprenants inscrits dans un cursus universitaire sanctionné par un diplôme de niveau bac+3.

- [Adomavicius et al, 2016]: Adomavicius G et Zhang J. (2016). Classification, ranking, and top-K stability of recommendation algorithms. *INFORMS Journal on Computing*, 28(1), pp. 129-147.
- [Aleven et al, 2017]: Aleven, V, McLaughlin, E. A, Glenn R. A et Koedinger K. R. (2017). Instruction based on adaptive learning technologies. In R. E. Mayer & P. Alexander (Eds.), *Handbook of research on learning and instruction*. Routledge.
- [Ausubel, 1968]: Ausubel D. P. (1968). *Educational Psychology; A cognitive view*. New York, Rhinehart & Winston.
- [Bajraktarevic et al, 2003]: Bajraktarevic N, Hall W et Fullick P. (2003). Incorporating learning styles in hypermedia environment: Empirical evaluation. *Proceedings of the Fourteenth Conference on Hypertext and Hypermedia*, Nottingham.
- [Bandura, 1986]: Bandura A. (1986). *Social foundations of thought and action: A social cognitive theory*. pp. 617.
- [Barbe et al, 1988]: Barbe W.B, Swassing R.H, Milone M.N. (1988). *Teaching through modality strengths : concepts and practices*, (2e ed.). Columbus, Ohio: Zaner-Bloser.
- [Battiti et al, 1994]: Battiti R et Tecchiolli G. The reactive tabu search. *ORSA Journal on Computing*, 6(2): 126–140.
- [Balla et al, 2004]: Balla A, Hidouci K.W et Ihadadene N. (2004). Un modèle de système pédagogique adaptatif. *Colloque TICE Mediterranean N° 26 - 27*. <http://isdms.univ-tln.fr/PDF/isdm18/4-balla.pdf>
- [Bertoletti et al, 1999]: Bertoletti A.C et Costa C.R. (1999). Sagres – A virtual museum. In Bearman D et Trant J (Eds.), *Proceedings of Museums and the Web'99*.
- [Behaz et al, 2005]: Behaz A, Djoudi M. (2005). Génération dynamique de documents hypermédias adaptatifs dans un environnement numérique de travail, *Revue ARIMA*, Numéro spécial CARI'04.
- [Bonabeau et al, 1999] : Bonabeau E, Dorigo M et Theraulaz G.(1999). *Swarm intelligence : from natural to artificial systems*. Oxford University Press, Inc., New York, NY, USA, ISBN 0195131592.
- [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 de l'université  *pierre et marie curie* (France) et l'école nationale supérieure d'informatique, Algérie.

- [Boussaid, 2013]: Boussaid I. (2013). Perfectionnement de méta heuristiques pour l'optimisation continue. Université Paris-Est, France. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00952774>
- [Brown et al, 2005]: Brown E, Cristea A, Stewart C, et Brailsford T.J. (2005). Patterns in Authoring of Adaptive Educational Hypermedia: A Taxonomy of Learning Styles. *Journal of Educational Technology and Society*, 8(3): 77-90.
- [Bruner, 1966]: Bruner J.S, Olver R.R et Greenfield P.M. (1966). *Studies in Cognitive Growth*, Wiley.
- [Bruno, 2015] : Bruno H. (2015). L'évaluation : un élément crucial du processus d'apprentissage. <http://rire.ctreq.qc.ca/2015/06/evaluation-apprentissage/>
- [Bruno et al, 2001] : Bruno B et Philippe M. (2001). Optimisation de la présentation d'un document hypermédia, Journée Optimisation - Ecole Doctorale SPI Annales Scientifiques de l'Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, France (Volume 110-42).
- [Brusilovsky, 1996]: Brusilovsky P. (1996). Adaptive Hypermedia: An Attempt to Analyze and Generalize, *Proceedings of First International Conference on Multimedia, Hypermedia and Virtual Reality 1996*. P. Brusilovsky & N. Streitz (Eds.) LNCS 1077, Springer Verlag.
- [Brusilovsky et al, 1996]: Brusilovsky P, Schwarz E et Weber G. (1996). ELM-ART: An Intelligent Tutoring System on World Wide Web. *Proceeding of Third International Conference on Intelligent Tutoring Systems ITS-96*, LNCS 1086, Springer Verlag.
- [Brusilovsky et al, 1998] : Brusilovsky P et Pesin L. (1998). Adaptive Navigation Support in Educational Hypermedia: An Evaluation of the ISIS-Tutor. *Journal of Computing and Information Technology*, 6:27-38.
- [Brusilovsky, 2001]: Brusilovsky P.(2001). Adaptive Hypermedia. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 11(1):87-110.
- [Brusilovsky, 2003]: Brusilovsky P. (2003). Adaptive navigation support in educational hypermedia : the role of student knowledge level and the case for meta-adaptation. *British Journal of Educational Technology*, 34(4):487-497.
- [Brusilovsky, 2004]: Brusilovsky P. (2004). KnowledgeTree: A Distributed Architecture for Adaptive E-Learning. *WWW 2004*, New York, USA. ACM 1-58113-912-8/04/0005.
- [Brusilovsky et al, 2004]: Brusilovsky P, Karagiannidis C et Sampson D. (2004). Layered evaluation of adaptive learning systems, *Int. J. Cont. Engineering Education and Lifelong Learning*, Vol. 14, Nos.

- [Brusilovsky, 2007]: Brusilovsky P. (2007). Adaptive Navigation Support. Dans Brusilovsky P, Kobsa A et Nejdl W, éditeurs : The Adaptive Web, Volume 4321 de Lecture Notes in Computer Science, Springer Berlin, Heidelberg, pp. 263–290.
- [Brusilovsky et al, 2007]: Brusilovsky P et E. Millán. (2007). User Models for Adaptive Hypermedia and Adaptive Educational Systems. Dans Peter BRUSILOVSKY, Alfred KOBASA et Wolfgang N EJD, éditeurs :The Adaptive Web, volume 4321 de Lecture Notes in Computer Science, pp. 3–53. Springer Berlin / Heidelberg.
- [Buchanan et al, 1993]: Buchanan M.C et Zellweger P.T. (1993). Automatically Generating Consistent Schedules for Multimedia Documents. Multimedia System, Springer-Verlag, pp. 55-67.
- [Bunt et al, 2007]: Bunt A, Carenini G et Conati C. (2007). Adaptive Content Presentation for the Web. Dans Brusilovsky P, Kobsa A et Nejdl W, éditeurs : The Adaptive Web, volume 4321 de Lecture Notes in Computer Science, Springer Berlin , Heidelberg, pp. 409–432.
- [Carver et al, 1999]:Carver C.A, Howard R.A et Lane W.D. (1999). Enhancing student learning through hypermedia courseware and incorporation of student learning styles. IEEE Transactions on Education 42 (1). pp. 33-38.
- [Carro et al , 1999] : Carro R, Pulido E et Rodriguez P. (1999). Task-based Adaptive learner Guidance On the WWW: the TANGOW System. Second Workshop on Adaptive Systems and User Modeling on the Web, WWW'99, Toronto, Canada, May 11-14, Computer Science Report 99-07, Eindhoven University Technology, pp. 49-57.
- [Cassidy, 2003]: Cassidy S. (2003). Learning styles: an overview of theories, models and measures. The 8th Annual Conference of the European Learning Styles Information.
- [Carver et al, 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): 33-38.
- [Cerny, 1985]: Cerny V. (1985). Thermodynamical approach to the traveling salesman problem : an efficient simulation algorithm. Journal of Optimization Theory and Applications, 45(1): 41–51.
- [Cha et al, 2006]: Cha H, Kim S, Park S, Yoon T, Jung Y et Lee J. (2006). Learning styles diagnosis based on user interface behaviors for the customization of learning interfaces in an intelligent tutoring system. Communication présentée à la 8th International Conference on Intelligent Tutoring Systems (ITS 2006), Jhongli, Taiwan.

- [Charton, 2005] : Charton S. (2005), La place de l'évaluation dans les apprentissages, Mémoire professionnel, Centre IUFM de Dijon, France.
- [Chen et al, 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): 28.
- [Chevrier et al, 2000] : Chevrier J, Fortin, G, Thériège, M et Le Blanc R. (2000). Le style d'apprentissage: une perspective historique. *Le style d'apprentissage, ACELF*, XXVIII (1).
- [Clark et al, 2000]: Clark S, Seat E, et Weber F. (2000). The performance of engineering students on the group embedded figures test. *30th ASEE/IEEE Frontiers in Education*.
- [Claxton et al, 1978]: Claxton C.S et Ralston Y. (1978). Learning styles: their impact on teaching and administration, (AAHE-ERIC/Higher Education Research Report No. 10). American Association for Higher Education. Washington.
- [Coffield et al, 2004]: Coffield F, Moseley D, Hall E et Ecclestone K. (2004). Learning styles and pedagogy in post-16 learning. A systematic and critical review. Learning and Skills Research Centre. London.
- [Crampes et al, 1998]: Crampes M, Veuillez J.P, Ranwez S. (1998). Adaptive Narrative Abstraction. Proceedings of the Ninth ACM Conference on Hypertext and Hypermedia, Hypertext'98, Pittsburgh, Pennsylvania, June 20-24, pp. 97-105.
- [Crampes et al, 2000] : Crampes M, Ranwez S. (2000). OntologySupported and Ontology-Driven Conceptual Navigation on the World Wide Web. Proceedings of HT'00, the 11 th ACM Conference on Hypertext, San Antonio, Texas.
- [Cristea et al, 2004]: Cristea C et Garzotto F. (2004). ADAPT Major Design Dimensions for Educational Adaptive Hypermedia. *ED-MEDIA'04, AACE*.
- [Cronbach et al, 1977]: Cronbach L et Snow R. (1977). Aptitudes and Instructional Methods: A Handbook for Research on Interactions. Irvington Publishers. New York. USA.
- [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.
- [Cyert et al, 1970]: Cyert R.M et March J.G. (1970). A behavioral theory of the firm. Englewood Cliffs. Prentice Hall, 1963. Traduction française, *Processus de décision dans l'entreprise*, Dunod.

- [Dahbi et al, 2009] : Dahbi A, El kamoun N et Berraissoul A. (2009). Conception d'un système hypermédia d'enseignement adaptatif centré sur les styles d'apprentissage : modèle et expérience. *International Journal of Technologies in Higher Education*, 6(1).
- [Dahbi et al, 2014] : Dahbi A, El kamoun N, Aqqal A et El Hannani A. (2014). Application d'une approche inspirée des colonies de fourmis pour la recommandation des chemins d'apprentissage dans un cours en ligne : modèle et expérience. *International Journal of Technologies in Higher Education* 112 (2014): 6–18. DOI: 10.7202/1035632ar
- [Darwin, 1859]: Darwin C. (1859). *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*. J. Murray, ISBN 0486450066.
- [Das, 1988]: Das J.P. (1988). Simultaneous-successive processing and planning: implications for school learning. Dans Ronald R et Schmeck (Ed.), *Learning Strategies and Learning Styles*. New York: Plenum Press, pp. 101-129.
- [DeBello, 1990]: DeBello T. C. (1990). Comparison of eleven major learning styles models: Variables, appropriate populations, validity of instrumentation, and research behind them. *Journal of Reading, Writing, and Learning Disabilities International*, 6(3): 203-222.
- [De Bra, 2003]: De Bra P. (2003). Workshop on Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems, <http://www.wis.win.tue.nl/ah2003/proceedings/numberedproceedings.pdf>
- [De Bra et al, 2003] : De bra P, Stash N et De Lange B. (2003). AHA! Adding Adaptive Behavior to Websites. *Proceedings of the NLUUG Conference*, <http://www.wis.win.tue.nl/~debra/nluug2003/nluug2003.pdf>.
- [Delestre, 2000] : Delestre N. (2000). METADYNE, un Hypermédia Adaptatif Dynamique pour l'Enseignement, Thèse de doctorat de l'Université de Rouen.
- [Deneubourg et al, 1990]: Deneubourg J. L, Aron S, Goss S et Pasteels J.M. (1990). The selforganizing exploratory pattern of the argentine ant. *Journal of Insect Behavior*, 3(2): 159–168, ISSN 0892-7553.
- [Dréo et al, 2003] : Dréo J, Petrowski A, Taillard E.D, & Siarry P. (2003). Métaheuristiques pour l'optimisation difficile. Eyrolles (Editions). ISBN 2212113684.
- [Dessaint, 1995] : Dessaint M.P. (1995). *La conception de cours, Guide de planification et de rédaction*, SteFoy (QC) : Presses de l'Université du Québec. Canada.
- [Dorigo, 1992]: Dorigo M. (1992). *Optimization, Learning and Natural Algorithms*. PhD thesis, Politecnico di Milano, Italy.

- [Dorigo et al, 1991] : Dorigo M, Maniezzo V et Colorni A. (1991). Positive feedback as a search strategy. Technical Report 91-016, Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Milano, Milan, Italy.
- [Dorigo et al, 1996] : Dorigo M, Maniezzo V et Colorni A. (1996). The ant system: Optimization by a Colony of Cooperating agents. IEEE transactions on Systems, man, and Cybernetics-PART B, 26(1): 29-41.
- [Dorigo et al, 2005]: Dorigo M et Blum C. (2005). Ant colony optimization theory: A survey. Theoretical Computer Science, 344(2-3): 243-278, ISSN 03043975. doi: 10.1016/j.tcs.2005.05.020.
- [Dunn et al, 1978]: Dunn R et Dunn K. (1978). Teaching Students Through Their Individual Learning Styles: A Practical Approach. Virginia, Reston Publishing.
- [Dunn et al, 1996]: Dunn R, Dunn K et Price G. E. (1996). Learning Style Inventory. Price Systems, Lawrence, KS.
- [Dunn et al, 2003]: Dunn R et 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. USA.
- [Edgeworth, 1885]: Edgeworth F.Y. (1885). Methods of statistics. Journal of the Statistical Society of London, Jubilee Volume, pp. 181 – 217.
- [El Haddioui, 2015]: El Haddioui I. (2015). Manhali: un système de gestion d'apprentissage adaptatif pour la modélisation du comportement et la détection du style d'apprentissage de l'apprenant. 7ème Conférence sur les Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (EIAH2015), Agadir, Maroc.
- [Entwistle, 1981]: Entwistle N.J. (1981). Styles of learning and teaching, Chichester, New York: Wiley. USA.
- [Fabregat et al, 2000]: Fabregat R, Marzo J. L et Peña C. I. (2000). Teaching support units. Computers and education in the 21<sup>st</sup> century. Kluwer Academic Publishers : 163-174.
- [Farmer et al, 1986]: Farmer J. D , Packard N. H. et Perelson A. S. (1986). The immune system, adaptation, and machine learning. Phys. D, 2(1-3): 187-204, ISSN 0167-2789.
- [Felder et al, 1988]: Felder R et Silverman L.K. (1988). Learning and Teaching Styles In Engineering Education. Engr. Education 78(7): 674-681.

- [Felder, 1993]: Felder R. (1993). Reaching the Second Tier: Learning and Teaching Styles in College Science Education. *College Science Teaching*, 23(5): 286-290.
- [Felder et al, 1995]: Felder R et Henriques E. (1995). Learning and Teaching Styles In Foreign and Second Language Education. *Foreign Language Annals*, 28(1): 21-31.
- [Felder et al, 1996]: Felder R et Soloman, B. A. (1996). ILS: Index of Learning Styles. <http://www.ncsu.edu/felderpublic/ILSpage.html>.
- [Felder, 2002]: Felder R. (2002). Learning and Teaching Styles In Engineering Education. <http://www4.ncsu.edu/unity/lockers/users/f/felder/public/Papers/LS-1988.pdf>.
- [Feo et al, 1989]: Feo T.A et Resende M.C. (1989) . A probabilistic heuristic for a computationally difficult set covering problem. *Operations Research Letters*, 8(2): 67–71.
- [Feo et al, 1995]: Feo T.A et Resende M.C. (1995). Greedy randomized adaptive search procedures. *Journal of Global Optimization*, 6(2): 109–133.
- [Festa et al, 2009]: Festa P et Resende M. (2009). An annotated bibliography of GRASP, Part II : Applications. *International Transactions in Operational Research*, 16(2): 131–172.
- [Fink et al, 1998]: Fink J, Kobsa A et Nill A. (1998). Adaptable and adaptive information provision for all users, including disabled and elderly people. *New review of Hypermedia and Multimedia*, 4(1):163–188.
- [Fleming, 1995]: Fleming N.D. (1995). I am Different; Not Dumb. Modes of Presentation (V.A.R.K.) in the Tertiary Classroom. In Zelmer A (ed.): *Research and development in higher education. Proceedings of the 1995 annual conference of the higher education and research development society of Australia (HERDSA)*, Vol. 18, pp. 308–313. Australia.
- [Fleming, 2001]: Fleming N. D. (2001). *Teaching and Learning Styles: VAK Strategies*. Published by the author, Christchurch, New Zealand, 5th edition.
- [Fogel et al., 1966]: Fogel L.J, Owens A.J et Walsh M.J. (1966). *Artificial Intelligence through Simulated Evolution*. John Wiley, New York, USA.
- [Fortin et al, 2011]: Fortin G, Malette J, Chevrier J, Leblanc R , Peters M et Guirguis-Younger M. (2011). Lien entre la personnalité professionnelle, le style d'apprentissage et deux domaines d'études: les arts et les sciences. *Carriéologie*, 10(2), 199-212.
- [Frasincar et al, 2004] :Frasincar F, Barna P, Houben G et Fiala Z. (2004). Adaptation and Reuse in Designing Web Information Systems. *International Conference on Information Technology: Coding and Computing (ITCC'04) Volume 1*, pp. 387.

- [Fuselier, 2002]: Fuselier J. (2002). Composition de fragments d'informations en vue d'une présentation adaptée aux utilisateurs, rapport de stage de DEA, université de Savoie.
- [Gardeux, 2011]: Gardeux V. (2011). Conception d'heuristiques d'optimisation pour les problèmes de grande dimension. Application à l'analyse de données de puces à ADN. PhD thesis, Paris-Est University, Créteil, France.
- [Gardner, 1985]: Gardner H. (1985). Histoire de la révolution cognitive. La nouvelle science de l'esprit. Paris : Payot. France.
- [Garrot, 2007]: Garrot E. (2007). Assistance au tuteur. Prototype d'un système pour l'adaptation de situations d'apprentissage aux apprenants. Revue Technique et Science Informatiques, Hermès-Lavoisier, Paris, 26(6) : 723-750.
- [Gates, 1998]: Gates K.F. (1998). A design for delivering filtered web views. In WebNet98.
- [Gauch et al, 2007] : Gauch S, Peretta M.S, Handramouli A.C et Icarelli A.M. (2007). User Profiles for Personalized Information Access. Dans Brusilovsky P, Kobsa A et Nejdl W, éditeurs: The Adaptive Web, volume 4321 de Lecture Notes in Computer Science, Springer Berlin, Heidelberg, pp. 54–89.
- [Gaudio et al, 2002]: Gaudio E et Boticario G. (2002). User Data Management and Usage Model Acquisition in an Adaptive Educational Collaborative Environment, Proceedings of the second International Conference on Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-based Systems, pp. 143-152. Spain.
- [Gilbert et al, 2002]: Gilbert J.E et Han, C.Y. (2002). Arthur: A Personalized Instructional System. Journal of Computing In Higher Education, 14 (1).
- [Giordan et al, 1988] : Giordan A, Martinand, J.L. (1988). Etat des recherches sur les conceptions des apprenants à propos de la biologie. ANNALES de DIDACTIQUE des SCIENCES, 1988. Rouen : Publications de l'Université de Rouen.
- [Glover, 1986]: Glover F. (1986). Future paths for integer programming and links to artificial intelligence. Computers and Operations Research, 13(5): 533–549.
- [Grasha et al, 1975]: Grasha, A. F., et Riechman, S.W. (1975). Student learning styles questionnaire. Cincinnati, OH: University of Cincinnati Faculty Resource Center.
- [Gregorc, 1982]: Gregorc A.F. (1982). Gregorc style delineator, Gabriel Systems, Inc., Maynard, MA.
- [Gutierrez et al, 2007] : Gutierrez S, Valigian, G, Jamon, Y, Collet P et Kloos C. D. (2007). A swarm approach for automatic auditing of pedagogical planning. Dans J. M. Spector et al.(dir.),

- Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (pp. 136-138). New York, NY: IEEE Computer Society. USA.
- [Habieb-Mammar, 2003]: Habieb-Mammar H, Tarpin-Bernard F et Prévot P. (2003). Adaptive Presentation of Multimedia Interface Case study: "Brain Story" Course. In Springer Verlag. Carnegie Mellon University, Pittsburgh, Peter Brusilovsky and Albert T. Corbett and Fiorella de Rosis Eds. 2003. ISBN 3-540-40381-7, pp.15-24.
- [Hadjiat, 1996]: Hadjiat M. (1996). Problèmes de tension sur un graphe - Algorithmes et complexité. Thèse de Doctorat, Université de la Méditerranée, Marseille, France.
- [Hammond, 1989]: Hammond N. (1989). Hypermedia and learning: Who guides whom ? Dans Hermann MAURER, éditeur : Computer Assisted Learning, volume 360 de Lecture Notes in Computer Science, Springer Berlin, Heidelberg, pp. 167-181.
- [Hamza et al, 2012a]: Hamza L et Tlili Y. (2012). Optimisation à l'aide de style d'apprentissage dans les systèmes hypermédia adaptatif. 1<sup>st</sup> International Conférence on New Technologies and Communication (ICNTC'2012). Hassiba Ben Bouali University of Chlef, Algeria. <http://www.univ-chlef.dz/ICNTC/icntc2012/>
- [Hamza et al, 2012b]: Hamza L et Tlili Y. (2012). Démarche d'ingénierie des patrons de conception pour le développement d'applications hypermédia. 1<sup>st</sup> International Conference on New Technologies and Communication (ICNTC'2012). Hassiba Ben Bouali University of Chlef, Algeria. <http://www.univ-chlef.dz/ICNTC/icntc2012/>
- [Hamza et al, 2014]: Hamza L, Mahnane L et Tlili Y. (2014). L'optimisation dans les systèmes hypermédia adaptatifs. 4<sup>ème</sup> Colloque International ISKO-Maghreb 2014: Concepts et Outils pour le Management de la Connaissance (KM), les 9 et 10 Novembre 2014, Algérie. [http://dsism.cerist.dz/isko-maghreb-14/index.php?option=com\\_content&view=article&id=9&Itemid=113&lang=en](http://dsism.cerist.dz/isko-maghreb-14/index.php?option=com_content&view=article&id=9&Itemid=113&lang=en)
- [Hamza et al, 2018]: Hamza L et Tlili Y. (2018). The Optimization by Using the Learning Styles in the Adaptive Hypermedia Applications. International Journal of Web-Based Learning and Teaching Technologies (IJWLTT), Vol:13(2). <https://www.igi-global.com/viewtitle.aspx?TitleId=198374>
- [Hart et al, 1987]: Hart J.P et Shogan A.W. Semi-greedy heuristics: An empirical study. Operations Research Letters, 6(3): 107-114.
- [Henri et al, 2001]: Henri F et Lungren-Cayrol K. (2001). Apprentissage collaboratif à distance. Pour comprendre et concevoir les environnements d'apprentissage virtuels. Presses de l'Université du Québec.

- [Heppner et al, 1990]: Heppner F et Grenander U. (1990). A stochastic nonlinear model for coordinated bird flocks. In E. Krasner, editor, *The ubiquity of chaos*, AAAS Publications, pp. 233–238.
- [Hohl et al, 1996]: Hohl H, Böcker H.D et Gunzenhäuser R. (1996). Hypadapter : An adaptive hypertext system for exploratory learning and programming. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 6(2):131–156.
- [Holland, 1975]: Holland J.H. (1975). *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. University of Michigan Press, Ann Arbor, MI, USA.
- [Honey et al, 1986]: Honey, P et Mumford A. (1986). *The Manual of Learning Styles*. Berkshire, England: Peter Honey.
- [Höök et al, 1996]: Höök K., Karlgren J., Wærn A.(1996). A glass box approach to adaptive hypermedia. In *User Modeling and User-Adapted Interaction*, pp. 157-184.
- [Iksal, 2001]: Iksal S, Garlatti S, Ganier F et Tanguy P. (2001). Semantic composition of special reports on the web. a cognitive approach ». In Balpe J.P, Leleu-Merviel S, Saleh I et Laubin J.M, editors, *Actes de H2PTM'01*, pp. 378.
- [Iskal et al, 2002] : Iskal S, Garlatti S. (2002). Spécification déclarative des documents virtuels personnalisable, In: *Actes de DVP 2002*, Brest (France), pp. 127-140.
- [Jacquinot, 1993]: Jacquinot G. (1993). Apprivoiser la distance et supprimer l'absence? ou les défis de la formation à distance?. *Revue pédagogique N°102*, pp. 55 - 67
- [Jameson, 2003]: Jameson A. (2003). Adaptive interfaces and agents. Dans *The human-computer interaction handbook :fundamentals, evolving technologies and emerging applications*, pages 305–330. L. Erlbaum Associates Inc., Hillsdale, NJ, USA.
- [Joachims et al, 1997]: Joachims T, Reitag D.F et Itchell T.M. (1997). WebWatcher : A Tour Guide for the World Wide Web. Dans Ralescu A.L et Shanahan J.G, éditeurs : *Proc. of The 15 th International Joint Conference on Artificial Intelligence*, pp. 770–775.
- [Kaplan et al, 1993]: Kaplan C, Fenwick J et Chen J. (1993). Adaptive hypertext navigation based on user goals and context. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 3(3):193–220.
- [Kavcic, 2004]: Kavcic A. (2004). Fuzzy user modeling for adaptation in educational hypermedia. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 34(4):439–449.
- [Keefe, 1979]: Keefe J.W. (1979). Learning style: an overview. Dans James W. Keefe (Ed.), *Student learning styles: diagnosing and prescribing programs*, Reston, VA: National Association of Secondary School Principals (NASSP), pp. 1-17.

- [Kennedy et al, 1995]: Kennedy J et Eberhart R (1995). Particle swarm optimization. IEEE International Conference on Neural Networks, 4: 1942–1948.
- [Kennedy et al, 2002]: Kennedy J et Mendes R. (2002). Population structure and particle swarm performance. Computational Intelligence, Proceedings of the World on Congress on, 2: 1671–1676.
- [Kirby, 1979]: Kirby P. (1979). Cognitive style, learning style, and transfer skill acquisition, (Information Series No. 195). Columbus, Ohio: The National Center for research in Vocational Education.
- [Kirkpatrick et al, 1983]: Kirkpatrick S, Gelatt C et Vecchi M. (1983). Optimization by simulated annealing. Science, 220(4598): 671–680.
- [Kobsa, 1993]: Kobsa A. (1993). User Modeling: Recent Work, Prospects and Hazards. In: M. Schneider-Hufschmidt, T. Kühme and U. Malinowski, Eds.: Adaptive User Interfaces: Principles and Practise. Amsterdam: North Holland Elsevier, <http://www.ics.uci.edu/~kobsa/papers/1993-aui-kobsa.pdf>
- [Kobsa et al, 1995] : Kobsa A. et Pohl W. (1995). The User Modeling Shell System BGP-MS. User Modeling and User-Adapted Interaction, 4 (2), 59-106.
- [Koch, 2000]: Koch N. (2000). Software Engineering for Adaptative Hypermedia Systems – Reference Model, Modelling Techniques and Development Process. Thèse de Doctorat, faculté de mathématique et informatique, université Ludwig-Maximilians, München.
- [Kolb, 1974]: Kolb D.A. (1974). On Management and The Learning Process. Dans Kolb D.A, Rubin I.M et McIntyre J.M (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, 2000]: Kolb D. A. (2000). Facilitator's guide to learning. Boston: Hay/McBer.
- [Koza, 1992]: Koza J. R. (1992). Genetic Programming : On the Programming of Computers by Means of Natural Selection (Complex Adaptive Systems). The MIT Press, 1 edition, ISBN 0262111705.
- [Land et al, 1960]: Land A.H et Doig A.G. (1960). An automatic method of solving discrete programming problems. Econometrica, 28(3): 497–520.
- [Laroussi et al, 1998]: Laroussi M et Benahmed M. (1998). 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.
- [Laroussi, 2001]: Laroussi M. (2001). Conception et réalisation d'un système dydactique hypermédia adaptatif : CAMELEON. Thèse de doctorat, Université Manouba, Tunisie.
- [Laroussi et al, 2011]: Laroussi M, Caron P. (2011). Adaptativité générique et itérative d'un EIAH aux styles d'interaction des étudiants : Implémentation d'un framework de web service pour adapter les fonctionnalités Web 2. 0 d'une plate-forme de formation aux styles VAK d'interaction des apprenants. Publié dans Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain , Conférence EIAH'2011, Belgique.
- [Lawrence, 1994]: Lawrence G. (1994). People Types and Tiger Stripes, 3rd edn, Center for Applications Psychological Type.
- [Legendre, 1993]: Legendre R. (1993). Dictionnaire actuel de l'éducation, 2ème édition, Montréal : Guérin, ou Paris : ESKA.
- [Lemouzy, 2011]: Lemouzy S. (2011). Systèmes interactifs auto-adaptatifs par systèmes multi-agents auto-organiseurs : application à la personnalisation de l'accès à l'information. Thèse présentée devant Université Paul Sabatier - Toulouse III. France.
- [Lemouzy et al, 2010]: Lemouzy S, Camps et P. Glize P. (2010). Real Time Learning of Behaviour Features for Personalised Interest Assessment. Dans Demazeau Y, Dignum V, Corchado J et Pérez J, éditeurs : Advances in Practical Applications of Agents and Multiagent Systems, volume 70 de Advances in Intelligent and Soft Computing, pages 5–14. Springer Berlin / Heidelberg.
- [Lerdorf ; 2007]: Lerdorf R. (2007). PHP on Hormones – history of PHP presentation by Rasmus Lerdorf given at the MySQL Conference in Santa Clara, California. *The Conversations Network*. USA.
- [Li et al, 1999]: Li W.S, Wu Q, Agrawal D, Hara Y and Takano H. (1999). PowerBookmarks: A System for Personalizable Web Information Organization: Sharing, and Management, Computer Networks and Telecommunications Networking, Elsevier Science, Vol 31, 1375-1389.
- [Lin et al, 2017]: Lin C.H , Zhang Y, Zheng B. (2017). The roles of learning strategies and motivation in online language learning: A structural equation modeling analysis. *Computers & Education*, Volume 113, Issue null, pp .75-85.
- [Marchand, 2001]: Marchand L. (2001). L'apprentissage en ligne au Canada : frein ou innovation pédagogique. *Revue des sciences de l'éducation*, Vol XXVII, N°2, pp. 503- 520.

- [Messick, 1976]: Messick S. (1976). Personality consistencies in cognition and creativity. Dans Samuel Messick & Associates (Ed.), *Individuality in learning*, San Francisco: Jossey-Bass, pp. 4- 22.
- [Metropolis et al, 1953]: Metropolis N, Rosenbluth A, Rosenbluth M, Teller A et Teller E. (1953) .Equation of state calculations by fast computing machines. *Journal of Chemical Physics*, 21(6): 1087–1090.
- [Micarelli et al, 2007]: Micarelli A, Gasparetti F, Sciarrone F et Gauch S. (2007). Personalized Search on the World Wide Web. Dans P. B RUSILOVSKY, A. K OBSA et W. N EJDL, éditeurs : *The Adaptive Web*, volume 4321 de *Lecture Notes in Computer Science*, Springer Berlin, Heidelberg, pp. 195–230.
- [Michalewicz, 1994]: Michalewicz Z. (1994). *Genetic algorithms + data structures = evolution programs* (2nd, extended ed.). Springer-Verlag New York, Inc., New York, NY, USA, ISBN 3-540-58090-5.
- [Michelle et al, 1995]: Michelle Y.K et Junehwa S. (1995). *Multimedia Documents with Elastic Time*. *Multimedia '95*, pp. 143-154.
- [Miled, 2014]: Miled, M. (2014). *Ressources et parcours pour l'apprentissage du langage Python: aide à la navigation individualisée dans un hypermédia épistémique à partir de traces* (Doctoral dissertation, École normale supérieure de Cachan-ENS Cachan).
- [Mitchell, 1994]: Mitchell D.P. (1994). *Learning Style: A Critical Analysis of the Concept and Its Assessment*. In R Hoey (ed.): *Design for learning: aspects of educational technology*. London: Kogan Page.
- [Mitrovic, 2014]: Mitrovic A et Shareghi A. (2014). Examples and tutored problems: is alternating examples and problems the best instructional strategy?, *Research and Practice in Technology Enhanced Learning* 9(3): 439-459.  
<http://www.apsce.net/uploaded/filemanager/460cc33b-328c-410a-ae2-6ff68f3aebcc.pdf>.
- [Mock, 1996]: Mock K.J. (1996). *Intelligent Information Filtering via Hybrid Techniques: Hill Climbing, Case-Based Reasoning, Index Patterns, and Genetic Algorithms*. PhDThesis, university of California Davis.
- [Mobasher, 2007]: Mobasher B. (2007). *Data Mining for Web Personalization*. Dans BRUSILOVSKY P, KOBASA A et NEJDL W, éditeurs : *The Adaptive Web*, volume 4321 de *Lecture Notes in Computer Science*, Springer Berlin, Heidelberg, pp. 90–135.

- [Montaner et al, 2003]: Montaner M, López B et de la Rosa J.L. (2003). A Taxonomy of Recommender Agents on the Internet. *Artificial Intelligence Review*, 19(4):285–330.
- [Monterrat et al, 2017] : Monterrat B, Yessad A, Bouchet F, Lavoué É et Luengo V. (2017). MAGAM: A Multi-Aspect Generic Adaptation Model for Learning Environments. In: Lavoué É., Drachsler H., Verbert K., Broisin J., Pérez-Sanagustín M. (eds) *Data Driven Approaches in Digital Education. EC-TEL 2017. Lecture Notes in Computer Science*, vol 10474. Springer, Cham.
- [Myers et al, 1962]: Myers I et Briggs K. (1962). *The Myers-Briggs Type Indicator*, Princeton: Educational testing Services.
- [Myers et al, 1985]: Myers I.B et McCaulley M.H. (1985). *Manual: A Guide to the Development and Use of the Myers-Briggs Type Indicator*. Palo Alto, CA: Consulting Psychologists Press.
- [Nafidi, 2017] : Nafidi Y, Allami A, Moncef Z et Hanane A. (2017). L'hypermédia Au Service De La Formation Initiale d'enseignants Stagiaires (Cas Du CRMEF-FESMEKNES), *European Scientific Journal*, June 2017 edition, Vol.13, No.16, ISSN: 1857 – 7881, (Print)e- ISSN 1857- 7431, URL:<http://dx.doi.org/10.19044/esj.2017.v13n16p113>
- [Nicola et al, 2000]: Nicola H et Wolfgang N. (2000). Extendible Adaptive Hypermedia Courseware : Integrating Different Courses and Web Material. Dans *Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems*, volume 1892 de *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 109–120.
- [Page-Lamarche, 2005]: Page-Lamarche V. (2005). *Styles d'apprentissage et rendement académique dans les formations en ligne*. Faculté des études supérieures, Université de Montréal. France. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00091531>.
- [Papadimitriou et al, 1982]: Papadimitriou C.H et Steiglitz K. (1982). *Combinatorial optimization : algorithms and complexity*. Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ, USA, ISBN 0-13-152462-3.
- [Papanikolaou et al, 2003]: Papanikolaou K, Grigoriadou M, Kornilakis H et Magoulas G. (2003). Personalizing the interaction in a Web-based educational hypermedia system: The case of INSPIRE. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 13(3), pp. 213-267.
- [Paramythis, 2006]: Paramythis A. (2006). Can Adaptive Systems Participate in Their Design ? Meta-adaptivity and the Evolution of Adaptive Behavior. Dans Wade V, Shman H.A et Smyth B, éditeurs : *4 th International Conference of Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems (AH 2006)*, volume 4018, Dublin, Ireland, 2006. Springer-Verlag New York Inc, Springer Berlin, Heidelberg, pp. 308–312.

- [Paredes et al, 2004]: Paredes P et Rodríguez P. (2004). A mixed approach to modelling learning styles in adaptive educational hypermedia. *Advanced Technology for Learning*, pp. 210-215.
- [Pareto, 1896]: Pareto V. (1896). *Cours d'Economie Politique*. Droz, Genève.
- [Pask, 1976]: Pask G. (1976). *Styles and Strategies of Learning*. *British Journal of Educational Psychology*, 46: 128-148.
- [Passino, 2002]: Passino K. M. (2002). Biomimicry of Bacterial Foraging for distributed optimization and control. *IEEE Control Systems Magazine*, doi : 10.1109/MCS.2002.1004010, 22(3): 52-67.
- [Paterno et al, 1999]: Paterno F et Mancini C. (1999). *Designing Web Interfaces Adaptable to Different Types of Use*. *Proceedings of the Workshop Museums and the Web*. <http://www.acrhimuse.com/mw99>.
- [Patureau, 1990] : Patureau V. (1990). *Styles d'apprentissage et ordinateur*. Dans Duda R et Riley P. (Ed.), *Learning styles*, Nancy: Presses Universitaires de Nancy, pp. 117-126.
- [Peña, 2004]: Peña C.I. (2004). *Intelligent Agents to Improve Adaptivity in a Web -Based Learning Environment*. Thèse de Doctorat, University of Girona.
- [Piombo, 2007] : Piombo C. (2007). *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.
- [Piaget, 1970]: Piaget, J. (1970). *The Science of Education and the Psychology of the Child*. NY: Grossman.
- [Pla, 1971] : Pla J.M. (1971) : *An Out-of-Kilter Algorithm for Solving Minimum Cost Potential Problems*. *Mathematical Programming*, volume 1, pp. 275-290.
- [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, ICALT 2009, pp. 446 - 450.
- [Quafafou et al, 1993]: Quafafou M et Nafia M. (1993) *GAITS: Fuzzy sets-based algorithms for computing strategies using genetic algorithms*. In: Klement E.P., Slany W. (eds) *Fuzzy Logic in Artificial Intelligence*. FLAI 1993. *Lecture Notes in Computer Science (Lecture Notes in Artificial Intelligence)*, vol 695. Springer, Berlin, Heidelberg.

- [Ranwez, 2000] : Ranwez S. (2000). Composition Automatique de Documents Hypermédia Adaptatifs à partir d'Ontologies et de Requêtes Intentionnelles de l'Utilisateur. Thèse de doctorat en informatique, Université de Montpellier II. France.
- [Ranwez et al, 2001]:Ranwez V et Ranwez S. (2001). Algorithme pour la génération de documents personnalisés structurés, Optimisation par fusion des classes d'utilisateurs, NîmesTIC'2001.
- [Rechenberg, 1973]: Rechenberg I. (1973). Evolutionsstrategie — Optimierung technischer Systeme nach Prinzipien der biologischen Evolution. DOI: 10.1002/fedr.19750860506. Frommann-Holzboog-Verlag. Stuttgart, Germany.
- [Reinert, 1976]: Reinert H. (1976). One picture is worth a thousand words? Not necessarily! In The Modern Language Journal, Vol. 60, pp. 160-168.
- [Reynolds, 1987]: Reynolds C. W. (1987). Flocks, herds, and schools : A distributed behavioral model. In Computer Graphics, vol. 21, pp. 25-34.
- [Rich, 1989]: Rich E. (1989). Stereotypes and user modeling, in user models in dialog systems, Kobsa A et Wahlster , Ed. Springer verlag: berlin, pp. 35-51.
- [Riding, 1991]: Riding R. J. (1991). Cognitive Styles Analysis User Manual. Birmingham: Learning and Training Technology.
- [Riding et al, 1998]: Riding R, Stephen R. (1998). Cognitive styles and learning strategies, London: David Fulton.
- [Roisin, 1999] : Roisin C. (1999). Documents Structurés Multimédia , Mémoire en vue de l'obtention d'une habilitation à diriger les recherches, Institut National Polytechnique de Grenoble. <http://www.inrialpes.fr/opera/people/Cecile.Roisin/Welcome-en.html>
- [Rundle et al, 2000]: Rundle S et Dunn R. (2000). The guide to individual excellence: A self directed guide to learning and performance solutions. New York: Performance Concepts International.
- [Sabry et al, 1999]: Sabryi L, Ismail I, Layaida N et Roisin C. (1999). Dealing with Uncertain Durations in Synchronized Multimedia Presentations. Multimedia Tools and Applications Journal, Kluwer Academic Publishers.
- [Salton et al, 1983]: Salton G et McGill M.J. (1983). Introduction to modern information retrieval. McGraw-Hill, New York. USA.

- [Sanginetto et al, 2007]: Sanginetto 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.
- [Sauvé et al, 1993] : Sauvé L, Nadeau J.R, Leclerc G. (1993). Le profil d'apprentissage des étudiants inscrits dans un certificat de cycle offert à distance et sur campus : une étude comparative. *Revue de l'enseignement à distance*, Vol.8.2.
- [Schaffer, 1985]: Schaffer J.D. (1985). Multiple objective optimization with vector evaluated genetic algorithms. In *Proceedings of the 1st International Conference on Genetic Algorithms*, pp. 93–100, Hillsdale, NJ, USA, 1985. L. Erlbaum Associates Inc. ISBN 0-8058-0426-9.
- [Schmeck, 1983]: Schmeck R.R. (1983). Learning styles of college students. Dans Rona F. Dillon & Ronald R. Schmeck (Ed.) *Individual differences in cognition*, volume 1, New-York: Academic Press, pp. 233-279..
- [Schoenauer et al, 1993]: Schoenauer M et Xanthakis S. (1993). Constrained optimization. In *Proceedings of the 5th International Conference on Genetic Algorithms*, pp. 573–580.
- [Seefeldter et al, 2006]: Seefeldter de Assis P, Chwabe D.S et Unes D.N. (2006). ASHDM – Model-Driven Adaptation and Meta-adaptation. Dans Wade V, Shman H.A et Smyth B, éditeurs: *Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems*, volume 4018 de *Lecture Notes in Computer Science*, Springer Berlin, Heidelberg, pp. 213–222.
- [Semet et al, 2003] : Semet Y, Lutton E et Collet P. (2003). Ant colony optimization for e-learning: Observing the emergence of pedagogic suggestions. Dans *Proceedings of IEEE Swarm Intelligence Symposium* (p. 46-52). New York, NY : IEEE Computer Society.
- [Simon, 2008]: Simon D. (2008). Biogeography-based optimization. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 12(6): 702–713, 2008.
- [Stash et al, 2004]: Stash N, Cristea A, et De Bra P. (2004). Authoring of Learning Styles in Adaptive Hypermedia: Problems and Solutions, *The World Wide Web Conference*, New York, USA.
- [Stash et al, 2005]: Stash N, Cristea A, et De Bra P. (2005). Explicit intelligence in adaptive hypermedia: Generic adaptation languages for learning preferences and styles. *International Workshop on Combining Intelligent and Adaptive Hypermedia Methods/Techniques in Web-based Education Systems*.

- [Stash, 2006]: Stash N. (2006). Incorporating Cognitive/Learning Styles in a General-Purpose Adaptive Hypermedia System. Eindhoven University of Technology, Thèse de Doctorat, Université de Toulouse. France.
- [Stash et al, 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.
- [Taillard, 2002] : Taillard É.D. (2002). Principes d'implémentation des métaheuristiques". In Jacques Teghem & Marc Pirlot, editors, Optimisation approchée en recherche opérationnelle, Hermes, pp. 57–79.
- [Tinajero et al, 1997] :Tinajero D.C et Paramo M.F. (1997). Field dependence-independence and academic achievement: a reexamination of their relationship. *British Journal of Educational Psychology*, 67(2): 199-212.
- [Trella et al, 2002]: Trella M, Conejo R, Bueno D et Guzmán E. (2002). An autonomous component architecture to develop WWW-ITS. Proceedings of the Workshops on Adaptive Systems for Web-Based Education, Malaga.
- [Triantafyllou et al, 2003] : Triantafyllou E, Pomportsis A, Demetriadis S. (2003). The design and the formative evaluation of an adaptive educational system based on cognitive styles. *Computers & Education* 41, Elsevier, pp. 87-103.
- [Tsandilas et al, 2004]: Tsandilas T et Schraefel M.C. (2004). Usable adaptive hypermedia systems. *The New Review of Hypermedia and Multimedia*, 10(1):5–29, ISSN 0955-8543.
- [Tyndiuk, 2005]: Tyndiuk F. (2005). Référentiels Spatiaux des Tâches d'Interaction et Caractéristiques de l'Utilisateur influençant la Performance en Réalité Virtuelle, Thèse de Doctorat, Université Bordeaux 2: p. 234.
- [Van den berg et al, 2005]: Van den Berg B, Van Es, R, Tattersall C, Janssen J, Manderveld J, Brouns F et Koper, R. (2005). Swarm-based sequencing recommendations in elearning. Dans Proceedings of the 5th International International Conference on Intelligence Systems Design and Applications(p. 488-493). New York, NY : IEEE Computer Society.
- [Vermunt, 1998]: Vermunt, J.D. (1998). The Regulation of Constructive Learning Processes. *British Journal of Educational Psychology*, 68: 149–171.
- [Vygotsky, 1978]: Vygotsky L.S. (1978). *Mind in Society*. Cambridge : Harvard University Press.
- [Wahlster, 1991]: Wahlster W. (1991). User and discourse models for multimodal communication. In *Intelligent User Interfaces*, Sullivan J. W & Tyler S.W. Eds, ACM Press.

- [Walker et al, 1993]: Walker A, Hallam J, et Willshaw D. (1993). Bee-havior in a Mobile Robot: The Construction of a Self-Organized Cognitive Map and its Use in Robot Navigation within a Complex, Natural Environment. In Proc. ICNN'93, Int. Conf. on Neural Networks, vol. III, pp. 1451–1456, Piscataway, NJ. IEEE Service Center.
- [Wang et al, 2008]: Wang T et Huang M. (2008). Using a style-based ant colony system for adaptive learning. *Expert Systems with Applications*. 34(4), 2449-2464.
- [Wong et al, 2009]: Wong L. H. et Looi, C. K. (2009). Adaptable learning pathway generation with ant colony optimization. *Educational Technology & Society*, 12(3), 309-326.
- [Weber et al, 1997]: Weber G et Specht M. (1997). User modeling and adaptive navigation support in WWW based tutoring systems, *User Modeling*, Springer-Verlag, Wien, pp. 289-300.
- [Witkin et al, 1971]: Witkin H.A, Oltman P.K, Raskin E et Karp S.A. (1971). *A Manual For The Group Embedded Figures Test*. Consulting Psychologists Press, Palo Alto, CA.
- [Wolf, 2002]: Wolf C. (2002). *iWeaver: Towards an Interactive Web-Based Adaptive Learning Environment to Address Individual Learning Styles*. Paper presented at the Interactive Computer Aided Learning Workshop (ICL2002), Villach, Austria.
- [Wolf, 2007]: Wolf C. (2007). *Construction of an Adaptive E-learning Environment to Address Learning Styles and an nvestigation of the Effect of Media Choice*. Thèse de Doctorat en philosophie, RMIT University, Melbourne, Australia.
- [Wolpert et al, 1997]: Wolpert D.H et Macready W.G. (1997). No free lunch theorems for optimization. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 1(1): 67–82, ISSN 1089-778X.
- [Yang et al, 2011]: Yang X.S, Koziel S. (2011). Computational Optimization: An Overview, in: Koziel, S., Yang, X.-S. (Eds.), *Computational Optimization, Methods and Algorithms, Studies in Computational Intelligence*. Springer Berlin Heidelberg, pp.1–11.
- [Zhang et al, 2003]: Zhang Y et Liu Z. (2003). A Model of Web Oriented Intelligent Tutoring System for Distance Education. *Fifth International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications (ICCIMA'03)*, p. 78.

# *Annexe*

Cet Annexe contient une description du questionnaire d'estimation du style d'apprentissage adopté dans ce travail. Il s'agit d'une version abrégée de la version originale de Fleming [Fleming, 2001]. Ce questionnaire est élaboré par le centre FORA en collaboration avec le collège Boréal<sup>1</sup>.

## *Questionnaire d'estimation du style d'apprentissage*

### **Selon le modèle VAK (Visuel, Auditif et Kinesthésique)**

Pour chacune des 30 questions ci-dessous, sélectionnez soit "a" ou "b" ou "c" pour indiquer votre réponse. S'il vous plaît choisir une seule réponse pour chaque question en indiquant ce que tu fais le plus souvent. Tes réponses vont t'aider à comprendre de quelle façon tu apprends le mieux. La façon que tu apprends le mieux est ton style d'apprentissage. Lorsque vous avez terminé la sélection des réponses à chaque question s'il vous plaît sélectionner le bouton présenter à la fin du formulaire.

Quel est ton style d'apprentissage?

1. Je me divertis

- (A) Je regarde la télévision, je lis un livre, je fais des mots croisés
- (B) J'écoute de la musique, je parle avec un ami
- (C) Je fais des arts ou des sports, je joue à un jeu (cartes, Monopoly, Sorry!)

2. J'achète un nouvel appareil et je veux m'en servir

- (A) Je lis les directives, je regarde les diagrammes, je regarde une vidéo qui l'explique
- (B) J'en parle avec quelqu'un et j'écoute ses explications
- (C) J'essaie l'appareil tout de suite, plusieurs fois, en tentant différentes choses

---

<sup>1</sup> <http://www.centrefora.on.ca/sites/default/files/documents/Styles%20d%27apprentissage.pdf>

3. Je mémorise une information
- (A) Je crée des images dans ma tête
  - (B) Je répète l'information à haute voix
  - (C) Je prends des notes
4. Je dois résumer un texte
- (A) J'écris le résumé ou j'illustre le texte
  - (B) Je résume le texte à haute voix
  - (C) Je mime le texte ou je fais des gestes avec mes mains
5. Je dois m'orienter dans un centre d'achats
- (A) Je consulte un diagramme ou une carte
  - (B) Je demande des directives à quelqu'un
  - (C) Je me promène ici et là pour découvrir où je suis
6. Je choisis mon activité préférée
- (A) Je fais un casse-tête
  - (B) J'identifie des chansons à partir de mes CD
  - (C) Je joue un jeu de rôles
7. Je pense à une expérience passée
- (A) J'ai une image claire dans la tête
  - (B) J'entends les sons associés à cette expérience
  - (C) Je ressens un sentiment fort
8. J'étudie
- (A) J'étudie seul, dans un endroit tranquille
  - (B) J'échange avec d'autres personnes
  - (C) J'écoute de la musique en étudiant
9. Je choisis une carrière dans les arts
- (A) Je suis dessinateur ou peintre

- (B) Je suis musicien ou disk-jockey (DJ)
- (C) Je suis sculpteur

10. Je porte attention à mon environnement

- (A) J'observe les objets et les mouvements autour de moi
- (B) J'écoute les sons qui m'entourent
- (C) Je ressens des choses comme le froid, la fatigue, etc

11. J'assiste à une présentation

- (A) Je vois le sujet dans ma tête, j'absorbe petit à petit ce qui est dit
- (B) J'écoute attentivement, je cherche des occasions pour parler
- (C) Je bouge beaucoup, je ne peux pas rester assis longtemps

12. J'apprends quelque chose de nouveau

- (A) Je dois voir les mots écrits, je vois les mots dans ma tête
- (B) Je dois entendre les mots
- (C) Je dois écrire les mots, je les associe à des gestes

13. Je me fais évaluer

- (A) Je préfère un test avec des diagrammes et des graphiques
- (B) Je préfère un test oral
- (C) Je préfère à choix multiples, à réponses courtes ou un test où je remplis des tirets

14. Je pense à un film

- (A) Je me rappelle en détails les images et les couleurs
- (B) Je me rappelle le dialogue, la musique et les sons
- (C) Je me rappelle ce que j'ai ressenti pendant certaines scènes

15. Je m'inscris à un cours de loisirs

- (A) Je choisis une classe d'arts visuels

- (B) Je choisis une classe de musique
- (C) Je choisis une classe de karaté

16. Je rencontre des gens

- (A) Je me rappelle les visages, mais j'oublie facilement les noms
- (B) Je me rappelle les noms et les conversations, mais j'oublie les visages
- (C) Je me rappelle les activités que j'ai faites avec les personnes

17. La formatrice parle

- (A) Je prends des notes, je fais des diagrammes
- (B) J'écoute attentivement, je prends peu de notes, je cherche des occasions pour parler
- (C) Je prends beaucoup de notes et je bouge beaucoup

18. Je me décris

- (A) Je suis tranquille et je ne parle pas beaucoup
- (B) J'écoute attentivement, mais j'aime parler
- (C) Je fais beaucoup de gestes en parlant et je n'écoute pas très bien

19. J'attends chez le médecin

- (A) Je lis les revues disponibles sur la table
- (B) Je jase avec les personnes autour de moi
- (C) Je me lève souvent pour me changer les idées

20. Je donne des directives pour trouver une adresse

- (A) Je montre le chemin à l'aide d'un diagramme
- (B) J'explique en donnant des détails
- (C) Je fais des gestes pour montrer comment s'y rendre

21. Je note une adresse, mais je n'ai pas de crayon ou de plume

- (A) Je vois l'adresse dans ma tête, comme une image

- (B) Je répète l'adresse plusieurs fois à voix haute
- (C) J'écris l'adresse sur mon bras avec mon doigt

22. Je m'habille

- (A) Ma tenue est propre et très soignée
- (B) Ma tenue n'est pas nécessairement bien, car j'y accorde peu d'importance
- (C) Ma tenue est propre, mais mon linge se fripe rapidement à cause de mes activités physiques

23. J'écris

- (A) J'ai une belle écriture et je fais peu de fautes d'orthographe
- (B) J'ai une mauvaise écriture et je fais quelques fautes d'orthographe
- (C) J'ai une mauvaise écriture et je fais beaucoup de fautes d'orthographe

24. Je n'écoute pas pendant une activité

- (A) C'est parce que je gribouille avec un crayon ou une plume
- (B) C'est parce que je parle trop avec les autres
- (C) C'est parce que je m'amuse avec toutes sortes d'objets, comme des crayons

25. Je devine que mon ami est en colère

- (A) Je vois les expressions sur son visage
- (B) J'écoute sa voix
- (C) Je remarque ses gestes

26. Je reçois une bonne nouvelle

- (A) Je ne montre pas ma joie, mais je souris beaucoup
- (B) Je pousse des cris de joie
- (C) Je bouge les bras dans les airs, je montre ma joie physiquement

27. Je m'assois au restaurant

- (A) Je remarque le décor

- (B) Je remarque la musique forte
- (C) Je remarque qu'il fait froid ou chaud

28. Je participe à un atelier

- (A) Je préfère les diagrammes et les images
- (B) Je préfère les discussions
- (C) Je préfère les activités

29. J'explique quelque chose à quelqu'un. Je dis

- (A) Est-ce que tu vois ce que je veux dire
- (B) Entends-tu ce que je te dis
- (C) Est-ce que tu ressens ce que je te dis

30. Je dois parler à un ami

- (A) Je préfère lui parler en face
- (B) Je préfère lui téléphoner
- (C) Je préfère lui parler en faisant une activité avec lui