

ملخص

هذا العمل يتناول مشكلة تمثيل التلميذ في محيط للتعلم بالكمبيوتر. بعد تقديم نظرة شاملة حول التعليم بالكمبيوتر تخصصنا في تمثيل التلميذ، دوره و مكانيزماته.

المنهجية المختارة هي التمثيل المفتوح للتلميذ. حاولنا من خلال فاري سيستم ضبط التمثيل المفتوح للتلميذ. هذا الإنسجام يكون من خلال ضبط قدرة تحكم التلميذ في تمثيله.

ABSTRACT

This work approaches the learner modelling problem in an Interactive learning environment. After a survey on the field of computer assisted learning we focuses on learner modelling, his role and mechanisms.

The chosen approach is the open learner modelling. we will try through a fuzzy system, integrated into a global framework, an adaptation of the open approach to learner. This adaptation passes by the regulation of the power of learner on its model.

Résumé

Ce mémoire aborde la modélisation de l'élève dans un environnement interactif d'apprentissage humain. Après une revue de la discipline on se focalise sur le modèle élève, son rôle et ses mécanismes.

L'approche retenue est celle de l'ouverture du modèle. On cherchera par un système flou, dans un cadre global de modélisation, à adapter cette ouverture à l'élève. Cette adaptation passe par la régulation du pouvoir de l'élève sur son modèle.

REMERCIEMENTS

En premier lieu je remercie monsieur T.Bensebaa d'avoir accepté d'encadrer ce travail et pour ses conseils et son aide précieuse et continue.

Je remercie vivement Monsieur M.SELAMI professeur à l'institut d'informatique de l'université de Badji Mokhtar Annaba pour avoir accepté de présider le jury.

Je remercie Madame M.Babes maître de conférence à l'université de Badji Mokhtar - Annaba et Madame H.Merouani maître de conférence à l'université de Badji Mokhtar – Annaba de l'intérêt qu'ils manifestent pour cette recherche en acceptant d'en être les examinateurs.

Je tiens à remercier tous les enseignants qui ont participé à ma formation et à tous ceux qui m'ont aidé.

LISTE DES TABLEAUX

Tab	Titre	page
Tableau 1.1	Typologie des systèmes EAO	16

LISTE DES FIGURES

Fig	Titre	page
Figure 1.1	Principaux courants en informatique et éducation	3
Figure 1.2	Structure de base d'un ITS.	7
Figure 2.1	Exemple modélisation expertise partielle sur un domaine	32
Figure 2.2	Modélisation de l'élève par perturbation	33
Figure 2.3	Phases du diagnostic des entrées de l'élève.	38
Figure 3.1	Externalisation du modèle élève dans UM pour le cas de SAM text editor.	52
Figure 3.2	Indicateurs de niveau 'skillmetter'	59
Figure 3.3	Externalisation dans SQL-TUTOR	60
Figure 3.4	La version PC de bureau du modèle élève ouvert de C-POLMILE.	61
Figure 3.5	La version mobile du modèle élève ouvert dans MoreMaths	61
Figure 3.6	Le modèle élève individuel dans Substraction Master.	62
Figure 3.7	Un CM complet sans erreurs.	63
Figure 3.8	Résultat de l'analyse présenté à l'élève du CM de la figure 3.7.	64
Figure 3.9	Autre CM incomplet construit par un élève	64
Figure 3.10	Résultat de la vérification pour le CM de la figure 3.9.	65
Figure 3.11	Présentations multiples du même modèle élève.	66
Figure 3.12	STYLE-OLM ouverture en mode DISCUSS.	67
Figure 3.13	Contributions des trois Pairs dans l'évaluation et le modèle du système.	68
Figure 3.14	Comparaison avec le modèle moyen dans Substraction Master.	69
Figure 3.15	Montrer à l'élève ses stratégies d'apprentissage	69
Figure 3.16	Le modèle élève présenté à l'enseignant dans Substraction Master.	70
Figure 3.17	Matrice cognitive des performances des élèves dans les questionnaires	71
Figure 3.18	Visualisation des activités liées aux discussions.	71
Figure 4.1	Les deux niveaux de la modélisation.	74
Figure 4.2	Arrivée d'un nouvel enregistrement π .	76
Figure 4.3	Modélisation Niveau II	79
Figure 4.4	Subdivision du domaine de connaissances par rapport à l'ouverture du modèle	81
Figure 4.5	Evolution des évaluations système/élève	85
Figure 4.6	SIF niveau de connaissance	86
Figure 4.7	SIF consistance	89
Figure 4.8	SIF régulation du pouvoir de l'élève	91
Figure 4.9	Les demandes internes/externes sur les métadescripteurs.	94

TABLE DES MATIERES

Chapitre I – ENSEIGNEMENT ASSISTE PAR ORDINATEUR

1. Introduction	1
2. Revue historique de l'EAO	2
3. EAO et éducation	4
4. Systèmes Tuteurs Intelligents	6
4.1 Le Module Expert	7
4.2 Le module pédagogique	9
4.3 Le modèle élève	11
4.4 Module interface	11
5. Les micro-mondes	12
6. Typologie des logiciels éducatifs	13
7. Environnements Interactifs d'Apprentissage Humain vers une ingénierie	17
7.1 Définition d'un EIAH	17
7.2 Ingénierie des EIAH	17
7.3 Besoins Métacognitifs d'un EIAH	18
7.4 Evaluation d'un EIAH	19
8. Conclusion	20

Chapitre II – MODELISATION DE L'ELEVE

1. Introduction	21
2. Le modèle élève	22
3. Le modèle élève et les théories d'apprentissages	24
4. Aspects du modèle élève	25

5. Contenu du Modèle élève	26
6. Fonctions du modèle élève	28
7. Initialisation du modèle élève	29
8. Approches de modélisation de l'élève	30
8.1 Modélisation par Expertise Partielle	30
8.2 Le modèle de perturbations	32
8.3 Modèle de traçage	34
8.4 Modélisation par stéréotypes	36
8.5 Le Modèle ouvert	37
9. Le Diagnostic dans le modèle élève	37
9.1 Taxonomie des méthodes de diagnostic	40
9.2 Méthodes de diagnostic	41
10. Intégration des nouvelles observations au modèle élève	42
11. Conclusion	44

CHAPITRE III – le modèle élève ouvert

1. Introduction	45
2. avantages de la modélisation ouverte de l'élève.	47
3. Exemple de systèmes adoptant l'ouverture du modèle	50
3.1 TAGUS	50
3.2 UM	51
3.3 STYLE-OLM	53
3.4 Systèmes Pairs 'Peer Systems'	54
3.5 Autres approches ouvertes	56
3.6 Résumé	57
4. Externalisation du modèle élève	59
4.1 Externalisation rendu par des indicateurs de niveau	59

4.2 Externalisation avec les CM	62
4.3 Des représentations multiples aux choix.	65
4.4 Externalisation dans les systèmes Peer.	68
4.5 Attribues autres que l'état cognitif pouvant être externalisés	69
4.6 Externalisation, cible visée : les enseignants.	70
5. Conclusion.....	72

CHAPITRE IV – Approche adaptative d'ouverture du modèle élève.

1. Introduction	73
2. Le modèle élève	74
3. Evaluation des connaissances de l'apprenant	75
4. Externalisation du model et organisation des interactions	76
5. Initialisation du modèle	78
6. Modèle Niveau II	78
7. introduction pratique à la logique floue	81
8. Régulation du pouvoir d'influence de l'eleve	84
8.1 Niveau de connaissances	85
8.2 Consistance	89
8.3 Régulation du pouvoir de l'élève.....	91
9. Conclusion et perspectives.....	95

Chapitre I

ENSEIGNEMENT ASSISTE PAR ORDINATEUR

1. Introduction

L'EAO est une discipline stratégique, de par les objectifs qu'elle vise et le rôle axial potentiel qu'elle pourrait jouer dans le contexte socio-économique mondial actuel et certainement futur. Cette évolution commence avec les premiers pas de l'informatique, connaissant des avancées majeures tout en soulevant à chaque fois un certain nombre de questionnements fondamentaux dont certains restent encore sans réponse et d'autres ayant abouti aux avancées de cette discipline et aux résultats actuels.

Dans ce chapitre on va présenter un très bref historique de l'EAO, et décrire deux produits représentatifs :

- Les systèmes tuteurs intelligents avec les quatre composantes essentielles : le module expert, le module pédagogique, le module élève et le module interface.
- Les micro-mondes, incarnation des théories constructivistes prônant la liberté de l'élève et l'apprentissage authentique.

A eux deux ils représentent les deux aspects retenus dans la plupart des recherches, le guidage intelligent et la liberté de l'élève.

Vient alors, avec la diversification des branches de recherches en EAO, un concept intégrateur l'EIAH ('Environnements Interactifs d'Apprentissage Humain'), voulant, dans une prise de conscience réelle de l'aspect profondément pluridisciplinaire de la tâche, prendre en compte tous les aspects touchant l'enseignement assisté par ordinateur, et dont un des objectifs est la recherche d'une ingénierie.

2. Revue historique de l'EAO

Le milieu des années cinquante a connu les premières dates significatives dans l'histoire de l'EAO (Enseignement Assisté par Ordinateur); Skinner et Crowder ont marqué les prémises de cette discipline avec leurs machines à enseigner.

Par la suite l'informatique va contribuer à développer des systèmes d'enseignements et non plus des machines. Ainsi dans les années soixante apparaissent les premiers systèmes informatiques d'enseignements, l'EAO était né. Ces programmes pouvaient, d'une part, assurer l'enseignement d'un cours bien préparé et découpé en leçons optimisées pour chaque apprenant, d'autre part, ils pouvaient poser des questions et analyser les réponses données.

Après l'enthousiasme initial, les premières limitations sont apparues : les coûts de réalisations étaient énormes pour des résultats peu flexibles et difficiles à modifier.

Les premiers systèmes d'EAO ont contribué dans les premiers pas des technologies éducatives actuelles, mais ces systèmes ont surtout permis d'identifier certaines insuffisances dont l'incapacité de raisonner sur le domaine enseigné et l'incapacité à résoudre les problèmes posés à l'apprenant [Danine 2003]. S'ajoutent à cela d'autres limites qui sont :

- L'incapacité de dialoguer avec l'élève en langage naturel;
- L'incapacité de prendre en considération des réponses inattendues de la part de l'élève;
- L'incapacité d'anticiper, de diagnostiquer et de comprendre les erreurs de l'élève et ses fausses conceptions;
- L'incapacité d'améliorer ou de modifier les stratégies d'enseignement en cours ou d'en apprendre de nouvelles.

Dans les années soixante-dix et quatre-vingt, on assista à l'avènement des techniques d'intelligence artificielle (IA) avec un apport, d'un côté dans le prolongement des recherches issues de l'enseignement programmé (EAO et IA) et, de l'autre, dans le développement de LOGO et des micro-mondes.

Dans les années quatre-vingt la recherche s'est axée sur les tuteurs intelligents et les environnements d'apprentissage ouverts. Cette période a aussi vu l'émergence des outils généraux accompagnant la diffusion des micro-ordinateurs.

Enfin la suite a consisté en des tentatives de synthèse dans les environnements interactifs contrôlés avec l'apport des techniques hypertextes et la diffusion du multimédia, jusqu'à l'extraordinaire émergence récente des réseaux comme Internet et l'arrivée des interfaces multi-modales et de la réalité virtuelle.

La figure 1.1 donne très schématiquement l'évolution de l'EAO.

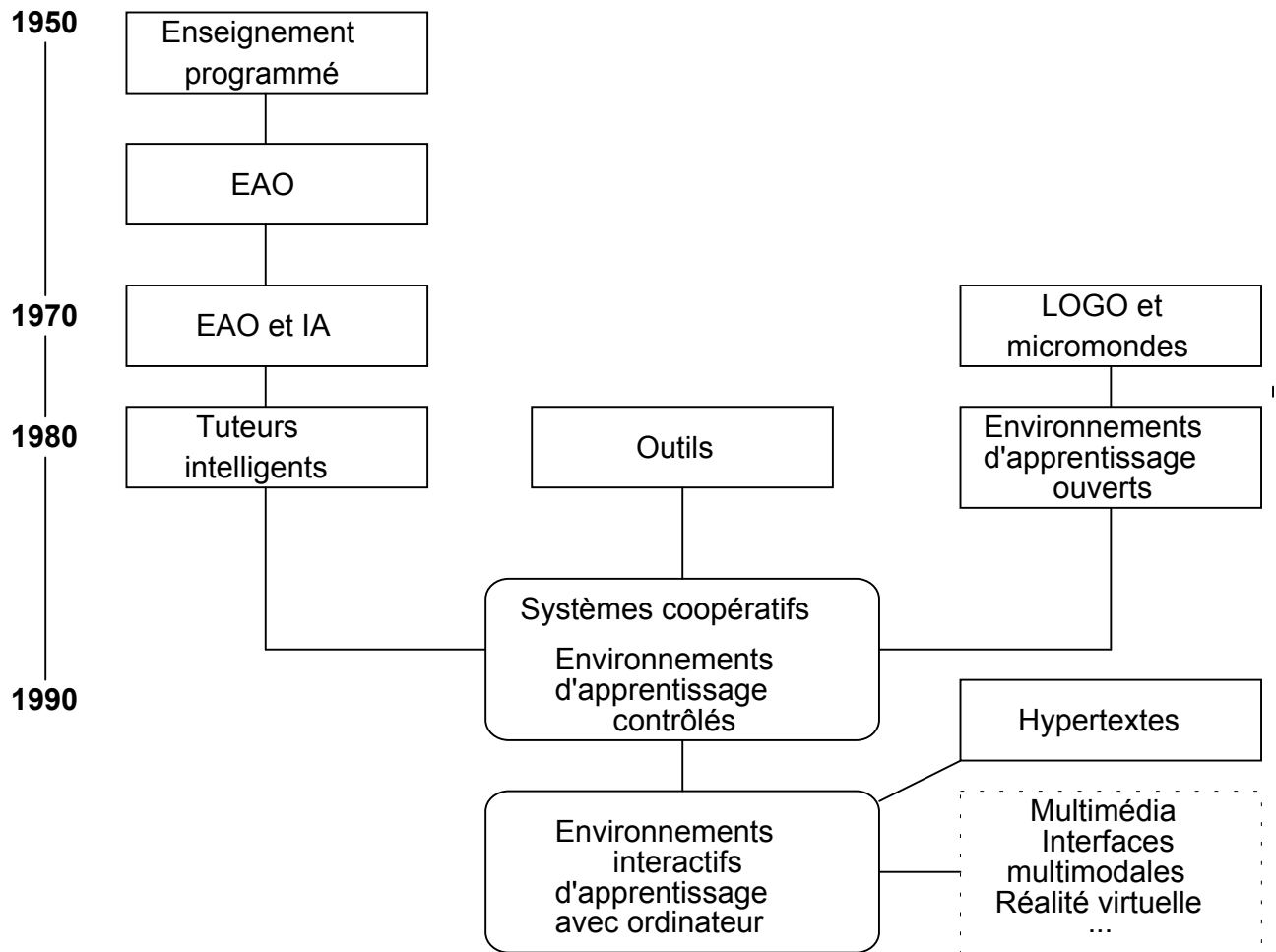


Figure 1.1 Principaux courants en informatique et éducation.

Sur ce schéma, la première colonne réfère à des courants qui ont privilégié l'enseignement, c'est-à-dire pour lesquels la machine est principalement amenée à jouer le rôle du maître (de l'enseignement programmé aux tuteurs intelligents). La troisième colonne rend compte de recherches dans lesquelles l'ordinateur est un moyen permettant aux apprenants d'effectuer des activités de constructions, d'explorations et de découvertes. Ces deux colonnes rendent compte de l'évolution

de l'application des théories d'enseignement vers celle de l'apprentissage [Ragnemalm 1999] où le contrôle est passé du système vers l'élève. Le système est devenu plus modeste, ne se considérant plus que comme un outil aidant l'élève et non plus un oracle considérant l'élève comme un ignorant à instruire. La colonne centrale correspond aux tentatives de synthèse de ces deux approches, essayant de concilier un certain guidage par la machine dans des environnements largement contrôlés par les apprenants.

3. EAO et éducation

L'idée d'utiliser l'ordinateur pour enseigner a émergé avec les premiers développements de l'informatique ; on a établi que la méthode la plus efficace pour l'apprentissage est l'enseignement individualisé (situation '1-enseignant -- 1-élève') [Mitrovic 2001]; L'instruction individualisée prend en considération les besoins de l'apprenant : l'élève peut apprendre à son rythme, en adéquation avec ses capacités cognitives et son style d'apprentissage [Kavcic 2004].

Les perspectives idéalistes de départ voulaient remplacer l'enseignant par un ordinateur; ce qui permettrait un enseignement individualisé pour chaque élève, la formule '1-enseignant -- 1-élève' deviendrait alors possible. L'idée est séduisante, d'autant plus qu'en théorie il apparaissait qu'il suffisait juste de codifier le domaine à enseigner et la pédagogie en se basant sur les sciences cognitives et éducationnelles ; pour les interactions il semblait évident que dans la prochaine décennie on disposerait d'interface en langage naturel pour permettre à l'élève de converser avec l'ordinateur comme il le faisait avec l'enseignant.

Cette vision de départ s'est vite effondrée :

- Premièrement parce que, même après plusieurs décennies de recherches et d'avancées significatives dans le domaine des interfaces en langage naturel, on est toujours loin de la qualité des interactions enseignant/élève. Ceci a orienté les choix vers d'autres types d'interfaces dont les plus récentes sont la réalité virtuelle. D'un autre côté, l'interaction élève-enseignant n'engage pas que le langage naturel.
- Deuxièmement parce qu'on s'est rendu compte qu'un ordinateur ne pourrait jamais remplacer complètement un enseignant, qu'il y'aura

toujours des élèves à qui les environnements informatiques ne sont pas adéquats et certaines matières où l'EAO n'est pas appropriée. Et qu'il est difficile, voire impossible de mettre la pédagogie dans un ordinateur...

Beaucoup d'autres difficultés ont fait que les objectifs de l'EAO ont été revus vers des perspectives réalistes tendant à servir comme support à l'enseignant au lieu de chercher à le remplacer, un support qui peut être utilisé en classe, sur son poste de travail ou à la maison. Ainsi l'élève dispose d'outils lui permettant d'apprendre à son propre rythme. En classe les produits EAO vont permettre à l'enseignant de consacrer plus de temps individuellement à chaque élève, ceux qui ont plus de difficultés en classe, et aussi aux meilleurs de la classe en leur donnant encore plus de challenge [Virvou 2000].

D'un autre côté, certains élèves se familiarisent mieux et apprennent mieux avec un environnement informatique que dans un environnement classique de classe avec plusieurs autres élèves. L'élève peut réussir ou échouer mais en privé, ce qui encourage l'aspect expérimentation. L'élève peut apprendre de ses erreurs sans le souci d'apparaître comme un ignorant au yeux de ses camarades de classe. Pour certains élèves, l'environnement informatique peut être considéré moins agressif qu'un environnement classique. Certains élèves n'exposent pas facilement leurs erreurs ou incompréhensions à l'enseignant mais face au caractère impersonnel de l'ordinateur ils peuvent s'épanouir.

Dans les secteurs professionnels, l'EAO trouve de nombreuses applications surtout dans les environnements de simulation où l'on dispose d'opportunités de former du personnel sans les coûts considérables et les dangers d'une formation sur les systèmes réels ; un exemple parmi tant d'autre est le Tuteur couplé aux environnements de réalité virtuelle réalisé pour l'apprentissage de conduite des installations nucléaires [Gonzalo 2004]. Une formation de qualité devient donc possible sur des sites éloignés sans déplacer ni les personnes ni les équipements.

Les tendances actuelles se focalisent sur le e-learning considéré comme la nouvelle frontière des sciences éducatives [Carchiolo 2003]. La plupart des systèmes actuels sont basés sur le web [Mircea 2004], cette forme d'éducation à distance présente certaines caractéristiques spécifiques comme le sentiment d'isolement de l'élève et offre des environnements qui encouragent la collaboration entre pairs

(élèves, enseignants, parents) dans un but de prévention d'un fossé connaissance et d'exclusion sociale [Sampson 2002].

4. Systèmes Tuteurs Intelligents

Les tuteurs intelligents sont des systèmes informatiques utilisant des techniques de l'intelligence artificielle dans le domaine de l'enseignement. [Bensebaa 1991] .

Ces systèmes fournissent un enseignement flexible, non linéaire, prenant en compte les caractéristiques de chaque élève individuellement et adaptant les décisions en fonction du contexte avec des modes d'interactions soignés et une représentation profonde des connaissances du domaine inspirée des techniques de l'IA .

Le programme *Scholar*, écrit par *Carbonell* (1970), est le premier tuteur intelligent. Conçu pour l'enseignement de connaissances factuelles sur la géographie de l'Amérique du sud, son originalité réside dans le type de dialogue qu'il peut instaurer avec l'apprenant. Dans ce mode d'interaction, qualifié d'initiative mixte, l'apprenant et le système peuvent, à tour de rôle, prendre l'initiative et poser des questions. Utilisant un réseau sémantique pour représenter la connaissance et des mécanismes de parcours de ce réseau et des règles d'inférences, *Scholar* peut répondre aux questions des apprenants. D'autres systèmes ont suivi, comme : *WHY*, *SOPHIE*, (*SOPHisticated Instructional Environment*), *WEST*, .. Chaque système s'est intéressé à un module spécifique des quatre composants d'un système tuteur intelligent au dépend des autres composants ce qui a donné le plus souvent des maquettes qui n'ont servi que pour les objectifs de recherche en laboratoire et aussi comme outils d'expérimentation en sciences cognitives.

Ainsi on retrouve quatre composants principaux dans un ITS [Mircea 2004] [Crowley 2003] [Jeremic 2004]: le modèle expert, le modèle pédagogique, le modèle élève et le modèle interface. Cette décomposition est conceptuelle, En effet dans la plupart des ITS les composants ne sont pas aussi distincts l'un de l'autre et les frontières difficiles à établir.

La figure 1.2 donne une représentation schématique d'un ITS

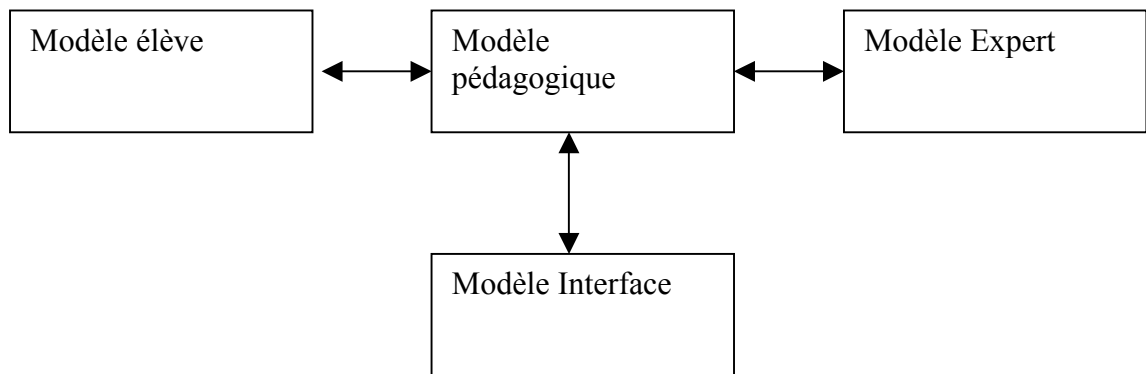


figure 1.2 : Structure de base d'un ITS.

4.1 Le Module Expert

Une des principales caractéristiques d'un tuteur intelligent est d'être compétent dans la matière qu'il enseigne [Bensebaa 1991]. Le système **SCHOLAR** datant du début des années 70 disposait d'une représentation interne des connaissances qu'il devait enseigner et non plus de textes d'exercices avec leurs solutions.

En EIAO, l'approche consiste à doter le système d'une capacité de raisonner sur n'importe quel problème du domaine. Le système doit être capable de résoudre un problème que lui proposera l'élève. Il pourra aussi suivre l'élève dans sa démonstration sans que celle-ci suive obligatoirement un cheminement prévu d'avance [MENDELSON 1991].

Cette composante est appelée modèle du domaine ou modèle de l'expert, sa tâche est de produire des problèmes et d'évaluer l'exactitude des solutions de l'élève [Bensebaa 1991].

Le module expert utilise un modèle du domaine pour « conseiller » d'autres parties du système, il peut indiquer la difficulté relative d'une section ou d'un problème, ainsi, le module pédagogique peut sélectionner la nouvelle action à entreprendre.

Le Module Expert peut prendre des formes diverses selon la représentation utilisée, le domaine qu'il représente et la granularité de l'information visée. Dans les hypertextes adaptatifs les connaissances du domaine sont contenues au niveau pages et fournissent les informations nécessaires sur le contenu des pages ce qui aide dans la sélection des problèmes et le séquençage des cours.

Dans les tuteurs cognitifs, le modèle du domaine consiste dans des règles de production de bas niveau qui décrivent totalement le comportement attendu de l'apprenant.

Les environnements de simulation utilisent des modèles pour décrire comment chaque composant de la simulation doit se comporter (quelles actions sont possibles avec cet objet et que doit être la conséquence de chaque action), et comment ils sont reliés [Brent 2001].

Plusieurs systèmes, dont le célèbre GUIDON (1979) ont été construits à partir de systèmes experts préexistants comme modèle du domaine. Ces premières tentatives ont cependant montré que les explications fournies par un système-expert (en général, la trace des règles qu'il a utilisé) n'étaient pas suffisantes dans le contexte éducatif. Ce constat est à l'origine d'une évolution des modèles de l'expert vers, d'une part, des modes de raisonnement plus proches de ceux qu'utilisent les experts humains et, d'autre part, vers une représentation explicite des stratégies de résolution de problème (auparavant implicitement distribuées parmi les prémisses des règles)[MENDELSON 1991].

Modes de représentation des connaissances

Les modes de représentation utilisés pour le module expert sont très variés et les concepteurs de systèmes EAO ont fait appel à presque toutes les solutions disponibles en IA:

- Les réseaux sémantiques comme dans SCHOLAR (Carbonell, 1970). La matière à enseigner, ici la géographie de l'Amérique du sud, est représentée dans un réseau dont les nœuds sont des objets géographiques et des concepts.
- Les systèmes de production sont utilisés pour construire des représentations modulaires de compétences avec une organisation en catégories abstraites indépendantes des processus qui permet de réaliser des calculs sur cette connaissance. Une des contributions majeures de Clancey (1983) avec le programme GUIDON est d'avoir proposé une méthodologie pour ce type de modèle.

- Les schémas qui sont des structures de données incluant des informations déclaratives et procédurales sont maintenant largement utilisés par les concepteurs de programmes en raison des facilités de programmation apportées par les langages de programmation orientés objets.
- Les bases de données
- ..

Tous ces modes de représentation (sans oublier aussi la logique de premier ordre ou les automates à états finis) sont bien sûr interchangeables et il arrive bien souvent que les concepteurs utilisent plusieurs modes de représentation dans un même système pour bénéficier des avantages de chacun [MENDELSON 1991] .

4.2 Le module pédagogique

Le module pédagogique est une tentative d'automatiser le rôle de l'enseignant humain : C'est le cœur du système.

Ce module modélise un style d'enseignement à appliquer ; il décide de ce qu'il faut présenter à l'élève à la prochaine étape ; il utilise les informations des autres modules (élève, expert, interface) pour prendre les décisions [Jeremic 2004] ; il peut par exemple favoriser les exemples au lieu de présenter des textes statiques, privilégier un style d'apprentissage particulier [Hong 2004]. Ce module interagit avec l'élève plus ou moins directement en sélectionnant les problèmes qu'il doit résoudre, en le guidant vers la solution, en critiquant ses performances, en lui fournissant une aide appropriée lorsque l'élève le lui demande, en montrant des exemples, etc.

Les questions fondamentales pour le module pédagogique sont:

- Où intervenir dans le flot d'informations ?
- Quelles points discuter ?
- Quelles stratégies de présentation utiliser ?
- Quelles quantités d'information fournir ?

Au début, l'EAO classique a privilégié des méthodes pédagogiques minimisant le risque d'erreur de l'apprenant en forçant l'apprenant à rester dans le "droit chemin" des connaissances correctes. Du côté opposé on retrouve les théories Piagétienne

qui soulignent l'importance de l'activité du sujet dans la construction des connaissances, théories à la base de systèmes MICROMONDE comme LOGO où ces concepteurs ont mis l'accent sur la valeur éducative des erreurs que commet l'élève lorsqu'il explore librement un micromonde.

Le défi des concepteurs de tutoriels intelligents est d'adopter une voie intermédiaire qui permet à l'élève d'explorer ses propres solutions tout en étant capable de lui fournir une aide lorsqu'il est "perdu", qu'il tourne en rond ou que ses erreurs ne lui apportent plus d'informations pertinentes [Brent 2001].

Le module pédagogique (tuteur) contient les connaissances pédagogiques, et se charge du choix du prochain concept à mettre en avant. Il dispose de stratégies et de règles et connaissances pédagogiques pour conduire l'interaction avec l'apprenant [Gonzalo 2004]. Partant du contexte dans lequel se trouve l'élève, des informations contenues dans le modèle élève et du domaine, et en fonction des objectifs et des stratégies, le module pédagogue conduit la formation de l'élève et permet au tutoriel de réorganiser ses propres plans en fonction des réactions de l'élève.

Dr. Bensebaa souligne dans [Bensebaa 1991] que les modes d'interactions dépendent le plus souvent de la nature des connaissances à transmettre et du public ciblé, il indique que :

- L'enseignement de concepts abstraits correspond à des environnements où l'élève peut essayer ses idées.
- L'enseignement de la résolution de problèmes se prête bien à des stratégies de type « guidage discret » qui consistent à laisser l'élève agir et n'intervenir qu'à des moments choisis.
- Pour une population cible type « experts », la liberté d'action est le maître mot, le tuteur n'est là qu'en cas d'urgence.

4.3 Le modèle élève

Le modèle élève est l'ensemble des croyances du système sur les connaissances de l'élève [Mayo 2001] [Shareef 2003] [Albi 2001]. Il enregistre l'état courant de l'élève et sa progression dans le temps [Jeremic 2004].

La modélisation de l'élève est le processus qui construit le modèle de l'élève à partir de comportements de l'élève observés par l'interface du système [Webber 2003].

La modélisation de l'élève a été identifiée comme un processus complexe, les aspirations de départ visant la fidélité cognitive du modèle ont été abandonnées. A une certaine période, des critiques ont été émises sur la nécessité de modéliser l'élève, motivées par la balance entre le rôle dans l'apprentissage et les efforts requis. Self viendra préconiser une recherche de modèles valides et utiles d'un point de vue informatique plutôt que fidèles cognitivement.

Le modèle élève fera l'objet du prochain chapitre.

4.4 Module interface

L'interface permet la communication entre l'élève et les autres composants de l'ITS.

L'interface de tout système informatique joue un rôle majeur et est un facteur qui contribue largement au succès du système; si l'utilisateur n'est pas satisfait de l'interface, l'efficacité du système informatique s'en trouve affectée et le système complet risque d'être rejeté. Plus spécifiquement, l'interface du système tuteur peut être le composant clef dans le succès d'un ITS et en plus des considérations classiques dans le domaine des interfaces, la dimension pédagogique est à prendre en compte.

Au début de l'EAO, le module interface à été négligé au profit d'autres composants comme le module expert puis le module pédagogique, puis de plus en plus, l'interface des systèmes s'impose comme élément clef dans la réussite d'un système de tutorat, et actuellement ce composant jouit de beaucoup d'intérêt de la part des chercheurs.

Le module interface a trois rôles essentiels : premièrement, l'interface doit motiver l'élève pour continuer à utiliser le système [Mayo 2001]. Si à un moment donné, il y'a un manque de désir d'utiliser le tuteur de la part de l'élève alors l'ITS ne

sera simplement plus efficace et cela quelle que soit la performance de ses autres modules (expert, élève, pédagogue). Deuxièmement, l'interface joue un rôle important dans l'acceptation de l'ITS par l'élève. Troisièmement, l'interface peut améliorer l'apprentissage de façon très significative en réduisant la charge cognitive de l'élève.

A un niveau métacognitif on retrouve aussi l'impact d'un module interface soigné. Margarida souligne que l'ergonomie peut faciliter l'apprentissage à un niveau métacognitif [Margarida 2004], et cite un exemple où on considère le cas de la composition d'une page sur l'écran. La page est perçue de manière globale avant d'être lue dans le détail. La configuration globale est source d'informations par rapport au nombre d'unités de sens à traiter, à leurs relations de dépendance et de hiérarchie.

La plupart des ITS ont essayé d'utiliser le langage naturel pour interagir avec l'élève mais la tâche s'est avérée laborieuse et tout cela a abouti à des systèmes contraignant l'élève à des interactions restreintes et à un langage codé en attendant de 'prochaines avancées majeures' dans le domaine de l'interaction homme-machine en langage naturel. Actuellement on note une très large tendance vers des environnements d'apprentissage multimédia ceci est partiellement dû au fait que les équipements multimédias sont plus disponibles et à faible coût.

Les interfaces graphiques, en plus de leurs apports esthétiques, augmentent la qualité des interactions entre l'élève et l'environnement d'apprentissage par une représentation plus réaliste et bien organisée des informations [MENDELSON 1991].

La tendance la plus récente est celle du couple réalité virtuelle – Tuteur intelligent où les environnements réalité virtuelle offrent une plus large flexibilité pour l'interaction homme-machine que n'offrent les technologies les plus récentes dans ce domaine [Gonzalo 2004].

5. Les micro-mondes

Les micro-mondes sont les représentants du courant constructiviste contemporain des ITS, par la suite et durant le début des années quatre vingt dix, des systèmes alliant les avantages des ITS c.à.d les capacités à raisonner sur un domaine et ceux des micro-monde principalement l'apprentissage par l'interaction

[Delestre 2000]. Ce sont les ILE « **Interactive Learning Environment** » équivalent en français d'**Environnement Interactifs d'Apprentissage par Ordinateur**.

6. Typologie des logiciels éducatifs

Vries , dans [Vries 2001], propose une typologie des logiciels éducatifs qui comprend huit fonctions pédagogiques qui présentent le rôle joué par l'ordinateur indépendamment de la technologie employée. Ces fonctions sont :

Présenter l'information

Les termes pour désigner ce type de logiciel sont : *support de cours* ou *tutoriel*. Le Tutoriel présente des pages écran avec, du texte, des explications, avec des questions auxquelles l'élève doit répondre avant de pouvoir continuer. L'élève lit et étudie ce qui lui est présenté.

Le point de vue théorique incarné est cognitiviste. Il s'agit d'un apprentissage comme une acquisition de nouvelles connaissances. Le mode de présentation de l'information influence les processus et le résultat de l'apprentissage.

Du point de vue connaissances, il faut choisir les informations pertinentes et en élaborer une présentation ordonnée. Le logiciel est le résultat à la fois d'une structuration des connaissances par un pédagogue expert dans la matière et de ses décisions sur la meilleure façon de les présenter.

Dispenser des exercices

Ce type de logiciels est connu sous le nom de '*DRILL*' en anglais. Il consiste à présenter des exercices à l'élève. L'objectif est que l'élève s'entraîne pour obtenir aisance et vitesse dans une matière.

Le point de vue théorique sous-jacent est behavioriste. Les items (exercices) sont considérés comme des stimuli et les actions de l'élève comme des réponses. La récompense (renforcement) réside dans le fait d'avoir donné la bonne réponse, de pouvoir passer à l'item suivant. L'élève doit acquérir les associations entre items et bonnes réponses.

Véritablement enseigner

L'objectif de ce type de systèmes est de réaliser la tâche habituellement effectuée par l'enseignant. Le rôle de l'ordinateur peut alors être celui d'un

entraîneur, d'un guide, d'un tuteur, d'un expert, d'un enseignant ou même d'un autre élève. Ce type de logiciels issu de l'intelligence artificielle est connu sous le nom de tuteurs intelligents. Pour enseigner tel un enseignant humain, un tuteur informatique doit posséder les connaissances du domaine à enseigner, s'adapter aux connaissances et erreurs de l'élève, adopter une stratégie pédagogique et pouvoir communiquer avec l'élève. Les tâches proposées à l'élève sont diverses ; la plupart permettent à l'élève de dialoguer avec un tuteur, mais il existe également des logiciels qui proposent à l'élève de jouer, guidé par un tuteur. Les tuteurs intelligents se basent sur des théories cognitivistes.

Captiver l'attention et la motivation de l'élève

La motivation des élèves est un objectif très recherché mais n'a pu être atteint significativement que dans les logiciels de type jeux éducatifs. Le rôle de l'ordinateur est celui d'une console de jeu et la tâche proposée à l'élève est de jouer. La volonté de motiver l'élève peut conduire à des réalisations concrètes très différentes. Un jeu peut prendre la forme d'une série de questions - réponses, de recherche d'objets ou de résolution de problèmes.

Les théories sur la motivation pour l'enseignement sont à la base des jeux éducatifs mais aussi on retrouve une recherche de comportements behavioriste puisque l'activité proposée à l'élève s'apparente à des exercices répétés, mais par rapport aux Drill les jeux éducatifs proposent davantage un habillage de questions suscitant la curiosité et l'imagination.

Fournir un espace d'exploration

Ceci est l'objectif des d'hypermédias. Les connaissances sont exposées dans une présentation en accès libre. Le rôle de l'ordinateur est de fournir un espace d'exploration correspondant aux concepts et relations d'un domaine ciblé et la tâche proposée à l'élève est d'explorer cet espace. La différence avec un support de cours est que l'information est organisée en concepts et relations, et que l'ordre de présentation n'est pas défini à l'avance. L'ordre dans lequel les informations vont apparaître sur l'écran sera décidé par l'élève.

Deux aspects théoriques : plutôt cognitivistes de par la présentation des concepts et relations d'une matière sous forme de réseau sémantique à acquérir par l'élève. Aspects constructivistes lorsque l'on accentue le côté actif de l'élève qui doit à

chaque instant décider comment procéder et qui, chemin faisant, construit ses propres connaissances.

Fournir un environnement pour la découverte de lois naturelles

Les logiciels de simulation, imitent une partie de la réalité et prévoient de laisser l'élève découvrir des lois par lui-même. Les simulations incorporent des lois ou des règles de fonctionnement, par exemple relatives aux lois de la nature ou aux procédés de fabrication dans une usine. L'élève apprend en agissant sur une simulation d'une façon similaire à la façon dont il agirait dans une situation réelle. Il peut changer la valeur des variables et en observer les effets sur d'autres variables. Les tâches à exécuter par les élèves sont de manipuler, d'observer, et d'interpréter les résultats.

Les connaissances sont une modélisation de la réalité. Le point de vue théorique est constructiviste. La compréhension est plus que l'absorption simple ; les élèves structurent et organisent l'information. La connaissance n'existe qu'en étant construite par une personne et n'a de signification que par cette construction. Ainsi, les simulations prônent un apprentissage par la découverte et par l'action (learning by doing).

Fournir un environnement pour la découverte de domaines abstraits

Cette fonction prônée par les micro-monde, diffère de la fonction précédente par le fait que l'élève découvre des domaines abstraits. Les objets manipulés dans un micro-monde ont des propriétés communes à la fois avec des objets formels du domaine et avec les objets concrets du monde réel. La tâche proposée à l'élève est de construire et de manipuler ces objets.

Le point de vue théorique sous-jacent est constructiviste : l'élève apprend en construisant et en interprétant les réactions procurées. Les connaissances sont comme matérialisées par l'informatique. Parmi les exemples, nous trouvons LOGO pour la programmation, CABRI pour la géométrie.

Fournir un espace d'échange entre élèves

L'objectif est de permettre aux élèves d'apprendre en communiquant. Ce type de logiciel d'apprentissage collaboratif (CSCL - Computer-supported collaborative learning) est conçu pour être utilisé par plusieurs élèves côte à côte ou à distance, en

synchrone ou en asynchrone. L'ordinateur peut avoir le rôle de mémoire collective, de point de fixation du dialogue et de l'action, de représentation des éléments de la discussion ou encore d'intermédiaire de communication. La tâche proposée aux élèves est de discuter, d'argumenter et/ou d'écrire des textes et de résoudre des problèmes ensemble. Le point de vue est celui de la cognition située. Un des objectifs est de créer un contexte permettant aux élèves d'apprendre à communiquer au sujet d'un domaine, comme une activité authentique d'échanges entre individus du même métier.

Le tableau 1.1 donne les caractéristiques des systèmes EAO :

<i>Type de logiciel</i>	<i>Fonction pédagogique</i>	<i>Théorie</i>	<i>Tâche</i>	<i>Connaissances</i>
Tutoriel	Présenter l'information	Cognitiviste	Lire	Présentation ordonnée
Drill	Dispenser des exercices	Béhavioriste	Faire des exercices	Association
Systeme tuteur intelligent	Enseigner	Cognitiviste	Dialoguer	Représentation
Jeu éducatif	Captiver l'attention et la motivation de l'élève	Béhavioriste	Jouer	
Hypermédia	Fournir un espace d'exploration	Cognitiviste Constructiviste	Explorer	Présentation en libre accès
Simulation	Fournir un environnement pour la découverte de lois naturelles	Constructiviste Cognition située	Manipuler Observer	Modélisation
Micro-monde	Fournir un environnement pour la découverte de domaines abstraits	Constructiviste	Construire	Matérialisation
Apprentissage collaboratif	Fournir un espace d'échange entre élèves	Cognition située	Discuter	Construction de l'élève

Tableau 1.1 : Typologie des systèmes EAO

7. Environnements Interactifs d'Apprentissage Humain vers une ingénierie

Avec la prolifération de l'ordinateur personnel, du multimédia et des réseaux à petite et grande échelle (mondiale), de nouveaux champs de recherches se sont ouverts et le domaine s'est diversifié. On voit émerger un concept intégrateur l'EIAH pour **Environnement Informatique pour l'Apprentissage Humain** qui est utilisé soulignant à la fois le côté informatique et le côté humain de l'entreprise [Vries 2001]. Cela dans une prise de conscience de l'aspect profondément pluridisciplinaire de ce domaine de recherches.

L'accent est posé sur la contribution à l'apprentissage humain, pas sur le type de dispositif informatique, ce qui est une grande évolution depuis les débuts de l'usage de l'ordinateur comme « *machine à apprendre* » [Margarida 2004].

7.1 Définition d'un EIAH

Un EIAH est un environnement informatique conçu dans le but de favoriser l'apprentissage humain, c'est-à-dire la construction des connaissances chez un apprenant.

Ce type d'environnement intègre des agents humains (élèves, enseignants) et artificiels (i.e., informatiques) et leur offre des conditions d'interactions, localement ou à travers les réseaux informatiques, ainsi que des conditions d'accès à des ressources formatives (humaines et/ou médiatisées), ici encore locales ou distribuées [Tchounikine 2002]. La machine peut alors avoir différents rôles (non mutuellement exclusifs) : outil de présentation de l'information (typiquement, un hyper-média), outil de traitement de l'information (typiquement, un système à base de connaissances résolvant les exercices avec l'élève) ou outil de communication entre l'homme et la machine ou entre les hommes à travers les machines.

Une démarche intéressante, s'inspirant du domaine de l'Ingénierie des connaissances 'IC', vise à aller vers une ingénierie des EIAH, cette notion est définie dans [Tchounikine 2002] par :

7.2 Ingénierie des EIAH

Ce terme désigne les travaux visant à définir des concepts, méthodes et techniques reproductibles et /ou réutilisables facilitant la mise en place (conception – réalisation – expérimentation – évaluation – diffusion) d'environnements de formation ou d'apprentissage (dans leur articulation avec les dispositifs informatiques

d'aujourd'hui) en permettant de dépasser le traitement ad hoc des problèmes [Tchounikine 2002]. Pour cela deux recommandations sont faites :

- Ne pas tomber dans le techno-centrisme. En d'autres termes, ne pas avoir une vision fondée sur les possibilités technologiques plus sur les spécificités de l'apprentissage avec des machines, mais aborder la conception d'un EIAH par une réflexion mêlant l'étude des problématiques de l'apprentissage et des possibilités informatiques.
- Intégrer un minimum de travail d'ingénierie et ne pas tomber dans une posture visant à écarter tout travail d'ingénierie sous prétexte que chaque situation est unique ou encore que la machine ne peut pas encore ou ne pourra jamais gérer certaines choses

7.3 Besoins Métacognitifs d'un EIAH

Dans la suite du mémoire on va s'intéresser à une caractéristique importante spécifique à chaque apprenant qui est l'auto-évaluation, qui est une capacité dite métacognitive .

Plus globalement Les EIAH exigent de l'apprenant des capacités métacognitives importantes. L'apprenant doit être autonome, s'autoréguler, se motiver et percevoir de la manière la plus juste possible ses forces et ses faiblesses par rapport à un domaine de connaissances [Margarida 2004]. Les capacités métacognitives d'un individu peuvent être développés par l'apprentissage [Margarida 2004].

On définit la métacognition comme une prise de conscience de l'expérience cognitive et des connaissances acquises. Cette prise de conscience tend à permettre tant la sélection, que la révision ou l'abandon de certaines tâches cognitives, buts ou stratégies lorsque mis en relation entre eux et en relation avec les habiletés de l'apprenant et ses intérêts pour l'entreprise en cours» [Rodet 2003].

L'autonomie, elle aussi se présente à la fois comme une valeur recherchée chez l'apprenant et un objectif vers lequel l'EIAH amène l'apprenant ; Le développement de l'autonomie dans les EIAH est souvent stimulé par le tuteur, qui prend en charge les apprenants en début de cycle et qui laisse, progressivement, un

espace d'autonomie de plus en plus important avec le temps et l'évolution de chacun des apprenants [Margarida 2004].

7.4 Evaluation d'un EIAH

L'évaluation d'un EIAH passe par trois points : l'utilité, l'utilisabilité et l'acceptabilité [Tricot 2003].

Le critère de l'utilité concerne l'adéquation entre l'objectif d'apprentissage défini par l'enseignant (ou le concepteur) et l'atteinte de cet objectif.

L'utilisabilité désigne la possibilité d'utiliser l'EIAH : sa maniabilité, elle se joue au niveau de l'interface et sa cohérence avec l'objectif et le scénario didactique, elle est aussi tributaire de l'adéquation entre les objectifs du concepteur et ceux de l'utilisateur.

Troisièmement on retrouve l'acceptabilité, c'est un critère sensible à plusieurs facteurs très divers comme la culture et les valeurs des utilisateurs, leurs motivations, l'organisation sociale et les pratiques dans lesquelles s'insère l'EIAH... ; l'acceptabilité est définie par la valeur de la représentation mentale (attitudes, opinions...) à propos d'un EIAH, de son utilité et de son utilisabilité [Tricot 2003].

Tricot fait remarquer que de très bons outils, très bien promus par leurs concepteurs, et performants du point de vue didactique, se révèlent inutilisables et des outils faciles à utiliser ne parviennent pas à entrer dans les pratiques scolaires ou de formation professionnelle. Et il conclut qu'un bon EIAH est non seulement utile à l'apprentissage visé, mais aussi utilisable et acceptable.

8. Conclusion

Ce que nous avons présenté est un survol de l'EAO, ses problématiques et ses perspectives futures. Nous retenons surtout que ces systèmes ont pour principal objectif d'adapter l'environnement à l'élève c'est pourquoi nous nous intéressons dans le prochain chapitre aux différentes facettes du modèle de l'élève et plus spécifiquement, par la suite, à l'articulation qui peut être établie entre ce modèle et une des caractéristiques des EIAH, l'auto évaluation. Encourager cette caractéristique, la développer aussi, passe par sa modélisation au sein du modèle élève. La finalité étant d'amener l'élève progressivement d'un environnement de tutorat vers une exploration libre, consciente du but d'apprentissage.

Chapitre II

MODELISATION DE L'ELEVE

1. Introduction

Le modèle élève est un élément central des environnements d'apprentissage. Son élaboration est un processus unanimement identifié comme complexe. Cette complexité a permis justement de positionner la modélisation de l'élève sur des objectifs réalistes visant des modèles valides plutôt que de rechercher une représentation fidèle de l'élève.

Nous allons présenter dans cette partie les aspects touchant à la modélisation de l'élève. Initialisation, rôle et contenu du modèle seront les points qui alimenteront la suite du manuscrit ainsi que les approches de modélisation et les techniques de synthèses qui font évoluer le modèle sur le temps.

2. Le modèle élève

Le modèle élève est l'ensemble des croyances du système sur les connaissances de l'élève [Niu, 2002] [Mayo 2001] [Shareef 2003] [Albi 2001] [Stathacopoulou 1999]. Il enregistre l'état courant de l'élève et sa progression dans le temps [Jeremic 2004].

La modélisation de l'élève est le processus qui construit le modèle de l'élève à partir de comportements de l'élève observés via l'interface du système [Webber 2003].

Dans l'évolution de l'EIAO et plus généralement l'EIAH, la modélisation de l'apprenant apparaît clairement comme ayant une importance capitale, pour essentiellement, adapter le système aux particularités de l'apprenant [Crowley 2003] [Mitrovic 2001] [Self 1994]. La prise de décision dans un environnement d'apprentissage se base sur le contenu du modèle élève et d'une certaine manière, ces décisions vont influencer sur le modèle élève lui-même, cette relation étroite confère au modèle élève un aspect central au sein d'un EIAH.

La modélisation de l'apprenant peut être vue comme un cas particulier de la modélisation de l'utilisateur « user modelling », néanmoins elle en diffère sur plusieurs points essentiellement par les liens qu'elle entretient avec les aspects pédagogiques et didactiques propres aux environnements d'apprentissages [Albi 2001].

L'enseignant humain prend naturellement en compte les aspects cognitifs et psychologiques des élèves et peut plus ou moins exactement déterminer le niveau de l'élève et ses comportements typiques. L'enseignant peut identifier aussi les évolutions comportementales et au niveau connaissances de l'élève, bref, l'enseignant construit un modèle de son élève qu'il modifie en fonction de nouvelles observations, ce modèle se construit et évolue naturellement. L'idéal est qu'un environnement d'apprentissage humain puisse aussi bien modéliser l'élève, mais cela a, dès le début des travaux de recherches, été identifié comme tâche complexe car ce processus chez l'enseignant, aussi naturel qu'il paraît, fait intervenir beaucoup de paramètres sociaux, affectifs, cognitifs...

L'objectif n'est pas d'arriver à un substitut copiant l'humain (comment l'enseignant interagit avec élève) mais aborder des objectifs réalisables spécifiques à l'environnement informatique dans le but d'une personnalisation de l'apprentissage.

Les premiers systèmes d'EAO se sont focalisés sur la modélisation des connaissances expertes (module expert) mais le besoin de disposer de connaissances sur l'élève s'est fait rapidement ressentir. Les objectifs de départ visaient à identifier avec exactitude l'état cognitif de l'élève, malheureusement ces aspirations idéalistes ont vite été revues et il est plus question de validité d'un modèle.

A un certain moment, et devant la complexité de la tâche, la nécessité d'une modélisation de l'élève a fait l'objet de controverses multiples et de nombreux questionnements [Ragnemalm 1999] [Mitrovic 2001] [Webber 2003] [Self 1990] ; malgré tout, John Self a continué ses recherches sur la modélisation de l'élève et a répondu à ces questionnements en donnant des lignes directrices pour la construction de modèles élève et en montrant aussi que la modélisation de l'élève ne s'opposait pas à l'approche constructiviste de l'apprentissage, et qu'un modèle élève, même imprécis, pouvait être utile à un EIAH [Webber 2003] [Mitrovic 2001]. Selon Self le diagnostic de l'apprenant doit viser l'utilité du point de vue informatique avant de chercher la fidélité cognitive [Self 1990].

Pour dépasser la complexité du problème de modélisation de l'élève Self propose quatre slogans [Self 1990]:

** Ne pas deviner – laisser l'élève vous dire ce que vous voulez savoir*

Self préconise, qu'au lieu de chercher à développer de meilleures méthodes pour inférer les pas manquants, une meilleure orientation de la recherche sur le modèle élève serait de concevoir des interactions qui vont permettre de fournir les informations nécessaires à la construction du modèle élève d'une façon la moins intrusive et contraignante possible comme faisant partie intrinsèque des situations de résolution de problèmes.

** Ne pas chercher à diagnostiquer ce qu'on n'utilise pas effectivement et ce qu'on ne peut pas traiter :*

Comme le modèle en lui-même n'accomplit rien, il ne faudrait pas incorporer dans les modèles élèves des aspects qui ne seront utilisés par aucun des autres composants du système.

** Adopter un comportement d'empathie avec les croyances de l'élève, ne pas juste les marquer comme Bugs. Pour sortir de l'approche de remédiation, Self préconise de considérer le problème de la modélisation de l'élève comme l'identification des croyances de l'élève et si possible de représenter ces croyances*

en tant qu'entités à part sans référence à des connaissances cible. Le rôle du modèle élève serait donc d'aider le système à amener l'élève considéré les justifications de ses croyances et leurs implications.

* Adopter un rôle de collaborateur qui peut faillir sans feindre l'omniscience.

3. Le modèle élève et les théories d'apprentissages

Il existe trois grandes théories *d'apprentissages* : behaviorisme, cognitivisme et constructivisme [Mayo 2001] .

Behaviorisme

C'est la plus ancienne théorie, elle traite l'apprenant comme une boîte noire. L'apprenant behavioriste est comparable à une machine qui fournit une réponse quand elle est soumise à un stimulus. La tâche d'enseigner se résume à l'obtention de réponse adéquate aux stimulus particuliers par un processus dit de conditionnement ; présenter répétitivement le stimulus, renforcer les réponses correctes et pénaliser les erreurs, sont les moyens utilisés.

Cognitivisme

Cette théorie explique l'apprentissage comme étant la formation et la reformation des représentations mentales des connaissances du domaine. L'apprenant cognitiviste n'est plus une boîte noire, les modèles cognitivistes décrivent ces représentations internes [Sampson 2002].

Les structures de connaissances sont appelées schémas, les schémas peuvent être combinés, étendus ou bien modifiés pour prendre en compte de nouvelles informations ; la mémoire dans cette théorie se divise en : mémoire sensorielle (4 seconde), mémoire court terme (retient les informations durant 20 secondes, une capacité de 7+-2 items) et mémoire long terme (traitement plus profond). Cette théorie définit aussi un certain nombre d'effets qui peuvent accroître l'efficacité de l'apprentissage [Mayo 2001], comme l'effet "organisationnel" (les informations organisées en catégories sont plus faciles à retenir que celles non structurées), l'effet de "sens" 'meaningfull effect' (les nouvelles informations reliées aux schémas existants sont plus faciles à apprendre).

Constructivisme

Les deux précédentes théories sont dites objectives, dans le sens où des comportements et des structures cognitives prédéterminées sont transférées à l'apprenant.

Le constructivisme est une théorie subjective, où l'apprenant est appelé à construire lui-même ses connaissances en se basant sur l'expérience vécue. Les nouvelles connaissances sont formées et non pas transférées [Sampson 2002].

Le domaine ne doit pas être décomposé et présenté sous des parties à l'apprenant, l'apprentissage doit prendre place dans un environnement réaliste avec toutes les ambiguïtés et les détails ; comme résultat l'apprenant pourra construire les connaissances les mieux adaptées au contexte où il les utilise.

4. Aspects du modèle élève

En général les modèles élèves peuvent se classer selon les caractéristiques suivantes [Ragnemalm 1999] [Danine 2003] :

Implicite Vs Explicite

Concernant l'explication du modèle, un modèle est dit implicite lorsque les paramètres décrivant l'élève et influençant le déroulement de l'interaction sont incorporés par le concepteur dans le système, et explicite lorsque les informations sur l'apprenant sont intégrées et codées dans le système de manière explicite dans le but de gérer l'interaction avec l'élève.

Statique Vs dynamique

Le modèle est dit statique lorsque les connaissances de l'élève sont déterminées d'avance avant de commencer une nouvelle session et ne peuvent être sujettes à un changement, et dynamique lorsque les connaissances de l'élève peuvent être revues en cours de session.

Canonique Vs Individuel

Les modèles élèves se différencient selon leurs degrés de spécificités, le modèle est canonique ou générique si ce modèle représente une catégorie d'élèves (stéréotype par exemple), et individuel si le modèle représente un seul et unique

élève. Le degré de spécificité n'est pas représenté par ces deux extrêmes mais se décline sur une échelle allant de canonique vers individuel.

De Surface Vs Profond

Caractériser la profondeur du modèle revient à différencier deux niveaux, le niveau comportemental et le niveau épistémique. Un modèle élève est dit de surface s'il ne contient que les informations décrivant le comportement de l'élève directement inférable à partir de la réponse de l'élève, et profond lorsqu'il contient des informations encore plus représentatives de l'état cognitif de l'élève comme les causes de l'erreur par exemple.

Court terme Vs long terme

Le court terme correspond à une modélisation qui ne prend en compte que la dernière réponse de l'élève ou les réponses durant la session en cours. Le long terme correspond à une modélisation qui se fait au travers de plusieurs sessions.

Interactif Vs Inférentiel

Cette différenciation fait référence aux moyens d'acquisitions du modèle. Il est dit interactif s'il s'acquiert en posant directement des questions à l'élève ou via des choix effectués par l'élève au niveau de l'interface, et inférentiel quand le modèle est inféré à partir des comportements de l'élève.

5. Contenu du Modèle élève

Le contenu des modèles élèves dans les tuteurs varie largement. Certains modèles sont construits pour la reconnaissance des plans de l'apprenant, d'autres pour évaluer les performances de l'apprenant ou ses qualités dans la résolution de problèmes [Zhou 1999] [Jeremic 2004].

Les informations contenues dans le modèle élève sont généralement divisées en deux catégories : Les informations spécifiques au domaine Et les informations indépendantes du domaine [Shareef 2003]. Les informations spécifiques au domaine représentent l'état actuel et le niveau de connaissance vis-à-vis d'un concept particulier du domaine cible; les informations indépendantes du domaine

peuvent inclure les objectifs, aptitudes cognitives, état motivationnel, préférences, styles d'apprentissage, historiques...

Les contenus du modèle sont globalement dictés par les objectifs que se fixe d'atteindre le tuteur mais les rôles attribués au modèle de l'élève ne sont pris totalement en compte par aucune des approches existantes [Webber 2003].

Self dans [Self 94] définit deux extrêmes : d'un côté le modèle élève peut ne contenir que la dernière entrée fournie par l'élève, il faudrait bien sûr que le tuteur soit capable à partir de cette seule entrée de prendre toutes les décisions pédagogiques nécessaires. L'autre extrême, serait d'avoir un modèle élève qui contient une description détaillée des connaissances de l'élève et des aspects psychologiques. Self conclut qu'aucun des extrêmes n'est faisable.

Ragnemalm dans [Ragnemalm 1999] décrit le contenu du modèle élève en considérant la réponse à la question « pourquoi nous modélisons ? ». Selon lui trois approches orientent les recherches dans le domaine de la modélisation de l'élève. La première est de comprendre les fondements du raisonnement humain et les mécanismes d'apprentissage, on retrouve l'exemple de tels objectifs dans les travaux menés par John Anderson et son équipe sur la théorie d'apprentissage et de cognition humaine ACT (active cognition theory). La deuxième, qui représente l'approche la plus dominante dans ce domaine, vise le guidage dans l'apprentissage et l'individualisation. La troisième considère les objectifs liés à la recherche de mesures de performances et de certifications des connaissances que le tuteur est censé enseigner.

Deux méthodologies peuvent être utilisées pour définir le contenu du modèle élève [Danna 1997]. La première détermine le contenu du modèle en terme de fonctions que le modèle élève doit permettre au tuteur d'assurer (approche fonctionnelle). La seconde consiste à énumérer les informations qui doivent apparaître dans le modèle en s'appuyant éventuellement sur les résultats de la première.

6. Fonctions du modèle élève

Deux classifications majeures concernent les fonctions que doit assurer le modèle élève au sein d'un système d'apprentissage, celle de Self et celle de Vanlehn [http-Bruillard] [Ragnemalm 1999].

Self a dégagé 6 fonctions que le modèle élève doit pouvoir assumer :

Correction de l'erreur

Le modèle de l'élève doit pouvoir permettre la correction de l'élève (modèle de perturbations) .

Fonction élaborative

Le modèle de l'élève doit permettre d'augmenter l'ensemble des connaissances correctes de l'élève (modèle expertise partielle). Généralement cela consiste en des choix les mieux adaptés pour les prochaines connaissances à présenter à l'élève.

Fonction stratégique

Le modèle élève est utilisé pour le contrôle de la stratégie globale d'interactions. Sur la base du modèle élève le tuteur adapte ses stratégies d'enseignement. Le Changement de plan pédagogique peut être nécessaire au cas où l'élève n'arrive pas à suivre le plan actuel ; le tuteur peut décider de changer de plan pédagogique ou aussi pour passer à un nouveau thème avec une stratégie différente.

Fonction de diagnostic

Le modèle élève doit servir à la construction d'un diagnostic plus fiable et plus précis. Cette fonction intervient lorsque plusieurs interprétations sont a priori possibles des comportements de l'élève, le modèle élève va servir à enlever cette ambiguïté.

Fonction prédictive

Le modèle de l'élève peut être utilisé par le tuteur pour prédire le comportement de l'élève face à un problème afin de limiter l'espace de recherche. La prédiction peut porter sur la performance de l'élève ou sur les effets des actions didactiques pour choisir la meilleure et élaborer le nouveau modèle;

Fonction évaluative

Les informations contenues dans le modèle élève doivent être représentatives de l'élève et du tuteur ; elles doivent pouvoir servir à évaluer l'élève et aussi le tuteur lui-même en utilisant un élève simulé et en testant plusieurs stratégies pédagogiques et en évaluant les résultats ce qui donne une mesure d'efficacité du tuteur.

Vanlehn, a pour sa part, identifié quatre fonctions possibles du modèle élève [Niu, 2002], sa classification se rapporte globalement à celle de Self. Pour VanLehn le modèle élève doit permettre : (a) d'augmenter la connaissance de l'élève en passant au thème suivant après la maîtrise du thème en cours d'enseignement ; (b) d'intervenir aux moments opportuns (cas d'erreurs) et offrir des conseils non sollicités ; (c) de générer les problèmes de façon dynamique plutôt que seulement gérer l'enchaînement de problèmes prédéfinis ; (d) d'individualiser les explications suivant le niveau de la connaissance de l'élève.

7. Initialisation du modèle élève

L'initialisation du modèle élève est une fonction très importante du processus de modélisation de l'apprenant [Tsiriga 2003]. Les premiers contacts entre l'élève et l'environnement d'apprentissage sont décisifs, l'objectif évident est de pouvoir le plus rapidement possible déterminer, ou plus raisonnablement, approcher le niveau de l'élève par rapport aux connaissances du domaine visé par le système d'apprentissage.

La phase initiale des premières sessions d'apprentissage est une zone à risques, des messages d'orientations qui ne correspondent pas aux véritables points forts et faiblesses de l'élève peuvent générer un sentiment de frustration de ce dernier [Tsiriga 2002]. S'il perd patience, l'élève peut rapidement émettre un jugement subjectif sur l'environnement d'apprentissage (perte de crédibilité) et carrément s'irriter si ce dernier échoue dans la construction d'hypothèses plausibles sur l'élève.

Il n'est pas raisonnable d'émettre l'hypothèse que tous les apprenants démarrent avec les mêmes connaissances et conceptions erronées concernant le domaine à enseigner. Tsiriga et Virvou distinguent trois approches pour l'initialisation [Tsiriga 2003].:

- Postuler que l'apprenant ne sait rien ou qu'il détient un ensemble de connaissances standard sur le domaine. C'est l'approche la plus facile pour appréhender le problème de l'initialisation du modèle élève, cependant elle donne de mauvaises performances avec des élèves ayant des connaissances différentes de celles du système.
- Les connaissances initiales peuvent être évalués avec des pré-tests. La solution la plus complète serait d'avoir un pré-test pour tous les sujets du domaine à enseigner ; cependant pour un domaine vaste l'apprenant se verra passer de longues périodes dans les pré-tests avant d'aborder le système pour l'apprentissage. Une solution pour cela est d'utiliser les pré-tests adaptatifs, l'idée est de construire dynamiquement les pré-tests en fonction des réponses fournies par chaque apprenant.
- Le système peut utiliser des modèles représentatifs parmi les élèves et grouper les élèves en catégories. Un exemple très répandu est les stéréotypes, technique utilisée dans beaucoup d'environnements récents.

8. Approches de modélisation de l'élève

Les approches majeures dans la modélisation de l'élève sont l'expertise partielle et l'approche par perturbations, plus récemment sont apparues les approches dites inspectables ou ouvertes pour s'affranchir des difficultés liées au diagnostic de l'état cognitif de l'élève.

8.1 Modélisation par Expertise Partielle

La méthode de recouvrement ('expertise partielle', 'Overlay') est l'approche la plus classique dans la modélisation de l'élève, elle a été utilisée pour la première fois par Carbonnel dans le programme SCHOLAR. De par sa simplicité de mise en œuvre cette modélisation a constitué un point de départ pour beaucoup de systèmes voulant disposer rapidement d'un modèle de l'élève simple, notamment ceux qui portent plus d'intérêt sur d'autres modules dans les systèmes d'apprentissage (expert, pédagogue, interface).

Cette méthode consiste à ne représenter dans le système que les connaissances de l'expert sans tenir compte, ni envisager, des variantes possibles. On aura donc un ensemble de connaissances de l'expert et celles de l'élève vont être un sous-ensemble de ces connaissances. L'expertise partielle sous-entend que les différences entre les connaissances de l'élève et celles de l'expert sont dues à un manque dans les connaissances de l'élève.

Les objectifs pédagogiques vont viser à combler les lacunes de l'élève, connaissances manquantes vis à vis de celles encodées dans le système (celles de l'expert). L'apprentissage consiste à faire évoluer les connaissances de l'apprenant pour qu'elles coïncident avec celles de l'expert. Le modèle partiel de l'élève est amélioré à chaque interaction pour se rapprocher de celui de l'expert.

Le principal avantage de ce modèle est qu'il est facilement implantable surtout dans les domaines où la connaissance peut être décomposée en éléments de connaissances et compétences élémentaires avec une structure hiérarchique de pré requis, de thèmes divisés en concepts et pour chaque concept un ensemble de pré requis. Le modèle de l'apprenant va contenir un sous-ensemble des éléments que l'environnement considère comme acquis par l'apprenant et peut aussi associer un attribut quantitatif ou qualitatif à chaque élément pour représenter les degrés de maîtrise. Le modèle élève peut être défini à n'importe quel niveau de granularité [Mayo 2001].

La figure 2.1 illustre l'exemple d'un domaine illustratif avec 6 concepts à enseigner, la maîtrise d'un concept est représentée avec une valeur quantitative allant de 0 à 10.

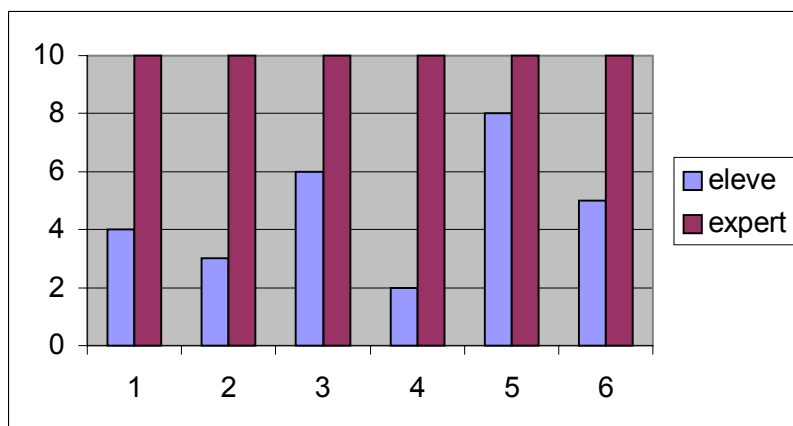


Figure 2.1. Exemple modélisation expertise partielle sur un domaine.

On reproche à ce modèle qu'il ne reconnaît pas la connaissance en dehors de celle de l'expert et l'interprète comme erronée. Dans un domaine où le point de vue de l'apprenant peut différer de celui de l'expert sans être erroné ce modèle est inapplicable. On ne peut représenter ni inférer les misconceptions avec ce modèle [Danna 1997]. Néanmoins, ce modèle reste largement utilisé même s'il est dans beaucoup de cas complété avec d'autres composantes formant la modélisation essentiellement grâce à sa calculabilité par rapport à certaines autres méthodes.

Guidon (tuteur en médecine, Clancey 1982), WEST (Tuteur en arithmétique Burton et Brown 1979) sont des exemples de systèmes utilisant cette modélisation [Webber 2003].

La modélisation overlay a été étendue de plusieurs manières et couplée à beaucoup d'autres approches, plus récemment la théorie de Bayes a été utilisée où le modèle overlay probabiliste est un ensemble de variables probabilistes représentant le degré de maîtrise de l'élève dans un domaine ; l'avantage (et l'objectif) est que le modèle élève est mis à jour sur la base d'une théorie bien établie (Bayes) et non sur des méthodes AD HOC [Mayo 2001].

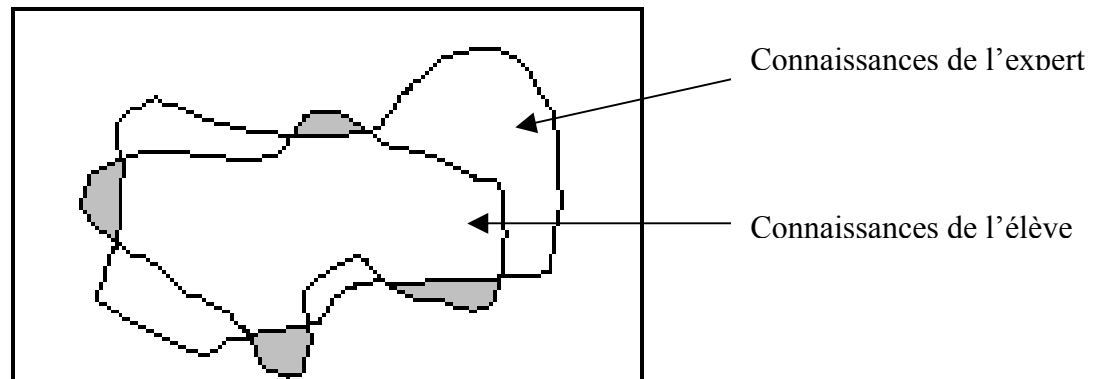
8.2 Le modèle de perturbations

Le modèle overlay ne permet de représenter l'élève qu'en terme de connaissances correctes ne reconnaissant rien au-delà. Mais réellement un élève peut avoir des connaissances autres que celles de l'expert, ces connaissances peuvent aussi être correctes ou peuvent être erronées ; c'est ce dernier type de connaissances « erronées », le terme employé est « mal-rules » ou « misconceptions », dont veut tenir compte la modélisation par perturbation. L'approche par perturbation maintient deux ensembles, le premier identique à celui de l'overlay qui regroupe les connaissances correctes et le deuxième ensemble contient les misconceptions [Shareef 2003].

Le modèle par perturbation diffère du modèle expertise partielle par le fait qu'il ne perçoit pas la connaissance de l'élève comme une simplification de celle de l'expert mais comme une perturbation de celle-ci ;

Cette approche a été adoptée par un nombre important de systèmes d'apprentissage [Webber 2003]. Les erreurs sont perçues comme des perturbations dans la

connaissance. Le système peut représenter les mal-règles qui sous-tendent les erreurs de l'élève [Danna 1997].



Les perturbations dans le modèle élève sont représentées par les parties grisées

Figure 2.2 : Modélisation de l'élève par perturbation

L'avantage de ce modèle réside dans le fait que les erreurs de l'élève sont utilisées pour raisonner sur les conceptions erronées apprises par ce dernier ; et ne sont plus seulement classées en tant que lacunes. Le fait que le modèle soit capable d'identifier ces conceptions erronées constitue un premier pas pour que le système d'apprentissage puisse élaborer une stratégie de remédiation la plus fine possible.

Cependant il est nécessaire de disposer d'une bibliothèque d'erreur, ce qui entraîne deux conséquences majeures : premièrement le coût et les efforts pour construire une telle bibliothèque sont considérables pour, deuxièmement, être conscient qu'aucune bibliothèque, quels que soient les efforts consentis, ne peut être exhaustive compte tenu de la grande diversité des comportements des élèves.

D'un autre côté, il est nécessaire d'associer un ensemble de comportements erronés de l'élève à un ensemble de mal-règles et conceptions erronées (causes des erreurs), chose qui nécessite l'élaboration d'une théorie de l'erreur, non définie à priori, et qui elle aussi nécessite un travail laborieux d'analyse manuelle de réponses d'élèves [Niu 2002].

D'un autre côté la qualité de la modélisation va d'une certaine manière dépendre aussi de la qualité de la bibliothèque d'erreurs.

Le système Buggy mis au point par Brown et Burton en 1978 est le premier système utilisant cette approche c'est un tuteur pour le domaine de la soustraction en colonne [Niu 2002].

Plus récemment, Easymath, un système de préceptorat pour l'algèbre [Virvou 1999] utilise le modèle de perturbations. La bibliothèque de Bugs a été construite suite à une étude empirique impliquant quatre enseignants et 240 élèves [Virvou 2000].

8.3 Modèle de traçage

Par ce modèle le système interagit avec l'apprenant à chaque étape de la résolution, il suit l'élève pas à pas [Crowley 2003]. A chaque étape, la solution (processus de résolution de problème) de l'apprenant est reconstruite et comparée à celle de l'expert (règles correctes et règles incorrectes) ; si l'étape de l'élève est celle de l'expert le système ne fait rien ; si l'étape correspond à une règle incorrecte le système corrige immédiatement l'élève. De cette façon le système détecte immédiatement une déviation dans la solution de l'apprenant en la comparant au model expert et intervient pour ne pas permettre la propagation de l'erreur ; Le système contrôle la solution de l'apprenant. L'acquisition de la connaissance est attestée par la maîtrise des règles correctes.

Cette approche de modélisation a été mise au point par Anderson et son équipe inspiré par la théorie de l'apprentissage nommée ACT (Active Control of Thought) [Danine 2003]. L'équipe d'Anderson a travaillé sur trois domaines d'apprentissage : le langage LISP avec le système Lisp Tutor, la géométrie élémentaire avec le système Geometry Tutor et l'algèbre avec Algebra) et Algebra II [Webber 2003], ces tuteurs représentent la connaissances à communiquer sous forme de règles de productions puisque la connaissance considérée dans ce type de modélisation est procédurale.

La théorie ACT est une théorie qui modélise la résolution de problèmes par les humains avec un ensemble de règles de productions, elle distingue les connaissances déclaratives et la connaissance procédurale et affirme qu'un apprentissage passe par certaines étapes qui décrivent le passage entre l'acquisition des connaissances déclaratives vers l'acquisition de compétences ; ces étapes sont [Webber 2003] :

- Les connaissances sous-jacentes à une compétence sont d'abord déclaratives et sont encodées sous la forme d'exemples illustrant la compétence.
- Ces connaissances sont ensuite compilées en une règle de production.
- Ces règles de production individuelles sont ensuite renforcées par leur application.
- Finalement, une compétence telle que la programmation consiste en des centaines de règles de production indépendantes; la performance consistant en l'application séquentielle de ces règles

Selon Anderson cette approche a comme intérêt essentiel la possibilité d'interagir avec l'apprenant pas à pas au cours de la résolution, de minimiser le temps d'apprentissage en protégeant l'apprenant du potentiel coût des erreurs, de contrôler et vérifier l'acquisition des connaissances (règles individuelles) et d'encourager les apprenants ayant maîtrisé ces règles (renforcement des connaissances correctes).

Néanmoins, Il s'agit ici d'un style tutoriel très directif puisque l'élève reçoit une rétroaction dès qu'une erreur est détectée ou plus généralement dès qu'il entre une information s'éloignant de la solution correcte connue du tuteur.

Le principal reproche fait à ce type de modélisation est leur haut degré d'intervention dans le travail de l'apprenant. Le suivi de la solution est certes positif mais le contrôle ne l'est pas, or intervenir à chaque pas pour limiter l'élève aux seules règles correctes devient un contrôle, chose qui n'est pas souhaitable. Le système cherchant à réduire le champ d'actions de l'élève pour éviter que les erreurs ne se propagent.

D'un point de vue pédagogique, cette approche sous-entend que l'élève ne peut pas explorer des chemins corrects mais sous-optimaux et encore moins des chemins incorrects qui peuvent aussi être bénéfiques à l'élève (il se rend compte par lui-même de ses erreurs, il apprend). Un autre point important est que l'élève peut suivre les indications du système et apprendre par cœur la solution (après plusieurs essais) sans maîtrise réelle de la connaissance.

Comme cette approche s'appuie elle aussi sur une bibliothèque de Bugs, on retrouve l'inconvénient de l'exhaustivité des bibliothèques.

8.4 Modélisation par stéréotypes

L'approche des stéréotypes est une méthode de modélisation de l'élève à part entière, quoi qu'on la trouve souvent associée à la phase d'initialisation du modèle élève.

Les stéréotypes représentent une collection d'attributs communs à un ensemble d'élèves. Ce sont des outils très puissants qui fournissent une quantité importante d'informations en se basant sur un nombre réduit d'observations [Tsiriga 2003]. Ils permettent au système de faire un grand nombre d'inférences plausibles, des inférences par défaut qui doivent être revues avec des observations spécifiques.

Par contre ils ne permettent pas la formation d'un modèle élève qui présente les caractéristiques individuelles.

Les principales caractéristiques d'un stéréotype sont [Tsiriga 2003] :

1. Des conditions de déclenchement du stéréotype (activation d'un stéréotype pour un élève).
2. Un ensemble de conditions de rétraction qui sont responsables de la désactivation d'un stéréotype activé.
3. Un ensemble d'inférences par défaut sur le stéréotype une fois l'élève catégorisé dans ce stéréotype.

Généralement les stéréotypes sont construits manuellement, d'autres méthodes ont aussi été utilisées comme les techniques d'apprentissage machine 'machine learning', les approches d'analyse statistique et celles basées sur des considérations empiriques.

Les stéréotypes sont classés en deux catégories : les stéréotypes fixes et les stéréotypes par défaut [Mayo 2001].

Stéréotypes fixes

C'est l'approche la plus simple pour la modélisation de l'apprenant, où les réponses de l'élève le casent dans un stéréotype prédéfini ;

L'idée sous-entendue dans les stéréotypes fixe est que tous les élèves avec le même stéréotype auront le même comportement (dans un domaine spécifique). L'élève peut passer d'un stéréotype à un autre mais les stéréotypes eux même ne changent pas.

Les stéréotypes fixes sont une représentation à gros grain de l'apprenant et ne peuvent pas être utilisés pour une analyse plus fine ou plus complexe, mais dans certains domaines où il est difficile d'obtenir une décomposition atomique des connaissances cette approche reste la seule plausible [Mayo 2001].

Stéréotypes à valeurs par défaut

Cette approche considère que les valeurs d'un stéréotype initial ne sont que des valeurs par défaut ; L'élève est associé à un stéréotype à l'initialisation du modèle avec des valeurs par défaut et au fil des interactions le stéréotype est individualisé graduellement et les valeurs sont raffinées. Cette approche peut être utilisée avec d'autres approches de modélisation pour fournir les valeurs initiales du modèle.

8.5 Le Modèle ouvert

La complexité liée aux mécanismes de diagnostic et de modélisation de l'élève et dont le résultat reste toujours une représentation hautement incertaine, ont amené vers une nouvelle approche de la modélisation de l'élève appelé modèle ouvert ('open student modelling'). Il s'agit de rendre le modèle de l'élève accessible, dans les autres approches c'était une structure interne cachée à l'élève. L'élève pourra inspecter son modèle, en négocier le contenu et le modifier.

Les aspects touchant à cette approche seront discutés dans le chapitre 3.

9. Le Diagnostic dans le modèle élève

L'acquisition de nouvelles observations sur l'élève est appelée diagnostic ; L'objectif des méthodes de diagnostic est de découvrir les états cognitifs cachés à partir d'observations [Stathacopoulou 1999].

Ragnemalm estime que les données et observations acquises au niveau de l'interface ne sont pas directement comparables à celles représentant le domaine cible au sein du tuteur ; il divise l'étape du diagnostic en trois phases : l'acquisition, la transformation et l'évaluation par rapport aux connaissances du domaine cible (Figure 2.3).

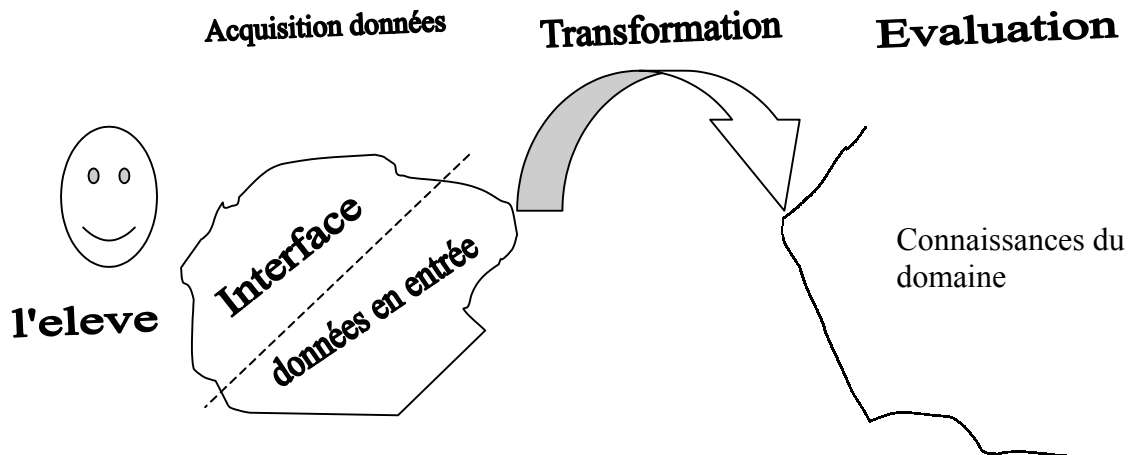


Figure 2.3 : Phases du diagnostic des entrées de l'élève.

L'acquisition de nouvelles informations fait référence au processus de collecte d'informations et d'observables pour le processus de modélisation de l'élève. En pratique elle représente une phase d'interprétations et d'abstractions, où les activités actuelles de l'élève observées au niveau de l'interface sont converties en concepts utilisés pour le raisonnement. La sortie de la phase d'acquisition représente un ou plusieurs concepts du domaine cible. Ainsi trois problèmes se posent, la

fiabilité des entrées, le niveau de détail des données et l'aspect quantitatif.

La fiabilité des entrées se réfère essentiellement à la notion de bruit. Comment être sûr que l'élève n'a pas répondu au hasard ou que l'erreur n'est due qu'à une inattention de sa part ou maladresse. La question du bruit est souvent traitée au niveau du processus de synthèse entre les nouvelles informations concernant l'élève et celles déjà présentes dans le modèle.

Concernant le niveau de détail des données en entrée, Vanlehn distingue trois niveaux de granularités [Danine 2003]: étapes finales, étapes intermédiaires et étapes mentales. Une entrée correspondante à une étape finale reflète la solution du problème posé à l'élève, sous forme de réponse à une question, sans considérations pour les étapes suivies pour fournir cette réponse. Les étapes mentales correspondent aux opérations qu'effectue l'élève mentalement. Les étapes intermédiaires correspondent aux entrées qui reflètent les réponses aux sous problèmes.

L'aspect quantitatif considère la quantité de données disponibles. La granularité du modèle élève et sa conception va définir la quantité de données nécessaires à sa construction et à sa maintenance. Les états finaux sont disponibles mais les deux autres états (mental et intermédiaires) ne sont pas directement observables et nécessitent plus d'efforts pour les atteindre. Self préconise de solliciter plus l'élève à nous fournir plus d'informations au lieu de "deviner" les étapes cachées [Self 1990], tout en soulignant qu'il y'a nombres de façons de réaliser cela. Concevoir l'interface de façon appropriée pourrait selon lui répondre à de tels desseins.

La *transformation* est le processus qui cherche à analyser et identifier les informations pertinentes pour juger du niveau de l'élève. Ce processus effectue la transformation dans les deux sens. Des entrées de l'élève vers une représentation proche de la représentation des connaissances du tuteur, c'est une tâche de représentation des croyances de l'élève pour les comparer à celles du tuteur, ou des connaissances du tuteur vers des représentations les plus proches que possibles des entrées de l'élève.

Enfin, la dernière phase se réfère au processus d'évaluation des connaissances de l'élève ou de ces comportements par rapport à une certaine conception de connaissances correctes ou de comportements souhaités. Cette évaluation se fait au travers de comparaisons avec les connaissances du modèle expert.

Des différentes modélisations de l'élève vont découler des considérations se rapportant à ces comparaisons. Si on considère la connaissance de l'élève comme un sous-ensemble strict de celui de l'expert, on aboutit au modèle d'expertise partielle ('Overlay model'). Si on admet que l'élève puisse avoir des connaissances autres que celle de l'expert on aboutit à une modélisation par perturbations ('perturbation model').

9.1 Taxonomie des méthodes de diagnostic

Les méthodes de diagnostic sont diverses et multiples et varient selon les différents domaines ciblés, une taxonomie donnée dans [Danna 1997] les classent selon différentes considérations :

Considérations relatives aux sources d'informations

Celles ci pouvant être implicites ou explicites. Les approches dites implicites sont totalement inférentielles, le diagnostic se base entièrement sur les observations sans se référer directement à l'élève. Le diagnostic devient interactif et les sources d'informations sont classées dans cette taxonomie comme explicites quand l'élève est considéré lui-même comme source d'information ; le tutoriel (le diagnostiqueur) peut poser directement les questions pour lever une ambiguïté s'il se retrouve dans l'impossibilité de faire autrement.

Considérations relatives aux moments de l'acquisition

Le diagnostic est dit en ligne (on-line) quand il opère au moment même où l'élève utilise le tuteur en intégrant chaque élément observable. Le diagnostic est dit hors ligne (off-line) quand, durant l'utilisation du tutoriel par l'élève, le diagnostiqueur ne fait qu'enregistrer les actions de l'élève ; après, dans une deuxième étape sans contact avec l'élève, le diagnostiqueur analyse les actions enregistrées pour en déduire des informations.

Considérations relatives à la dynamique du diagnostic

Le diagnostic est actif quand le tuteur cherche, au travers d'actions du module pédagogique, à affiner le modèle élève et seulement dans ce but précis d'apports supplémentaires d'informations sur l'élève. Les diagnostiqueurs passifs n'engagent pas d'actions pour chercher plus d'informations sur l'élève, les actions du module pédagogique vont permettre d'apporter des informations supplémentaires sur l'élève, mais cela n'est jamais le seul objectif spécifique.

Considérations relatives à la globalité des données fournies au diagnostiqueur.

Le diagnostic est incrémental quant le tuteur affine son modèle élève au fur et à mesure des interactions. Et global quant le système attend d'avoir toutes les réponses pour commencer son diagnostic.

9.2 Méthodes de diagnostic

Diagnostic basé sur les systèmes expert

Un tel diagnostiqueur consiste à construire un ensemble de règles de productions associant à chaque type de réponse de l'élève le diagnostic qui lui correspond. Ça reste une méthode simple, mais un catalogue des règles de diagnostic doit être élaboré en plus du lien étroit avec le domaine.

Diagnostic par la méthode « générer et tester »

Dans le cas général cette technique consiste à générer un ensemble de candidats pour ensuite les tester un par un afin de déterminer celui ou ceux qui conviennent. Concernant le diagnostic de l'élève cela se traduit par la génération d'un ensemble des diagnostics candidats à partir d'heuristiques de diagnostic, puis calcul des modèles de l'élève correspondant à ces diagnostics, détermination dans un troisième temps des réponses que chaque modèle de l'élève prédit, puis finalement comparaison des prédictions avec la réponse réelle de l'élève.

Diagnostic par arbre de décision

Méthode utilisée pour identifier le processus de résolution de problème (PRP) utilisé par l'élève. Elle consiste à construire l'espace des processus de résolutions de problèmes sous forme d'arbre de tous les cheminements possibles et dont les feuilles représentent toutes les solutions imaginables. Un état final correspondant à

une réponse de l'élève va permettre de définir un PRP et donc de retrouver les états mentaux intermédiaires possibles.

Diagnostic par recherche de chemin

Cette méthode consiste à identifier le chemin ou la séquence d'étapes mentales qui justifie le mieux les étapes finales (les réponses). On cherche donc à identifier les étapes manquantes dans le parcours de l'élève. L'étape finale est transformée en suite d'étapes mentales qui va permettre à la méthode de traçage de modèle de finaliser le diagnostic.

Diagnostic par reconnaissance de plans

Ce type de diagnostic cherche à identifier le plan qui sous-tend les actions effectuées par l'élèves. Ce plan va permettre d'identifier les étapes mentales manquantes (non observées). L'application de cette méthode requiert que la connaissance soit de type procédural et organisé hiérarchiquement ainsi que la disponibilité d'états intermédiaires.

Traçage d'évènements 'issue tracing'

Cette méthode consiste à mémoriser un ensemble d'évènements qui ponctuent le comportement de l'élève. Le modèle de l'élève est crédité ou débité en fonction de l'observation de ces évènements dans le comportement de l'élève.

10. Intégration des nouvelles observations au modèle élève

Les nouvelles informations obtenues sur l'élève doivent être intégrées au modèle existant, cette étape est la phase de synthèse et de mise à jour pour l'obtention d'un nouveau modèle de l'élève censé représenter le nouvel état cognitif de l'élève.

Cette phase représente évidemment un point clef dans la qualité globale du modèle élève, mais elle reste difficile à mettre en œuvre avec une mesure d'évaluation justifiable. La plupart des approches concernant cet aspect reflètent plus les intuitions de leurs concepteurs que des justifications sur des bases théoriques ou résultats validés.

Deux aspects touchent la synthèse des informations : l'évolution dans le temps de la connaissance de l'élève et le bruit.

L'évolution des connaissances chez l'apprenant n'est pas monotonique [paiva 1994] , l'aspect hautement dynamique de ces changements rend la tâche de synthèse plus difficile. Souvent les systèmes tutoriaux donnent plus de considérations aux informations les plus récentes sur l'état cognitif de l'élève par rapport aux observations antérieures. Généralement cela va dépendre du contexte dans lequel la synthèse va intervenir, on peut considérer que si le diagnostiqueur fournit un nombre réduit d'informations à la fois avec peu de bruit alors une évolution rapide dans le modèle peut être envisagée, et dans le cas où le diagnostiqueur fournit un nombre important de nouvelles informations avec un risque de bruit alors une évolution plus lente sera la mieux adaptée.

Le bruit constitue aussi un paramètre important dans la façon de faire évoluer le modèle, il est difficile dans le cas général de distinguer entre des informations fiables et celles bruitées. Pour cela peu de considérations sont données aux nouvelles informations isolées surtout si elles sont en contradiction de l'état antérieur des connaissances de l'élève.

Les méthodes les plus utilisées pour la synthèse dans le modèle élève sont des méthodes numériques (statistiques) qui représentent le degré de maîtrise de l'élève d'une connaissance par une valeur numérique qui représente une évaluation de l'élève sur une échelle de valeurs continues dans un intervalle spécifique choisi.

Deux fonctions sont généralement associées à ce type de méthodes, une de déévaluation du niveau de l'élève et une de renforcement, des coefficients sont aussi utilisés pour régler l'évolution du modèle ou pour prendre en compte le bruit. Les deux fonctions qui manipulent les évaluations du niveau peuvent aller d'une simple incrémentation de compteurs à une hybridation complexe de techniques et de fonctions de calculs, mais toutes les méthodes n'ont pas de fondements théoriques et leur mécanisme n'est pas explicable.

11. Conclusion

Le modèle élève suscite beaucoup d'intérêts dans le domaine de l'EAO, certainement parce qu'on pressent l'effet qu'il a sur l'atteinte des objectifs du système tutoriel en général. Le modèle élève reste malgré tout hautement hypothétique surtout avec des approches utilisant un diagnostic automatique. Cette constatation a amené vers une nouvelle voie qui est l'ouverture du modèle à l'élève. Nous essaierons de faire la lumière sur cette approche pour dépasser la complexité de la tâche de modélisation, d'amoindrir l'aspect incertain et par la suite en tant qu'objet d'apprentissage et de développement de capacités métacognitives.

Chapitre III

LE MODELE ELEVE OUVERT

1. Introduction

L'approche traditionnelle dans la modélisation de l'élève conserve le modèle caché. Ainsi, la modélisation de l'apprenant s'est avérée être un problème complexe et la plupart des techniques utilisées restent à un niveau souvent trop hypothétique. Pour faire face à cette complexité plusieurs systèmes récents adoptent une stratégie dite ouverte, où l'apprenant est impliqué dans l'élaboration de son modèle.

Rueda voit dans la modélisation ouverte de l'apprenant une tentative pour impliquer l'élève dans le processus de diagnostique [Rueda 2004]. On retrouve alors une nouvelle définition à la notion de diagnostique, plus large : le diagnostique fait intervenir deux agents (au moins) qui partagent la responsabilité dans la construction d'une explication des derniers comportements (modèle apprenant) [Dimitrova 2000b]. Le diagnostique devient une activité de collaboration qui dépend de l'implication du diagnostiqué et de la capacité du diagnostiqueur à encourager cette implication [Dimitrova 2002].

Ainsi, le modèle n'est plus simplement une source de connaissances sur l'élève pour le système, mais devient en lui-même une ressource importante pour l'élève dans l'apprentissage [Rueda 2004].

Les architectures récentes qui impliquent l'élève dans le diagnostique mettent en avant l'importance de l'apport de l'élève dans ce processus [Rueda 2004] [Dimitrova 2003c] [Brna 2002] [McCalla 2003] [Dimitrova 2003b]. Ces approches varient de la simple visualisation du modèle à une implication active de l'élève dans le processus de modélisation par la négociation et/ou la construction collaborative du modèle. Les capacités de l'élève à faire un diagnostique vont jouer un rôle déterminant dans ce type d'approche.

En fait la raison première de l'ouverture, citée dans tous les travaux relatifs à ce sujet, est d'encourager la réflexion comme processus d'apprentissage. L'élève a une plus ample compréhension du domaine, de ses croyances actuelles, et de ses performances avec le système [McCalla 2003]. Ainsi l'élève est amené à chercher dans les fondements de ses connaissances, à en prendre conscience et à les reconsidérer (validation). A niveau égal, on peut placer le souci de mieux traquer la dynamique du comportement de l'élève [Dimitrova 2000b], pour un modèle plus valide. Dimitrova voit là une opportunité de promouvoir la meta-cognition pour aider

les élèves à se comprendre eux même, de savoir quels sont leurs problèmes et leurs besoins [Dimitrova 2002].

Dans le même ordre d'idées, survient celle d'ouvrir le modèle à d'autres : pairs, enseignants, parents. Par cela l'élève peut comparer son modèle et sa progression à ceux des autres, à celui d'un élève moyen. L'élève voit les caractéristiques d'un autre élève qui est une aide potentielle '*helper*' chose qui lui facilite le choix du plus approprié. En aidant un autre, un pair, en consultant le modèle de cet autre peut mieux aider et adapter ses interventions [Zapata 2003]. La modélisation de l'élève devient une activité sociale.

Actuellement les recherches tentent surtout de mesurer le degré d'implication de l'élève, voir si l'élève s'intéresse à son modèle et fait l'effort d'aller dans l'espace interaction réservé à l'ouverture pour scruter ou altérer et/ou discuter son modèle.

Certains auteurs estiment que l'ouverture du modèle doit rester un choix, une option disponible pour l'élève qui désire s'impliquer, néanmoins plusieurs systèmes organisent leurs architectures autour de cette ouverture, le processus d'apprentissage passe par l'inspection et la manipulation du modèle.

D'un autre coté, cette approche amène à considérer d'autres points très importants, la motivation de l'apprenant par exemple pour participer activement au diagnostique, ce qui pose évidemment la question de l'interaction système/apprenant , de l'espace intermédiaire où l'apprenant se trouve face au domaine et à son modèle, et où le système externalise le modèle (le présente à l'apprenant) et l'expertise dont il dispose. C'est justement le point sur les différentes manières de présenter le modèle qui semble retenir l'intérêt des recherches. L'apprenant doit disposer d'une perception complète de son état cognitif (éventuellement sous différentes perspectives) et disposer d'outils convenables pour visionner et manipuler le modèle, le système doit aussi assister l'apprenant dans cette implication (feedback et aide) [Dimitrova 2000b].

D'autres questions surviennent avec l'ouverture du modèle. En donnant à l'élève un pouvoir dans le diagnostique, et sur son modèle, les systèmes donnent plus de responsabilité à l'élève et lui permettent plus de contrôle sur son apprentissage [Grigoriadou 2003]. Se posent aussi les problèmes de confidentialité, de sécurité, d'accessibilité et de contrôle [Zapata 2003] [McCalla 2003].

Plusieurs questions relatives à l'approche de l'ouverture demeurent ouvertes, celle de l'évaluation de l'apport de l'ouverture est une des plus remarquable. En effet, déjà

que l'évaluation de l'apport des environnements d'apprentissage reste difficile à évaluer, alors évaluer l'apport de l'approche d'ouverture n'a été abordé que par des questionnaires à la fin des interactions et quelques méthodes statistiques portant sur des populations restreintes et un temps de test choisi par les concepteurs, et la plus part des systèmes relatifs à l'approche d'ouverture ne sont pas des environnements complets mais plutôt des squelettes utilisées pour vérifier telles ou telles caractéristiques. Les résultats sont certes validés par leurs auteurs mais marqués comme réfutables. Dimitrova conclue, concernant ce point, que les cas de systèmes réussis ou non doivent aider dans des recherches de méthodes applicables dans l'élaboration de principes de conception de ce type d'approche ainsi que des critères d'évaluation claires [Dimitrova 2000b].

Dans la suite du chapitre on va présenter les avantages escomptés de cette approche et quelques systèmes de modélisation ouverte de l'apprenant puis revenir sur les façons dont ces modèles ont été externalisés.

Plusieurs systèmes seront présentés, certains plus en détails que d'autres, et certains seront cités juste pour l'aspect graphique présenté à l'élève plutôt que la méthode suivie dans la modélisation.

2. Avantages de la modélisation ouverte de l'élève.

Globalement le fait de voir des représentations de leurs compréhensions peut rendre les élèves plus conscients des développements de leurs connaissances, de leurs difficultés et de leurs processus d'apprentissage ce qui devrait améliorer l'apprentissage [Bull 2004]. Dans le détail on pourra citer :

- **Améliorer** l'articulation entre les concepts et les relations dans le domaine. Et plus généralement, avoir une vue au-dessus du domaine comme une supervision des concepts et relations entre eux ; prendre conscience du domaine, le maîtriser, le cerner. En formalisant ses idées, dans une activité de dialogue sur le modèle, les élèves organisent leurs idées et explicitent leurs connaissances auparavant implicites. Permettre à l'élève de savoir ou

il en est ; soit à la fin d'une session, il va voir s'il a progressé ou pas, soit, plus globalement, l'avancement de son apprentissage dans le domaine visé ; cela peut être une source de motivation pour l'élève, et aussi lui fournir une orientation supplémentaire pour la suite de son apprentissage. Le système bien sûr adoptera une attitude positive et optimiste en évitant les commentaires du genre 'niveau concept x → idiot', plus vers l'encouragement et le conseil.

- **Améliorer** le processus de diagnostique du système, ce processus étant l'aspect le plus incertain de la modélisation de l'élève, impliquer l'élève devient partie intégrante du processus de modélisation, le diagnostique devient interactif, la *responsabilité* devient en quelque sorte *partagée*, même si le système se plante dans son diagnostique, l'élève peut ajuster. Le problème de crédibilité du système s'en retrouve largement amoindri, sinon résolu.
- **Pour les enseignants**, l'approche de l'ouverture du modèle élève, d'une part, fournit aux enseignants des outils pour évaluer les élèves, leurs permettant d'avoir un aperçu sur leurs connaissances [Zapata 2002] [Mazza 2002], d'autre part, peut représenter une aide à la réflexion sur leurs méthodes d'enseignements [Cimolino 2003]. Dans le contexte un peu spécial d'une plate-forme d'apprentissage à distance où le taux d'abandon est plus important que dans un contexte normal et où l'enseignant n'est pas présent physiquement, l'enseignant doit être doté de moyens efficaces pour diagnostiquer qu'un problème va survenir ou a eu lieu, et cela dans le but d'y remédier le plus rapidement possible. Il doit aussi avoir les moyens de comprendre ce qui se passe dans sa classe (virtuelle) avec un modèle de la classe [Mazza 2004]. Notons aussi l'exploration de l'idée d'une modélisation ouverte de l'élève, où l'utilisateur visé en priorité par l'ouverture du modèle est l'enseignant [Mazza 2002] (contrairement aux autres approches où la cible première est l'élève). Un must pour l'enseignant est de disposer d'informations sur les aspects sociaux concernant les élèves [Zapata 2002].
- **La réflexion**, amener l'élève à réfléchir sur ses connaissances est unanimement cité comme objectif principal et conséquence recherchée de

l'ouverture du modèle élève. Zapata J.D soutien que le fait de permettre à l'élève d'inspecter son modèle permet de promouvoir la réflexion [Zapata 2002]. Grâce à une étude conduite avec ConceptLab (un système collaboratif de navigation et de construction de connaissances en utilisant les cartes conceptuelles 'conceptual map : CM' pour la modélisation ouverte de l'élève) [Zapata 2002], il constate avec les enseignants engagés dans l'expérience que les élèves sont plus enthousiastes, posent des questions plus pertinentes que dans un contexte normal, et que les enseignants disposent d'un outil pour discuter avec les élèves et les évaluer. L'activité de construction de CM est elle-même identifiée comme activité demandant un haut degré de réflexion [Cimolino 2003] [Zapata 2002].

Bull.S considère l'idée de l'apprentissage par la réflexion, considérant l'ouverture du modèle (inspection et changements) comme un contexte de réflexion [Bull 2003]. Bull traite d'un cas particulier (C-POLMILE) où l'environnement d'apprentissage est réparti en deux versions, l'une sur pc de bureau et l'autre sur pc mobile (laptop), C-POLMILE est un environnement d'apprentissage intelligent avec un modèle élève ouvert pour la programmation en langage C .

L'interaction occasionnée par l'ouverture du modèle en négociation amène les élèves à réfléchir sur le domaine et dans les fondements de leurs connaissances. Le diagnostique par le dialogue est ici l'initiateur de l'activité de réflexion [Grigoriadou

2003]. Même constat établi par Dimitrova dans [Dimitrova 2000b], qui considère aussi que le diagnostique interactif, crée une situation qui demande une activité de réflexion continue ; quand l'apprenant est engagé dans une discussion sur son modèle, il réfléchit sur ses connaissances du domaine et ses expériences en remémorant et reconsidérant ses idées [Dimitrova 2000b]. Quand l'élève discute son état cognitif avec un tuteur, il est encouragé à chercher les fondements de ses croyances et d'examiner leurs validités.

McCalla précise que le simple fait d'inspecter son modèle ne suffit pas en lui-même à encourager la réflexion, ce processus nécessite aussi l'implication de l'élève dans la maintenance du modèle [McCalla 2003]. McCalla se base aussi sur le principe de la réflexion comme processus d'apprentissage .

3. Exemple de systèmes adoptant l'ouverture du modèle :

La section suivante revient sur quelques systèmes adoptant une approche d'ouverture du modèle :

3.1 TAGUS:

TAGUS [Dimitrova 2000b] est un environnement indépendant pour la modélisation de l'apprenant. TAGUS est un système qui agit comme un serveur pour d'autres applications ou agents externes en leur offrant des outils pour acquérir, sauvegarder et changer le modèle élève [Paiva et al. 1995].

Le changement dans le modèle élève est déclenché par l'arrivée de nouvelles informations, le système utilise des techniques de révision des croyances et des techniques de changement pour l'expansion, la révision et la contraction du modèle [Dimitrova 2000b].

TAGUS peut être vu comme un agent qui interagit avec d'autres agents en leur fournissant une panoplie de services pour la manipulation de modèles élèves [Paiva et al. 1995]. L'environnement d'apprentissage et l'élève sont considérés comme agents externes, il n'y a pas d'interaction directe entre l'élève et le système d'apprentissage, elle réside dans le fait qu'ils (system , apprenant) manipulent leurs vues du MA. Les conflits non plus ne surviennent pas explicitement , ils sont gérés par TAGUS qui utilise des fonctions de confiance pour décider des assertions les plus fiables.

TAGUS utilise un mécanisme de Viewers pour externaliser les modèles élève stockés. Les viewers filtrent les informations à présenter à l'agent demandeur en ne lui offrant que celles qui sont pertinentes pour lui ; ces viewers s'occupent aussi de la forme (langage) de l'externalisation. Les agents externes (élève , environnement d'apprentissage) disposent de ces viewers pour visualiser le modèle élève et aussi sa manipulation en disposant de *services* pour agir sur le modèle. Les *services* les plus remarquables sont :

- *Add* : nouvelle information introduite dans le modèle élève.
- *Revise* : le MA est révisé et les contradictions résolues.
- *Tell* : pour notifier à TAGUS une nouvelle observation ou situation et c'est à lui de décider quoi en faire.
- *Contract* : le service associé au retrait d'information du modèle.

L'élève dispose d'un *viewer* qui va lui présenter son modèle sous forme de clauses PROLOG. L'élève en tant qu'agent externe peut manipuler son modèle en sélectionnant des *services* et en entrant des clauses PROLOG. Cette caractéristique d'interaction avec l'élève représente la principale limitation du système, il est en effet difficile de supposer des connaissances appropriées de PROLOG à tous les apprenants pour influencer sur leurs modèles ; aussi la compréhension d'un modèle sous forme de clauses n'est ni intuitive ni aisée.

3.2 UM 'User Modeling' :

UM [Kay 1995] [Dimitrova 2000b] est un toolkit pour la modélisation de l'utilisateur (User Modeling), UM a été utilisé pour la modélisation de l'apprenant dans les travaux de j. Kay dans le système qui enseigne l'utilisation de SAM , un éditeur de texte sous UNIX, le but principal de ses investigations a été de tester l'utilisabilité de l'interface, de vérifier si les élèves examinaient leurs modèles et si les modèles présentés était compréhensibles.

UM s'inspire d'une théorie sur la modélisation des interactions homme machine, le modèle en question définit les croyances privées de l'utilisateur et de la machine par $user_{private}$ et $machine_{private}$ ce sont l'ensemble des connaissances internes à chaque partie, le modèle identifie aussi les croyances échangées entre l'utilisateur et la machine par $machine_{shared}$ et $user_{shared}$. Le but des systèmes de tutorat est la transition $machine_{shared} \rightarrow user_{private}$ [Kay 1995].

UM offre des composants de base simples dont la combinaison permet de construire les modèles élèves, ces composants peuvent contenir les préférences de l'élève, ses connaissances (sous-ensemble des connaissances du système, un overlay), ses croyances (introduites par l'élève mais non connues de l'expertise, donc considérées comme fausses mais maintenues comme composants à part) et d'autres attributs [Kay 1995].

Pour inspecter son modèle , l'apprenant dispose d'un visionneur (*viewer*) qui utilise une présentation graphique en structure d'arbre pour externaliser le modèle (Figure 3.1) ; l'apparence d'un composant dans l'arbre donne l'indication sur le niveau de connaissance de l'apprenant concernant ce composant ; des couleurs donnent l'indication à l'apprenant si oui ou non il connaît cet élément ; la forme du composant indique son type ; quand l'apprenant clique sur un composant il ouvre un menu lui

donnant la possibilité de demander des explications sur ce composant, demander une justification sur la valeur assignée, ou suggérer une nouvelle valeur (vrai/faux/peut être).

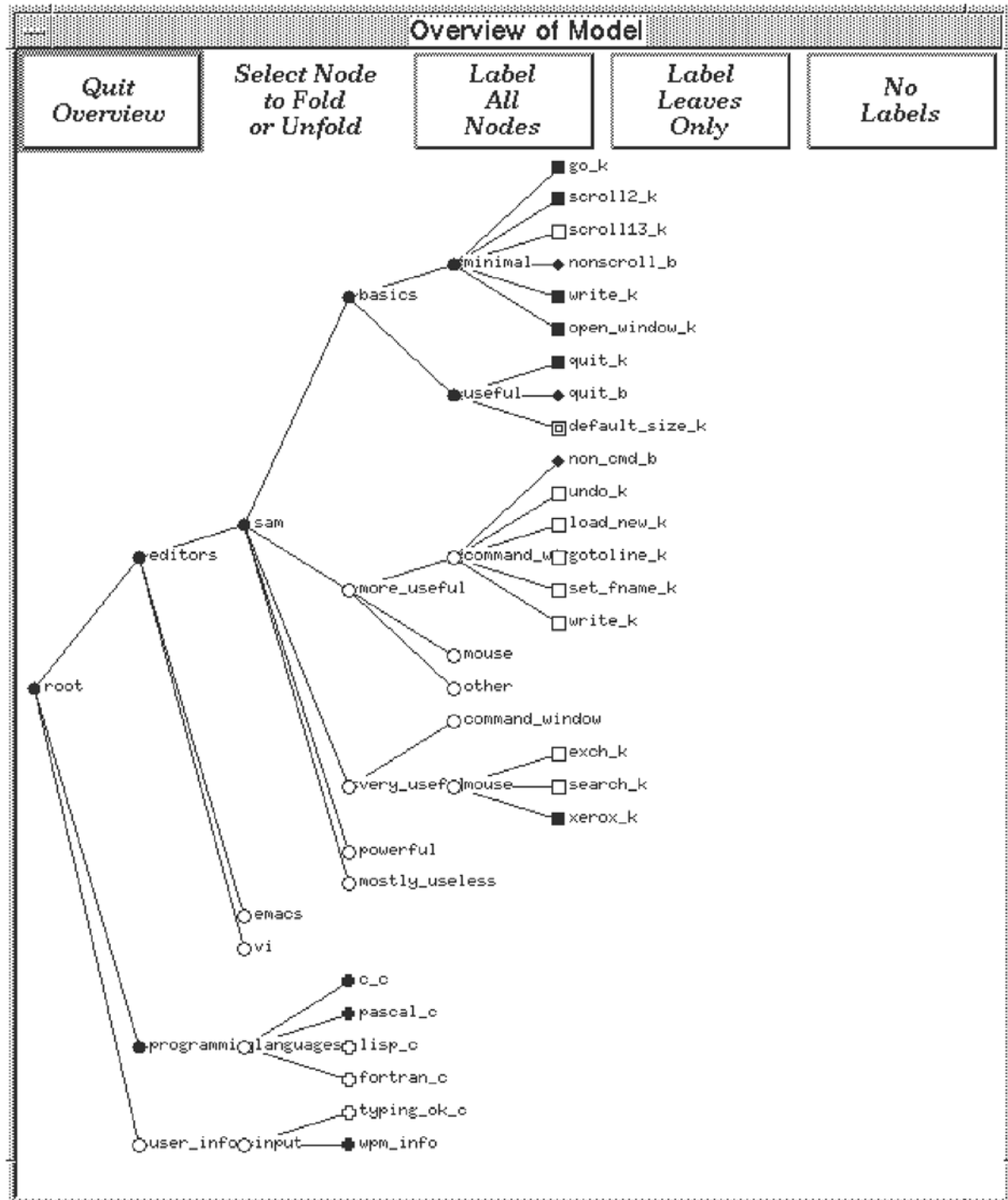


Figure 3.1 Externalisation du modèle élève dans UM pour le cas de SAM text editor.

L'étude de Kay.J indique que 30% des élèves ont montré un réel intérêt à leur modèles, seulement 17% ont utilisé le viewer d'une manière significative et la majeure partie des élèves n'ont fait que visionner superficiellement leurs modèles. Kay fait remarquer que l'utilisation du viewer n'a pas été imposée et que les élèves n'avaient pas comme priorité l'apprentissage de SAM et que certains élèves ont montré de la bonne volonté pour utiliser le viewer parce qu'ils ont apprécié le fait qu'on s'intéresse à leurs apprentissage. Tout comme TAGUS, UM suppose une implication consciencieuse de l'élève dans la tâche, le système ne dispose pas de mécanismes pour encourager l'implication de l'élève dans l'élaboration de son modèle.

3.3 STYLE-OLM:

STYLE-OLM [Dimitrova 2000b] [Dimitrova 2003c] est un système illustrant la collaboration entre l'environnement d'apprentissage et l'apprenant pour construire le modèle élève. C'est un composant pour la modélisation ouverte de l'élève faisant partie de STYLE un environnement d'apprentissage de la terminologie scientifique.

Le modèle élève dans STYLE-OLM est basé sur l'expertise partielle étendue, il contient les croyances de l'élève qui peuvent être correctes, erronées ou incomplètes [dimitrova 2003b]. Le modèle inclut aussi quelques explications possibles des causes sous jacentes aux croyances erronées.

A chaque étape on a un modèle construit conjointement et mutuellement accepté, qui retient les accords entre le système et élève. Les conflits sont accumulés pour être négociés dans les prochaines sessions de discussions.

STYLE-OLM utilise un formalisme basé sur les graphes conceptuels pour représenter les croyances de l'élève sur les concepts du domaine et leurs relations [Dimitrova 2000c]. Dans cet environnement les élèves peuvent inspecter et discuter leurs connaissances sur les termes du domaine [Brna 2002]. STYLE-OLM utilise un mécanisme simple de *templates* pour générer des expressions textuelles (pour la discussion) à partir des graphes conceptuels [Brna 2002].

Dans STYLE-OLM on considère que l'implication de l'élève dans le diagnostique, et plus généralement dans l'élaboration d'un modèle de ses connaissances conjointement avec l'environnement d'apprentissage, passe par un dialogue continu sur le contenu du modèle élève. Ce type de dialogue fortement interactif est maintenu dans STYLE-OLM avec un médium de communication, un cadriciel

(framework) pour la gestion des dialogues [Dimitrova 2000b] [Dimitrova 2002], et un formalisme sur lequel se base le cadrage (opérateur modal *belief*) [Dimitrova 2000c]. L'élève peut prendre l'initiative dans le dialogue en changeant le sujet de la conversation ou en initiant un nouveau jeu de dialogue [Dimitrova 2003a].

L'interaction repose sur une implication active de l'apprenant dans les discussions à travers des jeux de dialogues où le système et l'apprenant peuvent poser des questions, défier ou éviter la proposition de l'autre, justifier ses propres affirmations, et orienter la discussion.

L'approche de STYLE-OLM est une adaptation des jeux de dialogues argumentatif pour simuler des dialogues de diagnostic [Dimitrova 2003b] se caractérisant par des objectifs particuliers : extraction du modèle élève, renforcer l'implication active de l'élève dans l'élaboration du modèle, avoir différents points de vues sur le modèle, et une initiative mixte permettant à chaque partie la liberté d'initier le dialogue, de l'arrêter ou d'en changer le sujet.

STYLE-OLM fournit à l'élève un médium de communication multimodal, qui a pour rôle l'externalisation du modèle [Brna 2002] ; combinant textes, graphiques (un rendu graphique de graphes conceptuels CG) et d'autres composants d'interface (menus , boutons).

Les résultats de l'étude ont montré que la majorité des élèves considéraient l'interaction avec STYLE-OLM comme une discussion sur leurs connaissances du domaine. Les participants n'ont pas pris conscience qu'il y avait deux vues du modèle élève et ils avaient le sentiment de pouvoir influencer le diagnostic du système [Dimitrova 2003c]. L'approche a montré son apport positif pour le diagnostic cognitif suite aux interactions [Dimitrova 2002].

STYLE-OLM est destiné à un public adulte, et suppose donc des capacités métacognitives suffisantes et une implication active de l'apprenant.

3.4 Systèmes Pairs 'Peer Systems'

Une toute autre approche adoptée par les environnements PairSM, PeerISM, PhelpS, et I-Help, consiste à considérer la construction des modèles élèves comme une activité collaborative pour tirer profit de la robustesse des interactions humain-humain [Bull 1999]. Dans ce cas, contrairement aux approches classiques où l'ordinateur est le diagnostiqueur et l'élève le diagnostiqué, l'approche du

diagnostique par des pairs 'DP' (*Peer diagnosis*) implique que les élèves construisent leurs modèles, et les modèles de leurs pairs, par eux même. On se retrouve avec deux parties humaines dans le processus de diagnostique.

L'idée a émergé suite aux recherches concernant les compagnons d'apprentissage '*learning companion*' et l'élève artificiel '*artificial learner*' tous deux assimilés à des pairs artificiels '*AP : Artificial Peer*' il à été question ici d'une sorte de compagnon humain '*Human Peer : HP*'.

Les modèles élèves sont inspectables par les autres élèves, les enseignants et quelque fois les parents. Dans les environnements adoptant cette approche on retrouve les même questionnements sur les outils d'inspection des modèles, de leurs présentation, compréhension et manipulation. S'est posée aussi la question de la réglementation sur la protection des données personnelles, de sécurités, de contrôle et d'accessibilité.

L'apport de l'environnement d'apprentissage dans ce cas reste souvent minime et ne consiste en fait qu'à faciliter et gérer les interactions entre Pairs (pairs humains : HP), l'environnement en lui-même n'effectue pas la tache de diagnostique cognitif des élèves.

L'aspect le plus remarquable est que l'approche de diagnostique par des pairs a démontré l'importance de l'interaction dans l'implication des élèves dans le diagnostique et dans l'ouverture du modèle en général. Les interactions résultant du DP ont généré des actions communicatives riches en quantité, contenues et en diversité de formes, les élèves font des affirmations sur leurs croyances et les défendent, défient les vues de leurs HP, expriment leurs accords et désaccords, donnent des justifications, posent et répondent aux questions, retournent sur les précédentes actions pour clarifier des aspects flous, ... le tout s'intégrant dans un langage commun et une responsabilité partagée.

L'exemple de I-Help [Bull 2001], un système indépendant du domaine de connaissances qui facilite la communication entres les élèves dans un objectif d'entraide. Il y'a deux composantes dans I-Help : *I-Help private* pour les discussions privées et *I-Help public* pour les discussions en publique. Un des principaux objectifs du modèle élève dans I-Help est de découvrir les meilleurs assortiments entre pairs, trouver le partenaire approprié pour un élève donné. Dans I-Help on retrouve, En plus de la modélisation relative aux connaissances de l'élève, quelques attributs

relatifs notamment aux environnements collaboratifs : ardeur à s'impliquer dans cette activité sociale, promptitude à apporter de l'aide, style cognitif, objectifs d'apprentissage ou centres d'intéressement et les préférences liées aux partenaires. Le modèle élève dans I-Help repose sur une approche particulière décrite dans [McCalla 2003], la méthode dite *modélisation active de l'apprenant* '*active learner modelling*' se caractérise par l'inexistence du modèle élève, au lieu d'un modèle de l'élève unique et maintenu au fur et à mesure des sessions, des fragments de modèles distribués et construits à la demande en fonction des besoins et des situations spécifiques. Selon Bull cette approche est la plus adaptée pour un environnement grandeur nature comme le Web.

PeerISM [Bull 1999] est aussi un système indépendant du domaine de connaissances, qui encourage la réflexion chez les élèves en usant de la modélisation collaborative entre pairs. Sa singularité est qu'il conjugue une interaction instrumentalisée H-H avec l'apport additionnel d'un AP (artificial peer) qui joue un rôle d'autant plus important quand un pair humain arrive à manquer.

3.5 Autres approches ouvertes

MRCOLLINS – Modèle apprenant collaboratif - Collaboratively constructed, inspectable student model

MRCOLLINS est un système interactif (apprentissage des pronoms portugais) qui joint les efforts de l'apprenant et du système pour construire le modèle élève. Les deux agents s'impliquent conjointement pour l'élaboration du modèle élève qui reflète donc la co-évaluation des connaissances de l'apprenant. MRCOLLINS aborde la résolution des conflits entre élève et système par la négociation. MRCOLLINS maintient une librairie d'erreurs typiques et mis-conceptions.

Le système maintient deux vues séparées, les croyances de l'apprenant et les croyances du système concernant l'apprenant. Cela permet au système d'identifier les conflits sur les performances de l'apprenant et de permettre à l'apprenant d'influer sur le modèle via des négociations du contenu.

L'environnement de communication se présente sous forme textuelle et quelques options de menu, restreignant l'élève dans ses actions; le modèle élève est externalisé dans des tables qui contiennent les règles du domaine associées

respectivement aux évaluations du système et de l'apprenant. Le système et l'apprenant ont des droits égaux pour déclarer leurs évaluations, initier des négociations, justifier leurs propres vues et défier les croyances de l'autre. Aucune des deux parties ne peut imposer à l'autre de changer son point de vue, s'il y'a conflit, des négociations sont entreprises mais en définitif chaque partie garde le dernier mot sur ses croyances s'ils n'arrivent pas à s'accorder. A la fin les deux modèles représentant les croyances de chaque agent sont maintenus séparément.

ELM-ART : (Episodic learner model – The adaptative remote tutor)

ELM-ART est un tuteur intelligent basé sur le WEB pour l'apprentissage du langage LISP; il s'organise en espace Hypermédia. L'externalisation du modèle consiste dans ELM-ART à associer à chaque page de l'hypermédia des barres de progression indiquant la progression de l'apprenant sur chaque élément; des indicateurs visuels, icons, couleurs, fontes distinguent les différents états. Ces états représentent les connaissances de l'apprenant sur la page courante (connue, prête pour être consulté, pas prête). L'apprenant peut modifier son modèle sans qu'il y ait opportunité de discussion apprenant/ système.

3.6 Résumé

Trois axes principaux se dégagent : le pouvoir donné à l'élève sur son modèle, la résolution des conflits élève/système et le degré d'interaction élève/système.

Pouvoir de l'élève sur son modèle, du système face à l'élève :

Dans les systèmes précédemment présentés, le degré d'influence de l'élève sur son modèle diffère. Dans TAGUS et UM, le système décide par des mécanismes internes de l'impact que peut avoir la volonté d'influence de l'élève, le système décide d'accepter ou non les assertions de l'élève. Dans STYLE-OLM le pouvoir d'influence est symétrique, et c'est à la suite de discussions et suivant les justifications données par l'un ou l'autre que la décision finale intervient. Dans MRCOLLINS ni l'élève ni le système ne sont obligés de modifier leurs croyances, en cas de différences, des négociations sont initiées, mais l'élève a le pouvoir de maintenir sa propre vue et le système aussi.

Dans ELM-ART le pouvoir de l'élève est total sur son modèle, il peut le changer sans négociation ni discussion, l'ouverture n'est pas l'objectif explicitement recherché mais on cherche implicitement à doter l'élève d'un moyen d'orienter sa navigation.

Conflits, négociation et résolution:

Dans TAGUS et UM les conflits n'arrivent pas explicitement, puisqu'il n'y a pas d'interaction directe entre le système et l'élève ; si conflit il y'a, il sera résolu en assignant des degrés de confiances dans les affirmations de chaque agent.

Les conflits dans MRCOLLINS et STYLE-OLM surviennent explicitement et déclenchent des négociations sous forme de dialogues. Il n'y a pas de conflits dans ELM-ART, le système ne s'oppose pas du tout aux agissements de l'élève.

Disparités dans le degré des interactions système / élève:

Trois classes majeures de systèmes se distinguent :

Ceux où l'élève peut seulement inspecter son modèle sans avoir la possibilité d'en affecter le contenu.

Les systèmes où l'élève peut inspecter son modèle, le manipuler librement mais sans discussion sur ses actions avec le système.

En dernier, les systèmes où l'élève peut inspecter son modèle et le manipuler dans un contexte où il est engagé dans des discussions et/ou négociations avec le système pour justifier, défendre, argumenter le pourquoi de ses actions.

Dans TAGUS, MRCOLLINS et UM l'élève dispose d'options et commandes (menus) pour exprimer sa volonté, le système lui, use des *viewers* pour acheminer son point de vue vers l'élève.

STYLE-OLM propose deux modes : *discuss* et *browse*. En mode *browse* l'élève peut inspecter l'état courant de son modèle et en mode *discuss* l'élève peut discuter le contenu de son modèle et en affecter le contenu. La modification du modèle passe par le dialogue.

Dans ELM-ART l'élève peut inspecter et modifier son modèle mais il n'y a pas de discussion/négociation du modèle.

4 Externalisation du modèle élève

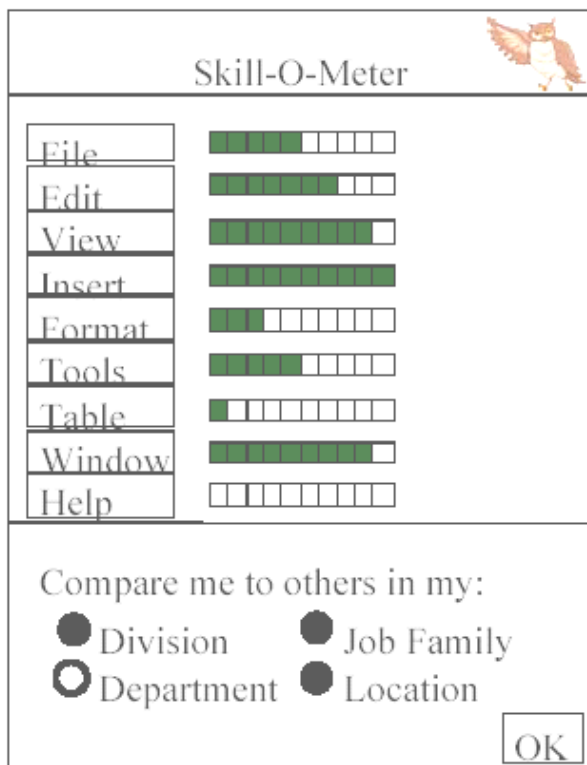
La façon dont est externalisée le modèle retient de plus en plus l'attention. Plusieurs méthodes ont été utilisées, entre autres, les indicateurs vrai/faux associés aux concepts, les représentations en arborescences, celles en graphes...

Cette section va présenter quelques exemples, ici nous nous intéressons à l'aspect graphique des systèmes sans chercher la modélisation choisie.

4.1 Externalisation rendue par des indicateurs de niveau

La plus simple façon d'externaliser le modèle élève consiste à utiliser les indicateurs de niveau 'skillmeter', méthode simple et quelque part intuitive, ne présentant pas de surcharge cognitive.

La figure 3.2 schématise le principe des skillmeter [Bull 2004].



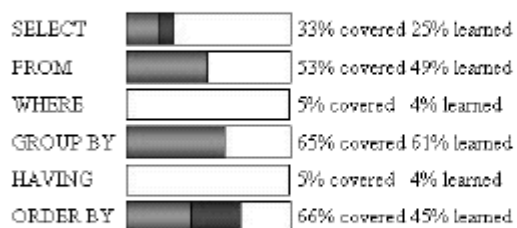
La figure 3.2 : Indicateurs de niveau 'skillmeter'

Ce genre de représentation associe à chaque concept un degré de maîtrise mais ne précise pas si l'élève a abordé 60% du sujet avec une maîtrise de 60% (ce qui est positif) ou bien il a abordé plus mais en ne maîtrisant que 60% du sujet, qui est une situation totalement différente et qui nécessite des décisions pédagogiques propres.

La figure 3.3 ci-dessous, concerne l'externalisation du modèle élève dans SQL-TUTOR, tuteur intelligent pour l'apprentissage de SQL destiné aux étudiants universitaires [Mitrovic 2002]. La connaissance de l'élève est représentée par rapport au sous-ensemble couvert qui lui-même apparaît en tant que partie du sujet concerné.

Current Proficiency

green = learned, red = still learning, white = not covered yet



Based on your past performance, I suggest a problem from the **ORDER BY** clause.

What problem type would you like?

Figure 3.3 : Externalisation dans SQL-TUTOR

La figure 3.4 ci-dessous, représente l'externalisation du modèle élève dans C-POLMILE [Bull 2003]; la représentation explicite bien, par rapport aux deux variantes présentées, la zone intentée par l'élève pour chaque concept, la zone maîtrisée, la zone des conceptions erronées et la zone encore problématique, ainsi qu'un apport supplémentaire qui fait ressortir les proportions de longueurs entre les différents concepts (là où la plupart des indicateurs de niveau ont la même longueur) L'élève peut se faire une idée du chemin qui lui reste à faire ainsi que de comparer les concepts entre eux. La proportion des misconceptions est séparée de la zone problématique pour bien la faire ressortir à l'élève pour qu'il en prenne conscience. Les misconceptions sont aussi affichées pour que l'élève les identifie.

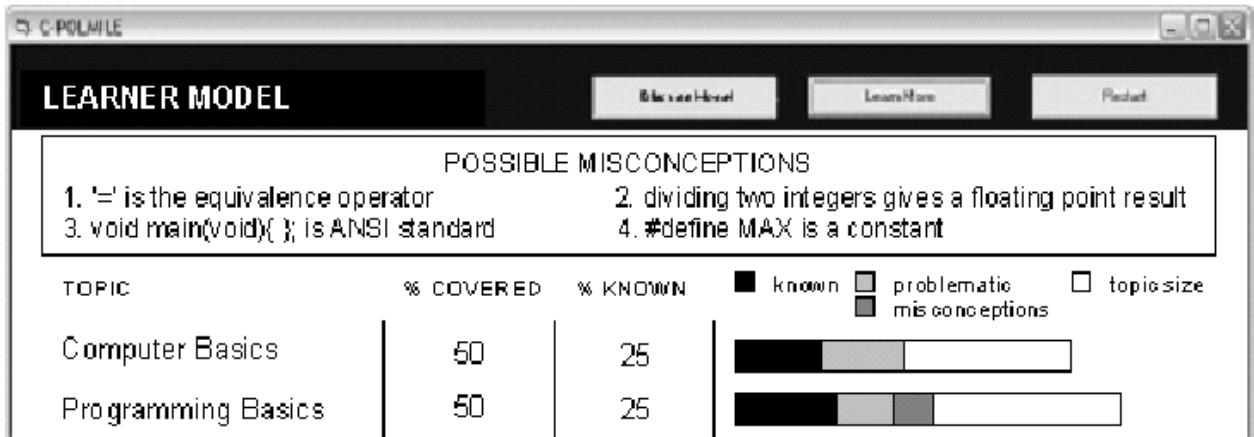


Figure 3.4 : La version PC de bureau du modèle élève ouvert de C-POLMILE.

La figure 3.5 ci-dessous, présente la version mobile (sur portable) de MoreMaths 'Mobile Revision for Maths ' [Bull 2003] un autre système avec deux versions, l'une sur pc de bureau et l'autre sur portable ; elle donne une idée sur une autre variante d'indicateurs.

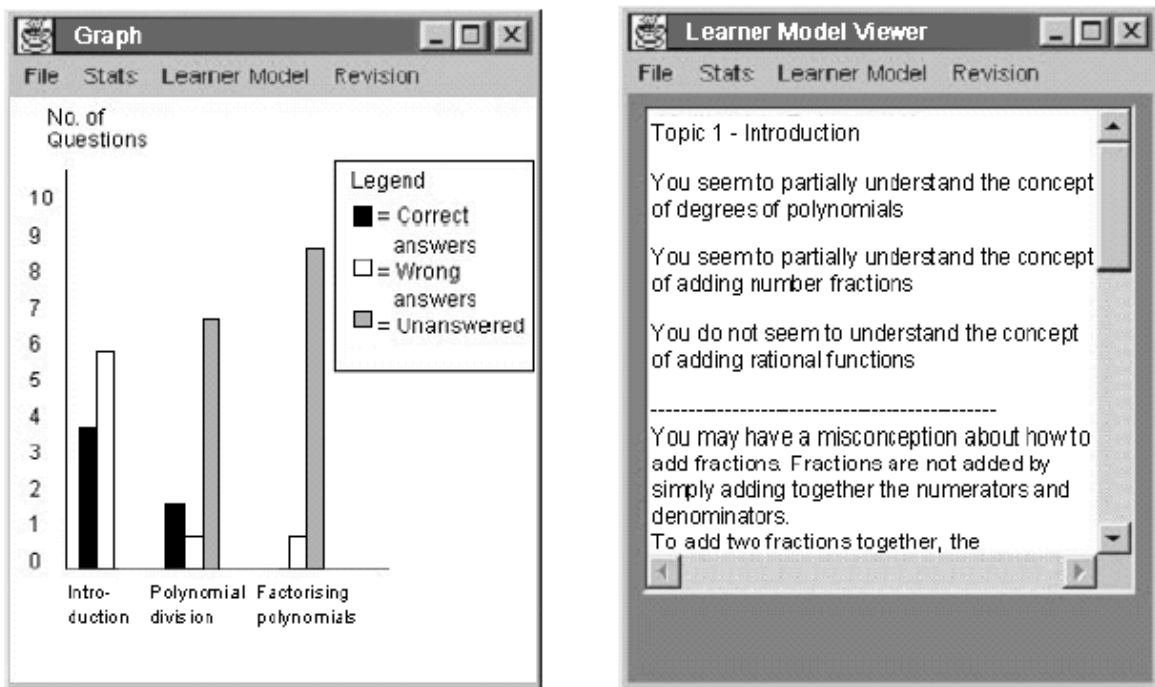


Figure 3.5: La version mobile du modèle élève ouvert dans MoreMaths

Bull.s, avec Substraction Master, un tuteur pour la soustraction destinée aux enfants de 8-9 ans [Bull 2004b], a investi la question de l'ouverture du modèle élève aux enfants de 8 à 9 ans, pour cela elle a utilisé des *Smilies* pour indiquer aux élèves (enfants) leurs niveaux, les *Smilies* jouent le rôle d'indicateurs de niveau. La figure3.6

représente le niveau de l'élève dans les exercices proposés ainsi que des propositions pour l'orienter. Les misconceptions ne sont pas présentées aux enfants.

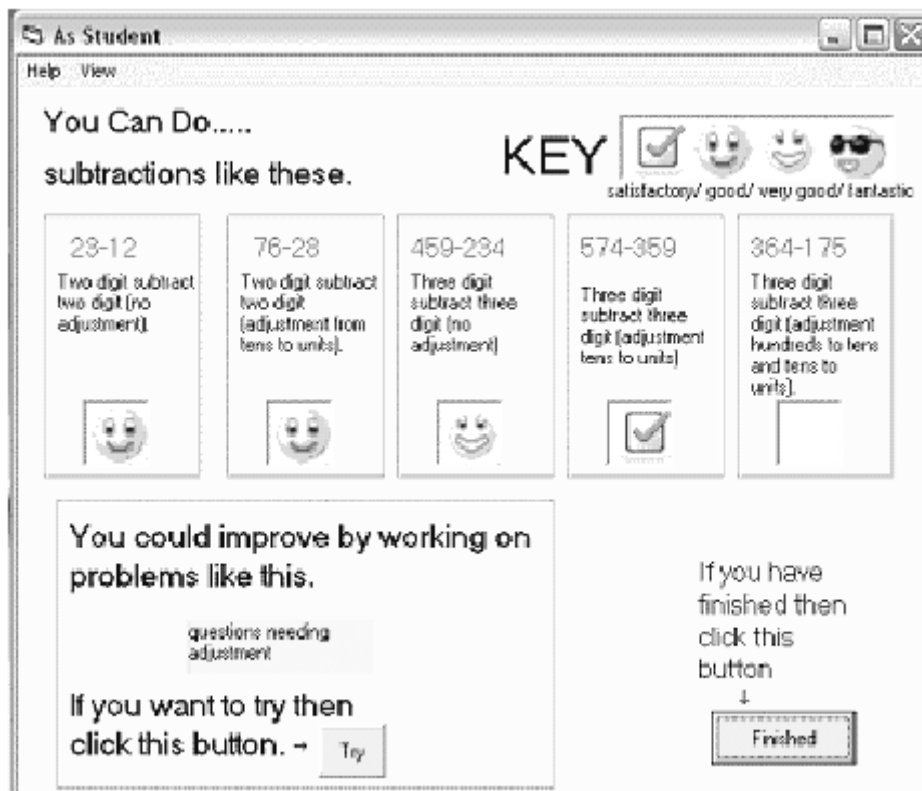


Figure 3.6 : Le modèle élève individuel dans Substraction Master.

4.2 Externalisation avec les CM

Les cartes conceptuelles ('concept map') semblent se positionner entre la simplicité des skillmetter et les représentations complexes, demandante en efforts cognitifs, comme celle de Vismod, outil interactif de visualisation des modèles élève bayesiens [Zapata 2002], avec les réseaux bayesiens.

Dimitrova estime que dans un contexte d'ouverture en inspection et manipulation du modèle élève, les représentations sous forme de cartes conceptuelles apparaissent comme un bon moyen pour l'élève d'évoluer depuis des connaissances qu'il détient vers de nouvelles connaissances en les liant avec les premières [Dimitrova 2000b].

Dans DynMap, une application pour la modélisation ouverte de l'élève de CM-ED 'Concept Map Editor' un Outil pour l'édition des cartes conceptuelles [Rueda 2003], l'auteur considère l'utilisation des CM comme un choix approprié pour la visualisation du modèle élève. DynMap étend le rendu du modèle par les CM avec d'autres ressources graphiques :

- La forme : définit le type de nœud.
- La taille : définit le degré de maîtrise de la connaissance.
- L'épaisseur des bordures : pour indiquer l'effort effectué (temps, nombre d'exercices..).
- Différents types de lignes : en pointillés pour indiquer une connaissance incomplète.
- Les couleurs : donnent une indication sur le temps, rouge pour les items en cours et vert pour ceux achevés.
- Drapeau : sont attachés aux nœuds comme commentaires faits par l'enseignant ou l'élève.

Un autre exemple de l'utilisation des CM est le système VCM (verified concept mapper) [Cimolino 2003]. L'élève construit dans un premier temps son CM puis le propose à la vérification du système qui effectue une première vérification du CM construit et suggère à l'élève de revoir certaines de ces assertions (d'où le nom Verified CM) et de vérifier si ce qu'il a construit reflète réellement sa compréhension (l'élève peut découvrir ainsi certaines de ses omissions ou erreurs d'inattention) ; ensuite le CM est validé et le système retient les assertions à sauvegarder (correctes) et les questions à poser (erreurs de l'élève). Les figure 3.7, 3.8, 3.9 et 3.10 représente deux CM avec le résultat de leurs analyse.

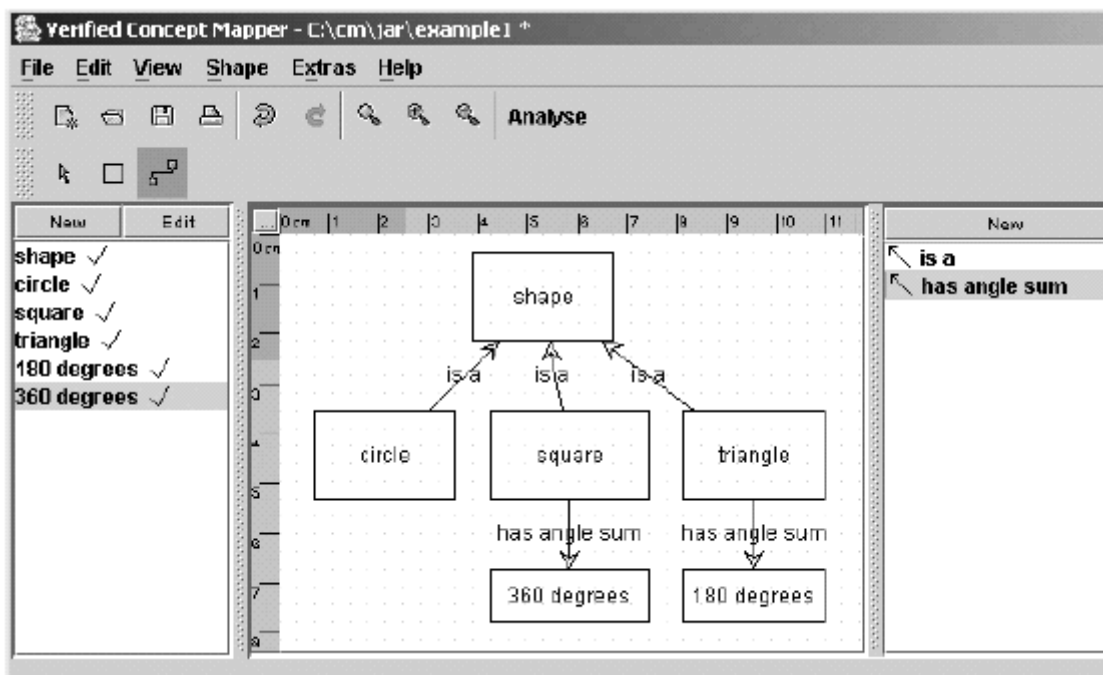


Figure 3.7 : Un CM complet sans erreurs.

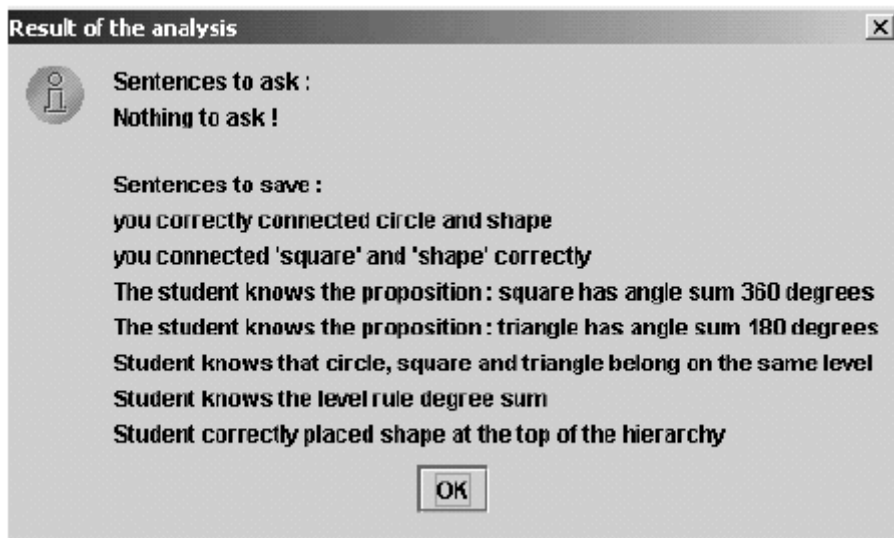


Figure 3.8 : Résultat de l'analyse présenté à l'élève du CM de la figure 3.7.

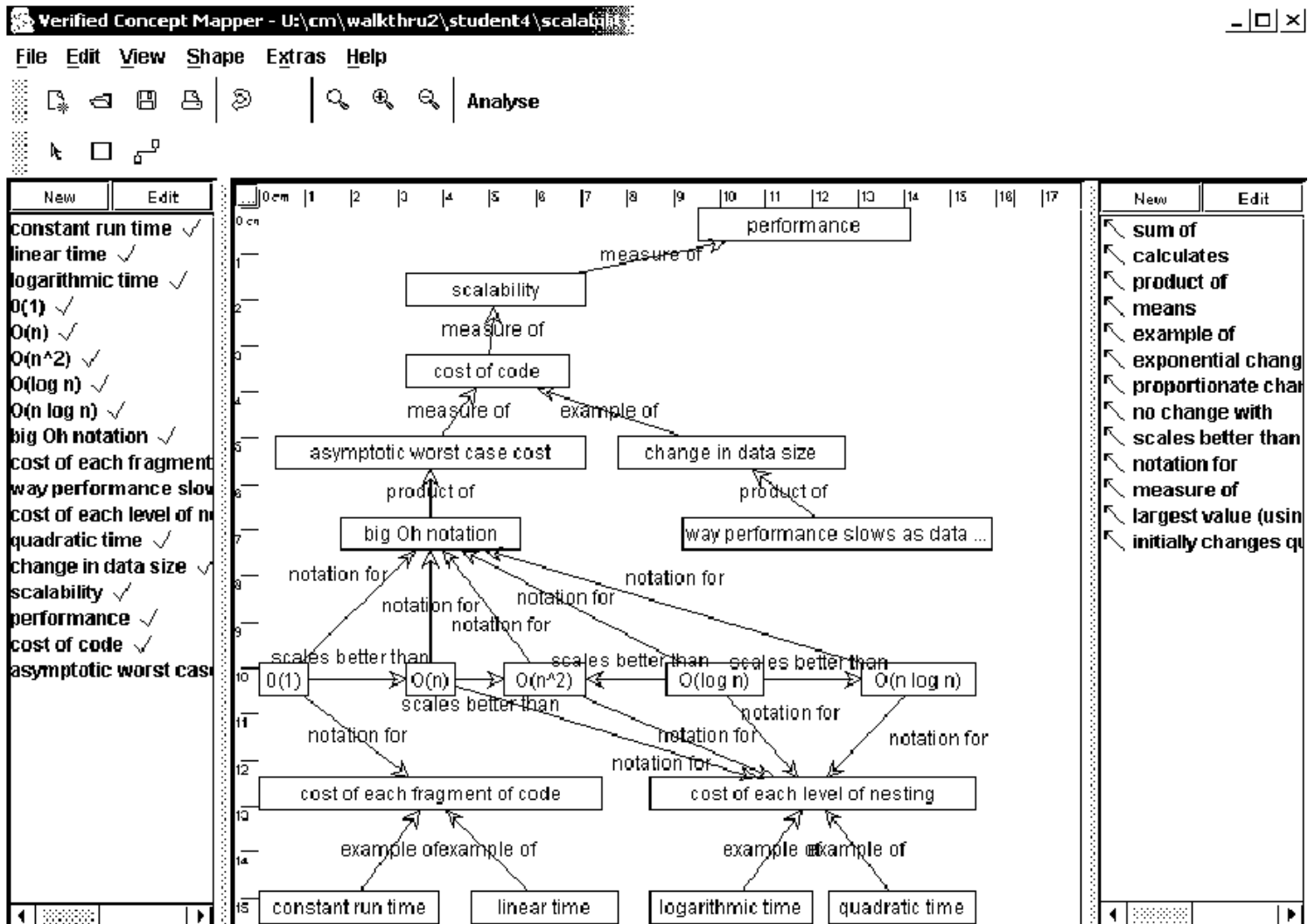


Figure 3.9 : Autre CM incomplet construit par un élève

Result of the analysis



Sentences to ask :

- What mathematical relationship does the cost of each fragment have to the overall
- What mathematical relationship does the cost of each level of nesting have to the c.
- What is $O(n^2)$ an example of?
- What is $O(n)$ an example of?
- What is $O(1)$ an example of?
- What is $O(\log n)$ an example of?
- What big Oh cost grows the next most slowly to $O(1)$?
- What big Oh cost grows the next most slowly to $O(\log n)$?
- What big Oh cost grows the next most slowly to $O(n)$?
- What big Oh cost grows the next most slowly to $O(n \log n)$?
- What kind of run time does $O(1)$ represent?
- What kind of run time does $O(\log n)$ represent?
- What kind of run time does $O(n)$ represent?
- What kind of run time does $O(n^2)$ represent?
- How does constant run time change with a change in data size?
- How does linear run time change with a change in data size?
- How does quadratic run time change with a change in data size?
- What is the definition of scalability?
- What is measured by asymptotic worst case cost?
- What else is asymptotic worst case cost a measure of?
- How does the run time of logarithmic code change with a change in data size?
- How does asymptotic worst case cost relate to the total cost of code?
- Thinking of the algorithm for finding the cost of each fragment as the product of the
- Thinking of the algorithm for finding the total cost by adding the sum of each fragme
- Where should the concept "scalability" be in the hierarchy?

Sentences to save :

- Student knows the level rule run time
- Student knows the level rule big Oh notations

Figure 3.10 : Résultat de la vérification pour le CM de la figure 3.9.

L'auteur remarque que les élèves utilisent la vérification dans un objectif autre que ceux prévus dans sa conception, en fait les élèves ont utilisé la vérification par petites parties tout au long du processus de construction et non pas à la fin. L'auteur note que cela est positif d'autant plus que les élèves sont plus

enthousiastes et risquent moins de frustration que dans le cas où ils soumettent leurs CM en entier à la vérification.

4.3 Des représentations multiples aux choix.

La figure 3.11 ci-dessous, montre des représentations sous multiples points de vues, l'élève peut en choisir celle qui lui convient.

La première est 'the Lecture View' qui présente la liste des leçons dans l'ordre de leur présentation dans le cours classique. Ceci a pour but d'aider l'élève à intégrer les connaissances acquises via le système avec ceux vues dans le cours, et aider les élèves à réviser depuis la vue des leçons les zones où ils se sentent en difficulté.

La deuxième vue montre un regroupement en structure hiérarchique des différents concepts. La troisième vue offre à l'élève une carte conceptuelle (conceptual map) déjà construite mettant en relation les éléments du domaine, à la différence de ConceptLab l'élève ne construit pas son propre CM, il dispose juste d'un indicateur couleur avec légende lui spécifiant son niveau de maîtrise pour chaque concept. Finalement la vue du domaine sous forme de pré requis montre une suggestion concernant l'ordre dans lequel l'élève peut aborder les différentes parties du domaine.

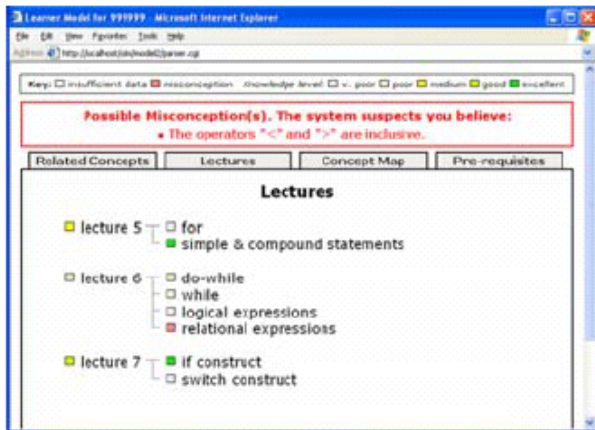


Fig. 1. Lectures view

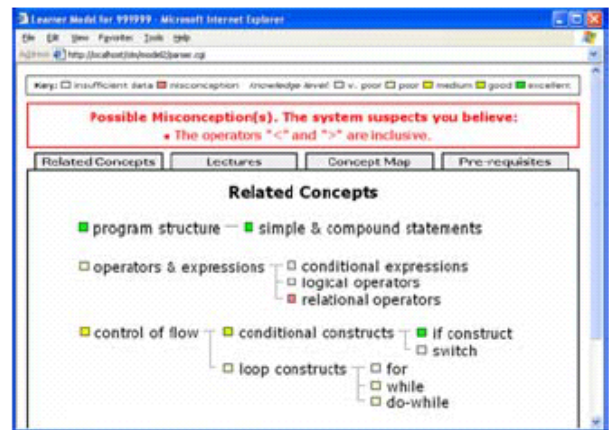


Fig. 2. Related concepts view

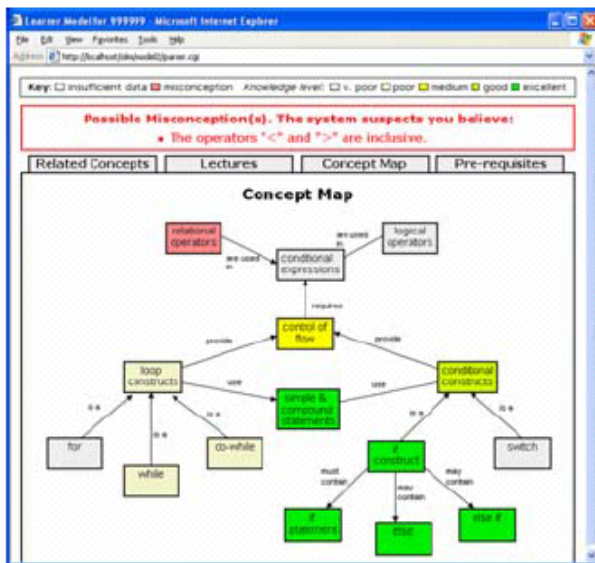


Fig. 3. Concept map view

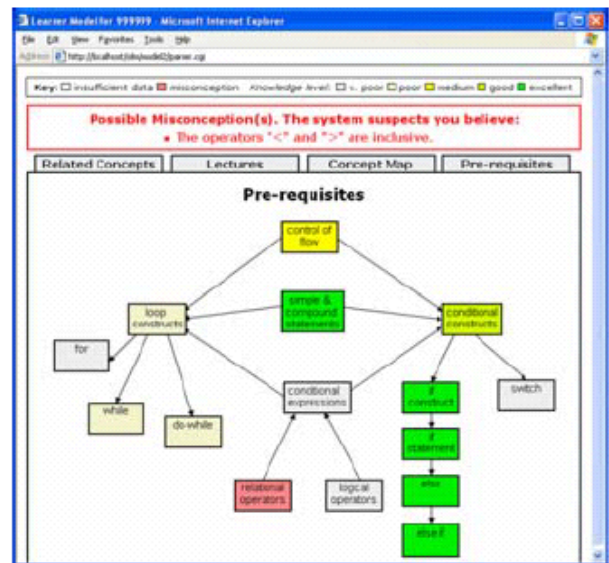


Fig. 4. Pre-requisites view

Figure 3.11 : Présentations multiples du même modèle élève.

L'étude menée dans [Mabbott 2004] cherche à savoir si cela est bénéfique ou bien cause de surcharge d'informations. Elle cherche à savoir aussi s'il y'a une vue particulière qui va être la plus utilisée par l'ensemble des élèves ou si chaque élève a des préférences particulières ; enfin d'établir un lien, s'il existe, entre les préférences sur les vues et le style d'apprentissage.

L'auteur conclut que les élèves n'éprouvent pas de difficultés particulières à manipuler plusieurs vues simples de leurs modèles. Les élèves n'ont pas montré de préférence à une représentation précise mais leurs préférences ont touché toutes les formes de représentations. Concernant un autre point de l'étude, il n'a pas été possible de faire un lien entre les préférences envers les vues et les styles d'apprentissage.

Autre exemple, STYLE-OLM, qui associe graphiques et textes, sous forme de dialogues et négociations combinés sur le même écran, à un rendu de CM. La figure 3.12 représente l'externalisation du modèle élève dans STYLE-OLM.

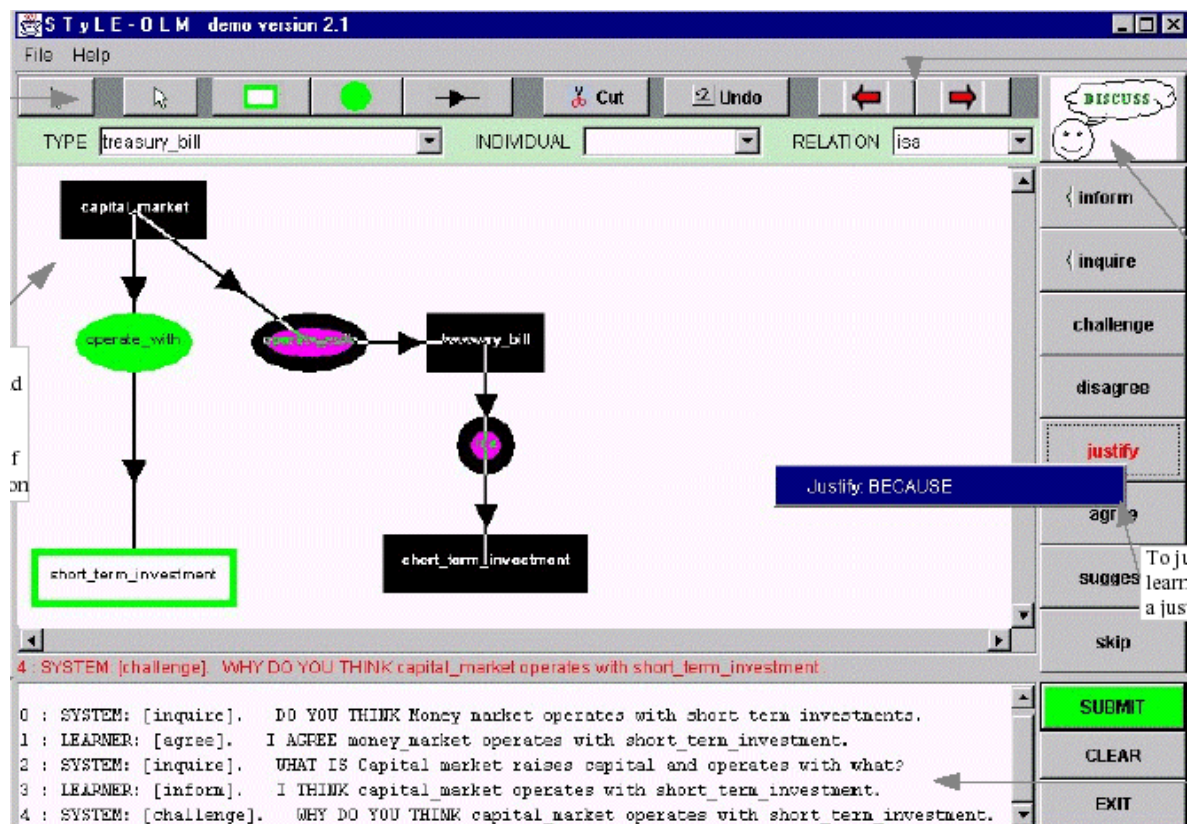


Figure 3.12 : STYLE-OLM ouverture en mode DISCUSS.

4.4 Externalisation dans les systèmes Peer.

L'exemple de PeerSM [Bull 1999] dans la figure 3.13 illustre sur des colonnes voisines la présentation à l'élève de sa propre évaluation, celle d'un HP (human peer) et du AP (artificial peer) ; la dernière colonne représente enfin le modèle élève construit par le système en essayant de concilier les trois apports évaluatifs.

peerSM v. 2.0

peerSM: student model

Your Answers

QUESTION 1

S3: May 68: les breton reevaluent et donnent vie a leur langue
 S4: Introduction d'enseignement bilingue dans les ecoles, des ecoles Diwan qui introduisent des ecoles tout en breton.
 S5: Le breton est devenu une langue moderne
 S6: 1989: etudes de licence de breton aux Universites de Rennes et Brest. Publication de livres en breton.
 S7: Le breton souffre d'un manque de moyens et n'a aucun statut officiel
 S8: Trop peu de breton utilise dans les medias malgre ses ressources. Le breton survivra-t-il?

Student Model

self evaluation	peer evaluation (1)	peer evaluation (2)	system evaluation
1: very good 2: good 3: good	1: good Our answers are similar. Yours are often more specific, whereas I am more general. 2: good Similar answers except for paragraphs 5 and 8. In 5, I do not think "15 % par an" is a time expression. In 8, I'd put "2 heures par jour; 6 minutes; 30 minutes" under a different time category, as they do not treat the chronological evolution of the breton. 3: very good You did very well, most probably better than me.	1: variable What about rediscovering the language through song? What about cultural advantages of bilingualism? You mentioned breton in schools and universities. You mentioned publications & media ● You seem to have noted some of the important points, but not others. 2: good What about "aujourd'hui"? ● You seem to have noted most of the important points. 3: very good ● You seem to have noted most	1: unsure of evaluation You and one of your evaluators agree that you did well on question 1. The other evaluator thinks you may have had some difficulties. It may help to discuss this further. 2: good You and your evaluators agree that you did well on question 2. 3: good You and your evaluators agree that you did well on question 3. The evaluators have more confidence in you, than you do yourself.

Figure 3.13 : Contributions des trois Pairs dans l'évaluation et le modèle du système.

Dans un contexte plus spécifique, Substraction Master [Bull 2004b], le modèle élève s'ouvre aux enfants entre 8-9 ans, l'élève dispose d'une comparaison entre son modèle et celui du modèle moyen de sa classe. La figure 3.14 montre la progression de l'élève par rapport à celle de la moyenne de la classe.



Figure 3.14 : Comparaison avec le modèle moyen dans Substraction Master.

4.5 Attributs autres que l'état cognitif pouvant être externalisés

D'autres informations peuvent être présentées à l'élève en plus de celles relatives aux connaissances du domaine, MRCOLLINS [Bull 2004] [Paiva 1995] modélise certaines stratégies d'apprentissage et permet à l'élève de les inspecter Figure 3.15.

You use the strategy of resourcing frequently.
 You ask questions when you are unsure.
 You refer to the grammar rules.
 You tend not to request examples.
 You occasionally use a translation.
 You often compare to the rules of other languages.
 You view the student model.
 You sometimes review the trace of your interaction.
 You do not consult notes that you previously made.

Figure 3.15: Montrer à l'élève ses stratégies d'apprentissage.

4.6 Externalisation, cible visée : les enseignants.

L'externalisation du modèle aux enseignants se présente souvent comme des rapports statistiques sur l'activité d'un élève en particulier ou de l'ensemble de la classe. L'enseignant peut scruter le modèle d'un élève en particulier ou le modèle global de la classe. L'enseignant peut modifier le modèle de chaque élève s'il constate une évolution en classe suite à des situations d'apprentissage classique pour que le système ait la vue la plus proche du niveau de l'élève dans un souci d'avoir toujours l'adaptation adéquate du système pour l'élève.

La figure 3.16 est l'externalisation du modèle élève pour l'enseignant dans Substraction Master [Bull 2004b]. L'enseignant peut voir le modèle d'un élève particulier ou celui représentant la moyenne du groupe. Il peut modifier le modèle de chaque élève s'il constate une évolution en classe suite à des situations d'apprentissage classique pour que le système ait la vue la plus proche du niveau de l'élève dans un souci d'avoir toujours l'adaptation adéquate du système pour l'élève. L'image de droite est une comparaison entre le modèle de l'élève sélectionné avec le modèle moyen de la classe. La figure de gauche montre les points sur lesquels l'élève montre des misconceptions.

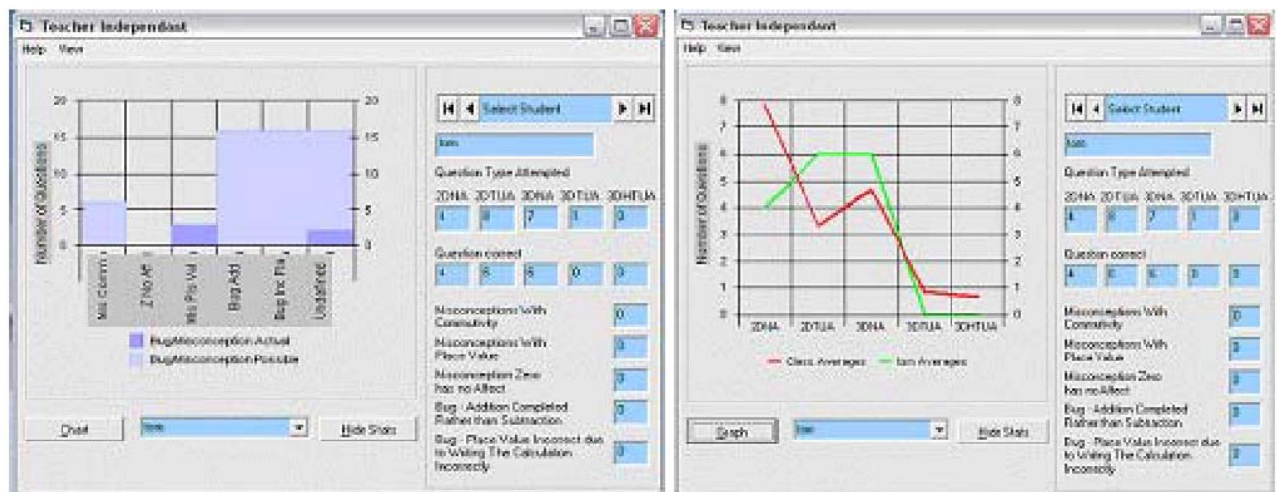


Figure 3.16 : Le modèle élève présenté à l'enseignant dans Substraction Master.

Dans CourseVis, un outil de visualisation pour les enseignants de la formation à distance sur le web [Mazza 2004], l'enseignant est muni d'outils de visualisations d'informations adaptés à la caractéristique du nombre élevé d'apprenants distants. La figure 3.17 est la vue dont dispose l'enseignant sur l'ensemble de la classe, cette matrice cognitive associe à chaque élève son évaluation sur un concept (suite à ses résultats dans des questionnaires), le niveau de maîtrise est présenté avec un dégradé de couleurs. La figure 3.18 permet à l'enseignant d'avoir des indications sur certains aspects sociaux des élèves, le cas ici est celui de la participation dans les

discussions reliées au domaine et plus spécifiquement du nombre de messages postés et de sujets initiés.

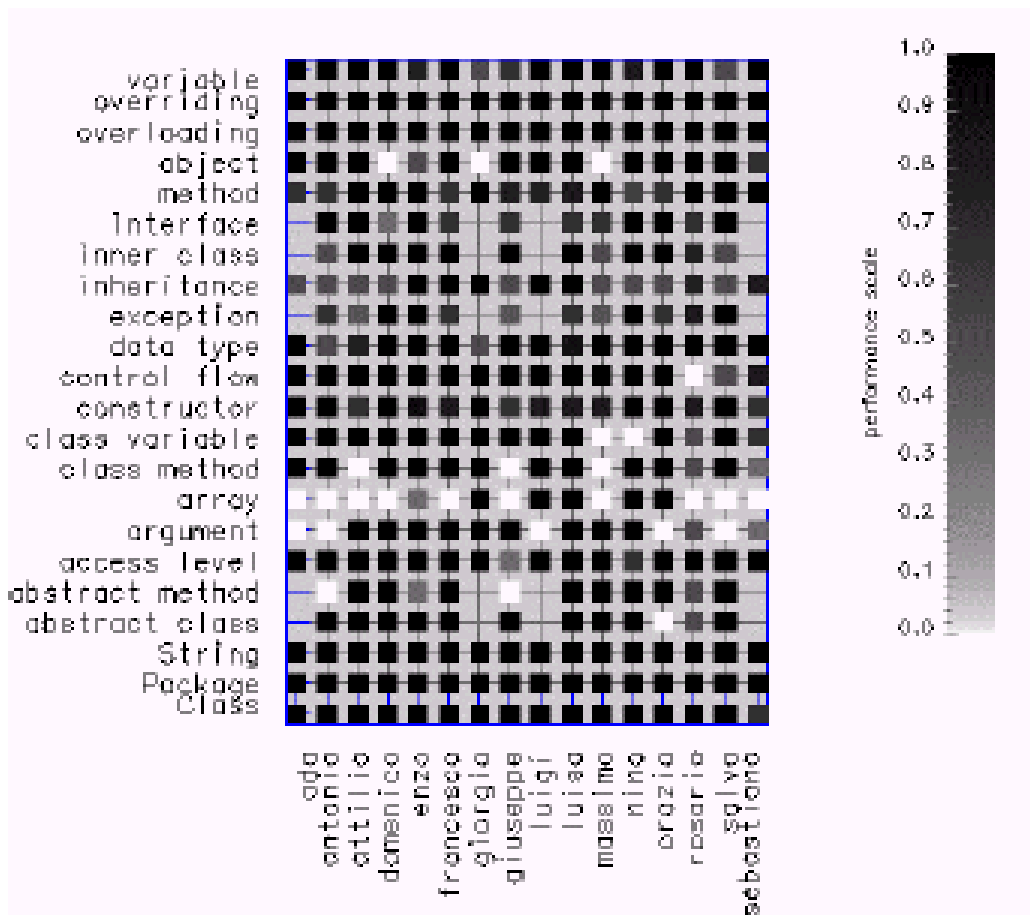


Figure 3.17 : Matrice cognitive des performances des élèves dans les questionnaires

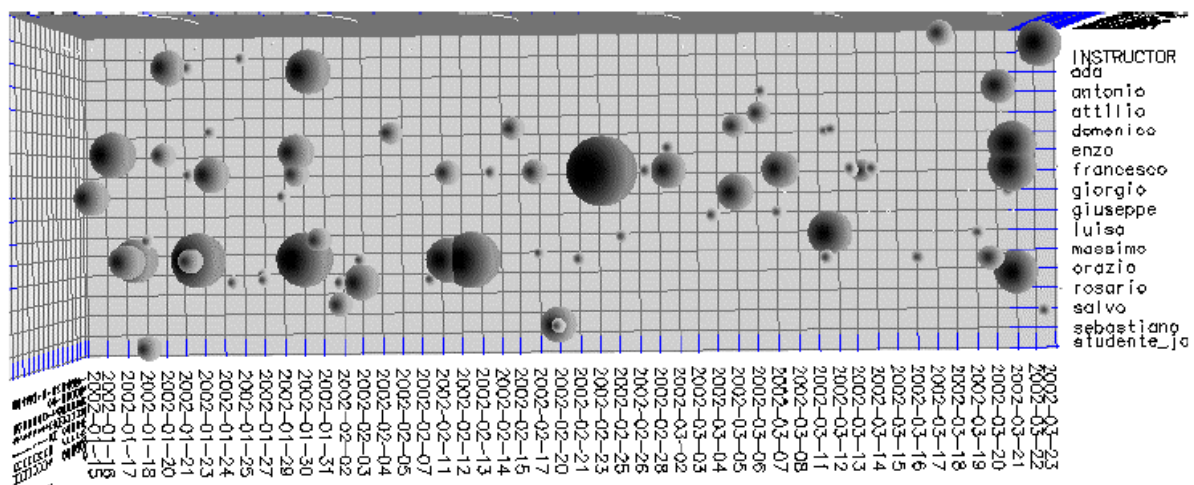


Figure 3.18 : Visualisation des activités liées aux discussions.

5. Conclusion

L'ouverture du modèle à l'élève, que cela soit seulement destiné à lui ou à d'autres, pairs, enseignants, parents... apparaît comme une direction prometteuse pour dépasser les problèmes de la modélisation classique.

Le pouvoir dont dispose l'élève sur son modèle, le style d'interaction système/élève, la résolutions des conflits et l'aspect externe du modèle sont les premiers points abordés dans cette approche ; viennent alors se rajouter les questionnements relatifs à la protection de la vie privée et confidentialité des données personnelles (individuellement et relatives aux lois).

Dans la littérature on retrouve deux papiers de Antonija Mitrovic , [Mitrovic 2002] et [Mitrovic 2001], ou il est question d'évaluer l'effet de l'ouverture du modèle ; elle cite en premier lieu les deux principales capacités méta cognitive, la réflexion et l'auto explication, puis présente ses expérimentations pour aboutir à la conclusion que l'ouverture du modèle est un moyen d'aider l'élève à acquérir des capacités d'auto évaluation, elle prend le critère d'abandon de problème pour juger des capacités auto évaluatives. Son étude n'a consisté qu'à des observations statistiques sur deux groupes d'élève : ceux avec plus d'habiletés (groupe A) et ceux présentant moins d'habiletés (groupe B) dans des pré-test ; la conclusion à été que le groupe B tire plus profit de l'ouverture du modèle en abandonnant moins de problèmes posés et que les élève du groupe A acquièrent plus de confiance en eux.

On se propose , dans un souci d'une meilleure intégration de l'approche d'ouverture du modèle dans les environnements d'apprentissage classiques (questions restant ouverte et posé dans LeMoRe 2005 'Learner Modelling for Reflection, to Support Learner Control, Metacognition and Improved Communication between Teachers and Learners'), de tester la faisabilité d'une ouverture adaptative du modèle, cette adaptation va porter sur le pouvoir de l'élève en particulier en dotant le système de mécanismes évaluant les capacités méta-cognitives , notamment la capacité d'auto évaluation.

Chapitre IV

APPROCHE ADAPTATIVE D'OUVERTURE DU MODELE ELEVE

1. Introduction

Ce dernier chapitre illustrera une approche basée sur des systèmes d'inférence flous pour adapter l'ouverture du modèle aux spécificités et préférences de chaque élève. Cette adaptation passera par un niveau plus haut modélisant des méta descripteurs. On se focalisera essentiellement sur la régulation du pouvoir de l'élève sur son modèle.

Là où tous les travaux visent à amener l'élève vers la réflexion comme moyen d'apprentissage, nous on vise l'évaluation des capacités auto évaluatives de l'élève pendant le processus d'ouverture du modèle.

L'auto évaluation est au centre de ce travail, sa mesure donnant des informations précieuses sur l'élève vis à vis du domaine et plus généralement vis à vis de caractéristiques individuelles indépendantes du domaine.

2. Le Modèle élève

Dans ce qui suit, on va présenter la structure générale du modèle apprenant, structure qui se dessine en deux niveaux figure 4.1.

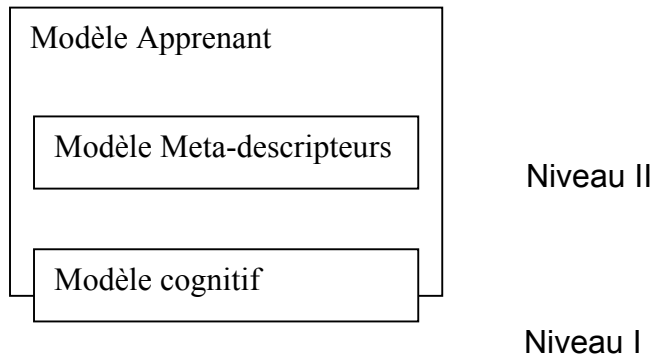


Figure 4.1 : Les deux niveaux de la modélisation.

Le niveau I

Ce niveau de la modélisation concerne l'état des connaissances de l'apprenant, c'est une modélisation « classique », qui doit être initialisée et évoluer avec l'apprenant, c'est ce premier niveau qui est révélé à l'apprenant.

Le niveau II

L'objectif de ce niveau est de modéliser certaines caractéristiques et capacités méta-cognitives de l'apprenant, On se propose ici de maintenir un schéma global pour modéliser ces traits généraux et très importants dans la prise de décision pédagogique. On peut citer par exemple :

- La rétention : décrit si l'apprenant garde les connaissances qu'il a acquises après un certain temps ou a tendance à oublier.
- Taux acquisition : décrit le rythme avec lequel l'apprenant acquiert les connaissances.
- L'exploration : décrit la tendance exploratrice de l'apprenant ou s'il se laisse guider.

Le caractère qui nous intéresse le plus ici c'est les capacités de l'apprenant à scruter son modèle, sa motivation dans ce sens, son implication dans le diagnostique et la pertinence de ses influences (modifications).

Les indicateurs sus-cités vont servir à situer l'apprenant dans une échelle d'ouverture du modèle. On cherche à prendre en compte les capacités de l'apprenant qui sont mises en jeu dans l'adoption de l'approche d'ouverture ce

qui sous-entend qu'on va essayer d'adopter un modèle semi-ouvert, qui cherche à s'adapter aux besoins, aspiration et capacités de l'apprenant vis à vis de l'ouverture.

Le modèle fournira donc des indications sur les capacités de l'apprenant ainsi que ses dispositions et préférences (du point de vue modèle ouvert). A la base de ces informations le système adoptera " l'ouverture qu'il faut" suivant les décisions pédagogiques.

Globalement on associe comme objectif à cette approche à deux niveaux une analyse plus fine des caractères méta-cognitifs ; plus spécialement concernant l'ouverture du modèle qui, plus qu'autre chose, doit prendre en compte les aptitudes de l'apprenant.

Question : Un modèle ou Deux Modèles ?

Certains systèmes adoptent une approche qui consiste à construire conjointement un seul modèle, d'autres maintiennent deux modèles, le premier représentant les croyances de l'apprenant sur ses connaissances et l'autre celles du système sur les connaissances de l'apprenant.

Dans notre cas le système étant "semi-ouvert" visant une implication adaptative de l'apprenant dans la modélisation, il n'y aura pas une distinction nette entre les deux vues, plus spécialement les décisions pédagogiques ne verront qu'un seul modèle fourni par la composante modélisant l'élève. Ce modèle sera dans certains cas celui reflétant la vue de l'élève, et dans d'autres celui du système ; il peut être aussi un compromis entre les deux. L'influence accordée à chaque agent (apprenant / système) peut être réglée en fonction de la pertinence des croyances et l'impact des modifications de chacun.

3. Evaluation des connaissances de l'apprenant

On considère que l'apprenant est en situation d'évaluation, lors d'exercices, de questions, de QCM's...(évaluation explicite) ou lors de son comportement et cheminement dans les connaissances du domaine (évaluation implicite). Avec l'ouverture du modèle, l'apprenant se trouve dans une situation où il se met lui-même à évaluer ses connaissances.

Ces situations et leurs apports sous forme d'une évaluation (note ou appréciation) ne s'inscrivent pas dans le contexte de ce mémoire et sont plutôt le domaine des sciences éducatives et pédagogiques.

Donc, on considère la fonction KF qui associe aux éléments de π une évaluation quantitative entre 0 et 10. cette fonction peut être le simple résultat aux exercices comme elle peut être plus complexe se basant sur des théorie propres à la didactique de chaque domaine.

π étant un enregistrement constitué d'un ensemble de connaissances c_i qui interviennent dans le contexte d'évaluation. C'est l'arrivé de π qui constituera à chaque fois une entrée pour le système de modélisation de l'élève (figure 4.2).

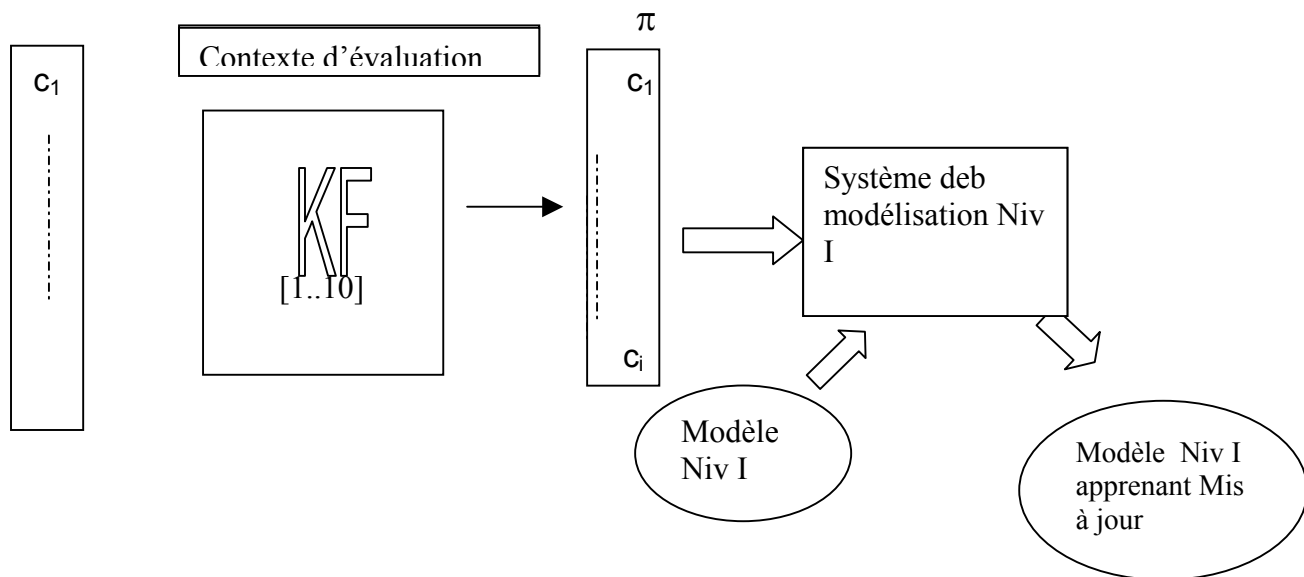


Figure 4.2 : Arrivée d'un nouvel enregistrement π .

Quand l'apprenant sort de la situation d'évaluation le modèle apprenant est mis à jour avec les valeurs attribuées par KF aux éléments de connaissances qui interviennent dans ce contexte.

A ce niveau le modèle n'est pas modifié mais on lui donne en entrée de nouvelles valeurs qui vont servir à la mise à jour du modèle.

On peut créer des situations par lesquelles on récolte des informations liées au Niveau II de la modélisation (situations explicites ou implicites).

4. Externalisation du modèle et organisation des interactions

Sur ce point, la première question qui se pose concerne l'initiative : doit-on imposer à l'apprenant de scruter son modèle et d'en influencer le contenu ou bien lui

laisser la libre initiative de solliciter son modèle ; on se pose ici la question de savoir quelles pourraient être les motivations pour qu'un apprenant décide de consulter son modèle. On peut concevoir que la curiosité et d'autres motivations peuvent constituer une justification à l'exploration du domaine de connaissances, mais s'agissant du modèle apprenant la question reste posée.

On préconise une liberté de l'apprenant à aller vers son modèle, mais d'un autre côté essayer d'une façon détournée d'amener l'apprenant à s'impliquer (ou l'impliquer indirectement); sur ce point l'organisation et la conception de l'espace intermédiaire qui englobe les outils offerts pour visualiser le modèle, la façon dont cette visualisation s'intègre dans une vue générale du système, et les modalités d'interactions ont un rôle plus que déterminant dans le 'succès' de l'approche.

Passé ce point de la motivation, on devra insister sur un mode d'interaction visuel de type WYSIWYG. Les recherches en sciences de l'éducation soulignent l'importance des formes de représentations graphiques comme intermédiaire pour représenter le sens et être support d'apprentissage. L'apport des formes graphiques de communication n'est plus à démontrer, théories mis à part, l'impact social et commercial mondial des outils graphiques suffit pour le justifier comme choix.

L'externalisation du modèle doit correspondre à une représentation mentale intuitive, simple, graphique et facilement compréhensible.

Donc en ce qui concerne l'approche à adopter pour présenter le modèle à l'apprenant (externalisation) voici quelques lignes directrices qui à notre avis constituent une voie à explorer :

- Présenter quelques éléments (de même granularité) à la fois avec les éléments de connaissances liés (voisins). L'apprenant disposant d'une sorte de 'loupe' qui se déplace sur un 'graphique' et en illustre une partie, et qui peut 'zoomer' pour approfondir sa vue.
- Maintenir l'apprenant dans un environnement familier ; c a d. lui présenter les connaissances liées aux contextes récents (dans la mesure du possible).
- Permettre à l'apprenant d'avoir la possibilité de changer de points de vues sur le domaine.
- Ne pas encombrer la visualisation avec les parties déjà 'acquises'.
- Associer des objectifs pédagogiques à l'exploration du modèle. Cette activité est considérée comme situation d'apprentissage aussi.
- Eviter d'essayer de dialoguer avec le "langage naturel".

5. Initialisation du modèle

Un point important aussi puisqu'il conditionne les premiers contacts entre le système et l'apprenant. Ce point doit être considéré conjointement avec l'approche d'implication de l'apprenant dans la construction de son propre modèle.

Une approche intéressante est celle des stéréotypes considérés dans les travaux récents de 'V. Tsiriga & M. Virvou' [Tsiriga 2003] qui soulignent que les stéréotypes sont un outil puissant qui, à la base de quelques informations, permet au système de démarrer rapidement son interaction individualisée avec l'apprenant.

Donc l'initialisation du modèle se fera via un (ou quelques-uns) questionnaires pour essayer de dégager rapidement l'appartenance de l'apprenant à un stéréotype.

La question de l'initialisation du modèle niveau II se pose aussi, on ne considèrera dans ce mémoire que celle relative au pouvoir initial de l'élève sur son modèle. selon nous il apparaît raisonnable de ne pas supposer une relation entre l'initialisation du modèle cognitif et celle du pouvoir de l'élève ; si le profil initial suppose un niveau x sur un c_i alors un pouvoir initial y sur ce même c_i est totalement indépendant de la valeur x . la politique qui nous semble adéquate est celle du tout ou rien, ou on donne *plein pouvoir* à l'élève et la suite des évènements régulera ce pouvoir, ou on lui donne un pouvoir initial *zéro* et qui s'affinera au fur et à mesure. Ceci dit si on dispose d'une catégorisation du domaine avec comme critère une implication similaire sur le pouvoir on peut initialiser y à la valeur de la même classe.

6. Modèle Niveau II

L'aspect central sur lequel on se focalise c'est de découvrir la capacité de l'apprenant à s'impliquer dans la construction de son modèle pour lui offrir un environnement sur mesure. Le schéma global proposé est un ensemble de *méta descripteurs à la demande*. Suivant les demandes d'autres composantes de l'environnement d'apprentissage le modèle élève génère le, ou les méta-descripteurs demandés ; Ainsi on va illustrer cette approche dans un besoin d'ouverture adaptative du modèle à l'élève.

Pour illustrer les modalités d'utilisation du Niveau II on peut donner comme exemples, en plus des caractères liés à l'ouverture du modèle, d'autres caractères généraux comme la rétention, l'exploration, l'acquisition. Les composants de base auxquels on associe des valeurs et qu'on modélise ne sont pas forcément les

éléments de connaissance du Niveau I de la modélisation, c'est pourquoi on sépare ces caractères généraux dans un modèle a part, les éléments qu'on modélise au Niveau II peuvent aller des éléments de connaissance du domaine à une catégorisation des éléments en classes de connaissances (ne sont pas forcément les mêmes mais peuvent coïncider). Pour faire la différence on utilise le terme *item*. L'objectif est de proposer un schéma général distinct pour les caractères non directement liés au domaine. Par exemple :

L'acquisition : indique les taux d'apprentissage associé aux nouveaux items.

La rétention : indique la capacité de l'apprenant à retenir dans le temps les connaissances déjà acquises associées aux items.

L'exploration : indique les tendances de l'apprenant à explorer l'espace domaine, ses subdivisions en items.

L'implication : fournit les données sur la tendance de l'apprenant à aller vers son modèle.

L'influence : fournit des données sur les actions de l'apprenant sur son modèle.

Le schéma global (figure 4.3) :

$$\underbrace{\{\}}_{\mathbf{O}} \rightarrow \underbrace{\{l\} + \{l'\}}_{\mathbf{U}} \iff \text{MII} \rightarrow \text{MII}'$$

On explique cela par le fait que **O** représente un ensemble de règles pour recueillir au travers de situations explicites ou implicites des informations ayant trait aux méta-descripteurs. Et que **U** le mécanisme qui va permettre la mise à jour du Niveau II du modèle.

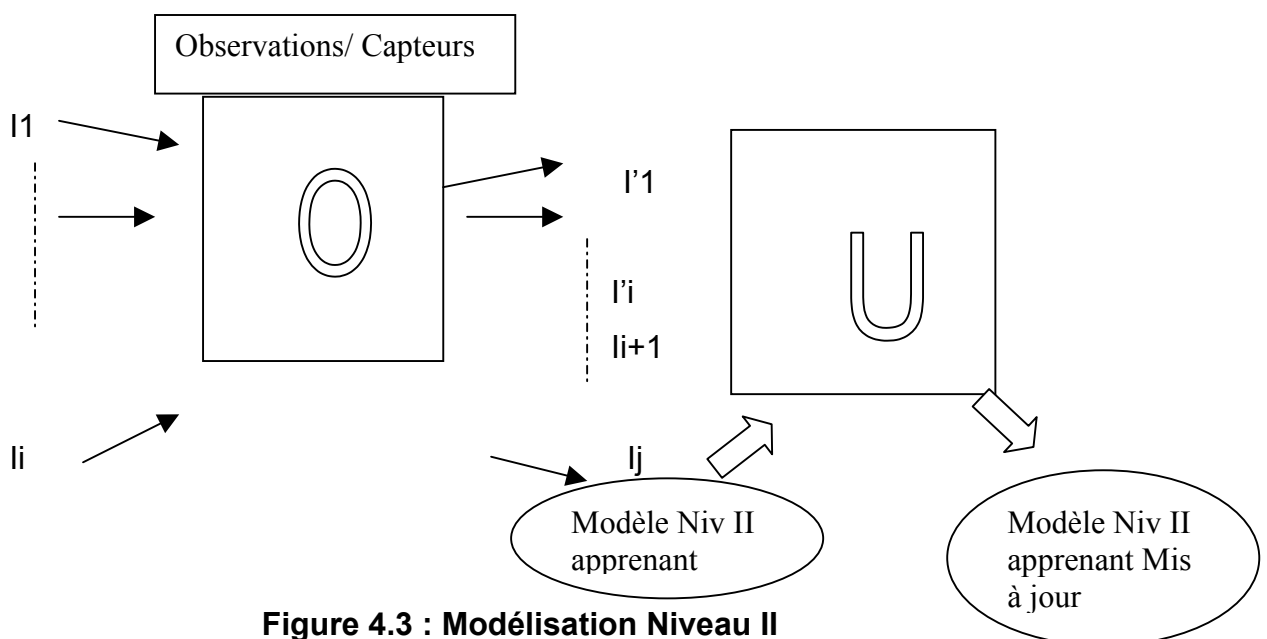


Figure 4.3 : Modélisation Niveau II

Discussions

A la base des évolutions du modèle Niveau I et d'autres observations l'ensemble des règles **O** allouent de nouvelles estimations aux valeurs décrivant les caractères généraux.

Exemple de règles :

- acquisition : donner une valeur importante si l'apprenant progresse rapidement dans un item, et décrémenter s'il revient plusieurs fois sur l'item sans évoluer.
- Rétention : donner une valeur importante si l'apprenant montre de bonnes performances sur des items non récents, et décrémenter si contraire.
- Exploration : donner une valeur importante si l'apprenant s'oriente vers des parties profondes rapidement ou choisit des items dont le système pense qu'il ne dispose pas encore de tous les pré-requis, et décrémenter si l'apprenant adopte seulement les directives du système dans le cheminement.
- L'implication : plus l'apprenant va vers les outils de scrutation de sont modèle, plus il l'utilise sur certains points plus la valeur associée sera importante.
- L'influence : plus les influences de l'apprenant sur certains items se montrent pertinentes plus la valeur associée sera importante.

A la base des informations contenues dans le modèle niveau II on peut dégager une description brève, sorte de résumé, en regroupant les items en niveaux de complexité ou la description de la classe de complexité par rapport à un critère. De la même manière on peut déduire une valeur générale de ce caractère en combinant les valeurs associées a différentes classes.

Cette façon de voir va permettre au système de mieux s'adapter aux caractéristiques de chaque apprenant. Si on prend comme exemple l'adaptation de l'ouverture aux spécificités de chaque apprenant, on peut alors avoir différents degrés de pouvoir d'influence de l'apprenant sur son modèle, une partie de l'espace connaissance ou l'apprenant peut scruter son modèle et une autre partiellement ou pas du tout. Ainsi on compte aboutir à offrir à l'apprenant un système qui tient compte de ses préférences à travers le temps aussi puisqu'une partie "fermée" à l'inspection peut s'ouvrir en fonction du comportement de l'apprenant.

La figure 4.4ci dessous donne une illustration d'une possible subdivision du domaine à un moment donné :

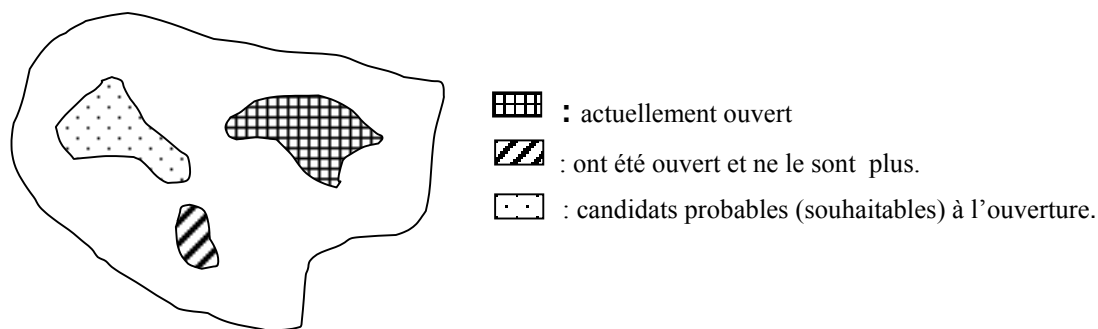


Figure 4.4: Subdivision du domaine de connaissances par rapport à l'ouverture du modèle

Jusque là nous avons décrit le cadre général dans lequel nous voulons orienter notre approche, la suite concerne un méta descripteur spécifique qui représente le pouvoir de l'élève sur son modèle. Nous présentant d'abord une introduction à la logique floue puis nous présenterons les détails du métadescripteur.

7. introduction pratique à la logique floue :

Ici on aborde la logique floue comme un outil qu'on utilise pour notre problème d'où l'aspect bref et opérationnel de la présentation.

Système inférence floue 'SIF':

La logique floue à été introduite dans les travaux de Zadeh dans le milieu des années 60. elle étend la logique classique pour représenter les notions de partialité dans les valeurs de vérité (valeurs de vérité comprises entre totalement faux et totalement vrai).

Les systèmes d'inférence floue représentent un raisonnement approximatif semblable à celui qu'apparemment utilise l'humain. Le SIF est basé sur la logique floue et utilise des informations approximatives et incertaines pour générer les décisions. Les règles floues sont de la forme :

SI $X_1=A_1$ et $X_2=A_2$ et ... et $X_n=A_n$ ALORS $Y=B$.

Où les X_i et Y sont des variables linguistiques, et A_i et B des termes linguistiques.

Le mécanisme d'inférence floue passe par quatre étapes :

- fuzzification,
- agrégation,
- composition, et
- défuzzification.

Les valeurs précises sont fuzzifiées en des termes linguistiques avec un degré d'appartenance défini par des fonctions d'appartenance appropriées.

Les variables linguistiques sont instanciées aux valeurs linguistiques avec un certain degré.

L'Agrégation consiste à calculer la valeur côté prémisses des règles, la méthode du minimum (MIN) ou du produit (PROD) est souvent utilisée pour calculer la valeur des prémisses. Une règle s'active si l'agrégation de sa prémisse est non nulle.

Cette valeur (pour chaque règle) va être le degré d'appartenance des variables de la conclusion.

La composition est le calcul des valeurs des conclusions. La détermination du degré de vérité des termes en sortie se fait (en général) par la méthode du maximum (MAX) ou de la somme (SUM) des degrés de vérités des règles avec les mêmes termes linguistiques dans les conclusions.

La défuzzification consiste à passer des termes flous à des valeurs précises. Beaucoup de méthodes existent, MoM (mean of maximum), CoM (centre des maximums), CoG (centre de gravité), MoA (moyenne des surfaces)... aucune des méthodes n'a été démontrée comme meilleure ; le choix diffèrera selon l'orientation qu'on veut donner aux sorties.

Un exemple :

L'exemple ci-dessous présente un système flou pour la régulation de la température d'une pièce avec un chauffage électrique.

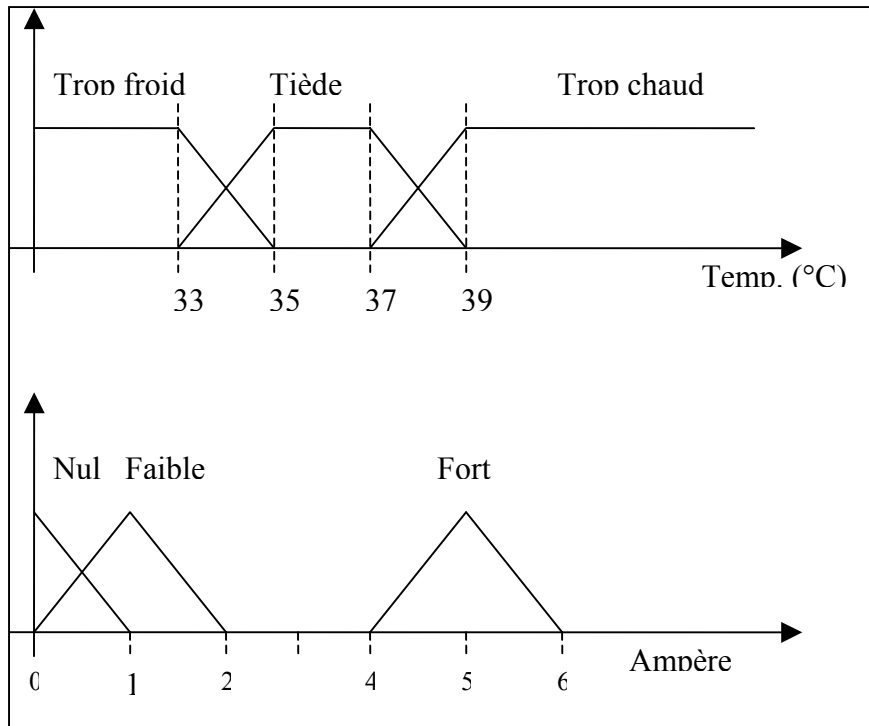
A partir d'une valeur précise fournie par des capteurs spécialisés (un thermomètre pour notre cas) il y'a fuzzification de l'entrée (Température).

Les trois états d'entrée sont : trop froid, tiède, trop chaud.

Les variables en sortie sont-elles aussi caractérisées par une fonction de distribution.

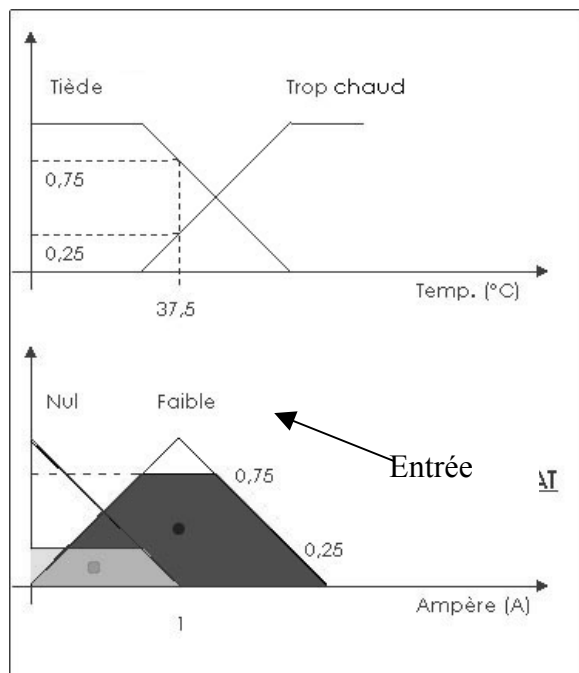
Les trois états de sorties sont : nul, faible et fort.

ci-dessous les fonctions d'appartenance des variables d'entrées et de sorties.



Les règles d'inférence sont tout simplement, établies d'une manière naturelle, en donnant les règles qui lient les données aux actions. Ainsi, si la température est « trop froide », il faut mettre le courant « fort » ; si la température est « trop chaude », il faut mettre le courant sur « nul », et, enfin, si la température est « tiède », il faut mettre le courant sur « faible ».

Si le thermomètre envoie comme entrée que l'eau est à 37,5°C.



après calculs on obtient un schéma résultant qui représente la valeur floue : la surface hachurée. Il s'agit maintenant de transformer cette valeur floue en grandeur physique réelle. Pour cela il existe trois grandes méthodes :

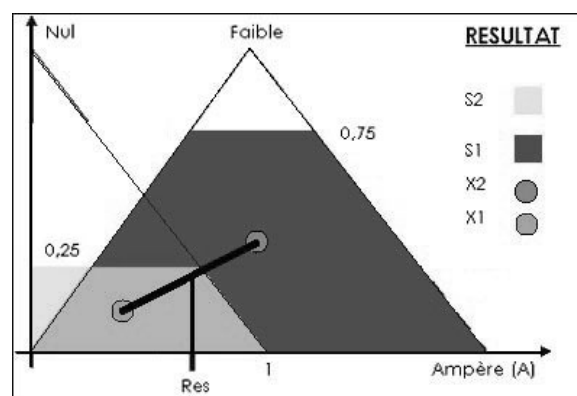
La méthode du maximum qui correspond à l'abscisse minimum de l'ordonnée maximum de la surface (on trouve 0,75A). La méthode de la moyenne pondérée. Il faut faire la moyenne des résultats en leur attribuant comme coefficient leurs validité.

La méthode des centroïdes est la plus souvent utilisée. Elle consiste à calculer le centre de gravité des surfaces. Pour cela on calcule les centres de gravité de chaque surface puis les résultats sont pondérés avec les surfaces.

$$\frac{X1 * S1 + X2 * S2}{S1 + S2} = resultat$$

$$\frac{0.44 * 0.219 + 1 * 0.9375}{0.44 + 0.9375} = 0.78$$

il existe beaucoup d'autres méthodes, n'importe quelle valeur dans la surface hachurée peut être prise, l'essentiel



est d'arriver à trouver une valeur cohérente par rapport à l'utilité que l'on recherche.

8. Régulation du pouvoir d'influence de l'élève :

On se propose d'utiliser les SIF pour la modélisation de l'élève. Le choix se justifie par le fait que ce mécanisme de raisonnement approche celui de l'humain, que l'externalisation du modèle avec les termes linguistiques sera plus appropriée que de montrer à l'élève (enseignant, parents, pairs) un graphe conceptuel ou un réseau bayésien. aussi l'enseignant peut manipuler les règles floues car il détient l'expertise.

Pourquoi le pouvoir ?

Question pertinente d'autant plus qu'on constate que toutes les études relatives à l'ouverture tiennent en un mot : réflexion. Les raisons qui nous ont poussé à prendre la modélisation du pouvoir de l'élève sur son modèle comme premier méta descripteur est la relation étroite et directe entre le pouvoir et les capacités d'auto évaluation. Ces capacités sont à nos yeux aussi importantes à prendre en compte que l'objectif de réflexion qui est lui aussi en relation avec l'auto évaluation. Ainsi la

mesure et la régulation du pouvoir va fournir des informations très pertinentes au système, non seulement pour adapter l'ouverture, mais aussi pour servir pour d'autres décisions pédagogiques.

Pour les SIF qui vont suivre la méthode du Min est utilisée pour l'agrégation et la méthode du Max pour celle de la composition, la déffuzyfication suit la méthode CoM.

La figure 4.5 ci-dessous illustre l'évolution des actions du système et de l'élève dans le temps pour un c_i du domaine $D=Uc_i$:

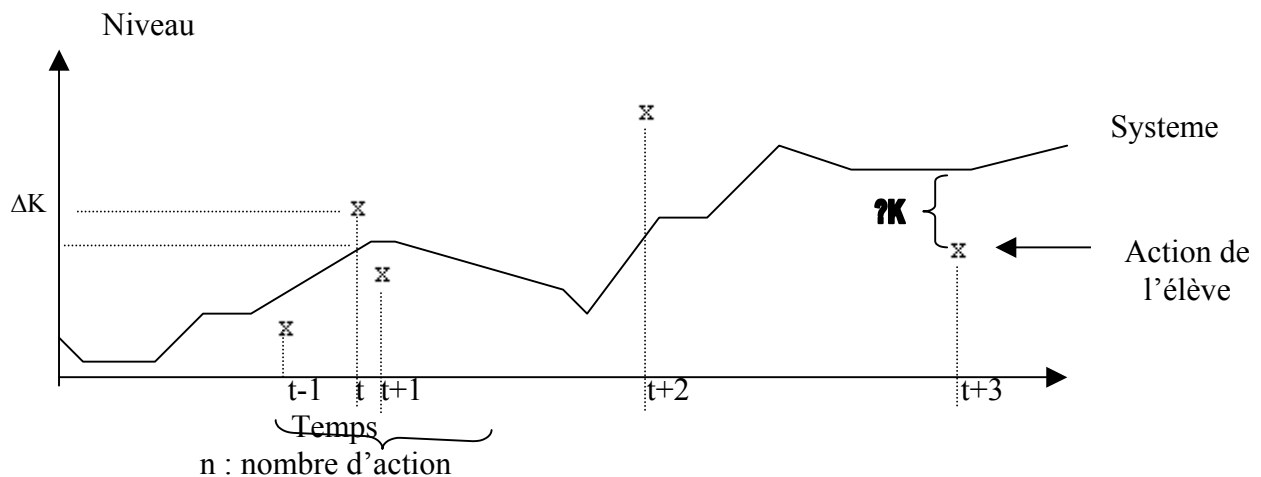


Figure 4.5 : Evolution des évaluations système/élève

K_s^i : évaluation dans le modèle élève du système pour c_i

K_e^i : évaluation indiquée par l'élève pour c_i .

ΔK : $K_s^i - K_e^i$

8.1 Niveau de connaissances :

Ceci est le niveau I de la modélisation, à partir des éléments évaluatifs de π on réajuste le niveau de l'élève dans le modèle. les variantes plus sophistiquées de modélisation cognitive (niveau I) sont illustrées en détail dans [Kavcic 2004] et [Xu 2002]. Notre approche reste simple parce qu'en premier lieu nous visons le niveau méta de la modélisation.

On dispose de deux entrées : *Niveau* et *variation* pour obtenir l'évolution du niveau. La figure 4.6 illustre le *SIF Niveau de connaissance*.

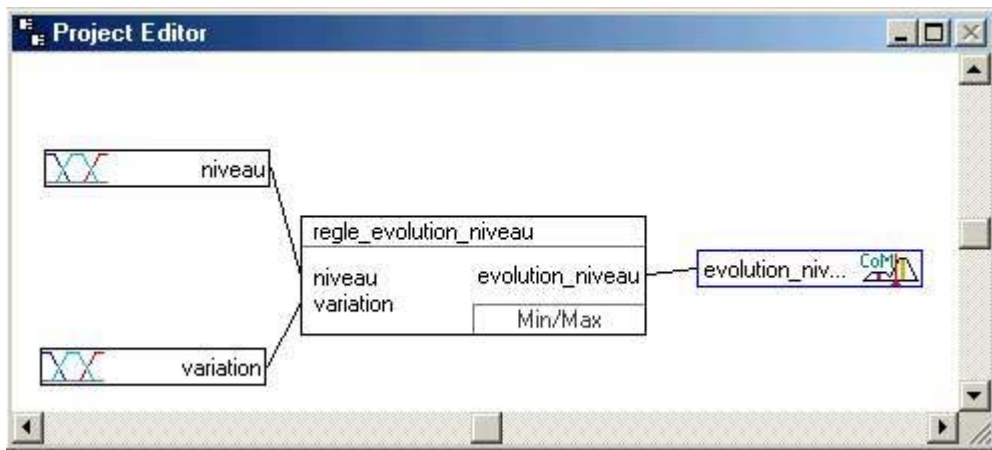
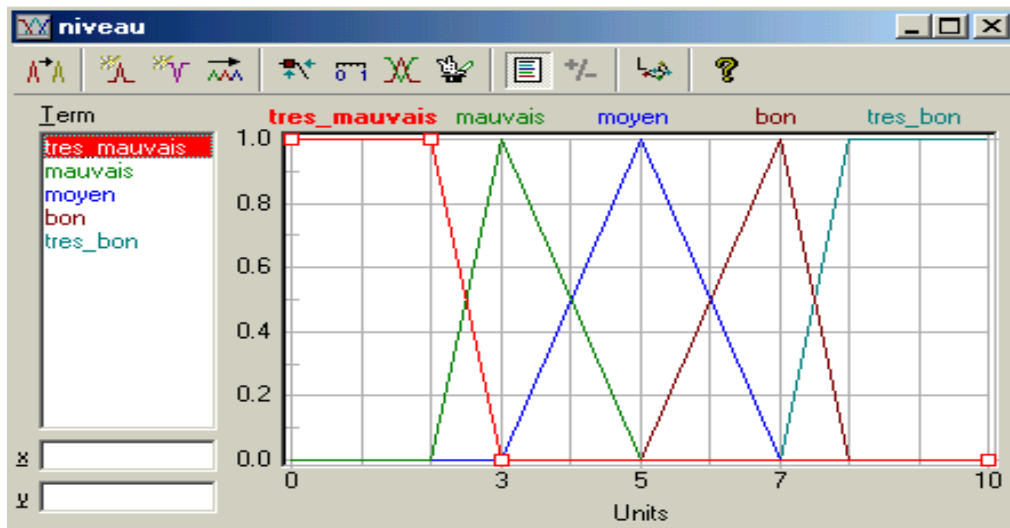


Figure 4.6 : SIF niveau de connaissance.

Niveau :

La variable linguistique niveau peut prendre les valeurs : *très mauvais*, *mauvais*, *moyen*, *bon*, *très bon*. La fonction d'appartenance associée à *niveau* est définie par :



$$\mu_{tmv}(c) = \begin{cases} 1 & \text{pour } 0 \leq c < 2 \\ 3-c & \text{pour } 2 \leq c < 3 \\ 0 & \text{pour } 3 \leq c \leq 10 \end{cases}$$

$$\mu_{mv}(c) = \begin{cases} 0 & \text{pour } 0 \leq c < 2 \\ c-2 & \text{pour } 2 \leq c < 3 \\ (5-c)/2 & \text{pour } 3 \leq c < 5 \\ 0 & \text{pour } 5 \leq c \leq 10 \end{cases}$$

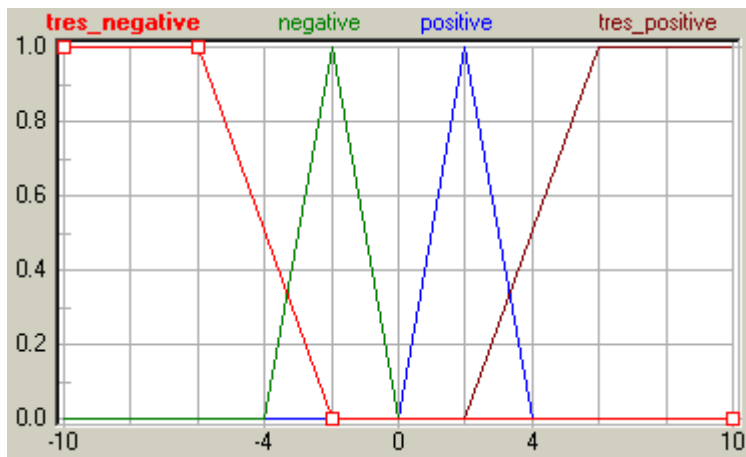
$$\mu_{moy}(c) = \begin{cases} 0 & \text{pour } 0 \leq c < 3 \\ (c-3)/2 & \text{pour } 3 \leq c < 5 \\ (7-c)/2 & \text{pour } 5 \leq c < 7 \\ 0 & \text{pour } 7 \leq c \leq 10 \end{cases}$$

$$\mu_{b(c)} = \begin{cases} 0 & \text{pour } 0 \leq c < 5 \\ (c-5)/2 & \text{pour } 5 \leq c < 7 \\ 8-c & \text{pour } 7 \leq c < 8 \\ 0 & \text{pour } 8 \leq c \leq 10 \end{cases}$$

$$\mu_{tb(c)} = \begin{cases} 0 & \text{pour } 0 \leq c < 7 \\ c-7 & \text{pour } 7 \leq c < 8 \\ 1 & \text{pour } 8 \leq c \leq 10 \end{cases}$$

Variation:

La variable linguistique *variation* est calculée par la différence entre la nouvelle valeur fournie dans π et la valeur du contenu dans le modèle. *Variation* peut prendre quatre valeurs linguistiques : *très négative*, *négative*, *positive* et *très positive*. Elle est définie par la fonction d'appartenance suivante :



$$\mu_{tn(v)} = \begin{cases} 1 & \text{pour } -10 \leq v < -6 \\ (-2-v)/4 & \text{pour } -6 \leq v < -2 \\ 0 & \text{pour } -2 \leq v \leq 10 \end{cases}$$

$$\mu_{n(v)} = \begin{cases} 0 & \text{pour } -10 \leq v < -4 \\ (v+4)/2 & \text{pour } -4 \leq v < -2 \\ -v/2 & \text{pour } -2 \leq v < 0 \\ 0 & \text{pour } 0 \leq v \leq 10 \end{cases}$$

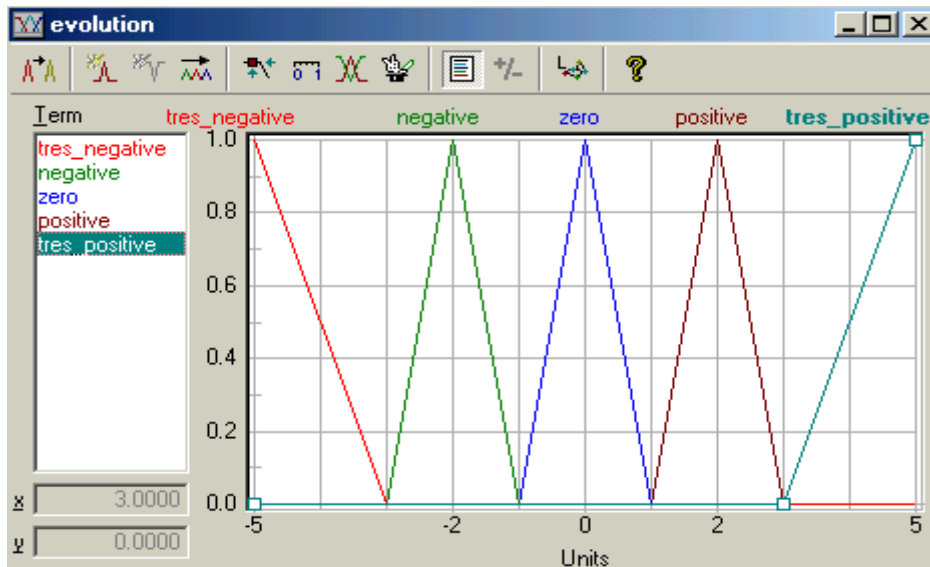
$$\mu_{p(v)} = \begin{cases} 0 & \text{pour } -10 \leq v < 0 \\ v/2 & \text{pour } 0 \leq v < 2 \\ (4-v)/2 & \text{pour } 2 \leq v < 4 \\ 0 & \text{pour } 4 \leq v \leq 10 \end{cases}$$

$$\mu_{tp(v)} = \begin{cases} 0 & \text{pour } -10 \leq v < 2 \\ (v-2)/4 & \text{pour } 2 \leq v < 6 \\ 1 & \text{pour } 6 \leq v \leq 10 \end{cases}$$

évolution :

La variable en sortie *évolution* sera utilisée comme valeur pour mettre à jour le niveau de l'élève dans le modèle niveau I.

La variable linguistique en sortie *évolution* peut prendre les termes linguistiques : très négative, négative, zéro, positive, très positive.



La défuzzification se fait par la méthode CoM (center of maximum) qui consiste à calculer la moyenne pondérée des valeurs maximums de la fonction d'appartenance ;

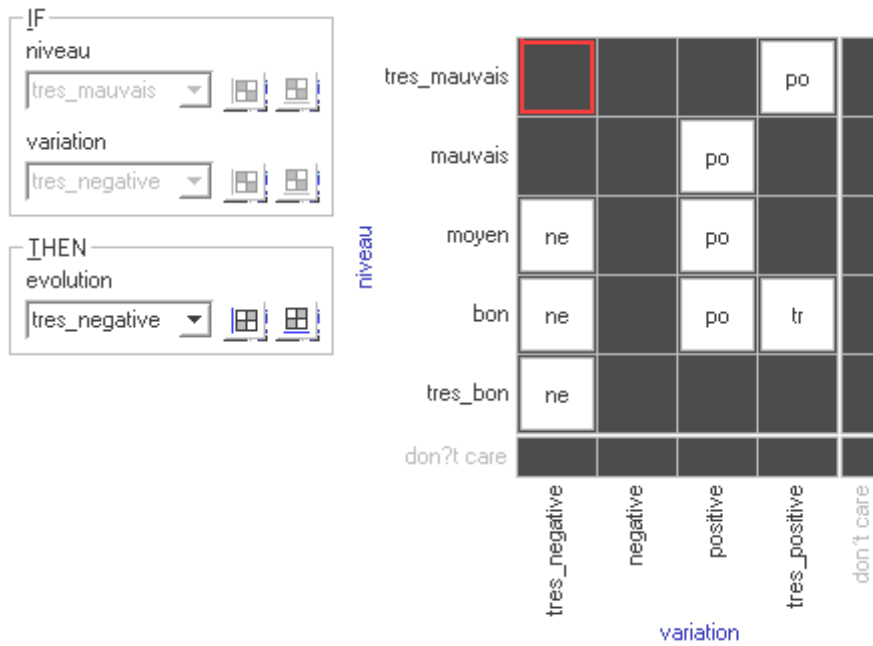
la valeur en sortie A est donnée par :

$$A = \frac{(\mu_{tn}(e) \cdot -5) + (\mu_n(e) \cdot -2) + \mu_z(e) \cdot 0 + \mu_p(e) \cdot 2 + \mu_{tp}(e) \cdot 5}{\mu_{tn}(e) + \mu_n(e) + \mu_z(e) + \mu_p(e) + \mu_{tp}(e)}$$

voici un exemple de règles :

IF		THEN	
niveau	variation	DoS	evolution
tres_bon	tres_negative	1.00	negative
bon	tres_negative	1.00	negative
moyen	tres_negative	1.00	negative
moyen	positive	1.00	positive
bon	tres_positive	1.00	tres_positive
bon	positive	1.00	positive
mauvais	positive	1.00	positive
tres_mauvais	tres_positive	1.00	positive

La figure ci-dessous illustre une autre présentation des règles.



8.2 Consistance:

On utilise un SIF particulier pour calculer la consistance des actions de l'élève sur son modèle. Deux variables en entrée : *fréquence* et *variation* pour obtenir en sortie *consistance* : la figure 4.7 ci-dessous illustre le *SIF consistance*.

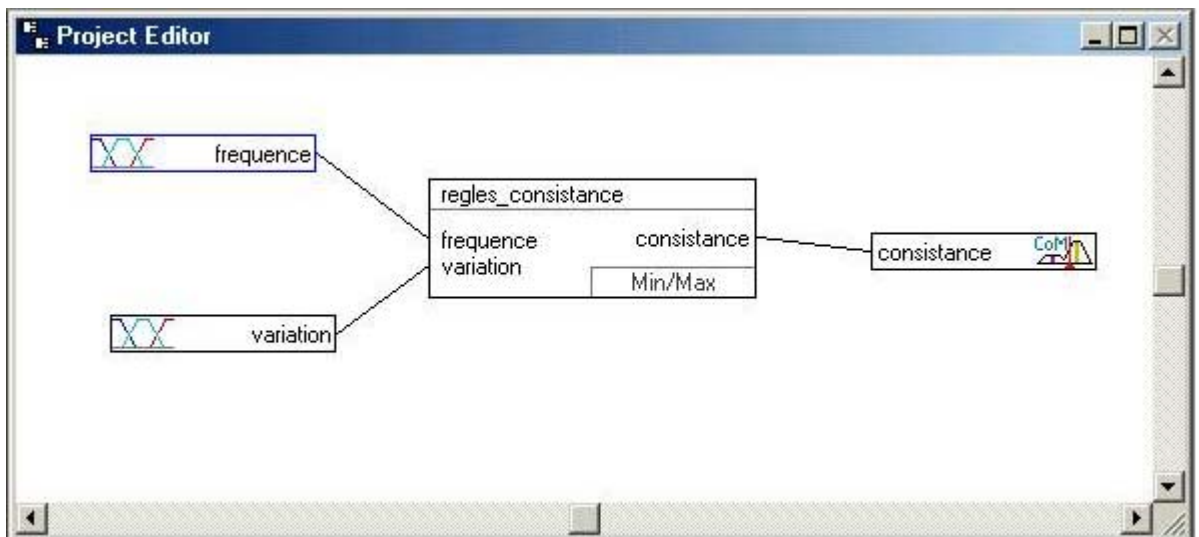
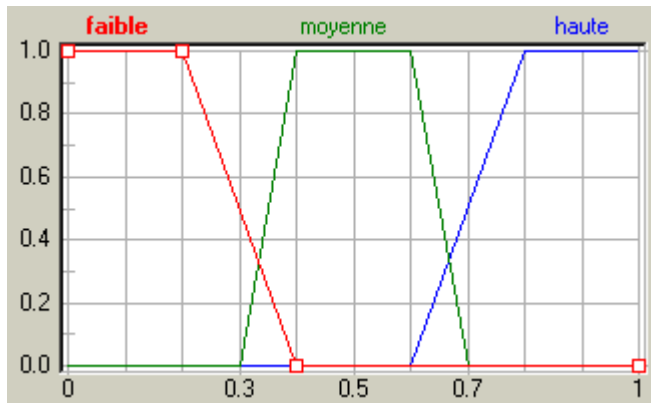


Figure 4.7. SIF consistance.

fréquence :

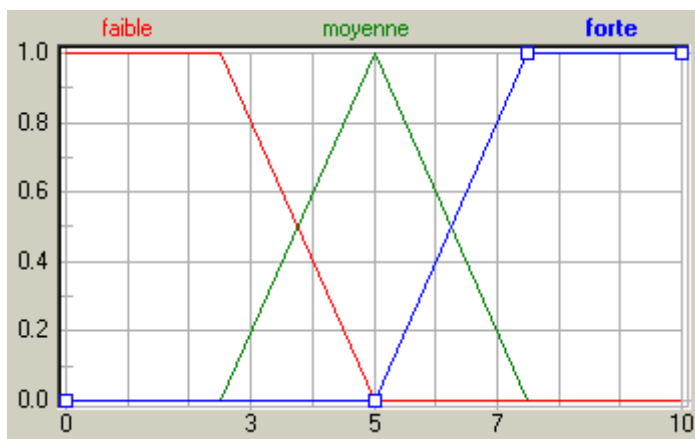
On utilise les mêmes valeurs utilisées pour le SIF de régulation du pouvoir.



Variations :

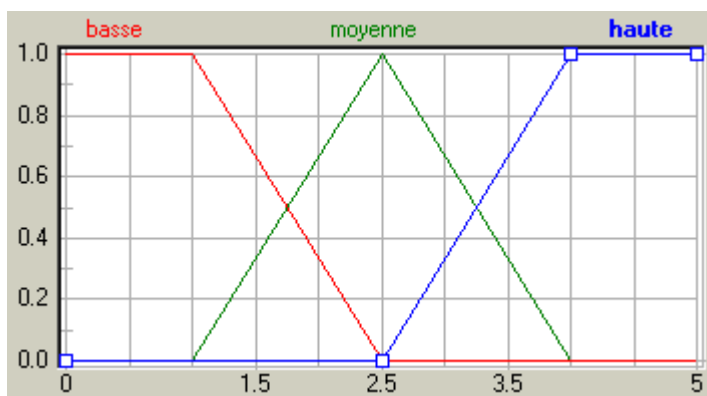
Variable linguistique qui prend les valeurs linguistiques : *faible*, *moyenne*, *forte*. Indique, sur l'intervalle utilisé pour calculer la fréquence, la disparité des changements effectués par l'élève sur son modèle.

La figure ci-dessous illustre la fonction d'appartenance :



consistance :

En sortie la variable linguistique consistance est définie par sa fonction d'appartenance :



La valeur en sortie est calculée par la méthode CoM :

$$C = \frac{(\mu_b(e) \cdot 0.5) + \mu_m(e) \cdot 2.5 + \mu_h(e) \cdot 4.5}{\mu_b(e) + \mu_m(e) + \mu_h(e)}$$

les règles utilisées sont:

Si variations forte alors consistance basse.

Si variation faible et fréquence haute alors consistance haute.

8.3 Régulation du pouvoir de l'élève:

On définit le SIF suivant : Quatre variables en entrée pour avoir en sortie la variation dans le pouvoir de l'élève (figure 4.8).

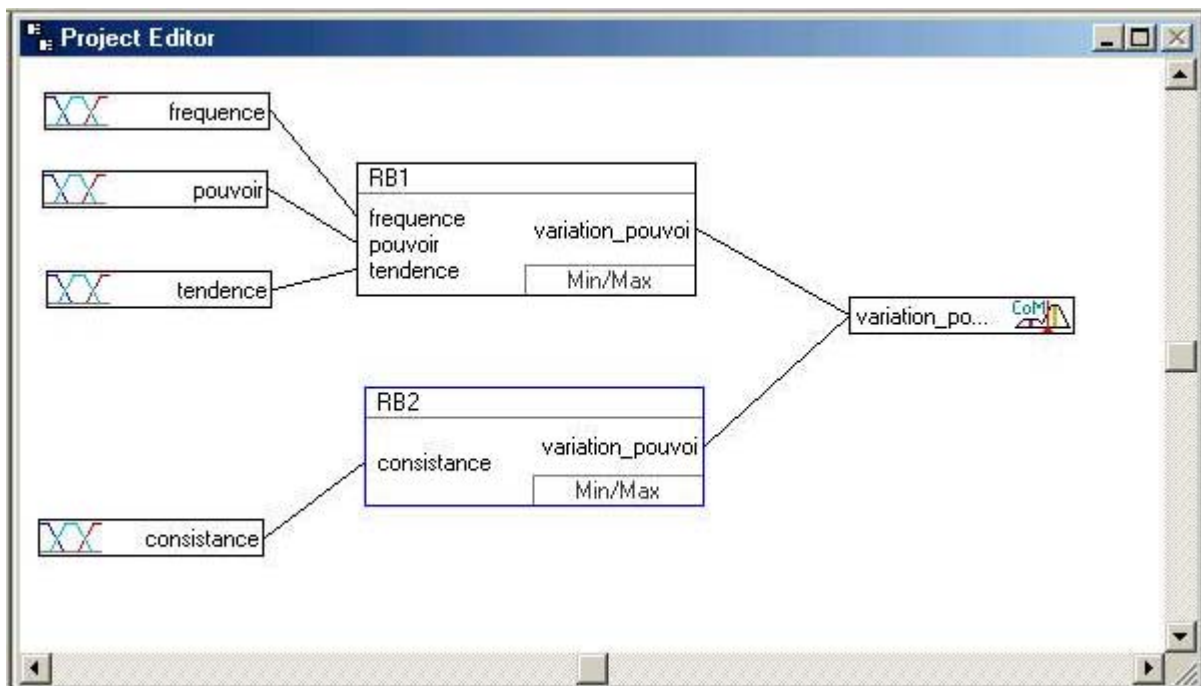
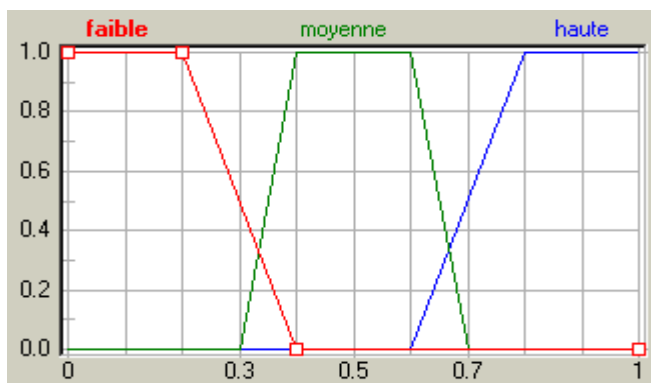


Figure 4.8 : Sif régulation du pouvoir de l'élève.

fréquence :

La variable linguistique fréquence peut prendre les valeurs linguistiques : faible, moyenne, haute. Ci-dessous la fonction d'appartenance.



La valeur en entrée e est calculée à chaque fois à partir du moment où l'élève effectue une action sur son modèle (nouveau K_e^i) pendant un certain temps t et par rapport à un certain nombre d'actions n .

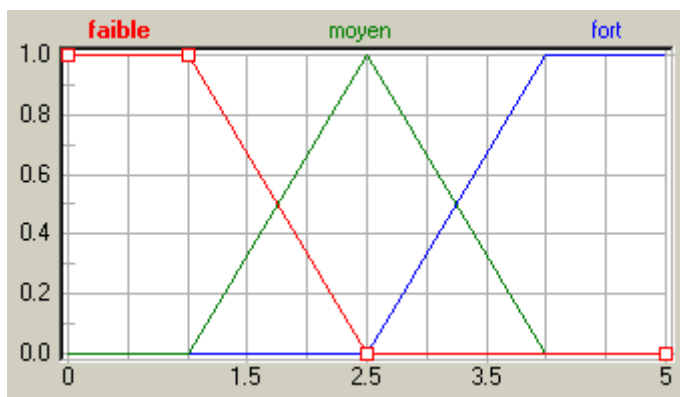
$$e = n_a/n$$

n_a : nombre de modification sur c_i .

***pouvoir* :**

La variable linguistique *pouvoir* peut prendre les valeurs linguistiques : *faible*, *moyen*, *fort*.

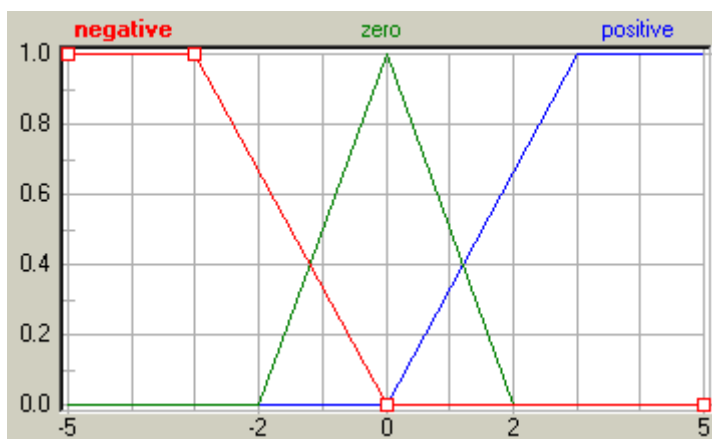
Ci-dessous la fonction d'appartenance.



***tendance* :**

La variable linguistique *tendance* peut prendre les valeurs linguistiques : *négative*, *zéro*, *positive*.

Ci-dessous la fonction d'appartenance.



La tendance est une valeur calculée par le système en dépistant sur un intervalle de temps $[t-n, t]$ les variations dans les niveaux consécutifs constatés par le système.

Une règle simple est utilisée :

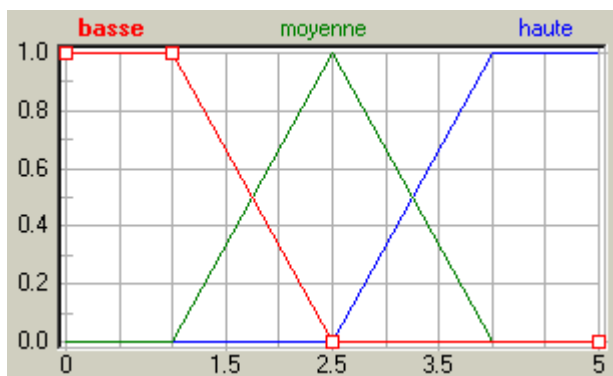
Si $K_{S_{t+1}} > K_{S_t}$ alors +tendance.

Si $K_{S_{t+1}} < K_{S_t}$ alors -tendance.

consistance :

Concerne la consistance dans les actions de l'élève sur c_i de son modèle reflète l'assurance de l'élève. Des actions consistantes indiquent un élève sûr de lui, une consistance faible indique une indécision chez l'élève.

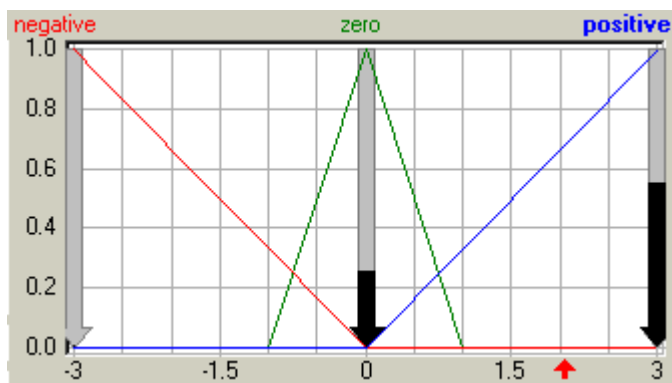
Ci-dessous la fonction d'appartenance.



variation pouvoir :

La variable linguistique en sortie *variation pouvoir* peut prendre les termes linguistiques : *negative*, *zéro*, *positive*.

Ci-dessous la fonction d'appartenance.



on utilise la méthode CoM avec la formule pour calculer la valeur précise de la variation à effectuer sur le pouvoir :

$$V = \frac{\mu_n(e) \cdot (-3) + \mu_z(e) \cdot 0 + \mu_p(e) \cdot 3}{\mu_n(e) + \mu_z(e) + \mu_p(e)}$$

ci-dessous un exemple de règles floues pour l'obtention de la variation à apporter pour réguler le pouvoir de l'élève.

IF			THEN	
frequence	pouvoir	tendance	DoS	variationpouvoir
mediun		positive	1.00	positive
high		positive	1.00	positive
	high	negative	1.00	negative

Méta-descripteurs... à la demande.

Le niveau I de la modélisation concerne généralement tout le domaine, c à d un indicateur est maintenu durant toutes les sessions d'apprentissage pour tous les éléments du domaine . Concernant les méta-descripteurs (Niveau II) il semble qu'une politique à la demande soit la plus adaptée, en effet, selon les besoins du système tels ou tels méta-descripteurs sont créés est pris en compte. La figure 4.9 illustre cette politique :

⇒ : demande.

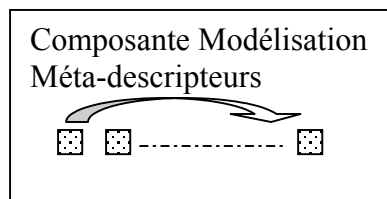


Figure 4.9 : Les demandes internes/externes sur les métadescripteurs.

Les demandes sur les méta-descripteurs peuvent être internes (le cas de la régulation du pouvoir demandant la consistance, la fréquence,...) ; ou externes par d'autres composantes comme le module pédagogique ou même par des agents humains comme l'élève lui même (ou pairs), enseignants, ou parents.

9. Conclusion et perspectives

On a cherché dans ce travail à donner un schéma global pour la modélisation de méta descripteurs qui vont servir d'entrées pour les décisions pédagogiques.

Le point abordé est celui du pouvoir de l'élève sur son modèle, point selon nous d'une importance capitale si on veut parler d'ouverture du modèle. Notre objectif est d'adapter au mieux cette ouverture aux préférences de l'élève et à ces capacités méta cognitives. On a utilisé les systèmes d'inférence flous et ce choix s'est avéré meilleur que d'autres pistes que nous avons explorées (réseau bayésien, et réseaux bayésien temporels) et qui ont montré certains points négatifs surtout par rapport à l'externalisation du modèle.

Les perspectives sont multiples ; on s'aperçoit que le pouvoir utilise d'autres méta descripteurs comme la consistance et la fréquence qu'on a modélisées plus 'légèrement' ; Ce qui nous amène chercher dans cette direction, considérant que chaque méta descripteur né à la demande d'un agent externe au module de modélisation de l'élève ou à la demande d'un autre méta descripteur.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [Albi 2001] Neena Albi, Open architecture based intelligent tutoring systems on the Internet, partial fulfillment report (2001), Massey University, Palmerston North, New Zealand
- [Bensebaa 1991] T. Bensebaa " Conception et réalisation d'un tuteur pour la formation en milieu industriel. Application à la gestion d'un didacticiel cimentier". Thèse de doctorat, INSA de Lyon,. 1991.
- [Brent 2001] Brent. I. Martin "intelligent tutoring systems: The practical implementation of constraint-based modelling". Thèse de doctorat, University of Canterbury , New Zealand. 2001.
- [Brna 2002] Brna, P., Dimitrova, V., Self, J. (2002). The Design and Implementation of a Graphical Communication Medium for Interactive Open Learner Modelling. In S. Cerri, G. Gouaderes & F. Paraguacu (eds) Intelligent Tutoring Systems, Proceedings of ITS2002.
- [Bull 1999] Bull, S., Brna, P., Critchley, S., Davie, K. & Holzherr, C. (1999). The Missing Peer, Artificial Peers and the Enhancement of Human-Human Collaborative Student Modelling, in S.P. Lajoie & M. Vivet (eds), Proceedings of International Conference on Artificial Intelligence in Education, IOS Press, Amsterdam, 269-276
- [Bull 2001] Bull, S., Greer, J., McCalla, G., Kettel, L. & Bowes, J. (2001). User Modelling in I-Help: What, Why, When and How, in M. Bauer, P.J. Gmytrasiewicz & J. Vassileva (eds), User Modeling 2001: 8th International Conference, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 117-126.
- [Bull 2003] Bull, S., McEvoy, A.T. & Reid, E. (2003). Learner Models to Promote Reflection in Combined Desktop PC/Mobile Intelligent Learning Environments, in S. Bull, P. Brna & V. Dimitrova (eds), Proceedings of Workshop on Learner Modelling for Reflection, Supplemental Proceedings Volume 5, International Conference on Artificial Intelligence in Education 2003, University of Sydney, 199-208.
- [Bull 2004] Bull, S. (2004). Supporting Learning with Open Learner Models, Proceedings of 4th Hellenic Conference with International Participation: Information and Communication Technologies in Education, Athens, Greece
- [Bull 2004b] Bull, S. & McKay, M. (2004). An Open Learner Model for Children and Teachers: Inspecting Knowledge Level of Individuals and Peers, in J.C. Lester, R.M. Vicari & F. Paraguacu (eds), Intelligent Tutoring Systems: 7th International Conference, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 646-655
- [Carchiolo 2003] Vincenza Carchiolo, Alessandro Longheu, Michele Malgeri and Giuseppe Mangioni, Courses Personalization in an E-learning environment, Proceedings of the The 3rd IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT'03)
- [Cimolino 2003] Cimolino, L., Kay, J., Miller, A.: Incremental student modelling and reflection by verified concept-mapping. In Supplementary Proceedings of the AIED2003: Learner Modelling for Reflection Workshop (2003)
- [Crowley 2003] Crowley RS, Medvedeva O. (2003), A general architecture for intelligent tutoring of diagnostic classification problem solving, AMIA Annu Symp Proc. 2003;:185-9.
- [Danine 2003] Abderrahim Danine , MODÉLISATION DE L'APPRENANT : PROPOSITION D'UNE NOUVELLE APPROCHE DE DIAGNOSTIC ET DE REMÉDIATION, UQAM , PRÉSENTATION DU PROJET DE RECHERCHE , Juin 2003,

- [Danna 1997] Frédéric Danna, Modélisation de l'apprenant dans un logiciel d'enseignement intelligemment Assisté par Ordinateur – Application à un tutoriel intelligent dédié aux composés anglais. Université de Rennes 1 , 1997
- [Delestre 2000] Nicolas Delestre, METADYNE Un hypermedia Adaptatif Dynamique pour l'Enseignement, thèse doctorat, université Rouen, 2000
- [Dimitrova 2000a] Dimitrova, V., Self, J.A., & Brna, P. (2000). Maintaining a jointly constructed student model. In S.A. Cerri & D. Dochev (Eds.), Artificial intelligence: Methodology, systems, and applications (pp. 221-231). Berlin: Springer, Lecture Notes of Artificial Intelligence
- [Dimitrova 2000b] Dimitrova V., Self J., Brna P. (2000) Involving the learner in diagnosis: Potentials and Problems. In: WITREC 2000, Stefano A. Cerri & Daniele Maraschi (eds), Montpellier, France, 2-4 May 2000, 194-204
- [Dimitrova 2000c] Dimitrova, V., Self, J., Brna, P. (2000), Involving the Learner in Diagnosis - Potentials and Problems. Tutorial at Web Information Technologies: Research, Education and Commerce, Montpellier, France
- [Dimitrova 2002] Dimitrova, V. (2002). Interactive cognitive modelling agents – potential and challenges. In Brna, P. and Dimitrova, V. (eds.), Proceedings of Workshop on Individual and Group Modelling Methods that Help Learners Understand Themselves, ITS2002, 52-62
- [Dimitrova 2003a] Dimitrova, V. Diagnostic interactions that promote learner reflection in: Bull, S, Brna, P & Dimitrova, V (editors) Proceedings of Workshop on Learner Modelling for Reflection, held in conjunction with the 11th International Conference on Artificial Intelligence in Education. 2003.
- [Dimitrova 2003b] Vania Dimitrova: Using Dialogue Games to Maintain Diagnostic Interactions. User Modeling 2003: 117-121
- [Dimitrova 2003c] Dimitrova, V.: Style-olm: Interactive open learner modelling. Int. Journal of Artificial Intelligence in Education 13 (2003) 35-78, 2003
- [Eshaa 2002] Eshaa M. Alkhalifa, Layla AlDallal (2002) : Mirror Modeler: A Web Based Interactive Mathematics Modeling System International Conference on Computers in Education, ICCE 2002, December 3-6, 2002, Auckland, New Zealand. IEEE Computer Society, 2002, ISBN 07695-1509-6, Volume 1.
- [Gonzalo 2004] Gonzalo Méndez, Pilar Herrero, Angélica de Antonio: Intelligent Virtual Environments for Training in Nuclear Power Plants. Proceedings of the 6th International Conference on Enterprise Information Systems, Porto, Portugal, April 14-17, 2004 ICEIS (2) 2004
- [Grigoriadou 2003] Grigoriadou M., Tsaganou G., Cavoura Th., Dialogue-Based Reflective System for Historical Text Comprehension, Proceedings of the 11th International Conference on Artificial Intelligence in Education Workshop: Learner Modelling for Reflection (AIED 2003), Sydney, Australia, 238-247, 003.
- [Hong 2004] Hong H. & Kinshuk (2004). Adaptation to Student Learning Styles in Web Based Educational Systems. Dans L. Cantoni & C. McLoughlin (Eds.) Proceedings of ED-MEDIA 2004 - World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia & Telecommunications (June 21-26, 2004, Lugano, Switzerland), USA: AACE, 491-496 (ISBN 1-880094-53-3),
- [http-Bruillard] <http://www.edusud.org/ressources/ntic/esm/> , Cours sur les NTIC, intitulé « Enseignement sur mesure, Aspects historiques, EAO, tuteurs, micromondes, hypertextes », chapitre de Bruillard, E. professeur en informatique à l'IUFM de Caen.
- [Jeremic 2004] Zoran Jeremic, Vladan Devedžic (2004) Design Pattern ITS: Student Model Implementation. IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT'04) August

- 30 - September 01, 2004 Joensuu, Finland
- [Kavcic 2004] Alenka Kavčič, Rafael Pedraza Jiménez, Harold Molina Bulla, Francisco J. Valverde Albacete, Jesús Cid-Sueiro and Angel Navia Vázquez, "Fuzzy Student Model in InterMediActor Platform", Proceedings of the 26th International Conference on Information Technology Interfaces ITI 2004, Cavtat/Dubrovnik, Croatia, June 2004.
- [Kay 1995] Kay, J., The um toolkit for cooperative user modelling. *User Modeling and User-Adapted Interaction* 4 (1995) 149–196
- [Kay 2004] Kay, J and A Lum, (2004) Ontologies for Scrutable Student Modelling in Adaptive E-Learning, in Aroyo, L, E D Dicheva (eds), Workshop on Applications of Semantic Web Technologies for Educational Adaptive Hypermedia .
- [Mabbott 2004] Mabbott, A. & Bull, S. (2004). Alternative Views on Knowledge: Presentation of Open Learner Models, in J.C. Lester, R.M. Vicari & F. Paraguacu (eds), *Intelligent Tutoring Systems: 7th International Conference*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 689-698.
- [Margarida 2004] Margarida ROMERO : Métacognition dans les EIAH. Juin 2004 , LIUM. Le Mans .
- [Mayo 2001] Michael John Mayo 'Bayesian Student Modelling and Decision-Theoretic Selection of Tutorial Actions in Intelligent Tutoring Systems'. Thèse de doctorat, University of Canterbury , New Zealand. 2001.
- [Mazza 2002] Riccardo Mazza, External Representation Of The Student's Knowledge In A Web-Based Learning Environment, *International Conference on Intelligent Tutoring Systems, Young Researchers Program, Biarritz, June 5-7, 2002*
- [Mazza 2004] Mazza, R; Dimitrova, V. Visualising student tracking data to support instructors in web-based distance education in: *Proceedings of the 13th International World Wide Web Conference (WWW04)*, pp. 154-161 ACM Press. 2004
- [McCalla 1994] McCalla, G.I. and Greer, J.E. "Granularity-Based Reasoning and Belief Revision in Student Models" *Student Models: The Key to Individualized Educational Systems*, J. Greer and G. McCalla (eds.), New York: Springer Verlag, 1994, 39-62.
- [McCalla 2003] Collene Hansen and Gord McCalla. Active Open Learner Modelling. *Proceedings of the 11th International Conference on Artificial Intelligence in Education Workshop: Learner Modelling for Reflection (AIED 2003)*, Sydney, Australia, 2003
- [MENDELSON 1991] Patrick MENDELSON et Pierre DILLENBOURG «Le développement de l'enseignement intelligemment assisté par ordinateur». Conférence donnée à la réunion de : Association de Psychologie Scientifique de Langue Française Symposium Intelligence Naturelle et Intelligence Artificielle Rome, 23-25 septembre 1991
- [Mircea 2004] Mircea Gh. Negoita and David Pritchard 2004, Using a virtual student model for testing intelligent tutoring systems. *Dans Interactive Technology & Smart Education (2004) 1*: 195–203. © 2004 Troubador Publishing Ltd.
- [Mitrovic 2001] Antonija Mitrovic, Michael Mayo, Pramuditha Suraweera, Brent Martin: Constraint-Based Tutors: A Success Story. *IEA/AIE 2001*: 931-940. The Fourteenth International Conference on Industrial & Engineering Applications of Artificial Intelligence & Expert Systems June 4-7, 2001 Budapest, Hungary.
- [Mitrovic 2001b] Mitrovic, A. (2001). Investigating students' self-assessment skills. In Bauer, M., Vassileva, J., and Gmytrasiewicz, P. (Eds.), *User Modeling: Proceedings of the Eighth International Conference, UM2001*, pages 247–250. Berlin: Springer

- [Mitrovic 2002] Mitrovic, A. & Martin, B. (2002). **Evaluating the Effects of Open Student Models on Learning**, in P. De Bra, P. Brusilovsky & R. Conejo (eds), *Proceedings of Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems*, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 296-305
- [Niu, 2002] Xiaolin Niu. Purpose Based Learner Modelling. Proceedings of the Grad Symposium, CS Dept, University of Saskatchewan, 2002.
- [Paiva 1995] Paiva, A. et al. (1995) Externalising learner models, Proceedings of World Conference on Artificial Intelligence in Education, Washington DC, 509-516
- [paiva 1994] A. Paiva, J. Self and Roger Hartley (1994) 'On the Dynamics of Learner Models', ECAI'94 - European Conference on Artificial Intelligence, 1994.
- [Ragnemalm 1999] Eva L.Ragnemalm (1999), Student modeling based on Collaborative Dialogue with a Learning Compagnion, Linkoping Studies in Science and Technology, Dissertation N°.563. Linkoping University, Sweden.
- [Rodet 2003] Rodet, J (2003), Autonomie et métacognition des apprenants à distance ; Url : http://www.ed4web.collegeem.qc.ca/prof/hgenge/universite/psy_1085d/psy_1085d_14.pdf
- [Rueda 2003] U Rueda, M Larrañaga, B Ferrero, A Arruarte & JA Elorriaga Study of Graphical Issues in a Tool for Dynamically Visualising Student Models, Proceedings of the 11th International Conference on Artificial Intelligence in Education Workshop: Learner Modelling for Reflection (AIED 2003), Sydney, Australia, 2003
- [Rueda 2004] U. Rueda, M. Larrañaga, A. Arruarte, J. A. Elorriaga. Applications of a Concept Mapping Tool. In A.J. Cañas, J.D. Novak & F.M. González (Eds.). Proc. of the Concept Map Conference 2004, Concept Maps: Theory, Methodology, Technology,.
- [Sampson 2002] Sampson D., Karagiannidis C. & Kinshuk (2002). Personalised Learning: Educational, Technological and Standardisation Perspective. *Interactive Educational Multimedia*, 4, 24-39 (ISSN 1576-4990)
- [Self 1990] John Self (1990), Bypassing the Intractable Problem of Student Modelling , AAI/AI-ED Technical Report No.41 , (in C. Frasson and G. Gauthier (eds.)), *Intelligent Tutoring Systems:at the Crossroads of Artificial Intelligence and Education*,107-23, Norwood, N.J.: Ablex)
- [Self 1994] John Self, The Role of Student Models in Learning Environments, AAI/AI-ED Technical Report No.94, 1994
- [Shareef 2003] Shareef A. F. & Kinshuk (2003). Student Model for Distance Education System in Maldives. In A. Rossett (Ed.) *Proceedings of E-Learn 2003* (November 7-11, 2003, Phoenix, Arizona, USA), Norfolk, VA, USA: AACE, 2435-2438 (ISBN 1-880094-50-9)
- [Stathacopoulou 1999] Stathacopoulou R. , Magoulas G.D. and Grigoriadou M., Neural network-based fuzzy modeling of the student in intelligent tutoring systems, in *Proceedings of the INNS-IEEE International Joint Conference on Neural Networks*, Washington, U.S.A., July 1999.
- [Tchounikine 2002] Pierre Tchounikine : Pour une ingénierie des Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain, *Revue I3 information, interaction, intelligence* 2(1) p.59-95, 2002
- [Tricot 2003] Tricot, A., Plégat-Soutjis, F., Camps, J.-F., Amiel, A., Lutz, G., & Morcillo, A. (2003). Utilité, utilisabilité, acceptabilité : interpréter les relations entre trois dimensions de l'évaluation des EIAH. In C. Desmoulin, P. Marquet & D. Bouhineau (Eds). *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain* (pp. 391-402). Paris : ATIEF / INRP

- [Tsiriga 2002] Tsiriga, V. and Virvou, M. (2002). "Dynamically Initializing the Student Model in a Web-based Language Tutor", In Proceedings of the 2002 First International IEEE Symposium Intelligent Systems (IS 2002), Vol. I, pp. 138-143.
- [Tsiriga 2003] Tsiriga, V. & Virvou, M. (2003). Initializing Student Models in Web-based ITSs: a Generic Approach. Dans Devedzic, V., Spechtor, M.J., Sampson, D.G. and Kinshuk (eds.) Proceedings of the 3rd IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, pp. 42-46, Los Alamitos: IEEE Computer Society Press
- [Virvou 1999] Maria Virvou, Victoria Tsiriga, EasyMath: A multimedia Tutoring System for Algebra, dans Collis, B. & Oliver, R. (Eds.) Proceedings of ED-MEDIA 99, World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia & Telecommunications, Vol. 2, pp. 933-938, Charlottesville, VA: AACE, 1999.
- [Virvou 2000] Virvou M. and Tsirigara V. (2000.) Involving effectively teachers and students in the life cycle of an Intelligent Tutoring System. Educational Technology & Society 3(3): 511-521.
- [Vries 2001] Erica de Vries, Les logiciels d'apprentissage : panoplie ou éventail ?, Laboratoire des Sciences de l'Education, Université Pierre-Mendès-France de Grenoble, Revue Française de Pédagogie, 2001
- [Webber 2003] Carrine WEBBER, Modélisation informatique de l'apprenant Une approche basée sur le modèle cKc et la théorie de l'émergence, thèse de Doctorat à l'université Joseph Fourier, Juin 2003
- [Xu 2002] "Intelligent Student Profiling with Fuzzy Models", IEEE, 35th Hawaii International Conference on System Science, January 2002 Hawaii.
- [Yaratan 2003] Asst. Prof. Dr. Huseyin Yaratan : Intelligent Tutoring System: A Tool for Testing the Research Curiosities of Artificial Intelligence Researchers . The Turkish Online Journal of Educational Technology - TOJET July 2003
- [Zapata 2001] Zapata-Rivera, J.D., & Greer, J.E. (2001) Externalising Learner Modelling Representations. Proceedings of the Workshop on External Representations of AIED: Multiple Forms and Multiple Roles. AIED2001. 71-76
- [Zapata 2002] Zapata, J.D. & Greer, J.(2002):—"Collaborative Construction and Inspection of Learner Models". Proceedings of the International Conference on Computer Support for Collaborative Learning (CSCL2002); Colorado.
- [Zapata 2003] Zapata-Rivera, J.D., & Greer, J. (2003). Analysing Student Reflection in The Learning Game. . Proceedings of the 11th International Conference on Artificial Intelligence in Education Workshop: Learner Modelling for Reflection (AIED 2003), Sydney, Australia, 2003
- [Zhou 1999] Zhou, Y., and Evens, M. 1999. A practical student model in an intelligent tutoring system. Dans 11th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence, number 11, 13--18. 11