



## Optimization in Adaptive Hypermedia Systems

---

Hamza Lamia

EasyChair preprints are intended for rapid dissemination of research results and are integrated with the rest of EasyChair.

January 23, 2022

# L'optimisation dans les systèmes hypermédia adaptatifs

Lamia HAMZA

Université l'arbi ben M'Hidi, Oum El Bouaghi, Algérie

Lamia.hamza@yahoo.fr

**Résumé**— Cet article présente un état de l'art sur les différents systèmes hypermédiat adaptatifs proposés dans la littérature. Le but de cet état d'art est de préciser le problème de l'optimisation dans les systèmes hypermédiat adaptatifs. Dans les dernières années, les styles d'apprentissage sont connues une large utilisation pour l'amélioration de critère d'adaptation. Nous essayons dans cet article d'exploiter les styles d'apprentissage dans la proposition d'une approche d'optimisation de l'adaptation dans les systèmes hypermédiat adaptatifs.

**Mots clés**— *Application hypermédia, Adaptation, Styles d'apprentissage, Optimisation.*

## I. INTRODUCTION

La présentation d'information en mode hypermédia concerne un domaine qui fait l'objet de nombreuses recherches et discussions. Les systèmes hypermédiat 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 [1]. Les systèmes hypermédiat 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 [2].

Les systèmes hypermédiat adaptatifs ont la capacité de modifier leurs caractéristiques selon leur perception des buts, des caractéristiques personnelles, des préférences et des connaissances de l'apprenant [3]. De ce fait, les systèmes hypermédiat adaptatifs 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 [4]. Cependant des questions s'imposent : **Quelle est l'information la plus adéquate et quel est le parcours pédagogique le plus adéquat pour un apprenant et qu'est ce qu'une présentation adaptée ?** Dans une application hypermédia, 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, nous pouvons reformuler les questions précédentes en une seule question principale : **Quelle est l'adaptation la plus optimisée pour un apprenant?**

## II. ETAT D'ART

Pour tenter d'y répondre à la question précédente, nous essayons de présenter dans cette section les différents systèmes hypermédiat adaptatifs proposés dans la littérature.

La plupart de ces systèmes exploitent dans leurs architectures divers modèles de connaissances [5] pour offrir un apprentissage et des techniques d'enseignement personnalisés. Dans [6] les auteurs montrent que l'architecture générale de la majorité des systèmes hypermédiat adaptatifs se résume à : un **modèle de l'apprenant, un modèle de contenus et une stratégie d'adaptation**. C'est pour cette raison, nous essayons de présenter les différents systèmes hypermédiat adaptatifs proposés dans la littérature selon les trois modèles précédents.

### A) Modèle de l'apprenant

L'estimation des caractéristiques d'un utilisateur est essentielle pour les applications qui exigent une adaptation, telles que la recherche documentaire sur le Web [7], l'accès aux pages Web pour des utilisateurs atteints d'handicaps [8] et [9], ou le commerce électronique [10]. Dans le contexte de l'apprentissage humain, le principe fondamental mis en oeuvre consiste à estimer les besoins de l'apprenant pour adapter les contenus de document hypermédia [4].

Selon [11] le modèle de l'apprenant peut être scindé en modèle de connaissances et de préférences (attitude). Le modèle de connaissances de l'apprenant contient des informations sur le niveau de connaissances de l'apprenant au regard de chaque concept considéré dans le modèle conceptuel de contenus. Dans [11], les auteurs utilisent un modèle à deux couches : la couche *Verified* contient le niveau de connaissances des concepts qui ont été évalués d'une manière sommative, alors que la couche *Estimated* contient une estimation du niveau de connaissances par la collecte et le traitement d'informations diverses reflétant le comportement de l'apprenant pendant la session

d'apprentissage (ex : pages visités, temps d'accès aux pages).

L'approche des auteurs est de considérer que les concepts, dont les pages n'ont pas été visités, ne peuvent être connus. Ce principe a déjà été utilisé par d'autres auteurs comme Brusilovsky dans le système ELM-ART-II [12] pour définir un modèle de connaissances à plus de deux niveaux (concepts: visited, evaluated, inferred, etc). Mais dans ce cas, 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 modèle de préférences contient des informations qui décrivent des caractéristiques autres que le niveau de connaissances. Les données qui peuvent être trouvés sont l'âge, la capacité linguistique et des informations sur le matériel qu'il utilise comme le débit de sa connexion internet. Dans ce cas, les données sont souvent stockées sous la forme de couples *Attribut-valeur*. Dans [13] les auteurs précisent que ces données sont à considérer comme l'ensemble des préférences d'un apprenant. Elles sont obtenues par un agent qui observe le comportement de l'apprenant dans son activité. Cependant des questions s'imposent: Comment mesurer les valeurs des attributs du modèle de l'utilisateur ? Et quand effectuer cette mesure ?

Dans [14] 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 [15].

Une autre solution consiste à déléguer la tâche au système qui peut évaluer en cours de session les attributs indirects de l'utilisateur par une analyse de la navigation (pages ou liens utilisés) ou bien le temps passé sur un concept donné (pages ou groupes de pages). Ce principe est utilisé par le serveur de gestion de modèles d'apprenants CUMULATE présenté dans le cadre d'un système d'enseignement adaptatif distribué [16]. CUMULATE enregistre, entre autre, les activités de l'utilisateur au cours de la session (ex : lecture de page, réponse à une question, analyse d'un exemple).

Dans certains systèmes tels que le système TANGOW (Task-based Adaptive learNer Guidance On the WWW) [17] le modèle d'apprenant est basé sur le style d'apprentissage pour aider l'apprenant dans sa tâche. Le principe est de supposer que les apprenants ayant des caractéristiques proches auront un comportement similaire face à une tâche d'apprentissage.

Le système Heritage Alive Learning System [18] et les systèmes qui ont été développés dans [19] exploitent aussi le style de l'apprentissage pour adapter l'information à l'apprenant. Ils utilisent le modèle de

Felder et Silverman [20] qui contient quatre dimensions (*sensing/intuitive, visual/verbal, sequential/global, active/reflective*).

Le système iWeaver [21] est fondé sur les préférences de perception (*auditif, visuel-image, visuel-texte, tactile kinesthésique, kinesthésique interne*), ainsi que les quatre préférences psychologiques des apprenants (*impulsif, réfléchi, global, analytique*). Pour identifier les styles d'apprentissage, les apprenants répondent au questionnaire *Building Excellence Inventory* [22] lorsqu'ils utilisent le système pour la première fois. Sur la base de leurs réponses, le modèle initial de l'apprenant est construit.

Par conséquent, uniquement les modes de présentation et les outils d'apprentissage qui conviennent sont présentés aux apprenants. Toutefois, les apprenants ont aussi accès à d'autres modes de présentation et des outils d'apprentissage cachés. En outre, le contenu du menu de navigation est généré dynamiquement en fonction des progrès des apprenants. Une extension de iWeaver est planifiée pour mettre à jour le modèle de l'apprenant en se basant sur le comportement des apprenants dans le cours, leurs commentaires et les réactions des apprenants ayant un profil similaire.

SACS (*Style-based Ant Colony System*) [23] est un autre système qui utilise les quatre modalités de perception des apprenants (*visuelle, auditive, de lecture/écriture, kinesthésique*). Le système est fondé sur le modèle de style d'apprentissage de VARK [24] 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.

## B) Modèle de contenus

Le modèle de contenus des systèmes hypermédia adaptatifs est composé d'un ensemble d'éléments qui représentent des fragments élémentaires de connaissances du domaine étudié [25]. Ils sont nommés différemment en fonction des systèmes hypermédia adaptatifs (concepts, éléments de connaissances, sujet) et sont souvent organisés de façon hiérarchique.

Les systèmes hypermédia adaptatifs manipulent des concepts de différents types. Par exemple, dans le contexte de l'enseignement de la programmation par des exercices, un concept peut contenir de la connaissance générale (ex : programming schema) ou de la connaissance spécifique (un exercice avec un exemple de code source comme application spécifique d'un programming schema).

Le système ALEA possède un modèle de contenu hiérarchique qui suit ce principe. Il est composé de concepts auxquels les auteurs ont associé les types suivants: Text, Programming scheme, Exercise, Test. Chaque concept est ensuite décomposé en fragments

élémentaires (Text, Exercise definition, Exercise hint, Exercise solution, Source code).

Le framework MEDEA [11] est composé d'un modèle de contenus 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. Par exemple, chaque concept possède comme attribut une valeur qui indique quel est le seuil minimum d'estimation au dessus du quel on estime que l'apprenant maîtrise le concept étudié.

Dans [26] les auteurs ont conçu le modèle de contenu du système DCG (Dynamic Course Generation) sur la base du modèle hiérarchique. Chaque noeud représente un élément de connaissances (*concepts, sujet, règles, etc.*) alors que les arcs représentent des opérateurs booléens (*ET, OU*). Si deux noeuds A et B sont connectés avec un troisième noeud C à l'aide d'un arc de type ET, cela indique que les concepts associés aux noeuds A et B doivent être acquis par l'apprenant pour qu'il puisse étudier le concept associé au noeud C. Dans le cas où l'arc est du type OU alors la maîtrise de l'un des deux concepts suffit pour passer à l'étude du concept associé au noeud C.

Les auteurs ont de plus ajouté un autre attribut aux arcs afin d'augmenter leur sémantique. En effet, les arcs peuvent aussi être qualifiés par un second attribut qui peut prendre les valeurs : *temporel, causal, analogie, pré-requis, agrégation* ou *généralisation*. Ainsi lorsque deux noeuds A et B sont reliés à un troisième noeud C avec un arc de type ET-AGREGATION, cela signifie que C a comme sous-concepts A et B. Alors que s'ils sont connectés avec un arc de type OU-GENERALISATION, cela indique que C est un concept général qui peut avoir comme instances possibles A ou B.

Le système INSPIRE (INtelligent System for Personalized Instruction in a Remote Environment) [15] exploite cette structure pour son modèle de contenus. Il s'agit d'un système hypermédia d'enseignement adaptatif. Il a comme objectif de rendre l'apprenant maître de son parcours d'apprentissage. Le modèle de contenus du système est basé sur la notion d'objectifs d'apprentissage que l'apprenant est autorisé à choisir pour débiter son étude. INSPIRE fournit à l'apprenant différentes sortes d'activités pédagogiques et de ressources. Le modèle du domaine est représenté par trois niveaux hiérarchiques : *Objectif d'apprentissage, concepts et matériels pédagogiques*.

INSPIRE utilise les métadonnées pour décrire les modules de connaissances [27]. 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'apprenant.

### C) Stratégies d'Adaptation

Les systèmes adaptatifs ont la capacité de s'ajuster à chaque utilisateur en analysant les actions des différents utilisateurs [28]. Ils utilisent essentiellement deux techniques d'adaptation : *adaptation de la présentation* et *adaptation de la navigation* [2].

#### *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 [2].

Adapter la présentation peut aussi consister à modifier la manière de présenter une information à l'apprenant. Par exemple, il est possible de modifier le comportement d'un système lorsque l'apprenant réalise une évaluation formative [11]. Les réponses aux questions peuvent être fournies à l'apprenant une après l'autre à la suite de chaque question ou bien en un seul bloc à la fin du questionnaire.

TRella [11] préconise de corrélérer ce genre d'adaptation au niveau de motivation de l'apprenant. En effet, proposer la réponse après chaque question sera la solution adoptée lorsque l'apprenant montre peu de motivation à l'activité. Le principe étant d'essayer de stimuler sa curiosité en lui proposant une correction progressive du questionnaire. La difficulté reste néanmoins de mesurer correctement le niveau de motivation de l'apprenant.

#### *Adaptation de la navigation*

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

- *Annotation adaptative*

Le système Hera [29] préconise une adaptation de la navigation basée sur le niveau d'expertise de l'apprenant dans le domaine étudié. Cette adaptation est statique, c'est à dire qu'elle n'évolue pas en cours de séquence. Deux modèles sont à considérer ici. Le modèle conceptuel qui spécifie les données (contenus sous forme hiérarchique) du domaine à étudier et le modèle d'application qui capture la logique de l'application (navigation entre les concepts). En début de séquence, le modèle d'application est conçu comme un modèle de type différentiel sur le modèle conceptuel.

Le modèle d'application ne contient alors que les concepts que l'apprenant est considéré pouvoir suivre

en fonction de son niveau d'expertise (débutant, normal, expert). Le modèle d'application est vu alors comme un sous-ensemble du modèle conceptuel.

Cela se traduit à l'écran par une modification de l'affichage des hyperliens auxquels le système ajoute des symboles colorés pour indiquer à l'apprenant ce qu'il est préférable de faire dans le contexte actuel (généralement en fonction de son niveau de connaissances sur le concept étudié).

Le système ELM-ART [30] ajoute à chaque lien présent à l'écran un feu bicolore (identique aux feux de circulation) qui conseille l'apprenant sur le parcours à suivre dans la page. Un feu de couleur rouge indiquera à l'apprenant qu'il ne lui est pas conseillé de suivre ce lien, alors qu'un feu de couleur verte l'engagera à découvrir le contenu de la page pointée.

Ce genre d'annotation ne donne pas à l'apprenant une image de son niveau de connaissances ou de sa progression dans le système sur le sujet étudié. Le système INSPIRE [15] pour combler cette lacune, complète l'information (qui dans ce cas est une lampe torche : éteint = déconseillé, allumée = conseillé) 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'apprenant 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*) [31] et [32] est un système adaptatif qui utilise la technique d'annotation adaptative pour offrir à l'apprenant 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 [33] et un langage générique d'adaptation des styles d'apprentissage appelé LAG-XLS [31].

- *Ordonnement de programme*

La technique d'ordonnement 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'apprenant 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 apprenant 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'apprenant dans les meilleures conditions pour atteindre l'objectif pédagogique.

Par exemple, dans [34] l'apprenant subit un pré-test en début de chapitre pour vérifier s'il possède les pré-requis nécessaires à la compréhension du concept étudié. Dans le cas où l'apprenant n'obtient pas une note supérieure à un certain seuil, le système considère

que l'apprenant ne possède pas les pré-requis et lui refuse donc l'accès aux contenus. A la fin du chapitre, l'apprenant subit une évaluation sommative afin de vérifier si l'objectif pédagogique visé est atteint.

Dans [25] les auteurs présentent le système DCG (Dynamic Course Generation). Ce système est capable de générer un cours individualisé pour chaque apprenant en tenant compte de l'objectif pédagogique à atteindre (un concept ou un sujet que l'apprenant doit apprendre). La génération prend en compte le niveau de connaissances de l'apprenant. Le coeur de l'architecture du système est la représentation explicite de la structure des concepts du domaine étudié qui est dissociée du matériel pédagogique à utiliser.

DCG utilise la structure des concepts (représentée par un ensemble de règles) comme une feuille de route pour générer le plan du cours. En tenant compte du concept que l'apprenant désire étudier ainsi que des concepts marqués comme acquis dans son modèle de l'apprenant (initialisé par un prétest), un composant logiciel recherche la route qui connecte les concepts connus par l'apprenant à celui à étudier. L'apprenant voit les séquences pédagogiques reliées à chaque concept figurant dans le plan du cours généré. A chaque moment, l'apprenant peut tester son niveau de connaissances sur le concept courant en faisant une évaluation sommative. Le résultat du test est enregistré dans le modèle de l'apprenant comme étant le niveau de connaissances de l'apprenant pour le concept courant. Si l'apprenant n'est pas capable d'atteindre un score minimum au test, un nouveau plan peut être construit en cours de session.

Le système INSPIRE [15] est construit sur ce principe. Il a comme objectif d'aider les apprenants dans la phase d'apprentissage en proposant des contenus adaptés à leur niveau de connaissances dans le domaine étudié [35]. Ainsi, il propose aux novices dans le domaine étudié des contenus simplifiés au début de leur interaction avec le système, avant de les enrichir progressivement en fonction de leur performance en cours de session d'apprentissage. Basé sur la notion d'objectif d'apprentissage que l'apprenant sélectionne, INSPIRE génère les leçons correspondant à ce besoin d'apprentissage en fonction du niveau de connaissances de l'apprenant ainsi que de son style d'apprentissage [15].

Le système hypermédia d'enseignement adaptatif centré sur les styles d'apprentissage proposé dans [36] 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 [37] un Framework générique de web service a été défini. Ce Framework permettant l'adaptativité itérative d'un artefact plate-forme de formation aux différents styles (visuel, auditif, kinesthésique) des apprenants. Ce Framework générique de service web adaptatif pouvant être greffé sur n'importe quelle plate-forme afin de favoriser l'adaptativité. Ce Framework repose sur l'analyse des traces d'interaction des apprenants sur la plateforme, à partir de cette analyse le profil des interactions d'un apprenant est défini. Lors de la connexion suivante de l'apprenant, des actions adaptatives sont déclenchées, ces actions permettent d'initier sur la plate-forme la mise en valeur de certains services ou fonctionnalités.

### III. SYNTHÈSE

A partir de l'état d'art que nous avons vu précédemment, nous pouvons décomposer les systèmes hypermédia adaptatif en trois catégories : la première catégorie utilise le modèle de l'apprenant pour adapter les contenus de document hypermédia à partir d'estimation de l'ensemble des caractéristiques de l'apprenant (préférences et connaissances) comme le système ELM-ART-II [30] et le système CUMULATE présenté dans le cadre d'un système d'enseignement adaptatif distribué [7]. La deuxième catégorie part de modèle de contenu pour traiter le critère de l'adaptation, elle organise ce modèle 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 [11]. 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 [29].

Certains systèmes hypermédia adaptatifs appartiennent à chacune des trois catégories précédentes comme le fait le système INSPIRE [15]. Le modèle de l'apprenant de ce système utilise un questionnaire pour définir le style d'apprentissage de l'apprenant. Le système INSPIRE possède un modèle de contenu hiérarchique. Ce modèle de contenus est basé sur la notion d'objectifs d'apprentissage que l'apprenant 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.

Nous pouvons aussi classer les systèmes hypermédiés adaptatifs selon leurs utilisations de style d'apprentissage de l'apprenant pour garantir la notion de l'adaptation en deux classes. Les systèmes de la première classe utilisent seulement le niveau de connaissance de l'apprenant pour proposer une adaptation, comme le fait le système ELM-ART-II [30].

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 le fait le système hypermédia d'enseignement adaptatif centré sur les styles d'apprentissage proposé dans [36]. Ainsi que le Framework définit dans [37] qui propose de mettre en place un processus dynamique d'adaptativité de l'EIAH au style des apprenants dans le cadre d'un dispositif de formation de type industriel.

### IV. PROBLEMATIQUE

A partir de la synthèse précédente, nous pouvons conclure que la recherche dans le domaine des systèmes hypermédia adaptatif progresse dans le sens à améliorer de critère de l'adaptation en se basant sur le style d'apprentissage de l'apprenant. Quelques études comme celle présentée dans [26] montrent que l'adaptation d'un cours aux styles d'apprentissage des apprenants a amélioré les scores des apprenants. Une étude proposée dans [38] montre que cette adaptation aux styles d'apprentissage a permis un apprentissage aisé et une satisfaction des apprenants. Une autre étude proposée dans [36] montre que la prise en compte des styles d'apprentissage, en tant que critère d'adaptation, a optimisé l'apprentissage et amélioré les performances des apprenants. Le Framework définit dans [37] propose une adaptativité générique et itérative aux interactions des apprenants, en rapprochant ces interactions des styles d'apprentissage.

Cependant, les systèmes hypermédia adaptatifs basées 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 qui reste se pose toujours dans ce domaine est : **Est ce que l'adaptation fournie à l'apprenant est l'adaptation la plus optimisée pour lui ? Et Comment optimiser l'adaptation fournie aux apprenants ?** C'est l'objectif de notre recherche.

### V. L'IDEE PROPOSEE

Notre idée part des réponses offertes par les questions précédentes. La première question est liée au comportement de l'apprenant. Le système hypermédia adaptatif cherche à tout moment à offrir l'information la plus pertinente à l'apprenant pour fournir une adaptation optimisée à son comportement. Pour cela, il est nécessaire d'évaluer l'apport de l'adaptation de parcours d'apprentissage des apprenants par rapport à leurs performances. Cette évaluation peut être effectuée par plusieurs outils, par exemple, par un questionnaire. Enfin, sur la base de cette évaluation nous pouvons obtenir une réponse à la première question.

Concernant la seconde question, pour optimiser l'adaptation d'un parcours d'apprentissage des apprenants, nous avons besoin de prendre en compte les différences individuelles, notamment, le — *style d'apprentissage* || des apprenants comme des critères d'adaptation. Donc, nous avons besoin d'une approche d'optimisation basée sur les styles d'apprentissage

permettant d'optimiser les adaptations fournies aux apprenants. De ce fait, notre idée consiste à proposer une approche d'optimisation d'adaptation basée sur les styles d'apprentissage.

## VI. CONCLUSIONS

Dans cet article, nous avons essayé de présenter le problème d'optimisation dans les systèmes hypermédia adaptatifs. Dans un premier temps, nous avons présenté un état d'art sur les différents systèmes hypermédiés adaptatifs proposés dans la littérature.

A partir de cet état d'art nous avons conclu que la recherche dans ces systèmes progresse dans le sens à améliorer le critère de l'adaptation par utilisation des styles d'apprentissage des apprenants. Nous avons exploité cet axe de recherche pour présenter notre idée qui consiste à proposer une approche d'optimisation d'adaptation dans les systèmes hypermédia basée sur les styles d'apprentissage.

## REFERENCES

- [1] A. Tircot, *Modélisation Des Processus Cognitifs Impliqués Par La Navigation dans Les Hypermedias*, Thèse de Doctorat, 1994.
- [2] P. Brusilovsky, *Adaptive hypermedia: From intelligent tutoring systems to web-based education*. Paper presented at the Intelligent Tutoring Systems, 5th International Conference, ITS 2001, Montréal, Canada, 2001.
- [3] P. Brusilovsky, and L. Pesin, *ISIS-Tutor: An adaptive hypertext learning environment*, JCKBSE'94, Japanese-CIS Symposium on knowledge-based software engineerin, Pereslavl-Zalesski, Russia, 83-87, 1994.
- [4] G. Fischer, *User Modeling in Human-Computer Interaction*, User Modeling and User-Adapted Interaction, 11(1 – 2), 65 – 86, 2001.
- [5] Y. Zhang, and Z. Liu, *A Model of Web Oriented Intelligent Tutoring System for Distance Education*, Fifth International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications (ICCIMA'03), pp. 78, 2003.
- [6] E. Triantafillou, A. Pomportsis, and S. Demetriadis, *The design and the formative evaluation of an adaptive educational system based on cognitive styles*, Computers & Education 41 : 87-103, Elsevier, 2003.
- [7] P. Brusilovsky, and C. Tasso, *Preface to Special Issue on User Modeling for Web Information Retrieval*, User Modeling and User-Adapted Interaction, 14( 2 – 3), 147 – 157, 2004.
- [8] C. Alexandraki, A. Paramythis, N. Maou, and C. Stephanidis, *Web Accessibility through Adaptation*, Lecture Notes in Computer Science, 3118, 302 – 309, 2004.
- [9] C. Stephanidis, *Adaptive Techniques for Universal Access*, User Modeling and User-Adapted Interaction, 11(1 – 2), 159 – 179, 2001.
- [10] D. Pierrakos, G. Paliouras, C. Papatheodorou, and C. Spyropoulos, *Web Usage Mining as a Tool for Personalization: A Survey*, User Modeling and User-Adapted Interaction, Volume 13 (4), 311 – 372, 2003.
- [11] M. Trella, R. Conejo, D. Bueno, and E. Guzmán, *An autonomous component architecture to develop WWW-ITS*, In Brusilovsky P, Henze N, Milln E. (eds.) Proceedings of the Workshops on Adaptive Systems for Web-Based Education, Malaga (this volume), 2002.
- [12] G. Weber, and M. Specht, *User modeling and adaptive navigation support in WWW based tutoring systems*, In Jameson, A, Paris C, Tasso C. (Eds.), User Modeling, Springer-Verlag, Wien, 289-300, 1997.
- [13] S. Schiaffino, and A. Amandi, *User profiling with Case-Based Reasoning and Bayesian Networks*, International joint conference IBERAMIA-SBIA 2000 – Atibaia, Brazil, 2000.
- [14] C. Cristea, and F. Garzotto, *ADAPT Major Design Dimensions for Educational Adaptive Hypermedia*, ED-MEDIA'04, AACE, 2004.
- [15] K. Papanikolaou, M. Grigoriadou, H. Kornilakis, and G. Magoulas, *Personalizing the interaction in a Web-based educational hypermedia system: The case of INSPIRE*, User Modeling and User-Adapted Interaction, 13(3), 213-267, 2003.
- [16] P. Brusilovsky, *KnowledgeTree: A Distributed Architecture for Adaptive E-Learning*, WWW 2004, New York, New York, USA. ACM 1-58113-912-8/04/0005, 2004.
- [17] R. Carro, E. Pulido, and P. Rodriguez, *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, 49-57, 1999.
- [18] H. Cha, Y. Kim, S. Park, T. Yoon, Y. Jung, and J. Lee, *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, 2006.
- [19] E. Sangineto, N. Capuano, M. Gaeta, and A. Micarelli, *Adaptive course generation through learning styles representation*, Universal Access in the Information Society, 7(1-2), 1-23, 2007.
- [20] R. Felder, and L. Silverman, *Learning and teaching styles in engineering education*, Engineering Education, 78(7), 674-681, 1988.
- [21] C. Wolf, *Construction of an Adaptive E-learning Environment to Address Learning Styles and*

*an investigation of the Effect of Media Choice*. Thèse de Doctorat en philosophie, RMIT University, Melbourne, Australia, 2007.

[22] S. Rundle, and R. Dunn, *The guide to individual excellence: A self directed guide to learning and performance solutions*. New York: Performance Concepts International, 2000.

[23] T. Wang, and M. Huang, *Using a style-based ant colony system for adaptive learning*, Expert Systems with Applications, 34: 2449-2464, 2008.

[24] N. Flemming, *I am Different; Not Dumb. Modes of Presentation (V.A.R.K.) in the Tertiary Classroom*. In A. Zelmer (ed.): Research and development in higher education. Proceedings of the 1995 annual conference of the higher education and research development society of Australia (HERDSA), 18: 308-313, 1995.

[25] P. Brusilovsky, *Authoring Tools for Advanced Technology Learning Environments*, Chapter Developing Adaptive Educational Hypermedia Systems: from Design Models to Authoring Tools, 377-409, 2003.

[26] N. Bajraktarevic, W. Hall, and P. Fullick, *Incorporating learning styles in hypermedia environment: Empirical evaluation*. Dans P. De Bra et al. (dir.), *AH2003: Workshop on Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems*, 41-52), 2003.

[27] C. Piombo, *Modélisation probabiliste du style d'apprentissage et application à l'adaptation de contenus pédagogiques indexés par une ontologie*, Thèse de doctorat : pp. 327 , Université de TOULOUSE, 2007.

[28] E. Gaudioso, and G. Boticario, *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, Spain, 143-152, 2002.

[29] F. Frasinca, P. Barna, G. Houben, and Z. Fiala, *Adaptation and Reuse in Designing Web Information Systems*, International Conference on Information Technology: Coding and Computing (ITCC'04) Volume 1, pp. 387, 2004.

[30] G. Weber, and P. Brusilovsky, *ELM-ART: An adaptive versatile system for Web-based instruction*. *International Journal of Artificial Intelligence in Education* 12 (4), Special Issue on Adaptive and Intelligent Web-based Educational Systems, 351- 384, 2001.

[31] N. Stash, A. Cristea, and P. Bra, *Adaptation to Learning Styles in ELearning: Approach Evaluation*, World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education, VA, AACE, 2006.

[32] N. Stash, *Incorporating Cognitive/Learning Styles in a General-Purpose Adaptive Hypermedia System*, Eindhoven University of Technology, Netherlands. Thèse de Doctorat: pp. 250, 2007.

[33] P. De Bra, A. Aerts, D. Smits, and N. Stash, *More Adaptation Flexibility for Authors*. *Proceedings of the AACE ELearn'2002 Conference*, AHA! Version 2.0, 2002.

[34] S. Weibelzahl, and G. Weber, *Adapting to Prior Knowledge of Learners*. Proceedings of the second International Conference on Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-based Systems, Spain, 448-451, 2002.

[35] J. Bransford, A. Brown, and R. Cocking., *How People Learn. Brain, Mind, Experience, and School*. Committee on Developments in the Science of Learning, Commission on Behavioral and Social Sciences and Education, National Research Council, National Academy Press, Washington, 1999.

[36] A. Dahbi, N. El kamoun, and A. Berraissoul, *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), 2007.

[37] M. Laroussi, and P. Caron, *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 apprenant*. Publié dans "Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain, Conférence EIAH'2011, Belgique, 2011.

[38] S. Graf, *Adaptivity in learning management systems focusing on learning styles*. Thèse de doctorat, Vienna University of Technology, Autriche, 2007.