

L'ORDINATEUR DANS L'ENSEIGNEMENT

Patrick MENDELSON

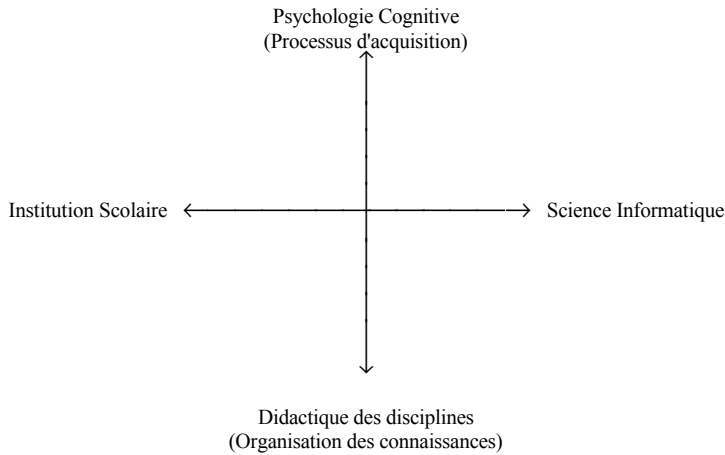
1. COMPRENDRE LES ENJEUX

Le développement de l'informatique pédagogique dépend de différentes sources de contraintes matérielles, institutionnelles et humaines. L'enseignant qui décide d'utiliser un ordinateur dans sa classe n'a, au départ tout du moins, qu'une influence limitée sur ces contraintes. Il subit l'évolution des matériels et des langages, il s'adapte aux choix politiques en matière d'équipement informatique, plus qu'il ne participe aux décisions et il accompagne les transformations humaines, plus qu'il ne les détermine. Pourtant, nous pensons qu'il lui reste suffisamment d'espace de liberté pour qu'une réflexion sur l'adaptation des langages informatiques aux objectifs pédagogiques de l'école ne soit pas inutile et stérile.

Les progrès rapides et spectaculaires, auxquels nous avons assisté ces dernières années concernant la performance des ordinateurs et des environnements logiciels, devrait inciter les décideurs à la plus grande prudence pour effectuer les choix pédagogiques indispensables à l'introduction de ces machines dans la classe. Il est légitime de se poser en premier lieu la question suivante : Comment et dans quels buts faut-il utiliser les environnements informatiques en classe de façon à ce que cet usage et cet enseignement ne soient pas complètement dépassés dans 5 ans ? Mais cette interrogation peut en cacher d'autres, toutes aussi intéressantes :

- Cherche-t-on à créer une école pour les ordinateurs (c.a.d. la transformer) ou à introduire simplement les ordinateurs à l'école (c.a.d. à intégrer de nouveaux savoirs) ?
- Peut-on imaginer comment l'informatique transformera nos savoir faire fondamentaux : lire, écrire, calculer, raisonner, dessiner... ?
- Que peut-on faire pour anticiper ces changements ?
- Quelle signification peut avoir l'opposition informatique « outils » versus informatique « objet » dans un enseignement de la programmation ?
- LOGO est-il le meilleur choix pour introduire la programmation à l'école ?

Il est peut être frustrant, pour le lecteur, de lui annoncer d'emblée qu'il n'est pas possible d'apporter ici des réponses précises et définitives à ces questions. Nous espérons cependant que cette conférence permettra aux responsables de l'instruction publique et aux enseignants d'effectuer les choix difficiles, qui engagent l'avenir de notre système éducatif, dans les meilleures conditions possibles.



Axe vertical : le sujet apprenant
Axe horizontal : l'environnement

Fig 1 : Cadre pour l'analyse des problèmes soulevés par l'informatique pédagogique.

L'informatique pédagogique, c'est la rencontre d'une réalité psychologique (un sujet qui apprend) et institutionnelle (dans un cadre scolaire par exemple) avec une réalité technologique (l'ordinateur et ses langages) à travers un contenu qu'il faut communiquer (les connaissances). Les enjeux qui pèsent sur l'utilisation des environnements informatiques dans l'enseignement (figure 1) et l'évolution des pratiques dépendent en grande partie des développements propres à chacun de ces domaines que nous vous proposons d'approfondir dans la suite de cet exposé.

1.1 L'environnement matériel de l'informatique pédagogique : quelle évolution pour les environnements d'apprentissage ?

Du point de vue de la science informatique, il faut rappeler tout d'abord qu'il existe une hiérarchie entre les langages informatiques : du plus bas niveau, le langage machine, jusqu'aux langages de commande spécialisés, en passant par les langages de programmation évolués. Quand il utilise un ordinateur en classe, l'enseignant doit choisir, en fonction des objectifs pédagogiques qu'il s'est fixés, les caractéristiques du langage avec lequel il fera travailler ses élèves. En effet, il existe un lien étroit entre un ensemble de commandes donné et la classe de problèmes qu'il est possible de résoudre à l'aide de ce langage (les tableurs, par exemple, sont spécialisés dans la résolution de problèmes où les données numériques et les calculs sont nombreux et réguliers ; alors qu'une base de données est plus utile pour des opérations de tris et de recherche sur des données numériques associées à des déterminants).

Par ailleurs, nous ne devons pas négliger le fait qu'autour des ensembles de commandes, se greffe, d'une part, un environnement qui permet de gérer l'espace de travail et de disposer d'outils (le système d'exploitation, le système d'édition et plus généralement l'interface) et, d'autre part, une grammaire, c'est-à-dire un ensemble

de règles d'assemblage de ces commandes. Il existe donc un risque, pour l'élève, de confondre ces niveaux (l'outil avec l'établi ou l'outil et l'objet que l'on fabrique) et l'enseignant doit rester capable d'apprécier une évolution technologique en situant l'intérêt pédagogique de l'approche proposée par le concepteur de logiciel (se méfier de certains beaux emballages!).

Face à l'évolution spectaculaire des environnements informatiques à laquelle nous assistons actuellement, évolution qui peut, comme nous venons de le constater, gêner le pédagogue dans ses choix, il est raisonnable de faire l'hypothèse suivante : C'est l'environnement des systèmes de commandes qui subit l'évolution la plus rapide (système d'exploitation graphique, souris, écran tactile) alors que le monde des commandes fait preuve d'une certaine stabilité dans la nature des fonctionnalités proposées. En d'autres termes l'univers des possibles évolue relativement peu, seule la manière de les représenter subit une évolution notable. Par exemple, tout système de traitement de texte, comprend les mêmes fonctionnalités comme couper/coller, chercher, modifier, formater les pages, les lignes ou les caractères, ce n'est souvent que leur mise en oeuvre qui diffère d'un logiciel à l'autre.

Cette analyse conduit à penser qu'il est possible d'identifier les invariants dont tout pédagogue a besoin pour enseigner les concepts de base de l'informatique. C'est à dire les compétences transposables dans le temps et dans l'espace des savoirs. On peut penser que le choix des environnements de commandes ainsi que leur mise en oeuvre vont se stabiliser autour de fonctionnalités bien précises et que ces fonctions, du moins pour ce qui concerne les langages utilisés à l'école, peuvent toujours être regroupées autour des principaux « langages fondamentaux » : à savoir tout ce qui permet d'écrire, de calculer, de faire des tableaux, de dessiner, d'organiser ou de gérer les connaissances. Les calculettes vendues dans le commerce sont un bon exemple de cette standardisation. Il n'est, en principe, plus nécessaire d'apprendre à se servir d'une calculette chaque fois que l'on utilise un nouveau modèle. Le transfert d'apprentissage est assuré par une compatibilité forte entre les règles d'usage et les fonctionnalités de chaque machine.

Un autre aspect de cette évolution concerne le développement de techniques informatiques avancées en intelligence artificielle. Ces techniques ne sont pas sans effets sur le développement des logiciels d'enseignement et des environnements d'apprentissage. C'est le cas des progrès apparus ces dernières années dans les langages et les outils de développement qui permettent de réaliser des interfaces graphiques conviviales en diminuant très sensiblement le travail de programmation. On peut aussi citer les acquisitions dans le domaine des techniques d'apprentissage artificiel et de planification (machine learning and planning) qui devraient permettre aux concepteurs de tutoriels d'atteindre les objectifs ambitieux qu'ils se sont fixés en matière de diagnostic et d'expertise pédagogique.

1.2 L'institution scolaire face à l'informatique pédagogique :

Les contraintes institutionnelles sont loin d'être négligeables pour le devenir de l'informatique pédagogique même s'il est important de se dégager parfois de

certaines contingences matérielles pour imaginer des environnements d'apprentissage qui rompent avec l'enseignement traditionnel. L'organisation des savoirs en disciplines et la formation des maîtres sont des facteurs auxquels l'institution scolaire doit faire face avant de pouvoir intégrer harmonieusement à son programme des activités ayant comme support l'ordinateur et, comme objet, l'apprentissage d'un nouveau langage (cf le problème de la surcharge des programmes). L'école est aussi organisée en niveaux bien distincts pour lesquels la pédagogie et l'organisation des temps scolaires peuvent s'avérer très différentes : niveaux préscolaire, primaire, secondaire et supérieur. Ces constats, certes triviaux, invitent à se poser les questions suivantes :

- A quel niveau peut-on commencer une initiation à la programmation ?
- Qu'est ce qui définit la spécificité des environnements d'apprentissage à chaque niveau de la scolarité ?
- Quelle importance relative doit-on accorder à l'anatomie fonctionnelle des ordinateurs, à la programmation, à l'utilisation de programmes disciplinaires,- à l'exploration de nouveaux champs de savoir ou encore à l'utilisation d'aides au travail ?

On peut aussi avoir des préoccupations pédagogiques sur l'organisation de ces activités :

- Comment intégrer une démarche d'autonomie avec un apprentissage plus directif des commandes et de l'environnement informatique ?
- Comment associer des activités individuelles à des activités de groupe ou de classe ?
- Quelles pratiques recouvrent la relation triangulaire Elève / Maître / Ordinateur ? (Bossuet, 1984).

1.3 L'informatique et les processus d'acquisition :

Les premières applications de l'informatique à l'éducation ont été marquées par un débat, souvent vif (Solomon, 1986), entre les tenants de l'enseignement programmé et les partisans d'un apprentissage ouvert sur la découverte et l'auto-formation. Pour les premiers, l'informatique est essentiellement un outil efficace pour l'entraînement et la répétition de séquences d'enseignement (Suppes, 1979) ; pour les seconds, l'informatique est plus un « médium », un support pour élaborer des environnements dans lesquels l'enfant est son propre constructeur de savoirs (Papert, 1980).

Ce débat prouve qu'il n'est pas inutile d'approfondir les problèmes cognitifs que pose la conception et l'utilisation des environnements d'apprentissage. On peut citer, par exemple, les recherches sur la mémoire et l'organisation des connaissances, celles sur l'apprentissage par l'action et la résolution de problèmes, ou encore les travaux contemporains sur le développement cognitif... Plus précisément, ces thèmes peuvent être décrits à partir de questions (ou objets) de recherche dont la liste suivante ne représente qu'un échantillon :

- Le transfert d'apprentissage d'un domaine de connaissances à un autre : le transfert est-il un phénomène spontané ou doit-il faire l'objet d'un entraînement systématique ? Peut-on distinguer différents niveaux de transfert suivant la « distance » qui existe entre les domaines de connaissance ? Comment caractériser cette distance ?
- Les métaconnaissances et leur rôle dans l'apprentissage : La métacognition est un objet de recherche qui concerne l'étude des connaissances qui portent sur d'autres connaissances ou, par extension, des capacités d'un système de traitement de l'information à « réfléchir » son propre fonctionnement. Dans les environnements d'apprentissage, les préoccupations d'ordre méta-cognitif ont été longtemps négligées ou traitées superficiellement alors que ces connaissances jouent un rôle déterminant dans les processus de régulation et de contrôle en situation de résolution de problème.
- Le rôle et le statut des erreurs dans l'apprentissage : Certains formalismes de représentation des connaissances, en particulier les systèmes de production, favorisent une conception hyper-syntaxique et rationnelle des processus mentaux. Celle-ci s'opère souvent au détriment de la plausibilité pédagogique et psychologique du diagnostic pédagogique, lequel devrait privilégier les dimensions sémantiques, contextuelles et téléologiques du comportement de l'apprenant. Même si certains efforts sont actuellement réalisés sur ce plan, il reste à faire un important travail d'analyse de situations d'enseignement et d'apprentissage pour permettre une transposition du savoir faire de l'enseignant dans les environnements informatiques.
- L'évolution technologique des postes de travail et les progrès faits dans l'analyse de ces postes par l'ergonomie cognitive, convergent vers la reconnaissance du rôle prépondérant de l'interface. Cette dernière représente en quelque sorte un subtil compromis entre la logique de la machine et les contraintes du fonctionnement cognitif humain.
- Les études sur la résolution de problèmes ont distingué plusieurs étapes dans le processus complexe qui conduit un sujet de l'énoncé d'un problème à sa solution. La première de ces étapes est identifiée comme la phase de « représentation du problème ». Elle suppose que les enfants, devant une tâche, vont activer un certain nombre de connaissances contenues en mémoire à long terme ; c'est l'interprétation que le sujet se donne des différents éléments de la situation. Cette représentation va évoluer à travers une micro-genèse par la découverte de sous-buts qui deviendront autant de buts intermédiaires et par la mise en place de macro-actions, regroupements thématiques d'actions élémentaires. Cette perspective s'avère très prometteuse pour décrire ce qui se passe dans des situations aussi complexes que la programmation informatique où le but est généralement assez éloigné de l'énoncé et où les outils se prête assez bien à des constructions modulaires (cf les procédures Logo).

- Le concept de charge mentale est quant à lui associé au problème des contraintes mnésiques imposées par la résolution d'un problème. Tout apprentissage d'un dispositif complexe, par exemple un traitement de texte, présente, au départ, des difficultés assez importantes si l'on veut en maîtriser toutes les fonctionnalités. En effet, la plus grande partie des capacités attentionnelles du sujet est focalisée sur la recherche des lettres sur le clavier, sur la maîtrise du menu et des fonctions du programme. En fin de compte, l'attention est portée sur une multitude de traitements élémentaires et il n'est plus possible à l'élève de se centrer sur la tâche de rédaction. C'est l'automatisation de ces traitements élémentaires qui permettra, après un long entraînement, de détourner cette attention sur ce qui est essentiel à la résolution : la gestion des sous-buts et des macro-actions. Ce concept de charge mentale prend donc ici toute son importance, car il suppose que l'on introduise l'idée d'une certaine hiérarchie de buts dans la manipulation d'un dispositif complexe.

1.4 L'informatique et la didactique des disciplines :

Les connaissances sont organisées en disciplines. Chaque discipline revendique sa spécificité, ce qui est l'objet de l'approche didactique, et les relations entre ces disciplines se retrouvent dans les représentations que les enseignants et les élèves évoqueront spontanément en manipulant des langages de programmation. Le regroupement des commandes dans les manuels des langages de programmation évolués n'est pas sans relations avec ces découpages thématiques (commandes graphiques, mots et listes, opérations arithmétiques, variables...).

De ce point de vue, l'étude et l'implémentation, dans les architectures et les bases de connaissances des logiciels, des méthodes d'enseignement et d'évaluation transforment les environnements d'apprentissage en de véritables laboratoires pour les disciplines et elles peuvent les amener à proposer des formalisations explicites pour les aspects les plus automatisables des méthodes d'enseignement.

De façon surprenante, la conception des stratégies d'enseignement dans les tutoriels a bénéficié d'une attention réduite de la part des développeurs. Les rares efforts de recherche dans ce domaine, se sont heurtés à des questions complexes quant à la nature des connaissances qu'utilisent les enseignants dans leur pratique et à la difficulté de formaliser ces connaissances. La collaboration des spécialistes en sciences de l'éducation s'avère de ce point de vue déterminante.

- L'évaluation des didacticiels classiques d'EAO et des environnements d'apprentissage est un thème de recherche classique mais dont les méthodes se renouvellent significativement (Mayer, 1988).

2. LA CARTE DES ENVIRONNEMENTS INFORMATIQUES POUR L'APPRENTISSAGE

Du point de vue de l'informatique, les environnements d'apprentissage informatisés ont une spécialisation qui tient d'une part à leur architecture (degré d'interactivité entre l'utilisateur et la machine, modèle implicite d'apprentissage implémenté...) et d'autre part au découpage qu'il propose dans chaque domaine de

connaissance (commandes de base, système de représentation...). Il arrive ainsi parfois que les « primitives » de l'environnement sont supposées être pertinentes pour l'élève alors qu'elles ne le sont souvent que pour la logique interne du programme qui les représente.

Les choix pédagogiques des enseignants, en matière d'environnements d'apprentissage, peuvent être décrits sur deux axes orthogonaux : le premier axe représente l'ouverture du système informatique relativement aux actions que le sujet peut réaliser dans l'environnement. Cet axe permet de situer un logiciel sur une dimension continue « ouverture - fermeture ». Un logiciel « ouvert » permet à l'élève une combinaison très large de commandes et de fonctions dans un environnement considéré (un langage de programmation comme LOGO est un exemple de système « ouvert »). Un logiciel fermé, par contre, n'autorise que des choix restreints dans un domaine bien délimité (par exemple, un questionnaire à choix multiple sur les règles orthographiques).

Le second axe représente le type de connaissances sur lesquelles le logiciel est censé pouvoir apporter une aide efficace du point de vue des apprentissages. On peut ainsi positionner sur cet axe, à une extrémité, les environnements d'apprentissage peu spécifiques dont on attend des effets sur les mécanismes les plus généraux du fonctionnement cognitif (planification de l'action, apprentissage des heuristiques en résolution de problème...). A l'autre bout, on trouve les systèmes spécialisés construits autour de l'acquisition d'une expertise bien définie comme le calcul ou encore la géographie des pays d'Amérique latine.

Le produit cartésien de ces deux dimensions délimite quatre zones distinctes dans lesquelles il est possible de situer les principaux environnements d'apprentissage disponibles actuellement sur le marché (figure 2).

Axe vertical : le système informatique - Axe horizontal : les apprentissages

Ouvert	
PROGICIELS	MICRO-MONDE
Expertise	Intelligence
DIDACTICIELS	TUTORIELS INTELLIGENTS
Fermé	

Figure 2 : Mappemonde des environnements informatiques pour l'apprentissage

Les progiciels ou logiciels professionnels comme les traitements de texte, les tableurs, les gestionnaires de bases de données, les logiciels de dessin peuvent être considérés comme « ouverts » du point de vue informatique (il n'y pas de

contrainte dans ces environnements du point de vue de ce qu'il est possible de rédiger, de classer ou de dessiner). Mais ce sont des logiciels spécialisés que la pratique pédagogique destine principalement à une activité et à un contenu précis : rédiger un texte, faire un schéma, résoudre un problème numérique...

Les environnements d'apprentissage, connus sous la terminologie de « micro-mondes », sont comme les progiciels, des systèmes informatiques ouverts ; l'élève doit explorer une domaine, avec un minimum de consignes, en combinant les primitives d'un langage de commandes.

L'exemple le plus connu est, sans aucun doute, le monde de la « tortue-Logo » dans lequel le « explorateur » peut « apprendre » à un robot virtuel muni d'un crayon à tracer toute sorte de figures sur un écran. L'objectif assigné à cet apprentissage est ambitieux, l'élève apprend à « apprendre », il se sert de l'environnement pour « réfléchir » ses connaissances et construire de nouveaux objets. Pour les concepteurs de tels « mondes », ce sont bien des aptitudes de haut niveau, transférables à de nombreuses situations, qui sont visées par la pratique de cet environnement.

Les didacticiels sont des logiciels d'enseignement assisté par ordinateur qui mettent en situation plus ou moins interactive, un élève et un problème à résoudre. La gamme des activités possibles est assez vaste mais chaque système est fermé par un choix de réponses restreint à celles qui sont interprétables par le programme. Ils sont donc généralement considérés comme des environnements favorisant peu l'initiative de l'élève et très spécialisés dans leurs objectifs pédagogiques.

Le dernier carré représente *les « tutoriels intelligents »*. A la mise en situation de résolution de problèmes, caractéristique des didacticiels, les informations ont ajouté une composante tutorielle « intelligente » dans laquelle sont représentés le modèle de l'élève et le savoir faire de l'enseignant. Si l'ouverture de ces systèmes est encore limitée par les possibilités de dialogue « homme-machine » en langage naturel, la prétention de ces logiciels très sophistiqués est de permettre des apprentissages de haut niveau sur le raisonnement, la logique et la compréhension.

Au-delà de cette présentation schématique, l'heure est à une stratégie d'intégration des acquis. Ces environnements ont montré chacun leurs possibilités et leurs limites. La recherche s'oriente désormais dans une voie médiane représentée par le concept d'« environnements d'apprentissage intelligents ».

Ces systèmes se rapprochent du concept de micro-monde tout en intégrant des outils qui permettent à l'apprenant de transformer ses expériences concrètes en réels apprentissages. Par exemple, certains des outils peuvent favoriser la réflexion de l'apprenant et concrétiser les connaissances de haut niveau par réification graphique ou verbale du raisonnement de l'apprenant.

Ces systèmes doivent être capables de favoriser l'acquisition de concepts et de procédures associés à un domaine de connaissance. Ils doivent permettre à l'élève de s'orienter dans un univers cohérent à travers : 1) une multiplicité

d'activités pertinentes (exploration, entraînement, mise en relation de domaines, correction d'erreurs, planification de la tâche...) et 2) à partir de représentations diversifiées (spatiale, verbales...) en associant, autant que faire se peut, les concepts et procédures du domaine à des contextes où leur validité est aussi pertinente.

La terminologie pour désigner de tels environnements est déjà abondante. Elle comporte des dénominations telles que « intelligent educational systems » (Cumming & Self, 1989), « intelligent microworlds » (Feurzeig, 1986), « supportive learning environments » (Twidale, 1989), ou encore « articulated micro-worlds » (Frederiksen white, 1988).

3 CONCLUSION

L'éducation, la formation et l'apprentissage sont devenus des enjeux de première importance pour les civilisations industrielles avancées. La croissance et la diversification des demandes dans ce domaine contraignent les systèmes éducatifs à une adaptation en profondeur, tant du point de vue institutionnel que du point de vue des méthodes et des moyens d'enseignement.

La mobilisation, à des fins d'enseignement, des technologies interactives de communication et de traitement automatique de l'information offre des possibilités importantes d'adaptation à cette évolution des demandes de formation. En effet, deux des caractéristiques des nouvelles technologies pour l'éducation permettent de lever des contraintes fondamentales dans les processus d'enseignement - celle du lieu et celle du temps - qui condamnent les systèmes de formation classiques à fonctionner dans le cadre et les limites de systèmes scolaires.

Ainsi, l'apport décisif de ces technologies est de permettre de concevoir, d'organiser et de promouvoir à côté des enseignements traditionnels, des systèmes complémentaires ou alternatifs de formation : enseignement à distance, enseignement assisté par ordinateur, accès à des banques de données, multiplication des sources et des supports d'informations pour représenter les savoirs... Les caractéristiques de ces environnements leur permettent de s'adapter à la variété des besoins de formation ; elles répondent ainsi à une demande sociale importante.

Ce versant pragmatique ne doit pas nous faire oublier que c'est en grande partie grâce à la recherche fondamentale que de tels environnements ont pu être développés. Ainsi, toutes les disciplines concernées par la représentation, la gestion et la transmission des connaissances à savoir, l'informatique, l'intelligence artificielle, la psychologie cognitive, les sciences de l'éducation, la didactique, l'épistémologie se sont naturellement retrouvées pour résoudre des défis technologiques et conceptuels qu'elles n'auraient pas pu aborder seules.

Ce nouveau champ de recherche que l'on pourrait appeler « Sciences et Technologies de l'Apprentissage » peut se définir comme l'ensemble des questions qui se posent lorsque l'on cherche à appliquer les technologies multimédia (vidéo, télématique, informatique, intelligence artificielle...) à des tâches d'enseignement. Il recouvre de ce fait deux grands thèmes. Le premier est explicitement orienté vers

la technologie et représente les efforts de mise en commun des différents savoir faire de chaque discipline pour aboutir au développement de systèmes informatiques. Le second concerne les retombées de ces efforts pour la recherche fondamentale dans chacune des disciplines concernées.

Il peut exister effectivement un risque de poursuivre des objectifs qui peuvent paraître incompatibles. Cela pourrait réduire a priori les chances d'obtenir des résultats satisfaisants. Toutefois, une analyse plus précise révèle que cette ambiguïté correspond au paradigme fondamental de ce champ de recherche : un logiciel d'enseignement est à la fois un outil concret d'apprentissage et la formalisation d'une théorie de l'apprentissage (Bierman, 1987). Les travaux des chercheurs de la illustrent cette interaction dynamique où la recherche fondamentale se confond à la recherche appliquée : l'implémentation et l'expérimentation d'un environnement d'apprentissage « renvoient » au concepteur des questions fondamentales de recherche, lesquelles donnent lieu à de nouveaux systèmes. Wenger (1987) abonde dans ce sens lorsqu'il déclare : « le fait que la conception de tutoriels intelligents requiert une aussi profonde compréhension des processus en jeu pourrait signifier que nous avons trouvé une méthodologie au moyen de laquelle nous pouvons nous attaquer à des questions générales de manière systématique ».

Patrick MENDELSON

Professeur à l'université de Genève

