

OLIVIER LECLAIR

**MODÉLISATION DES INTERFACES UTILISATEUR
INTELLIGENTES POUR LES ENVIRONNEMENTS
INFORMATISÉS DÉDIÉS À L'APPRENTISSAGE HUMAIN**

Mémoire présenté
à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval
dans le cadre du programme de maîtrise en informatique
pour l'obtention du grade de maître ès sciences (M.Sc.)

Département d'Informatique et de Génie Logiciel
FACULTÉ DES SCIENCES ET DE GÉNIE
UNIVERSITÉ LAVAL
QUÉBEC

2010

Résumé

Les interfaces utilisateur intelligentes (IUI) est un domaine de recherche relativement jeune et pluridisciplinaire, car il fait appel à l'ingénierie des connaissances et au domaine des interfaces personne-machine. Nous avons choisi un cadre spécifique, les environnements informatisés dédiés à l'apprentissage humain (EIAH), pour ainsi bien cibler nos recherches. En étudiant la documentation scientifique sur les IUI dans des EIAH, nos recherches ont montré qu'il y a absence de modèle pour construire des IUI efficaces. Pour remédier ce problème, nous proposons un modèle générique d'IUI qui intègre cinq composantes d'interface pour améliorer les EIAH. Ce modèle a été construit à partir de l'étude des critères d'évaluation d'interfaces et de l'étude d'IUI dans des EIAH existantes. Ce modèle a pour but de créer des IUI qui répondent mieux aux besoins des utilisateurs, qui améliorent l'interaction entre l'humain et la machine, et donc aident les personnes dans leur apprentissage. De plus, il se veut un guide afin de faciliter la conception de ces IUI. Ce modèle a été mis à l'épreuve par une évaluation heuristique par des experts afin de démontrer que notre modèle atteint bien ses objectifs. L'intégration des cinq composantes rend les IUI plus efficaces et de meilleure qualité et leur description peut facilement être réutilisable pour toute autre conception d'IUI de EIAH. Cependant, la mise à jour régulière du modèle s'avère nécessaire et une description plus formelle des composantes pourraient être proposées.

Avant-propos

Avant de commencer j'aimerais remercier mesdames Nicole Tourigny et Laurence Capus, directrice et codirectrice de recherche, pour leur patience et leur dévouement. Elles m'ont très bien épaulé pendant la réalisation de ce mémoire de maîtrise. J'aimerais également remercier les membres du laboratoire ERICAE que j'ai connus au fil du temps. Ils m'ont également aidé, par leurs idées et commentaires, à rédiger ce mémoire.

J'aimerais également remercier M. Nadir Belkhiter et Mme Renée-Marie Fountain d'avoir gentiment accepté d'agir à titre d'examineurs pour ce mémoire.

Enfin, je voudrais dire un immense merci à Geneviève, ma conjointe, qui m'a vraiment motivé à terminer ce mémoire.

Table des matières

Résumé.....	i
Avant-propos	ii
Table des matières	iii
Liste des tableaux.....	v
Table des figures.....	vi
Chapitre 1. Introduction.....	1
1.1. Contexte.....	1
1.2. Problématique et motivations	3
1.3. Objectifs.....	4
1.4. Méthodologie.....	4
1.5. Résultats obtenus	5
1.6. Contribution.....	5
1.7. Plan du mémoire	6
Chapitre 2. État de l'art : les IUI dans les EIAH	7
2.1. Fondements des IUI.....	8
2.1.1. L'IC.....	9
2.1.2. Les IPM.....	13
2.1.3. Apports de l'IC aux IPM	18
2.1.4. Caractéristiques des IUI.....	19
2.1.5. Modèles et méthodes de conception des IUI	23
2.2. Fondements des EIAH.....	26
2.2.1. Notions élémentaires.....	27
2.2.2. Les modèles et méthodes de conception.....	28
2.3. Évaluation des interfaces	30
2.3.1. Guidage.....	31
2.3.2. Charge de travail.....	32
2.3.3. Contrôle explicite.....	32
2.3.4. Adaptabilité.....	33
2.3.5. Gestion des erreurs.....	34
2.3.6. Homogénéité et cohérence.....	35
2.3.7. Signifiante des codes et dénominations	35
2.3.8. Compatibilité	35
2.4. Étude des IUI dans des EIAH.....	36
2.4.1. Système tutoriel intelligent pour diagnostiquer les styles d'apprentissage	37
2.4.2. Méthodologie d'interface adaptable pour un système tutoriel intelligent	39
2.4.3. Conception d'une IUI pour un système d'agent enseignant.....	40
2.4.4. Les aspects des IUI dans des EIAH.....	42
2.4.5. Naviguer à travers l'interface de RLATES.....	43

2.4.6.	La conception et l'évaluation formative d'un système éducationnel basé sur les styles cognitifs	45
2.4.7.	Système Web d'apprentissage intelligent possédant un guidage avec chemin d'apprentissage personnalisé	46
2.5.	Problématique	47
Chapitre 3.	Modèle d'interface pour les EIAH.....	52
3.1.	Présentation générale du modèle	52
3.1.1.	Objectifs.....	53
3.1.2.	Aperçu général du modèle	54
3.2.	Composantes du modèle	57
3.2.1.	Contenu personnalisé.....	58
3.2.2.	Liens hypertextes adaptés	67
3.2.3.	Mécanismes de guidage direct.....	71
3.2.4.	Fenêtres d'aide supplémentaires.....	74
3.2.5.	Menu de préférences spécifiques.....	79
3.3.	Conclusion du chapitre	82
Chapitre 4.	Évaluation du modèle	83
4.1.	Comment évaluer?	83
4.1.1.	Les révisions par des experts	84
4.1.2.	Les tests d'utilisabilité et les laboratoires	85
4.1.3.	Les sondages.....	85
4.1.4.	Les tests d'acceptation.....	86
4.2.	Évaluation d'IUI	87
4.2.1.	Système d'apprentissage Web avec un chemin d'apprentissage personnalisé	88
4.2.2.	Diagnostic des styles d'apprentissage sur le comportement des interfaces utilisateurs.....	92
4.2.3.	La conception d'une IUI pour des systèmes d'apprentissage avec agent.....	95
4.2.4.	Naviguer dans les interfaces de RLATES : un système web éducationnel intelligent et adaptable	97
4.2.5.	La conception et l'évaluation formative d'un système éducationnel adaptable basé sur les styles cognitifs.....	101
4.2.6.	SPEAC : système de présentation d'exemples encourageant l'auto-explication et la collaboration.....	104
4.2.7.	SPHINX : un outil d'accompagnement de l'apprentissage en dehors de la classe	108
4.3.	Conclusion	112
Chapitre 5.	Résultats et discussion	114
5.1.	Présentation des résultats.....	114
5.2.	Discussion.....	117
5.2.1.	Comparaison avec les résultats attendus.....	117
5.2.2.	Avantages et limites du modèle.....	120
5.2.3.	Améliorations proposées.....	121
5.3.	Conclusion	121
Chapitre 6.	Conclusion	123
Bibliographie	125

Liste des tableaux

Tableau 1. Critères d'évaluation dans les articles.....	36
Tableau 2. Résumé des critères d'évaluation dans les IUI	49
Tableau 3. Dimensions des styles cognitifs	62
Tableau 4. Sommaire des résultats des systèmes à l'évaluation.....	113
Tableau 5. Performance des EIAH étudiés pour chacun des éléments.....	115
Tableau 6. Performance des éléments d'interface pour chacune des EIAH.....	116

Table des figures

Figure 1. Exemple d’IUI à partir du modèle.....	57
Figure 2. Description de la composante « contenu personnalisé ».....	59
Figure 3. Exemple de contenu personnalisé [IGL03a]	60
Figure 4. Exemple de modèle de l'étudiant.....	66
Figure 5. Modèle du domaine inspiré de [POT02]	67
Figure 6. Description de la composante « liens hypertextes adaptés ».....	70
Figure 7. Exemple de liens hypertextes adaptés [TRI03].....	71
Figure 8. Description de la composante « mécanismes de guidage direct »	72
Figure 9. Exemple de mécanismes de guidage direct.....	74
Figure 10. Description de la composante "fenêtres d'aide supplémentaires".....	75
Figure 11. Exemple de fenêtre pour discuter [CUR04a]	76
Figure 12. Exemple de fenêtre pour les conseils [DAV03].....	78
Figure 13. Exemple de fenêtre d'affichage graphique des concepts [TRI03].....	79
Figure 14. Description de la composante « menu des préférences spécifiques ».....	80
Figure 15. Exemple de menu des préférences spécifiques	81
Figure 16. Fenêtre d'identification [CHE08]	91
Figure 17. Fenêtre de pré-test [CHE08].....	91
Figure 18. Fenêtre avec le chemin d'apprentissage [CHE08].....	91
Figure 19. Fenêtre avec le cours choisi [CHE08].....	91
Figure 20. Fenêtre de contenu personnalisé [CHE06].....	94
Figure 21. Fenêtre de la table des matières [CHE06]	94
Figure 22. Fenêtre de conseils [DAV03].....	97
Figure 23. Fenêtre du quiz pour Betty [DAV03].....	97
Figure 24. Fenêtre de consultation des leçons [IGL03a].....	100
Figure 25. Fenêtre de choix des leçons [IGL03a].....	100
Figure 26. Fenêtre de préférences des couleurs [IGL03a].....	101
Figure 27. Fenêtre avec contenu personnalisé [TRI03].....	104
Figure 28. Fenêtre supplémentaire pour afficher les concepts [TRI03]	104
Figure 29. Fenêtre principale de SPEAC [POT05].....	107
Figure 30. Fenêtre de contenu du cours [POT05].....	107
Figure 31. Fenêtre de collaboration [POT05].....	108
Figure 32. Fenêtre principale de SPHINX [Cur04a]	111
Figure 33. Fenêtre de conseils de SPHINX [Cur04a].....	111
Figure 34. Fenêtre de collaboration de SPHINX [CUR04a]	112
Figure 35. Fenêtre d'affichage du modèle de l'étudiant [CUR04a]	112

Chapitre 1. Introduction

De nos jours, la technologie joue un rôle important dans de nombreux domaines, comme la médecine, l'éducation, les loisirs, etc. Ainsi, le nombre de systèmes informatiques augmente à un rythme effréné. Les besoins informatiques et technologiques de ces systèmes sont très variés. Certains ont besoin d'être très sécuritaires et d'autres doivent être faciles d'utilisation. L'augmentation de l'utilisation des systèmes informatiques amène les développeurs informatiques à créer des interfaces mieux adaptées aux besoins des utilisateurs. Le domaine de l'éducation en est un bon exemple, car les étudiants n'apprennent pas tous de la même manière, ni au même rythme.

Ce mémoire traite donc de la modélisation d'interfaces personne-machine (IPM) pour les environnements informatisés dédiés à l'apprentissage humain (EIAH). Nous intégrons des techniques d'intelligence artificielle (IA) aux modèles classiques d'interface utilisateur afin de mieux répondre aux besoins des utilisateurs de ces systèmes informatiques. Nous utiliserons donc le terme d'interface utilisateur intelligentes (IUI). La modélisation constitue une étape essentielle dans le processus de conception d'un système informatique. Ainsi, notre travail pourra servir de guide lors de cette étape importante.

Dans ce chapitre, nous allons d'abord décrire le contexte de notre travail et présenter la problématique. Par la suite, nous discuterons des différents objectifs visés. Nous décrirons ensuite la méthodologie qui sera utilisée pour atteindre nos objectifs ainsi que les résultats obtenus. Nous expliquerons notre contribution à la conception des IUI pour les EIAH. Enfin, le plan du mémoire conclura ce chapitre.

1.1. Contexte

La présence accrue des nouvelles technologies amènent les gens à être de plus en plus en contact avec des systèmes informatisés. L'arrivée d'Internet dans les foyers est un bon

exemple de contact avec les utilisateurs. Il y a une expression qui affirme que la première impression est importante. Dans un système informatique, la première impression est laissée par l'interface. Les interfaces jouent alors un rôle primordial pour améliorer l'expérience de l'utilisateur avec le système. Nous pouvons également affirmer, en toute bonne foi, que les interfaces permettent d'améliorer la communication entre le système et les utilisateurs. Le choix de l'interface devient donc une étape très importante dans le processus de développement d'un système informatique.

Cependant, les méthodologies de développement conventionnelles n'offrent pas d'étapes pour la création d'interfaces [BEL07]. Les informaticiens s'occupent avant tout de définir les fonctions logicielles avant de se préoccuper des utilisateurs, engendrant la création de mauvaises interfaces qui ne répondent pas nécessairement aux besoins des utilisateurs ou qui sont difficiles à utiliser. L'expérience de l'utilisateur en est ainsi entachée.

Parmi les domaines grands consommateurs d'interfaces, nous nous intéressons à celui des EIAH. C'est un domaine en plein essor, par conséquent il existe encore de nombreux problèmes à résoudre lors de leur conception [TCH09] dont la conception d'interfaces utilisateur. Un des mécanismes le plus souvent utilisé dans la conception d'interfaces est la personnalisation des interfaces en fonction d'un utilisateur. Pour réaliser cette personnalisation, il faut conserver de l'information sur les utilisateurs et la gérer. Les techniques de l'ingénierie des connaissances (IC), issues du domaine de l'IA, sont les mieux appropriées pour répondre à cette spécificité, car elles permettent de manipuler des connaissances sur ordinateur. C'est donc en utilisant les techniques de l'IC dans la construction des IPM que nous obtenons des interfaces plus intelligentes appelées IUI.

Selon Maybury et Wahlster [MAY98], les IUI sont des IPM qui permettent d'améliorer l'efficacité et le rendement de l'expérience d'utilisation des interfaces ainsi que de tendre vers une interaction entre l'humain et la machine plus naturelle. Ces buts sont atteints en représentant, en raisonnant et en interagissant avec différents modèles : utilisateurs, domaine, tâches, discours et médias. Ainsi, le domaine de recherche des IUI se trouve à l'intersection

des domaines des IPM, de l'ergonomie, des sciences cognitives, de l'IA et de ses sous-domaines, plus particulièrement l'IC.

Les IUI peuvent donc être très utiles pour le domaine de l'éducation. Par exemple, l'utilisation d'une IUI pour un EIAH permettra de présenter les informations d'un sujet d'étude donné, en fonction des besoins et des connaissances apprises par les différents utilisateurs. Cette utilisation permettra également de personnaliser l'EIAH et d'augmenter son efficacité.

Mais quel modèle d'interface employer lors de la construction d'un EIAH? Un tel modèle devrait prendre en compte les besoins des différents utilisateurs qui sont très variés. Ils peuvent passer du simple changement de couleurs de l'affichage à la façon de présenter les informations à l'écran. Nous nous demandons alors comment considérer ces différents besoins lors de la conception du système.

1.2. Problématique et motivations

La conception des IUI est une tâche complexe et qui demande une bonne analyse des besoins des utilisateurs. D'ailleurs, elle possède son propre domaine de recherche. Ce domaine se situe souvent sous la branche de l'IC, permettant de fournir les outils pour mieux interagir avec les utilisateurs, comme la méthodologie proposée par Charlet *et al.* [CHA99]. De plus, le domaine de recherche des IUI est rattaché à celui des IPM, permettant de fournir des guides et principes pour concevoir une bonne interface, comme ceux proposés par Shneiderman [SCH98].

Si nous nous intéressons à l'utilisation des IUI dans les EIAH, d'autres disciplines sont mises à profit. Il y a les sciences cognitives qui permettent d'étudier les impacts de l'utilisation des outils informatiques sur les comportements des apprenants et leurs apprentissages, ainsi que les sciences éducatives qui viennent fixer les objectifs pour les apprenants et les systèmes. Nous pouvons donc conclure que la conception des IUI pour les EIAH est pluridisciplinaire.

La conception des IUI est un domaine de recherche relativement nouveau. Donc, il n'existe pas beaucoup de système comportant des IUI. Toutefois, il en existe quelques uns dans le domaine des EIAH. Par exemple, le système RLATES (Reinforcement Learning in Adaptive and intelligent Educational System) [IGL03a] est un système éducationnel disponible sur le Web utilisant un modèle d'apprentissage pour personnaliser l'affichage. D'autres auteurs proposent des méthodes de conception des IUI, entre autres Benyon [HOO00] et Curilem *et al.* [CUR04]. Certains proposent des méthodes adaptées à certaines catégories d'utilisateurs, comme les aveugles [AKO00]. Malgré les propositions de méthodes de conception, aucun travail de recherche ne propose un modèle d'interface générique pour la conception des systèmes regroupant les éléments utiles à toute interface. À notre connaissance, les travaux ne proposent que des solutions à un problème particulier.

1.3. Objectifs

L'objectif principal de ce travail de maîtrise est de proposer des éléments d'interface, via un modèle générique, qui permettent de construire des IUI dans les EIAH. Il est impératif en effet que le domaine de recherche des IUI présente un modèle d'interface générique, qui s'adapte à la plupart des besoins des systèmes informatiques à développer. Ce modèle fournit des éléments d'interface pour créer des IUI qui répondent mieux aux besoins des utilisateurs, permet d'améliorer l'interaction entre l'humain et la machine, et donc d'aider les personnes dans leur apprentissage. D'autre part, ce modèle permet de faciliter la conception des IUI et permet de les rendre plus efficaces et de meilleure qualité.

1.4. Méthodologie

Pour atteindre nos objectifs, nous avons adopté une stratégie comptant plusieurs étapes. D'abord, nous avons fait une revue de littérature afin de bien cerner les fondements du domaine des IUI et d'identifier ce qui a été proposé comme systèmes et éléments d'interface jusqu'à présent. À partir de cette revue, nous avons constaté qu'aucun modèle d'IUI n'était proposé afin d'offrir une solution générale pour concevoir des IUI dans les EIAH. Ainsi, nous avons décidé de concevoir un modèle générique d'interface.

Pour concevoir un modèle d'interface efficace, nous avons d'abord étudié les critères d'évaluation utilisés pour apprécier les interfaces. À partir de ces critères, nous avons pu classer les différents éléments d'interface trouvés lors de notre revue de littérature. Une fois les éléments identifiés, nous avons proposé un modèle d'IUI pour notre domaine choisi, les EIAH. Une fois le modèle d'interface élaboré, nous l'avons validé à l'aide d'une méthode d'évaluation appliquée sur plusieurs IUI existantes. Ces IUI sont toutes dans des EIAH, dont deux de ces systèmes ont été développés par l'équipe de recherche ERICAE de l'Université Laval et utilisés par les étudiants du baccalauréat en informatique, lors d'un cours d'introduction à l'intelligence artificielle.

1.5. Résultats obtenus

Nous avons élaboré un modèle d'IUI pour les EIAH. Ce modèle propose différents éléments d'interface pour concevoir des IUI efficaces et utiles. Ces éléments d'interfaces permettront notamment l'affichage de différents contenus à l'écran selon les connaissances des utilisateurs, un cheminement particulier pour chacun d'eux et un guide interactif.

Ce modèle constitue également un guide pour les concepteurs des IUI pour les EIAH. Il va leur faciliter la tâche pour bien représenter les besoins des utilisateurs dans le produit fini. Étant donné que nous partons des critères d'évaluation pour établir notre modèle, nous nous assurons, à l'aide d'une méthode d'évaluation, que ce modèle respecte les standards attendus, ce qui rend ce modèle plus efficace.

1.6. Contribution

Même si plusieurs travaux proposent des éléments d'interface pour concevoir des IUI dans des EIAH, il n'existe pas à notre connaissance de modèle d'interface générique pour concevoir ces IUI. Donc, en fournissant un tel modèle et en rassemblant les connaissances requises pour concevoir les IUI, nous pensons que notre travail permettra de faciliter et

systematiser le travail de conception des IUI et aussi de produire des systèmes mieux adaptés aux utilisateurs lors de leur apprentissage.

1.7. Plan du mémoire

Dans le chapitre 2, *État de l'art*, nous décrivons les domaines de recherche qui sont à la base de la conception des IUI et nous ferons un survol de ce qui est proposé dans la littérature pour ce domaine. De plus, nous décrivons les critères d'évaluation des interfaces qui est notre point de départ pour trouver les éléments nécessaires à notre modèle. Pour le chapitre 3, *Modèle d'interface pour les IUI dans les EIAH*, nous présenterons le modèle d'interface que nous avons élaboré pour améliorer la qualité des IUI dans le milieu éducationnel. Dans le chapitre 4, *Évaluation du modèle*, nous évaluerons plusieurs IUI dans des EIAH pour valider notre modèle. Dans le chapitre 5, *Résultats et discussion*, nous présenterons la mise en œuvre de nos critères d'évaluation et leur application sur plusieurs IUI dans des EIAH existantes. À partir de ces résultats, nous discuterons des avantages et les limites de notre modèle d'interface et proposerons des améliorations. Enfin, nous conclurons en rappelant les points importants de notre travail, en donnant quelques avenues futures.

Chapitre 2. État de l'art : les IUI dans les EIAH

La conception des IUI est un processus qui fait appel au domaine de recherche des IPM combiné au domaine de l'IC. L'utilisation de techniques de l'IC permet de rendre les interfaces plus « intelligentes ». Ces techniques utilisent des connaissances, qui sont conservées par le système, pour afficher différemment les informations à l'écran. Ainsi, en adaptant le contenu de l'interface selon l'utilisateur, cette dernière devient en quelque sorte intelligente. L'utilisation de ces techniques permet aux interfaces d'être plus faciles d'utilisation, de mieux cibler les besoins des utilisateurs et de les guider dans leur utilisation. Nous pouvons conclure que la conception des IUI est une tâche complexe, car elle inclut l'étude de ces deux domaines de recherche.

L'IC propose de nombreuses techniques qui amènent différents apports aux systèmes informatiques. Il faut bien connaître ces techniques avant de les utiliser pour améliorer les interfaces. Le choix de la technique va dépendre de ce que nous voulons apporter à nos IUI. De plus, il existe dans la communauté plusieurs règles à suivre pour standardiser les interfaces et les rendre agréables aux yeux des utilisateurs. Plusieurs de ces règles proviennent du domaine des IPM. Il faut alors tenir compte de ces règles lors de la conception d'IUI pour obtenir de bonnes interfaces et s'assurer que l'utilisation des techniques de l'IC soit en harmonie avec ces règles. Donc, les modèles d'interface des IUI doivent tenir compte de nombreux fondements qui proviennent de domaines différents.

Les processus de développement de systèmes informatiques incluent tous une étape de tests. Cette étape est très importante car elle permet d'identifier les ajustements à faire à l'application. Pour que cette étape soit couronnée de succès, il est impératif d'identifier les critères d'évaluation sur lesquels nous voulons nous baser. C'est aussi le cas lors de la conception des interfaces. Il faut avoir des critères d'évaluation pour savoir ultérieurement si les interfaces construites atteignent les objectifs pour lesquels elles ont été conçues.

Les interfaces sont le premier contact que les utilisateurs ont avec le système, il est alors impératif que ces interfaces répondent aux différents critères d'évaluation. Ces critères peuvent varier selon le type d'interface et de système. Certains critères seront plus généraux, par exemple les critères d'esthétisme, qui comprennent notamment l'arrangement des composantes dans l'interface. Certaines règles ont été proposées par divers auteurs. Le suivi de ces règles permet d'avoir des interfaces homogènes entre elles et cela rend l'interaction de l'utilisateur avec le système plus conviviale et agréable. D'autres types de critères vont s'ajouter dépendamment des interfaces à développer. Les IUI auront des critères spécifiques, car ce qui caractérise essentiellement ce type d'interfaces des autres est l'adaptabilité aux différents utilisateurs.

Ce chapitre va permettre de présenter les différents fondements qui définissent le domaine des IUI et d'établir le contexte de notre étude. Il permettra également de présenter les problématiques actuelles. Pour ce faire, nous décrirons d'abord les différents domaines impliqués en commençant par celui des IUI, en présentant les liens avec l'IC et les différences avec le domaine des IPM. Ensuite, nous ferons la description des quelques éléments de méthodes proposées pour concevoir les IUI. Par la suite, nous ferons un survol du domaine d'application de notre étude, les EIAH. Puis, nous discuterons des différents critères d'évaluation des IUI, qui seront le point de départ pour établir notre modèle d'interface. Nous présenterons également plusieurs IUI de EIAH, pour permettre de faire ressortir les différents éléments d'interface nécessaires pour bien répondre aux critères d'évaluation. Enfin, nous établirons la problématique de notre étude.

2.1. Fondements des IUI

Par définition, un fondement est le point de départ logique d'un système d'idées le plus simple et le plus général d'où nous pouvons déduire un ensemble de connaissances [Le Petit Robert, 1982]. À partir de cette définition, nous pouvons dire qu'un fondement est à la base de la définition d'une théorie ou d'une science. Donc, pour bien cerner le domaine des IUI et

ainsi comprendre ses enjeux, nous devons décrire les différents fondements qui constituent ce domaine.

Le domaine de recherche des IUI est un domaine plus spécifique que celui des IPM, car il combine les techniques du domaine de l'IC avec les règles de construction des IPM. Donc, pour décrire le domaine des IUI, nous discuterons de caractéristiques d'interfaces supplémentaires à celles des IPM.

Dans cette section, nous présenterons d'abord les notions élémentaires de chacun des domaines sous jacents aux IUI, soit l'IC et les IPM. Pour chacun de ces domaines nous les définirons et présenterons leur historique, les différents modèles d'interface existants et quelques exemples de systèmes appartenant à ces domaines. Ensuite, nous mettrons en évidence les principales caractéristiques des IUI. Enfin, nous terminerons avec la présentation de modèles d'interface utilisés par les méthodes de conception pour construire des IUI.

2.1.1. L'IC

L'IC est née dans les années 1970 avec l'art de construire des systèmes experts, aussi appelés systèmes basés sur les connaissances (SBC) ou systèmes d'information avec des connaissances (en anglais : knowledge-intensive). Un système expert est un système à base de connaissances exécutant une tâche donnée, qui, si elle était réalisée par un humain, ce dernier en serait un expert [SCH00]. Les premiers SBC ont été construits surtout pour les domaines de la vie courante, comme le diagnostic de maladies infectieuses ou la prédiction de la présence de dépôts de minéraux dans différentes régions géographiques de la Terre. Les SBC constituent une percée importante de la discipline de l'IA.

L'IC est donc un sous-domaine de l'IA et ce dernier peut se définir ainsi : « C'est le domaine d'étude qui porte sur la construction de systèmes réalisant des tâches qui, si elles étaient accomplies par des êtres humains, seraient considérées intelligentes » [DAR00]. Le domaine de l'IA se compose de plusieurs sous-domaines d'étude. En plus de l'IC, il y a entre

autres l'étude du traitement des langues naturelles, l'étude des agents et l'apprentissage automatique.

Aujourd'hui, le champ d'étude de l'IC s'est élargi et peut se définir comme étant l'étude des concepts, méthodes et techniques permettant de modéliser et/ou d'acquérir les connaissances, pour des systèmes réalisant ou aidant des humains à réaliser certaines tâches se formalisant a priori peu ou pas [CHA99]. En d'autres mots, ce domaine a pour but de construire des artefacts informatiques visant à aider les humains dans des tâches difficiles requérant la mise en œuvre de connaissances pour l'humain comme pour la machine.

Il existe différents sujets d'étude à l'intérieur de l'IC. Les principaux sont l'acquisition des connaissances, appelée aussi élicitation des connaissances, la modélisation des connaissances, l'utilisation de raisonnements ou inférences à partir de connaissances, les mécanismes d'apprentissage et les agents. L'acquisition des connaissances est, en règle générale, la première étape de développement d'un système informatique manipulant des connaissances et permet d'aller chercher toutes les connaissances qui serviront à construire le système. Par la suite, il faut modéliser ces connaissances pour qu'elles soient utilisables par les raisonnements de notre système. Ces raisonnements sont découpés en différentes tâches qui sont réalisées par différents acteurs du système. Par exemple, nous pouvons avoir une tâche de diagnostic du mauvais fonctionnement d'un organe, en médecine. Les mécanismes d'apprentissage permettent au système de retenir de l'information sur l'utilisation de l'application ou sur le traitement des connaissances à l'intérieur du système. Enfin, le terme agent est utilisé à deux fins. Un agent est un petit programme, qui effectue une tâche intelligente, et qui est indépendant du système. Par exemple, un agent pourrait servir pour fournir de l'aide et apparaîtrait sur demande ou quand l'agent détecte un mauvais usage d'un système. L'autre signification est qu'un agent est l'acteur d'un système qui exécute une tâche. Pour le reste du travail, nous utiliserons le terme agent en tant que petit programme indépendant du système, à moins d'une spécification contraire.

L'IC propose des méthodes et outils (modélisation cognitive, langages de modélisation et de représentation, etc.) pour des domaines plus axés sur les connaissances. Parmi les

domaines possibles, nous trouvons la médecine, la recherche d'information sur le Web, la gestion et la capitalisation des connaissances en entreprise, le domaine de l'enseignement, etc. Ces méthodes doivent être utilisées judicieusement et doivent être encadrées dans une méthodologie de développement de systèmes.

Le domaine de l'IC ne possède pas de méthodologie de développement standard et acceptée par l'industrie. Par contre, la méthodologie CommonKADS [SCH00] semble être celle qui est le plus souvent privilégiée. Cette méthodologie est basée sur un modèle de développement en spirale. Ainsi, chacune des étapes peut être raffinées au cours du développement du système. Les étapes de développement sont :

- **Faisabilité** : Cette étape permet de savoir si le projet est faisable, du point de vue de l'argent et du temps.
- **Ingénierie des connaissances** : Cette étape permet de faire l'acquisition des connaissances, de les modéliser et de définir les tâches à accomplir. C'est l'étape équivalente à l'analyse du système à développer.
- **Conception** : Cette étape permet de concevoir chacune des parties du SBC.
- **Implantation** : Cette étape permet de réunir ensemble les différents modules qui ont été conçus à l'étape précédente et de s'assurer du bon arrimage entre ces modules.
- **Test** : Cette étape permet de tester le bon fonctionnement du système et aussi de savoir si le système exécute les bons traitements.
- **Maintenance** : Cette étape permet de régler les problèmes qui surviennent suite à la mise en production du système. De plus, cette étape sert aussi à relever les nouveaux besoins de développement pour le système.

La méthodologie CommonKADS propose différents modèles qui permettent de construire le système. Ces différents modèles sont obtenus lors de différentes étapes du processus de développement. La plupart des modèles sont obtenus lors de l'étape de l'ingénierie des connaissances. Les différents modèles sont [SCH00] :

- **Modèle d'organisation** : Ce modèle présente l'organisation dans laquelle le système sera implanté. Il fait partie des modèles du domaine et sera produit lors de l'analyse du contexte du système.
- **Modèle des tâches** : Ce modèle décrit les différentes tâches que le système devra réaliser. Ces tâches sont généralement des tâches complexes qui sont réalisées par les êtres humains. Ce modèle sera produit lors de l'analyse du contexte du système.
- **Modèle d'agent** : Ce modèle donne les différents acteurs qui interagissent avec le système. Les agents peuvent être les utilisateurs, les autres systèmes de l'organisation, etc. Ce modèle fait partie des modèles du domaine et sera produit lors de l'analyse du contexte.
- **Modèle des connaissances** : Ce modèle explicite les connaissances du domaine et autres connaissances qui seront utiles au système. Il doit tenir compte des trois modèles précédents et est construit à partir de ces derniers. Ce modèle fait partie des modèles du domaine et sera produit lors de l'analyse des concepts.
- **Modèle de communication** : Ce modèle présente les différentes interactions entre les agents et les différentes composantes du système. Tout comme le précédent, il doit tenir compte des trois premiers modèles et est construit à partir de ces derniers. Ce modèle sera produit lors de l'analyse des concepts.
- **Modèle de conception** : Ce modèle précise la façon d'implanter les différents modèles pour la création du système. Il est le seul qui sera produit lors de l'étape de conception.

Ces différents modèles sont combinés pour obtenir le système désiré.

De nombreux SBC ont été développés au fil des années grâce à l'IC et ses méthodes. Ces SBC se retrouvent dans plusieurs domaines différents de la vie, comme la médecine, l'éducation, la recherche minière, etc. Par exemple, MYCIN [DAR00] est un système qui permet d'assister les médecins dans la sélection des antibiotiques pour les infections graves. Ce système a été conçu en 1976 par une équipe de recherche de l'Université de Stanford aux États-Unis. Un autre système est DART [DAR00], qui permet de faire la planification et la gestion de toute la logistique d'une guerre. Ce système a été utilisé durant la première guerre du Golfe en 1990. Le système GPSS (Ground Processing Scheduled System) [DAR00] est,

quant à lui, un système qui permet de céduer les opérations de recyclage entre deux vols dans l'espace par les navettes de la NASA. Ce système a été développé en 1993.

Les méthodes et techniques proposées par l'IC vont contribuer à fournir les éléments d'interface pour la construction des IUI, car celles-ci peuvent être considérées comme des systèmes manipulant des connaissances pour réaliser une tâche intelligente. En effet, ces méthodes vont permettre aux interfaces de conserver des connaissances sur l'utilisateur et de modifier leur affichage en tenant compte de ces connaissances. La construction des IUI devra aussi tenir compte des techniques et règles de l'art de la construction des IPM, car ces techniques et règles ont fait leurs preuves et sont pertinentes que l'interface soit intelligente ou non.

2.1.2. Les IPM

Une interface personne-machine (IPM) est un panorama qui permet à un utilisateur d'interagir avec un système informatique dans le but d'accomplir une tâche donnée. L'interface affiche graphiquement les informations à l'écran et les utilisateurs peuvent interagir avec l'interface à l'aide de différents médiums, comme le clavier, la souris, etc. Une bonne IPM devrait faciliter le travail humain.

Au tout début de l'ère de l'informatique, les ordinateurs ne possédaient pas d'interface. Il y avait plutôt un écran noir avec une « invite » pour écrire du texte. Donc, les utilisateurs n'interagissaient avec la machine qu'à l'aide du clavier. La première interface, proprement dite, a fait son apparition en 1974 avec ParcStation de Xerox [BEL07]. Cette première interface représentait les objets à manipuler et elle a permis l'introduction de la souris. Le premier ordinateur, abordable, d'utilisation personnelle avec une interface est apparu en 1984 avec l'apparition de l'ordinateur personnel produit par Macintosh® [BEL07]. Le premier standard de développement d'interface est apparu en 1987 et était proposé par Apple Computers®. Par la suite, en 1991, IBM a proposé des règles pour le développement appelé « IBM's Common User Access » [BEL07]. Puis en 1995, la première version standardisée de Windows de Microsoft® est devenue la référence en termes d'interface.

Les interfaces utilisateurs peuvent changer la vie de tous les jours pour plusieurs personnes, leur permettant de se concentrer davantage sur les tâches pour lesquelles est construit le système. Par exemple, les médecins peuvent émettre de meilleurs diagnostics, les enfants apprennent de façon plus efficace, les pilotes d'avion conduisent de façon plus sécuritaire, etc. Nous disons que, lors d'une entrevue pour un emploi, la première impression compte pour beaucoup, les IPM constituent la première impression que les utilisateurs ont du système informatique, Donc, il faut que ces IPM soient de qualité pour satisfaire les utilisateurs, si ce n'est pas le cas alors ces derniers peuvent ressentir de la frustration, de la peur et même refuser d'utiliser le système. Une bonne interface en est une qui est transparente pour l'utilisateur, c'est-à-dire que l'interface est tellement conviviale que l'utilisateur oublie sa présence. Cette caractéristique permet à l'utilisateur de se concentrer sur son travail, ses recherches ou son plaisir.

Étant donné que l'interface fait le pont entre le système et l'utilisateur, il est important que le système de son côté soit fiable, disponible, sécuritaire et intègre au niveau des données. Un système est fiable lorsque ses commandes effectuent les opérations attendues, lorsque les données affichées reflètent celles de la base de données, etc. Un système est disponible lorsqu'il répond promptement et n'affiche pas d'erreurs de disponibilité. Un système est intègre lorsque les données que les utilisateurs échangent avec le système sont protégées et en accord avec la base de données. Si le système échoue sur l'un des points précédents, alors l'utilisateur aura une mauvaise expérience et n'appréciera pas l'interface qu'il a devant ses yeux, quelque soit son niveau de qualité.

Selon Shneiderman [SHN98], la construction d'IPM de qualité repose sur certains principes généraux, les huit règles d'or, que nous rappelons en suivant :

1. Cohérence : Les interfaces doivent réagir de la même façon pour une même action de l'utilisateur. Par exemple, si l'utilisateur doit cliquer sur la touche de tabulation pour que le curseur se déplace d'un champ de l'interface à un autre, alors la touche de tabulation ne devra pas fermer une fenêtre dans un autre panorama. De plus, les

interfaces doivent être cohérentes au niveau de leur apparence. Il faut, par exemple, que les boutons pour fermer la fenêtre se retrouvent au même endroit d'un panorama à l'autre.

2. Abréviations : Les interfaces doivent fournir des raccourcis au clavier pour les fonctions les plus courantes. Les raccourcis permettent aux utilisateurs d'économiser du temps et de l'énergie. Par exemple, les interfaces peuvent fournir un raccourci pour copier et coller du texte dans ces champs. Les raccourcis sont, en général, « CTRL+C » pour copier et « CTRL+V » pour coller.
3. Rétroaction informative : Les interfaces doivent montrer à l'utilisateur une réaction pour chacune des actions de ce dernier. Ceci permet aux utilisateurs de voir que leur action a fonctionné. Si le système ne fournit aucune réaction, les utilisateurs vont probablement recommencer l'action qu'ils viennent de réaliser. Par exemple, si l'utilisateur demande de sauvegarder ces informations, il est possible de faire apparaître une icône de sauvegarde dans le bas de la fenêtre. Cet icône disparaît une fois le traitement terminé.
4. Complétude du dialogue : Les interfaces doivent être conçues pour que les actions possibles sur un sujet soient groupées ensemble. Par exemple, lorsque les utilisateurs demandent une impression, la fenêtre d'impression peut proposer la modification du format du document pour l'impression, la visualisation avant l'impression, ou encore le choix de l'imprimante et enfin imprimer le document. Ainsi, les utilisateurs voient les résultats pendant la réalisation du groupe d'actions et les impacts de chaque action sur les autres. Les utilisateurs peuvent voir qu'il y a une fin à la série d'actions.
5. Traitement simple des erreurs : Les interfaces doivent gérer les erreurs qui peuvent survenir et en avertir les utilisateurs. Ceci permet d'éviter que les utilisateurs aient des résultats non voulus à leurs actions. Si l'interface n'affiche pas de message d'erreur, les utilisateurs ne sauront pas que leurs actions n'ont pas fonctionné. Par exemple, si

l'utilisateur entre sa date de naissance dans le mauvais format, il faut que l'interface avertisse l'utilisateur que ce n'est pas le bon format.

6. Réversibilité des actions : Les interfaces doivent permettre que les actions des utilisateurs soient réversibles, c'est-à-dire qu'elles peuvent être défaites et que l'état de l'interface revient à ce qu'il était avant l'action. Par exemple, si l'utilisateur remplit un formulaire à l'écran, il faut lui permettre de revenir en arrière s'il veut corriger certaines informations.
7. Contrôlabilité du système : Les interfaces doivent montrer que ce sont les utilisateurs qui ont le contrôle. Ce principe s'obtient en réagissant de façon attendue aux actions et en fournissant une aide adéquate. Par exemple, l'interface ne doit pas faire apparaître un message pour demander à l'utilisateur de sauvegarder si cela fait trop longtemps que cela n'a pas été fait. Une alternative pour l'interface est de conserver une sauvegarde temporaire en cas de perte du document.
8. Réduction de la charge mentale à court terme : Les interfaces doivent être conçues de façon la plus simple possible, en évitant de trop surcharger l'écran. Ainsi, la mémoire d'un utilisateur est moins mise à l'épreuve s'il n'a pas à retenir la série d'actions qu'il doit réaliser pour obtenir le résultat escompté. De plus, si l'écran est trop surchargé, les utilisateurs ne sauront pas quel est l'ordre des différents contrôles de l'interface et ils auront beaucoup de difficultés à voir les informations pertinentes.

Les chercheurs et les praticiens de nombreux domaines apportent une contribution au domaine des IPM. Les théoriciens du domaine de la psychologie étudient les aspects cognitifs et perceptuels des humains. Les concepteurs de logiciels étudient les meilleures façons de disposer les informations à l'écran. Les concepteurs de matériel informatique construisent du matériel de plus en plus performant, offrant plus de possibilités pour l'interaction. Ainsi, plusieurs méthodologies font leur apparition.

Les méthodologies de développement traditionnelles, comme celle proposée par Boehm en 1988 [SHN98], aide les développeurs à rencontrer les budgets et l'échéancier. Par contre, elles n'offrent pas de guide pour le développement d'interfaces utilisateur. En 1993, quelques académiciens, comme Hix et Hartson ou Nielsen, avec l'aide de consultants expérimentés ont développé la première génération de méthodologies de développement orientées vers les interfaces utilisateur [SHN98]. Ensuite, quelques firmes commerciales ont bâti de nouvelles méthodologies à partir des principes de la première génération, ce qui a créé une deuxième génération de méthodologies. L'une d'elles est « Logical User-Centered Interactive Design Methodology (LUCID) », qui a été créée par Kreitzberg en 1996 [SHN98]. Cette méthodologie, orientée vers la qualité et la facilité d'utilisation des interfaces, propose six étapes :

1. Développer les concepts du produit : Cette étape a pour but de créer le concept majeur, d'établir les objectifs des interfaces, de former l'équipe pour les tests, d'identifier les utilisateurs, les risques techniques et organisationnels possibles et de produire l'échéancier, le budget, etc.
2. Faire les recherches et analyser les besoins : Cette étape consiste à partitionner la population d'utilisateurs en segments homogènes, diviser les activités de travail en unités de tâches, dessiner le flot du processus en séquences de tâches, faire l'analyse des besoins, identifier les parties principales et la structure. Elle consiste également à rechercher à résoudre les risques techniques et autres contraintes.
3. Concevoir les concepts et les prototypes des principaux écrans : Cette étape permet de créer les objectifs d'utilisation spécifiques des utilisateurs, d'initier les règles à suivre pour le développement, de sélectionner un modèle de navigation et une métaphore de conception, d'identifier les écrans principaux, de développer les prototypes de ces écrans et de conduire les tests unitaires du bon fonctionnement de l'interface.

4. Faire le design et le raffinement itérativement : Le but est de transformer les prototypes d'écrans en système complet, de permettre aux experts de tester, de faire les tests d'utilisation complets et de fournir le prototype et les spécifications du futur système.
5. Développer le logiciel : Cette étape permet de développer selon les standards de l'industrie, de gérer les changements de dernière minute et de développer l'aide en ligne, la documentation et les tutoriels.
6. Fournir le support après implantation : À la fin de cette étape, la formation et l'assistance sont fournies et les évaluations sont réalisées. Le but est aussi d'étudier les « logs » et de faire la maintenance du système.

L'arrivée d'Internet oblige les concepteurs d'interfaces à tenir compte des différents types d'utilisateurs, car une page Web peut être visualisée par des milliers d'utilisateurs différents. Donc, l'importance d'une bonne conception est primordiale pour ce nouveau domaine. La popularité des ordinateurs fait aussi sa part dans l'augmentation de l'utilisation de plusieurs logiciels. Si nous prenons en exemple le système d'exploitation Microsoft® Windows, ce dernier est toujours en constant changement, car la compagnie essaie de rendre son interface de plus en plus conviviale. L'évolution des technologies permet l'apparition de nouveaux domaines de recherche comme les IUI.

2.1.3. Apports de l'IC aux IPM

L'IC propose de nombreuses techniques qui permettent de rendre les systèmes plus intelligents. Nous pouvons penser au raisonnement à partir d'inférences qui permet d'adapter l'interface utilisateur différemment pour chacun des usagers [KEE00]. Il y a aussi l'approche heuristique qui permet d'offrir de meilleures recommandations aux utilisateurs [YOO04].

Le choix de ces techniques doit se faire pendant la période d'analyse lors du développement des IPM. En choisissant une technique de l'IC, les IPM deviennent des IUI, car elles sont alors capables de manipuler des connaissances. Il faut aussi bien choisir la bonne

technique pour réaliser notre but. Il est possible que plusieurs techniques permettent d'atteindre le même but. Par exemple, le raisonnement à partir d'inférences et le raisonnement humain plausible [VIR04] permettent d'adapter les IUI selon l'utilisateur. Parfois, les techniques sont complémentaires, par exemple, pour utiliser les deux techniques précédentes, il faut essentiellement modéliser les connaissances des utilisateurs.

L'utilisation des techniques de l'IC apporte plusieurs avantages. D'abord, cela permet de rendre les IUI plus adaptables en rendant les interfaces plus personnalisées et d'augmenter la satisfaction des utilisateurs. De plus, cela permet de rendre le travail moins routinier pour l'utilisateur. Puis, cela permet d'améliorer et surtout faciliter l'interaction humain-machine. Ainsi, l'utilisateur va avoir une plus grande facilité à utiliser le système et à s'y retrouver. Certaines techniques permettent également de rendre le système plus performant, ce qui rend son utilisation plus agréable.

Nous pouvons dire que les techniques de l'IC permettent de donner un nouveau souffle au domaine des IPM, en permettant d'offrir de nouvelles fonctionnalités aux interfaces et en les rendant plus attrayantes pour les utilisateurs. Avec l'arrivée des nouvelles technologies, il y a donc de plus en plus de personnes qui utilisent les systèmes informatiques, ainsi nous devons trouver de nouvelles façons pour rendre attrayant le travail avec la machine. L'utilisation des techniques de l'IC permet de le faire pour les interfaces utilisateurs. Il devient alors très utile d'incorporer ces techniques dans une méthodologie de développement.

2.1.4. Caractéristiques des IUI

Depuis l'apparition des premiers ordinateurs, les chercheurs n'ont pas arrêté d'essayer d'améliorer l'interaction entre l'humain et la machine. L'apparition des premières interfaces non textuelles a permis de plus grandes possibilités d'interaction. Le domaine de recherche des IPM a fait évoluer les standards de conception afin de rendre les interfaces agréables à utiliser. Par contre, le domaine a atteint certaines limites, comme dans la personnalisation des interfaces. Ainsi, est apparu une nouvelle classe d'interfaces, les IUI, qui vont permettre

d'augmenter les possibilités d'interaction. Ce nouveau domaine de recherche est apparu au début des années 90.

Les IUI sont des IPM qui utilisent les techniques du domaine de l'IC pour améliorer l'interaction avec les usagers. Ce type d'interfaces est souvent utilisé avec un système à base de connaissances, ce qui lui permet de conserver les informations nécessaires à ses divers modèles. L'ingénierie éducative est un exemple de domaine où les IUI sont régulièrement utilisées, car l'interaction entre les apprenants et le système est primordiale. Les IUI ont des buts différents et apportent des avantages additionnels aux utilisateurs, autres que ceux des IPM, ce qui leur permet d'avoir leur raison d'être. Les IUI doivent d'abord être transparentes, faciles d'utilisation et elles doivent apprendre à partir de leur utilisation qui en est faite par les utilisateurs. Voici les principaux avantages additionnels que les IUI apportent aux utilisateurs [MAY98] :

- la gestion des interactions en représentant, raisonnant et exploitant les modèles des utilisateurs, du domaine, des tâches et du contexte ;
- la réalisation de tâches déléguées de façon semi-automatique ou complètement automatique ;
- la compréhension des entrées multimodales qui sont imprécises, ambiguës et/ou partielles ;
- la génération de présentations multimodales qui sont coordonnées, cohérentes et cohésives.

En plus des avantages aux utilisateurs, les modèles d'IUI promettent également d'aider les développeurs à réduire le temps, les coûts et le niveau d'expertise nécessaires à leur développement.

Le domaine de recherche des IUI est un domaine assez jeune et pour lequel plusieurs champs de recherche sont en cours. Les différents champs de recherche sont [MAY98] :

- **L'analyse des intrants** : Ce champ est l'étude du traitement des entrées par l'utilisateur et de l'interaction de l'utilisateur avec l'interface. Le but est de trouver des moyens de mieux récupérer les intrants et d'étudier comment les nouvelles technologies peuvent permettre de récupérer de nouveaux intrants. Par exemple, il

existe une façon de savoir à quel endroit sur l'écran le regard de l'utilisateur est posé en utilisant une caméra Web.

- **La conception des extrants** : Ce champ pointe sur l'étude de l'aspect visuel des interfaces. On recherche des nouvelles techniques d'affichage qui peuvent être utilisées pour faciliter l'utilisation des interfaces, les règles à suivre pour la disposition des éléments à l'écran et la conception des éléments graphiques. Par exemple, une des techniques d'affichage est de colorer les liens de différentes couleurs selon les connaissances de l'utilisateur.
- **La modélisation des interfaces** : Ce champ est l'étude de l'utilisation des divers modèles, énumérés plus tôt, pour la conception des IUI. Ainsi, ce champ englobe la recherche pour adapter les différents modèles de l'IC ou en créer de nouveaux, la recherche de méthodologie de conception des IUI et l'utilisation des différentes techniques de l'IC pour la conception des IUI.
- **L'étude des agents** : les agents servent à accomplir une tâche indépendante pour l'interface. Par exemple, un agent fournit des conseils pour que les utilisateurs aient plus de facilité avec les fonctionnalités de l'interface. Ainsi, cela permet d'améliorer l'interaction entre la machine et l'humain.
- **L'évaluation des interfaces** : Ce champ est l'étude des méthodes pour faire l'évaluation des IUI. Ainsi, les recherches portent sur les techniques qui peuvent être utilisées pour évaluer les interfaces et sur les caractéristiques qui sont à évaluer. Ce champ d'étude est important, car il permet de démontrer que la méthode pour la conception des IUI que nous utilisons est adéquate et permet de créer de bonnes interfaces.

Les IUI, qui sont aussi appelées interfaces utilisateur attentives (en anglais : attentive user interface), peuvent être catégorisées en trois types différents [MAY98] :

- 1. Les interfaces personnalisées** : Ce sont des interfaces qui adaptent leur contenu selon les informations que le système possède sur un utilisateur donné. Par exemple, l'interface peut modifier son choix de menus selon les connaissances que l'utilisateur a du logiciel. Certains menus seraient disponibles seulement pour les utilisateurs experts.
- 2. Les interfaces basées sur des modèles** : Contrairement au type d'interfaces précédent, ce sont des interfaces qui utilisent différents modèles pour effectuer des tâches que les utilisateurs devraient effectuer autrement. Elles ne se limitent pas à la modification du contenu de l'affichage ou de la présentation. Les types de modèles proposés par la littérature sont : le modèle de l'utilisateur, le modèle du discours, le modèle de tâche, le modèle du domaine et le modèle des médias. Chacun de ces modèles contient des connaissances sur une partie de l'environnement du système, par exemple le modèle de l'utilisateur contient des connaissances sur les utilisateurs et le modèle du domaine contient des connaissances sur le domaine d'application, comme la médecine, les finances, etc.
- 3. Les agents d'interface** : Ce sont des petits programmes indépendants qui font partie de l'interface et qui permettent d'ajouter une fonctionnalité à cette dernière. Souvent les agents d'interface sont utilisés pour guider les utilisateurs et prodiguer des conseils sur l'utilisation de l'interface. Un exemple bien connu est l'outil de recherche d'aide pour Microsoft® Office. Cet agent s'appelle « le trombone » (en anglais : Clip-it) et questionne les utilisateurs pour savoir ce qu'ils cherchent réellement et tente de les orienter vers la bonne information.

Lors de la conception des IUI plusieurs techniques de l'IC sont utilisées pour rendre ces dernières plus interactives. Les techniques qui sont le plus souvent utilisées sont : la modélisation des connaissances, le raisonnement à partir d'inférences, le traitement du langage et l'approche heuristique pour la recherche et les mécanismes d'apprentissage [VIR04, AKO00, MCT00 et YOO04]. L'utilisation de ces techniques va permettre aux interfaces d'atteindre les objectifs des IUI. L'atteinte de ces objectifs apporte plusieurs avantages, comme une meilleure satisfaction des usagers, un système plus performant et un gain en temps d'utilisation pour les utilisateurs.

L'utilisation des IUI peut être utile dans plusieurs domaines qui demandent de l'interaction avec des utilisateurs qui ne sont pas des experts en informatique. Ainsi, les IUI vont permettre de faciliter l'utilisation du système pour les utilisateurs. Les domaines qui utilisent le plus souvent ce type d'interfaces sont le commerce électronique, la médecine, le monde des affaires et l'éducation.

La conception des IUI demande la connaissance du domaine de l'IC et celui des IPM. Le domaine des IPM contient certaines règles à suivre, comme nous l'avons vue précédemment dans ce chapitre, qui s'appliquent aux IUI, par contre d'autres sont violées pour permettre d'atteindre les objectifs, par exemple l'IUI aurait plus de contrôle sur l'affichage qu'une IPM, ce qui vient affecter la 7^e règle d'or. Pour bien concevoir les interfaces, il faut donc connaître le contexte de l'utilisation de l'interface (ex. : un système éducatif), il faut connaître la variété des utilisateurs et les différentes tâches que doit accomplir le système. L'utilisation de l'interface permettra d'initialiser les tâches du système et le résultat de ces tâches sera reflété par les interfaces. C'est pourquoi la conception des IUI doit suivre une méthode bien établie pour rencontrer les objectifs.

2.1.5. Modèles et méthodes de conception des IUI

La conception est un travail de création, difficilement prévisible. Donc, il est ardu de trouver une seule manière de concevoir qui s'adapte à tous les types de systèmes. Comme dans tout domaine créatif, la conception de systèmes informatiques nécessite une certaine discipline, utilise des techniques reconnues, a de bonnes et de mauvaises méthodes ou modèles, et utilise des techniques pour mesurer le succès du système.

Il est important de développer des systèmes de la bonne manière, car les systèmes bien conçus sont moins coûteux à développer et surtout coûteront moins cher à maintenir. Généralement, le fonctionnement de ces systèmes est plus facile à apprendre. Ces systèmes ont une meilleure performance, réduisent le nombre d'erreurs par les utilisateurs et fournissent aux utilisateurs un sentiment de maîtrise du système, ce qui leur donne une plus grande confiance pour explorer l'utilisation du système.

Voici quelques caractéristiques qui présentent l'aspect dynamique de la conception. La conception est un processus et non pas un état et on ne peut pas le représenter de façon statique. Le processus de conception n'est pas hiérarchique, nous ne pouvons utiliser une méthode unidirectionnelle, elle doit être itérative. Le processus est radicalement transformable, c'est-à-dire que des solutions intermédiaires trouvées durant le processus seront abandonnées en cours de route. Enfin, le processus de conception implique la découverte de nouveaux buts pour le système.

Dans le domaine des IUI, il n'y a pas de modèle d'interface reconnu comme un standard. La plupart des modèles proposés proviennent de méthodologies existantes mais qui sont adaptées aux besoins du système qui va contenir les IUI. Par exemple, Akoumianakis *et al.* [AKO00] proposent un modèle d'interface pour les environnements à multiples métaphores, c'est-à-dire des environnements qui sont utilisées par plusieurs groupes différents d'utilisateurs ayant des demandes d'interactions différentes avec le système. Les différents groupes d'utilisateurs sont : les voyants, les non-voyants, les sourds, etc. Ainsi, le modèle qu'ils proposent tient compte des besoins spécifiques des utilisateurs. Leur méthodologie de développement, utilisant le modèle, est inspirée des méthodologies traditionnelles de développement de système (analyse des besoins, architecture, analyse fonctionnelle et organique, développement, tests et mise en production). Par contre, ils ajoutent une étape de création de patrons pour les différentes recommandations en vue d'accommoder les différents utilisateurs.

La méthodologie propose une approche non conventionnelle par rapport aux standards de l'industrie. En règle générale, les méthodologies proposent des approches de haut en bas (top-down) ou de bas en haut (bottom-up), c'est-à-dire que nous partons du général vers le plus spécifique, et vice et versa. L'approche proposée par Akoumianakis *et al.* [AKO00] est plus du centre vers l'extérieur (middle-out), c'est-à-dire qu'on part des besoins généraux ou spécifiques, et on extraie toute l'information qui entoure ces besoins. L'avantage de cette approche est qu'elle reflète réellement le travail de développement, qui est rarement de haut en bas ou de bas en haut. Un autre avantage de la méthode proposée est qu'elle fonctionne de

façon orthogonale, c'est-à-dire que les développeurs peuvent utiliser n'importe quelle technique, considérée utilisable, pour tester un patron à travers les étapes de développement. Ceci permet d'augmenter les possibilités de développement de patrons différents. Malgré ces avantages, cette méthode de développement propose des solutions seulement pour le développement de système à multiples métaphores.

Stary [STA00] propose, quant à lui, une méthodologie, TADEUS, pour créer des IUI basées sur les tâches et orientées vers les utilisateurs. La méthodologie qu'il propose suit les mêmes étapes traditionnelles, par contre lors de l'analyse il propose de faire de la modélisation structurelle et dynamique des différentes composantes pour construire une IUI. Ainsi, il propose de définir, à l'aide de modèle, la structure des différentes composantes et l'interaction entre elles. Les composantes qu'il propose de modéliser sont les tâches, les utilisateurs, le domaine et les interactions entre les différentes connaissances. Ces modèles sont également proposés par la méthode CommonKADS.

La méthodologie TADEUS propose le développement des IUI comme un processus collectif, au lieu d'une séquence de tâches ou de phases, ce qui permet d'impliquer différents intervenants dans le processus de développement et de créer des systèmes mieux adaptés aux utilisateurs. Les besoins sont ainsi mieux comblés par les différentes tâches développées. De plus, cette méthodologie propose des diagrammes pour représenter les connaissances, ce qui permet d'accéder facilement au processus de développement et aux résultats de ces différentes activités pour chacun des groupes d'utilisateurs. Par contre, cette méthodologie ne tient pas compte des différentes plateformes existantes, des différents outils et techniques de représentation des connaissances.

Étant donné que les IUI utilisent les connaissances pour améliorer leurs interactions avec les utilisateurs, les modèles proposés par la méthodologie CommonKADS sont souvent utilisés dans les méthodologies proposées pour la construction des IUI.

L'étude de la littérature sur les IUI nous a permis de constater qu'il y a absence de standardisation dans les différentes méthodes de développement des IUI proposées sur le

marché. Ainsi, aucun modèle d'interface n'est proposé. Certaines méthodes s'inspirent des méthodologies traditionnelles pour le développement sans intelligence, et d'autres s'inspirent de celles proposées par l'IC. Elles proposent souvent une adaptation de ces méthodologies à leurs besoins spécifiques pour leurs IUI. De plus, nous n'avons pas trouvé de méthodologie qui propose un modèle qui tient compte des caractéristiques des IPM et intègre les méthodes de l'IC. Ce sont les principales raisons qui nous ont poussées à proposer un modèle d'interface qui associe les caractéristiques des deux domaines.

Dans le but de tester le modèle que nous proposons, nous avons choisi un domaine d'application spécifique : les EIAH. Nous avons choisi ce domaine, car l'éducation est un domaine en constante effervescence. De nombreux chercheurs essaient de trouver de nouvelles manières d'enseigner qui permettraient aux étudiants d'apprendre plus rapidement de façon agréable. Avec l'apparition d'Internet, l'éducation est sûrement le domaine qui va pouvoir en profiter le plus, car les connaissances peuvent être partagées et nous pouvons avoir une interaction avec d'autres utilisateurs à travers le monde. Les EIAH est une branche de recherche qui va utiliser Internet pour développer son plein potentiel. Donc, notre choix s'est arrêté sur ce domaine. Ainsi, nous appliquerons les différentes caractéristiques de notre modèle au développement des IUI pour un EIAH. Pour bien connaître ce domaine d'application, nous présentons en suivant ses principaux fondements.

2.2. Fondements des EIAH

Un EIAH est un terme générique pour désigner les environnements informatiques conçus pour favoriser l'apprentissage humain [TCH02]. Ainsi, un EIAH est un environnement qui a des utilisateurs humains (apprenants, enseignants) et un système informatique avec lequel les utilisateurs interagissent. Cette interaction a pour but de faciliter la formation des apprenants et de l'enrichir.

Dans cette section, nous décrivons les notions principales sur les EIAH. Nous expliquerons, par la suite, les différents modèles et méthodes de conception qui existent pour construire des EIAH en mettant l'accent sur l'aspect interface.

2.2.1. Notions élémentaires

Le terme EIAH est relativement récent, il provient de l'évolution des idées. Tout à débiter avec le terme EAO – Enseignement Assisté par Ordinateur, suivi d'EIAO, acronyme pour Enseignement Intelligemment Assisté par Ordinateur, qui mettait l'accent sur l'introduction de techniques de l'IA. Par la suite, la signification de l'acronyme a changé pour : Environnements Interactifs Assistés par Ordinateur. Ce terme mettait l'accent sur l'importance fondamentale de l'interactivité des systèmes. Le terme EIAH dénote une évolution vers la recherche de partenariats entre l'humain et la machine, notamment à travers les technologies de l'information et de la communication, et élargit le champ d'étude à l'apprentissage humain dans toutes ses déclinaisons, selon Tchounikine [TCH02]. De nos jours, d'autres termes sont utilisés au lieu d'EIAH comme l'acronyme AIED pour *Artificial Intelligence in Education* (pour les systèmes éducationnels qui utilisent l'IA) ou ITS pour *Intelligent Tutoring Systems* (STI, système tutoriel intelligent).

Dans un EIAH, la machine peut avoir différents rôles, comme servir d'outil de présentation de l'information (par exemple, un hypermédia), d'outil de traitement des connaissances (par exemple, un SBC résolvant les exercices avec l'apprenant) ou encore d'outil de communication entre l'homme et la machine (par exemple, un groupe de discussion pour faire collaborer des apprenants autour de questions) [TCH02].

Le domaine de recherche des EIAH est pluridisciplinaire et évoque les domaines suivants : la pédagogie, la didactique, la psychologie cognitive, les sciences de l'éducation et l'informatique. Ces domaines sont ceux qui sont directement concernés. D'autres domaines, comme l'ergonomie ou les sciences de l'information et de la communication peuvent être impliqués. Deux domaines sont plus mis à contribution. Ce sont l'ingénierie éducative (IE), issue des sciences de l'éducation, pour la partie concernant les interactions avec l'apprenant, et l'IC qui s'occupe de la partie informatique avec la modélisation des connaissances.

Les recherches sur les EIAH apportent de nouvelles percées dans les domaines de l'IE et celui de l'IC. De plus, elles permettent de mettre à l'épreuve certains fondements de ces domaines. Étant donné que les EIAH font partie du domaine de l'éducation, cela les rend très attrayants pour en faire l'étude, car l'éducation est un domaine où l'interaction est primordiale alors un EIAH est idéal pour l'utilisation des IUI.

2.2.2. Les modèles et méthodes de conception

Le premier problème de la conception d'un EIAH est la définition et la modélisation d'une intention didactique et son articulation avec les spécifications de l'artefact informatique [TCH02]. De plus, il faut articuler toutes ces informations avec les spécifications de l'artefact informatique. La modélisation des connaissances appelle les méthodes de l'IC, ainsi les méthodes de conception pour les EIAH prennent souvent certaines idées de la méthodologie de conception CommonKADS. Nous présentons en suivant des exemples de méthodes de conception des EIAH équipés d'IUI.

Iglesias *et al.* [IGL03a] ont développé un système éducationnel intelligent sur le Web. Ce système possède une interface intelligente qui s'adapte aux utilisateurs. Le système modifie le contenu de l'affichage selon son évaluation des connaissances des utilisateurs, leurs interactions et leurs préférences. Pour atteindre ces buts, le système utilise quatre modules différents. Ces modules sont :

- Module de l'étudiant : Il contient les informations sur chacun des utilisateurs et sur leur processus d'apprentissage.
- Module du domaine : Il contient les caractéristiques des connaissances à enseigner.
- Module pédagogique : Ce module décide quoi, comment et quand enseigner les connaissances pédagogiques.
- Module d'interface : Ce module permet la communication entre le système et l'utilisateur.

Nous voyons que les différents modules peuvent être conçus à partir de CommonKADS à l'aide respectivement des modèles d'agent, du domaine, des tâches et de communication. Le principal avantage de cet EIAH est qu'il permet d'adapter l'affichage du contenu selon les

connaissances de l'utilisateur. Ce genre d'adaptation va rendre le système plus agréable d'utilisation et va éventuellement améliorer l'apprentissage. Un autre avantage est que la méthode découpe les connaissances en différents modules qui peuvent interagir entre eux. Ceci permet une plus grande facilité dans le développement du système et permet de partitionner le développement entre différentes équipes. Par contre, la méthode ne fournit pas de techniques nouvelles pour l'interaction entre la machine et les utilisateurs, elle se fie sur l'intérêt du contenu.

Curilem *et al.* [CUR04] proposent, quant à eux, une méthodologie de développement d'interfaces adaptable pour un système tutoriel intelligent. Cette méthodologie propose d'identifier les caractéristiques qui définissent les utilisateurs, les interfaces ainsi que les relations entre les différentes caractéristiques. Ensuite, un mécanisme adaptatif, utilisant les automates, va permettre de définir le comportement du système. Puis, des réseaux de neurones sont utilisés pour représenter les problèmes qui vont être proposés. Au final, le système comprend quatre modules :

- Module de l'étudiant : Il contient les modèles des étudiants et permet de mettre à jour ce module.
- Module du tuteur : Il contient les connaissances pédagogiques et permet de déterminer l'affichage à partir des entrées des étudiants.
- Module du spécialiste : Il contient le contenu à afficher, c'est-à-dire les différents sujets que les étudiants auront à apprendre.
- Module d'interface : Il permet d'afficher à l'écran et permet les entrées des utilisateurs dans le système.

Encore une fois, les modules peuvent être conçus à partir des modèles de CommonKADS. En effet, les modèles d'agent, du domaine, des tâches et de communication pourraient être utilisés. Le principal avantage de cette méthode est de rendre plus efficace l'EIAH, car les ressources technologiques sont utilisées strictement lorsque les critères pédagogiques les requièrent. Par contre, la méthode repose sur les styles d'apprentissage des utilisateurs, donc il est important de les choisir judicieusement pour tenir compte de tous les utilisateurs.

Quand vient le temps de modéliser une application qui utilise les méthodes de l'IC, l'utilisation des modèles proposés par CommonKADS s'avèrent très utiles. La plupart des méthodologies proposées utilisent ces modèles ou une adaptation de ces derniers. Par contre, les méthodes de développement des EIAH qui sont proposées, tiennent rarement compte de l'étape d'évaluation du système. Pourtant, cette étape est nécessaire pour améliorer le système et savoir si ce dernier atteint vraiment ses objectifs. De plus, il est rare que ces méthodes proposent un modèle d'interface pour leur système.

2.3. Évaluation des interfaces

L'évaluation est une étape primordiale du processus de développement d'un système informatique. C'est cette étape qui permet d'évaluer si le système atteint ses objectifs. Il existe différents types d'évaluation : l'évaluation formative qui se fait à partir de résultats obtenus par un groupe d'utilisateurs et l'évaluation à l'aide de grilles de critères. Cette dernière est effectuée par des experts qui déterminent si l'interface respecte certains critères choisis. Ces critères peuvent être esthétiques et peuvent aussi porter sur des fonctionnalités de l'interface. Par exemple, l'interface fournit-elle un guidage aux utilisateurs? Ces critères permettent de vérifier l'utilisabilité de l'interface. Nous pouvons définir l'utilisabilité, ou ergonomie informatique, comme la capacité du produit informatique à être facilement utilisé par une personne pour réaliser la tâche pour laquelle il a été conçu [BEL07].

Les IUI fournissent des fonctionnalités que les autres types d'interface n'offrent pas. Ainsi, l'évaluation à l'aide d'une grille de critères semble être la plus appropriée pour faire une première évaluation des fonctionnalités fournies par ce type d'interfaces. L'utilisation de ce type de grilles pour l'évaluation a deux objectifs. Le premier est rhétorique et sert à synthétiser les problèmes rencontrés. Le deuxième est diagnostique et permet de faciliter le diagnostic des problèmes rencontrés ainsi que leur résolution. Les auteurs Bétrancourt et Gagnière [BET07] proposent huit catégories de critères pour évaluer des IUI, soit le guidage, la charge de travail, le contrôle explicite, l'adaptabilité, la gestion des erreurs, l'homogénéité et la cohérence, la signification des codes et dénominations et la compatibilité.

Le choix des critères d'évaluation est très important, car il permet de mieux détecter les problèmes des IUI. Ce choix doit se faire au moment de l'analyse et peut être mis à jour tout le long du processus de développement. Ainsi, lorsque nous arrivons à l'étape de l'évaluation, ce processus se fait plus rapidement, car nous connaissons déjà nos critères. Il est alors plus facile de détecter les problèmes. Il existe plusieurs critères pour évaluer les IUI selon les fonctionnalités qu'elles fournissent. Nous allons présenter les critères proposés par [BET07], qui selon nous représentent les critères les plus importants. Certains de ces critères peuvent être de nouveau décomposés en sous-critères.

2.3.1. Guidage

Le premier critère est le guidage, qui peut être défini comme l'ensemble des moyens mis en œuvre pour conseiller, orienter, informer et conduire l'utilisateur lors de ses interactions avec l'ordinateur (messages, alarmes, labels, etc.), y compris dans ses aspects lexicaux [BET07]. Ce guidage peut être décomposé en quatre sous-critères qui sont :

1. Incitation : Ce sont tous les moyens pour amener un utilisateur à faire une action donnée. Ce sont aussi les moyens pour proposer des alternatives d'actions à l'utilisateur. Cela peut être aussi les moyens qui permettent à l'utilisateur de savoir où il est dans le système, dans quel contexte il se trouve et fournissent des outils d'aide. Par exemple, une interface peut proposer des valeurs par défaut dans des champs selon les connaissances que l'utilisateur a acquises. Un autre exemple est d'indiquer le numéro d'étapes et le nombre total d'étapes pour réaliser une action.
2. Groupement ou distinction entre éléments : Ce sont les moyens utilisés pour organiser visuellement les différents éléments à l'écran. Nous devons tenir compte de la localisation et du format d'un élément pour établir ses relations avec les autres éléments et son appartenance à un groupe. Par exemple, il est intéressant de grouper ensemble les différentes actions sous un même menu.
3. Rétroaction immédiate : Ce sont les différentes réponses que le système affiche après des actions posées par l'utilisateur. Par exemple, le système affiche immédiatement à l'écran les modifications aux formats de page (ex. marges dans le logiciel Microsoft® Word).

4. Lisibilité : Ce sont les différentes caractéristiques de l'IUI qui permettent de présenter les informations à l'écran pour faciliter la lecture. Il y a deux types de lisibilité : la lisibilité perceptive et la lisibilité cognitive. La lisibilité perceptive est celle que nous détectons à l'écran, par exemple le contraste ou encore la typographie. La lisibilité cognitive est celle qui permet de comprendre l'arrangement des choses à partir de ce qui est affiché à l'écran. Par exemple, si nous mettons tous les exercices sur un même sujet de la même couleur et les autres d'une autre couleur, l'utilisateur va savoir à quelle catégorie appartient l'exercice seulement en voyant sa couleur.

2.3.2. Charge de travail

Ce deuxième critère concerne l'ensemble des éléments que l'IUI propose et qui ont un rôle dans la réduction de la charge perceptive et cognitive des utilisateurs. Les éléments pourraient aussi augmenter la charge, mais en général il est préférable de réduire la charge pour les utilisateurs. Les auteurs Bétrancourt et Gagnière [BET07] proposent deux sous-critères :

1. Brièveté : Ce sont les différents moyens qui permettent de réduire le travail de lecture et d'entrée d'information par les utilisateurs. Nous pouvons faire preuve de concision, par exemple en utilisant des listes déroulantes lorsque l'information à entrer est une liste définie. Il est également possible de limiter au plus petit nombre les actions à faire pour atteindre un but, par exemple à l'aide des raccourcis clavier.
2. Densité informationnelle : Ce sont les moyens utilisés pour limiter les informations à lire sur l'écran. Plus il y a d'éléments sur l'interface, plus la densité d'information est grande, et plus l'utilisateur aura une expérience désagréable. Il faut mettre l'information la plus claire possible en moins de mots ou de symboles.

2.3.3. Contrôle explicite

Ce troisième critère concerne le contrôle que le système exerce sur les actions des utilisateurs. Le système a toujours un certain contrôle sur l'affichage à l'écran, mais ce

contrôle doit respecter certaines règles. Ainsi le système doit réagir explicitement face aux actions de l'utilisateur et il est important aussi de tenir compte du contrôle utilisateur.

La relation entre les actions de l'utilisateur et les traitements effectués par le système doit être explicite, ce que nous appelons les actions explicites. Ainsi, le système doit faire ce qu'il est sensé faire lorsque l'utilisateur lui demande une action, et rien de plus. Si le système ne fait pas ce que l'utilisateur s'attend à ce qu'il fasse, il pourra perdre confiance envers le système et cesser de l'utiliser. Par exemple, lorsqu'on clique sur le bouton « Sauvegarder », le document s'enregistre automatiquement. Le bouton réalise la fonctionnalité pour laquelle il a été créé, sans plus, et ce à quoi s'attend l'utilisateur. Un contre-exemple serait la proposition automatique des mots dans le logiciel Microsoft® Excel qui peut être considérée comme une action du système non explicite, car elle propose un choix de mots qui correspond aux premières lettres que l'utilisateur a entrées. Cette fonctionnalité apparaît sans que les utilisateurs ne le demandent, donc cela peut-être un irritant pour ces derniers.

Un autre point important est que l'utilisateur doit toujours pouvoir contrôler le déroulement des traitements informatiques en cours. L'utilisateur doit toujours avoir le contrôle du système, par exemple il doit toujours avoir la possibilité d'arrêter un traitement qui est trop long.

2.3.4. Adaptabilité

Ce quatrième critère concerne la capacité du système à s'adapter aux différentes actions des utilisateurs. Le système doit réagir en fonction du contexte dans lequel se retrouve l'interaction de l'utilisateur avec le système. Il doit aussi tenir compte des préférences et des besoins de l'utilisateur. Nous pouvons diviser ce critère en deux sous-critères :

1. Flexibilité : Ce sont les moyens disponibles pour les utilisateurs afin de personnaliser leurs IUI. Ces moyens permettent à l'IUI de tenir compte des stratégies et habitudes de travail des utilisateurs ainsi que des exigences de leurs tâches. Par exemple, nous pouvons proposer un menu et un raccourci clavier pour faire la même action. Ainsi, l'utilisateur peut choisir le moyen qu'il préfère.

2. Prise en compte de l'expérience : Ce sont les différents moyens utilisés pour prendre en compte l'expérience des utilisateurs. Les utilisateurs d'un système n'ont pas tous la même expérience, certains sont experts, d'autres intermédiaires et les autres sont débutants. Par exemple, nous n'afficherons pas les mêmes exercices à résoudre dépendamment de l'expérience des utilisateurs.

2.3.5. Gestion des erreurs

Ce cinquième critère concerne l'ensemble des moyens pour renseigner les utilisateurs sur les différentes erreurs qui peuvent survenir lors de l'utilisation de l'IUI. Ce sont aussi les moyens pour réduire ou éviter des erreurs et pour les corriger lorsqu'elles surviennent. Des exemples d'erreurs sont : des entrées incorrectes, des entrées dans des formats inadéquats, des entrées de commande avec une syntaxe incorrecte, etc. Ce critère se sépare en trois sous-critères :

1. Protection contre les erreurs : Ce sont les moyens qui permettent de prévenir les erreurs qui pourraient survenir. Des messages peuvent être utilisés pour éviter les erreurs d'entrées de données, les erreurs de commande ou encore les actions destructrices. Par exemple, un message peut être affiché pour avertir que le disque dur est presque plein ou pour demander si on veut vraiment supprimer les données.
2. Qualité des messages d'erreurs : Ce sous-critère fait référence au contenu des messages d'erreur. Nous évaluons la qualité des messages d'erreur selon leur pertinence, la facilité pour comprendre le message, la précision de la nature de l'erreur et l'indication des actions nécessaires pour résoudre l'erreur. Par exemple, les messages qui indiquent seulement qu'une erreur est survenue sont des messages d'erreur de faible qualité.
3. Correction des erreurs : Ce sont les moyens qui sont fournis aux utilisateurs pour résoudre une erreur qui s'est produite. La correction doit être disponible lors de l'apparition de l'erreur et le message doit afficher les options disponibles aux utilisateurs. Le message peut aussi fournir un bouton pour l'aide aux utilisateurs.

2.3.6. Homogénéité et cohérence

Ce sixième critère réfère aux techniques de conception permettant de rendre les interfaces homogènes d'une fenêtre à l'autre et même d'une session à l'autre. Ainsi, le système devient plus prévisible et les apprentissages sont plus généralisables, ce qui réduit le nombre d'erreurs. Les concepteurs peuvent utiliser différents codes, dénominations, formats, procédures, etc., qui permettent aux utilisateurs de se retrouver d'un écran à l'autre. Par exemple, les rubriques d'un site Web devraient toujours se retrouver aux mêmes endroits et les menus devraient être toujours affichés dans le même ordre.

2.3.7. Signifiante des codes et dénominations

La signifiante des codes et dénominations concerne la correspondance entre un terme ou un signe et son référent. Les codes et dénominations sont adéquats lorsqu'il y a une relation sémantique forte entre les codes ou les noms et les éléments ou actions auxquels ils réfèrent. Donc, cela permet aux utilisateurs de mieux comprendre le fonctionnement et permet de faciliter l'utilisation de l'interface. Par exemple, le bouton pour enregistrer le travail est représenté par une disquette. Ce symbole réfère l'utilisateur à l'action d'enregistrer son travail.

2.3.8. Compatibilité

Ce critère réfère à l'accord entre les caractéristiques des utilisateurs et les caractéristiques des tâches ainsi qu'à l'organisation des sorties, des entrées et du dialogue d'une application donnée. Il faut que le contenu de la page soit adéquat à l'utilisateur. De plus, l'information doit être la plus complète possible.

L'utilisation de ces critères permet d'évaluer les différents aspects des IUI. Lors de l'évaluation, nous pouvons utiliser un ou plusieurs critères pour évaluer une IUI. Tout dépend des caractéristiques des IUI qui sont intégrées dans le système. Il est alors important de bien

étudier les besoins des utilisateurs et de déterminer les caractéristiques à mettre dans les IUI pour qu'elles atteignent leur but.

2.4. Étude des IUI dans des EIAH

À partir de la description des critères d'évaluation, que nous venons de faire, nous allons faire l'étude de quelques articles qui décrivent des IUI dans des EIAH. Pour chacune des IUI décrites dans les articles, nous allons identifier quels sont les critères d'évaluation qui sont respectés par les IUI. Nous pourrions ainsi, identifier les critères d'évaluation qui sont les plus présents. De plus, nous allons faire ressortir les éléments des IUI qui permettent de rencontrer ces critères et leurs buts ou rôles.

Nous avons sélectionné sept articles qui décrivent assez précisément des IUI dans des EIAH. Pour chacun des articles, nous avons essayé d'identifier les éléments d'interface qui rencontrent les critères d'évaluation présentés dans la section 2.3. Le tableau 1 récapitule les résultats obtenus. Nous décrivons en suivant ces éléments pour chaque article étudié.

Articles Critères d'évaluation	[CHA06]	[CUR04]	[DAV03]	[GRA00]	[IGL03a]	[TRI03]	[CHE08]
Guidage			X		X	X	
Charge de travail					X	X	
Contrôle explicite			X			X	
Adaptabilité	X	X		X	X	X	X
Gestion des erreurs							
Homogénéité et cohérence							
Signifiante des codes							
Compatibilité					X		

Tableau 1. Critères d'évaluation dans les articles

2.4.1. Système tutoriel intelligent pour diagnostiquer les styles d'apprentissage

Les auteurs Cha *et al.* [CHA06] proposent de construire un système tutoriel intelligent qui est capable de diagnostiquer les styles d'apprentissage de chacun des apprenants à partir du comportement de ce dernier avec l'interface utilisateur. Ce système a pour but d'adapter l'IUI pour accommoder les préférences et les styles d'apprentissage de chacun des apprenants. Également, il permet d'aider la compréhension du contenu d'information aux apprenants.

Les auteurs proposent de construire un modèle de l'apprenant dans le but de fournir au système d'apprentissage les informations intéressantes des apprenants, d'aider à concevoir un système d'apprentissage qui sera capable de réagir aux diverses activités et situations de l'apprenant et d'adapter l'interface d'apprentissage selon chacun des apprenants. De plus, ils classifient les styles d'apprentissage selon quatre dimensions :

1. Global vs séquentiel : un apprenant global aime avoir une image ou le but de la leçon avant de commencer et il aime sauter aux sections qui l'intéressent. Un apprenant séquentiel a une progression dans un ordre précis (séquentiel).
2. Visuel vs auditif : un apprenant visuel préfère les images ou les démonstrations sur l'écran. Un apprenant auditif préfère le texte et les explications.
3. Sensé vs intuitif : un apprenant sensé utilise ses sens et porte plus d'attention aux détails, il est plus minutieux et prend son temps. Un apprenant intuitif n'est pas intéressé aux détails, il est plus rapide et fait moins attention lors du quiz.
4. Actif vs réfléchi : un apprenant actif est plus confortable avec l'expérimentation active, il aime les discussions brèves et les activités de résolution de problèmes. Il aime aussi participer à des quiz, des clavardages et des discussions brèves. Un apprenant réfléchi aime avoir un temps de réflexion entre les activités et lors des discussions. Il aime lire les opinions des autres apprenants et des professionnels.

À partir de ces styles d'apprentissage, les auteurs proposent plusieurs éléments d'interface à ajouter pour construire leur IUI :

- un bouton permettant d'avoir un aperçu de la leçon pour les apprenants de type global ;

- des boutons hyperliens permettant de choisir la section désirée pour les apprenants de type global ;
- des boutons permettant de choisir la section précédente ou la prochaine pour les apprenants de type séquentiel ;
- une section affichant les explications détaillées sous forme d'image pour les apprenants de type visuel ;
- une section affichant les explications sous forme de texte pour les apprenants de type auditif ;
- un bouton permettant d'afficher plus de détails sur le contenu pour les apprenants de type sensé ;
- un quiz permettant de déterminer si un apprenant est sensé ou intuitif en mesurant le nombre d'essais, l'exactitude des réponses et la complétude du quiz.

Ainsi en ajoutant ces éléments d'interface, les auteurs croient que l'interface sera adaptable et que le système sera intelligent. La définition d'adaptable est la suivante [CHA06] : « Une interface est *adaptable* si elle a la capacité de regarder les informations et activités de l'apprenant et d'extraire les aspects appropriés de l'apprenant pour concevoir une interface utilisateur personnalisée basée sur les comportements. ». Par ailleurs, un système intelligent est défini ainsi [CHE99] : « Un EIAH est considéré *intelligent* s'il est capable d'adapter ses tâches au contenu d'apprentissage selon un modèle de l'apprenant. ».

L'étude faite par Cha *et al.* [CHA06] a permis de démontrer que les styles d'apprentissage peuvent être déterminés selon les patrons d'utilisation de l'interface utilisateur. Selon les diagnostics des styles d'apprentissage, il est possible de développer un EIAH qui est adaptable à chacun des apprenants. Ceci permet d'augmenter le gain d'apprentissage et l'expérience en fournissant des interfaces utilisateurs plus efficaces et un contenu d'apprentissage qui varie selon les préférences de l'utilisateur.

Ainsi, l'étude de cet article nous a permis d'identifier le critère d'évaluation « Adaptabilité – prise en compte de l'expérience », comme critère pris en compte lors de la création de l'IUI. En effet, le contenu à l'affichage est déterminé par les connaissances de

l'utilisateur et ses préférences. Les éléments d'interface, comme les boutons, sont disposés selon l'utilisateur. Le système adapte donc le contenu de l'affichage pour chacun de ses utilisateurs.

2.4.2. Méthodologie d'interface adaptable pour un système tutoriel intelligent

Les auteurs Curilem *et al.* [CUR04] proposent de construire une interface efficace pour supporter l'apprentissage et cette interface devra se configurer selon chacun des utilisateurs. Pour ce faire, ils proposent une méthodologie pour construire une IUI dans le contexte des EIAH. Les informations relatives aux apprenants sont enregistrées par un ensemble de caractéristiques (modèle de l'étudiant) et celles pour les interfaces sont représentées par un ensemble d'attributs. Ainsi selon les caractéristiques de l'apprenant, les interfaces ont des attributs différents. Pour configurer le contenu de l'interface, le système évalue les actions des utilisateurs et l'état de l'apprenant selon son modèle d'étudiant.

La méthodologie proposée utilise quatre modules :

1. Module de l'étudiant : Il contient le modèle de l'étudiant. Ce module peut être modifié de deux façons, premièrement pour obtenir l'état initial et deuxièmement pour le mettre à jour suite aux actions de l'étudiant.
2. Module du tuteur : Il contient les connaissances pédagogiques. Ce module évalue les actions de l'étudiant pour que le module de l'étudiant puisse mettre à jour le modèle. Ce module étudie constamment les actions des apprenants pour déterminer les changements pour l'affichage ou les états des connaissances des étudiants.
3. Module du spécialiste : Il contient le contenu de l'affichage. Chaque sujet est contenu dans un nœud, le système utilise un réseau de neurones pour implémenter l'EIAH. Les éléments d'interface sont aussi contenus dans les nœuds.
4. Module de l'interface : Ce module gère les entrées et les sorties. Il offre des contrôles (icônes, menus et boutons) ou commandes pour permettre une meilleure interaction avec les apprenants.

Les auteurs mentionnent quelques éléments d'interface qui sont adaptables selon les utilisateurs. D'abord, le contenu varie. Puis la navigation dans le contenu peut être libre ou prédéterminée. De plus, l'interaction de l'IUI peut être faible ou élevée. Les différents médias utilisés varient eux aussi (textes, paroles, vidéos, etc.). Enfin, les activités pédagogiques proposées sont différentes d'un utilisateur à l'autre (tutoriels, résolution de problèmes, etc.). C'est l'utilisation des différents modules qui permet à l'IUI d'afficher les éléments les plus adéquats.

Selon les auteurs, la conception de l'IUI est liée fortement au critère didactique et peut mener à la construction de systèmes plus efficaces et efficients, plus efficaces car interagissant d'une façon plus adéquate avec l'étudiant, et plus efficients car les ressources technologiques sont utilisées seulement quand elles sont requises.

Ainsi, l'étude de cet article, nous a permis d'identifier le critère d'évaluation « Adaptabilité – prise en compte de l'expérience » comme critère pris en compte lors de la création du IUI. Les auteurs mentionnent que l'interface doit être adaptable et doit prendre en compte l'expérience de l'utilisateur.

2.4.3. Conception d'une IUI pour un système d'agent enseignant

Les auteurs Davies *et al.* [DAV03] proposent de construire un système, appelé Betty's Brain, dans lequel les utilisateurs pourront organiser et insérer les connaissances sur un domaine pour résoudre des problèmes, dans le but d'instruire un agent intelligent. L'agent utilisera ces connaissances pour répondre à des questions et résoudre ensuite un problème du domaine. L'interface entre l'agent et l'utilisateur a deux buts, soit permettre à l'utilisateur de faire apprendre l'agent, et augmenter l'attention de l'utilisateur grâce à la personnalité de l'agent et son interactivité.

Le système Betty's Brain agit selon trois modes :

1. Le mode PROFESSEUR : l'étudiant donne les connaissances à l'agent intelligent via l'interface pour le plan des concepts.

2. Le mode REQUÊTE : l'étudiant pose des questions à l'agent et celui-ci répond à l'aide du plan des concepts. Ce mode comprend deux mécanismes, soit le mécanisme de raisonnement et le mécanisme d'explication. Le premier permet d'analyser les connaissances que l'étudiant a entrées et le deuxième permet de produire une explication détaillée de la réponse.
3. Le mode QUIZ : l'étudiant évalue à quel point il a bien enseigné l'agent en le regardant répondre à un quiz prédéterminé. L'expert professeur du système informe si l'agent a raison ou non. L'agent expert professeur fait des suggestions pour aider à l'agent à mieux répondre.

Les éléments d'interface qui compose cette IUI sont :

- Affichage graphique des concepts à apprendre : Elle présente le plan des concepts dans laquelle l'étudiant construit le plan en déplaçant et en ajoutant des éléments. Ce plan comprend des connaissances et les relations entre elles.
- Bouton d'interactions : Ce bouton permet de poser une question à l'agent par écrit. La réponse s'affiche soit par écrit ou via le visage animé.
- Agent animé : Il permet de fournir la réponse à l'étudiant et aussi d'augmenter son intérêt envers le système. La réponse sera faite par animation et par la voix. Cela permet aussi d'accroître l'interaction sociale de l'utilisateur avec le système, et augmente la motivation de l'étudiant [CHO03].

Ainsi, l'étude de cet article nous a permis d'identifier trois critères d'évaluation que les auteurs ont pris compte lors de la création de l'IUI. Le premier est le « Contrôle explicite – contrôle utilisateur » et est réalisé via la fenêtre d'affichage des concepts, car cette dernière permet de voir et de modifier la logique du système et le raisonnement de ce dernier. Ainsi l'utilisateur a le contrôle sur le système et l'affichage. Ensuite, nous avons le critère « Guidage – incitation », pour lequel la fenêtre d'animation donne l'état et le contexte dans lequel se trouve les utilisateurs. Enfin, le critère « Guidage – lisibilité » est présent grâce à la fenêtre d'interaction qui affiche à l'écran les réponses du système, ce qui permet aux utilisateurs d'avoir une plus grande interaction avec le système et de mieux comprendre son raisonnement.

2.4.4. Les aspects des IUI dans des EIAH

Les auteurs Granic *et al.* [GRA00] proposent de construire un système tutoriel intelligent qui permettrait d'améliorer le processus d'enseignement et d'apprentissage en ajustant le contenu et la perception des connaissances du domaine selon les capacités d'apprentissage des étudiants.

Le système intelligent proposé fournit aux professeurs et aux étudiants un environnement hypermédia d'apprentissage interactif. Selon les auteurs, il faut tenir compte des quatre points suivants lorsque nous développons un système tutoriel intelligent :

1. les caractéristiques et besoins des étudiants ;
2. l'influence des médias sur le processus d'apprentissage ;
3. l'équité d'accès au système d'éducation interactive ;
4. le nouveau rôle du professeur et de l'étudiant dans le processus d'éducation via un site Internet.

Pour construire l'IUI, les auteurs proposent d'insérer les éléments d'interface suivants :

- des liens hypertextes vers les différents sujets d'apprentissage ;
- des éléments hypermédiés comme des images et des animations qui permettent de remplir le scénario d'apprentissage ;
- des menus avec plusieurs niveaux hiérarchiques où les groupes de fonction sont placés avec des clés de fonction ;
- une fenêtre, permettant de créer la base de connaissances, qui représente les actions des utilisateurs.

Ainsi, l'étude de cet article a permis d'identifier un critère d'évaluation que les auteurs ont pris en compte : « Adaptabilité – prise en compte de l'expérience ». Ce critère est présent grâce aux différents éléments d'interface de l'IUI qui diffèrent selon l'expérience des utilisateurs. Par exemple, les liens hypertextes seront fonction des connaissances des utilisateurs. L'interface permet ainsi d'améliorer l'interaction entre les utilisateurs et l'EIAH.

2.4.5. Naviguer à travers l'interface de RLATES

Les auteurs Iglesias *et al.* [IGL03a] proposent de définir les méthodes et techniques pour développer des bases de données qui seront utiles pour les étudiants et les praticiens. La construction d'EIAH basés sur les technologies Web utilisera par la suite ces bases de données pour apporter de l'intelligence et de l'adaptabilité aux systèmes et améliorer l'interaction avec les apprenants.

Les auteurs proposent d'utiliser les connaissances du domaine, un modèle d'étudiant et les stratégies pédagogiques pour permettre d'adapter les informations individuelles à chaque étudiant et de construire le contenu des pages selon les buts des utilisateurs, leurs connaissances, leurs préférences et d'autres informations provenant de leurs interactions ou du modèle de l'étudiant. Pour ce faire, les auteurs ont introduit deux nouvelles techniques : l'adaptation du contenu des pages selon les besoins des utilisateurs en temps réel et l'adaptation collaborative sur le Web.

L'architecture du système propose quatre modules :

1. Module de l'étudiant : Il contient toutes les informations de l'étudiant : buts, connaissances, caractéristiques personnelles, historique des comportements, etc. Il est important pour l'efficacité du système de construire un bon modèle de l'étudiant.
2. Module du domaine : Il contient les caractéristiques des connaissances à enseigner.
3. Module pédagogique : Il décide quoi, comment et quand enseigner le contenu du module du domaine, selon les besoins de l'utilisateur. Le système évalue les connaissances de l'étudiant et détermine la prochaine action à exécuter.
4. Le module d'interface : Il utilise les techniques d'IA et d'adaptation pour adapter le contenu et la navigation aux besoins des étudiants. Il permet de faciliter l'interaction entre le système et l'utilisateur.

Ils proposent également deux types de guidage, direct et indirect. Le guidage indirect se fait en changeant l'apparence des liens hypertextes. Il se fait également par l'annotation qui

permet de colorer les liens selon l'historique des comportements des étudiants et met des commentaires sur les liens. Une autre façon de faire du guidage direct est le camouflage de liens selon les besoins de l'étudiant, ou le triage des liens selon l'importance pour l'étudiant, ou encore l'ajout et le retrait de liens dynamiquement selon les besoins. Le guidage direct se fait avec les boutons de navigation qui choisit les meilleurs exercices selon les connaissances de l'étudiant. Le système affiche dans une fenêtre les choix possibles pour l'étudiant, ce qui laisse à l'utilisateur le sentiment d'avoir le contrôle. C'est le module pédagogique qui choisit les exercices.

Les éléments d'interface qui sont utilisés sont les liens hypertextes, qui sont les principaux éléments d'interaction des utilisateurs avec le système et qui sont utilisés pour le guidage indirect. De plus, le contenu des pages Web sera adapté selon les buts, connaissances et autres caractéristiques des étudiants. Les boutons de guidage permettent de proposer des exercices pour les étudiants, ils sont utilisés pour le guidage direct. Enfin, la fenêtre de choix d'exercices permet à l'utilisateur de garder le contrôle sur son cheminement tout en étant guidé.

Ainsi, les critères issus de cet article sont : « Guidage – incitation », « Guidage – Groupement », « Adaptabilité – Prise en compte de l'expérience », « Charge de travail – Brièveté » et « Compatibilité ». Le premier est implanté avec les annotations et les couleurs ajoutés aux liens hypertextes. Ces ajouts guident les utilisateurs vers les exercices qui leur conviennent le mieux, ce qui incite à choisir un exercice plutôt qu'un autre. Les liens sont aussi triés dans l'ordre selon la pertinence et les exercices qui vont ensemble. Le fait de grouper les exercices ensemble permet d'avoir le deuxième critère. Le troisième est le plus présent. En effet, le contenu s'affiche selon les connaissances des utilisateurs. De plus, la liste des liens hypertextes cache certains liens, en ajoute et en trie, et sa couleur varie également selon le modèle de l'étudiant. Les deux derniers sont présents grâce à l'ajout et au retrait de certains liens. En affichant seulement la liste des exercices utiles à l'utilisateur, ce dernier peut écourter le temps nécessaire au choix. Aussi, ceci permet de ne pas avoir de contenu inutile pour les utilisateurs, ce qui donne une compatibilité entre les tâches du système et les caractéristiques de l'utilisateur.

2.4.6. La conception et l'évaluation formative d'un système éducationnel basé sur les styles cognitifs

Les auteurs Triantafillou *et al.* [TRI03] proposent un système éducationnel qui affiche le contenu différemment selon les styles cognitifs des utilisateurs. L'adaptation du contenu dépend des connaissances acquises des utilisateurs. Ainsi différents médias peuvent apparaître selon ces connaissances et le style cognitif des utilisateurs. Les stratégies d'enseignement sont aussi adaptées selon les styles cognitifs (dépendant du domaine ou indépendant). Les exercices proposés et la recommandation des hyperliens appropriés sont aussi affichés différemment selon les informations obtenues des utilisateurs.

L'interaction de trois modules permet d'adapter le contenu de l'IUI :

- Modèle du domaine : Il permet de structurer le contenu à afficher du système.
- Modèle de l'étudiant : Il contient le profil de l'étudiant, son style cognitif et les connaissances acquises et permet de choisir le contenu.
- Module d'adaptation : Il permet d'adapter le contenu selon le style cognitif de l'étudiant et l'état de ses connaissances.

Les auteurs proposent également d'utiliser le guidage direct en adaptant les liens hypertextes vers les exercices et la sélection des ces derniers. Ainsi, l'étudiant a le choix parmi seulement les exercices utiles à son apprentissage.

Les éléments d'interface mentionnés pour construire l'IUI sont :

- **Contenu** : Le contenu change selon le style cognitif. Pour un indépendant du domaine, les données sont affichées du spécifique au général.
- **Hyperliens** : La sélection et la couleur des hyperliens sont adaptés pour chaque étudiant.
- **Annotations** : Elles permettent d'informer l'utilisateur de ce qui se cache derrière un hyperlien.

- **Menu** : Il permet de choisir de quelle façon l'étudiant veut procéder pour suivre le cours (l'ordre).
- **Fenêtre de guidage** : Elle permet de donner des explications claires à l'étudiant et ainsi de le guider le mieux possible.
- **Fenêtre de concept** : Elle permet de présenter les connaissances du domaine et leurs relations, ce qui aide à la compréhension.
- **Fenêtre d'indication du chemin** : Elle permet de présenter les différents sujets, le sujet précédent, celui actuel et le prochain sujet.

Les sous-critères d'évaluation qui sont mentionnés dans cet article sont le « Guidage – incitation », « Guidage – groupement », « Guidage – feedback », « Charge de travail – brièveté », « Adaptabilité – flexibilité » et « Contrôle explicite – contrôle utilisateur ». Le premier sous-critère de guidage est atteint en utilisant les annotations et les couleurs pour les liens hypertextes. Ceci permet de guider les utilisateurs vers les exercices appropriés et les inciter à les consulter. Le deuxième sous-critère de guidage est réalisé par les fenêtres de direction explicites qui permettent de voir l'arbre d'apprentissage des utilisateurs et de grouper les exercices par sujet. Les troisième et quatrième sous-critères sont atteints par les boutons de guidage qui permettent rapidement de conseiller les utilisateurs lors de leur utilisation du système. Les deux derniers sous-critères sont rencontrés grâce aux menus de préférences qui permettent aux utilisateurs de personnaliser l'affichage.

2.4.7. Système Web d'apprentissage intelligent possédant un guidage avec chemin d'apprentissage personnalisé

Les auteurs Chen *et al.* [CHE08] proposent un système tutoriel qui aiderait les apprenants à apprendre plus efficacement et de façon efficiente, en évitant les concepts d'apprentissage pour lesquels ils ont donné de bonnes réponses aux items correspondants lors du test préliminaire.

Le système proposé comprend six agents :

- Agent #1 : C'est l'agent d'interface d'apprentissage, qui permet de rendre plus flexible l'interface. Il interagit avec les agents #2, 4 et 5.

- Agent #2 : Agent du processus du test préliminaire, il permet de générer des éléments de test correspondant au contenu d'apprentissage. Il interagit avec l'agent #3.
- Agent #3 : Il est dédié à la génération du chemin d'apprentissage, en créant le meilleur chemin selon les informations du test préliminaire.
- Agent #4 : Il est un support à l'adaptation de la navigation adaptable en guidant les utilisateurs selon leur chemin d'apprentissage.
- Agent #5 : Agent du processus du test post-apprentissage, il fournit un test final pour conclure le sujet d'apprentissage.
- Agent #6 : Cet agent de gestion du déroulement du cours fournit une interface et des éléments de test pour aider les enseignants à gérer le contenu du cours.

De plus, le système utilise quatre bases de données pour l'aider à la gestion de l'affichage de l'IUI, soit les comptes utilisateur, les comptes de l'enseignant, les profils des utilisateurs et les items éléments de test et du contenu du cours.

Dans l'IUI proposée, ce sont le contenu et les liens hypertextes qui sont les éléments d'interface qui sert à l'adaptation du système. Donc, le critère d'évaluation qui est présent est « Adaptabilité – prise en compte de l'expérience ». Ainsi, les utilisateurs répondent à des questions de départ et l'IUI affiche à l'écran les exercices qui conviennent aux utilisateurs. L'interface est ainsi personnalisée à chacun. Cette même interface sera mise à jour selon l'expérience des utilisateurs avec le système.

Le tableau 2 représente un résumé des différents critères dans les articles précédents. De plus, nous présentons les différents éléments qui permettent d'atteindre le critère, le moyen utilisé pour implanter ces éléments, ainsi que leurs buts ou rôles.

2.5. Problématique

Nous avons montré dans les parties précédentes les fondements théoriques des IUI ainsi que des EIAH. Nous avons discuté par la suite des modèles et méthodologies de conception des IUI et des EIAH. Enfin, nous avons présenté différents critères d'évaluation pour les IUI.

Ces notions vont nous permettre de mieux définir la problématique qui entoure la conception des IUI dans les EIAH.

Nos lectures nous ont permis de soulever certains problèmes lors de la conception des IUI, particulièrement dans des EIAH. Les problèmes portent sur les modèles d'interface pour concevoir les IUI. Tout d'abord, les modèles proposées pour concevoir des IUI sont, en règle générale, trop spécifiques à un problème donné. Donc, les modèles ne permettent pas de développer différentes IUI, mais se limite à une ou deux caractéristiques des interfaces. Ainsi, ces modèles limitent les possibilités d'application des IUI. Nous n'avons pas trouvé, dans la littérature, de modèle d'interface qui inclut spécifiquement plusieurs techniques de l'IC. Pourtant, la généralité du modèle est essentielle pour pouvoir être réutilisable.

Ensuite, la plupart des modèles proposés ne tiennent pas compte des règles qui régissent le développement des IPM. Certaines règles fondamentales doivent être respectées pour que les IUI soient attrayantes aux yeux des utilisateurs et qu'elles soient uniformes. Les modèles proposés mettent surtout l'accent sur la façon d'intégrer les techniques de l'IC pour construire leurs IUI. Ces notions provenant du domaine des IPM sont pourtant fondamentales pour toute conception d'interfaces peu importe leur type.

En conséquence, lors de l'élaboration de notre modèle d'interface pour la conception des IUI dans les EIAH, nous avons tenu compte des problèmes de généralisation de modèle, d'intégration des techniques de l'IC et de la prise en compte des règles de développement des IPM, en essayant de les résoudre. En ce qui concerne les champs de recherche des IUI définis par Maybury et Wahlster [MAY98], nous nous situons dans celui de la modélisation des interfaces et celui des agents. De plus, nous avons limité notre recherche aux EIAH conservant des connaissances spécifiques d'un domaine d'étude et manipulant ces connaissances en vue de les faire apprendre aux utilisateurs. En d'autres termes, ces EIAH sont des SBC dédiés à l'apprentissage humain.

Tableau 2. Résumé des critères d'évaluation dans les IUI

Critère	Sous-critère	Élément d'interface	Moyen	But / Rôle	Dans quel système
Guidage	Incitation	Annotation	Ajout, aux liens hypertextes, de commentaires sur la page pointée par l'hyperlien Couleurs spécifiques des liens	Guider l'utilisateur vers l'exercice le plus approprié. C'est l'utilisateur qui garde le contrôle. C'est du guidage indirect	[TRI03], [IGL03a]
		Fenêtre d'animation	Réponse avec une voix aux demandes de l'utilisateur.	Améliorer l'engagement de l'utilisateur avec l'application.	[DAV03]
	Groupement	Fenêtre de directions explicites	Fenêtre qui s'affiche dans le bas de l'écran et qui permet de fournir des directions claires et un guidage aux utilisateurs	Les utilisateurs peuvent visualiser leur arbre d'apprentissage et de se déplacer grâce à ce dernier.	[TRI03]
		Liens hypertextes triés	Tri physique à l'écran des liens hypertextes en fonction des caractéristiques de l'utilisateur.	Mieux guider l'utilisateur.	[IGL03a]
	Feedback	Bouton de guidage	Affichage du prochain exercice à effectuer ou le précédent	Conseiller l'utilisateur dans son utilisation du système.	[TRI03] [IGL03a]
	Lisibilité	Fenêtre d'interaction	Fenêtre affichant en texte l'interaction et les réponses du système.	Améliorer l'interaction avec le système et mieux comprendre le raisonnement.	[DAV03]
Charge de travail	Brièveté	Bouton de guidage	Affichage du prochain exercice à effectuer ou le précédent	Conseiller l'utilisateur dans son utilisation du système.	[TRI03] [IGL03a]
		Ajout et retrait de liens	Suppression ou ajout des liens hypertextes dans la page selon les besoins d'apprentissage de	Éviter aux utilisateurs de choisir des liens qui ne lui sont pas utiles au moment	[IGL03a]

Critère	Sous-critère	Élément d'interface	Moyen	But / Rôle	Dans quel système
			l'utilisateur.	de son choix.	
	Densité informationnelle	Ajout et retrait de liens	Suppression ou ajout des liens hypertextes dans la page selon les besoins d'apprentissage de l'utilisateur.	Éviter aux utilisateurs de choisir des liens qui ne lui sont pas utiles au moment de son choix.	[IGL03a]
Contrôle explicite	Contrôle utilisateur	Menu des préférences	Modification la façon d'afficher le guidage.	Les utilisateurs peuvent personnaliser l'affichage du guidage.	[TRI03]
		Fenêtre de concept	Fenêtre affichant les concepts du domaine.	Voir et modifier la logique du système et le raisonnement de ce dernier.	[DAV03]
Adaptabilité	Flexibilité	Menu des préférences	Modification la façon d'afficher le guidage.	Les utilisateurs peuvent personnaliser l'affichage du guidage.	[TRI03]
	Prise en compte de l'expérience	Contenu d'affichage personnalisé et dynamique	Contenu d'une page web déterminé par les connaissances de l'utilisateur et son comportement. Tout est personnalisé même les contrôles (ex. : boutons). L'utilisation des styles cognitifs peut-être utilisé pour déterminer le contenu.	Adapter l'interaction avec les utilisateurs de façon plus personnalisée, ce qui facilite l'utilisation.	[CUR04], [IGL03a], [CHA06], [GRA00], [CHE08], [TRI03]
		Liens hypertextes cachés	Mise en indisponibilité de certains liens hypertextes non utiles à l'utilisateur.	L'utilisateur peut choisir les bons exercices pour ces connaissances.	[IGL03a]
		Liens hypertextes triés	Tri physique à l'écran des liens hypertextes en fonction des caractéristiques de l'utilisateur.	Mieux guider l'utilisateur.	[IGL03a]
		Ajout et retrait de liens	Suppression ou ajout des liens hypertextes dans la page selon	Éviter aux utilisateurs de choisir des liens qui ne lui	[IGL03a]

Critère	Sous-critère	Élément d'interface	Moyen	But / Rôle	Dans quel système
			les besoins d'apprentissage de l'utilisateur.	sont pas utiles au moment de son choix.	
Compatibilité		Ajout et retrait de liens	Suppression ou ajout des liens hypertextes dans la page selon les besoins d'apprentissage de l'utilisateur.	Éviter aux utilisateurs de choisir des liens qui ne lui sont pas utiles au moment de son choix.	[IGL03a]

Chapitre 3. Modèle d'interface pour les EIAH

Nous avons montré, dans le chapitre précédent, qu'il n'y avait pas de modèle d'interface complet proposé pour la construction d'IUI dans les EIAH. Les seuls modèles proposés ne s'adaptent qu'à des situations spécifiques et ne sont pas généraux. Dans ce chapitre, nous allons présenter un modèle d'interface qui est plus générique et qui propose plusieurs éléments d'interface pour créer une IUI. Tout d'abord nous allons présenter le modèle afin que le lecteur puisse avoir un aperçu global. Ensuite, nous décrirons plus précisément chaque composante du modèle.

3.1. Présentation générale du modèle

Il n'est pas facile, voire impossible, de créer un modèle qui puisse répondre aux besoins de tous les développeurs. Néanmoins, nous pouvons établir un bon modèle qui sera utile en tant que guide lors de la conception d'une interface. L'idée est surtout d'explicitier les travaux existants en regroupant les éléments pertinents afin qu'ils soient plus facilement réutilisables. Pour établir notre modèle d'interface, nous avons étudié les caractéristiques d'une bonne interface. Pour cela, nous avons repris les critères d'évaluation mis en évidence dans la littérature du domaine des IPM et nous avons également étudiés certaines IUI existantes en nous basant sur ces critères d'évaluation.

Le domaine choisi pour le cadre de notre étude est l'éducation et plus spécifiquement les EIAH. Donc, le modèle d'IUI que nous proposons est spécifique au domaine des EIAH. Ainsi, les éléments de notre modèle permettront aux IUI de, non seulement, améliorer l'interaction avec les apprenants mais également d'améliorer a priori l'apprentissage de ces derniers. En effet, une interface plus adaptée à l'apprenant ne peut que contribuer positivement à sa démarche d'apprentissage. Nous allons maintenant rappeler les différents objectifs et buts de notre modèle.

3.1.1. Objectifs

L'objectif principal, comme nous l'avons déjà mentionné, est de fournir des éléments d'interface pour construire des IUI dans des EIAH. Mais plus spécifiquement, ce modèle permet d'améliorer l'interaction des apprenants avec le système en personnalisant l'affichage à chacun de ces apprenants. Cette personnalisation amène également à mieux guider les apprenants dans leur utilisation de l'EIAH et ainsi sauver du temps et de l'énergie. En guidant les apprenants, l'IUI permet d'améliorer leur apprentissage a priori, car, par exemple, ils exécuteront les exercices ou apprendront les leçons qui leur sont le mieux adaptés selon leurs connaissances.

Pour identifier les éléments d'interface nécessaires pour construire une bonne IUI, nous avons d'abord identifié huit critères d'évaluation qui permettent de dire que nous avons une bonne IUI. Nous avons décrit ces huit critères dans la section 2.3. En gardant en mémoire ces critères nous avons examiné sept articles qui parlent d'IUI dans des EIAH, pour retenir les différents éléments d'interface de chacun des articles et quels critères ils permettent d'influencer (voir tableau 2).

Suite à cette analyse, nous avons noté que cinq des huit critères d'évaluation présentent des spécificités pour les IUI destinées aux EIAH. Ces cinq critères sont les suivants : le guidage, la charge de travail, le contrôle explicite, l'adaptabilité et la compatibilité. Les trois autres critères, la gestion des erreurs, l'homogénéité et la cohérence et la signifiante des codes et dénominations, sont très importants pour construire de bonnes IUI, par contre ce sont des critères qui appartiennent aussi au domaine des IPM et ne présentent pas de spécificités pour les IUI dans les EIAH. Pour ces critères, nous ne proposons pas d'éléments d'interface particuliers dans notre modèle, car ce sont des critères qui suivent les mêmes règles peu importe le type d'interfaces et ils jouent un moins grand rôle pour rendre les IUI des EIAH plus performantes. De nombreux décrivent ces critères et les éléments d'interface possibles pour y répondre comme par exemple [TRI03].

À partir des cinq critères retenus, nous avons identifié cinq composantes qui permettent aux IUI de bien performer, soit : un contenu personnalisé, des liens hypertextes adaptés, des mécanismes de guidage direct, des fenêtres d'aide supplémentaires, un menu de préférences spécifiques. Chaque composante identifiée permet d'atteindre un ou plusieurs des cinq critères retenus.

Dans la section suivante, nous présentons de manière générale le modèle d'IUI destinées aux EIAH que nous proposons.

3.1.2. Aperçu général du modèle

Dans cette section, nous reprenons chaque critère d'évaluation essentiel dans la conception d'IUI pour un EIAH que nous avons retenu. Nous expliquons comment les composantes identifiées répondent aux besoins mis en évidence par chaque critère.

Pour le critère de guidage, nous préconisons l'utilisation des deux mécanismes de guidage, direct et indirect. Le guidage direct survient quand le système guide les apprenants vers le prochain sujet d'étude sans que ces derniers n'aient un mot à dire dans le choix (ex. boutons de guidage). Pour répondre à ce critère, nous avons besoin de *mécanismes de guidage direct*. Pour le guidage indirect, qui survient quand le système propose des choix aux apprenants, ce sont les *liens hypertextes adaptés* et une *fenêtre d'aide supplémentaire* dite de guidage qui sont nécessaires. À l'aide de ces composantes, nous rencontrons les quatre sous-critères de guidage : l'incitation, le groupement, la rétroaction et la lisibilité.

Pour le critère de réduction de charge de travail, nous avons besoin d'utiliser des *mécanismes de guidage direct* et les *liens hypertextes adaptés*. Ces deux composantes d'interface permettent de réduire la charge de travail des apprenants en choisissant à leur place et en affichant à l'écran seulement l'information nécessaire. Nous rencontrons alors le sous-critère de brièveté. Le sous-critère de réduction de la densité informationnelle peut être atteint également grâce au mécanisme de retrait et d'ajout des différents liens hypertextes adaptés.

Pour le critère de contrôle explicite, nous préconisons l'utilisation d'une *fenêtre d'aide supplémentaire* (fenêtre des concepts) et du *menu de préférences spécifiques*. Ces deux composantes permettent de donner aux apprenants un contrôle sur l'affichage et sur le fonctionnement du système. Nous rencontrons alors le sous-critère de contrôle utilisateur. Pour ce qui est du sous-critère de tenir compte des actions explicites, il est atteint par les principes de développement des IPM. Il est tout à fait naturel de développer des IUI qui répondent convenablement aux demandes d'actions par les apprenants.

Le critère d'adaptabilité nécessite l'utilisation des composantes suivantes : *contenu personnalisé*, *liens hypertextes adaptés* et *menu des préférences spécifiques*. Les deux premières composantes permettent de prendre en compte l'expérience des apprenants lors de l'affichage, tandis que la troisième permet d'ajouter de la flexibilité aux IUI. Nous rencontrons alors les deux sous-critères : prise en compte de l'expérience et flexibilité.

Pour le critère de compatibilité, un seul élément permet de l'atteindre et ce sont les *liens hypertextes adaptés*. En ajoutant ou en retirant certains liens hypertextes non essentiels aux apprenants, l'affichage des IUI devient compatible avec les besoins des apprenants.

Nous avons construit un exemple d'IUI destinée aux EIAH (figure 1) en intégrant les différentes composantes. Dans ce schéma, nous voyons la présence du menu des préférences spécifiques dans la barre de menus qui se trouve tout en haut. Ce menu permet aux utilisateurs de personnaliser l'affichage et le contenu pour l'apprentissage. Comme cette personnalisation se fait par les apprenants, cela permet de leur fournir un contrôle sur l'IUI et augmente leur intérêt pour l'utilisation de l'EIAH. De plus, le menu permet d'adapter plusieurs paramètres qui affectent son affichage, ce qui augmente la flexibilité de l'IUI. Ce menu permet d'atteindre les critères de contrôle explicite et d'adaptabilité.

Ensuite, dans la partie de gauche nous avons la liste des liens hypertextes adaptés qui permet aux apprenants de naviguer dans les divers sujets d'étude. Avec les différents mécanismes d'adaptation des liens hypertextes, l'IUI joue un rôle important de guidage auprès des apprenants. De plus, elle permet de réduire la charge de travail des apprenants en leur

fournissant un guide pour le choix des concepts à apprendre. Enfin, cette adaptabilité de l'IUI permet de personnaliser l'IUI et de la rendre plus agréable à utiliser. Le but de l'utilisation des liens hypertextes est de faciliter le travail des apprenants et de les diriger vers les concepts les plus utiles à leur apprentissage, l'améliorant a priori. Les différents mécanismes qui régissent la liste de liens hypertextes adaptés permettent d'améliorer les critères de guidage, d'adaptabilité, de charge de travail et de compatibilité.

Dans le haut au centre de notre schéma, nous retrouvons les mécanismes de guidage direct, sous forme de boutons. L'usage des mécanismes de guidage direct permet à l'IUI de bien diriger les apprenants lors de l'utilisation de l'EIAH. Il permet aussi de réduire le temps de recherche de la prochaine étape d'apprentissage. Ainsi, les apprenants ont moins de travail cognitif à faire, ce qui leur laisse plus de temps pour l'apprentissage. Les mécanismes de guidage permettent de donner une réponse rapide à un besoin des apprenants, rendant l'expérience plus agréable et plus profitable aux apprenants. Ces mécanismes permettent d'influencer les critères de guidage et de charge de travail.

En dessous de ces mécanismes, nous retrouvons la fenêtre principale, qui contient le contenu personnalisé sur les sujets d'étude. En personnalisant le contenu de l'IUI présentée à chacun des apprenants, celle-ci devient adaptable selon l'expérience et les connaissances des apprenants. Cette personnalisation permet de rendre l'interaction, via l'IUI, entre les apprenants et le système, plus agréable et plus efficace. Ainsi, les apprenants auront du plaisir à utiliser le système et apprendront a priori plus facilement et plus rapidement. Le contenu des IUI permet d'atteindre le critère d'adaptabilité.

Enfin, nous retrouvons deux fenêtres d'aide supplémentaires dans le bas du schéma. Celle de gauche est une fenêtre pour le guidage par le système et celle du centre sert à la collaboration entre les apprenants et de communication avec les enseignants, sous forme de forum de discussion. Les fenêtres supplémentaires permettent de guider l'apprenant dans l'utilisation de l'EIAH et dans son apprentissage. Elles permettent également d'augmenter l'interactivité entre l'EIAH et l'apprenant et entre les apprenants entre eux. Les apprenants sont plus actifs dans leur apprentissage, plus intéressés pour l'EIAH car l'utilisation en est

plus claire. La compréhension de l'apprentissage devrait être améliorée car les apprenants peuvent mieux se concentrer sur leur étude. Ces fenêtres permettent d'influencer le critère de guidage.

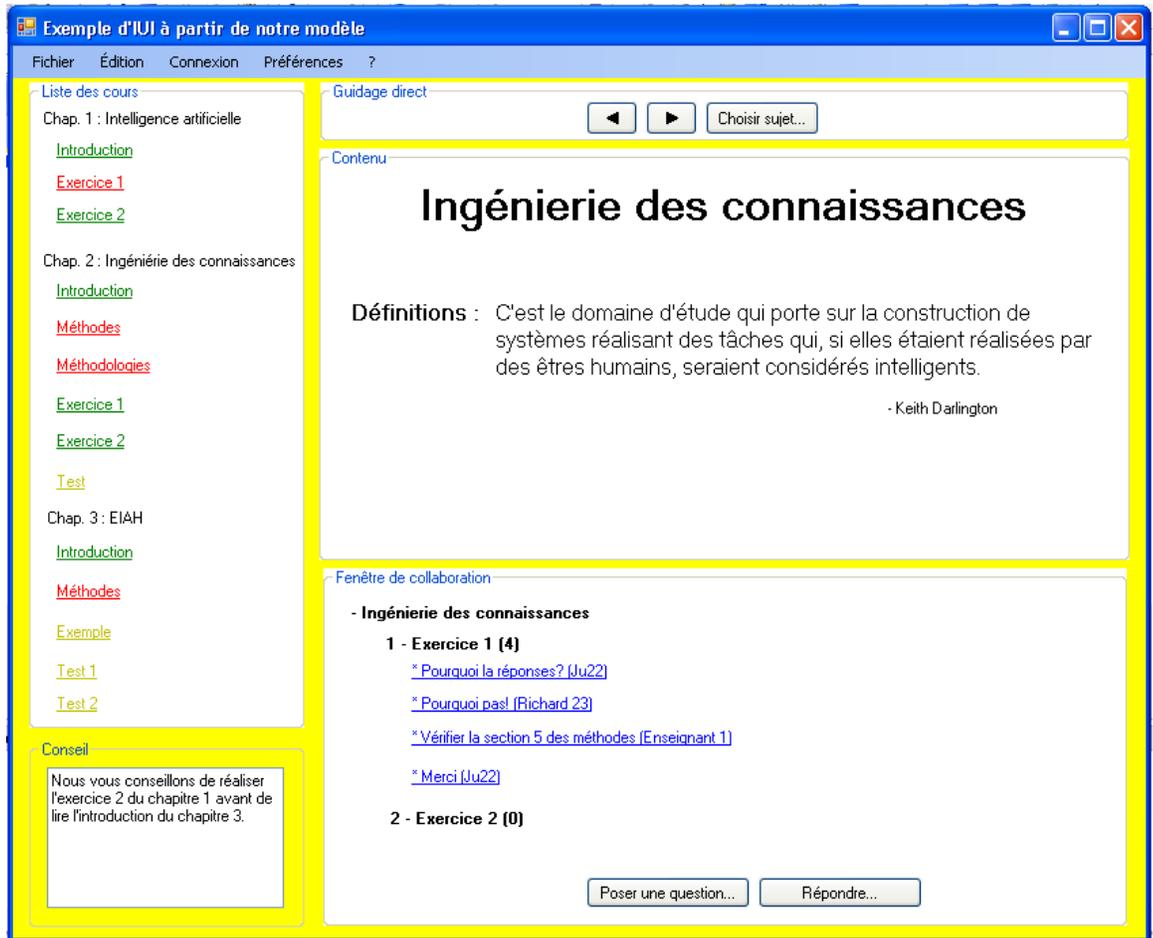


Figure 1. Exemple d'IUI à partir du modèle

Nous allons dans la section suivante détailler les différents éléments d'interface retenus de façon plus précise.

3.2. Composantes du modèle

Plusieurs composantes d'interface sont proposées dans de nombreux articles. Celles que nous avons identifiées nous semblent essentielles pour avoir une IUI efficace et pour rendre l'interaction avec le système plus attrayante et plus efficiente, c'est-à-dire que les

éléments vont apporter plus de flexibilité à l'IUI et surtout va personnaliser cette dernière. Ainsi, l'interaction entre l'apprenant et le système en est grandement amélioré et l'intérêt qu'il va porter à l'IUI devrait lui aussi augmenter. Le guidage des apprenants est aussi un élément primordial à prendre en compte lors du choix des composantes dans le cadre d'un EIAH.

Nous allons présenter plus en détail les composantes du modèle pour permettre de mieux comprendre comment elles peuvent être utilisées.

3.2.1. Contenu personnalisé

Le contenu, qu'une IUI affiche, ne diffère pas d'une interface ordinaire. Par contre c'est la personnalisation du contenu qui la rend différente des autres types d'interfaces. Habituellement dans les EIAH, le contenu est souvent des leçons que les apprenants doivent lire ou des exercices qu'ils doivent réaliser pour apprendre. Ainsi, ils augmentent leurs connaissances dans un environnement contrôlé. Ce sont ces connaissances qui permettent à l'IUI d'afficher du contenu personnalisé. Donc, la personnalisation du contenu tiendra compte des connaissances des apprenants, de leur expérience avec l'outil, des styles cognitifs de chacun et de leurs préférences. Ceci est repris dans la figure 2 qui présente les fonctionnalités à mettre en œuvre afin d'obtenir la composante de contenu personnalisé. On peut voir aussi que les modèles d'apprenant et du domaine sont mis à contribution pour personnaliser le contenu.

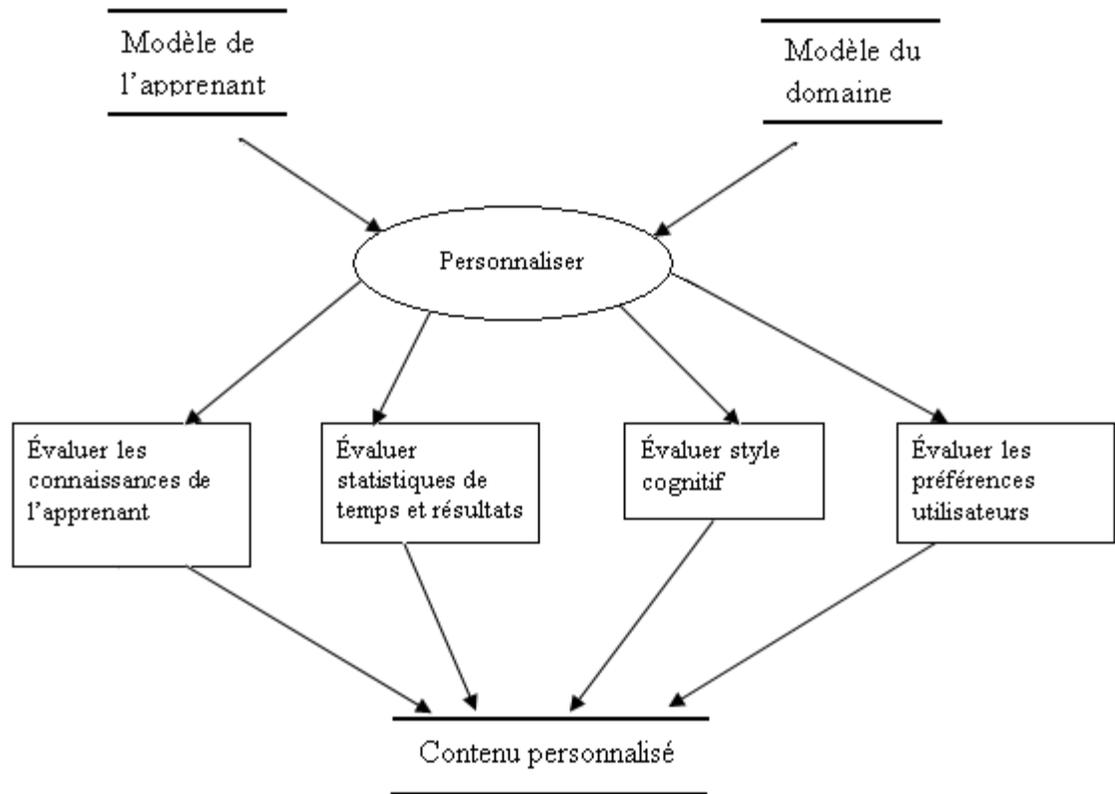


Figure 2. Description de la composante « contenu personnalisé »

Le niveau de connaissances de l'apprenant est le paramètre le plus utilisé pour personnaliser le contenu de l'IUI. Il faut tout d'abord évaluer ce niveau de connaissances, par exemple en proposant un questionnaire de départ. Cette pratique est très répandue et sert de point de départ au système. Une autre façon de faire consiste à ne pas évaluer ce niveau de connaissances au départ et de mettre tous les apprenants sur un même pied d'égalité. C'est par la suite le modèle de l'apprenant qui va évoluer.

Évaluer le niveau de connaissances de départ est très utile, car ce ne sont pas tous les apprenants qui sont au même niveau de connaissances. L'informatique est un bon exemple de domaine où les champs de connaissances et compétences varient d'un individu à l'autre. L'un peut s'intéresser plus au matériel (disque dur, carte-mère, etc.), l'autre se spécialiser en réseautique, un autre dans un langage de programmation donné, etc. Donc, il est impératif d'avoir un portrait de départ des apprenants, pour que l'IUI soit efficace plus rapidement. Par la suite, avec l'utilisation du système, les apprenants vont augmenter leurs connaissances

qu'ils ont du domaine d'étude. Ces connaissances devront aussi être contenues pour que l'IUI les utilise afin d'être plus personnalisée. Par exemple, les apprenants pourraient avoir une liste de leçons et d'exercices différente selon les connaissances qu'ils ont acquises.

La figure 3 affiche un exemple d'IUI dont le contenu change selon les connaissances des utilisateurs. Dans cette IUI, les onglets dans la fenêtre principale sont ajoutés ou retirés dynamiquement selon les connaissances acquises par l'apprenant. L'onglet « Problemas » va être ajouté dans la liste si l'IUI considère que l'apprenant a les connaissances pour résoudre un problème sur le sujet d'étude choisi. Cette façon de personnaliser l'IUI la rend dynamique et permet de bien guider les apprenants dans leur apprentissage.

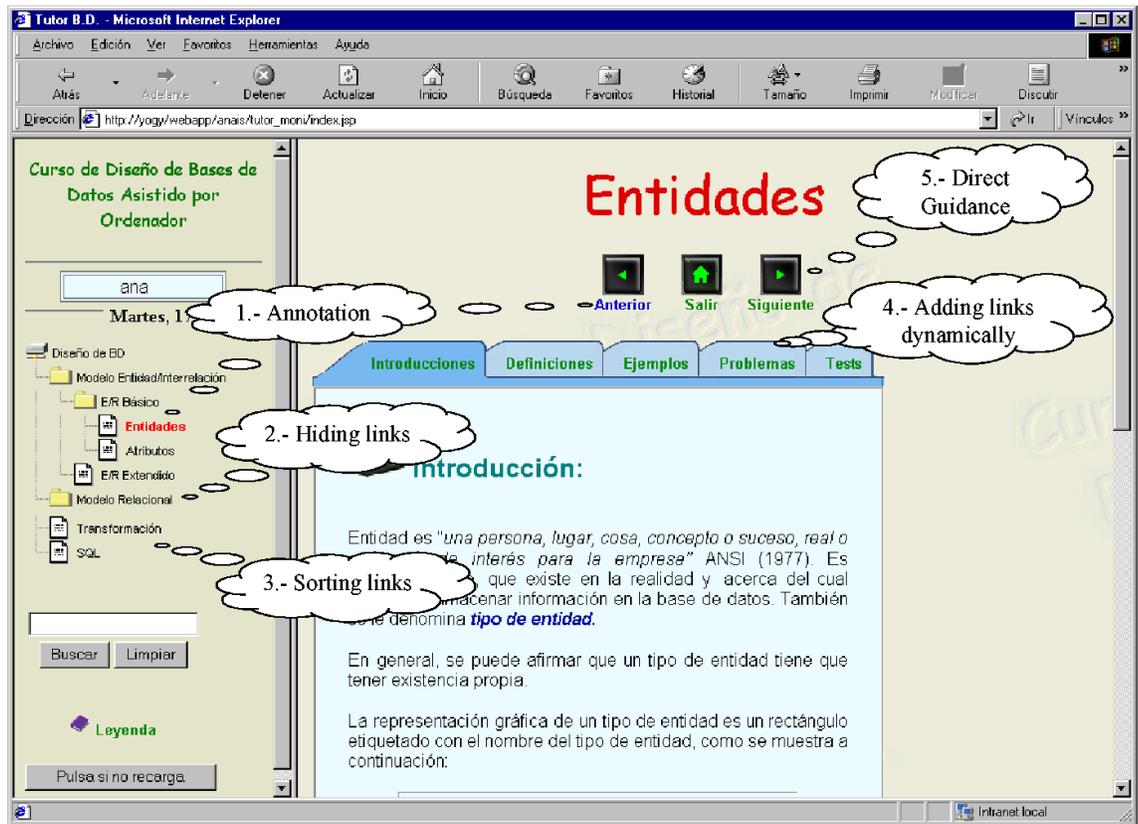


Figure 3. Exemple de contenu personnalisé [IGL03a]

Lorsque les apprenants sont en session d'apprentissage avec l'EIAH, il est intéressant de conserver certaines statistiques d'utilisation du système. Les statistiques les plus intéressantes sont souvent liées au temps. Par exemple, nous pouvons calculer le temps qui

s'écoule lorsque les apprenants étudie une leçon ou réalise un exercice. Ces statistiques peuvent servir pour améliorer l'IUI, en faisant des ajustements selon son utilisation. Par exemple, si un type de leçons n'est jamais visionné ou presque, c'est que ce type présente peu d'intérêt pour les apprenants. Mais ces statistiques peuvent aussi servir à ajuster l'IUI de façon dynamique, c'est-à-dire que l'IUI peut proposer une leçon à l'apprenant qu'il semble ne pas avoir étudiée assez longtemps pour atteindre un objectif d'apprentissage fixé. L'utilisation des statistiques pour personnaliser l'IUI est une technique moins répandue, car elle demande plus de travail pour concevoir les règles d'affichage.

Les styles cognitifs jouent un rôle important dans la conception d'EIAH, car les apprenants n'ont pas tous la même façon d'apprendre. Nous distinguons deux grands styles cognitifs : les dépendants du domaine et les indépendants du domaine [TRI03]. Les dépendants du domaine sont des apprenants qui ont besoin d'être guidés à travers les différentes leçons et exercices et qui aiment suivre l'ordre logique d'apprentissage. Ce sont aussi des apprenants qui aiment apprendre de façon coopérative en parlant avec les autres, tandis que les indépendants préfèrent apprendre par eux-mêmes sans collaborer avec les autres. Bien sûr, il est rare de trouver un individu qui se trouve à l'un de ces deux extrêmes, ils ont généralement une combinaison des deux. Il est aussi intéressant de tenir compte des autres dimensions qui peuvent caractériser les apprenants dépendants ou indépendants, soit global et séquentiel, visuel et auditif, sensé et intuitif, actif et réfléchi [CHA06], regroupées dans le tableau 3. Ces dimensions peuvent être décrites ainsi :

- **global vs séquentiel** : un apprenant global (indépendant) aime bien avoir un aperçu des leçons à venir et choisit les exercices qu'ils préfèrent. L'apprenant séquentiel (dépendant) suit l'ordre logique.
- **visuel vs auditif** : un apprenant visuel préfère les images ou les démonstrations sur l'écran. Un apprenant auditif préfère le texte et les explications.
- **sensé vs intuitif** : un apprenant sensé utilise ses sens et porte plus d'attention aux détails, il est plus minutieux et prend son temps. Un apprenant intuitif n'est pas intéressé aux détails.
- **actif vs réfléchi** : un apprenant actif (indépendant) est plus confortable avec l'expérimentation active, et aime les discussions brèves et les activités de résolution de

problèmes. Un apprenant réfléchi (dépendant) aime avoir un temps de réflexion entre les activités et lors des discussions.

Dimension liée au domaine	Autres dimensions	Chemin d'apprentissage	Contenu à l'écran	Utilisation des sens	Expérience
Indépendant	Global	Aperçu des leçons pour choisir			
	Actif				Expérimentation active. Discussions brèves. Résolution de problèmes
Dépendant	Séquentiel	Suit l'ordre logique			
	Réfléchi				Temps de réflexion entre activités et discussions
	Visuel		Images et démonstrations		
	Auditif		Textes et explications		
	Sensé			Porte attention aux détails. Minutieux. Prends son temps	
	Intuitif			Pas intéressé aux détails	

Tableau 3. Dimensions des styles cognitifs

Toutes ces caractéristiques influencent grandement la façon d'afficher les informations dans l'IUI. Ainsi, cette dernière s'adaptera aux différentes caractéristiques des apprenants, en affichant, par exemple, plus d'audio-visuel pour un apprenant visuel. Le meilleur moyen de connaître ces caractéristiques est de faire un test de départ qui permet de classer chacun des

apprenants dans les bonnes catégories. À partir de ce test, nous conservons l'information pour mettre à jour l'IUI.

Enfin, les préférences sont des paramètres qui sont établis par les apprenants. À l'aide d'un menu ou d'une fenêtre par exemple, les apprenants peuvent choisir certains paramètres d'affichage de l'IUI. Ils peuvent choisir les paramètres d'affichage simples, comme la couleur des liens, la police, etc. Mais, ils peuvent aussi modifier certaines caractéristiques d'apprentissage qui leur sont attribuées. Par exemple, un apprenant indépendant du domaine pourrait choisir d'avoir plus de guidage. Ils pourraient également modifier leurs styles cognitifs afin de les raffiner, étant donné que les tests ne permettent pas d'identifier parfaitement les styles des apprenants, mais plutôt une tendance. De plus, les préférences des apprenants peuvent changer selon le sujet d'étude ou même leurs besoins peuvent différer lorsqu'ils ont plus de difficultés avec un sujet. Donc la modification des styles cognitifs leur permet d'adapter leur apprentissage.

L'outil de stockage le mieux adapté pour contenir les différents paramètres des apprenants est un modèle de l'étudiant à sauvegarder dans une base de connaissances. Le modèle de l'étudiant contient donc tous les paramètres décrivant l'étudiant, son nom, sa classe, son numéro d'étudiant, etc., mais aussi un numéro d'identification unique. La deuxième partie du modèle de l'étudiant contient les connaissances de départ et celles acquises en cours d'utilisation.

Les connaissances de départ peuvent être obtenues à l'aide d'un test dont les questions doivent concerner les différents sujets à enseigner et ces questions sont composées par les enseignants. Ce test devrait être facultatif, pour ne pas contraindre les apprenants à faire un test qu'ils n'ont pas le désir de faire. Mais, il devrait être fortement suggéré à l'apprenant de le faire pour éviter qu'il soit considéré comme débutant dans tous les sujets. Nous suggérons de composer trois questions, de niveaux différents (débutant, intermédiaire et expert), pour chacun des sujets à étudier. Ainsi, dans le modèle de l'étudiant chaque sujet sera conservé avec le niveau d'apprentissage. L'IUI utilisera ces informations pour proposer les leçons et exercices appropriés par exemple, tout en consultant aussi le modèle du domaine. Le modèle

de l'étudiant contiendra ensuite les références des différentes leçons et exercices que les apprenants auront consultés ou réalisés pendant leur utilisation du système afin d'enregistrer les nouvelles connaissances acquises.

Nous proposons d'ajouter, au modèle de l'étudiant, les styles cognitifs des apprenants en conservant les valeurs des quatre grandes dimensions discutées auparavant, c'est-à-dire : global vs séquentiel, visuel vs auditif, sensé vs intuitif et actif vs réfléchi. À l'aide d'une échelle, chaque apprenant pourra décider dans quelles dimensions il se retrouve le plus. Par exemple, si un des apprenants est plus visuel qu'auditif, il pourra déplacer l'échelle vers « visuel » plutôt qu'« auditif ». Les apprenants pourront établir ces dimensions dans un menu de préférences. Ces dimensions serviront à l'IUI dans la présentation des leçons, par exemple. Si la personne est plus visuelle, nous lui proposerons des liens vers du multimédia qui explique plus en détails la leçon. S'il est plus auditif, nous afficherons plus de descriptif. Si l'apprenant est plus séquentiel, des boutons de guidage pourraient être disponibles pour le guider vers le prochain exercice ou leçon. Si l'apprenant est plus global, il pourrait choisir parmi une liste de leçons disponibles avec une description du chemin d'apprentissage. Si l'apprenant est plus sensé, des leçons pourraient être offertes avec plus de détails. S'il est plus intuitif, les leçons pourraient être plus brèves et ne comprendre que l'essentiel. Par contre, des liens vers plus de détails resteraient disponibles. Enfin, les apprenants plus actifs pourraient utiliser un groupe de discussion qui leur permettrait d'échanger sur les solutions.

Les derniers éléments à mettre dans le modèle de l'étudiant sont les statistiques sur son utilisation de l'IUI. Il est possible de garder toutes sortes de statistiques sur l'utilisation de l'IUI par les apprenants. Par contre, notre modèle propose de conserver seulement les statistiques de temps, par exemple le temps que l'apprenant a pris pour réaliser un certain exercice, car elles nous paraissent les plus déterminantes. Bien sûr, quand un apprenant démarre un exercice, il peut être interrompu pour toute sorte de raison. Dans ce cas, les statistiques seront biaisées ou même non utilisables à cause de l'interruption. Malheureusement, il n'y a pas de solution simple à ce problème. Nous proposons que les enseignants estiment la période de temps maximum que l'apprenant devrait mettre pour la leçon ou l'exercice. Alors si ce temps est dépassé nous n'enregistrons pas cette statistique. Les

statistiques peuvent servir aussi à l'IUI pour afficher les leçons de façon différente selon la vitesse d'apprentissage de l'apprenant. L'IUI pourrait proposer par exemple de revoir une leçon si l'apprenant a mis trop de temps à la consulter. Si l'apprentissage consiste à résoudre des exercices, les résultats aux exercices devraient être conservés par des statistiques. Ainsi, l'IUI peut estimer si l'apprenant a bien compris selon s'il a réussi ou non l'exercice. Il est possible de soumettre aux apprenants, après chaque bloc d'étude ou concept, un test pour vérifier le niveau de connaissances des apprenants et ainsi enrichir les statistiques.

La figure 4 présente un exemple de modèle de l'étudiant que nous avons créé, sous format XML, pour bien représenter les besoins du modèle de l'étudiant. Il contient les informations générales sur l'apprenant et ensuite des informations sur ces connaissances. Les informations conservées pour les différents sujets d'étude sont :

- **niveau de départ** : ce niveau est obtenu à l'aide d'un questionnaire de départ ou il est à 'Débutant' par défaut. Le niveau de départ peut servir comme indicateur de l'évolution des apprenants.
- **niveau actuel** : ce niveau prendra la valeur du niveau précédent et sera modifié selon l'évolution des connaissances des apprenants sur le sujet d'étude.
- **temps consacré** : cette information contient le nombre de minutes que les apprenants ont passé sur un sujet donné. Cette variable peut être biaisée, car les apprenants ne sont pas toujours devant l'écran de l'ordinateur et peuvent également être dérangé. Cette variable peut servir à déterminer si les apprenants ont regardé la leçon.
- **résultat moyen** : cette information permet de connaître le résultat moyen des différents exercices et tests que les apprenants ont réalisés sur le sujet donné. Cette information permet de mettre à jour le niveau actuel.

```

<apprenant>
  <nom> JohnDoe </nom>
  <numero>09111111</numero>
  <nom_util>jodo</nom_util>
  <mot_passe>12test</mot_passe>
  <courriel>john.doe.223@ulaval.ca</courriel>
  <groupe>Classe B</groupe>
  <style_cognitif>Dépendant</style_cognitif>
  <global_sequentiel>Séquentiel</ global_sequentiel >
  <visuel_auditif>Visuel</visuel_auditif>
  <sense_intuitif>Sensé</sense_intuitif>
  <actif_reflechi>Réfléchi</ actif_reflechi >
  <couleur_ecrit>Bleu foncé</couleur_ecrit>
  <couleur_fond>Noir</couleur_fond>
  < sujet1 >
    <niveau_depart>Débutant</niveau_depart>
    <niveau_actuel>Avancé</ niveau_actuel>
    <temps_consacre>120</temps_consacre>
    <resultat_moyen>9</resultat_moyen>
  </sujet1>
  < sujet2 >
    <niveau_depart>Intermédiaire</niveau_depart>
    <niveau_actuel>Avancé</ niveau_actuel>
    <temps_consacre>30</temps_consacre>
    <resultat_moyen>10</resultat_moyen>
  </sujet2>
  < sujet3 >
    <niveau_depart>Débutant</niveau_depart>
    <niveau_actuel>Intermédiaire</ niveau_actuel>
    <temps_consacre>20</temps_consacre>
    <resultat_moyen>6</resultat_moyen>
  </sujet3>
  < sujet4 >
    <niveau_depart>Débutant</niveau_depart>
    <niveau_actuel>Débutant</ niveau_actuel>
    <temps_consacre>0</temps_consacre>
    <resultat_moyen>0</resultat_moyen>
  </sujet4>
</apprenant>

```

Figure 4. Exemple de modèle de l'étudiant

Le modèle du domaine contient, quant à lui, le cheminement normal d'apprentissage des différents concepts. Ce modèle doit être réalisé par les enseignants, car ce sont eux qui connaissent les concepts qu'ils veulent enseigner. Le modèle du domaine est lui aussi sauvegardé dans la base de connaissances et contient par exemple les différents concepts, la liste des leçons et exercices associés à ces concepts, la difficulté de chacun de ces éléments et l'ordre de présentation.

Un exemple de modèle du domaine, tiré de l'EIAH SPEAC [POT02], est présenté à la figure 5. Cet exemple, présente un exercice et sa solution qui sont affichés par l'IUI. Cet

exemple contient une introduction, deux énoncés, une question, une solution avec une réponse. Les autres exemples auront tous la même structure pour permettre à l’IUI d’afficher les exemples de façon uniforme.

```

<Chapitre>
  <titre>Chapitre 7</titre>
  <contenu>
    <type>probleme</noeud_type>
    <titre>Le problème</noeud_titre>
    <date>2002-11-27</noeud_date>
    <auteur>Laurence</noeud_auteur>

    <enonce1>
      <titre>Énoncé #1</titre>
      <contenu>Nathalie possède les clés du placard</contenu>
      <date>2002-11-27</date>
      <auteur>Laurence</auteur>
    </Enonce1>

    <Enonce2>
      <titre>Énoncé #2</titre>
      <contenu>Si une personne souffre d'embonpoint ou aime cuisiner, elle a des chances d'être gourmande</contenu>
      <date>2002-11-27</date>
      <auteur>Laurence</auteur>
    </enonce2>

    <question>
      <titre>La question</titre>
      <contenu>Transformer en logique des prédicats, en logique clausale et en Prolog les énoncés précédents</contenu>
      <date>2002-11-27</date>
      <auteur>Laurence</auteur>
    </question>

    <solution>
      <reponse1>
        <titre>Transformation de l'énoncé #1</titre>
        <contenu>Même chose en logique des prédicats, en logique clausale et en Prolog :&lt;br>&lt;br>possede(nathalie, clesPlacard).</contenu>
        <date>2002-11-28</date>
        <auteur>Laurence</auteur>
      </reponse1>
    </solution>
  </contenu>
</Chapitre>

```

Figure 5. Modèle du domaine inspiré de [POT02]

Avec le modèle de l’étudiant et celui du domaine, l’IUI peut connaître les éléments à proposer aux apprenants selon leurs connaissances et l’ordre d’apprentissage des concepts.

3.2.2. Liens hypertextes adaptés

Les liens hypertextes sont habituellement utilisés avec des interfaces Web. Nous avons donc prévu que notre modèle intègre des liens hypertextes car la plupart des EIAH développés récemment font tous appel aux technologies Web, pour leur grande disponibilité et pour leur

facilité d'utilisation. En effet, la praticité de ces technologies permet aux apprenants de pouvoir utiliser l'EIAH partout dans le monde, à l'aide seulement d'une connexion Internet.

Les liens hypertextes sont très utiles, car ils permettent, d'un clic de souris, de faire apparaître à l'écran une nouvelle page Web contenant une nouvelle information. Ainsi, ils sont idéaux à insérer dans les IUI d'un EIAH, car chaque lien peut pointer sur une leçon ou un exercice. Leur utilisation est très simple et universelle.

C'est la gestion des différents liens hypertextes qui constitue le défi pour l'IUI. La liste des liens sera à personnaliser pour chacun des apprenants. Même si les concepts à apprendre sont les mêmes pour tous les apprenants, l'ordre d'affichage, la couleur des liens, les annotations et même la liste des liens seront différents d'un apprenant à l'autre. C'est pour cela que nous parlons de liens hypertextes adaptés, car ils ont la capacité de s'adapter aux apprenants. La figure 6 présente les fonctionnalités à mettre en œuvre afin d'obtenir la composante des liens adaptés. On peut voir aussi que les modèles d'apprenant et du domaine sont mis à contribution pour adapter les liens hypertextes.

Notre modèle propose d'afficher les liens vers les étapes d'apprentissage du côté gauche de l'écran (voir figure 7), car c'est de ce côté que se porte en premier l'attention des utilisateurs d'interface. Cet emplacement semble naturel pour que les apprenants visualisent bien la liste ces étapes. La présentation de la liste devrait être la plus claire possible et doit suivre l'ordre d'apprentissage, pour ne pas rendre confus les apprenants. L'ordre d'affichage joue un rôle primordial et sera modifié selon le modèle de l'étudiant. L'ordre de la liste ne sera donc pas le même selon le style cognitif de l'apprenant. Par exemple, pour un apprenant qui est séquentiel, la liste sera dans l'ordre d'apprentissage des leçons. Tandis que pour un apprenant global, la liste sera par thème. Ce mécanisme apporte de l'adaptabilité à l'IUI et du guidage, en groupant les éléments utiles les uns en dessous des autres.

Il est aussi possible d'ajouter et de retirer des liens de la liste selon les connaissances acquises par les apprenants lors de leur utilisation. Par exemple, selon les connaissances, certaines leçons ne seront pas disponibles aux apprenants et la liste sera mise à jour, au besoin,

après chaque consultation de leçon ou réalisation d'exercice. L'ajout de liens survient si l'apprentissage de la leçon donne de nouvelles connaissances aux apprenants et que de nouvelles leçons sont maintenant disponibles. Le retrait de liens survient si une leçon n'est plus utile ou que les connaissances des apprenants font défaut. Ce mécanisme permet d'éviter aux apprenants de choisir des liens qui ne leur sont pas utiles au moment de leurs choix. En plus de fournir de l'adaptabilité à l'IUI, ce mécanisme permet de réduire la charge de travail des apprenants en ne fournissant que les liens qui peuvent leur être utiles. De plus, ce mécanisme est relativement transparent pour les apprenants, car la mise à jour se fait au fur et à mesure qu'ils évoluent dans leur apprentissage.

Les annotations et les couleurs que l'IUI attribue aux liens hypertextes peuvent permettre également de guider les apprenants vers les leçons et exercices qui leur sont le plus appropriés selon leurs connaissances. Par exemple, l'IUI pourrait afficher en vert les liens à consulter en premier, en jaune ceux qui ne sont pas appropriés et en rouge ceux qui ont déjà été consultés. Il est aussi utile d'ajouter des annotations aux différents liens, sous forme de bulles d'information, pour donner de l'information supplémentaire sur la leçon ou l'exercice, par exemple. Cette information permet de mieux guider les apprenants vers la leçon ou l'exercice les plus adéquats pour eux.

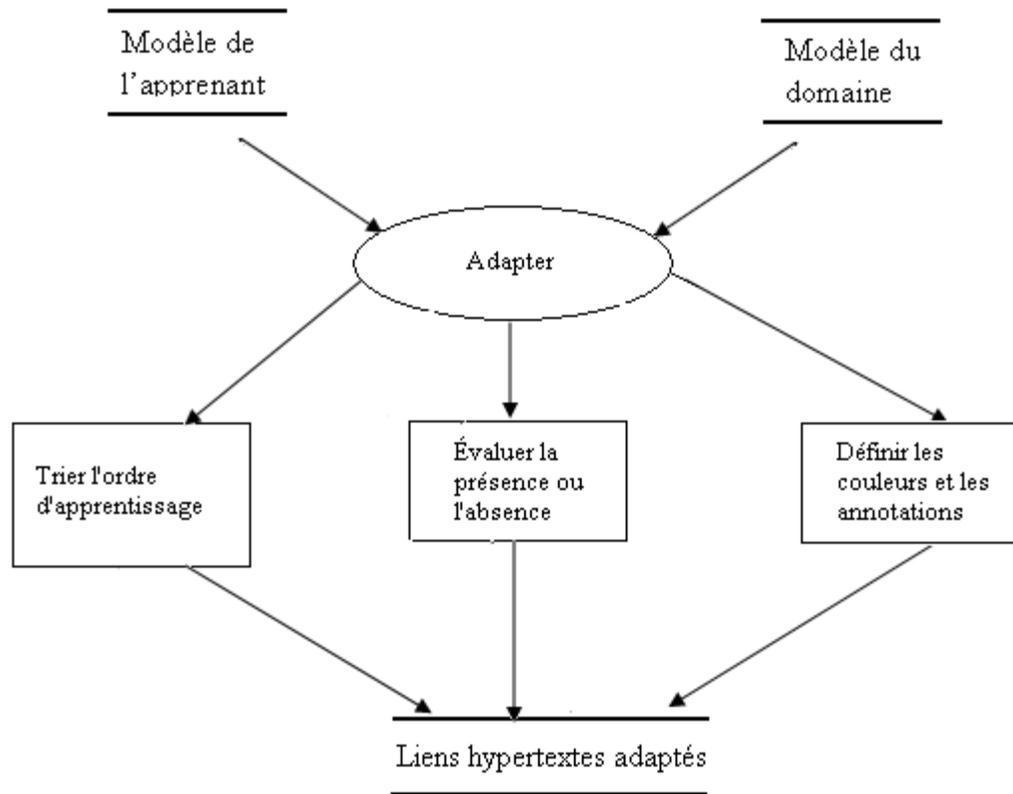


Figure 6. Description de la composante « liens hypertextes adaptés »

Ces deux mécanismes d'adaptation des liens hypertextes permettent à l'IUI d'inciter les apprenants à faire quelque chose, ce qui constitue du guidage indirect. Dans notre exemple de la figure 7, l'IUI affiche une liste des sujets à étudier sous forme de liens hypertextes dans la fenêtre de gauche. Les liens sont réunis selon différentes catégories de sujet. En gras, ce sont les catégories de sujet et en dessous de chaque catégorie s'affichent les différents sujets qui peuvent être consultés. Cette IUI fournit également des annotations, des petits crochets, lorsque les apprenants ont consultés le sujet. La couleur des liens hypertextes changent selon l'intérêt que l'apprenant peut avoir pour ce sujet.

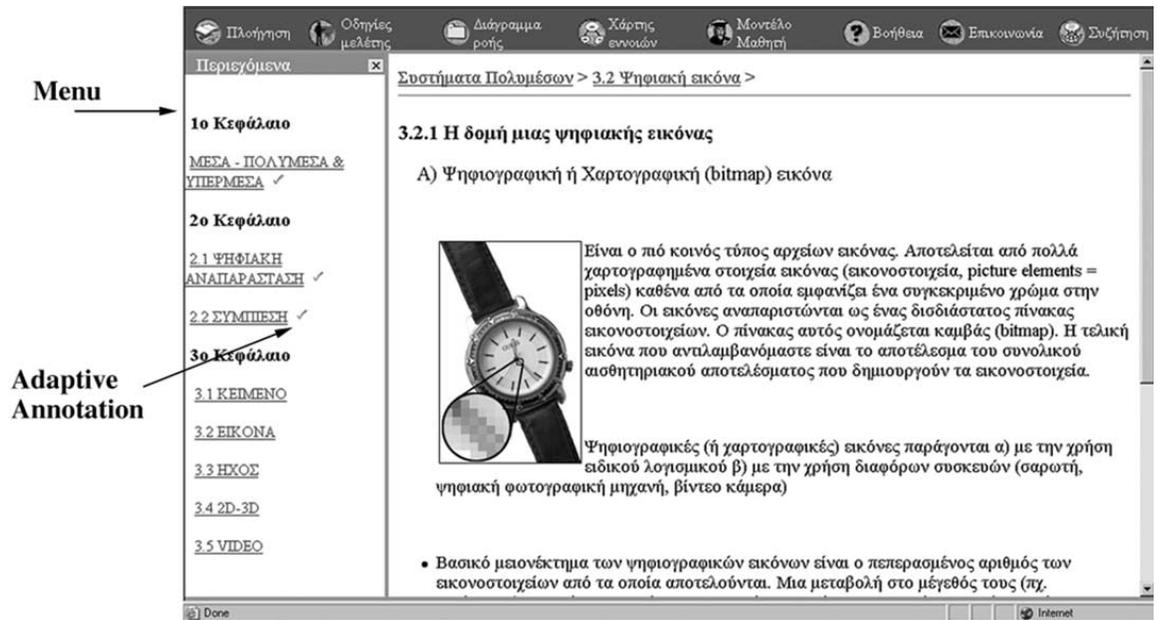


Figure 7. Exemple de liens hypertextes adaptés [TRI03]

3.2.3. Mécanismes de guidage direct

Les mécanismes de guidage direct sont habituellement des boutons standards qui permettent de guider les apprenants vers les leçons et les exercices qui leurs sont le plus appropriés. Ces mécanismes fournissent un guidage plus dirigé que les liens hypertextes adaptés, c'est-à-dire que c'est l'IUI qui suggère la prochaine leçon ou exercice, au lieu que l'apprenant la sélectionne lui-même. La figure 8 présente les fonctionnalités à mettre en œuvre afin d'obtenir la composante des mécanismes de guidage direct. Les modèles d'apprenant et du domaine sont également mis à contribution pour guider directement les apprenants.

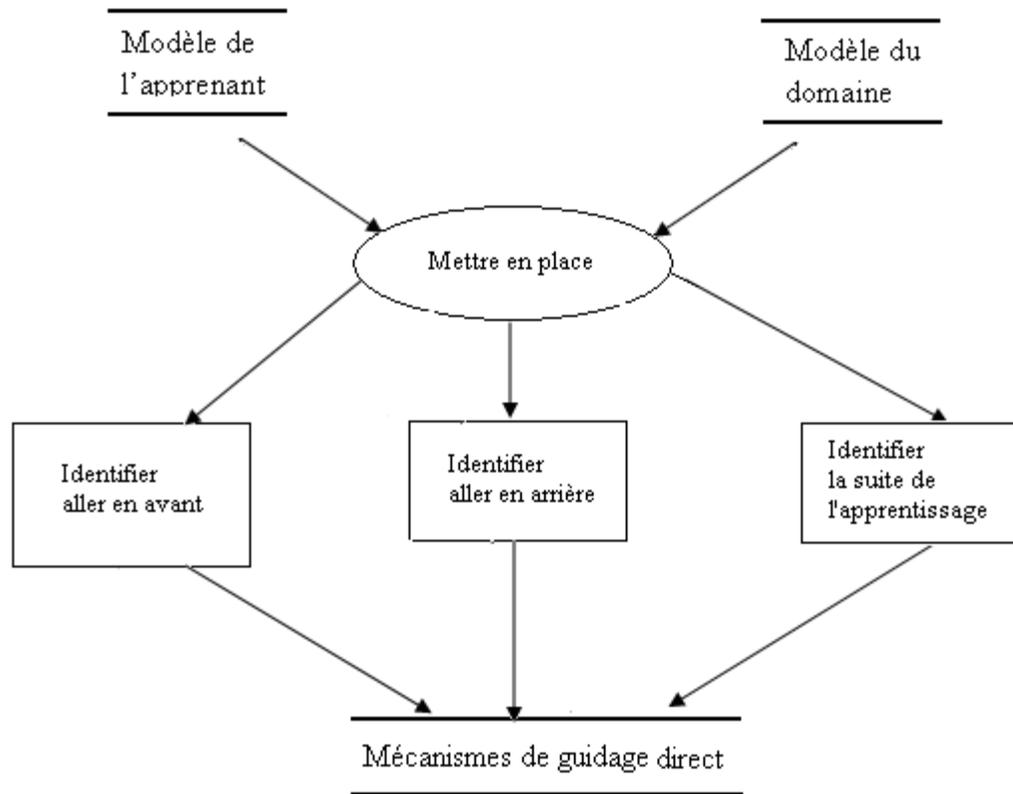


Figure 8. Description de la composante « mécanismes de guidage direct »

Les mécanismes sont placés dans le bas de la liste des liens hypertextes pour permettre aux apprenants de consulter la liste de liens hypertextes en premier. Il est toujours préférable de laisser aux apprenants la chance de choisir pour qu'ils aient l'impression d'avoir le contrôle sur leur expérience. Il est important de fournir aux apprenants les deux types de guidage pour qu'ils aient le choix de la façon d'être guidé. Ainsi, en mettant les boutons dans le bas de la liste des liens hypertextes, les apprenants vont les utiliser au besoin. Certains auteurs proposent de placer ces boutons dans le haut de la fenêtre de contenu (voir figure 9), ce qui est également un bon choix, car dans ce cas les apprenants devraient de la même façon consulter la liste des liens hypertextes avant de choisir le guidage direct.

Dans le cas d'apprentissage par leçons et exercices, les mécanismes disponibles pourraient être de trois boutons : un bouton pour aller à la prochaine leçon ou prochain exercice, un bouton pour aller à la précédente leçon ou précédent exercice et un bouton pour afficher la liste des leçons et exercices à venir. Ce dernier affichage s'appuie sur l'arbre

d'apprentissage des leçons et exercices. Pour choisir la leçon suivante ou exercice suivant, l'IUI utilise les connaissances de l'apprenant provenant du modèle de l'étudiant, ainsi que la liste des leçons du modèle du domaine. La règle qui pourrait être utilisée pour l'IUI est la suivante :

SI la dernière leçon apprise par l'apprenant N'EST PAS la dernière du concept ALORS
Afficher la prochaine leçon selon le niveau de connaissance de l'apprenant
SINON
Vérifier si l'apprenant a passé le test du dernier concept appris
SI OUI
Afficher la première leçon du prochain concept selon le niveau
de connaissances de l'apprenant
SINON
Afficher le test de connaissances du dernier concept étudié

L'affichage des boutons devrait également tenir compte des styles cognitifs des apprenants. Pour un apprenant global, seul le bouton qui affiche l'arbre d'apprentissage est important car il préférera choisir lui-même sa leçon. Pour un apprenant séquentiel, les boutons de choix de la prochaine ou précédente leçon sont très appropriés, car ce genre d'apprenant aime bien être dirigé. Pour les apprenants qui se trouvent entre les deux, les trois boutons devraient être affichés.

Les mécanismes de guidage qui permettent de revenir au précédent, aller au suivant et afficher la suite nous paraissent suffisants pour le guidage direct. D'autres mécanismes pourraient être disponibles pour certaines EIAH, selon les besoins, comme un mécanisme pour retourner à la première leçon ou exercice. La règle à suivre est de réunir tous ces mécanismes à la même place et les disposer dans l'IUI pour permettre aux apprenants de consulter la liste des leçons ou exercices en premier.

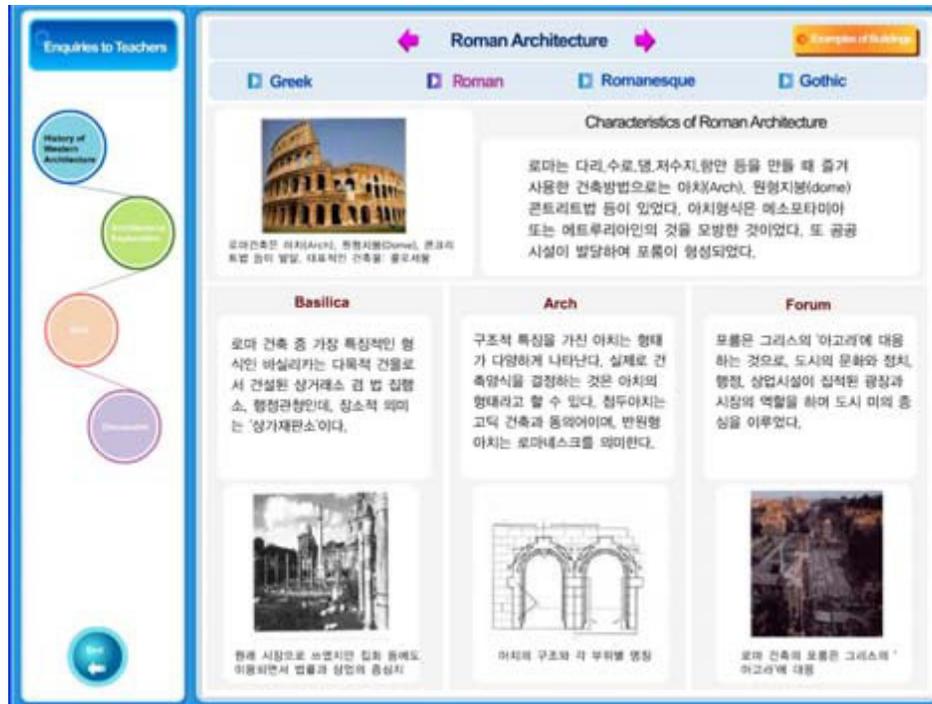


Figure 9. Exemple de mécanismes de guidage direct

3.2.4. Fenêtres d'aide supplémentaires

Les fenêtres d'aide supplémentaires servent habituellement pour les outils complémentaires à l'apprentissage des apprenants, soit des fenêtres d'aide à l'apprentissage. Notre modèle suggère deux types de fenêtres : les fenêtres statiques qui s'affichent dans l'IUI principale et les fenêtres dynamiques qui s'ouvrent et se ferment dynamiquement au besoin. Bien sûr l'utilité des fenêtres dépend des fonctionnalités et buts de l'EIAH. Nous proposons dans ce mémoire quatre exemples de fenêtres qui peuvent être utiles dans un EIAH : discussion, affichage de conseils, affichage graphique des concepts et affichage d'intérêt d'étude. La figure 10 présente les fonctionnalités à mettre en œuvre afin d'obtenir la composante des fenêtres d'aide supplémentaires. Elles font également appel aux modèles d'apprenant et du domaine comme ressources.

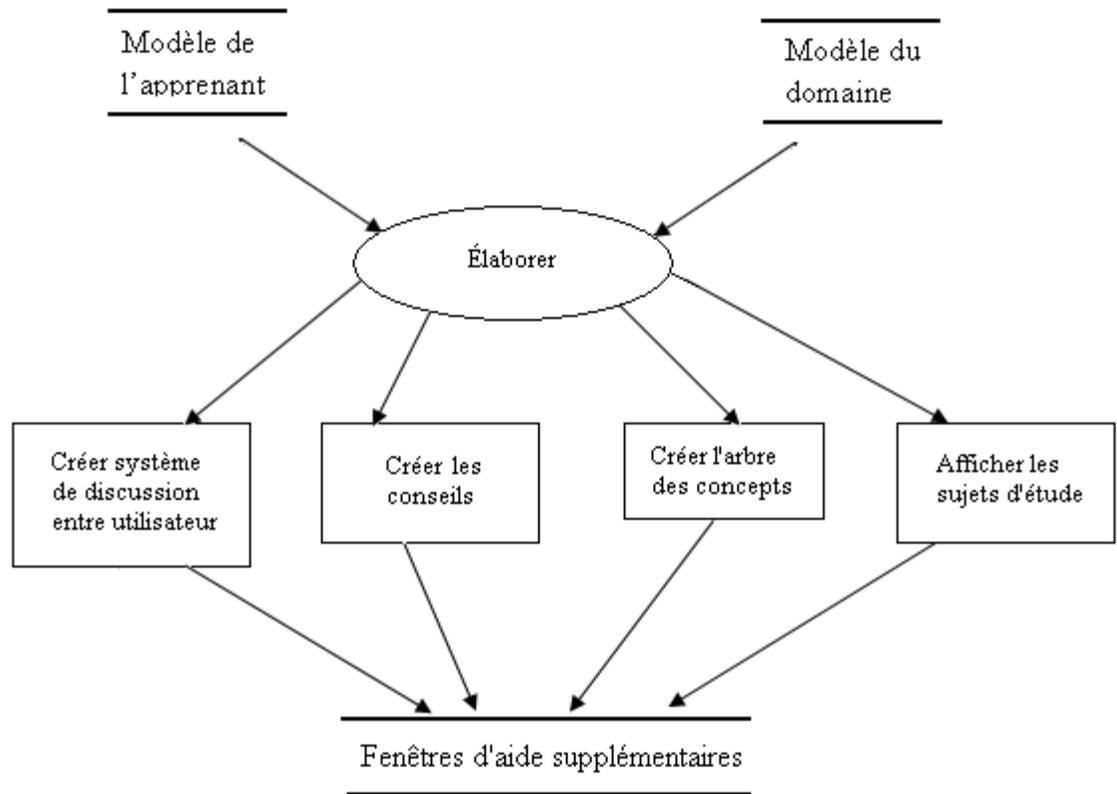


Figure 10. Description de la composante "fenêtres d'aide supplémentaires"

Les fenêtres pour discuter, pour afficher les conseils et pour afficher l'intérêt d'étude sont des fenêtres qui sont très importantes et qui permettent de construire de meilleures IUI. Elles apportent de la collaboration entre utilisateurs et du guidage aux apprenants. Ainsi elles sont obligatoires dans notre modèle. La fenêtre qui affiche graphiquement les concepts est facultative mais complémentaire. En effet, si elle est ajoutée à l'IUI, elle permet d'augmenter le guidage des apprenants.

La fenêtre pour discuter est très utile pour que les apprenants puissent dialoguer entre eux et collaborer. C'est une forme d'apprentissage efficace, car les apprenants comparent entre eux leurs réponses aux exercices et se répondent mutuellement [DIL99]. Les enseignants peuvent eux aussi intervenir lorsque le sujet reste incompris, pour répondre à des questionnements ou pour donner des pistes de solution, ainsi les enseignants ajoutent une forme de guidage à l'IUI. Cette fenêtre est dynamique, car elle apparaît seulement s'il y a une discussion en rapport avec la leçon ou l'exercice. Un bouton permettant d'ouvrir ou fermer la

fenêtre peut être disponible en tout temps, ainsi qu'un bouton pour ajouter une discussion (voir pour exemple la figure 11). En regard des styles cognitifs, la discussion est plus appropriée pour les apprenants de type actif plutôt que ceux du type réfléchi.

Dans notre exemple, tiré du système SPHINX [CUR04a], nous voyons que la fenêtre de discussion est placée dans le bas de la fenêtre du contenu pour suivre l'ordre normal de pensée, c'est-à-dire que nous consultons le contenu avant d'expliquer la solution. Cette fenêtre va apparaître seulement lorsque les apprenants consultent un exemple, c'est-à-dire lorsqu'une discussion est possible. Deux boutons permettent d'ajouter soit une explication ou un commentaire sur l'exemple sélectionné, et éventuellement engager une discussion avec d'autres apprenants.

The screenshot shows a web browser window with the URL <http://ericae.ift.ulaval.ca:8080/Sphinx/index.jsp>. The browser's address bar and tabs are visible at the top. The page content is organized into a sidebar and a main area.

Sidebar (Left):

- Accueil
- Semaine 1 (1)
- Semaine 2 (0)
- Semaine 3 (8)
- Semaine 4 (8)
- Semaine 5 (19)
- Semaine 6 (12)
- Semaine 7 (0)
- Semaine 8 (0)
- Semaine 9 (0)
- Semaine 10 (0)
- Semaine 11 (0)
- Semaine 12 (0)
- Semaine 13 (0)
- Semaine 14 (0)
- Semaine 15 (0)

Main Content Area:

Navigation buttons: Préférences, Guidage, Impression, Aide, Quitter.

Guidage

Buttons: Messages, Révision, Modèle.

Choisir un thème de révision	Obtenir des conseils de Sphinx
<p>Révision en cours : Le langage PROLOG</p> <p>Le langage PROLOG</p> <p>Commencer Arrêter</p>	<p>Générérer les conseils!</p>

Buttons: Explication, Commentaire, [Microphone icon], [Dropdown arrow icon].

Messages

Figure 11. Exemple de fenêtre pour discuter [CUR04a]

Une autre fenêtre utile est celle pour afficher des conseils en tenant compte de l'utilisation du système par les apprenants (voir figure 12). Cette fenêtre est statique et se place dans le bas de l'IUI. Dans notre exemple, la fenêtre prend tout le bas de l'écran, car l'EIAH doit fournir une interaction plus animée avec les apprenants pour leur permettre de corriger leur modèle. Pour d'autres EIAH, il est préférable que la fenêtre ne soit pas trop imposante, car elle pourrait gêner certains apprenants. Il est approprié d'afficher cette fenêtre dans le bas à gauche pour la rendre plus discrète. Par contre, cette fenêtre doit toujours être présente, pour permettre à l'IUI de communiquer directement avec les apprenants.

Nous pouvons utiliser les styles cognitifs pour choisir le type de média à utiliser pour interagir avec les apprenants et pour gérer l'affichage dans la fenêtre. Le type de média peut varier, si nous sommes en présence d'un apprenant visuel alors nous afficherons les conseils par une animation. Si l'apprenant est plus auditif alors nous les présenterons sous forme de textes, comme dans notre exemple. Si les apprenants sont du type dépendant du domaine, l'IUI affichera les conseils de guidage, contrairement aux apprenants indépendants du domaine qui auront de préférence des conseils généraux sur l'utilisation de l'EIAH.

Les conseils de guidage pourront également aborder les sujets que les apprenants devraient étudier ou donner de l'information lors de la résolution d'exercices. D'autres conseils pourraient porter sur l'utilisation de l'EIAH, par exemple les nouveautés dans le système ou si un autre apprenant a répondu à la discussion de l'apprenant en session.

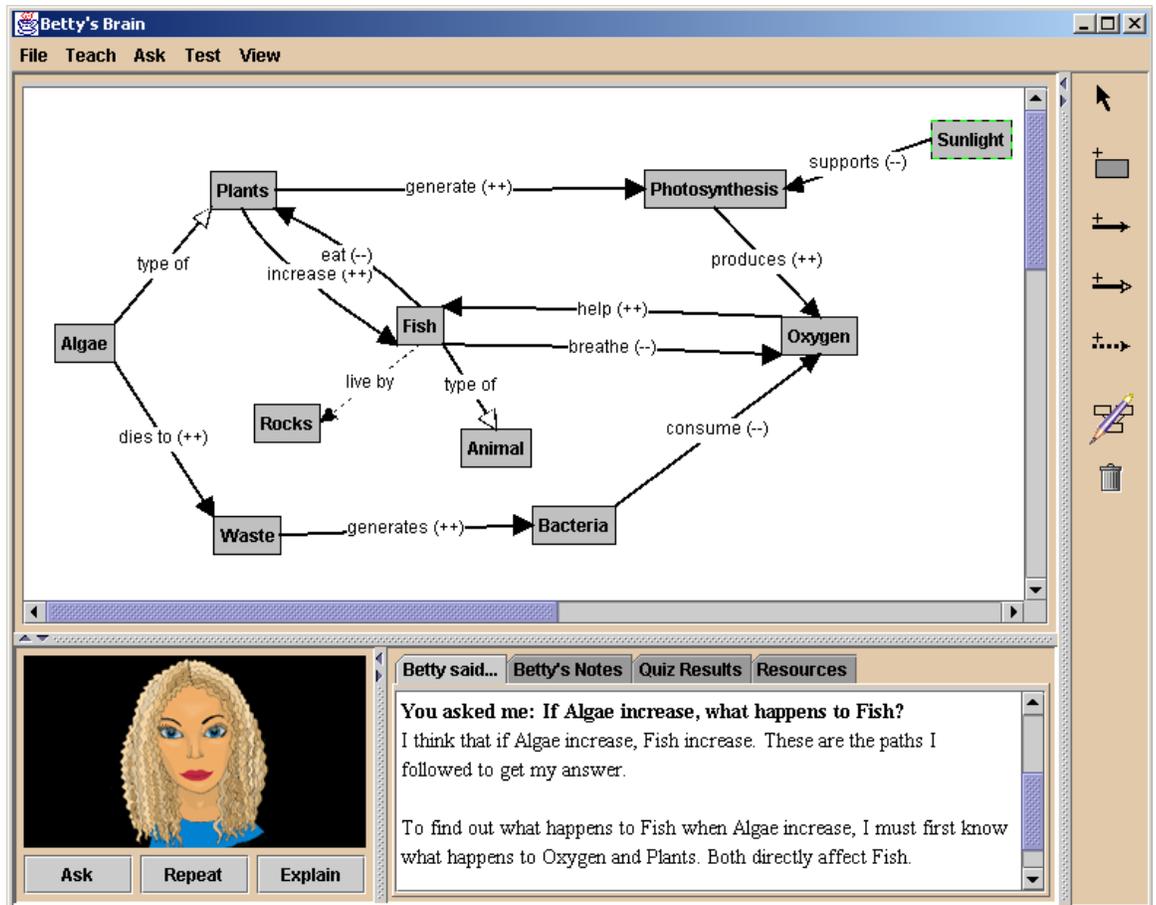


Figure 12. Exemple de fenêtre pour les conseils [DAV03]

Une autre fenêtre (voir figure 13) qui est suggérée par plusieurs auteurs consiste à afficher les concepts appris sous forme graphique. Cette fenêtre permet aux apprenants de mieux se situer à travers les concepts qu'ils ont appris et de faire le lien entre ces différents concepts. La fenêtre peut également afficher les concepts à apprendre pour guider les apprenants dans leur choix des leçons à venir. Cette fenêtre doit être sur demande, donc dynamique, car elle convient plus à certains styles cognitifs. Les apprenants qui sont du type global apprécieront davantage cette fenêtre que ceux qui sont de type séquentiel. Par contre, la fenêtre doit être disponible quand même aux deux types sur demande pour conserver la flexibilité de l'IUI.

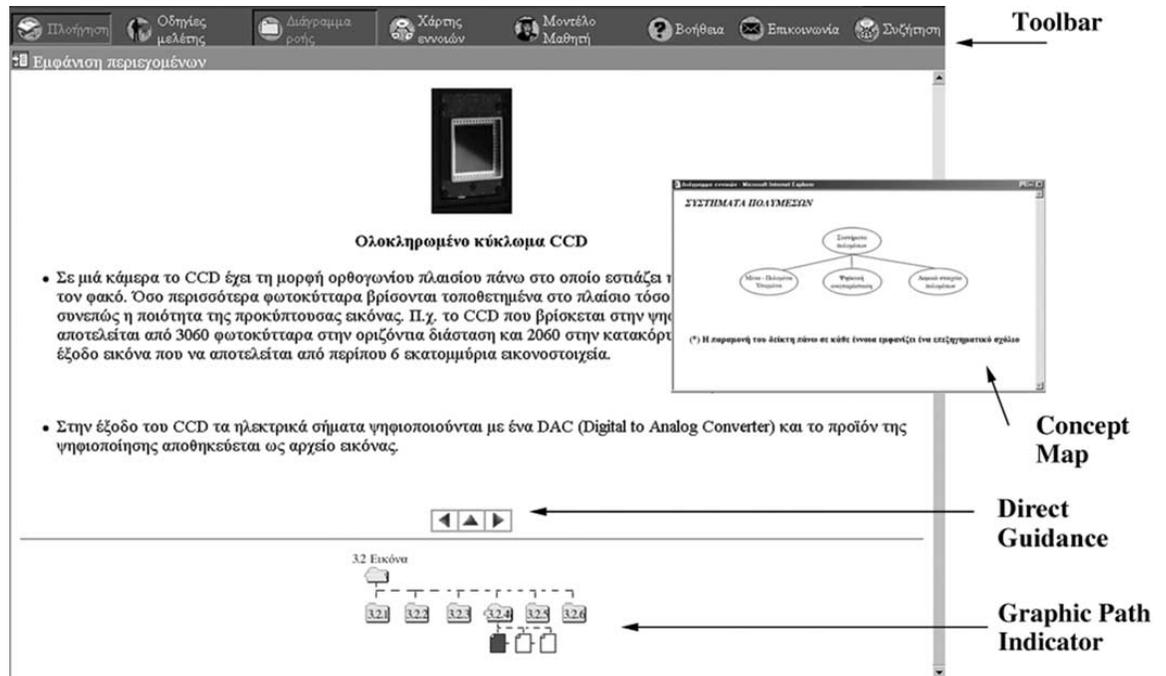


Figure 13. Exemple de fenêtre d'affichage graphique des concepts [TRI03]

Une dernière fenêtre possible permet d'afficher les sujets d'étude recommandés dans une fenêtre en indiquant également la valeur en pourcentage de l'intérêt que les apprenants peuvent avoir pour ce sujet. Ce pourcentage est évalué à partir des connaissances des apprenants et du modèle du domaine.

3.2.5. Menu de préférences spécifiques

Le menu de préférences est essentiel à toute IUI de EIAH, car il permet de la personnaliser davantage. Contrairement aux liens hypertextes adaptés qui sont personnalisés par l'IUI, le menu de préférences permet aux apprenants de personnaliser eux-mêmes leur affichage. Ce menu ne se retrouve pas que dans les IUI de EIAH, mais dans pratiquement toutes les applications informatiques, comme Microsoft Word®, Mozilla Firefox®, etc. Par contre, pour les IUI de EIAH, ce menu va contenir des variables spécifiques qui modifient le comportement de l'IUI et qui influenceront le guidage, par exemple. La figure 14 présente les fonctionnalités à mettre en œuvre afin d'obtenir la composante du menu des préférences spécifiques. Seul le modèle de l'apprenant est impliqué.

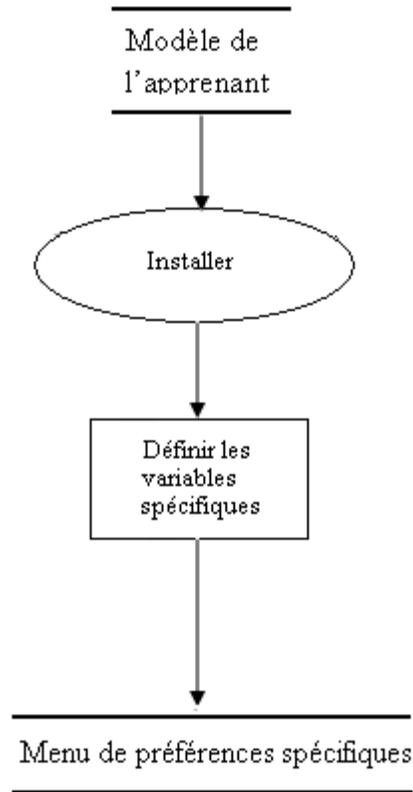


Figure 14. Description de la composante « menu des préférences spécifiques »

Le menu de préférences, comme les autres menus habituels, est un lien dans le haut de l'IUI. En cliquant sur le menu une nouvelle fenêtre apparaît à l'écran qui affiche les différents paramètres que les apprenants peuvent modifier. Il est possible aussi d'utiliser un bouton pour ouvrir la fenêtre des préférences. La figure 15 présente un exemple de menu de préférences spécifiques qui reprend les variables spécifiques à une IUI d'EIAH.

La première partie de la fenêtre contient les informations générales sur l'apprenant, comme son mot de passe et son adresse courriel. La deuxième partie de la fenêtre consiste à présenter les différentes dimensions des styles cognitifs associés aux apprenants. Ces derniers peuvent à l'aide d'une échelle modifier les valeurs de ces dimensions. Donc, si un apprenant se considère plus visuel que ce que le test l'a évalué, il aura seulement à déplacer sa valeur de l'échelle vers la valeur Visuel. La troisième partie de la fenêtre permet à l'apprenant de modifier les différentes caractéristiques d'affichage de l'IUI. Les caractéristiques qui sont configurables seront les suivantes :

- la couleur des liens hypertextes ;
- le tri des liens hypertextes ;
- l’affichage des différentes fenêtres d’aide supplémentaires ;
- l’affichage des mécanismes de guidage direct.

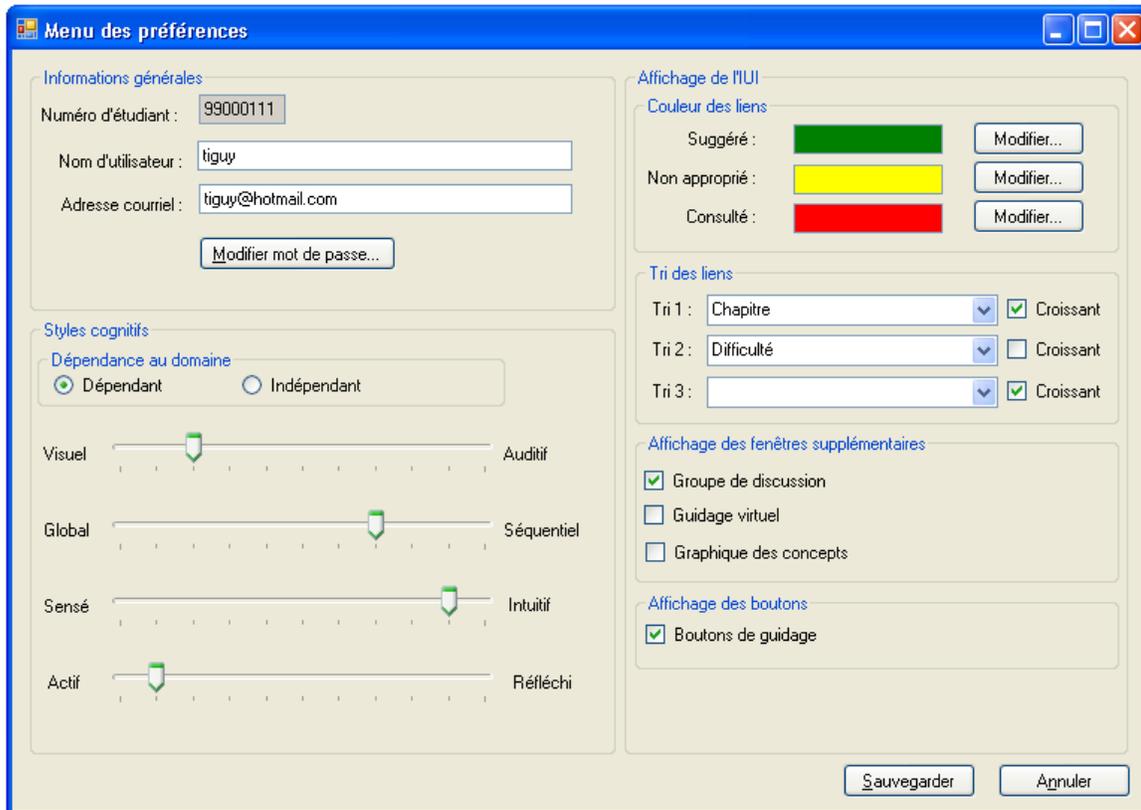


Figure 15. Exemple de menu des préférences spécifiques

Les éléments d’IUI que nous proposons dans notre modèle permettent à cette dernière de se différencier des IPM. Ces éléments apportent en effet des fonctionnalités propres à l’IC, dont le guidage et l’adaptabilité, et rend les interfaces en quelques sortes plus « intelligentes ». L’interface devient adaptable et permet de personnaliser son affichage pour chacun des apprenants. De plus, elle permet de guider les apprenants en leur fournissant un chemin d’apprentissage personnalisé.

3.3. Conclusion du chapitre

Nous avons essayé de garder notre modèle le plus flexible possible, c'est-à-dire que les éléments peuvent être insérés individuellement dans une interface indépendamment du reste du système. De plus, notre modèle est le plus générique possible pour permettre son utilisation pour n'importe quel EIAH. La présentation des éléments nous semble précise et ne se limite pas à une situation donnée.

Notre modèle peut être très utile pour les développeurs, car il fournit plusieurs lignes directrices pour améliorer les performances d'utilisation des EIAH. Un EIAH peut fonctionner sans la présence d'IUI, mais cette dernière permet d'augmenter l'intérêt des apprenants pour le système. Étant donné que l'interaction se fait avec l'IUI, les apprenants ont l'impression d'être plus impliqués personnellement grâce aux différents mécanismes de guidage et d'adaptation que l'IUI propose. L'utilisation des IUI apporte de nombreux avantages aux EIAH et notre modèle permet aux développeurs d'avoir un guide sur comment les implanter et quoi choisir dépendamment de la situation.

Rappelons que, dans notre modèle, nous avons conservé seulement les éléments d'interface les plus utiles à nos yeux tout en considérant les règles de base du domaine des IPM, comme alléger le travail cognitif des apprenants en ne surchargeant pas l'interface et laisser aux apprenants le contrôle sur les éléments. Mais un modèle n'est jamais un bon modèle s'il n'est pas testé. Dans le prochain chapitre, nous allons donc faire des tests sur plusieurs interfaces en gardant en mémoire notre modèle, ce qui permettra d'analyser les forces et les faiblesses de ce dernier. C'est à partir de ces tests que nous pourrons vraiment statuer sur les avantages et les limites de notre modèle. Par la suite, nous pourrons proposer des avenues de développement du modèle.

Chapitre 4. Évaluation du modèle

Nous avons présenté dans le chapitre précédent notre modèle d'IUI pour les EIAH. Le meilleur moyen de savoir si notre modèle est adéquat est de tester le modèle sur des interfaces déjà existantes. Donc, nous devons tout d'abord décrire la méthode d'évaluation que nous avons choisie pour évaluer les IUI. Ensuite, nous appliquons les règles de construction de notre modèle sur des IUI dans des EIAH. Nous évaluons, entre autres, SPEAC et SPHINX, deux logiciels dédiés à l'apprentissage humain développés à l'Université Laval.

4.1. Comment évaluer?

Selon nos recherches, il n'existe peu ou pratiquement pas de méthodes d'évaluation spécifiques pour les IUI. Les méthodes utilisées sont les méthodes d'évaluation des IPM et elles sont adaptées aux IUI. Ceci est dû au fait que les IUI violent certaines règles d'utilisabilité établies pour les IPM, dont la règle d'or qui stipule que le contrôle doit être complètement laissé aux utilisateurs [HOO99].

Le domaine des IPM propose plusieurs méthodes d'évaluation pour évaluer les interfaces. D'abord les méthodes peuvent être manuelles ou automatiques. Les méthodes manuelles sont exécutées la plupart du temps par des experts du domaine, mais parfois ce sont les utilisateurs qui sont impliqués ou les développeurs de l'IPM. La technique d'évaluation automatique consiste à obtenir les données d'utilisation des utilisateurs, d'analyser ces données et de suggérer des solutions ou améliorations. Elle mesure l'utilisabilité des IPM. Cette technique est, par contre, un complément aux méthodes manuelles, pas un substitut [IVO01]. Étant donné, que nous n'avons pas de prototype à tester avec des utilisateurs, nous devons utiliser une technique d'évaluation manuelle.

Selon Schneiderman [SHN98], il existe quatre grandes méthodes pour évaluer des IPM, soit les révisions par des experts, les tests d'utilisabilité et les laboratoires, les sondages et les tests d'acceptation. Les sections suivantes présentent une courte description de chacune de ces méthodes d'évaluation.

4.1.1. Les révisions par des experts

Les termes « révisions par des experts » indiquent bien qu'il est nécessaire d'avoir des experts pour les réaliser. Et l'expertise de ces experts est très importante si on veut avoir la meilleure évaluation possible. Les sorties pour ce type d'évaluation peuvent être soit des rapports formels ou des recommandations pour des changements ou corrections des erreurs trouvées.

Il existe plusieurs façons d'évaluer les IPM par un expert :

- L'évaluation heuristique : les experts critiquent les interfaces (format papier ou à l'écran) à partir d'heuristiques, ou critères, de conception, comme les huit règles d'or.
- La révision des lignes de conduite de l'organisation : les experts vérifient si l'interface respecte les règles de développement des interfaces proposées par l'organisation. Cette technique peut-être faite aussi par les développeurs de l'interface et peut prendre de nombreuses semaines aux experts pour connaître ces règles.
- L'inspection de la conformité : les experts vérifient si les interfaces sont conformes entre elles. Par exemple, ils vérifient le placement des éléments sur l'écran, la couleur, la terminologie, etc.
- La révision cognitive pas à pas : les experts simulent le travail des utilisateurs à travers les différentes interfaces. Cette technique permet de définir les buts et attentes des utilisateurs. Par contre, c'est une technique un peu fastidieuse.
- L'inspection formelle d'utilisabilité : Les experts se rencontrent lors d'une réunion pour débattre des forces et des faiblesses des interfaces, et proposent des solutions.

L'évaluation heuristique est la technique la plus souvent utilisée [NIE90], car elle est peu coûteuse, intuitive, peut-être exécutée à n'importe quel moment de la phase de

développement et a besoin de peu de planification. Par contre, elle présente le désavantage de nécessiter une bonne expertise et plusieurs experts pour être efficace.

4.1.2. Les tests d'utilisabilité et les laboratoires

Les tests d'utilisabilité consistent à tester l'interface par un groupe d'utilisateurs. Ces tests peuvent être exécutés le plus souvent à la fin du processus de développement, ce qui peut-être un peu tard pour la correction des problèmes plus sérieux. Les séances de tests sont gérées par un expert, qui a de l'expérience dans ce genre de tests. Il conçoit le plan des tests, soit le calendrier et le budget. C'est aussi l'expert qui enregistre les problèmes qui surviennent lors de l'utilisation.

Les tests d'utilisabilité incitent les développeurs à terminer plus rapidement la phase de conception, car ils fournissent la confirmation du progrès en cours et apportent des recommandations pour des changements. Par contre ces tests sont plus coûteux à réaliser et il demande une expertise pour construire les tests [JEF91].

4.1.3. Les sondages

Les sondages sont une bonne façon, peu dispendieuse, pour obtenir l'avis des experts et obtenir les résultats sur l'utilisabilité des interfaces. Les sondages sont utilisés avec l'une ou l'autre des deux méthodes précédentes, c'est un complément qui aide à récolter d'autres données sur l'utilisabilité. De plus, ils sont utilisés une fois que le système est en place.

Pour avoir de bons sondages, il faut établir les buts en avance qui doivent être clairs. Les sondages doivent être préparés en avance, révisés par les collègues et testés par un petit groupe d'usagers.

4.1.4. Les tests d'acceptation

Les tests d'acceptation sont plus axés sur la performance des interfaces et se basent sur des critères quantifiables comme le temps pour un utilisateur pour apprendre une fonction donnée, le temps que prend une tâche, le ratio d'erreurs d'un utilisateur, la mémoire des tâches à faire par les utilisateurs, la satisfaction subjective des utilisateurs, etc. Une deuxième série de tests d'acceptation peut être faite une fois le système utilisé.

Le choix de la technique d'évaluation dépend de quelques facteurs, le plus important étant la caractéristique que l'on désire tester. Cette caractéristique peut être mesurée soit avec des critères qualitatifs, comme la constance entre les interfaces, soit avec des critères quantitatifs, comme le nombre d'erreurs. Ensuite, il y a la période de la phase de développement à laquelle on est rendue. Bien sûr, le budget et la période de temps alloué sont des facteurs importants.

Pour plusieurs raisons, l'évaluation des IUI est plus complexe que celle d'interfaces standards [MAY98]. Entre autres, les IUI sont plus actives dans l'interaction avec les utilisateurs, ce qui ajoute une nouvelle dimension à l'évaluation, comme par exemple le partage de la tâche entre l'IUI et l'utilisateur.

Ainsi pour notre travail, qui consiste d'évaluer des IUI dans des EIAH selon les règles du modèle établi au chapitre précédent, nous allons utiliser une méthode qui permet de mesurer les critères quantitatifs. Étant donné que nous n'avons pas eu accès aux IUI que nous avons choisi de tester, nous n'avons pas pu faire des mesures avec les utilisateurs. La meilleure technique pour nous permettre d'atteindre notre but a donc été la révision par des experts et plus précisément l'évaluation heuristique. Nous avons choisi cette technique, car elle permet d'évaluer les IUI selon les principes de conception mis en évidence dans notre modèle.

Nous avons choisi parmi la littérature quelques IUI dans des EIAH que nous avons évaluées. L'évaluation s'est faite à partir des descriptions des IUI et des écrans disponibles

dans différents articles étudiés. Nous allons maintenant présenter ces différents articles en donnant une brève description du but du système et en présentant ces IUI.

4.2. Évaluation d'IUI

Nous avons choisi six IUI qui sont implémentées dans des EIAH. Ce choix a été effectué de façon à avoir des systèmes les moins similaires possibles avec des IUI qui sont toutes aussi différentes et qui intègrent des éléments d'interface variés. Ce choix a aussi été fonction de la disponibilité de l'interface utilisateur soit sous forme de copies d'écran, soit sous forme d'explications textuelles. De plus, nous avons évalué les IUI des deux EIAH développés et utilisés à l'Université Laval, c'est-à-dire SPEAC et SPHINX.

Pour faire cette évaluation, il a été important d'élaborer une grille des différents éléments d'évaluation à utiliser à partir des composantes du modèle proposé. Pour tous les éléments, nous avons utilisé une échelle de 0 à 10. La valeur 0 représente l'absence de la composante et la valeur 10 représente la présence complète de la composante. Nous avons mesuré chaque composante en analysant les éléments de l'IUI et la description de leur utilité qui en est faite par les auteurs du système. Notre grille d'évaluation contient donc les cinq questions suivantes :

1. Le contenu est-il personnalisable?
2. Les liens hypertextes sont-ils adaptatifs?
3. Existe-t-il des mécanismes de guidage direct?
4. Des fenêtres supplémentaires d'aide à l'apprentissage sont-ils offertes?
5. Existe-t-il un menu de préférences spécifiques?

Nous allons maintenant présenter chacune de ces IUI avec une brève description du système, en présentant son but et son utilité. Ensuite, nous présenterons les caractéristiques des IUI ainsi que les éléments d'interface selon notre grille d'évaluation.

4.2.1. Système d'apprentissage Web avec un chemin d'apprentissage personnalisé

Ce système, proposé par Chen *et al.* [CHE08], a pour but d'aider les apprenants à apprendre plus efficacement en évitant de leur proposer des concepts pour lesquels ils ont bien répondu lors du test préliminaire. Le système crée ainsi un chemin d'apprentissage personnalisé pour chaque apprenant à partir du test préliminaire.

Les apprenants doivent tout d'abord entrer dans le système via l'interface d'identification en fournissant leur identifiant unique et leur mot de passe (Figure 16). Si l'apprenant en est à sa première visite, il devra effectuer un pré-test (Figure 17) pour que le système puisse connaître son niveau de connaissances sur le sujet enseigné. Une fois le test terminé, l'IUI affiche le chemin d'apprentissage de l'apprenant (Figure 18). L'apprenant peut alors consulter les leçons qui lui sont proposées (Figure 19).

Pour cette IUI, un seul élément d'interface la rend intelligente et ce sont les liens hypertextes qui forment le chemin d'apprentissage. Ces liens hypertextes sont personnalisés pour chaque apprenant. De plus, la couleur est utilisée pour indiquer les leçons complétées en bleu et en rouge celles à compléter. Une fenêtre supplémentaire est ajoutée, dans le bas de l'IUI, pour poser une question sur la leçon en cours. C'est à partir de la réponse que l'EIAH établit si la leçon est complétée. Par la suite, l'IUI met à jour la liste des liens hypertextes.

Selon notre grille d'évaluation, nous obtenons les réponses suivantes :

1. Le contenu est-il personnalisable?

Le contenu des IUI pour cet EIAH n'est pas personnalisable, car le contenu des sujets d'étude vont être les mêmes peu importe l'apprenant qui utilise les IUI. Les auteurs n'ont pas tenu compte non plus des styles cognitifs pour influencer l'affichage de leurs IUI.

Donc, l'absence de mécanisme de personnalisation du contenu nous permet d'attribuer la note de 0 sur 10.

2. Les liens hypertextes sont-ils adaptatifs?

Les liens hypertextes présents dans les IUI de cet EIAH sont adaptatifs, car la liste des liens se met à jour selon le chemin d'apprentissage des apprenants. La liste est d'abord initialisée par un pré-test pour connaître le niveau des connaissances des apprenants. Ensuite les liens hypertextes seront mis à jour selon l'évolution des connaissances des apprenants. De plus, les IUI utilisent le mécanisme de coloration des liens hypertextes dans le but de bien guider les apprenants vers les meilleurs sujets d'étude. Du point de vue pratique, les auteurs ont placé la liste des liens du côté gauche comme nous conseillons dans notre modèle.

Étant donné la présence de presque tous les mécanismes proposés dans notre modèle pour rendre les liens hypertextes plus adaptatifs, nous avons attribué la note de 9 sur 10.

3. Existe-t-il des mécanismes de guidage direct?

Il n'y a pas de présence de mécanismes de guidage direct dans les IUI proposées par les auteurs, seulement des mécanismes de guidage indirect.

Ainsi, nous avons attribué la note 0 sur 10 pour cet élément d'évaluation.

4. Des fenêtres supplémentaires d'aide à l'apprentissage sont-ils offertes?

Il n'y a aucune fenêtre d'aide à l'apprentissage qui est offerte aux apprenants. L'EIAH qui est proposé n'offre pas la possibilité de collaborer entre les apprenants et n'offre pas non plus de conseils. Les seuls conseils sont donnés par la couleur des liens hypertextes.

Nous avons donné également la note de 0 sur 10 pour ce critère, car il y a absence de fenêtre supplémentaire.

5. Existe-t-il un menu de préférences spécifiques?

L'IUI n'offre pas la possibilité de modifier les préférences d'affichage ou tout autre paramètre qui pourraient influencer l'expérience des apprenants avec l'EIAH.

Pour ce dernier critère d'évaluation, nous avons attribué, encore une fois, la note de 0 sur 10.

À partir de notre évaluation, nous constatons que les IUI de cet EIAH possèdent peu d'éléments d'interface que nous proposons dans notre modèle. En fait, elles n'en possèdent qu'un seul : les liens hypertextes adaptés. La note totale est de 9 sur 50 soit 18%. Malgré cette

note peu reluisante, nous pouvons considérer les interfaces de cet EIAH comme des IUI, car elles intègrent une partie d'intelligence via le guidage et l'adaptabilité que fournissent les liens hypertextes adaptés. Par contre, les IUI pourraient être améliorées pour ajouter d'autres éléments de notre modèle et ainsi créer des IUI de plus grande qualité.



Figure 16. Fenêtre d'identification [CHE08]

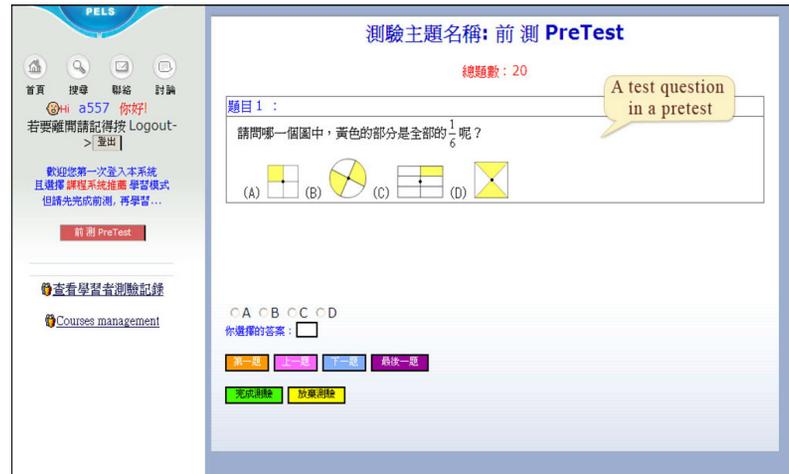


Figure 17. Fenêtre de pré-test [CHE08]

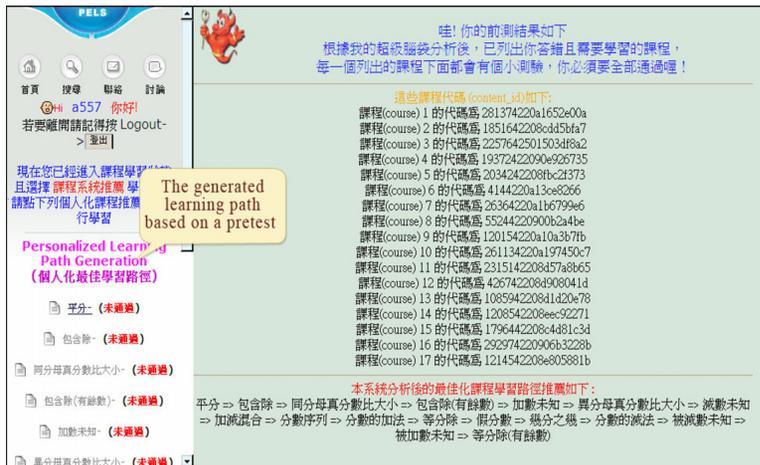


Figure 18. Fenêtre avec le chemin d'apprentissage [CHE08]



Figure 19. Fenêtre avec le cours choisi [CHE08]

4.2.2. Diagnostic des styles d'apprentissage sur le comportement des interfaces utilisateurs

Ce système, proposé par Cha *et al.* [CHA06], a pour but de développer un EIAH qui est capable de diagnostiquer les styles d'apprentissage à partir du comportement des apprenants avec l'IUI. Ainsi on peut adapter l'IUI pour accommoder les préférences et les styles d'apprentissage des apprenants de façon personnalisée.

Les apprenants utilisent le système et différents éléments d'interface permettent de déterminer leurs différents styles d'apprentissage et en même temps permettent aux apprenants d'afficher à l'écran les informations selon leurs préférences et leurs styles d'apprentissage. Ils peuvent choisir ce qui leur convient le mieux. Ainsi, les utilisateurs peuvent faire des ajouts au contenu selon leurs préférences. Par exemple, les apprenants peuvent afficher des informations supplémentaires sous forme de texte ou sous forme d'images, selon s'ils sont visuels ou auditifs (voir figure 20).

Selon les questions retenues, nous obtenons les réponses suivantes :

1. Le contenu est-il personnalisable?

Le contenu des IUI de cet EIAH est personnalisable, car l'interface tient compte des styles cognitifs des apprenants pour afficher le contenu différemment. Par exemple, le contenu sera plus imagé pour les apprenants visuels et plus textuel pour les apprenants auditifs. Les IUI adaptent également les différents boutons présents dans son affichage selon les styles cognitifs. Par exemple, le bouton pour afficher le contenu supplémentaire sera disponible pour les apprenants du style « sensé ».

Pour ce critère d'évaluation, nous avons attribué la note de 8 sur 10, car le contenu n'est pas influencé par le niveau de connaissances des apprenants, seulement par les styles cognitifs.

2. Les liens hypertextes sont-ils adaptatifs?

Les IUI présentent une liste de liens hypertextes qui est sous forme de boutons (figure 21). Par contre, la liste de ces liens hypertextes n'utilise aucun mécanisme pour

s'adapter aux connaissances des apprenants. Ainsi, les liens hypertextes ne sont pas adaptatifs.

Ainsi, nous avons dû attribuer la note de 0 sur 10 pour cette question.

3. Existe-t-il des mécanismes de guidage direct?

Les IUI proposées par les auteurs fournissent du guidage direct à partir de deux sources, soit les boutons de guidage dans le haut de la fenêtre de contenu (figure 20) ou le bouton séquentiel dans la fenêtre de la table des matières (figure 21). Ce mécanisme de guidage direct permet d'offrir la prochaine leçon dans la liste. Par contre, il ne tient pas compte de l'expérience ou des connaissances des apprenants pour choisir la prochaine leçon.

Étant donné, l'absence d'intelligence dans le choix du prochain exercice offert par le mécanisme de guidage direct, nous avons donné la note de 5 sur 10. Nous constatons en effet que seulement la moitié du chemin est faite pour répondre à cette question.

4. Des fenêtres supplémentaires d'aide à l'apprentissage sont-ils offertes?

Il n'y a pas de fenêtre supplémentaire dans les IUI de cet EIAH qui permettent de fournir de l'aide à l'apprentissage. Par contre, il y a un bouton qui permet de demander de l'aide aux enseignants sur le sujet en étude. C'est une forme de collaboration qui s'établit entre les apprenants et les enseignants.

Étant donné la présence de ce mécanisme, nous avons attribué la note de 5 sur 10, car les autres types de fenêtres supplémentaires sont absents.

5. Existe-t-il un menu de préférences spécifiques?

Il n'est pas fait mention d'un menu de préférences dans le texte, par contre les auteurs affirment que les apprenants peuvent choisir entre un contenu textuel ou visuel. Donc, nous pouvons supposer que les IUI fournissent un mécanisme qui permet aux apprenants de choisir leurs préférences lors de l'affichage du contenu.

Comme nous pouvons supposer la présence d'un mécanisme pour choisir les préférences spécifiques, nous avons donné à cette question la note de passage, soit 5 sur 10.

Pour cet EIAH, plusieurs éléments d'interface permettent de créer l'IUI. Il y a le contenu personnalisé selon les styles d'apprentissage des apprenants et les boutons de guidage

qui permettent soit de laisser l’IUI choisir le prochain sujet selon l’ordre séquentiel ou choisir avec les liens hypertextes le sujet de son choix (voir figures 20 et 21). Un bouton supplémentaire permet de demander des explications aux enseignants. De plus, les apprenants peuvent choisir leurs préférences pour l’affichage. Ces IUI ont obtenu la note de 23 sur 50, soit 46%. Malgré la note un peu basse, nous sommes en présence quand même de bonnes IUI. Une bonne amélioration serait de tenir compte des connaissances des apprenants pour influencer l’affichage des IUI, ce qui ferait monter la note.

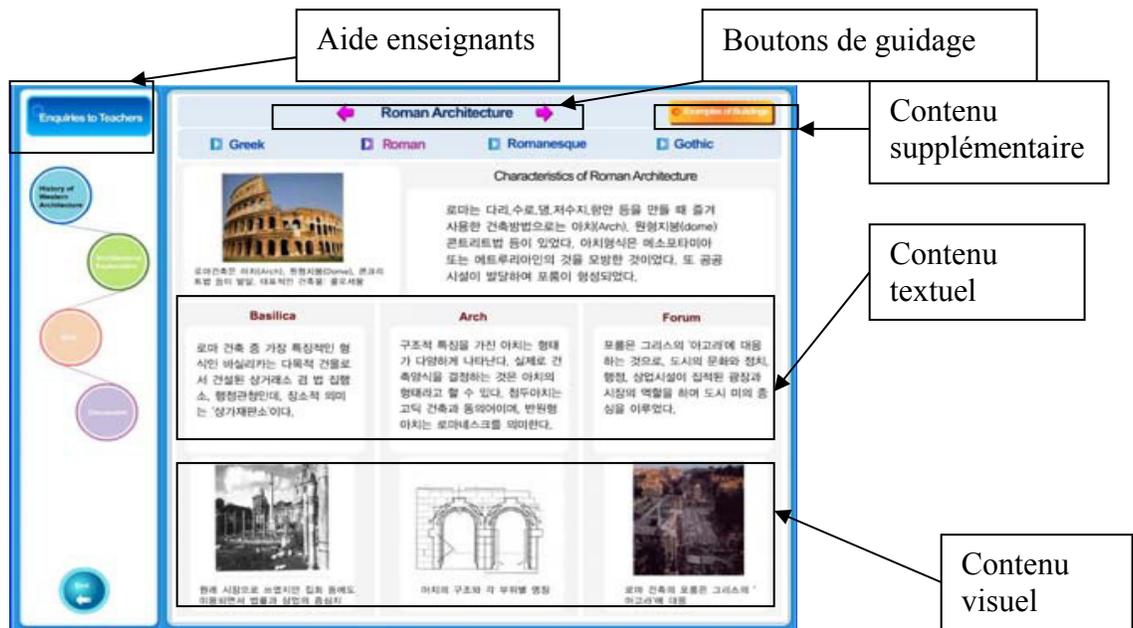


Figure 20. Fenêtre de contenu personnalisé [CHE06]

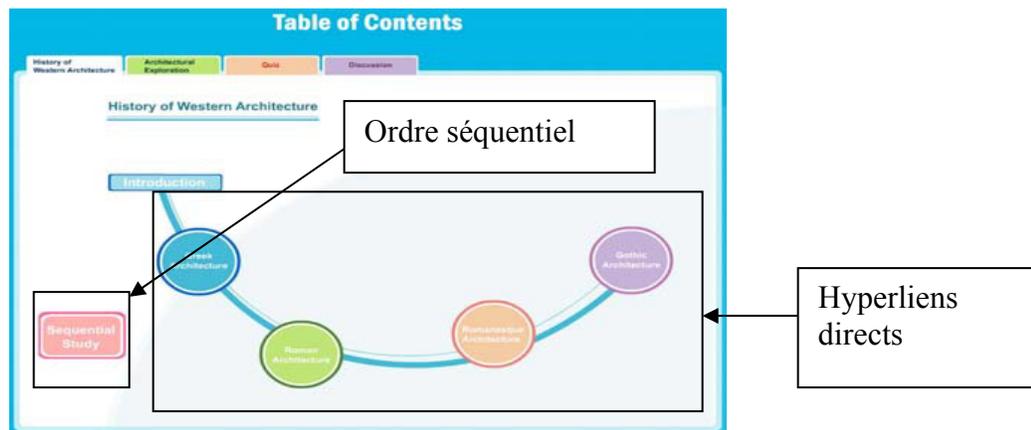


Figure 21. Fenêtre de la table des matières [CHE06]

4.2.3. La conception d'une IUI pour des systèmes d'apprentissage avec agent

Ce système, proposé par Davies *et al.* [DAV03], a pour but de concevoir des IUI qui permettent aux apprenants de simuler le rôle des enseignants afin d'assimiler plus efficacement les connaissances du domaine. Ainsi, l'agent du système joue le rôle de l'étudiant et les apprenants l'instruisent. C'est à partir de ces instructions que les apprenants peuvent vérifier si l'agent est capable de résoudre les problèmes proposés.

Les apprenants doivent tout d'abord concevoir le modèle des connaissances du domaine. La fenêtre du haut (figure 22) permet cette conception en fournissant tous les éléments graphiques pour représenter ces connaissances. Une fois le modèle de connaissances terminé, les apprenants peuvent poser des questions à l'agent, qui s'appelle Betty et qui se trouve dans le bas à gauche de l'IUI. L'agent répond à la question à partir du modèle des connaissances et fournit une réponse vocale et par écrit. Les apprenants peuvent aussi demander à Betty de résoudre un test prédéterminé pour savoir si leur modèle des connaissances a été bien réalisé (voir figure 23). Un agent professeur, va proposer des solutions si le test n'est pas concluant. Après les apprenants peuvent modifier leur modèle et recommencer.

Selon les questions retenues, nous avons obtenu les réponses suivantes :

1. Le contenu est-il personnalisable?

Le contenu de ces IUI n'est pas personnalisable et est le même pour chacun des apprenants.

Nous avons dû alors attribuer la note de 0 sur 10.

2. Les liens hypertextes sont-ils adaptatifs?

Il n'y a pas de présence de liens hypertextes dans les IUI. Le but de l'EIAH proposé n'est pas de fournir des leçons ou des exercices mais bien de permettre aux apprenants de construire le modèle du domaine et de faire valider cette modélisation. Donc, cet EIAH ne préconise pas l'utilisation des liens hypertextes.

Alors, nous avons donné également la note de 0 sur 10.

3. Existe-t-il des mécanismes de guidage direct?

Il n'existe pas de mécanisme de guidage direct dans ces IUI, seulement du guidage indirect.

À cette question, nous avons aussi donné la note de 0 sur 10.

4. Des fenêtres supplémentaires d'aide à l'apprentissage sont-ils offertes?

Les IUI de cet EIAH fournissent une fenêtre supplémentaire que nous proposons dans notre modèle, c'est la fenêtre des conseils. Cette fenêtre affiche les réponses de l'EIAH sous forme textuelle ou sous la forme graphique. La forme graphique est un personnage qui interagit avec les apprenants pour leur donner des réponses (figure 22) aux questions sur le modèle des connaissances (figure 18). Les deux formes sont présentes pour tenir compte des apprenants auditifs et ceux visuels. L'IUI fournit également des conseils aux apprenants pour modifier leur modèle pour bien répondre aux questions.

La présence d'une des fenêtres supplémentaires que nous proposons dans notre modèle nous a permis de donner la note de 5 sur 10.

5. Existe-t-il un menu de préférences spécifiques?

Il n'y a pas de menu ou de mécanisme qui permet de modifier les préférences d'affichage des apprenants.

Donc, nous avons attribué la note de 0 sur 10.

Les IUI de cet EIAH ne contiennent qu'une fenêtre supplémentaire dans la liste des éléments que nous proposons dans notre modèle. La note finale est de 5 sur 50, soit 10%. Cette note est faible, car les IUI ne tiennent pas compte des connaissances des apprenants, ce qui est peut-être dû au but du système qui ne consistent pas à présenter des leçons et des exercices aux apprenants. Les auteurs ont préféré utiliser un seul élément pour construire leurs IUI, soit la fenêtre de conseils. Par contre, s'ils avaient eu plusieurs modèles différents à proposer aux apprenants, ils auraient pu utiliser les liens hypertextes pour les présenter.

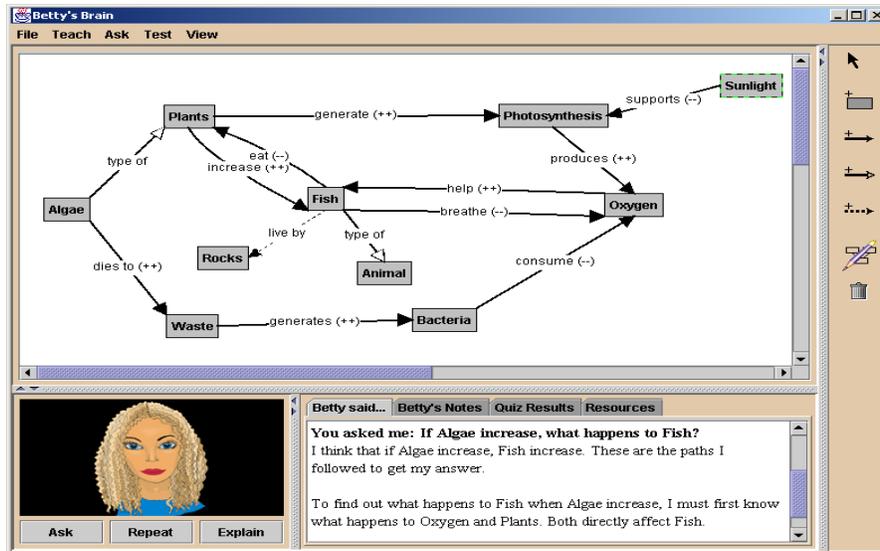


Figure 22. Fenêtre de conseils [DAV03]

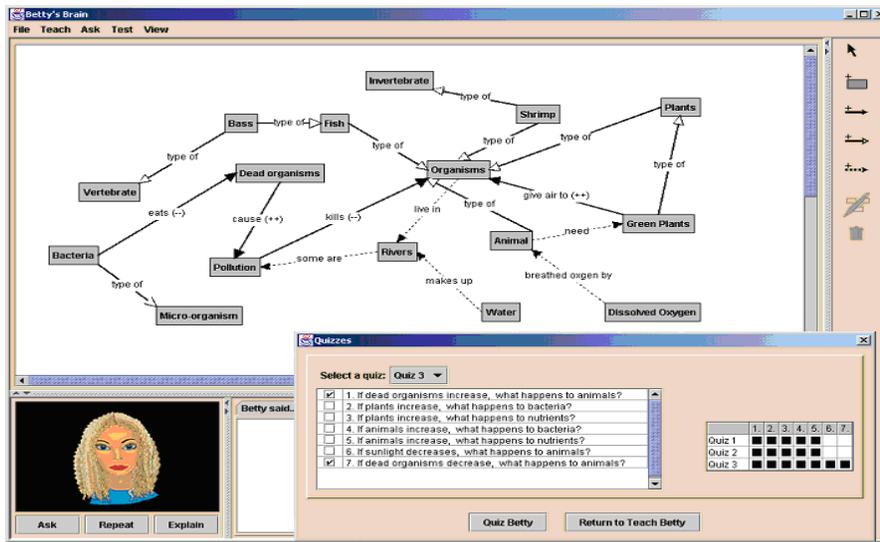


Figure 23. Fenêtre du quiz pour Betty [DAV03]

4.2.4. Naviguer dans les interfaces de RLATES : un système web éducatif intelligent et adaptable

Ce système, proposé par Iglesias *et al.* [IGL03a], a pour but d'apporter de l'intelligence et de l'adaptation aux apprenants à l'aide d'une IUI. Le système propose plusieurs moyens d'adapter l'IUI aux différents apprenants. Les connaissances du domaine, le modèle de l'étudiant et les stratégies pédagogiques sont les moyens proposés. Ils proposent d'adapter le contenu de l'IUI selon les buts des apprenants, leurs connaissances, leurs

préférences et les autres informations provenant de leurs interactions et des liens avec le modèle de l'étudiant.

Les apprenants, après s'être authentifié à l'EIAH, ont accès aux différentes leçons dans l'IUI principale (voir figure 24). Ils peuvent sélectionner les leçons avec les liens hypertextes de la fenêtre de gauche ou demander à l'IUI de choisir pour eux à l'aide des boutons de guidage. Selon les connaissances acquises par les apprenants, les couleurs de la liste des liens hypertextes vont changer, ainsi que l'ordre des liens. Certains liens seront cachés et de nouveaux liens affichés. De plus, les apprenants peuvent choisir les prochaines leçons à l'aide d'une fenêtre supplémentaire (voir figure 25) qui affiche les leçons les plus appropriées pour chacun des apprenants. Puis, une fenêtre de préférences pour les couleurs à associer aux liens hypertextes est disponible aux apprenants pour que ces derniers choisissent les couleurs de leur choix (voir figure 26).

Selon les questions retenues, nous avons obtenu les réponses suivantes :

1. Le contenu est-il personnalisable?

Le contenu des IUI est personnalisable, car les interfaces ajoutent ou enlèvent des onglets selon l'évolution des connaissances des apprenants suite à leur utilisation de l'EIAH. Ainsi, les apprenants ont accès à de nouvelles informations sur la leçon au fur et à mesure que leur apprentissage des leçons évolue.

Nous avons attribué la note de 9 sur 10 à cette question, car seul les styles cognitifs ne sont pas pris compte pour la personnalisation du contenu.

2. Les liens hypertextes sont-ils adaptatifs?

Les liens hypertextes présentés par les IUI de cet EIAH fournissent trois mécanismes qui permettent aux liens d'être adaptatifs. Il y a les annotations qui guident les apprenants à travers la liste des liens grâce aux différentes couleurs. Ensuite, la liste de liens est triée selon le degré d'intérêt pour les différents apprenants envers les leçons. Enfin, certains liens seront cachés si les apprenants n'ont aucun intérêt, selon leurs connaissances, pour les dites leçons.

Les liens hypertextes de ces IUI offrent tous les mécanismes que nous proposons dans notre modèle pour les rendre adaptatifs. Ainsi, la note de 10 sur 10 a été attribuée pour cette question.

3. Existe-t-il des mécanismes de guidage direct?

Les IUI fournissent deux boutons de guidage dans le haut de l'EIAH qui permettent de se déplacer vers la prochaine leçon ou la leçon précédente qui convient le mieux aux apprenants selon leurs connaissances. Nous sommes alors en présence d'un mécanisme de guidage direct, comme nous le proposons dans notre modèle. En plus, la présence de mécanismes de guidage indirect permet aux apprenants de style cognitif différent de choisir entre les deux mécanismes.

Pour cette question, nous avons donné la note de 10 sur 10, car le mécanisme de guidage direct est bel et bien présent et complet dans les IUI.

4. Des fenêtres supplémentaires d'aide à l'apprentissage sont-ils offertes?

Les IUI fournissent une fenêtre supplémentaire qui offre de l'aide pour l'apprentissage des apprenants, c'est la fenêtre pour afficher l'intérêt d'étude. Cette fenêtre présente les différentes leçons que les apprenants peuvent consulter avec un pourcentage d'intérêt pour chacune. Ainsi, l'utilisateur peut choisir selon sa préférence la prochaine leçon à étudier.

Nous avons attribué la note de 5 sur 10 à cette question, car les IUI ne fournissent qu'une seule des fenêtres supplémentaires proposées dans notre modèle.

5. Existe-t-il un menu de préférences spécifiques?

Les IUI fournissent un menu des préférences pour permettre aux apprenants de choisir les différentes couleurs des liens hypertextes. Ce menu ne permet que de modifier les couleurs, aucun autre paramètre n'est disponible pour la modification par les apprenants.

Nous avons alloué la note de 7 sur 10 pour cette question, car le menu n'offre de modifier que les couleurs des liens hypertextes.

Les IUI de cet EIAH contiennent tous les éléments d'interface proposés dans notre modèle. Tout d'abord, le contenu des IUI est personnalisable selon les connaissances des apprenants. Ensuite, une liste de liens hypertextes est disponible dans la fenêtre de gauche qui

permet de visionner des leçons particulières et ces liens sont adaptatifs. Des boutons de guidage sont aussi disponibles pour les apprenants qui préfèrent le guidage direct. Une fenêtre supplémentaire fournit une liste des intérêts d'étude. Enfin, une fenêtre permettant de modifier les préférences des apprenants est présente dans l'IUI. Étant donné la présence de ces éléments, cet EIAH a obtenu la très bonne note de 41 sur 50, soit 82%. Ceci démontre que les IUI de cet EIAH sont de bonne qualité et offrent plusieurs moyens pour aider les apprenants.

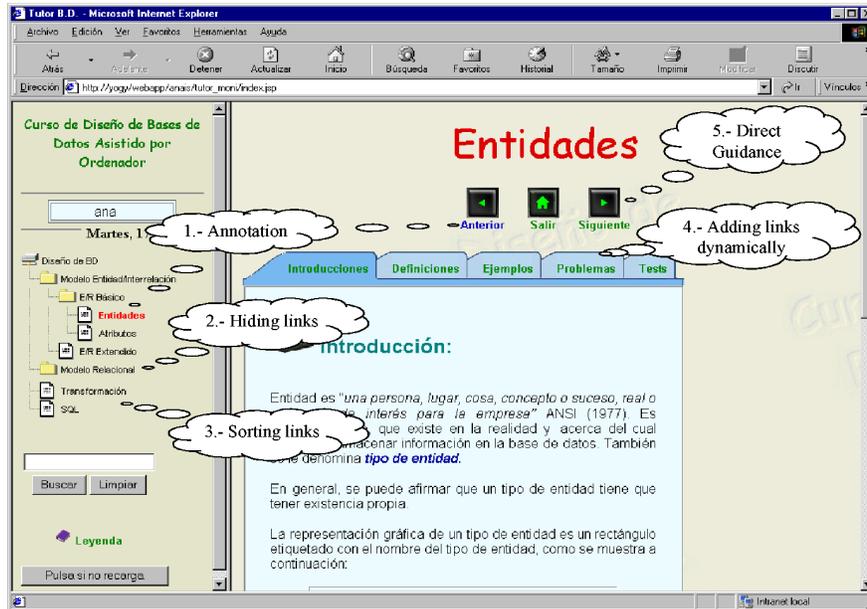


Figure 24. Fenêtre de consultation des leçons [IGL03a]

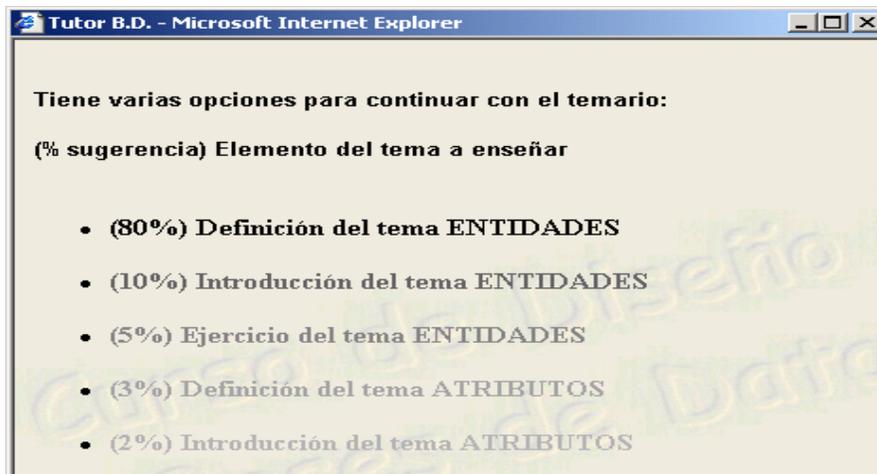


Figure 25. Fenêtre de choix des leçons [IGL03a]

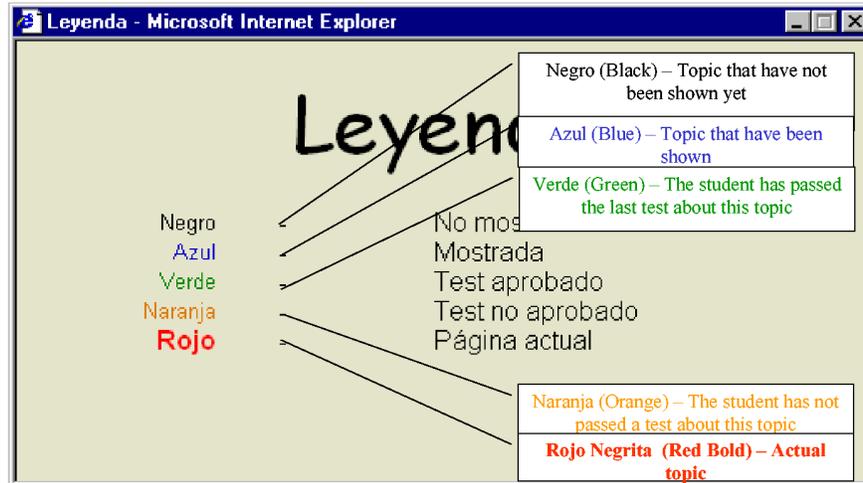


Figure 26. Fenêtre de préférences des couleurs [IGL03a]

4.2.5. La conception et l'évaluation formative d'un système éducationnel adaptable basé sur les styles cognitifs

Ce système, proposé par Triantafillou *et al.* [TRI03], a pour but d'aider les apprenants à apprendre plus facilement avec des IUI qui s'adaptent selon les styles cognitifs des différents apprenants.

Les apprenants, après s'être authentifié à l'EIAH, ont accès aux différentes leçons dans l'IUI principale. Ils peuvent sélectionner les leçons avec les liens hypertextes de la fenêtre de gauche, utiliser les boutons de guidage ou choisir une autre option dans la barre d'outils. Selon les connaissances que les apprenants acquièrent et le style cognitif, dépendant ou indépendant du domaine, qui les représente, le contenu de l'IUI va varier. Par exemple, les indépendants du domaine auront une liste de liens hypertextes pour les guider (voir figure 27) et les dépendants du domaine auront des boutons de guidage (voir figure 28). Les apprenants ont aussi accès à différents outils, comme la modification des préférences, les instructions d'apprentissage, le diagramme du chemin d'apprentissage, la fenêtre des concepts, le modèle de l'étudiant, l'aide en ligne, un outil pour envoyer un courriel aux enseignants et l'outil de groupe de discussion.

Selon les questions retenues, nous avons obtenu les réponses suivantes :

1. Le contenu est-il personnalisable?

Le contenu des IUI de cet EIAH est personnalisable, car les interfaces tiennent compte du style cognitif (dépendant ou indépendant du domaine) pour présenter les sujets d'étude à l'écran. Par exemple, des informations additionnelles sur les sujets seront présentées aux apprenants qui sont dépendants du domaine.

Nous avons attribué la note de 9 sur 10, car le contenu est très personnalisable en tenant compte des styles cognitifs. Par contre, les auteurs n'ont pas tenu compte des connaissances de l'apprenant dans l'affichage.

2. Les liens hypertextes sont-ils adaptatifs?

Les liens hypertextes présents dans les IUI utilisent les connaissances des apprenants pour les guider dans la liste des leçons à apprendre. Cette liste va afficher seulement les leçons que les apprenants peuvent consulter selon leurs connaissances. De plus, la liste utilise aussi les annotations pour guider les apprenants dans la liste.

Nous avons donné la note de 10 sur 10, car les liens hypertextes sont adaptés aux connaissances des apprenants.

3. Existe-t-il des mécanismes de guidage direct?

Les IUI proposent des boutons de guidage (voir figure 28) qui permettent de se déplacer dans les leçons proposées par l'EIAH. Le choix de la prochaine leçon est fait selon les connaissances des apprenants, selon le même principe que celui qui met à jour la liste des liens hypertextes. Il y a aussi un bouton pour revenir à la leçon précédente. Nous sommes alors en présence d'un mécanisme de guidage direct. Les boutons de guidage sont disponibles pour les apprenants qui ont le style cognitif dépendant du domaine.

Étant donné la présence d'un mécanisme de guidage direct, nous avons attribué la note de 10 sur 10 pour ce critère.

4. Des fenêtres supplémentaires d'aide à l'apprentissage sont-ils offertes?

L'EIAH propose une fenêtre supplémentaire qui compose notre modèle. Cette fenêtre est celle qui permet d'afficher graphiquement les concepts. Cette fenêtre n'est disponible que pour les apprenants du style dépendant du domaine.

Nous avons donné la note de 5 sur 10, car les IUI ne proposent qu'une seule des fenêtres supplémentaires que nous avons proposées dans notre modèle.

5. Existe-t-il un menu de préférences spécifiques?

Il existe un menu des préférences qui permet aux apprenants de modifier leurs stratégies d'apprentissage qui influence l'affichage des IUI. Par exemple, l'utilisateur pourrait choisir une approche globale (du général au spécifique) au lieu d'une approche analytique (du spécifique au général). Les apprenants ont alors accès à leur modèle de l'étudiant.

La note de 10 sur 10 a été attribuée à cette question, car le menu permet aux apprenants de modifier le fonctionnement de l'affichage et plusieurs autres préférences.

Les différents mécanismes d'adaptation proposés sont :

- l'adaptation du contenu selon les connaissances acquises ;
- l'adaptation de la présentation du contenu avec la combinaison des médias appropriés ;
- l'adaptation des stratégies d'enseignement ;
- la modification de la sélection d'exemples et de liens ;
- la recommandation des hyperliens appropriés.

Les IUI de cet EIAH contiennent de nombreux éléments proposés par notre modèle. Il y a la présence des liens hypertextes adaptatifs, du contenu personnalisé selon les styles cognitifs des apprenants, les boutons de guidage, une fenêtre pour modifier les préférences et une fenêtre supplémentaire pour afficher graphiquement les concepts. De plus, d'autres outils sont proposés, comme l'accès au chemin d'apprentissage et la carte des concepts. À partir de notre évaluation, nous avons attribué la note de 44 sur 50, soit 88%. Les IUI de cet EIAH font belle figure et sont efficaces pour atteindre leurs buts. Les IUI fournissent beaucoup d'intelligence à l'EIAH, ce qui lui permet d'être de meilleure qualité et permettra également d'aider les apprenants dans leur chemin d'apprentissage.

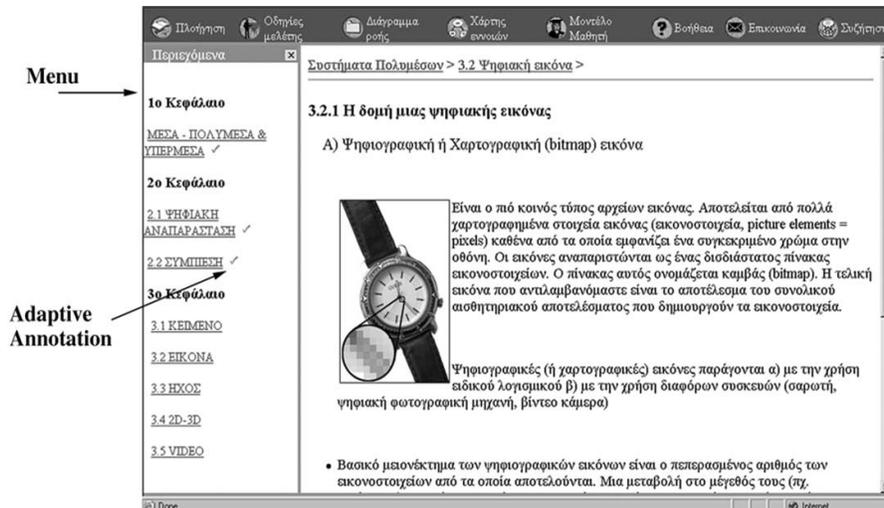


Figure 27. Fenêtre avec contenu personnalisé [TRI03]

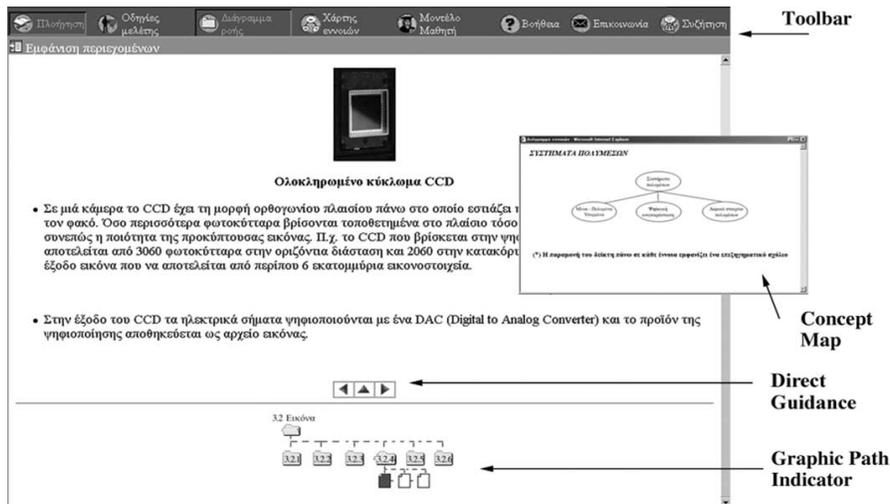


Figure 28. Fenêtre supplémentaire pour afficher les concepts [TRI03]

4.2.6. SPEAC : système de présentation d'exemples encourageant l'auto-explication et la collaboration

Ce système, proposé par Potvin [POT05], a pour but de présenter différents exemples, sur les concepts d'un cours d'intelligence artificielle, et fournir la possibilité aux apprenants d'auto-expliciter leurs façons de résoudre les exemples. Ainsi, une collaboration entre les apprenants se forme dans le but de comprendre et d'apprendre sur les différents concepts du cours. Cet EIAH a été utilisé à l'Université Laval durant la session d'automne 2002 dans le

département d'informatique et de génie logiciel. Cette application était disponible sur le serveur de l'équipe du laboratoire ERICAE et a été conçue avec les technologies Web.

Les apprenants, après s'être authentifié à l'EIAH, ont accès aux différents exemples disponibles pour les différents thèmes abordés durant le cours (voir figure 29). Les différents exemples et contenus des cours sont séparés par semaine et par thèmes du cours. Une fenêtre dans le haut permet d'afficher des messages aux apprenants, ce qui permet de les guider. Une fois qu'ils ont cliqué sur le sujet de leur choix, l'EIAH change l'interface pour afficher les différentes informations sur l'exemple (voir figure 30). Il y a l'introduction à l'exemple, les différents problèmes posés et les différentes solutions aux problèmes. Les apprenants peuvent choisir l'une des informations et expliquer ce qu'il comprend du problème, par exemple. La fenêtre qui permet d'écrire l'auto-explication fournit déjà des mots clés pour aider les apprenants à entrer leurs explications (voir figure 31).

Selon les questions retenues, voici les réponses obtenues :

1. Le contenu est-il personnalisable?

Les interfaces de cet EIAH n'ont pas de contenu personnalisable. Le contenu est le même peu importe l'apprenant qui est connecté au système. La présentation des sujets d'étude se fait avec le même média et ne change pas selon les connaissances ou les styles cognitifs des apprenants.

Ainsi, nous avons attribué la note de 0 sur 10 pour cet EIAH.

2. Les liens hypertextes sont-ils adaptatifs?

La liste des liens hypertextes ne changent pas avec le temps et sera la même peu importe les connaissances des apprenants. De plus, aucun mécanisme pour guider les apprenants dans leur choix d'exercices n'est disponible.

Alors, nous avons donné également la note de 0 sur 10 à pour cette question.

3. Existe-t-il des mécanismes de guidage direct?

L'EIAH ne fournit aucun mécanisme de guidage direct, ce sont les apprenants qui décident quel sujet d'étude ils veulent consulter et dans quel ordre.

Nous avons dû alors attribuer la note de 0 sur 10, étant donné l'absence de ce mécanisme.

4. Des fenêtres supplémentaires d'aide à l'apprentissage sont-ils offertes?

Cet EIAH est basé sur l'auto-explication, ainsi l'interface (figure 31) permet aux apprenants de dialoguer entre eux dans le but d'expliquer les solutions aux différents exercices. Les enseignants peuvent aussi intervenir pour mieux diriger les apprenants dans leur compréhension des exercices. Aussi, l'interface affiche une fenêtre qui permet d'afficher des messages aux apprenants. Par contre, elle n'affiche pas de conseils, donc elle ne peut pas être considérée de la sorte.

Pour ce critère nous avons donné la note de passage 5 sur 10, car il y a présence de la fenêtre de collaboration.

5. Existe-t-il un menu de préférences spécifiques?

Cet EIAH ne fournit aucun moyen de modifier les préférences des apprenants. D'ailleurs aucun style cognitif ou autres paramètres n'influencent l'affichage des interfaces.

Donc, nous avons attribué la note de 0 sur 10.

Les interfaces de cet EIAH ne contiennent qu'un seul élément proposé dans notre modèle et c'est une fenêtre supplémentaire. En fait, c'est la fenêtre d'auto-explication qui est en quelque sorte un forum de discussion. Cette fenêtre a pour but de permettre aux apprenants de dialoguer entre eux afin de mieux comprendre les sujets du cours. Aussi, il y a la fenêtre de guidage qui permet au système de donner les dernières informations. Par contre, cette dernière ne guide pas dans cette version de SPEAC, mais fournit seulement des informations supplémentaires.

Ainsi, la note finale a été de 5 sur 50, soit 10%, ce qui constitue une note très faible. De plus, étant donné que le seul élément présent est une fenêtre supplémentaire qui apporte peu d'intelligence aux interfaces, donc nous nous posons la question : est-ce que cet EIAH fournit vraiment des IUI? Nous pensons qu'il serait facile d'ajouter quelques mécanismes de guidage et d'adaptabilité pour être en présence d'IUI.

Bonjour Nicole, et bienvenue dans cet environnement d'étude d'exemples.
 Il y a présentement 48 explications et 47 Collaborations.
 Cliquez sur un lien pour étudier la matière correspondante.
 S'il-vous-plait, prenez quelques minutes pour nous donner vos commentaires quant aux avantages et limites du système actuel (octobre 2002):

- [Avantages de SPEAC](#)
- [Limites de SPEAC](#)

semaine #	Thèmes présentés au cours		
	Partie 1	Partie 2	Partie 3
1	Généralités et définitions <ul style="list-style-type: none"> • Définition de l'IA • Les approches de l'IA 	Introduction à la programmation déclarative	Laboratoire #1 : généralités IA
2	<ul style="list-style-type: none"> • Module 1, exercice 3 • Module 1, exercice 7a • Module 1, exercice 7 • Module 1, exercice 8 	Programmation PROLOG <ul style="list-style-type: none"> • Le système chef-cuisinier 	Laboratoire #2 : La parenté <ul style="list-style-type: none"> • Laboratoire #2 : La parenté
3	Techniques de recherche <ul style="list-style-type: none"> • Techniques de recherche - exemple #1 • Techniques de recherche - exemple #2 	La récursivité <ul style="list-style-type: none"> • Exemple #1 : La descendance d'Abraham • Exemple #2 : La factorielle d'un nombre 	Laboratoire #3 : Qui a volé les biscuits ? <ul style="list-style-type: none"> • Laboratoire #3 : Qui a volé les biscuits ?
4		Opérateurs et listes	Laboratoire #4 : Le singe et les bananes <ul style="list-style-type: none"> • Laboratoire #4 : Le singe et les bananes
5	Représentation des connaissances	La récursivité appliquée aux listes <ul style="list-style-type: none"> • Exemple #1 : Appartenance à une liste • Exemple #2 : Longueur d'une liste • Exemple #3 : Concaténation de deux listes • Exemple #4 : Remplacer un élément • Exemple #5 : Séparer une liste 	Laboratoire #5 : À la recherche d'un téléphone <ul style="list-style-type: none"> • Laboratoire #5 : À la recherche d'un téléphone
6		Autres particularités de PROLOG	Groupes de base : TP2
7			
8	Raisonnements	Implémentation des modes de représentation des connaissances	Groupes d'experts : TP2
9			
10	Systèmes à base de connaissances	Meta-Programmation	Tournoi
11	Traitement automatique du langage naturel (TALN)	Conception de systèmes à base de connaissances	Laboratoire #6 : Méta-programmation
12	Planification et agents	Implémentation du TALN	Laboratoire #7 : Application TALN
13	Apprentissage automatique	Conception de planificateurs	Groupes d'experts : TP3
14	Autres applications en IA	Démonstrations	Laboratoire #8 : Planification
15			

Figure 29. Fenêtre principale de SPEAC [POT05]

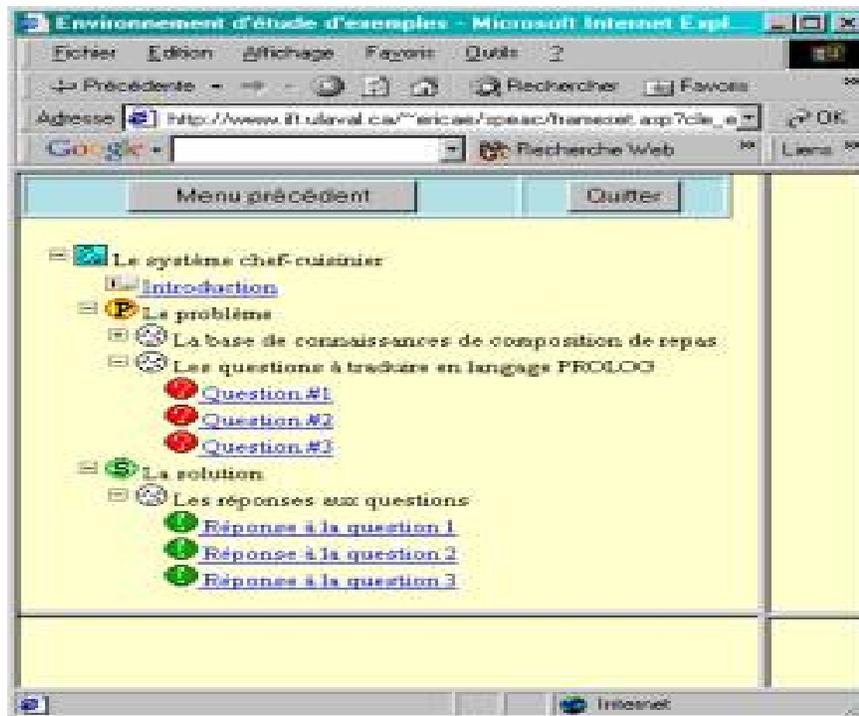


Figure 30. Fenêtre de contenu du cours [POT05]

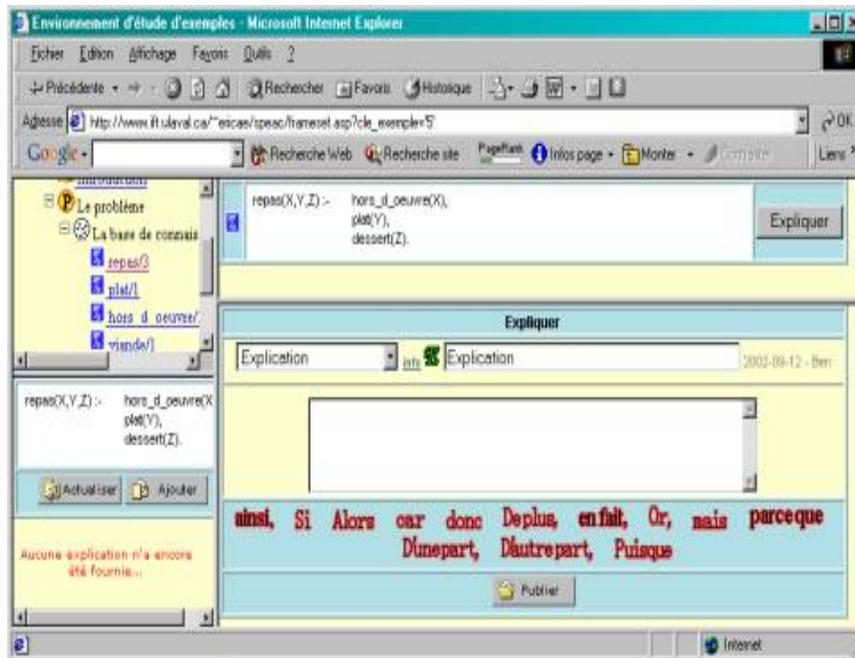


Figure 31. Fenêtre de collaboration [POT05]

4.2.7. SPHINX : un outil d'accompagnement de l'apprentissage en dehors de la classe

Cet EIAH, qui a été construit par les étudiants du laboratoire ERICAE, a pour but de fournir des exemples de résolution de problèmes relatifs aux concepts d'un cours d'introduction à l'intelligence artificielle, pour accompagner les étudiants dans leur apprentissage en dehors de la classe [CAP06]. Cet EIAH a remplacé le système SPEAC et a eu deux versions successives. Nous avons évalué l'IUI de la deuxième version.

Les apprenants après s'être authentifié à l'EIAH verront l'IUI leur afficher un message de bienvenue ainsi que la liste des thèmes du cours, sous forme de liens hypertextes, dans la partie gauche de l'IUI (voir figure 32). Ces liens hypertextes vont changer de couleur selon si les apprenants les ont consultés ou non. Il y a aussi un menu dans le haut de l'IUI qui permet d'accéder au menu des préférences, d'accéder à l'outil de guidage, d'imprimer l'exemple, de demander de l'aide ou de quitter l'EIAH. Dans la barre du haut, nous retrouvons également les boutons de guidage. Ces boutons servent aux apprenants qui souhaitent connaître le prochain concept à étudier. De plus, ils permettent de revenir en arrière et aller au dernier concept

disponible ou au premier. Si les apprenants cliquent sur le bouton de guidage, l'IUI s'affiche avec les conseils de SPHINX (voir figure 33). Les conseils affichés par l'IUI permettent de guider les apprenants dans leur apprentissage et leur utilisation de SPHINX. Les apprenants peuvent aussi choisir de réviser un thème d'une semaine donnée (voir figure 34). Ainsi, ils peuvent consulter les exemples sur un des concepts vus au cours, durant la semaine choisie. Ils peuvent mettre des commentaires ou messages pour les autres apprenants pour ainsi partager les explications. Un autre outil qui permet de guider les apprenants est la possibilité de visualiser les connaissances sur chacun des concepts qui sont contenus dans leur modèle de l'étudiant (voir figure 35). Les apprenants peuvent ainsi voir pour quels concepts ils ont une note plus faible et ainsi connaître les concepts à étudier.

Selon les questions retenues, les réponses obtenues sont les suivantes :

1. Le contenu est-il personnalisable?

Le contenu affiché par les IUI n'est pas personnalisable, car l'interface affiche les mêmes informations et avec le même média pour tous les apprenants. Les auteurs n'ont pas tenu compte des connaissances, ni des styles cognitifs des étudiants pour personnaliser le contenu.

Donc, à cette question, nous avons dû allouer la note de 0 sur 10.

2. Les liens hypertextes sont-ils adaptatifs?

Les liens hypertextes affichés par les IUI sont adaptatifs, car leurs couleurs seront adaptées selon les connaissances acquises par les apprenants et leur utilisation de l'EIAH. Par contre, la liste des liens est la même pour tous les apprenants et ne changent pas selon leurs connaissances acquises.

Ainsi, nous avons attribué la note de 5 sur 10, car les liens ne fournissent que des annotations comme mécanisme de guidage.

3. Existe-t-il des mécanismes de guidage direct?

Les IUI de SPHINX fournissent quatre boutons de guidage, dans le haut de la fenêtre (figure 32), qui permettent d'afficher le prochain exercice qui est le plus approprié aux apprenants selon leurs connaissances acquises. De plus, il est possible de revenir à l'exercice précédent, au premier exercice proposé et au dernier. Ainsi, nous sommes en présence d'un mécanisme de guidage direct.

Nous avons donné la note de 10 sur 10 pour cette question, car il y a présence du mécanisme de guidage direct.

4. Des fenêtres supplémentaires d'aide à l'apprentissage sont-ils offertes?

SPHINX est un EIAH basé sur l'apprentissage par l'exemple dans lequel les apprenants peuvent expliquer les solutions des exemples afin de les aider dans leur compréhension des exercices. Ainsi, les IUI fournissent une fenêtre supplémentaire pour aider à la collaboration entre apprenants, sous forme de groupe de discussion (voir figure 34). Les IUI fournissent également une fenêtre de conseils (voir figure 28), qui selon les connaissances des apprenants et leur utilisation de l'EIAH va leur fournir des conseils sur l'utilisation de SPHINX. Enfin, une fenêtre de guidage (voir figure 30) est fournie pour que les apprenants puissent voir l'avancement de leurs connaissances. C'est l'équivalent de la fenêtre supplémentaire d'affichage des concepts que nous avons proposée dans notre modèle.

Étant donné que les IUI fournissent trois des quatre fenêtres supplémentaires que nous proposons dans notre modèle, nous avons alloué la note de 9 sur 10.

5. Existe-t-il un menu de préférences spécifiques?

Les IUI fournissent un bouton qui permet d'ouvrir le menu des préférences. Ce menu de préférences permet de modifier les couleurs qui servent à annoter les liens hypertextes. Il n'y a pas d'autres préférences qui peuvent être modifiées par les apprenants.

Nous avons attribué la note de 7 sur 10, car le menu est présent et permet de modifier la couleur des annotations.

Les IUI de cet EIAH contiennent plusieurs éléments de notre modèle. Nous retrouvons les boutons de guidage, les liens hypertextes adaptatifs, le menu de préférences, la fenêtre de conseils, la fenêtre qui permet d'expliquer sous forme de forum de discussion et la fenêtre supplémentaire qui affiche les connaissances des apprenants pour chaque concept du cours. Tous ces éléments permettent d'aider les apprenants à étudier plus efficacement.

La note totale pour ces IUI a été de 31 sur 50, soit 62%. À partir de notre évaluation, nous constatons que les IUI de SPHINX sont très bonnes, car elles contiennent presque tous

les éléments que nous avons proposés dans notre modèle et cette bonne performance montre aussi leurs qualités en tant qu'IUI. Les IUI remplissent très bien leurs rôles, en aidant les apprenants à mieux comprendre les concepts et en facilitant leur apprentissage. Aussi, la qualité de ces IUI permet de rendre l'utilisation de ces dernières plus agréables pour les apprenants.

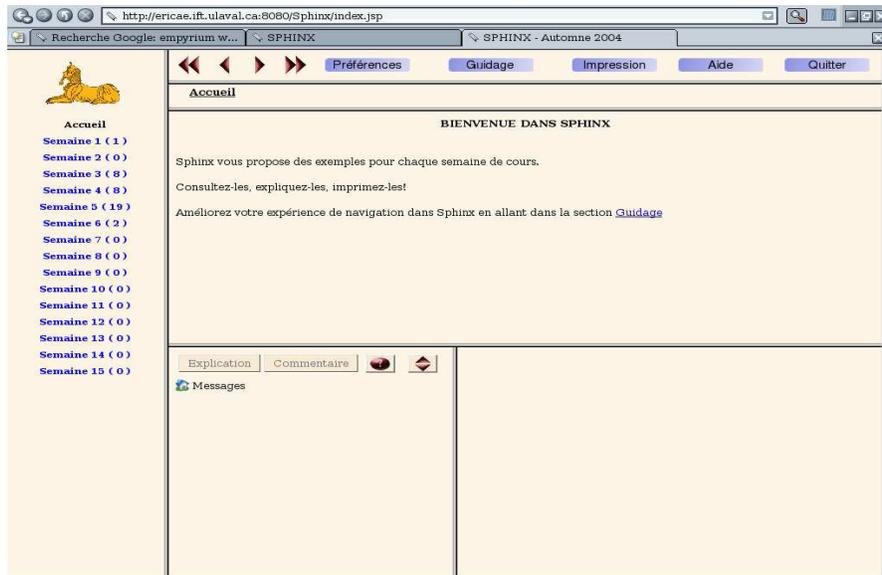


Figure 32. Fenêtre principale de SPHINX [Cur04a]

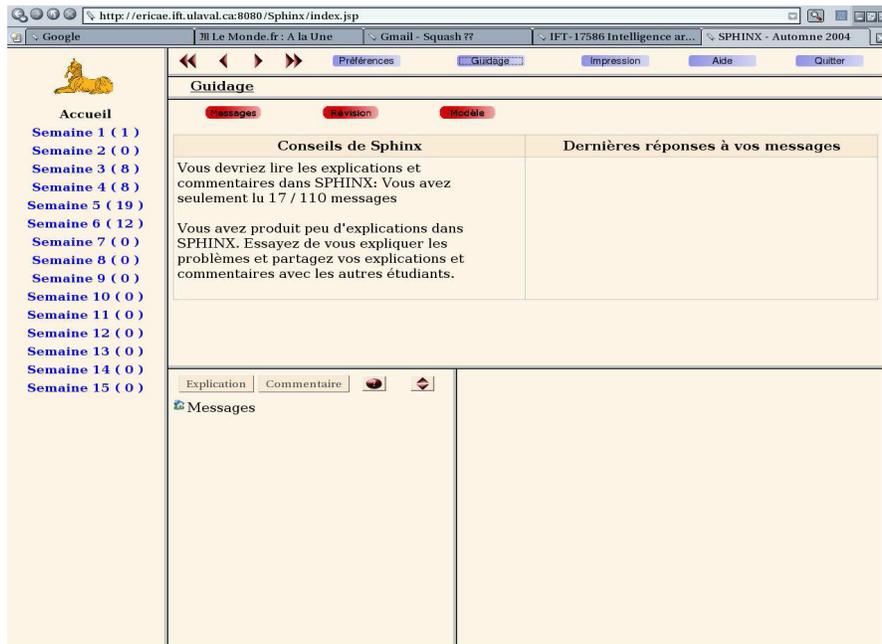


Figure 33. Fenêtre de conseils de SPHINX [Cur04a]

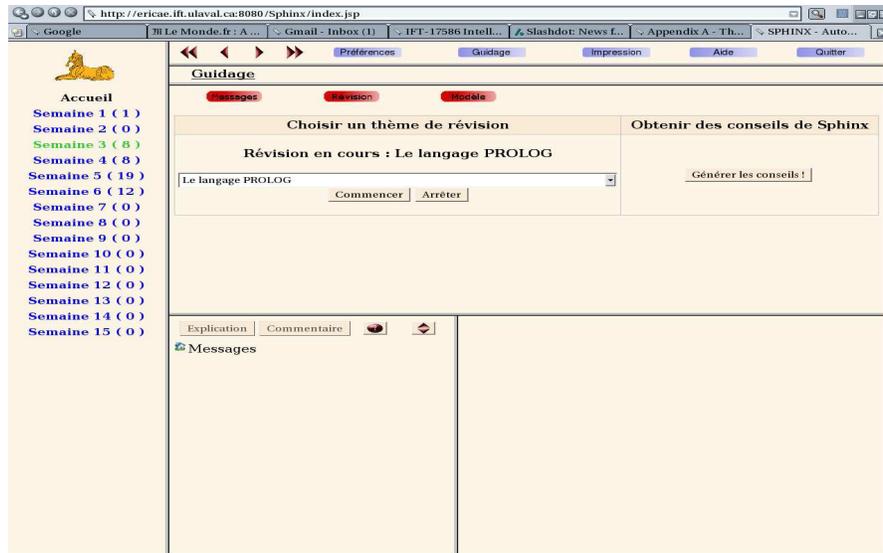


Figure 34. Fenêtre de collaboration de SPHINX [CUR04a]

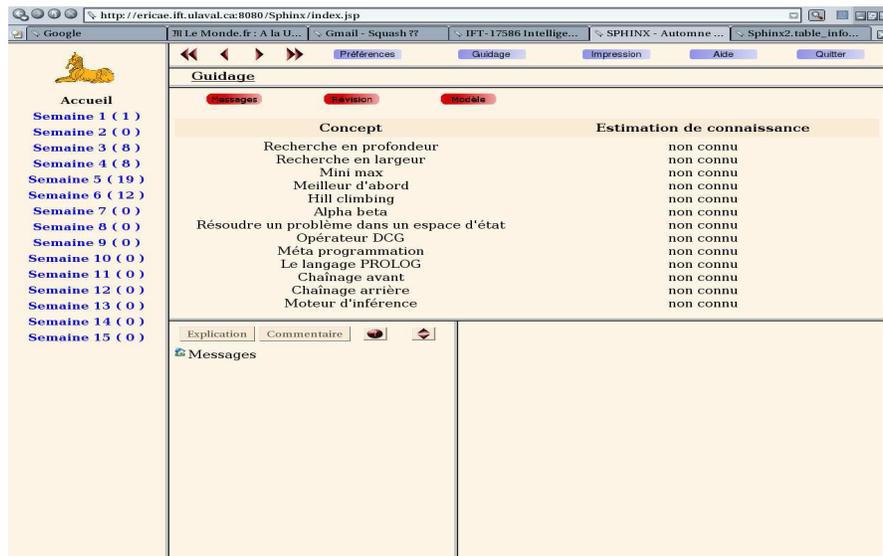


Figure 35. Fenêtre d'affichage du modèle de l'étudiant [CUR04a]

4.3. Conclusion

La méthode d'évaluation que nous avons utilisée n'est pas la plus exhaustive, mais permet toutefois de faire ressortir les points forts et les faiblesses des différentes IUI choisies. Cette méthode est le premier pas dans l'évaluation complète des IUI. Elle devrait être utilisée à toutes les étapes de développement, mais surtout lors de la première analyse, ce qui permettrait de déceler les faiblesses des IUI le plus tôt possible et de donner de nouvelles pistes de recherche pour les développeurs afin de réaliser les meilleures IUI possibles. Un

tableau sommaire des résultats de l'évaluation est affiché ci-dessous, les systèmes sont triés selon leur note et de façon descendante.

Les IUI étudiées sont quand même bien conçues et atteignent les buts pour lesquels elles ont été développées. À part quelques exceptions, les différentes IUI contiennent les mêmes éléments d'interface et les disposent de la même manière. Donc, nous pouvons conclure que ces éléments deviennent essentiels pour la construction de bonnes IUI, ce qui vient appuyer les choix que nous avons faits pour notre modèle.

Système	Note
[TRI03]	88
[IGL03a]	82
SPHINX	62
[CHA06]	46
[CHE08]	18
[DAV03]	10
SPEAC	10

Tableau 4. Sommaire des résultats des systèmes à l'évaluation

Chapitre 5. Résultats et discussion

Dans le chapitre précédent, nous avons évalué notre modèle de manière heuristique. Pour cela, nous avons choisi plusieurs IUI mises en œuvre dans des EIAH et attribué une note pour chaque représentation des cinq composantes de notre modèle, soit le contenu personnalisé, les liens hypertextes adaptés, les mécanismes de guidage direct, les fenêtres d'aide supplémentaires à l'apprentissage et le menu de préférences spécifiques.

Dans ce chapitre, nous présentons et discutons les résultats obtenus lors de cette évaluation du modèle. Par ces résultats, nous souhaitons montrer que notre modèle d'IUI améliore l'interaction entre l'apprenant et l'EIAH et est suffisamment générique pour être utilisé comme guide de conception pour n'importe quel EIAH.

Nous présentons tout d'abord sous forme de tableau les différents résultats de notre évaluation, ce qui permet de faire ressortir les avantages et limites de notre modèle. Ensuite, nous discutons ces résultats en fonction des résultats attendus, leurs avantages et limites pour effectuer une synthèse et enfin proposer des améliorations à notre modèle.

5.1. Présentation des résultats

Nous allons maintenant présenter les résultats lors de notre évaluation des différentes IUI. Nous avons disposé les différents résultats de nos évaluations sous forme de diagramme à barres représentés par les tableaux 4 et 5. Le premier tableau présente les notes obtenues pour chaque composante du modèle pour chacune des IUI. Le deuxième tableau montre les notes données à chacune des IUI pour chacune des composantes du modèle. Les deux diagrammes se ressemblent mais nous pouvons faire ressortir des points différents avec l'un et l'autre.

En regardant les deux tableaux nous pouvons voir que la composante la plus souvent présente dans les différents EIAH est les fenêtres supplémentaires d'aide à l'apprentissage. Par

contre, dans la plupart de ces EIAH, les IUI ne proposent qu'une seule de ces fenêtres, c'est pourquoi leur performance moyenne est un peu moins de 6 sur 10. De plus, deux des EIAH ont seulement une fenêtre supplémentaire d'aide comme élément qui accorde à leur interface le titre d'IUI. Selon nous, la simple utilisation d'une fenêtre supplémentaire d'aide ne permet pas de rendre les interfaces plus intelligentes.

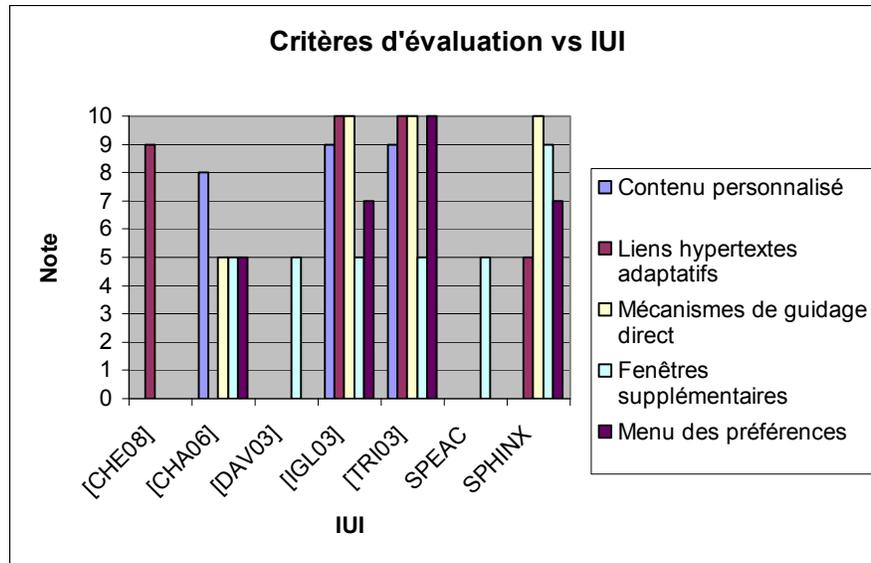


Tableau 5. Performance des EIAH étudiés pour chacun des éléments

Il y a trois des cinq composantes qui se retrouvent le même nombre de fois. Ce sont les liens hypertextes adaptés, les mécanismes de guidage direct et le menu des préférences spécifiques. Ce sont les mécanismes de guidage direct qui obtiennent la meilleure performance lors de notre évaluation, juste devant les liens hypertextes adaptés avec une moyenne un peu supérieure à 8 sur 10. Le menu des préférences spécifiques fait quand même belle figure avec une moyenne de 7 sur 10.

Les mécanismes de guidage direct et les liens hypertextes adaptés sont très utiles pour guider les apprenants dans leur chemin d'apprentissage, ce qui peut expliquer leur popularité. Le rôle de guide est celui qui peut sembler le plus pertinent lors de la conception d'un EIAH. De plus, avec l'utilisation du Web, l'emploi des liens hypertextes devient tout à fait approprié et naturel. L'ajout de différents mécanismes d'adaptation des liens hypertextes

ne demande pas trop d'effort de développement et à une grande valeur ajoutée pour les apprenants. En effet, cela va augmenter leur intérêt pour l'EIAH en réduisant leur charge de travail, leur permettant a priori d'apprendre plus rapidement. Les mécanismes de guidage direct sont sous forme de boutons de guidage pour les quatre EIAH qui possèdent ces mécanismes. Ces boutons permettent également de réduire la charge de travail des apprenants, pour ainsi faciliter l'utilisation de l'EIAH.

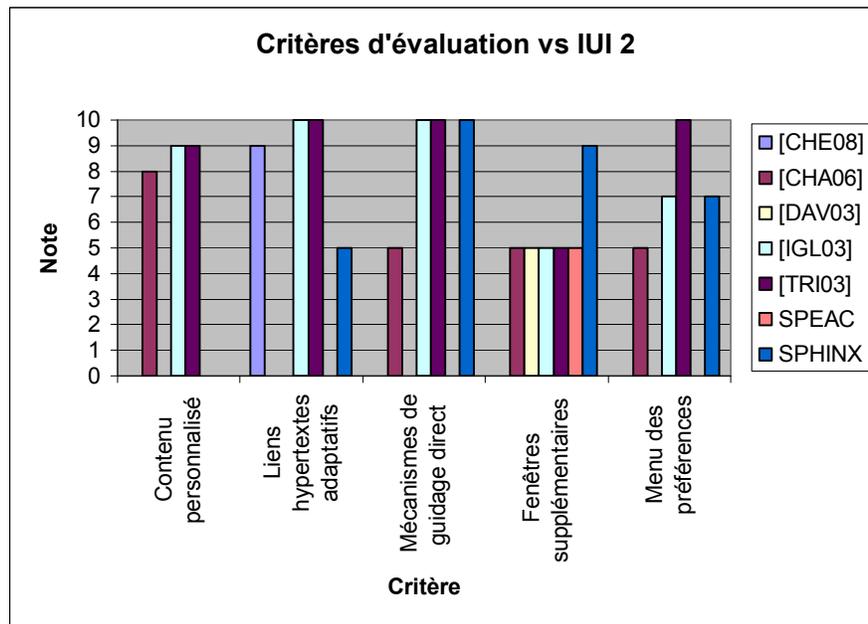


Tableau 6. Performance des éléments d'interface pour chacune des EIAH

Le menu de préférences spécifiques qui est utilisé pour la plupart des EIAH est assez simple et permet de modifier seulement les couleurs des annotations sur les liens hypertextes. Un seul menu de préférences, parmi ceux étudiés, permet de modifier les styles cognitifs des apprenants pour ainsi influencer l'affichage dans les IUI.

La composante la moins utilisée est le contenu personnalisé, qui se retrouve dans seulement trois des EIAH. Par contre, quand cette composante est présente, elle est bien intégrée et permet d'apporter beaucoup d'adaptabilité aux IUI. Cet élément est probablement un des éléments les plus coûteux en temps de développement pour l'EIAH, car il faut offrir différents contenus différents et aussi sur des plusieurs médias. Par exemple, il faut offrir des

vidéos explicatives ou des images, en plus du texte descriptif pour le même contenu. Ce travail est réalisé par les enseignants et peu demander beaucoup de temps de préparation. En plus, si les styles cognitifs sont pris en compte dans l’affichage du texte, cela peut donner plusieurs combinaisons possibles d’affichage qui complexifient encore plus le mécanisme d’affichage des IUI.

Le tableau 4 montre que trois des IUI que nous avons évaluées ont fait une très bonne performance. Ce sont les IUI proposées par Iglesias *et al.* [IGL03a] et Triantafillou *et al.* [TRI03], ainsi que celles de SPHINX [CAP06]. D’ailleurs, ces trois EIAH proposent les IUI qui contiennent les cinq composantes d’interface proposées par notre modèle, à l’exception de SPHINX qui n’a pas de contenu personnalisé.

L’EIAH SPEAC a, quant à lui, fait une piètre performance pour son IUI. À sa défense, les interfaces de cet EIAH n’ont pas été conçues dans le but d’être des IUI. Donc, il n’y a peut-être pas lieu de les considérer ainsi. Les IUI proposées par Davies *et al.* [DAV03] ont elles aussi eu une note faible. C’est l’absence d’adaptabilité de ces IUI qui font qu’elles ne sont pas de bonnes IUI ou peut-être même qu’elles ne peuvent pas être considérées comme des IUI.

5.2. Discussion

Dans cette section, nous allons discuter des impacts de notre évaluation sur notre modèle et ferons une critique de ce dernier. Nous allons d’abord vérifier si nous avons atteint les objectifs que nous nous étions fixés au départ. Ensuite, nous ferons ressortir les avantages et les inconvénients de notre modèle. Enfin, nous proposerons des améliorations à y apporter.

5.2.1. Comparaison avec les résultats attendus

Le premier objectif était de répondre aux besoins des utilisateurs, en améliorant l’interaction entre les apprenants et l’EIAH pour ainsi les aider dans leur apprentissage. Parmi les IUI analysées, nous choisissons alors celles ayant obtenu les meilleures notes, soit qui comportent le plus de composantes de notre modèle. Les IUI de trois EIAH ont été retenues.

Les auteurs Iglesias *et al.* [IGL03a] ont réalisé des essais sur leur EIAH en deux phases, une première phase avec des étudiants virtuels [IGL03b] et la deuxième phase sur des étudiants réels [IGL09]. La première phase a permis de démontrer que l'EIAH a besoin d'interagir avec seulement quelques apprenants afin d'apprendre les règles pour enseigner aux apprenants. La deuxième phase, quant à elle, a fait ressortir que l'utilisation des mécanismes de guidage direct est vraiment très utile pour les apprenants dans le but d'apprendre le contenu de l'EIAH. Avec ces deux expériences faites avec cet EIAH, nous pouvons croire que les éléments qui permettent d'interagir avec les apprenants permettent de faciliter l'apprentissage des apprenants. Ainsi, ce système propose, pour interagir, le contenu personnalisé, les liens hypertextes et les mécanismes de guidage direct.

Les auteurs Triantafillou *et al.* [TRI03] ont réalisé une évaluation formative sur leur EIAH. Ils ont utilisé trois types d'évaluation : la revue des experts, l'évaluation un à un par les apprenants et l'évaluation en petits groupes. À partir de ces différentes évaluations, les auteurs ont conclu que l'utilisation de l'adaptabilité à partir des styles cognitifs des apprenants permettait d'améliorer l'efficacité éducationnelle et permettait également d'aider les apprenants dans leur apprentissage. Cet EIAH utilise les styles cognitifs pour personnaliser le contenu, ce qui démontre que cet élément est important pour construire une IUI. De plus, le menu des préférences permet aux apprenants de modifier leurs styles d'apprentissage, ce qui montre que les styles peuvent évoluer et que la flexibilité apportée par ce menu peut-être très utile.

Pour le système SPHINX [CAP06], nous avons étudié les résultats d'évaluation de Curvat [CUR04a]. Trois méthodes d'évaluation ont été utilisées : le questionnaire aux apprenants, les entrevues individuelles et la révision par des experts. Les résultats démontrent que 61% des étudiants ont affirmé que SPHINX les avait aidés dans leur apprentissage. De plus, 63% des étudiants affirment avoir utilisé les outils de SPHINX. Une analyse plus détaillée de ces évaluations a montré que les étudiants qui avaient le plus utilisé SPHINX avaient obtenu de meilleurs résultats dans le cours [CAP06]. L'utilisation de SPHINX a donc eu un effet positif sur l'apprentissage des étudiants. Les éléments qui ont eu la meilleure

performance, selon le tableau 5, pour cet EIAH sont les mécanismes de guidage direct et les fenêtres d'aide supplémentaires. En conséquence, ces deux éléments ont joué un grand rôle pour aider les étudiants dans leur apprentissage. La fenêtre supplémentaire de collaboration joue un rôle essentiel dans cet EIAH, donc elle est un élément important pour notre modèle d'IUI.

À la lumière des résultats d'évaluation pour ces trois IUI, nous pouvons conclure que le premier objectif est atteint, car il est démontré que l'efficacité de l'apprentissage augmente lorsque des mécanismes de guidage sont utilisés. En particulier, l'emploi des liens hypertextes adaptés, des mécanismes de guidage direct et des fenêtres d'aide supplémentaires permettent d'offrir ce guidage. L'adaptabilité permet, quant à elle, d'améliorer l'interaction et l'intérêt des apprenants pour l'EIAH grâce à l'IUI. Cette adaptabilité peut être atteinte par l'utilisation du contenu personnalisé, des liens hypertextes adaptés et du menu des préférences spécifiques.

Le deuxième objectif de notre modèle était de proposer des composantes d'interface pour faciliter et systématiser la conception des IUI destinées aux EIAH afin de les rendre plus efficaces et de meilleure qualité. Notre modèle propose des composantes essentielles à intégrer à l'interface d'un EIAH pour en faire une IUI efficace et de meilleure qualité, comme nous l'avons expliqué précédemment avec l'atteinte de notre premier objectif. Ce modèle est donc un guide pour tout développeur d'IUI destinées à un EIAH. De plus, chaque composante est décrite à un niveau conceptuel suffisamment abstrait pour qu'il soit facilement réutilisable pour n'importe quelle conception. Notre deuxième objectif est donc également atteint.

Avec nos évaluations d'IUI dans sept EIAH nous avons démontré que notre modèle atteint les objectifs que nous nous étions fixés. Notre modèle est une alternative à l'absence de modèle générique pour créer des IUI dans des EIAH, car il offre aux futurs développeurs de ces IUI un guide de conception pour ajouter les composantes essentielles à intégrer à l'interface.

5.2.2. Avantages et limites du modèle

Le modèle d'IUI pour les EIAH que nous avons proposé possède de nombreux avantages. Tout d'abord c'est un modèle réutilisable pour concevoir toute sorte d'IUI dans le domaine des EIAH. Lors de notre évaluation des différentes IUI, nous avons pu constater que les meilleures IUI possédaient presque toutes les composantes de notre modèle. De plus, ces IUI sont destinées à différents types d'apprenants, dans divers milieux et diverses cultures. Donc, notre modèle permet de s'adapter aux différents besoins des EIAH. De plus, les évaluations ont démontré que les éléments proposés dans notre modèle sont efficaces pour atteindre leurs objectifs. Par conséquent, les éléments proposés dans notre modèle sont très utiles pour les concepteurs des IUI.

Un autre avantage est que nous proposons différents éléments d'IUI qui peuvent être intégrés individuellement. Cette flexibilité dans le modèle est très importante, car les besoins d'un EIAH à un autre peuvent différer grandement. Les activités d'apprentissage ne sont pas toujours les mêmes. Certains EIAH proposent des leçons à étudier et des exercices à résoudre, d'autres présentent seulement des exemples et font appel à la collaboration pour augmenter la compréhension. Par exemple, la fenêtre d'aide supplémentaire de collaboration peut être plus ou moins importante et lors de la conception l'accent peut être mis sur une autre composante. Toutefois et idéalement, il est primordial d'incorporer le plus de composantes de notre modèle pour ainsi obtenir les IUI les plus efficaces.

Malgré les efforts et les recherches qui ont été faites pour proposer notre modèle d'IUI, nous pouvons identifier quelques limites. En premier lieu, le modèle ne contient pas tous les éléments possibles qui peuvent constituer une IUI. Le domaine des IUI et de l'IA est encore constamment en évolution, tout comme le domaine de l'informatique. De nouvelles idées et de nouveaux produits font leur apparition régulièrement, ce qui rend plus difficile de garder à jour le modèle. Une mise à jour du modèle devrait être faite régulièrement pour prendre en compte l'évolution du domaine.

Notre modèle aurait pu également proposer des outils pour modéliser les différents aspects de l'IUI, par exemple le modèle de l'étudiant, le modèle du domaine, le modèle de communications, etc. Nous avons décidé de nous limiter plus à l'aspect conception de l'IUI qu'à l'aspect d'analyse des besoins et l'analyse fonctionnelle.

5.2.3. Améliorations proposées

Nous avons présenté précédemment les avantages et limites de notre modèle. À partir de ces limites, nous pouvons proposer des améliorations à notre modèle. La mise à jour régulière, mentionnée plus tôt, du modèle serait plus une recommandation qu'une amélioration. Bien sûr pour ce faire, il faudrait que notre modèle soit une référence en la matière et soit reconnu dans le domaine des IUI et des EIAH. Nous n'avons jamais prétendu à un tel prestige avec notre travail. Cette mise à jour régulière pourrait permettre d'élargir les possibilités d'utilisation des IUI et pourrait donner plus d'outils aux concepteurs.

Une amélioration qui devrait être fait à notre modèle, serait d'inclure ce dernier dans une méthodologie de développement d'IUI. Cette méthodologie pourrait ajouter l'aspect d'analyse qui manque à notre modèle et donnerait des outils plus complets aux concepteurs d'IUI pour les EIAH. La méthodologie CommonCADS serait la plus appropriée pour compléter notre modèle et fournirait les différents outils pour modéliser les différents aspects des IUI. La prochaine étape serait en effet de définir les composantes de manière à décrire les tâches en tant que structures d'inférence selon la méthodologie CommonKads ou bien encore en utilisant un autre formalisme tel que UML. Un tel travail s'inscrirait toujours dans l'esprit de la recherche actuelle sur la conception des EIAH qui est d'explicitier les éléments de conception afin qu'ils soient réutilisables et plus systématiques.

5.3. Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre les résultats obtenus lors de l'évaluation de notre modèle en l'appliquant sur différentes IUI. Ces résultats sont très satisfaisants et nous

montrent que les éléments, que nous avons proposés dans notre modèle, permettent d'atteindre les objectifs des IUI dans les EIAH ainsi que de bien répondre aux différents critères d'évaluation proposés par [BET07]. Bien sûr, il y a des points à améliorer et nous avons proposés des pistes qui permettront de fournir un meilleur modèle et des outils plus complets. Dans le chapitre suivant, nous ferons un récapitulatif de l'ensemble du mémoire et nous élaborerons des axes de recherche pour notre modèle, ainsi que des utilisations futures des IUI dans les EIAH.

Chapitre 6. Conclusion

Dans ce mémoire, nous avons présenté les différentes connaissances requises pour la construction des IUI. Nous avons ainsi démontré que la construction d'IUI est un travail complexe et pluridisciplinaire. Nous devons faire appel au domaine des IPM, pour établir les règles à suivre dans la conception d'interface efficace, et à celui de l'IC, pour ajouter la partie de guidage et d'adaptabilité, soit la partie « intelligente ».

Par la suite, nous avons expliqué notre problématique. Lors de notre étude de différents EIAH, nous avons constaté qu'il n'y avait pas de modèle générique et flexible pour la construction d'IUI. Les modèles qui sont proposés s'appliquent seulement à des besoins d'EIAH particuliers, aucun modèle générique n'a été proposé. Ainsi, les développeurs d'IUI dans des EIAH ne possèdent aucun guide proposant des solutions pour les construire.

À partir de cette problématique, nous avons élaboré une solution, en proposant un modèle générique avec cinq composantes d'interface indépendantes les unes des autres, pour aider les développeurs dans leur conception des IUI pour les EIAH. Ce modèle permet de construire des IUI plus efficaces et permet d'aider les apprenants à mieux évoluer en suivant leur chemin d'apprentissage. Nous avons construit ce modèle en étudiant plusieurs IUI dans des EIAH et en nous basant sur les critères d'évaluation proposés par Bétrancourt et Gagnière [BET07]. En utilisant ces composantes d'interface, nous ajoutons des mécanismes de guidage et de l'adaptabilité aux interfaces, qui deviennent alors des IUI, ce qui permet d'atteindre les objectifs.

Ensuite, nous avons présenté les différents outils d'évaluation pour les IUI. Nous avons choisi une méthode pour évaluer des IUI dans des EIAH pour nous permettre de valider notre modèle. La méthode qui a été choisie consiste à la révision par un expert. Pour utiliser cette méthode, nous avons sélectionné plusieurs EIAH différents, dont deux EIAH qui ont été développés au laboratoire ERICAE de l'Université Laval : soit SPEAC et SPHINX, et nous

avons vérifié la présence des différents éléments d'interface proposés par notre modèle dans ces EIAH.

Enfin, nous avons analysé les résultats obtenues lors de l'évaluation pour conclure que notre modèle est efficace, car il aide les apprenants dans leur cheminement d'apprentissage, et très utile pour la conception des IUI, car il fournit un guide de conception. L'intégration des composantes du modèle permet également de construire des IUI qui aident l'apprentissage de ces utilisateurs. Néanmoins, nous avons identifié certaines limites. En effet, l'évolution des technologies ne nous permet pas d'avoir un modèle pleinement à jour, ce qui devra se faire régulièrement. Aussi, le modèle devrait faire partie d'une méthodologie de développement pour fournir une solution complète.

Les IUI sont un domaine de recherche de l'IC en plein essor. Il est encore méconnu, même si sa présence commence à se faire sentir dans des sites Web plus connus, comme celui d'Amazon (www.amazon.ca) qui propose des achats à ses utilisateurs selon leur historique d'achats. C'est un domaine qui est voué à un bel avenir, car de plus en plus les systèmes informatiques veulent faciliter le travail de leurs utilisateurs et les IUI permettent de bien atteindre cet objectif.

Néanmoins, l'acceptation d'un modèle d'IUI reconnu n'est pas une tâche facile. Il faut d'abord que le domaine soit mieux connu et que les IUI soient utilisées. Une solution consiste à proposer un modèle et que ce dernier soit enrichi au fur et à mesure de son utilisation. Plus ce modèle sera utilisé, plus il sera validé et meilleur, il sera. Donc, les IUI seront plus efficaces et rempliront le mandat pour lequel elles ont été créées. Aussi, notre modèle a été construit pour les IUI dans le domaine des EIAH. Un modèle générique pour les IUI de domaines différents pourrait être proposé pour ainsi aider tous les développeurs de ce domaine.

Bibliographie

- [AKO00] Akoumianakis D., Savidis A. et Stephanidis C., “Encapsulating intelligent interactive behaviour in unified user interface artifacts”. *Interacting with Computers*, Vol. 12, 2000, p.383-408
- [BEL07] Belkhiter N. et Lefrenière D., “Notes de cours – Interface personne-machine”. *Notes de cours GLO-19407*, automne 2007, Université Laval, Québec.
- [BET07] Bétrancourt M. et Gagnière L., “La phase d’évaluation : utilisation de grilles de critères”. *Acétates du cours « Ergonomie des Interactions Personne-Machine » de l’Université de Genève*, 2007-2008
- [CAP06] Capus L., Curvat F., Leclair O. et Tourigny N.. “A Web environment to encourage students to do exercises outside the classroom: A case study”, *Educational Technology & Society Journal (ET&S)*, Vol. 9, No. 3, 2006, pages 173-181.
- [CHA99] Charlet J., Zacklad M., Kassel G et Bourigault D., Ingénierie des connaissances. Évolution récente et nouveaux défis. *Collection technique et scientifique des télécommunications*, Eyrolles, Paris, 1999
- [CHA06] Cha J. H. , “Learning Styles Diagnosis Based on User Interface Behaviors for the Customization of Learning Interfaces in an Intelligent Tutoring System”. *Intelligent Tutoring Systems (ITS) 2006*, 2006, p.513-524
- [CHE99] Chen W. et Mizoguchi R., “Communication Content Ontology for Learner Model Agent in Multi-agent Architecture”. *Proceedings of the 7th International Conference on Computers in Education*, 1999, p.95-102
- [CHE08] Chen C.-M., “Intelligent web-based learning system with personalized learning path guidance”. *Computers & Education*, vol. 51, 2008, p.787-814
- [CHO03] Chou C.Y., Chan T.W. et Lin C.J., “Redefining the learning companion: the past, present, and future of educational agents”. *Computers & Education*, Vol. 40, 2003, p.255-269
- [CUR04] Curilem G., “Adaptive Interface Methodology for Intelligent Tutoring Systems”. *Intelligent Tutoring Systems (ITS) 2004*, 2004, p. 741-750

- [CUR04a] Curvat F., “Méthodologie de conception d’environnements informatiques pour l’apprentissage humain à partir d’exemples”. *Mémoire de maîtrise*, 2004, Université Laval, Québec
- [DAR00] Darlington K., *The essence of expert systems*. Prentice Hall, Essex, 2000
- [DAV03] Davies J., Leelawong K., Belyne K., Biswas G., Vye N., Bodenheimer R. et Bransford J., “Intelligent User Interface Design for Teachable Agent Systems”. *International Conference on Intelligent User Interfaces: proceedings of the 8th international conference on Intelligent user interfaces*, 2003, p. 26-33
- [DIL99] Dillenbourg P., “What do you mean by ‘collaborative learning’?”. *Collaborative-Learning: Cognitive and Computational Approaches*, P.Dillenbourg (Éd.), Oxford:Elsevier, 1999, p. 1-19
- [HOO99] Höök K., “Designing and evaluating intelligent user interface”. *IUI 99*, 1999, p. 5-6
- [HOO00] Hook K., “Steps to take before intelligent user interfaces become real”. *Interacting with computers*, Vol. 12, 2000, p.409- 426
- [IGL03a] Iglesias A., Martinez P. et Fernandez F., “Navigating through the RLATES Interface: A Web-Based Adaptive and Intelligent Educational System”. *On the move to meaningful internet systems (OTM) Workshop 2003*, 2003, p. 175-184
- [IGL03b] Iglesias A., Martinez P. et Fernandez F., “An Experience Applying Reinforcement Learning in a Web-Based Adaptive and Intelligent Educational System”. *Informatics in Education*, Vol.2, No.2, 2003, p.223-240
- [IGL09] Iglesias A., Martinez P., Aler R. et Fernandez F., “Reinforcement learning of pedagogical policies in adaptive and intelligent educational systems”. *Knowledge-Based Systems*, Vol. 22, 2009, p.266-270
- [IVO01] Ivory M. Y. et Hearst M. A., “The state of the art in automating usability evaluation of user interfaces”. *ACM Computing Surveys*, Vol. 33, December 2001, p. 470-516
- [JEF91] Jeffries R., Miller J. M., Wharton C. et Uyeda K. “User interface evaluation in the real world: a comparison of four techniques”. *Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1991, p. 119-124
- [KEE00] Keeble R.J. et Macredie R.D., “Assistant agents for the world wide web intelligent interface design challenges”. *Interacting with Computers*, Vol. 12, 2000, p.357-381
- [MAY98] Maybury M. T. et Wahlster W., *Readings in Intelligent User Interfaces*. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, 1998

- [MCT00] McTear M. F., “Intelligent interface technology: from theory to reality?”. *Interacting with Computers*, No.12, 2004, p. 323-336
- [NIE90] Nielsen J. et Molich R., “Heuristic evaluation of user interfaces”. *Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1990, p. 249-256
- [POT02] Potvin B., “exemple41.xml”. *Tiré du système SPEAC*, 2002, Université Laval, Québec
- [POT05] Potvin B., “Modélisation d’un environnement informatique pour l’apprentissage humain à partir d’exemples basé sur des principes d’auto-explication et de collaboration”. *Mémoire de maîtrise*, 2005, Université Laval, Québec
- [RUB05] Rubens W., Emans B., Leinonen T., Skarmeta A. G. et Simons R. J., “Design of a web-based collaborative learning environments. Translating the pedagogical learning principles to human computer interface.”. *Computers & Education*, Vol. 45, 2005, p. 276-294
- [SCH00] Schreiber G., Akkermans H., Anjewierden A., de Hoog R., Shadbolt N., Van de Velde W. et Wielinga B., *Knowledge Engineering and management. The CommonKADS Methodology*. The MIT Press, Cambridge, 2000
- [SHN98] Shneiderman B., *Designing the user interface*, Third edition, Addison-Wesley, 1998
- [STA00] Stary C., “TADEUS : Seamless development of task-based and user-oriented interfaces”. *IEEE Transactions on systems, man and cybernetics – Part A : systems and humans*, Vol. 30, No. 5, 2000, p.509-525
- [TCH02] Tchounikine P., “Quelques éléments sur la conception et l’ingénierie des EIAH”, *Actes des assises nationales du GdR i3*, décembre 2002
- [TCH09] Tchounikine P., "Précis de recherche en ingénierie des EIAH", 2009 (en ligne sur le Web), <http://membres-liglab.imag.fr/tchounikine/Precis.html>.
- [TRI03] Triantafillou E., Pomportsis A. et Demetriadis S., “The design and the formative evaluation of an adaptive educational system based on cognitive styles”. *Computers & Education*, Vol. 41, 2003, p. 87-103
- [VIR04] Virvou M. et Kabassi K., “Adapting the human plausible reasoning theory to graphical user interface”. *IEEE Transactions on systems, man and cybernetics – Part A : systems and humans*, Vol. 34, No. 4, 2004, p.546-563
- [YOO04] Yoo J.H Ahn K.-S., Jun J. et Rhee P.-K., “A recommendation system for intelligent user interface: collaborative filtering approach”. *Knowledge-based Intelligent Information & Engineering Systems Conference 2004 (KES)*, 2004, p.869-879