

# La modélisation cognitive de l'étudiant et les systèmes tutoriels intelligents

Gilberto Lacerda

Volume 19, numéro 3, 1993

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/031644ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/031644ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Revue des sciences de l'éducation

ISSN

0318-479X (imprimé)

1705-0065 (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Lacerda, G. (1993). La modélisation cognitive de l'étudiant et les systèmes tutoriels intelligents. *Revue des sciences de l'éducation*, 19(3), 501–509.  
<https://doi.org/10.7202/031644ar>

Résumé de l'article

L'article traite de la modélisation cognitive de l'étudiant à la base de la conception des systèmes tutoriels intelligents (STI). Il fait le point sur le rôle de la modélisation dans le cadre d'un enseignement intelligemment assisté par ordinateur, sur les fonctions adaptatives d'un tel mécanisme, de même que sur les méthodes de construction des modèles de la part des étudiants qu'il importe de prendre en considération dans la conception de STI, afin d'orienter la prise de décision d'ordre pédagogique.

# La modélisation cognitive de l'étudiant et les systèmes tutoriels intelligents

Gilberto Lacerda  
Étudiant de 3<sup>e</sup> cycle  
Université Laval

**Résumé** – L'article traite de la modélisation cognitive de l'étudiant à la base de la conception des systèmes tutoriels intelligents (STI). Il fait le point sur le rôle de la modélisation dans le cadre d'un enseignement intelligemment assisté par ordinateur, sur les fonctions adaptatives d'un tel mécanisme, de même que sur les méthodes de construction des modèles de la part des étudiants qu'il importe de prendre en considération dans la conception de STI, afin d'orienter la prise de décision d'ordre pédagogique.

## *Introduction*

La société technologique actuelle nous conduit à la croisée d'innombrables possibilités relatives au renouvellement des systèmes traditionnels d'activités humaines. L'immense quantité d'informations, de plus en plus véhiculée dans tous les contextes et dans toutes les situations, est un facteur de remise en question des processus de transmission des connaissances, surtout si on tient compte du grand potentiel de l'application des nouvelles technologies dans les différents secteurs de la société.

En ce qui concerne l'éducation, ces directions nouvelles, prises par le monde contemporain, poussent les concepteurs de systèmes d'enseignement et de formation à poser un regard de plus en plus centré sur le potentiel pédagogique des technologies émergentes. Comme le souligne Benyahia (1983), l'éducation est souvent perçue comme un vaste secteur imperméable à l'innovation technologique, compte tenu de la relation séculaire entre le maître et l'élève grâce à un outil éducatif fort ancien, le livre. Nonobstant cette imperméabilité, l'impact technologique actuel impose le choix de chemins inédits.

Depuis l'avènement du domaine de l'intelligence artificielle et de son application dans la conception de systèmes tutoriels intelligents (STI), les possibilités d'utilisation de l'ordinateur en enseignement et en formation ont pris de nouvelles dimensions. C'est ainsi que plusieurs chercheurs étudient ces possibilités d'avenir, tout en envisageant le développement de systèmes enseignants capables de simuler le raisonnement des tuteurs humains et de suivre de plus près le cheminement cognitif des étudiants.

De nombreuses recherches portant sur la mise en marche de prototypes de systèmes tutoriels intelligents nous placent ainsi devant des possibilités considérables concernant l'application pédagogique de l'intelligence artificielle. Néanmoins, malgré les remarquables progrès concernant le développement des STI, ces outils d'enseignement par ordinateur ne sont pas encore assez efficaces pour jouer le rôle tutoriel auquel ils sont destinés. C'est ainsi qu'Anderson, Boyle, Corbett et Lewis (1990) essaient de situer le développement des tutoriels intelligents dans un cadre davantage axé sur la pédagogie que ces systèmes doivent présenter. Pour ces chercheurs, qui remettent en cause le fonctionnement pédagogique des tutoriels intelligents lorsqu'ils sont issus d'une démarche de conception éloignée des préoccupations relatives au processus de la communication des connaissances, la recherche sur les tutoriels intelligents doit être orientée vers l'atteinte de deux objectifs: le développement de systèmes capables de mener un enseignement individualisé efficace et l'étude des questions relatives aux mécanismes de l'apprentissage, au processus de la compréhension, à la nature, à la transmission et à l'acquisition des connaissances. Anderson *et al.* (1990) soulignent l'importance du premier objectif, vu l'investissement de plus en plus important nécessaire à la formation de tuteurs humains. Quant au deuxième objectif, ces chercheurs nous font remarquer que ce domaine d'études se révèle un excellent laboratoire pour l'expérimentation de théories cognitives. À cela, nous ajoutons que le développement de systèmes tutoriels intelligents doit être avant tout axé sur la mise au point de systèmes informatiques susceptibles d'assurer une transmission sûre des connaissances, adéquate et qui tienne compte des besoins, des apports et des cheminements cognitifs de chaque apprenant.

En ce qui concerne l'enseignement individualisé, l'efficacité du processus de communication de connaissances est étroitement liée aux moyens favorisant l'interactivité entre l'étudiant et le système enseignant. D'après Salomon (1981), l'éducation est, par définition, un processus interactif, un contexte où la rétroaction de l'élève et l'action de l'environnement enseignant sont en relation de causalité réciproque. L'une déclenche l'autre et vice-versa. L'interactivité est alors définie comme l'ensemble des influences réciproques établies entre le système tutoriel et l'étudiant pour communiquer des connaissances.

Ainsi, l'optimisation des moyens de communication de messages pédagogiques est un facteur qui dépend directement de la connaissance que l'enseignant a du récipiendaire de ces messages, c'est-à-dire de l'étudiant. Dans cette perspective, un système tutoriel intelligent, en tant que mécanisme de communication des connaissances, doit intégrer un ensemble de structures qui assurent une fonction diagnostique du comportement de l'étudiant, à partir des rétroactions de ce dernier. Puisque cette fonction diagnostique est à la base du développement des modèles d'étudiants, son rôle est étroitement associé à la réussite des plans pédagogiques de tutoriels intelligents.

Le concept de modélisation de l'étudiant est fondamental pour la recherche en enseignement intelligemment assistée par ordinateur (EIAO). En effet, la capacité des systèmes tutoriels intelligents de créer une image de son usager est considérée comme sa caractéristique la plus importante. Cette image comprend une représentation du comportement de

l'étudiant, ainsi que des informations sur l'état et sur le développement de sa connaissance de l'expertise qui lui est communiquée, dans le but d'adapter l'action pédagogique du système aux lacunes identifiées dans le comportement représenté.

### *Qu'est-ce que la modélisation de l'étudiant?*

Afin de lui offrir un enseignement adaptatif, l'identification préalable des besoins et des caractéristiques cognitives de l'apprenant est un aspect important de la démarche des tuteurs humains ou informatisés. Cette identification correspond, chez l'enseignant, au développement de modèles de la démarche d'apprentissage de l'étudiant. Plusieurs chercheurs, s'intéressant aux questions de l'individualisation et de l'adaptation de l'enseignement, ont constaté que l'optimisation des moyens de communication d'une expertise est un facteur qui dépend directement de la connaissance dont dispose le tuteur au sujet du comportement du récepteur des messages pédagogiques (Gordon, DeStefano et Shipman, 1985; Wilkinson, 1982; Glaser, 1977; Legendre, 1981). Malgré cette constatation, nous remarquons que peu de recherches traitent spécifiquement de la modélisation de l'étudiant dans le contexte de l'enseignement tutoriel humain.

Selon Postic et de Ketele (1988), l'enseignant, en détenant certains modèles comportementaux considérés optimaux, observe la démarche de l'étudiant en comparant ces modèles préétablis avec le cheminement réel emprunté par ce dernier. Il s'agit, d'après ces auteurs, de l'identification des indices verbaux, non verbaux, affectifs, cognitifs et linguistiques, capables d'orienter le choix de l'approche d'intervention à être adoptée par l'enseignant. Également, Simon et Boyer (1970) ont réalisé que le regard que l'enseignant pose sur l'étudiant est centré sur l'observation systématique d'aspects subjectifs et objectifs, d'ordre affectif, cognitif, psychomoteur, sociologique, etc. Ces auteurs ne nous informent pas des procédures et des moyens adoptés par les enseignants pour entreprendre une telle observation. Néanmoins, ils nous permettent de vérifier que la modélisation de l'étudiant est une habileté qui dépasse la simple observation de sa rétroaction immédiate. Cette modélisation est ainsi étroitement liée à l'identification de modèles mentaux comprenant une visualisation globale de l'élève.

En effet, du point de vue du fonctionnement cognitif, les étudiants réagissent différemment en fonction de la tâche d'apprentissage à laquelle on les soumet. C'est ainsi que l'action didactique de l'enseignant doit être orientée par une vérification qualitative et quantitative des rétroactions fournies par l'étudiant. Cette vérification est à la base même du processus de communication des connaissances, tel que suggéré par Salomon (1981) et défini par Wenger (1987).

L'étude de Cauzinille-Marmèche et Mathieu (1989), sur l'adaptation des interventions tutorielles au modèle cognitif de l'élève, fait le point sur les stratégies de modélisation employées par plusieurs STI. Cette étude souligne le rôle important joué par le modèle de l'étudiant au sein d'un STI, dans la mesure où la définition des actions pédagogiques du système dépend fortement de la connaissance de l'état d'avancement de l'étudiant dans son

processus d'apprentissage. Dans ce contexte, le processus de modélisation de l'étudiant peut être défini comme une représentation de la démarche d'apprentissage qui le caractérise. D'après Mitchell (1989), ce processus, qui correspond à représenter l'étudiant selon une perspective adaptative et automodifiante, est un sujet de recherche encore peu exploité.

### *Les fonctions de la modélisation de l'étudiant*

Self (1988), chercheur du Centre de Recherche sur l'Ordinateur et l'Enseignement à l'Université de Lancaster, a mené une étude comparative des modules de l'étudiant de plusieurs systèmes tutoriels intelligents. Parmi les systèmes analysés, il a identifié plusieurs fonctions de la modélisation de l'étudiant, qu'il a classé selon six catégories: corrective, stratégique, diagnostique, prédictive, évaluative et élaborative. Ces catégories identifient non seulement les fonctions de la modélisation de l'étudiant, mais également ce que le STI peut faire à partir des informations issues des modèles eux-mêmes.

La fonction corrective consiste à éliminer une erreur préalablement identifiée dans la rétroaction de l'étudiant, sans tenir compte de la nature de l'erreur. Par contre, la fonction élaborative sert à corriger la démarche de l'étudiant lorsque celle-ci est considérée correcte, mais incomplète. Pendant que les fonctions corrective et élaborative sont employées au fur et à mesure que des erreurs sont observées, la fonction stratégique permet au système d'élaborer un plan plus global qui vise à modéliser et à corriger l'étudiant. Ce plan, dit stratégique, consiste à changer la stratégie d'intervention initialement adoptée, afin d'éliminer l'erreur présentée par l'étudiant (changement de plan). Si l'erreur persiste, le système change le style de présentation de la matière (changement de style). De tels changements sont faits en tenant compte des caractéristiques cognitives de l'étudiant, détectées au fur et à mesure que le dialogue pédagogique prend forme.

Lorsque la rétroaction de l'étudiant n'est pas suffisamment claire pour que le système puisse l'interpréter comme étant correcte, la fonction diagnostique permet d'identifier, dans cette rétroaction, certains indices susceptibles de conduire à l'adoption d'une stratégie d'intervention davantage centrée sur le comportement de l'étudiant. Selon une autre perspective, si l'*input* de l'étudiant suggère plusieurs interprétations, ou si l'*output* du système génère chez l'étudiant plusieurs hypothèses sur la connaissance transmise, la fonction diagnostique assure l'adoption d'une démarche d'intervention visant à identifier l'interprétation la plus raffinée ou l'hypothèse la plus cohérente.

Le module de l'étudiant peut procéder non seulement à une analyse ou à une interprétation de l'action de l'apprenti, mais il peut aussi mettre en marche une fonction prédictive, soit de la performance de l'étudiant, soit de son apprentissage. La prédiction de la performance de l'étudiant a comme objectif la mise au point d'une action didactique plus proche des démarches adoptées par l'étudiant, surtout quant il s'agit de la sélection des stratégies pédagogiques mises au service de la communication des connaissances. La prédiction des apprentissages réussis par l'étudiant sert à anticiper l'effet des actions didactiques du système et à faciliter le choix de celles qui promettent un résultat significatif.

Finalement, Self (1988) a identifié la fonction évaluative qui vise à estimer ou à évaluer la performance de l'étudiant et celle du système. L'évaluation de l'étudiant est établie à partir d'une comparaison entre la connaissance qu'il a acquise et les objectifs pédagogiques du système. Par contre, l'évaluation de ce dernier est entreprise à partir d'une analyse de la qualité de son action globale, grâce à la simulation d'une situation d'enseignement/apprentissage avec un étudiant fictif créé en fonction des indices recherchés chez l'étudiant réel. Les stratégies tutorielles employées lors de cette interaction simulée sont alors comparées avec celles employées lors de l'interaction réelle, permettant ainsi l'évaluation de la performance du système.

### *La construction d'un modèle de l'étudiant*

Nous remarquons que les tutoriels intelligents les plus connus utilisent trois méthodes de base pour la construction d'un modèle de l'étudiant:

- 1) à partir d'un ensemble de règles représentatives du comportement de l'étudiant (Théorie *overlay*);
- 2) à partir d'une représentation des erreurs qui peuvent être commises par l'étudiant, c'est-à-dire à partir d'un catalogue d'erreurs (Théorie de la réparation);
- 3) à partir de l'observation directe du comportement de l'étudiant (Théorie de l'inférence).

### *La théorie overlay*

Le système SCHOLAR, développé par Carbonell (1970), est le premier STI à employer la théorie *overlay* pour modéliser son usager. Ce système, dont l'objectif est d'obtenir la représentation la plus fidèle possible de la connaissance détenue par l'étudiant, génère d'abord la représentation d'un étudiant idéal qui maîtrise tout le contenu pédagogique. Ensuite, l'étudiant réel est progressivement identifié grâce à une démarche de comparaison entre sa performance et celle de l'étudiant idéal.

La théorie *overlay* a également été proposée par Carr et Goldstein (1977), pour la modélisation de l'usager du système WUSOR-II. Ces chercheurs ont retenu comme données de modélisation de l'étudiant les indices cognitifs suivants: la réceptivité aux interventions tutorielles, le besoin de répétition et le degré d'oubli. L'action de l'étudiant est donc toujours analysée par rapport à ces trois indices. Il y a donc tout un ensemble de règles responsables de l'établissement d'un lien entre les rétroactions de l'étudiant et ces indices cognitifs.

Il est possible d'identifier deux limitations de la théorie *overlay*. Premièrement, les règles de modélisation de l'étudiant ne constituent pas un module indépendant, mais un sous-ensemble des règles de codification de l'expertise. Le processus de modélisation doit donc se limiter aux techniques de codification de connaissances choisies par le concepteur du système tutoriel. Deuxièmement, il n'y a pas de règles relatives aux erreurs commises par

l'étudiant, le système peut seulement conduire à la conclusion que le comportement incorrect de l'apprenant est dû à la maîtrise insuffisante du contenu. Dans ce contexte, les déviations et les distorsions de connaissances ne sont pas considérées dans la modélisation de l'étudiant.

### *La théorie de la réparation (Repair Theory)*

D'après Burns et Capps (1988), il y a deux niveaux de complexité dans la question de la modélisation de l'étudiant. Le premier niveau correspond à la vérification des écarts entre la connaissance de l'étudiant et celle du tuteur. Cette vérification, à travers laquelle le système peut mettre au point une représentation de son usager, constitue la méthode *overlay*, discutée ci-avant. Pour représenter l'étudiant, cette théorie n'utilise que des informations relatives à ses connaissances incomplètes. Le deuxième niveau de complexité correspond à la représentation des connaissances incomplètes et incorrectes, impliquant l'organisation d'un catalogue d'erreurs. Ce niveau correspond aussi à la représentation des points de vue ou des opinions que l'étudiant a sur les connaissances qui lui sont communiquées.

Pour le développement de mécanismes de modélisation de l'étudiant plus fidèles aux comportements pris en compte, les recherches les plus récentes mettent l'accent sur l'utilisation d'un catalogue regroupant les erreurs les plus communément commises par l'étudiant. Ces erreurs sont à la base de la théorie de la réparation, proposée par Brown et VanLehn (1980). Les modules de l'étudiant, développés selon cette théorie, tentent d'identifier chez l'élève des déviations de la connaissance transmise par le système. Dès que ces déviations sont identifiées, des actions pédagogiques sont déclenchées par le système dans le but de réparer les erreurs sous-jacentes. La théorie de la réparation a été employée dans la conception du système DEBUGGY (Burton, 1982). Le modèle de l'étudiant produit par ce système est mis au point selon le principe de la décomposition de la rétroaction de l'usager, identifiant et isolant ses procédures incomplètes et incorrectes. Une fois identifiées, les erreurs sont classées dans un catalogue, qui devient un paramètre de modélisation.

Selon la théorie de la réparation, lorsqu'une erreur n'est pas cataloguée, le module de l'étudiant essaie de combiner d'autres erreurs afin d'identifier celle en question. Brown et VanLehn (1980) mentionnent trois techniques d'identification d'erreurs et d'obtention d'un catalogue:

- 1) les erreurs peuvent être identifiées dans la documentation;
- 2) les erreurs peuvent être identifiées à travers l'analyse du comportement d'un groupe d'étudiants;
- 3) s'il y a une théorie d'apprentissage sur le contenu pédagogique à être enseigné, les erreurs peuvent être prévues en fonction de cette théorie.

### *L'inférence du modèle de l'étudiant*

Les concepteurs de systèmes tutoriels intelligents ont identifié quatre types de problèmes relatifs à la performance des systèmes qu'ils ont développés. Premièrement, quant à la précision des détails, l'action pédagogique produite en réponse à la rétroaction de l'étudiant est, en général, d'un niveau insatisfaisant. Deuxièmement, pour que l'interaction puisse avoir lieu, l'étudiant est obligé d'agir selon la structure conceptuelle des systèmes. Troisièmement, l'action tutorielle offerte par les systèmes est tout à fait improvisée, reflétant l'emploi peu scrupuleux de l'intuition dans la définition du rôle des tuteurs intelligents. Quatrièmement, les mécanismes d'interaction sont restrictifs, empêchant l'étudiant de s'exprimer librement, et, par conséquent, limitant les mécanismes de diagnostic du système. En ce qui concerne ce dernier point, les recherches actuelles dans le domaine des STI mettent l'accent sur le développement de techniques permettant la déduction ou l'inférence du modèle de l'étudiant, en tenant compte de l'observation des réponses données à un ensemble de problèmes.

En se basant sur les travaux de Burton (1982) relatifs au système DEBUGGY, Sleeman (1983) a développé le système LMS (*Leeds Modelling System*), un système tutoriel intelligent axé sur le diagnostic cognitif pour l'enseignement de l'algèbre. En vérifiant que la méthode employée par Burton peut générer une infinité de modèles cognitifs différents, Sleeman prétend que l'observation directe du comportement des étudiants, et l'inférence de règles ayant un rapport avec les comportements observés, peuvent contribuer à une modélisation plus consistante et plus réelle.

Pendant que la théorie de la réparation représente l'étudiant en utilisant un catalogue d'erreurs, les modèles conçus selon la théorie de l'inférence représentent l'étudiant comme un ensemble de règles de production et de versions fautives de ces règles. Les travaux de Sleeman ont l'avantage de développer des modèles de l'étudiant complètement indépendants de la représentation de la connaissance. En effet, la théorie *overlay* représente l'étudiant comme un sous-ensemble de la représentation du contenu pédagogique, et la théorie de la réparation n'est qu'une augmentation de l'étendue de cette représentation (Burns et Capps, 1988).

### *Conclusion*

Développer des mécanismes pour interpréter les rétroactions de l'étudiant, lors d'une situation d'enseignement intelligemment assisté par ordinateur, est une entreprise qui suscite beaucoup de discussions. Fondamentalement aucun STI ne peut être véritablement considéré comme étant «intelligent» et «tuteur», s'il n'intègre pas une connaissance du comportement de l'étudiant. Nous insistons cependant sur le fait qu'il faut que cette connaissance influence le processus tutoriel, et qu'elle ne devienne pas inerte au sein de celui-ci. D'une façon ou d'une autre, la plupart des STI existants mettent en œuvre une modélisation de leur usager. Cependant, quand cette modélisation n'est qu'un rapport du cheminement de l'étudiant tout au long de l'interaction tutorielle, ou quand elle ne livre que des

données statistiques qui révèlent le nombre de fois que telle ou telle procédure est déclenchée, il faut remettre en question le fonctionnement des systèmes prétendus adaptatifs et interactifs. En effet, la modélisation de l'étudiant n'a aucun rôle dans un système de communication de connaissances si elle ne sert pas de paramètre à la prise de décisions pédagogiques. Conséquemment, à la notion de système tutoriel intelligent, il nous semble nécessaire d'associer l'habileté à prendre des décisions à partir du comportement de l'étudiant.

Mais comment substituer à un tuteur humain un tuteur informatique, restreignant au maximum tous les moyens de communication entre celui-ci et son élève et, malgré cela, prétendre que l'interaction tutorielle est maintenue et efficace? Comment remplacer par une machine, où les connaissances sont représentées selon un code limité et non global, toute la souplesse du processus de transmission de connaissances entre un enseignant et un étudiant, et, néanmoins, vouloir communiquer des savoirs? Comment enlever tous les aspects subjectifs d'une séance pédagogique sans compromettre la richesse de celle-ci?

Toutes ces questions soulèvent encore d'innombrables pistes de recherche. Elles montrent que le *design* de systèmes tutoriels intelligents a encore des obstacles cruciaux à franchir. En fait, lorsque nous faisons référence à l'enseignement individualisé, le STI doit être un outil capable de placer l'étudiant au centre du processus tutoriel. Cela suppose que pour favoriser la communication des connaissances, le système doit nécessairement avoir une connaissance de l'étudiant et s'y adapter en conséquence.

L'apprentissage étant un changement d'état mental, un STI efficace doit nécessairement pouvoir créer des représentations de son usager, au fur et à mesure que celui-ci avance vers l'acquisition des connaissances, et mettre ces représentations au service des processus d'intervention pédagogique. Cela demeure vrai pour n'importe quel type de tuteur.

**Abstract** – This article describes student's cognitive modeling used in elaborating intelligent tutoring systems. The author describes the role of modeling within the framework of computer aided instruction, the adaptive functions of this mechanism, as well as the methods students use to construct models that must be considered in the conception of intelligent tutoring systems which in turn would guide decisions about teaching.

**Resumen** – El artículo trata de la modelización cognitiva del estudiante mediante la concepción de sistemas de inteligencia tutorial (SIT). Analiza el rol de la modelización en el contexto de una enseñanza inteligentemente asistida por computador, las funciones adaptativas de un tal mecanismo, así como los métodos de construcción de modelos por los estudiantes que conviene considerar en la concepción de SIT, afin de orientar las decisiones pedagógicas.

**Zusammenfassung** - Der Artikel behandelt die kognitive Modellbildung der Studenten als Grundlage für den Aufbau der «intelligenten Tutorsysteme» (systèmes tutoriels intelligents = STI). Er untersucht die Rolle dieser Modellbildung im Rahmen eines auf intelligente

Weise von Computern unterstützten Unterrichts, die Anpassungsmöglichkeiten eines solchen Mechanismus, sowie die Aufbaumethoden der Modelle durch die Studenten, die man bei der Erstellung der STI berücksichtigen muss, um die Entscheidungen auf pädagogischer Ebene zu orientieren.

## RÉFÉRENCES

- Anderson, J. R., Boyle, C. F., Corbett, A. T. et Lewis, M. W. (1990). Cognitive modeling and intelligent tutoring. *Artificial Intelligence: An International Journal*, 42(1), 456-462.
- Benyahia, H. (1983). *Éducation et innovations technologiques: performance pédagogique et rentabilité économique*. Montréal: Éditions Renouf.
- Burns, H. L. et Capps, C. G. (1988). *Fondations of intelligent tutoring systems: An introduction*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Brown, J. S. et VanLehn, K. (1980). Repair theory: A generative theory of bugs in procedural skills. *Cognitive Science*, 4, 2379-2426.
- Burton, R. R. (1982). Diagnosing bugs in a simple procedural skill. In D. H. Sleeman et J. S. Burton (dir.), *Intelligent tutoring systems* (p. 157-184). Londres: Academic Press.
- Carar, B. et Goldstein, I. P. (1977). *Overlays: A theory of modeling for computer-aided-instruction*. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology.
- Carbonell, J. R. (1970). *Mixed-initiative man-computer instructional dialogues*. Thèse de doctorat, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.
- Cauzinille-Marmèche, E. et Mathieu, J. (1989). Adapter les interventions tutorielles au modèle cognitif de l'étudiant. In J.-P. Caverni, C. Bastien, P. Mendelsohn et G. Tiberghien (dir.), *Psychologie cognitive: modèles et méthodes* (p. 175-190). Grenoble: Presses universitaires de Grenoble.
- Glaser, R. (1977). *Adaptive education: individual diversity and learning*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Gordon, E. W., DeStefano, L. et Shipman, S. (1985). Characteristics of learning persons and the adaptation of learning environments. In M. Wang et H. J. Walbert (dir.), *Adapting instruction to individual differences* (p. 44-65). Londres: Academic Press.
- Legendre, R. (1981). *Une éducation... à éduquer!* Montréal: Éditions France-Québec.
- Mitchell, P. D. (1989). Developing a learner for intelligent CAL: A systems approach. In *Proceedings of sixth canadian symposium on instructional technology* (p. 334-338). Halifax: Conseil national de recherches du Canada.
- Postic, M. et de Ketele, J.-M. (1988). *Observer les situations éducatives*. Paris: Presses universitaires de France.
- Sleeman, D. H. (1983). Inferring student models for intelligent computer-aided instruction. In R. S. Michalski, J. G. Carbonell et T. M. Mitchell (dir.), *Machine learning: An artificial intelligence approach* (p. 483-510). Palo Alto, CA: Morgan Kaufman.
- Salomon, G. (1981). *Communication and education: Social and psychological interactions*. San Francisco, CA: Sage.
- Self, J. (1988). Student models: What use are they? In P. Ercoli et R. Lewis (dir.), *Artificial intelligence tools in education* (p. 73-86). Amsterdam: Elsevier Science Publishing.
- Simon, A. et Boyer, E. G. (1970). *Mirrors for behavior II: An anthology for observation instruments*. Philadelphie, PA: Classroom Interaction Newsletter.
- Wenger, E. (1987). *Artificial intelligence and tutoring systems. Computational and cognitive approaches to the communication of knowledge*. San Francisco, CA: Morgan Kaufman.
- Wilkinson, L. C. (1982). *Communicating in the classroom*. New York: Academic Press.