Une nouvelle approche pour l'EIAO

Jean-Marc LABAT

Résumé :

La conception des Tuteurs Intelligents a évolué depuis la fin des années 80 dans deux directions : sur le plan théorique, en développant une nouvelle conception de la construction des savoirs et à l'interface entre théorie et pratique avec la notion de modèle "au niveau connaissance". En revanche, en s'appuyant sur le cas du système QUIZ, nous montrons que les problèmes demeurent sur le plan pratique. C'est pourquoi nous proposons une nouvelle démarche qui consiste à faire travailler l'apprenant avec un résolveur de problèmes d'un niveau nettement inférieur au niveau expert. Cette idée est un facteur motivant pour l'apprenant puisqu'il est encouragé à critiquer la résolution faite par le système. D'où le nom de "Défi à l'ordinateur" pour définir cette approche. Plus généralement, nous souhaitons ne pas considérer les logiciels d'enseignement comme des systèmes autonomes mais comme des outils cognitifs au service de l'enseignant humain, n'intervenant dans le processus éducatif que sous le contrôle étroit de l'enseignant.

Abstract :

During the last ten years, the design of Intelligent Tutoring System (ITS) has evolved on two ways : From a theorical point of view, by developing new ideas about knowledge acquisition by human and by introducing the concept of "knowledge level". But, basing ourselves on our own experience, developping the QUIZ system, we think that, from a practical point of view, the inferences are not drawn, neither about the evolution of the theorical point of view, neither about the tremendous difficulties to realise an ITS. It is why we propose a new approach based on the use of a non-expert problem solver. In this case, the apprenticeship of non-beginners mainly consists to find the weaknesses of the problem solver, analysing the differences between the computer solution and theirs. It appears to us that the learner is encouraged to acquire deep knowledge and that this approach can be very motivating for him. It is why we call this approach "CHALLENGE the COMPUTER".

LAFORIA-IBP, Université Pierre et Marie Curie, Tour 46-00, 4 Place Jussieu, F-75252, Paris, FRANCE.

Tél. +33 (1) 44 27 70 02 Fax. +33 (1) 44 27 70 00 e-mail: labat@laforia.ibp.fr

I Introduction

A l'heure actuelle, il est devenu banal de critiquer l'EIAO, et tout particulièrement les Tuteurs Intelligents (TI). Cette remise en cause est même profonde puisque, comme le fait remarquer [DILLENBOURG, 94], les critiques sont à la fois d'ordre technique et d'ordre théorique. Suite à ce constat, la recherche en EIAO a progressé dans deux directions :

* Sur le plan théorique, grâce à des échanges et des travaux pluridisciplinaires menés avec des chercheurs en psychologie cognitive, en didactique et en sciences de l'éducation, la conception de la construction des savoirs, socle cognitif de l'EIAO, a largement évolué : on peut citer le nouveau statut des explications, l'affirmation du caractère social et contextuel de la connaissance, le rôle du diagnostic sur les capacités métacognitives de l'apprenant .

* A l'interface entre théorie et pratique, il y a eu également des évolutions notables : nécessité de décrire les modèles du système "au niveau connaissance" [NICAUD, 94] , premières approches d'une méthodologie de développement, prise en compte des situations d'apprentissage dans un contexte plus large [VIVET, 91].

Cependant, comme [BRUILLARD & VIVET, 94] le note, la prise en compte de ces multiples facettes s'est traduite jusqu'à maintenant par une augmentation de la complexité des systèmes informatiques qu'il faut écrire. Et c'est justement là que le bât blesse car, sur le plan pratique, les réalisations sont restées généralement très en retrait par rapport aux évolutions mentionnées ci-dessus. Il nous semble donc impossible d'accepter d'augmenter la complexité des systèmes d'EIAO alors même qu'elle était déjà trop grande auparavant !

Nous proposons dans cet article une nouvelle approche pour l'EIAO qui essaye de concilier les évolutions récentes sur le plan théorique avec les nécessités des réalisations informatiques. Ce n'est donc pas un point de vue purement pragmatique qui nous guide. Bien sûr, dans la mesure où le nouveau projet commence tout juste, cet article a un côté spéculatif mais les idées présentées reposent largement sur l'expérience de la réalisation de QUIZ[1] et l'analyse que nous en avons faite…

[1] QUIZ est une maquette de tuteur intelligent réalisée par Michel Futtersack et Jean-Marc Labat et qui a donné lieu à la soutenance de deux thèses d'Université en 1990

II Les leçons de QUIZ…et des autres

Rappelons d'abord en quelques mots les principales caractéristiques du tuteur intelligent QUIZ. QUIZ a pour objet d'enseigner les enchères au Bridge. C'est un système distribué qui comprend quatre agents hétérogènes ayant chacun son propre espace de travail, son propre langage de représentation des connaissances et communiquant avec les autres par des envois de messages asynchrones. L'agent principal est le "tuteur" qui contient un planificateur pédagogique dynamique [FUTTERSACK & LABAT, 93] et qui met à jour le modèle de l'élève (de type "overlay model"). Le deuxième agent est, comme il se doit dans un tuteur intelligent, le résolveur de problèmes qui est un système expert d'enchères au Bridge. Le troisième est l'agent explicateur qui est également réalisé sous forme d'un système expert. Enfin, le dernier agent est un générateur de problèmes sous contraintes qui est une procédure générant deux mains de treize cartes.

L'un des objectifs majeurs recherchés était d'atteindre la plus grande flexibilité pédagogique possible [LABAT & FUTTERSACK, 92]. Pour cela, deux niveaux de flexibilité ont été définis. Au niveau stratégique, la flexibilité portait sur la détermination du curriculum, le choix d'une stratégie pédagogique et le degré d'expertise du résolveur de problèmes. Au niveau tactique, la flexibilité résultait du choix des exercices, des aides, des corrections et des explications. Une idée supplémentaire consistait à remarquer que, dans la mesure où les commentaires du TI au niveau tactique reviennent souvent, l'historique de la session est plus important que le modèle de l'apprenant pour choisir les contenus des commentaires [LABAT, 1992].

Examinons maintenant les principales faiblesses de QUIZ[1], ou, plus exactement, celles que nous pensons réduire grâce à notre nouvelle approche. Les défauts que nous avons identifiés proviennent fondamentalement de la conception qui prévalaient au cours des années 80 sur la construction des savoirs qui était vue comme une activité individuelle, avec l'ordinateur dans le rôle de précepteur. D'où une architecture en trois modules, module pédagogique-module expert-modèle de l'apprenant. Avec le recul, cette idée selon laquelle l'ordinateur doit jouer le double rôle d'expert du domaine et de précepteur nous paraît être une fausse bonne idée. Nous allons tenter de montrer pourquoi.

[1] Sans parler du fait que QUIZ a été développé sur un IBM 4381 avec des terminaux alphanumériques (!) , dans la mesure où ce choix de machines ne relevait pas de notre ressort.

En premier lieu, dans QUIZ comme dans les autres TI, les conditions et les besoins nécessaires à un apprentissage en profondeur des connaissances ne sont pas ou peu considérées : la mise en évidence des interrelations entre concepts, le contrôle de l'apprenant sur son activité d'étude, la centration de l'attention, la sélection des énoncés-clefs sont des besoins guère respectés. Un autre aspect qui commence seulement à être pris en compte est l'aspect social dans la construction des savoirs. Il est donc important qu'il soit prévu une interaction entre apprenants humains. De ce point de vue, rien n'était prévu dans QUIZ. Quant aux recherches actuelles sur la simulation d'un co-apprenant par l'ordinateur, elles ne nous semblent pas, au moins à court terme, de nature à apporter des réponses au problème posé, d'autant plus que cela complique encore la conception et la réalisation des TI.

En second lieu, la conception des TI entraîne une complexité telle qu'il est extrêmement difficile de mener un projet à son terme. Cette complexité porte sur les deux rôles du TI :

Sur le plan de la résolution de problèmes, il faut que le système soit très performant, d'autant plus qu'il faut pouvoir se passer de la présence de l'enseignant humain. C'est ainsi que, dans QUIZ, nous nous sommes lancés dans la construction d'un système expert d'enchères au Bridge de haut niveau. Si nous avons effectivement obtenu un résolveur de bon niveau ***pour la partie développée***, nous avons constaté que, au delà d'un certain seuil (quand nous avons cessé le développement du résolveur, nous avions plus de 400 règles d'ordre un, tout en étant à peine au quart de l'estimation du nombre de règles nécessaires), la complexité et le temps de développement augmentaient de manière exponentielle. Malgré la modularité des règles, la mise au point devient de plus en plus complexe et longue (ne serait-ce qu'à cause de la compilation de la base de règles). Une difficulté supplémentaire provient de la nécessité reconnue d'avoir une résolution "pédagogique" avec plusieurs niveaux d'expertise disponible.

Sur le plan pédagogique aussi, les problèmes de développement sont énormes. Pour que QUIZ soit un TI "flexible', nous avons du fournir une quantité très importante de travail de "développement" : chaque possibilité de flexibilité requiert un texte différent, chaque style pédagogique demande l'écriture de dizaines de plans (ou de règles) et ceci avec parfois d'infimes différences de contenu. Bien sûr, on peut objecter qu'il faut utiliser un module de génération automatique de textes plutôt que de vouloir rentrer tous les textes "en dur", ou qu'il faut un langage de plans de plus haut niveau

d'abstraction. Certes, mais cela ne simplifie certainement pas le problème ! Et on peut également évoquer le problème oh combien ardu de la modélisation de l'apprenant dont la granularité doit être comparable à celle des stratégies et tactiques pédagogiques existantes. **Et tout cela, pour obtenir à peine quelques dizaines de minutes d'enseignement !**

Il ne faut donc pas s'étonner si, souvent, la réalité est loin de la théorie (réalisation très incomplète et/ou restrictions drastiques des capacités réelles par rapport à la théorie).

- Enfin, malgré notre volonté initiale, la conception de QUIZ ne laisse pas de place à l'enseignant humain. QUIZ n'est pas conçu pour s'intégrer dans un cours collectif, ni même dans un cours particulier. De manière plus générale, au delà du discours, l'enseignant humain n'est pas réellement pris en compte, ni en EAO, ni en EIAO : soit le logiciel est conçu comme un produit autonome, soit il est considéré implicitement ou même explicitement que c'est l'enseignant qui doit s'adapter. Il en résulte que l'utilisation d'un logiciel d'EAO ne simplifie pas la tâche de l'enseignant mais, tout au contraire, lui complique. Cet état de fait a pour conséquence une résistance des enseignants, résistance compréhensible qui est certainement un des freins principaux au développement de l'EAO et encore plus de l'EIAO.

Ces trois défauts, auxquels il faut ajouter le manque d'intégration des outils Multimédia, ne sont pas spécifiques à QUIZ et font que l'EIAO, et même dans une certaine mesure l'EAO, n'ont pas connu le développement qui leur était promis.

III Apprentissage en profondeur des connaissances

Nous avons évoqué dans l'introduction les évolutions apparues dans la conception de la construction des savoirs. Précisons les éléments qui nous paraissent les plus pertinents.

L'apprentissage de connaissances ne peut se réduire à apprendre une suite de concepts isolés. Un domaine conceptuel n'est pas un ensemble de concepts côte à côte, mais au contraire un domaine conceptuel est caractérisé par la multiplicité des relations et la pluralité de leurs organisations. La construction des savoirs demande donc une démarche active de l'apprenant pour saisir ces schémas complexes. Celle-ci nécessite :

1) Une activité d'organisation qui conduit l'apprenant à élaborer un schéma d'ensemble car "c'est seulement lorsqu'il est intégré dans un système que le concept peut devenir conscient et volontaire" [VYGOTSKI, 34]. De plus, ce schéma ne doit pas être rigide, il doit sans cesse être adapté aux informations nouvelles et aux différents contextes car *le véritable savoir est dynamique*.

2) Une activité inférentielle qui lui permet d'acquérir des informations non explicitées. [VEZIN, 86] distingue les inférences logiques ou pragmatiques faites lors d'une activité déductive et l'abstraction de principes lors d'une activité inductive.

3) La confrontation des nouveaux savoirs avec ceux dont il disposait auparavant, afin d'intégrer ceux-ci dans ses schémas cognitifs et de résoudre les contradictions éventuelles ("la conciliation intégrative"). On retrouve ici la notion de "zone proximale de développement" [VYGOTSKI, 34] qui est définie comme la zone dans laquelle l'enfant ne sait pas résoudre des problèmes seul mais sait les résoudre en collaboration avec d'autres enfants ou avec des adultes.

4) Le contrôle délibéré sur son activité d'étude et sur les processus qui régissent cette activité. Ces savoirs métacognitifs (savoir quand on sait, savoir ce que l'on sait, savoir ce qu'on a besoin de connaitre) permettent aux apprenants de mieux réussir les situations [NOEL, 91].

La question qui se pose alors naturellement est de savoir comment l'enseignant peut aider l'apprenant dans cette appropriation en profondeur des savoirs puisque celle-ci ne peut avoir lieu qu'au prix d'une démarche volontaire et personnelle de sa part. Les réponses à cette interrogation sont (heureusement) multiples. Evoquons rapidemment les principales :

1) Introduire des modalités de guidage individuel [VEZIN, 86]
   L'objectif est d'aider à la centration de l'attention (ordre de présentation des énoncés, questions,…) et à l'organisation d'ensemble (plans hiérarchiques, résumés, énoncés-clefs).

2) Accroitre le degré de motivation
   Il est plus que connu que la motivation est un facteur-clé dans l'activité d'étude. L'une des manières de la développer consiste à montrer à l'apprenant

la distance entre son état du moment et le but à atteindre en lui proposant une tâche qu'il ne sera capable d'accomplir qu'en fin d'apprentissage.

3) Développer des capacités métacognitives

"Faire prendre conscience aux élèves qu'ils ne comprennent pas alors que ces derniers sont persuadés du contraire, confirmer qu'ils ont bien compris lorsque c'est vraiment le cas" [NOEL, 91].

4) Jouer le rôle de médiateur entre l'enfant et le savoir

Si l'on admet avec Vygotski que l'apprentissage a lieu prioritairement dans la zone proximale de développement, la collaboration avec l'enseignant et avec d'autres apprenants est indispensable.

IV Une nouvelle approche pour l'EIAO

Les éléments que nous avons mis en avant dans le paragraphe précédent procèdent d'une approche cognitive de l'apprentissage des connaissances. Il s'agit de faire accéder l'élève à une représentation abstraite de la connaissance présentée et de favoriser l'acquisition de méthodes de travail intellectuel (y compris des savoirs métacognitifs) qui favorisent chez l'apprenant des conduites d'apprentissage autonomes, but ultime d'une bonne formation.

Cette approche cognitive de l'apprentissage est évidemment très ambitieuse et demande de nombreuses compétences aux enseignants, en particulier sur les aspects psychologiques et métacognitifs. Les quatre formes d'aides citées dans le paragraphe précédent relèvent presque exclusivement de la compétence d'un enseignant humain. C'est pourquoi il nous semble que les systèmes d'EIAO doivent être pensés en terme de **soutien cognitif** à l'activité humaine et non en terme d'outil capable de se substituer à l'humain. Qui plus est, ce soutien doit s'appliquer à l'apprenant mais aussi à l'enseignant.

Le point important qui résulte de cette perception du rôle de l'ordinateur est le suivant : dès lors que les activités accomplies avec le logiciel sont clairement appréhendées par l'enseignant et effectuées sous sa direction, *il n'est nul besoin que le logiciel soit "complet" du point de vue de l'interaction pédagogique avec l'apprenant.* De plus, dans le cas d'une activité centrée autour de la résolution de problèmes, cadre dans lequel nous nous situons, *il n'est pas besoin non plus que le*

résolveur de problèmes soit "expert", pourvu qu'il explicite sa résolution à l'apprenant sans "tricher" et que l'enseignant sache exactement à quoi s'en tenir en ce qui concerne les connaissances et les raisonnements utilisés par le résolveur .

L'idée la plus novatrice de notre approche est le fait que le programme informatique soit déclaré a priori faillible (et bien sûr il l'est réellement). C'est une source de motivation pour l'apprenant, en particulier pour l'apprenant confirmé. Son travail ne consiste plus seulement à résoudre un exercice, puis à lire la solution sur l'écran. Lorsqu'il prend connaissance de la solution proposée par l'ordinateur, il compare avec la sienne et, si cela est justifié, la critique, trouve et affirme les insuffisances et les défauts du résolveur. L'ordinateur n'est plus la "référence" incontournable mais une simple machine qu'il faut "dominer" par son savoir et son intelligence. De manière presque paradoxale, l'apprenant confirmé apprend non pas tellement les connaissances qui sont dans le programme mais surtout ***celles qui n'y sont pas***, et ceci par la discussion avec les autres apprenants et avec l'enseignant. Remarquons également que ce travail critique, que les étudiants sont trop peu souvent entraînés à faire, requiert une acquisition en profondeur des connaissances ainsi que des capacités métacognitives.

Il est à noter que cette idée nous est venue en faisant des démonstrations du système expert de Bridge. En effet, les "bugs" du système expert ne sont jamais de nature informatique ; quand le système fait une mauvaise enchère, il s'agit toujours d'une insuffisance sur le plan du Bridge. Et, grâce aux écrans que nous avons définis pour valider le système, **nous n'avons jamais de difficultés pour trouver et montrer aux interlocuteurs l'origine de l'erreur**. Ce travail de découverte de la cause de l'erreur doit donc pouvoir être également fait par l'apprenant confirmé.

C'est pourquoi nous avons intitulé cette démarche "DEFIER l'ORDINATEUR" ("CHALLENGE the COMPUTER").

Les avantages nous paraissent nombreux et apporter un début de réponse aux principaux points que nous avons évoqués dans le paragraphe précédent.

Sur le plan cognitif

1) L'approche proposée nous semble extrêmement motivante pour les apprenants. En effet, il n'est pas besoin d'avoir fait de longues études en psychologie pour savoir que la plupart des personnes, en particulier les

jeunes, cherchent à trouver la faille dans les programmes informatiques qu'ils manipulent.

2) Pour réussir à montrer que l'ordinateur se trompe, l'apprenant doit acquérir des connaissances profondes du domaine, des connaissances superficielles ne peuvent suffire.

3) Affirmer que c'est l'ordinateur qui se trompe et non soi-même, nécessite d'avoir développé des compétences métacognitives : il faut pouvoir porter un jugement sur sa réponse par rapport à celle de l'ordinateur.

4) Une manière "naturelle" d'acquérir ces compétences métacognitives et d'approfondir ses connaissances réside dans les échanges avec ses camarades. On peut même penser que les discussions seront souvent animées !

Sur le plan organisationnel

1) Cette démarche laisse à l'enseignant une place centrale dans le processus d'enseignement. Elle n'apporte pas des solutions toutes faites mais au contraire permet à l'enseignant qui le désire d'engager un dialogue fructueux avec les apprenants.

2) Elle n'interfère pas avec la démarche de l'enseignant. Le rôle du logiciel se limite à résoudre des problèmes et à expliquer sa propre résolution. L'enseignant reste parfaitement maître du processus d'enseignement, le logiciel n'a pas vocation à intervenir à ce niveau.

3) Le même système, exempt de toute initiative pédagogique, peut servir dans plusieurs situations différentes. Il peut être utilisé avec des débutants pour découvrir le domaine (dans le cas de problèmes simples, il est raisonnable de penser que le résolveur ne commet pas d'erreur au niveau débutant). Il peut également être utilisé par des apprenants confirmés qui confronteront leur résultats, leurs connaissances, leurs raisonnements avec ceux du programme. C'est sûrement pour eux que l'approche est la plus intéressante, d'autant que les approches classiques échouent pour les apprenants qui ne sont pas débutants.

Sur le plan informatique

Même si tous les problèmes sont loin d'être résolus, il n'en reste pas moins que les développements apparaissent nettement moins volumineux que dans les approches de type TI.

1) Le résolveur n'est développé complètement qu'au niveau "bon débutant", ce que l'on sait bien faire car cela correspond au niveau réel des systèmes à base de connaissances.

2) Le besoin de modèle de l'élève est très limité puisque, par définition, le logiciel ne fournit des explications que pour le débutant (au delà, le logiciel n'est pas sûr d'avoir trouvé la bonne réponse !).

3) Pour l'apprenant (plus ou moins) confirmé, le logiciel se limite à laisser découvrir sa résolution le plus exactement possible.

4) Le module pédagogique à développer est considérablement réduit. et ne peut comporter qu' un générateur de problèmes dans les cas où cela est possible.

Cependant des problématiques, nouvelles ou à situer dans un contexte nouveau, apparaissent :

1) Développer un résolveur fidèle à la démarche humaine, de niveau le plus homogène possible. Un "pic" comme un "creux" dans le niveau de compétence du résolveur complique la tâche de l'enseignant et risque de démotiver l'apprenant, voire de l'insécuriser.

2) Présenter à l'enseignant le modèle de résolution du système "au niveau connaissance" [NICAUD, 94] en étant fidèle au niveau réel du résolveur et non à son niveau théorique ou souhaité.

3) Expliciter les fonctionnalités du logiciel et les scénarios possibles d'usage à l'enseignant (cf la notion de didactogramme proposé par [LECLERCQ, 86]).

4) Fournir à l'apprenant débutant les modèles élémentaires du domaine, ceux sur lesquels repose la construction du résolveur.

5) Fournir à l'apprenant confirmé les moyens de découvrir le plus exactement possible les connaissances et les raisonnements utilisés par le résolveur, comme s'il devait le déboguer.

Remarquons, en ce qui concerne les points 4 et 5, qu'il n'est nul besoin de tout expliciter ; *dans un apprentissage en profondeur, l'apprenant doit avoir une activité inférentielle qui lui permette de retrouver les connaissances implicites.*

V A suivre...

Nous souhaitons tester ces idées dans plusieurs contextes, tant en milieu industriel où notre approche paraît être tout à fait crédible qu'en milieu universitaire, en nous appuyant sur des travaux de recherche déjà effectués dans le domaine de la résolution de problèmes. Enfin, nous voulons également tester cette approche dans le domaine des jeux en développant un logiciel d'enseignement des enchères au Bridge. Les raisons sont évidentes :

1) Nous avons déjà développé une importante base de connaissances sur les enchères au bridge. C'est même l'une des raisons de cette nouvelle approche puisque nous nous sommes aperçus à quel point vouloir faire un résolveur de problèmes de très haut niveau (de niveau 1ère série) était une démarche trop ambitieuse. Mais, en même temps, nous avons acquis un savoir-faire et une expérience qui nous prouve que l'on peut faire un résolveur de niveau moyen avec une quantité de travail raisonnable

2) Nous avons déjà mentionné précédemment le fait que l'idée nous était venue en faisant des démonstrations avec notre système. La modélisation des enchères au Bridge que nous avons faites est suffisamment proche de l'expertise humaine (surtout si l'on diminue le niveau d'expertise) pour qu'un apprenant puisse suivre la résolution proposée.

VI Conclusion

Le propos de ce texte n'est pas de nier l'intérêt des travaux de recherche à moyen ou long terme sur la représentation de connaissances pédagogiques ou sur la modélisation cognitive d'un sujet, modélisation dont l'intérêt va bien au delà de l'EIAO. Nous proposons simplement une nouvelle voie dans la conception de

systèmes d'EIAO. Il y a deux aspects dans la démarche que nous avons présentée dans ce texte.

1) Faire travailler l'apprenant avec un résolveur de problèmes qui est volontairement d'un niveau nettement inférieur au niveau expert. Nous pensons que c'est une idée essentielle sur le plan cognitif pour permettre une acquisition en profondeur des connaissances. Les échanges entre apprenants sont favorisés grâce à l'interactivité que le résolveur de problèmes autorise (grande variété de problèmes, possibilité de poser ses propres problèmes, aspects dynamiques de la résolution) et grâce au fait que la critique du système est encouragée. C'est pourquoi nous avons appelé le projet "Défi à l'ordinateur".

2) Le deuxième aspect novateur réside dans le fait de ne pas considérer le logiciel comme un système autonome mais comme un outil cognitif au service de l'enseignant humain, c'est-à-dire n'intervenant dans le processus éducatif que de manière limitée, sous le contrôle de l'enseignant, sans aller au delà de ce qui est voulu par celui-ci.

Pour conclure, quelle que soit l'architecture du système, l'essentiel réside dans la volonté de faire émerger de nouvelles formes de travail et de pensée associant étroitement l'homme et la machine [BRUILLARD & DE LA PASSARDIERE, 94], mais à condition que, in fine, le pouvoir de décision de l'humain soit clairement affirmé et respecté en tout point et à tout moment. Sous cette réserve, nous rejoignons [RHEINGOLD, 1993] pour parler de "pensée assistée par ordinateur".

Références bibliographiques

[ASTOLFI, 92] J-P. Astolfi : "L'éducabilité cognitive, une façon d'apprendre à penser", dans Le groupe familial, "Penser peut-il s'apprendre ," n°134, pp 31-37, Janvier-Mars 1992

[BRUILLARD & VIVET, 94] E. Bruillard et M. Vivet : "Concevoir des EIAO pour des situations scolaires", rapport interne, LIUM, Université du Maine, 1994

[BRUILLARD & DE LA PASSARDIERE, 94] E. Bruillard et B. de La Passardière : "Hypermédias et éducation : des repères", Revue Sciences et Techniques Educatives, Ed Hermes, vol 1, n°1, pp 17-37, 1994

[DILLENBOURG, 94] P. Dillenbourg : "Evolution épistémologique en EIAO", Revue Sciences et Techniques Educatives, Ed Hermes, vol 1, n°1, pp 39-51, 1994

[FUTTERSACK & LABAT, 93] M. Futtersack et J-M Labat : "Dynamic and Interactive Pedagogical Planning: the QUIZ Example", congrès AI-ED, Edimbourg, 1993,

[LABAT & FUTTERSACK, 92] J-M Labat et M. Futtersack : "Planification pédagogique : de l'expertise humaine à sa modélisation dans un STI", congrès ITS-92, pp 515-522, Montréal, 1992,

[LABAT, 92] J-M Labat : "A Pragmatic way for Student Modelling : The QUIZ Example", East-West conference, pp 194-198, Moscou, 1992

[LECLERCQ, 86] D. Leclercq : "Le didactogramme, un système graphique pour représenter les fonctions et la structure d'un didacticiel, Université d'été des Communautés européennes, Gent, 1986

[MOAL, 92] A. Moal : "Peut-on apprendre sans médiateur ?", dans Le groupe familial, "Penser peut-il s'apprendre ," n°134, pp 13-21Janvier-Mars 1992

[NICAUD, 94] J-F. Nicaud : "Modélisation du raisonnement algébrique humain et conception d'environnements informatiques pour l'enseignement de l'algèbre", habilitation à diriger des recherches, Rapport de recherche n° 890, LRI, Université de Paris sud, 03/94

[NOEL, 91] B. Noël : "La métacognition", Ed Universitaires, 1991

[RHEINGOLD, 93] H. Rheingold : "La réalité virtuelle", Ed. dunod, Paris, 1993

[VEZIN, 86] L. Vézin : "Communication des connaissances et activité de l'élève", Presses Universitaires de Vincennes, Université Paris VIII, 1986

[VIVET, 91] M. Vivet : "Usage des tuteurs intelligents : prise en compte du contexte, rôle du maître", dans 2èmes journées EIAO de Cachan, Ed de l'ENS de Cachan, pp 239-246, 1991

[VYGOTSKI, 34] L.S. Vygotski : "Pensée et langage", Ed sociales, 1985