

Commentary

Tendances et Prospective en Applications Pédagogiques de L'Ordinateur

Philippe Duchastel
Pierre Pelletier

Résumé: Les applications pédagogiques de l'ordinateur sont appelées à évoluer vers des formes d'interaction beaucoup plus flexibles et motivantes pour l'étudiant. Nous considérons ici les différentes formes d'APO qui prennent actuellement de plus en plus d'importance en recherche et en développement dans ce domaine, en particulier les Jeux éducatifs, les environnements exploratoires, le vidéodisque Interactif, et les systèmes tutoriels intelligents. Notre analyse insiste sur les avantages particuliers de l'ordinateur et sur les modèles d'apprentissage en APO. Les tendances actuelles décelées mènent à des considérations de prospective pour les APO.

Abstract: Computer applications in education will inevitably evolve we feel, towards Systems which are more flexible than present-day Systems, and which also capture student motivation to a greater extent. We consider here different forms of computer applications in education which seem particularly promising in these respects. These include computer games, exploratory learning environments, interactive videodisks, and intelligent tutoring Systems. We believe that artificial intelligence will have a strong impact in the area of computer applications in education.

INTRODUCTION

L'éducation contemporaine a pour tâche d'intégrer les nouvelles technologies à l'enseignement de sorte à profiter pleinement de ce qui fut appelé le virage technologique. L'élément central de ces nouvelles technologies est l'ordinateur, et déjà des applications fort diversifiées ont été réalisées dans tous les secteurs éducatifs. Les technologies informatiques sont cependant loin d'être stables: de nouvelles possibilités matérielles et des applications nouvelles qui en découlent font leur apparition de façon continue. Ces technologies constituent en effet un domaine en évolution créative constante, et il est important que les chercheurs et les décideurs publics suivent cette évolution de près et la guident de façon appropriée dans ses applications locales.

Cependant cette intégration de l'ordinateur en éducation ne se fait pas sans problème. Kurland (1983) indiquait:

If one takes a look at any of the educational computing magazines or talks to teachers struggling with their first computer, a general impression emerges that educational software is often poorly conceived, "buggy", difficult to use, difficult to integrate with the rest of the curriculum, and designed without regard for the range of needs and abilities of students. (p.4)

Cet article porte sur les capacités actuelles et potentielles de l'ordinateur en éducation, tout en faisant une place spéciale aux apports de l'intelligence artificielle (IA) dans ce domaine. Même si la géographie des APO de demain demeure très difficile à bien définir, il apparaît déjà de façon générale que l'IA soit appelée à y jouer un rôle majeur. En effet, tout l'intérêt suscité depuis quelques années pour l'IA n'est pas un phénomène artificiel, mais bien le reflet d'une révolution mineure en informatique même. Il s'agit essentiellement d'une extension importante de l'informatique vers des applications à caractère réellement symbolique et heuristique. Nous nous permettons de croire que d'ici 10 ans, tout logiciel pédagogique comportera des éléments d'IA dans son fonctionnement.

Dans un premier temps, nous situons notre analyse par rapport aux modalités d'applications de l'ordinateur que sont l'enseignement directif, l'apprentissage de la programmation et l'ordinateur comme outil pédagogique. C'est surtout cette première modalité qui nous intéressera par la suite, et nous en examinons le potentiel par l'intermédiaire de trois avantages que procure l'ordinateur en enseignement: le diagnostic rapide, l'intérêt soutenu de l'élève et la simulation symbolique. Ce sont là des capacités qui sont aisément exploitables dans des applications faisant intervenir l'intelligence artificielle, comme nous le soulignerons plus loin, surtout parce que ces types d'applications sont davantage basées sur des modèles d'apprentissage cognitifs que le sont les applications traditionnelles.

Cependant, les tendances actuelles en APO font ressortir surtout des types d'applications qui s'éloignent des applications traditionnelles sans pour autant être révolutionnaires. Ce sont les jeux éducatifs, les environnements exploratoires, le vidéodisque interactif et les systèmes tutoriels intelligents. Ce sont là les types d'applications qui, se basant de plus en plus sur l'intelligence artificielle (c'est évident dans le dernier cas), feront surtout progresser les APO au cours des prochaines années. La perspective que nous entrevoyons est centrée sur une certaine maturité d'exploitation des APO, sur des équipements informatiques sophistiqués et, bien sûr, sur une informatique intelligente.

Les modalités d'application de l'ordinateur en éducation

La littérature identifie de plusieurs façons les modalités d'application de l'informatique dépendamment des usages qu'on en fait et des objectifs que l'on vise. De façon générale, l'on peut considérer, à la suite de Kurland (1983) et de Sheingold (1984), une catégorisation des applications de l'ordinateur en éducation selon trois modalités principales: dans le cadre d'un enseignement directif, comme instrument d'apprentissage de la programmation et comme outil pédagogique.

Enseignement directif. Selon cette modalité, l'ordinateur devient une machine à enseigner: un tuteur ou un répéteur. Les objectifs dont l'atteinte est favorisée dans ce contexte sont surtout du type information verbale. C'est l'approche la plus ancienne et encore la plus répandue. Cette façon de faire a été promulguée avec force par les grandes maisons de publication qui conçoivent le logiciel pédagogique (souvent appelé didacticiel) au même titre que les volumes qu'ils produisent et qu'ils distribuent.

Apprentissage de la programmation. Dans ce cas, l'ordinateur est considéré comme objet d'apprentissage. On y vise l'atteinte d'objectifs relatifs à la connaissance de la structure et du fonctionnement de l'ordinateur et de ses périphériques, ainsi que la maîtrise de certains langages de programmation tels le BASIC, le LOGO ou le PROLOG.

Outil pédagogique. Cette approche exploite des logiciels utilisés principalement pour traiter et gérer de l'information à des fins d'apprentissage, d'enseignement ou de gestion pédagogique. L'outil est ici considéré dans le sens de Bruner (1982), c'est-à-dire: "as an amplifier of human capacities and implementer of human activity" (p. 81). Ces logiciels comprennent des logiciels tels le traitement de texte et les systèmes de base de données.

Délaissions maintenant ces deux dernières modalités pour nous centrer sur le logiciel pédagogique en soi. Lesgold (1982) présente une analyse qui traite des avantages de l'ordinateur en éducation sous une rubrique révélatrice: "What cannot be done without a computer?" En effet, bon nombre d'applications courantes de l'ordinateur en éducation ne font que faire quelque peu autrement ce qu'il est possible de faire avec des moyens traditionnels. Ce qu'il convient plutôt de faire dans l'état actuel des APO, c'est de considérer le potentiel particulier de l'ordinateur (i.e., comment il peut vraiment enrichir la qualité de l'éducation au-delà des technologies traditionnelles).

Lesgold présente trois aspects particuliers de certaines applications de l'ordinateur en éducation, lesquels ne sont que très brièvement résumés ci-dessous.

Le diagnostic rapide. Une habileté majeure de certaines applications de l'ordinateur est de rapidement diagnostiquer chez l'étudiant des sources d'erreurs ou de fausses représentations cognitives. Les composantes du diagnostic, surtout lorsque les besoins sont complexes, dépassent souvent les ressources-mêmes des enseignants, de sorte qu'un système informatique sophistiqué, par exemple BUGGY (Burton, 1982), peut constituer un atout majeur dans ce domaine.

L'intérêt soutenu. L'habileté de l'ordinateur d'interagir rapidement avec l'étudiant a pour avantage de préserver l'attention de celui-ci lors de l'apprentissage. La composante ludique que l'on retrouve dans plusieurs des didacticiels actuels est reconnue comme un avantage additionnel dans cette même veine. Le pouvoir de l'ordinateur de capter l'attention dépend cependant de la justesse et de la cohérence de l'interaction, laquelle dépend elle-même de plusieurs facteurs, dont la sophistication de la représentation interne du contenu pédagogique dans le programme et de la situation d'apprentissage.

La simulation symbolique. L'ordinateur peut aisément étendre la gamme d'expériences pratiques dont peut profiter l'étudiant. La simulation informatique remplace en effet de nombreuses expériences de laboratoire qui sont soit difficiles soit dangereuses à réaliser en pratique. De plus, la simulation symbolique permet à l'étudiant de "jouer" avec les lois physiques et de s'apercevoir des représentations naïves qu'il peut avoir à leur égard. Le système SOPHIE (Brown et al., 1982) est un exemple de ce type de laboratoire informatique; les logiciels en développement au Educational Technology Center de Harvard (Schwartz, 1984) en sont autant d'autres.

Ces trois aspects particuliers de l'ordinateur ont été exploités depuis l'avènement de l'enseignement assisté par ordinateur (EAO). Cela n'a pas toujours été fait cependant dans des conditions les plus propices à l'exploitation optimale des capacités offertes par la machine, cela en raison de diverses considérations techniques. Les progrès récents en informatique, et surtout en LA, laissent cependant entrevoir une possibilité de profiter pleinement de ces capacités.

L'enseignement intelligemment assisté par ordinateur (EIAO)

L'EIAO a été défini dès ses débuts (par le concepteur de SCHOLAR, le premier système EIAO — Carbonell, 1970) en termes de flexibilité d'apprentissage: le système, au moyen d'un dialogue à initiative partagée, permet à l'étudiant de contrôler la direction de l'interaction et en conséquence le cheminement de son propre apprentissage. C'est en général cette flexibilité offerte à l'étudiant qui caractérise, au niveau des processus cognitifs, l'avantage de l'EIAO sur l'EAO traditionnel (Duchastel, 1986a; voir également Duchastel, 1986b, pour une analyse détaillée du concept de contrôle par l'étudiant en EIAO).

Alors que l'EAO traditionnel vise un enseignement adaptatif en réponse aux besoins inférés de l'étudiant, l'EIAO cherche davantage à stimuler un apprentissage adaptatif à partir des intérêts de l'étudiant. L'adaptation en EAO traditionnel requiert essentiellement que tous les besoins potentiels de l'étudiant soient déterminés à l'avance par l'enseignant et inclus explicitement dans le système. Il s'agit là d'un processus largement algorithmique qui a pour conséquence de structurer souvent trop rigide-ment l'interaction éventuelle lors de l'apprentissage. A l'encontre de cette approche, la flexibilité d'interaction qu'offre l'EIAO donne à l'étudiant une plus grande initiative, lui permettant ainsi d'adapter lui-même l'enseignement à ses propres besoins cognitifs, tant au niveau de ses intérêts que de ses schèmes cognitifs. Il en résulte en principe une stimulation accrue, de même qu'un niveau d'adaptation plus raffiné.

Il faut cependant noter que cette caractérisation de l'EIAO demeure générale. En effet, les prototypes de systèmes existants sont très variés et abordent cette tâche centrale d'adaptation chacun selon leurs particularités propres (voir Sleeman et Brown, 1982, pour les systèmes particuliers, et O'Shea et Self, 1983, pour une analyse critique). Il faut aussi noter que la flexi-

bilité en EIAO ne l'empêche pas d'être prescriptif lorsque l'exige la situation; c'est d'ailleurs là le rôle des modules tuteurs des systèmes EIAO. Une analyse des aspects proprement tutoriels des principaux systèmes EIAO est présentée par Duchastel et Imbeau (1986). C'est essentiellement cette dynamique psychologique qu'on retrouve dans le dialogue à initiative partagée qui est au coeur du problème de design pédagogique de systèmes EIAO.

La flexibilité d'interaction offerte par l'EIAO, et l'adaptabilité accrue qui en résulte, sont rendues possibles dans le design de tels systèmes par les techniques de l'IA. L'IA modularise finement les connaissances de telle sorte que le système puisse les recombinaison de façon heuristique pour répondre de façon appropriée aux besoins courants de la situation lors d'une résolution de problème ou d'une interaction avec l'utilisateur. La base de connaissances est établie en termes d'éléments sémantiques interreliés et non plus uniquement en termes d'éléments symboliques pré-formatés (Duchastel, 1986e).

L'IA cherche également (quoique non dans tous les cas) à faciliter l'interaction usager-machine au moyen de techniques de compréhension du langage naturel dans des domaines limités. En effet, la flexibilité qu'offre l'IA suppose que le système puisse interpréter et réagir aux initiatives de l'utilisateur, lesquelles sont difficilement formulables autrement qu'en langage naturel (dépendant de la sophistication informatique de l'utilisateur, laquelle doit être rarement présupposée au départ). Les problèmes techniques à ce niveau sont complexes et il s'agit d'une thématique importante dans la recherche en IA. Un exemple sophistiqué en EIAO d'application du langage naturel (toujours dans un domaine restreint) est le système SOPHIE (Brown et al., 1982).

Cette section ne put qu'esquisser plutôt sommairement la nature de l'EIAO et ses principales problématiques. Des analyses beaucoup plus approfondies sont disponibles, de même que plusieurs exemples (voir à cet effet le volume de Wenger, 1987).

Modèles d'apprentissage en APO

Toute application pédagogique de l'ordinateur comporte implicitement une théorie didactique basée sur un modèle d'apprentissage particulier, même si celui-ci est diffus. Ce qu'est l'apprentissage et la variété de formes qu'il prend est un objet constant de recherches en psychologie scientifique, avec ce que cela implique de vues personnelles quant aux tendances théoriques adoptées. Toute attitude personnelle envers l'apprentissage influe donc sur le design de systèmes visant l'apprentissage, et il est par conséquent utile de considérer les grandes tendances dans ce domaine.

Brimer (1985) fait sommairement le tour de la question en contrastant l'étudiant comme *tabula rasa* ou comme agent actif d'hypothèses concernant son monde, contraste repris sous un autre angle en termes de nativisme vs. constructivisme. Une perspective relativement récente, issue de la psychologie cognitive et davantage pratique que théorique, considère l'apprentissage comme le passage d'un état de novice dans un domaine à celui d'expert. Une analyse théorique de ce passage est offerte par Andersen (1983) qui considère

le raffinement d'habiletés (cognitives ou autres) comme procédant d'un processus de compilation de connaissances (par analogie avec l'emploi du terme en informatique). Sa théorie implique une distinction (laquelle fut sujette à un débat célèbre en IA) entre connaissances déclaratives et connaissances procédurales. Cette distinction est vite apparente dès qu'on procède à une analyse des objectifs d'apprentissage dans un domaine quelconque et soulève le problème délicat de l'articulation entre l'apprentissage d'habiletés et l'apprentissage conceptuel (Lesgold, 1982).

Un élément majeur du processus d'apprentissage est la motivation de l'étudiant, malgré que cet élément soit peu traité par les théories générales de l'apprentissage, sauf pour la théorie behavioriste, où elle joue un rôle déterminant mais considéré comme étroit depuis que le paradigme psychologique est passé au cognitivisme. La motivation, même si elle demeure encore imprécise au niveau théorique (Malone, 1981), exerce une influence pratique considérable dans le développement pédagogique (e.g., dans l'extension que connaît l'apport ludique en APO sous forme de jeux éducatifs). L'influence de cet apport est évidente dans les considérations pédagogiques qui sous-tendent des efforts récents en EIAO: Brown (1983), en effet, considère qu'une tâche d'apprentissage doit captiver l'intérêt de l'étudiant de façon constante et non lui être imposée de façon externe, comme c'est hélas trop souvent le cas.

Cette orientation pédagogique reflète un courant philosophique profond qui, partant de Dewey et passant par Piaget, par l'école ouverte et active, par Papert et bien d'autres, se retrouve en APO dans le concept d'environnement réactif (que ce soit de façon très ouverte, comme en LOGO ou encore de façon plus circonscrite, comme dans SOPHIE).

Un environnement réactif en est un qui possède les moyens de réagir avec un feedback approprié aux actions de l'étudiant sans que celles-ci soient nécessairement très fortement guidées par le système.

Cette orientation est menée à son ultime en APO dans le concept d'environnement créatif ("empowering environments" — Brown, 1985), où l'ordinateur est perçu comme un instrument créatif pouvant accroître l'apprentissage métacognitif de l'utilisateur en lui reflétant ses processus cognitifs (Brown, 1985) ou pouvant même influencer sur ses systèmes symboliques (Dickson, 1985).

Ce modèle d'apprentissage contraste de façon frappante avec le modèle pédagogique sur lequel repose l'EAO traditionnel. Au cœur de la question est cette notion de flexibilité plus ou moins grande à incorporer à un système, d'où une plus ou moins grande initiative de l'étudiant dans le déroulement d'une session d'apprentissage. Comme indiqué précédemment, il s'agit là d'un thème de recherche très actuel en EIAO, ainsi qu'en recherche pédagogique de façon générale.

Tendances actuelles en APO

Les APO sont un domaine vaste et diversifié où la généralité de l'ordinateur et la créativité des concepteurs pédagogiques sont mis à profit dans la réalisation d'innombrables systèmes qui visent des objectifs très variés. L'EAO

traditionnel, malgré qu'on puisse lui trouver certaines limitations, demeure fondé sur une philosophie pédagogique valable et sur une utilité pratique reconnue. Les systèmes développés au début de l'EAO (v.g., le système de Suppes [Suppes et Morningstar, 1972] pour la pratique des fonctions mathématiques de base) sont certes dépassés en termes de virtuosité technique, mais demeurent des ressources pédagogiques dont l'utilité pourrait être tout aussi actuelle qu'il y a 20 ans.

Autrement dit, les styles d'APO peuvent changer, surtout de façon à profiter des capacités nouvelles introduites en informatique (v.g., le graphisme, l'ordinateur personnel, la rapidité de réponse, etc.), sans pour autant rendre inefficaces ou désuets les bons programmes antérieurs. L'élargissement technique que rendent possible les nouvelles technologies a pour effet plutôt d'étendre et de diversifier les applications possibles. Le traitement de texte en est un exemple frappant: il n'est pas appelé à remplacer les didacticiels de français, mais bien plutôt à être utilisé de façon complémentaire à ceux-ci.

Les nouveaux styles d'applications pédagogiques que l'on retrouve aujourd'hui (i.e., les tendances contemporaines, comprennent les jeux éducatifs) les environnements exploratoires, le vidéodisque interactif et les systèmes tutoriels intelligents. Certaines de celles-ci commencent déjà à être largement répandues, alors que d'autres demeurent encore relativement rares. Plusieurs exemples de ces applications émergentes en APO sont fournis par Lesgold (1982 et 1984).

Les jeux éducatifs. L'aspect ludique en APO sert essentiellement à maintenir l'intérêt de l'étudiant dans des tâches d'apprentissage à caractère répétitif, où le raffinement d'une habileté (v.g. en calcul) ou le développement de connaissances arbitraires (v.g., l'orthographe) requiert énormément de pratique cognitive qui a souvent peu d'attrait intrinsèque pour l'étudiant. Personne n'aime l'apprentissage par coeur (par exemple, apprendre une table de multiplication), mais cet apprentissage doit néanmoins être réalisé par chacun.

Les techniques de jeu créent des environnements attrayants dans lesquels des habiletés cognitives peuvent être suscitées et raffinées. L'ordinateur est en effet très apte à gérer tout un ensemble de variables qui peuvent intervenir dans un jeu, de même qu'enrichir considérablement les modalités d'interaction du joueur avec le jeu. Il importe cependant que les habiletés cognitives soient incorporées de façon efficace au jeu (i.e., que le jeu soit de fait éducatif et non uniquement une occasion ludique).

La puissance de l'aspect ludique en situation éducative en fait un élément très attrayant en pédagogie et il est très probable qu'il sera de plus en plus exploité dans tous les champs des APO. Son apport demeure surtout important, cependant, en situation où la tâche d'apprentissage éveille peu spontanément la curiosité épistémique de l'étudiant. Ces situations sont nombreuses, mais loin d'être universelles.

Les environnements exploratoires. L'ordinateur est une machine réactive: un input de l'utilisateur, lorsque le programme est organisé pour l'interpréter,

mène à une conséquence (i.e., une action du programme accompagnée d'un affichage rétroactif à l'écran). Il s'agit généralement (mais non toujours) d'une action symbolique (i.e., d'une action effectuée sur un modèle représentant une réalité extérieure). Il s'agit essentiellement d'une simulation, d'une situation où l'utilisateur peut laisser libre cours à ses hypothèses cognitives en s'interrogeant effectivement sur leurs conséquences. Nous avons alors une situation où l'utilisateur a le pouvoir d'expérimenter librement avec ses hypothèses sans pour autant avoir à en assumer les conséquences. C'est cette capacité de simulation aisée que veulent rendre disponible à l'utilisateur les environnements exploratoires, que ce soit en création structurée (v.g., dans le logiciel Rocky's Boots pour la modélisation logique) ou en simulation scientifique.

Les possibilités pédagogiques de cette capacité d'exploration, se fondant sur une philosophie éducative qui valorise surtout l'étudiant comme agent actif dans l'apprentissage, sont puissantes car elles stimulent constamment la curiosité naturelle de l'étudiant. La structuration de ces environnements est très variée selon le domaine d'application. Certains environnements constituent des boîtes à outils cognitifs d'usage très général (v.g., les applications traditionnelles de simulation), d'autres constituent des ressources pédagogiques plus orientées (v.g., un laboratoire de chimie ou d'électronique) où des exercices spécifiques de découverte guidée peuvent être proposés (SOPHIE en est un bel exemple).

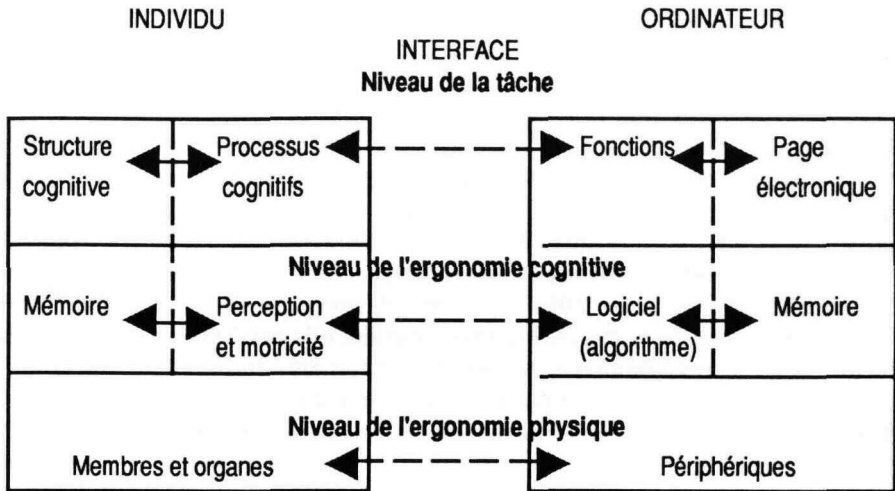
Le design de tels environnements exploratoires demeure une tâche délicate, car le niveau de structuration (l'ampleur de l'orientation à incorporer au système) et les moyens d'interaction étudiant-machine doivent être soigneusement considérés.

C'est dans cet esprit que Gagné (1987) proposait le modèle suivant pour aider à structurer les éléments de ces environnements (voir Figure 1).

Le modèle tente d'illustrer les différents niveaux à considérer dans l'étude d'une interaction élève-ordinateur. Le niveau de base est celui de l'ergonomie physique, se rapportant aux relations entre le corps de l'individu (ses membres, ses organes de perception) et les dispositifs d'entrée-sortie de la machine. Le niveau intermédiaire est celui de l'ergonomie cognitive ou du traitement de l'information par la perception et la mémoire humaine et de leurs équivalents dans la machine. Le niveau supérieur, celui de la tâche ou de l'apprentissage, met en relation la structure cognitive de l'individu et les processus mentaux qui permettent de structurer celle-ci et la page électronique de la machine qui permet de manipuler l'information.

Le vidéodisque interactif. Le vidéodisque en soi est une nouvelle technologie visuelle non-informatique. Cependant, couplé à un système informatique, il ajoute à celui-ci le pouvoir d'une banque énorme d'images et de séquences filmées pour rehausser le contact de l'étudiant avec les objets de connaissances. Il ajoute à la représentation symbolique (et généralement verbale) de la situation d'apprentissage une représentation parallèle de forme iconique.

Cette capacité visuelle permet de concrétiser les objets de connaissances, avec ce que cela implique d'avantages pratiques lors de l'apprentissage.

Figure 1. *Modèle d'un environnement d'apprentissage informatisé.*

Plusieurs tâches d'apprentissage requièrent en effet un contact soit direct, soit visuel (et non plus uniquement conceptuel) avec les objets de connaissances (v.g., tout ce qui a trait à l'identification, par exemple en biologie, en physique, et de façon générale dans le monde qui nous entoure). De plus, le développement cognitif de l'enfant n'amène que relativement tard et de façon graduelle la capacité pour celui-ci de jouer avec des opérations formelles de type abstrait, d'où la nécessité d'un soutien du concret en apprentissage aux niveaux primaire et secondaire dans plusieurs domaines.

Le vidéodisque interactif incorpore donc aux APO une capacité iconique. Il n'est pas en soi informatique et son succès pratique dépendra directement des applications informatiques dans lesquelles il sera intégré. Celles-ci peuvent être très variées, comme laisse l'entrevoir l'utilisation d'images dans des ressources didactiques traditionnelles (v.g., le livre, le film, etc). Malgré certaines difficultés pratiques actuelles, comme une relative rigidité au niveau de la production ou encore le coût d'appareillage, et malgré la compétition qui lui sera faite par les développements en graphisme numérique, le vidéodisque interactif s'annonce déjà comme un domaine prometteur en APO.

Les systèmes tutoriels intelligents. Il a déjà été fait mention des caractéristiques de l'IA de façon générale et de l'EIAO de façon plus particulière. Les systèmes tutoriels intelligents (STI) forment une sous-classe de l'EIAO. Leur but est de fournir à l'étudiant une interaction pédagogique similaire à celle qui pourrait lui être fournie par un tuteur humain. Cette capacité est loin d'être facile à atteindre, le tutorat étant généralement considéré comme étant la forme d'instruction la plus efficace possible (mais hélas la plus coûteuse également). De plus, les besoins techniques des STI, en termes de sophistication informatique et d'appareillage, font en sorte qu'ils ne constituent pas à

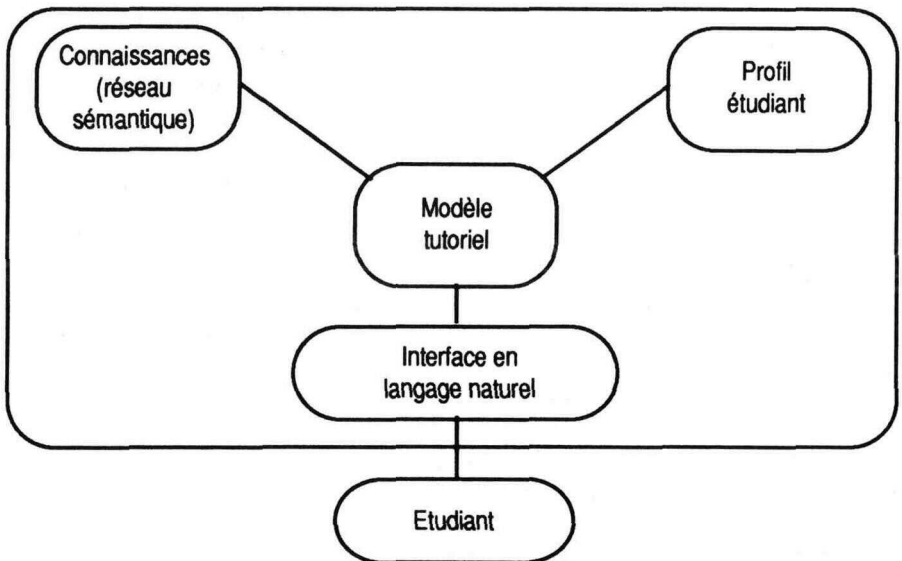
l'heure actuelle une application pratique en APO. Les STI existants sont en effet presque tous des prototypes expérimentaux et ne sont guère utilisés en enseignement de façon pratique.

Le rôle d'un STI est de guider le cheminement cognitif de l'étudiant dans son exploration d'un domaine particulier. Dans certains cas, le domaine est surtout de type déclaratif v.g. la géographie (SCHOLAR), ou la météorologie (WHY); dans la plupart des STI cependant le domaine est davantage procédural (quoique non exclusivement), v.g. le diagnostic électronique (SOPHIE), médical (GUIDON), technique (STEAMER), la résolution de problèmes en algèbre (LMS), en arithmétique (WEST), en géométrie (GEOMETRYTUTOR), en électricité (OHM), la programmation (LISP TUTOR, PROUST, MENO TUTOR), etc. (voir Wenger, 1987, pour une description de ces systèmes).

Quoique la structure des STI est très variée, elle peut être représentée de façon générale comme comportant les éléments suivants:

Deux tâches principales guident l'opération d'un STI: diagnostiquer les problèmes de l'étudiant et orienter la démarche de l'étudiant pour pouvoir y remédier. Le diagnostic se fait essentiellement en analysant la démarche de l'étudiant (la comparant à une démarche experte, ou à tout le moins à une démarche appropriée) de sorte à caractériser l'étudiant en termes de connaissances ou d'habiletés déficientes. La stratégie tutorielle du système doit par la

Figure 2. Structure d'un STI.



suite déterminer quand et comment intervenir dans le processus d'apprentissage pour réorienter la démarche de l'étudiant. Il s'agit globalement du

modèle socratique du dialogue tutoriel (Collins et al. 1975).

Comme indiqué précédemment, le problème délicat pour tout STI est celui de déterminer la façon appropriée d'intervenir (le faire efficacement, mais sans s'imposer au cheminement cognitif, lui-même délicat, de l'étudiant). Pour cela, un STI doit comprendre et garder à jour plusieurs modèles sophistiqués: un modèle du domaine (de l'expertise à enseigner), un modèle de l'étudiant (en évolution constante), et un modèle de l'acte tutoriel (sous forme de stratégies pédagogiques précises). La sophistication requise dans chaque cas font des STI un champ très actif et très prometteur d'expérimentation en psychologie éducative.

Les quatre grandes tendances en APO décrites dans cette section ont été présentées de façon indépendante l'une de l'autre. Il serait erroné de considérer le futur des APO de cette façon, cependant. En effet, les quatre grands thèmes décrits peuvent être avantageusement considérés comme des aspects pédagogiques et informatiques des APO, plutôt que comme des catégories de ceux-ci. Les recoupements sont évidents: le vidéodisque interactif, par exemple, sera intégré à une forme ou l'autre d'EAO, que ce soit à un didacticiel de type classique ou à un STI; par ailleurs, certains STI sont incorporés à des situations de jeux éducatifs, v.g. WEST et WUSOR (voir Wenger, 1987).

De fait, l'IA en tant qu'ensemble de techniques informatiques diverses, est appelé à jouer un rôle majeur dans tout développement futur en APO. Il servira alors à étendre la puissance des moyens traditionnels et des formes d'APO en émergence.

PROSPECTIVE

Que seront les APO dans cinq ans d'ici? L'informatique contemporaine est un domaine en évolution rapide; cela est surtout vrai en intelligence artificielle et en micro-informatique, domaines qui connaissent un intérêt marqué depuis quelques années. Face à l'esprit d'innovation qui imprègne la recherche-développement en informatique appliquée, il est certes difficile de faire un pronostic sur le développement des APO au cours des cinq prochaines années. Il y a donc lieu d'être spéculatif.

Les approches et les techniques d'aujourd'hui seront probablement encore courantes, quoique raffinées et amplifiées, et de nouvelles s'y ajouteront. De nouvelles applications étendront certainement la gamme des utilisations actuelles, car c'est après tout vers une société de plus en plus impliquée en informatique que nous nous dirigeons.

La perspective actuelle permet d'entrevoir certaines prospectives potentielles, qui sont présentées à titre indicatif ci-dessous.

Une certaine maturité d'exploitation. Le fameux virage technologique a réussi à intéresser le monde de l'éducation aux APO et nombreux sont ceux qui s'y sont lancés non seulement en tant que simples utilisateurs, mais en tant que développeurs également. Cette énergie créatrice a mené à des réalisations

importantes, mais souvent de qualité fort inégale. Nous doutons cependant qu'une déception généralisable s'installe dans le monde de l'éducation comme ce fut le cas pour d'autres technologies éducatives. L'ordinateur est trop universel et trop ouvert à des applications intéressantes nouvelles pour qu'il soit négligé. Une maturité d'utilisation, surtout en ce qui concerne l'évaluation des APO, est plus probable: les produits de qualité moindre seront oubliés au profit de leurs concurrents plus sérieux. Dans cinq ans, les APO seront donc probablement d'un intérêt tout aussi actuel qu'aujourd'hui.

Une reconfiguration au niveau de l'appareillage. Malgré son développement fulgurant récent, la micro-informatique est appelée à se transformer. D'une part, les appareils qui sont introduits présentement dans les écoles sont trop peu puissants pour soutenir les applications les plus intéressantes de demain; d'autre part, ces appareils sont limités en termes d'interface étudiant-machine. D'ici cinq ans, ces appareils seront désuets.

L'utilisateur de demain interagira avec un appareil puissant au moyen d'une interface flexible et sera branché en réseau avec d'autres appareils, dont de très puissants. Les limitations actuelles au niveau de la puissance informatique et du style d'interaction seront abolies en faveur d'une utilisation aisée et sophistiquée. Les innovations dans ce domaine étendront le concept d'utilisation pratique de l'informatique en éliminant les barrières techniques à cette utilisation.

Une informatique intelligente. C'est une thèse centrale de cet article que l'avenir de l'informatique passera par l'intelligence artificielle. Les APO constituent des applications surtout symboliques de l'informatique et profiteront de ce fait des nouveaux moyens en développement en IA. D'ici peu, il est à prévoir que les meilleurs produits en APO incorporeront des éléments d'IA dans leur structure et dans leur fonctionnement. Le dépassement des limitations actuelles au niveau de l'appareillage permettront de façon courante certaines applications qui aujourd'hui ne jouissent que du statut de prototype de recherche.

Ce n'est pas dire cependant que toute APO de demain sera nécessairement sophistiquée, car la psychologie éducative et cognitive est loin encore d'avoir proposé des solutions miracles. Ce qui ressort clairement de la recherche actuelle en EIAO, où une opérationnalisation stricte est de rigueur, c'est bien toute l'imprécision de nos théories didactiques, et la complexité cognitive d'un apprentissage sophistiqué. Les systèmes tutoriels intelligents requièrent une théorie du tutorat et à l'heure actuelle, cela relève avant tout d'une approche ad hoc, le domaine étant encore si peu développé (mais dans un état d'effervescence certaine). Une telle théorie, laquelle résultera d'une expérimentation continue dans le design de systèmes d'EIAO, constitue le besoin le plus important pour la recherche à long terme en APO (voir à cet effet Greeno, 1986).

La prospective présentée dans cette section peut paraître à certains comme étant plus futuriste que réalisable d'ici cinq ans. Nous ne le croyons pas, cependant, et cela pour les raisons suivantes:

- 1) des sommes massives sont investies par plusieurs pays actuellement en R & D informatique (v.g., les programmes Alvey, ESPRIT, ICOT, Stratégie Computing Initiative);
- 2) les applications de l'ordinateur en général (et les APO en particulier), ainsi que les nouveautés d'appareillage, jouissent d'un climat commercial extrêmement compétitif qui récompense les percées technologiques; et
- 3) le pouvoir potentiel de l'ordinateur accroît constamment l'intérêt qu'y portent les chercheurs en psychologie cognitive appliquée, y compris la psychologie éducative.

Ces facteurs présagent d'un avenir des plus fascinants pour les APO et il importe que nous nous insérions de façon importante dans la R & D de pointe dans ce domaine.

RÉFÉRENCES

- Anderson, J. R. (1983). *The architecture of cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Brown, J. S. (1983). Learning by doing revisited for electronic learning environments. In M.A. White (Ed.), *The future of electronic learning*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Brown, J. S. (1985). Process versus product: A perspective on tools for communal and informal electronic learning. *Journal of Educational Computing Research*, 1, 179-201.
- Brown, J. S., Burton, R., & De Kleer, J. (1982). Pedagogical, natural language and knowledge engineering techniques in SOPHIE I, II and III. In D. Sleeman & J.S. Brown (Eds.), *Intelligent tutoring Systems* (pp. 227-282). New York, NY: Académie Press.
- Bruner, J. S. (1982). *Toward a theory of instruction*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Bruner, J. (1985). Models of the learner. *Educational Researcher*, 14, (6), 5-8.
- Burton, R. (1982). Diagnosing bugs in a simple procedural skill. In D. Sleeman & J.S. Brown (Eds.), *Intelligent tutoring Systems* (pp. 157-184). New York: Académie Press.
- Carbonell, J. (1970). AI in CAI: An artificial intelligence approach to computer assisted instruction. *IEEE transactions on man-machine Systems*, 11 (4), 190-202.
- Clancey, W. (1982). Tutoring rules for guiding a case method dialogue. In D. Sleeman & J.S. Brown (Eds.), *Intelligent tutoring Systems* (pp. 201-226). New York: Académie Press.

- Collins, A., Warnock, E., & Passafiume, J. (1975). Analysis and synthesis of tutorial dialogues. In G. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation*, 9, 49-87.
- Davis, R., & Lenat, D. (1982). *Knowledge-based systems in artificial intelligence*. New York, NY: McGraw-Hill.
- Dickson, P. (1985). Thought-provoking software: Juxtaposing symbol systems. *Educational Researcher*, 14 (5), 30-38.
- Duchastel, P. (1986a). Approches p[^]dagogiques en EIAO. Dans J. Vasquez-Abad & J.Y. Lescop (Eds.). *La technologie educative et le developpement humain*. Montreal, PQ: Te[^]-Universite, 35-43.
- Duchastel, P. (1986b). Learner control in ICAI. *Journal of Educational Computing Research* 2, 379-393.
- Duchastel, P., & Imbeau, J. (1986). Strategies tutorielles en EIAO. *Actes du 5e symposium canadien sur la technologie pedagogique*, Ottawa, ON: CNRC, 89-94.
- Gagne, P. (1987). L'utilisation des progiciels dans l'enseignement. Conference presentee au 6e colloque du CIPTE, *Communication et technologie educative*, Orford, Canada.
- Greeno, J. (1986). Advancing cognitive science through development of advanced instructional systems. *Machine-Mediated Learning*, 1, 327-343.
- Kurland, M.D. (1983). Software for the classroom: Issues in the design of effective software tools. In *Chameleon in the classroom: Developing roles for the computer*, Technical report no 22, Bank Street College of Education, New York.
- Lesgold, A. (1982). *Paradigms for computer-based education*. Pittsburg, PA: Learning Research and Development Center, University of Pittsburgh.
- Lesgold, A., & Lesgold, S. (1984). *Classroom computers and state curriculum policy*. Pittsburg, PA: Learning Research and Development Center, University of Pittsburgh.
- O'Shea, T., & Self, J. (1983). *Learning and teaching with computers - artificial intelligence in education*. Brighton: Harvester Press.
- Schwartz, J. (1984), *Educational software: Contrasting realizable mediocrity, unreasonable idealism and realizable excellence*. Presentation au congres L'ordinateur et l'education, Montreal.
- Sheingold, K. (1984). *The microcomputer as a medium for young children*. New York, NY: Center for Children and Technology, Bank Street College of Education .
- Sleeman, D. & Brown, J.S. (1982). *Intelligent tutoring systems*. New York, NY: Academic Press.
- Suppes, P. & Morningstar, M. (1972). *Computer-assisted instruction at Stanford, 1966-68; Data, models and evaluation of the arithmetic programs*. New York, NY: Academic Press.
- Wenger, E. (1987). *Artificial intelligence and tutoring systems*. Los Altos, CA: Morgan Kaufmann.

AUTHORS

Philippe Duchastel et Pierre Pelletier sont professeurs en technologie éducative à l'Université Laval, à Québec. Le professeur Duchastel fit ses Études à Florida State University; il dirige actuellement un laboratoire de recherche en intelligence artificielle appliquée à l'éducation. Le professeur Pelletier fit ses Études à l'University of Southern California; il dirige actuellement un projet de recherche centre sur l'utilisation de logiciels en Éducation. Us peuvent être contactés au département de Technologie de l'enseignement, 1466, pavillon Charles De Koninck, Université Laval, Québec, G1K 7P4.