

JEAN-FRANÇOIS NICAUD

Point de vue d'un chercheur en IA sur la recherche en EIAO

Publications de l'Institut de recherche mathématiques de Rennes, 1991, fascicule S6
« Vième école d'été de didactique des mathématiques et de l'informatique », , p. 208-214

http://www.numdam.org/item?id=PSMIR_1991__S6_208_0

© Département de mathématiques et informatique, université de Rennes,
1991, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la série « Publications mathématiques et informatiques de Rennes » implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques
<http://www.numdam.org/>

THEME 7

Exposé : "*Point de vue d'un chercheur en IA sur la recherche en EIAO*"

par Jean-François NICAUD

LRI, C.N.R.S. UA 410, Université Paris XI, b ât. 490
F91405 ORSAY Cédex

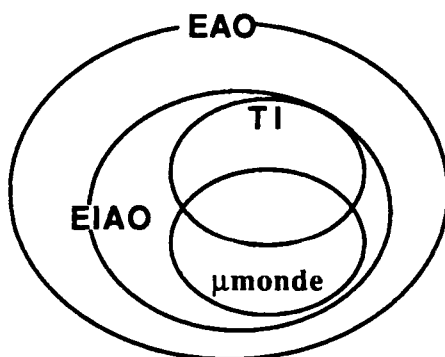
1. INTRODUCTION, TERMINOLOGIE

L'EIAO est né au début des années 70 comme application de l'Intelligence Artificielle (IA) à l'enseignement, le sigle signifiant au départ *Enseignement Intelligemment Assisté par Ordinateur*. L'EIAO n'est pas une discipline mais un champ de recherche pluridisciplinaire sur lequel ont travaillé, au départ, des chercheurs américains en IA et psychologie. Trois grands types d'activités ont été conduits : (1) la conception et réalisation d'environnements d'apprentissage sur ordinateur, (2) la création de modèles d'élèves, (3) l'élaboration de théories psychologiques.

Pour simplifier un premier accès à la littérature EIAO, des articles de synthèses tels que [Nicaud 88, Wenger 87] sont assez souvent fournis en référence à la place des articles d'origine.

1.1. Terminologie

L'EAO (Enseignement assisté par ordinateur) peut être vu aujourd'hui sous deux aspect : d'une part c'est un terme général pour tout ce qui concerne l'utilisation de l'informatique dans l'enseignement, d'autre part c'est un champ de travaux entrant dans une problématique industrielle avec des clients (les centres de formation permanente, les entreprises), des centres de production (pour la production de didacticiels) et des centres de recherche (pour la conception de générateurs de didacticiels).



La tendance aujourd'hui est à expliciter EIAO comme **Environnements Interactifs d'Apprentissage avec Ordinateur**¹ en regroupant sous ce sigle des recherches sur des environnements d'apprentissage ayant des fonctions tutorielles, appelés² *Tuteurs Intelligents* ou *Tutoriels Intelligents* (TI) ou *Systèmes Tuteurs Intelligents* (STI) ainsi que des recherches sur des environnements ne comportant pas de fonction tutorielle mais réalisant une interaction forte, appelés environnements de manipulation ou micromondes.

1.2. Architecture d'un Tutoriel Intelligent

On attribue généralement aux logiciels d'EIAO de type tuteur une architecture comportant quatre composantes :

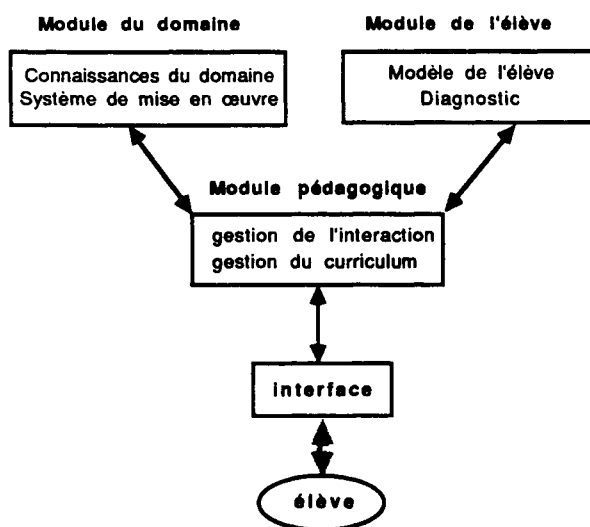
- Le *module du domaine* comporte les connaissances du domaine enseigné et un mécanisme de mise en œuvre de ces connaissances. Dans certains cas, le module du domaine est un système expert (exemple GUIDON [Nicaud 88, Wenger 87]) ou une base de données particulièrement

¹ En Anglais : *Interactive Learning Environment* (ILE)

² En Anglais : *Intelligent Tutoring Systems* (ITS)

organisée (exemple SCHOLAR [Nicaud 88, Wenger 87] avec des données structurées en réseau sémantique), dans d'autres cas c'est un ensemble plus complexe mêlant plusieurs modes de représentation des connaissances et assurant plusieurs fonctions.

Architecture d'un Tuteur Intelligent



- Le *module de l'élève* comporte un ensemble d'informations sur l'élève appelé *modèle de l'élève*. Ces informations constituent la *représentation de l'élève pour le logiciel*. Le terme *modèle de l'élève* est impropre car les informations qui le constituent sont souvent peu nombreuses. Le module de l'élève comporte aussi une fonction appelée *diagnostic cognitif* qui a en charge la mise à jour du modèle de l'élève à partir de différentes sources d'informations (en particulier à partir des interactions entre l'élève et la machine).

- Le *module pédagogique* assure les fonctions de gestion de l'interaction et du curriculum. Dans certains environnements, ce module peut être très réduit : une grande liberté est alors laissée à l'élève tant au niveau du choix de l'exercice qu'au niveau du traitement de l'exercice. A l'opposé,

d'autres environnements mettent en œuvre un guidage très fort, comme les logiciels développés par l'équipe d'Anderson selon la méthodologie du *model tracing* [Anderson 90]. Des guidages intermédiaires sont aussi utilisés.

- L'*interface* assure la communication entre les trois autres composantes et l'élève. L'interface a un rôle qui ne doit pas être négligé car elle est le *canal de communication*. Plus ce canal est étroit, plus l'ordinateur d'un côté, l'élève de l'autre, ont de difficulté à comprendre et exploiter les informations qu'il véhicule. Dans les années 70, les interfaces étaient limitées au texte, depuis elles se sont enrichies de graphiques, de moyens de désignation (comme la souris), d'incrustations vidéos fixes ou animées...

1.3. Création de modèles d'élèves

A côté de la modélisation de l'élève dans un environnement d'apprentissage qui a été évoqué en 1.2., la recherche de modèles d'élèves apparaît comme un grand problème de psychologie cognitive (que nous appellerons ici modélisation générale de l'élève) : celui d'exprimer, dans des formalismes opératoires adaptés, des états de connaissance fournissant des modèles ayant des comportements proches de ceux des élèves modélisés. Ce travail peut être fait en combinant des analyses *à la main* et des analyses automatiques.

Ce travail diffère de la modélisation de l'élève dans un tutoriel par l'objectif : ici le but est de trouver un modèle fin, ce qui permet d'envisager de recueillir différents types de données (protocoles papier-crayon ou protocoles sur ordinateur), d'effectuer des traitements de longue durée, d'augmenter le nombre d'exercices ; dans un environnement d'apprentissage, l'objectif étant de favoriser une interaction élève-machine source d'un apprentissage, il est souhaitable que presque toutes les données proviennent de l'interaction, que les traitements soient rapides, que la progression d'exercice en exercice soit peu affectée par le diagnostic cognitif.

Ces recherches fournissent généralement d'intéressants catalogues de connaissances erronées (procédurales ou conceptuelles).

Il est bien sûr possible de combiner les deux problématiques : un environnement d'apprentissage peut fournir des données pour une modélisation générale, inversement des catalogues de connaissances erronées, des types de modèles d'élèves peuvent être exploités dans des environnements d'apprentissage.

1.4. Elaboration de théories psychologiques

La recherche en EIAO peut être un cadre favorisant l'émergence de théories psychologiques, deux exemples sont donnés en 2.3.

2. BREF HISTORIQUE ET ETAT DE L'ART

2.1. Les environnements d'apprentissage

2.1.1. *Influence du canal de communication*

L'évolution de la technologie a eu une influence importante sur les travaux de réalisation d'environnements d'apprentissage : les premières années furent l'époque des ordinateurs multi-utilisateurs assez lents avec de faibles capacités mémoire, reliés à des terminaux alphanumériques. Pendant cette époque, le texte a été le mode obligatoire de communication. Ce mode pose des problèmes surtout dans le sens élève-machine : la saisie au clavier est laborieuse et la compréhension du texte est un réel problème. Cependant, il a l'avantage de permettre des réponses ouvertes.

L'arrivée de stations de travail rapides avec de bonnes capacités mémoire, utilisant un graphique haute résolution et des moyens de désignation rapides a orienté les travaux vers des logiciels interactifs avec lesquels l'élève manipule des objets à l'interface, les entrées textuelles étant généralement remplacées par des menus déroulants. Ces nouvelles possibilités à l'interface (qui ont donné naissance en particulier aux micromondes) procurent un gain important au niveau des objets concrets et des objets abstraits dont on crée des représentations concrètes. Il est évident que, si l'on exclut les entrées textuelles libres, on se trouve avec un ensemble fermé de réponses.

Il est probable que, d'ici quelques années, des progrès suffisants auront été réalisés au niveau du traitement de la parole et de l'analyse de la langue naturelle pour permettre des conversations hommes-machine orales, sur des domaines de taille assez réduite. Cela produira certainement une nouvelle orientation dans la conception d'EIAO mêlant manipulations d'objets et discussions sur objets et concepts.

2.1.2. *Problématiques abordées*

La plupart des problématiques qui ont été abordées, dans la conception d'environnements d'apprentissage, entrent dans le cadre de l'application de techniques d'IA à un champ de problèmes :

- modélisation de connaissances expertes (connaissances du domaine, connaissances pédagogiques) et mise en œuvre,
- traitement de la langue naturelle dans le contexte d'un domaine particulier,
- implantation de paradigmes d'enseignement.

Des interfaces spécifiques ont aussi été développées, en particulier pour des environnements de type micromonde. La conception de générateurs de tutoriels a été abordée par certaines équipes sans donner de résultats tangibles.

2.1.3. *Moyens*

Au niveau de la représentation des connaissances, les outils utilisés principalement utilisés sont LISP, PROLOG, les réseaux sémantiques, les langages à objets et à schémas, les générateurs de systèmes experts.

2.1.4. *Réalisations*

SOPHIE et GUIDON sont deux grands projets qui ont marqué les premières années. SOPHIE [Wenger 87] porte sur le dépannage de circuits électroniques. Ce projet, financé par la défense américaine, a donné naissance à des sous-projets pour étudier la faisabilité de certains modules dans des contextes plus simples : BUGGY [Wenger 87] pour la recherche sur des connaissances procédurales erronées, WEST [Wenger 87] pour le guidage discret. GUIDON [Wenger 87] a pour objectif de transférer vers l'élève les connaissances d'un système expert de diagnostic médical (MYCIN). C'est un des premiers projets incorporant un modèle de l'élève.

En physique, des projets se sont appuyés sur la simulation (STEAMER [Wenger 87]), l'utilisation de modèles qualitatifs (QUEST [Wenger 87]).

La reconnaissance des plans de l'élève a fait l'objet de travaux en programmation (BRIDGE [Wenger 87], PROUST [Wenger 87]) et en algèbre (MACSYMA ADVISOR [Wenger 87]).

En mathématiques, on trouve des travaux concernant :

- les savoir-faire en algèbre élémentaire : ALGEBRA TUTOR [Lewis 87],
- l'apprentissage de stratégies par découverte en algèbre élémentaire : ALGEBRALAND [Brown 85], APLUSIX [Nicaud 89]),
- l'explication pour des résolveurs en algèbre: [Carrière 90, Nicaud 90],
- le dialogue : NAIADÉ [Joab 89],
- le raisonnement géométrique : GEOMETRY TUTOR [Wenger 87], DEFI [Gras 90], MENTONIEZH [Py 91]
- la manipulation d'objets géométriques : CABRI GEOMETRE [Baulac 90].

2.1.6. Implantation de paradigmes d'enseignement

Différents paradigmes d'enseignement ont été mis en œuvre dans certains tutoriels, citons : l'initiative mixte dans SCHOLAR [Nicaud 88, Wenger 87], le dialogue socratique dans WHY [Wenger 87], le guidage discret dans WEST [Wenger 87].

2.2. La modélisation de l'élève

Des recherches en modélisation de l'élève ont été conduites, principalement en mathématiques, en particulier : BUGGY sur la soustraction sous la forme de réseaux de procédures [Wenger 87], LMS et PIXIE sur l'algèbre élémentaire sous la forme de règles de réécriture ordonnées [Wenger 87] .

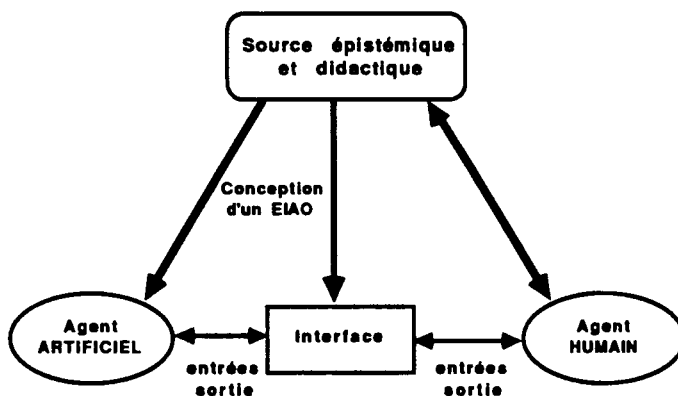
2.3. L'élaboration de théories psychologiques

Des théories sont nées dans le contexte de recherches en EIAO : *Repair Theory* [Brown 80, Wenger 87] est une théorie sur la génération de connaissances procédurales erronées qui a été conçue dans le cadre de travaux sur la soustraction. ACT [Anderson 83, Wenger 87] est une théorie sur la représentation des connaissances de type savoir-faire et leur compilation.

3. PROBLEMATIQUE EIAO

3.1. Communication entre deux agents

Le travail d'un élève avec un EIAO peut être considéré comme une **communication entre deux agents autonomes** (l'élève et l'ordinateur) qui ont chacun des connaissances sous une forme que nous appelons *représentation interne* et qui interagissent par l'intermédiaire d'un dispositif appelé *interface*. Les connaissances apparaissant à l'interface sont des *représentations externes* pour les deux agents. Chaque agent a des moyens d'action sur ces connaissances externes, ces moyens ne sont pas les mêmes pour les deux agents.



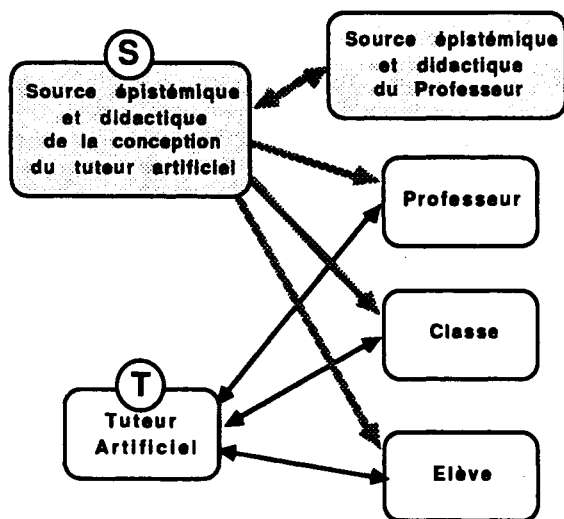
La réalisation d'un EIAO apparaît comme l'implantation, à partir d'une source de connaissances :

- des connaissances internes et des mécanismes de raisonnement de l'agent artificiel,
- des connaissances externes et de leur modes de manipulation pour chacun des deux agents,
- des mécanismes de passage entre ces deux types de connaissance.

La source de connaissances que nous appelons *source épistémique et didactique* est l'ensemble des connaissances qui sont utilisées dans cette mise en œuvre. Cette source peut être considérée à plusieurs niveaux allant des connaissances des experts intervenant dans la réalisation à des spécifications précises.

A côté de cet aspect *communication entre agents* se dégage un autre rôle joué par l'interface, celui de **mémoire auxiliaire de l'agent humain**. Les écrans haute résolution et le multi-fenêtrage favorisent ce rôle : l'élève peut manipuler des objets dans une fenêtre, placer des notes dans une autre, prendre connaissance d'un document dans une troisième... Certains environnements d'apprentissage font de ce rôle de mémoire auxiliaire leur principe fondamental et remplacent l'agent artificiel par un automate de gestion de l'interface.

3.2. Communication entre N agents



La plupart des recherches en EIAO se sont centrées, jusqu'à présent, sur des échanges entre deux agents, le tuteur artificiel et l'élève. Si l'on considère d'autres acteurs de l'enseignement traditionnel, tels que le professeur et la classe, et la *source de connaissance du professeur*, on obtient un ensemble complexe. La figure ci-contre représente à gauche le monde artificiel et à droite le monde réel, avec les relations entre ces deux mondes (les relations internes à chaque monde ont été volontairement omises).

Voici des problématiques apportées par certaines relations :

T ' Elève : est la relation de l'apprentissage individuel. On y trouve, pour l'élève, des problèmes de compréhension des connaissances

à l'interface, des tâches à effectuer ; pour T des problèmes de compréhension des connaissances à l'interface (présentées par l'élève), de modélisation de l'élève, de conduite de session.

T ' Professeur : lorsque l'élève passe de T au Professeur ou du Professeur à T, le problème qui se pose est celui de la transmission d'informations entre les deux tuteurs (connaissances présentées, activités effectuées, état présumé des connaissances de l'élève...). Ce problème n'a pas été réellement abordé actuellement. Il peut l'être avec différents degrés de précision : la recherche d'une grande précision en fait un problème complexe de communication entre agents et de modélisation de l'élève ; avec une limitation de la précision on peut imaginer un compte rendu synthétique dans le sens T $\rightarrow$ Professeur et un réglage des paramètres de T par le professeur dans l'autre sens.

S $\rightarrow$ Professeur : pose le problème de l'adhésion du Professeur à S (au niveau de la terminologie, des concepts, des méthodes...). Cette adhésion peut être facilitée par un paramétrage de S permettant au professeur d'adapter T à ses souhaits. Mais une paramétrage non superficiel est un vaste problème : changer la définition d'un grain de connaissance a des répercussions sur toutes les connaissances qui l'utilisent. Il est généralement très difficile pour le professeur de prévoir toutes les implications apportées par une modification. En outre, des modifications de connaissances dans le tuteur ne sont possibles que si celui-ci a une architecture qui le permet (une telle architecture se rapprochant de celle d'un générateur de tuteur).

D'autres entités du monde réel peuvent être considérées, par exemple des groupes de 2 ou 3 élèves travaillant ensembles avec le tuteur artificiel. Différents scénarios d'usage des TI peuvent être envisagés [Vivet 91].

3.3. Point de vue global

Il n'existe pas aujourd'hui de produits commerciaux de type TI. Il y a seulement des prototypes de TI qui sont à considérer comme des théorèmes d'existence. Cela ne signifie pas que la recherche en EIAO est inféconde, mais plutôt que la réalisation de prototypes d'EIAO est une entreprise complexe nécessitant la collaboration de différentes disciplines et que la réalisation de produits commerciaux devra sans doute attendre quelques années. Les recherches en EIAO ont déjà participé à la recherche dans d'autres domaines : celles de Clancey dans GUIDON ont été à l'origine d'une évolution dans la représentation des connaissances des systèmes experts ; d'autres ont produit des théories cognitives, des modèles cognitifs, des catalogues d'erreurs.

L'EIAO est un champ de problèmes pour l'IA. C'est au départ un terrain d'application des axes de recherche actuels (représentation des connaissances, acquisition des connaissances, méta-connaissances, explications, apprentissage machine, cohérence...).

L'EIAO est aussi une source possible de nouveaux grands problèmes ou champs de recherche :

- représentation et gestion de l'évolution des connaissances (évolution des concepts, des opérateurs, des procédures, des stratégies),
- utilisation d'une source de connaissances pour différentes fonctions,
- modélisation de l'élève.

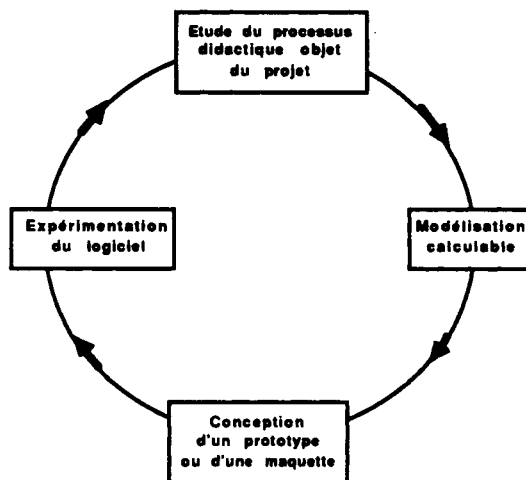
L'EIAO est aussi un champ de problèmes pour d'autres disciplines. La didactique, en particulier, a un rôle d'observateur à tenir dans l'étude des prototypes existants (pour déterminer ce qu'ils enseignent) mais aussi un rôle d'acteur en participant à la conception des logiciels (jusqu'à un niveau détaillé de leur spécification).

3.4. Pour de grands projets

Appelons grand projet un projet :

- qui porte sur un champ de problèmes pas trop étroit,
- qui porte sur un apprentissage pas trop ponctuel,
- qui entre dans le cadre de recherches dans plusieurs disciplines (en particulier IA et didactique),
- qui a pour objectif de produire un prototype.

Les grands projets ont montré leur fécondité dans le passé. Ils ont pour intérêt d'aborder de vrais problèmes (parfois la réduction du champ conduit à des implantations ad hoc qui n'apportent rien à la problématique générale). Entrer dans le cadre de recherches en didactique et en IA est nécessaire : les modèles de la didactique d'une part, les outils et méthodes de l'IA d'autre part, ne sont pas aujourd'hui dans un état permettant de considérer l'implantation d'un modèle comme un processus simple pouvant être réalisé par des chercheurs en didactique seuls ou des chercheurs en IA seuls.



La conduite de grands projets de recherche s'inscrit dans une boucle semblable à celle de la figure ci-contre. La première étude des processus didactiques objets du projet se fait à partir de données *manuelles*. Par la suite, lorsqu'un prototype a été réalisé, des expérimentations du prototype fournissent de nouvelles données (automatiques) à prendre en compte.

La conduite d'un grand projet nécessite l'adoption d'une méthodologie de travail, la participation de chercheurs confirmés en IA et en didactique, le partage de connaissances communes. Elle ne peut se faire que sur des environnements de développement adaptés (au niveau matériel et logiciel).

Différentes difficultés peuvent se rencontrer dans la conduite d'un grand projet au niveau de l'adhésion réelle à l'objectif "prototype", du respect des temps importants du plan de travail, de la valorisation des recherches (quelle partie peut déboucher sur une thèse d'informatique ? quelle partie peut déboucher sur une thèse de didactique ?). Le développement (c'est-à-dire toute la partie de la programmation qui n'est pas de la recherche) peut poser des problèmes lorsqu'il n'y a pas d'ingénieur affecté à cette tâche.

4. CONCLUSION

Croire ou ne pas croire aux TI n'est pas la question. La question est plutôt d'essayer de voir ce qui est possible et ce qui ne l'est pas. Pour cela, je propose de définir différents des labels de TI en termes d'objectifs d'enseignement, d'usage... Pour un label donné, on peut alors essayer de prouver pour un *qu'il est possible* en cherchant à réaliser des TI, ou essayer de prouver *qu'il est impossible* sous une forme qui pourrait être un théorème de didactique.

5. REFERENCES

- [Anderson 83] Anderson J.R.: *The architecture of cognition*. Haward University Press.
- [Anderson 90] Anderson J.R., Boyle C. F., Corbett A. T., Lewis M. W.: Cognitive Modeling and Intelligent Tutoring. Artificial Intelligence Vol 42, number 1, 1990.
- [Baulac 90] Y. Baulac : Un micromonde de géométrie, Cabri-géomètre. Thèse de l'université J. Fourier, Grenoble, 1990.
- [Brown 80] J.S. Brown, K. VanLehn : Repair theory : a generative theory of bugs in procedural skills. Cognitive Science vol 4, 1980.
- [Brown 85] Brown J. S.: *Process versus product: a perspective on tools for communal and informal electronic learning*. Journal of Educational Computing Research, n°1, 1985.
- [Carrière 90] E. Carrière, E. Delozanne, M. Vivet : *Des connaissances pour produire des explications dans un tuteur intelligent*. Revue d'Intelligence Artificielle, Vol 4, N°2, 1990.
- [Gras 90] R. Gras et I. Giorgutti : Le micro-ordinateur outil interactif dans l'aide à la démonstration. Actes de l'université d'été de Toulouse IA et mathématiques, 1990.
- [Joab 89] M. Joab : La gestion du dialogue dans un système d'enseignement assisté par ordinateur. Actes des premières journées EIAO de Cachan. 1989.
- [Lewis 87] Lewis M. W., Milson R. & Anderson J.R.: *The TEACHER'S APPRENTICE: Designing an intelligent authoring system for high school mathematics*. In G. Kearsley (Ed) Artificial intelligence and instruction, application and methods. Addison Wesley. 1987.
- [Nicaud 88] J.F Nicaud, M. Vivet : *Les Tuteurs Intelligents : réalisations et tendances de recherches*. Technique et Science Informatiques, Vol 7, N°1, 1988.
- [Nicaud 89] J.F. Nicaud, C. Aubertin, A. Nguyen-Xuan, M. Saïdi, P. Wach : APLUSIX : un environnement d'apprentissage à plusieurs niveaux en algèbre. Actes des premières journées EIAO de Cachan. 1989.
- [Nicaud 90] J.F Nicaud, M. Saïdi : *Explications en résolution d'exercices d'algèbre*. Revue d'Intelligence Artificielle, Vol 4, N°2, 1990.
- [Py 91] D. Py : L'exploration de la démonstration dans le projet MENTONIEZH. Actes des deuxièmes journées EIAO de Cachan, 1991.
- [Wenger 87] E. Wenger : *Artificial Intelligence and tutoring systems*. Morgan Kaufmann.
- [Vivet 91] M. Vivet : Usage des tuteurs intelligents : prise en compte du contexte, rôle du maître. Actes des deuxièmes journées EIAO de Cachan, 1991.