

DOMINIQUE PY

La prise en compte de l'élève dans les tuteurs intelligents

Publications de l'Institut de recherche mathématiques de Rennes, 1993-1994, fascicule 3
« Fascicule de didactique des mathématiques », , exp. n° 2, p. 1-6

http://www.numdam.org/item?id=PSMIR_1993-1994__3_A2_0

© Département de mathématiques et informatique, université de Rennes,
1993-1994, 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/>

La prise en compte de l'élève dans les Tuteurs Intelligents

Dominique PY

LR.I.S.A. - Campus de Beaulieu - 35042 RENNES Cédex

1 Introduction

Les systèmes d'E.I.A.O. (Enseignement Intelligemment Assisté par Ordinateur), ou Tuteurs Intelligents (T.I.), sont apparus dans les années 70. L'objectif initial était de dépasser l'E.A.O. classique, jugé trop rigide, en utilisant des techniques d'intelligence artificielle, telles que les systèmes-experts. Par rapport à l'E.A.O., on peut dire que l'E.I.A.O. se caractérise par l'utilisation de trois types de connaissances :

- des connaissances sur le domaine enseigné : le système doit être capable de résoudre les exercices qu'il soumet à l'élève.
- des connaissances sur l'élève : le système doit être capable d'adapter son comportement à un élève particulier.
- des connaissances pédagogiques : les système doit disposer de connaissances sur la façon d'enseigner des connaissances.

A l'heure actuelle, un T.I. "idéal" regroupant de manière effective ces trois types de connaissances n'a pas été développé, néanmoins, des travaux intéressants ont été menés sur chacun des ces points.

L'élaboration de tels systèmes est une tâche complexe, qui relève de plusieurs disciplines telles que l'intelligence artificielle, la psychologie, la didactique et les sciences cognitives.

Parmi les capacités idéales souhaitées pour un T.I., l'adaptation à l'élève s'est rapidement révélée un point crucial. Cette adaptation est habituellement réalisée par le biais de la construction et de l'exploitation d'un **modèle de l'élève**, ensemble d'informations que possède le T.I. sur l'élève [Wenger]. Une définition aussi large laisse place à des interprétations diverses, et de fait, le terme "modèle de l'élève" recouvre en E.I.A.O. des objets très divers. Pour essayer d'y voir plus clair, nous allons tenter de répertorier les réponses qui ont été apportées aux questions suivantes :

- quelle est la nature des informations contenues dans le modèle de l'élève ?
- comment sont-elles obtenues ?
- à quelles fins sont-elles utilisées ?

Dans un premier temps, nous proposerons une typologie des modèles, puis nous verrons quel peut être le contenu d'un modèle de l'élève, comment se construit un tel modèle, et enfin quelle utilisation peut en être faite.

2 Typologie des modèles

Une typologie en quatre axes a été proposée par R. Kass [Kass].

- Un modèle de l'élève peut être **générique** ou **individuel**. On parlera de modèle générique lorsqu'il existe un modèle unique, ou bien un modèle pour chaque classe d'utilisateurs ("novice", "moyen", "confirmé", "expert"), par opposition au modèle individuel.

- Un modèle de l'élève peut être à **court terme** ou à **long terme**. On parlera de modèle à court terme lorsque le modèle est valable le temps d'une session (ou d'un exercice) : à la session suivante, on repart de zéro. A l'opposé, le modèle à long terme est conservé entre deux sessions.

- Un modèle de l'élève peut être **descriptif** ou **exécutable**. Un modèle exécutable est similaire à un programme qui simulerait l'élève, c'est-à-dire qu'on peut lui soumettre des exercices et qu'il répond "comme le ferait l'élève". Un tel modèle a donc une valeur prédictive importante. Un modèle descriptif contient des informations de nature déclarative.

- Un modèle de l'élève peut être **statique** ou **dynamique**. Un modèle statique est initialisé avant la session, et ses valeurs sont figées, tandis qu'un modèle dynamique est construit au fur et à mesure de la session, à l'aide d'informations extraites de l'interaction (réponses de l'élève, etc.).

Bien entendu, les modèles génériques, à long terme, exécutables et dynamiques paraissent les plus riches et les plus intéressants. Ce sont aussi les plus délicats à réaliser, et ils posent de nombreux problèmes non encore résolus.

3 Contenu des modèles

Le modèle de l'élève peut contenir différents types d'informations, selon le domaine enseigné. Les plus courantes sont :

- Les connaissances factuelles, par exemple "*Caracas est la capitale du Venezuela*".

- Les connaissances de savoir-faire, aussi appelées règles, ou procédures. Par exemple "*Si $x-a=0$, alors $x=a$* ".

Pour des domaines complexes, on trouve aussi

- Les plans, par exemple "*Pour résoudre une expression du second degré, factoriser l'expression et réduire chaque facteur*".

- Les stratégies et heuristiques, par exemple "*Pour démontrer qu'un quadrilatère est un parallélogramme, si l'on connaît le milieu d'une de ses diagonales, essayer de montrer que c'est aussi le milieu de l'autre diagonale*".

Ces types de connaissance ne sont pas exclusifs, ils peuvent se côtoyer dans un modèle. On peut également disposer de connaissances dites “d’arrière-plan” (âge, niveau scolaire, ...) mais celles-ci sont difficilement exploitables.

Enfin, chacune des catégories peut contenir des connaissances correctes (comme dans les exemples ci-dessus), mais aussi des connaissances incorrectes (souvent appelées “bugs” ou “misconceptions”). Par exemple, “*Si $a.b = 0$, alors $a = b$* ” est une règle incorrecte.

4 Diagnostic

Le terme diagnostic, en E.I.A.O., désigne l’ensemble des méthodes et procédures qui permettent de construire, d’enrichir et de mettre à jour le modèle de l’élève. Il s’agit donc, dans ce cas, d’un modèle dynamique qui évolue au cours de l’interaction.

4.1 Objet du diagnostic

Le diagnostic a pour objet le comportement ou les connaissances manifestés par l’élève. Dans le premier cas, il s’agit d’inférer les règles, procédures ou plans utilisés par l’élève dans la résolution d’un problème. Par exemple, si l’élève à qui l’on soumet l’équation $3x + 5 = 6$ donne la réponse $x = -2$, on peut supposer qu’il a transformé (à tort) l’équation initiale en $3 + x + 5 = 6$, puis qu’il a résolu correctement cette dernière. Dans le second cas, il s’agit d’inférer les connaissances acquises par l’élève, soit directement, soit à partir de l’inférence du comportement.

Le modèle de l’élève est ainsi construit comme un sous-ensemble du “modèle de référence”; ensemble de connaissances comprenant les connaissances “expertes” (règles ou assertions “vraies”) et parfois des connaissances erronées, ce qui permet d’expliquer les erreurs commises par l’élève. Chaque élément du modèle de référence est étiqueté soit par une valeur discrète (on utilise généralement trois valeurs : “*l’élève possède cette connaissance*”, “*l’élève ne possède pas cette connaissance*”, “*on ne sait pas si l’élève possède ou non cette connaissance*”), soit par une valeur continue indiquant le degré de maîtrise qu’a l’élève de cette connaissance.

4.2 Types de diagnostic

Le recueil d’informations à l’interface peut avoir lieu dans trois situations.

- Diagnostic passif. Les informations sont obtenues uniquement à partir de l’observation des actions de l’élève, le diagnostic est donc totalement invisible à l’élève. Les leçons ou exercices proposés sont déterminés à l’avance.

- Diagnostic actif. Le système a la possibilité de construire des exercices (ou d’en choisir dans un ensemble prédéfini) afin de compléter son modèle, ou d’en lever les ambiguïtés. Par exemple, dans le domaine de la soustraction, si le tuteur ignore si l’élève sait ou non effectuer les retenues, il peut construire un exercice faisant appel

à la retenue. Dans ce cas, le diagnostic est toujours invisible à l'élève.

• Diagnostic interactif. Les système pose des questions à l'élève sur ses connaissances ("Quelle est la superficie du Brésil ?") ou sur ses actions ("Comment es-tu passé de " $3x-5=0$ " à " $x=2$ " ?"). Cette méthode est la plus directe pour obtenir des informations, néanmoins elle doit être utilisée modérément pour ne pas alourdir l'interaction.

4.3 Difficultés du diagnostic

Le diagnostic est un problème complexe, auquel des solutions restent encore à inventer. Parmi les obstacles rencontrés, on peut citer :

- les ambiguïtés. Une observation peut généralement être interprétée de plusieurs manières. Par exemple, au cours d'une démonstration, si l'élève propose la déduction $B, \text{ or } A \Rightarrow B, \text{ donc } A$, deux explications sont possibles. Soit l'élève a échangé hypothèse et conclusion (il voulait dire $A, \text{ or } A \Rightarrow B, \text{ donc } B$), soit il a confondu théorème direct et théorème réciproque (il voulait dire $B, \text{ or } B \Rightarrow A, \text{ donc } A$). Certains tuteurs utilisent des heuristiques pour choisir l'interprétation la plus plausible, d'autres répartissent par pondération sur les différentes interprétations possibles [Noël].

- le bruit. Les données recueillies sont toujours bruitées, et ce bruit a diverses origines. Il peut venir des fautes de frappe ou d'inattention, d'un comportement contradictoire de l'élève, ou encore du fait que le modèle de référence est incomplet, et donc incapable de reconnaître un comportement non prévu. Pour surmonter ce problème, des approches statistiques ont été proposées afin d'écartier les données incohérentes. Il est également possible de prendre en compte le bruit à l'intérieur même du modèle. Par exemple, le système BUGGY [Burton], sur le domaine de la soustraction, considère que l'élève sait effectuer une soustraction "de base", c'est-à-dire à une colonne, et recherche les erreurs portant sur les soustractions à plusieurs colonnes. Cependant, lorsqu'une réponse reste inexplicée, le tuteur cherche à l'interpréter en considérant que l'élève a fait une "erreur d'étourderie" dans une soustraction de base (telle que $6 - 4 = 3$).

- l'évolution de l'élève. Le comportement en apparence incohérent de l'élève peut provenir de ce que celui-ci apprend (c'est l'objectif !), voire oublie des connaissances. Pour surmonter ces difficultés, il sera nécessaire de prendre en compte des contraintes épistémiques et des contraintes logiques. Les contraintes épistémiques ont été exploitées dans le tuteur WUSOR [Goldstein] d'une manière originale, au moyen du **graphe génétique** : les connaissances à acquérir ne sont pas représentées "en vrac", mais dans un réseau tel que des connaissances similaires seront topologiquement proches. Les connaissances de l'élève forment un sous-graphe connexe de ce graphe, et les connaissances qu'il est supposé acquérir se trouvent à la frontière de ce sous-graphe. Les contraintes logiques ont été peu étudiées. Un exemple d'une telle connaissance serait : si l'élève sait que A , et que $A \Rightarrow B$, on peut en déduire qu'il sait que B .

5 Fonctions du diagnostic

Pour répondre à des critiques qui mettaient en doute l'intérêt de la modélisation de l'élève, John Self [Self] a dressé un récapitulatif des fonctions du modèle de l'élève, qu'elles soient implantées dans un système existant, ou simplement envisageables. Il distingue six fonctions principales.

- Correction. Lorsque des connaissances incorrectes sont attribuées à l'élève, le système peut : décrire l'erreur, corriger l'erreur, suggérer une autre action, fournir un contre-exemple, ou encore soumettre un problème similaire.

- Elaboration. Lorsque des connaissances de l'expert n'apparaissent pas dans le modèle de l'élève, il s'agit de les enseigner à l'élève.

- Stratégique. Mettre en œuvre des actions plus profondes que la réaction au coup par coup, élaborer un plan pédagogique.

- Diagnostic. Lorsque des ambiguïtés sont trouvées dans le modèle de l'élève, il s'agit de poser des questions ou de proposer des exercices qui permettront de lever ces ambiguïtés.

- Prédiction. Lorsque le modèle de l'élève est suffisamment complet, il doit permettre de prédire la prochaine réponse de l'élève, voire l'apprentissage à court terme.

- Evaluation. Il s'agit d'évaluer les performances de l'élève, en vue d'un retour pour le professeur.

6 Conclusion

Les approches de la modélisation de l'élève en intelligence artificielle peuvent être placées dans deux tendances : les "puristes", qui cherchent à construire les modèles les plus précis et les plus complets possible, et les "pragmatiques", qui ne cherchent à obtenir que les informations qu'il pourront exploiter par la suite. Ces approches ne sont pas incompatibles, et on peut espérer qu'elles se rejoignent à long terme.

Ces dernières années ont vu l'apparition de nouveaux outils en intelligence artificielle, dont certains (en planification, diagnostic, apprentissage) semblent pouvoir s'appliquer de manière prometteuse à la modélisation de l'élève. Quelques réalisations ont déjà été proposées, mais il reste de nombreuses pistes à explorer. D'autre part, les modèles psychologiques, cognitifs et didactiques font des avancées importantes. Le travail pluridisciplinaire est plus que jamais primordial, pour donner le jour à des modèles performants et exploitables.

Bibliographie

Burton R. (1982) Diagnosing bugs in a simple procedural skill. *Intelligent Tutoring Systems*. D. Sleeman, J.S. Brown (Eds.), Academic Press, New-York.

Goldstein I.P. (1982) The genetic graph : a representation for the evaluation of procedural knowledge. *Intelligent Tutoring Systems*. D. Sleeman, J.S. Brown (Eds.), Academic Press, New-York.

Kass R. (1987) *The role of user modelling in I.T.S.*. Rapport de recherche. Department of Computer and Information Science, University of Pennsylvania, Philadelphia.

Noël C., Py D. (1993) Diagnostic des erreurs de l'élève basé sur le contexte. *Actes des troisièmes journées EIAO de Cachan*. Editions Eyrolles.

Self J. (1988) Student models : what use are they ? *Artificial Intelligence tools for education*, P. Ercoli and R. Lewis (Eds.), IFIP.

Wenger E. (1987) *Artificial intelligence and tutoring systems*. Los Altos, California. Morgan Kaufmann Publishers.