

Environnements informatiques et apprentissages humains

Pierre Tchounikine, André Tricot

Introduction

L'apprentissage humain se définit de façon générale comme une modification (positive) de la capacité à réaliser une tâche sous l'effet d'une interaction avec l'environnement.

L'apprentissage humain a lieu dans des conditions différentes, dont deux au moins peuvent être distinguées : (1) les conditions où l'apprentissage est essentiellement adaptatif et implicite : par exemple, un enfant qui apprend à parler sa langue maternelle ; (2) les conditions où l'apprentissage est essentiellement institué et explicite : par exemple, un élève qui apprend le théorème de Pythagore. La seconde catégorie de conditions comprend les situations dites d'enseignement ou de formation (nous garderons le terme de « situations d'enseignement » dans le reste du texte). On peut aisément se représenter ces situations comme mises en place quand l'apprentissage adaptatif et implicite ne fonctionne pas (ou pas bien).

Depuis quelques milliers d'années, les humains se demandent comment concevoir ces situations d'enseignement institué et explicite. Par exemple, dans le « Ménon » de Platon, on voit Socrate se livrer à un curieux exercice : il conçoit son enseignement comme un dialogue où le maître tente de faire prendre conscience à un élève de quelques connaissances que celui-ci a acquis d'une façon que l'on dirait aujourd'hui implicite (Landauer et Dumais 1997). Ce dialogue expose une théorie didactique en distinguant « les connaissances

enseignables de celles que l'on acquiert par l'exercice et de celles qui échoient aux humains par nature ou de quelque autre manière». Plusieurs disciplines se réclamant expressément ou non des sciences cognitives comme la psychologie cognitive, l'ingénierie pédagogique ou les didactiques, contribuent à répondre aux mêmes questions : qu'est-ce qu'une situation d'apprentissage par enseignement ? En quoi diffère-t-elle d'autres situations d'apprentissage ? Comment en concevoir une ? Que s'y passe-t-il ?

Concevoir une situation d'enseignement, c'est définir :

- un but d'apprentissage, c'est-à-dire une ou plusieurs connaissances ;

- une tâche d'apprentissage, c'est-à-dire quelque chose à réaliser par les élèves (ou « apprenants ») au moyen d'actions ou d'opérations ;

- des acteurs soit, *a minima*, un enseignant et un apprenant ;

- un contexte d'apprentissage définissant un temps, un lieu, des artefacts, etc.

- une tâche d'enseignement, où l'on tente de mettre en adéquation les quatre termes précédents, de sorte que la connaissance enseignée, à travers la tâche à réaliser par les apprenants dans le contexte, puisse donner lieu à l'élaboration d'une nouvelle connaissance par l'apprenant.

Le point de jonction entre l'informatique et les questions relatives à l'apprentissage humain et à l'enseignement se situe au niveau des environnements informatiques pour l'apprentissage humain (EIAH). En tant que système informatique, un EIAH est un programme destiné à être utilisé par les apprenants impliqués dans une situation d'enseignement et à accompagner ou susciter leur apprentissage. En tant que champ scientifique, l'EIAH peut être défini comme l'ensemble des travaux visant à comprendre les processus de construction des EIAH et les phénomènes d'apprentissage liés à ces environnements informatiques. L'étude des EIAH amène à considérer des objets et des concepts de différentes natures : cognition et phénomènes psychologiques individuels ou collectifs ; connaissances qui font l'objet de l'apprentissage ; situation pédagogique ; artefact informatique ; dispositif de formation ; organisation sociale ; phénomènes d'ap-

propriation et d'usage; phénomènes d'apprentissage; phénomènes d'intégration dans les pratiques; phénomènes d'évolution sociale; politiques éducatives; dimensions méthodologiques (de la conception des situations pédagogiques, de la conception des artefacts informatiques); etc. C'est un champ scientifique profondément pluridisciplinaire, qui implique des questions relatives à l'informatique, la psychologie, les sciences de l'éducation ou encore les sciences de l'information et de la communication, et dont les définitions et questions scientifiques peuvent et doivent être envisagées de différentes façons.

L'objet de ce chapitre est de pointer quelques questions que les EIAH posent aux sciences cognitives. Dans la section suivante, nous présentons quelques éléments généraux sur les EIAH, puis, par la suite, différents exemples d'interactions entre l'informatique et les (autres) sciences cognitives liées à la conception d'EIAH. Ces exemples ne visent pas à proposer une vision exhaustive de ces relations, mais à en illustrer la complexité et les différentes natures.

Quelques éléments sur les EIAH

Différents systèmes, différents rôles

Un EIAH est un environnement intégrant des agents humains (apprenant ou enseignant) et artificiels (informatiques) et leur offrant des conditions d'interactions – localement ou à travers les réseaux informatiques – ou encore des conditions d'accès à des ressources formatives – humaines et/ou médiatisées – locales ou distribuées (Tchounikine 2002). La machine peut y tenir différents rôles (non mutuellement exclusifs): outil de présentation de l'information (typiquement, un hypermédia), outil de traitement de l'information (typiquement, un système à base de connaissances résolvant les exercices avec l'apprenant) ou outil de communication entre l'homme et la machine ou entre les hommes à travers les machines.

La vision naïve d'un « transfert » des connaissances qui seraient « contenues » dans le système vers l'apprenant est maintenant largement abandonnée. La vision actuelle, inspirée du constructivisme, est fondée sur l'idée que l'apprentissage est une modification de la capacité à réaliser une tâche sous l'effet d'une interaction avec l'environnement. Cette interaction peut prendre différentes formes : interaction entre un apprenant et un milieu qui « rétroagit », mais également interactions entre apprenants médiées par la machine.

Différents types de logiciels rentrent dans la catégorie des EIAH. Pour des éléments généraux sur les EIAH et leur évolution consulter Wenger (1987), Bruillard (1997), Granbastien et Labat (2006).

L'archétype de l'EIAH, sans doute parce qu'inspiré des situations enseignant-apprenant traditionnelles, a longtemps été le tuteur intelligent. L'objectif de ce type de système est typiquement de proposer à un apprenant de résoudre, à travers et sous le contrôle du système, un problème lié à l'apprentissage visé, par exemple un problème de factorisation d'une expression mathématique. Ce type de système, dans son acception générale, doit gérer différentes tâches habituellement assurées par un enseignant humain. Il doit, d'une part, être capable de résoudre lui-même le problème, en s'adaptant à l'apprenant, et en expliquant et justifiant son raisonnement. Il doit, d'autre part, être capable de résoudre différents problèmes de gestion : choix d'une stratégie pédagogique ; interprétation des actions de l'apprenant captées à l'interface du système (click souris, actions effectuées, résultats produits, etc.) afin d'élaborer une certaine compréhension de son comportement et/ou de son profil ; choix d'une rétroaction pertinente (correction, aide, explication, etc.). Pour cela, le système doit tout d'abord disposer d'une modélisation des connaissances du domaine d'apprentissage. Les premiers systèmes étaient fondés sur l'utilisation de modèles de connaissances expertes, conçus pour résoudre des problèmes. Chercher à construire des situations pédagogiques uniquement fondées sur des connaissances expertes représentées en machine (et que la machine, contrairement à l'enseignant, ne pouvait pas adapter en contexte) a rendu impératif la conception de modèles de connaissances prenant en compte les spécificités du contexte d'apprentissage, à la suite d'études didactiques notamment.

Ceci suppose de modéliser les connaissances « de référence » à enseigner, mais peut également nécessiter la construction de modèles des connaissances des apprenants, des croyances du système sur les connaissances des apprenants, de l'évolution des connaissances des apprenants, ou encore de modèles d'erreurs prototypiques. Ces travaux sont inspirés, fondés, et ont accompagnés les travaux de l'intelligence artificielle symbolique, et notamment les travaux sur les systèmes experts et les représentations en logiques classiques et non classiques. Il s'agit, en effet, de doter le système de connaissances et de capacités humaines (en l'occurrence, d'un enseignant), soit pour des situations de remplacement (le tuteur intelligent guide et interagit avec l'apprenant), soit pour des situations d'assistance (le tuteur intelligent assiste l'enseignant). Un point central est la question de l'élaboration de l'exploitation de différents modèles de connaissances, qui reste toujours un problème clé. Par exemple, les travaux récents en chirurgie orthopédique montrent l'importance de dissocier les connaissances à valeur d'usage (qui permettront d'agir) et les connaissances à valeur d'échange (Luengo *et al.* 2006).

Les hypermédias, et plus largement les documents électroniques, sont des outils de présentation de l'information. Ils sont utilisés par les enseignants ou les concepteurs pour représenter des connaissances au moyen de mots, d'images, de vidéos, d'équations, etc., par le biais de modalités visuelles ou auditives. Ils permettent aussi de représenter des relations sémantiques entre les connaissances, comme des relations de hiérarchie, de conséquence, de tout à partie, d'exemple, etc. Ces documents sont essentiellement destinés à des tâches d'apprentissage par compréhension au cours desquelles les apprenants peuvent élaborer des représentations mentales locales de contenus (comprendre une image, comprendre une phrase), des représentations des relations entre ces contenus (comprendre que cette phrase légende cette image) et même des représentations globales de contenus (se représenter un domaine de connaissances). Par rapport aux documents papiers, les hypermédias imposent à l'apprenant de gérer lui-même sa consultation du document, de décider de lire ou ne pas lire telle partie avant telle ou telle autre. Lors de l'apparition des hypermédias, des chercheurs comme Jonassen (1989)

ont pensé que ces documents, qui permettent de représenter un domaine structuré de connaissances, en général telles qu'elles sont structurées chez les experts de ce domaine, pourraient en faciliter l'apprentissage par les apprenants. L'accumulation des échecs de cette perspective amène aujourd'hui à se poser des questions comme : comment représenter une connaissance pour quelle soit comprise ? Comment représenter la structure d'un ensemble de connaissances pour qu'il soit maîtrisé par l'apprenant ? Comment faire en sorte que l'activité de consultation du document serve l'apprentissage au lieu de l'altérer ? Quelles connaissances bénéficient d'être représentées par des images animées ? Par des images fixes ? Par des textes ?

Les micromondes, environnements de simulation ou encore environnements de réalité virtuelle, représentent un autre type d'EIAH, fondé sur l'idée de l'immersion de l'apprenant dans un monde virtuel. Ce type d'environnement permet notamment de créer des supports d'apprentissage disponibles et personnalisables, facilitant le suivi des actions et du parcours des apprenants, la réversibilité des actions, le rejeu et l'analyse *a posteriori* (Mellet d'Huart et Michel 2006). L'utilisation de la réalité virtuelle notamment vise à reconstituer des conditions d'interaction proches de celles de l'environnement réel et/ou augmentées pour les situations d'apprentissage (par exemple, permettant de voir ce qui, dans des conditions réelles, seraient matériellement caché à la vue). La réalité virtuelle, *via* les différentes interfaces sensori-motrices qu'elle offre, permet également de commencer à intégrer la dimension corporelle (Mellet d'Huart et Michel (*ibid.*) 2006). Le chapitre « Réalité virtuelle et cognition » de cet ouvrage y est consacré.

La période récente a cependant vu l'explosion de systèmes fondés sur les capacités offertes par Internet et les technologies de l'information et de la communication. Deux types de travaux (non exclusifs) peuvent être dissociés.

Un premier type de travaux porte sur la conception de formations diffusées à travers le Web par des plateformes spécialisées. Une formation de ce type correspond essentiellement à un ensemble de ressources (*e.g.* supports de cours, exercices, pointeurs vers des ressources externes) et d'outils de communication (*e.g.* mail, chat, forum,

tableau blanc partagé). Il se pose alors, d'une part, des questions relatives à la production, la médiatisation et l'organisation des ressources, et, d'autre part, des questions relatives à la relation entre l'apprenant et les ressources proposées, ce qui amène par exemple à travailler sur la construction de plans d'activités, de scénarios pédagogiques, d'outils d'auto-évaluation, de feuilles de route et de planning, etc. Les objets au cœur de l'analyse sont donc la production et l'organisation des ressources, l'accès de l'apprenant à ces ressources et la relation entre l'apprenant et son contexte (organisationnel et humain, par exemple avec le tuteur). La conception et la mise en place de ce type de formation nécessitent différentes compétences (experts de contenus, experts pédagogiques, experts médiatiques, etc.). Ces travaux sont très inspirés (tant dans leurs principes que dans leurs technologies) par les travaux d'informatique sur les systèmes d'information et l'ingénierie des connaissances.

Un second type de travaux reprend différemment le concept clé (déjà présent dans les tuteurs intelligents) selon lequel la connaissance émerge des interactions entre l'apprenant et son environnement. Cependant, au lieu de chercher à organiser des interactions entre l'apprenant et un système informatique, l'objectif est de favoriser les interactions entre apprenants. Ces travaux sont largement inspirés par les courants socio constructivistes et, techniquement, par la généralisation des réseaux informatiques. L'enjeu n'est donc plus de construire un système qui embarque des connaissances sur l'objet de l'apprentissage, mais de construire des situations qui vont amener les apprenants à interagir. C'est par exemple l'objet des travaux sur l'apprentissage collaboratif et les scripts (ou scénarios) collaboratifs, qui scénarisent des situations visant à créer des situations d'interaction propices aux apprentissages visés. Un exemple typique est un groupe d'apprenants qui se voit proposer une tâche complexe à réaliser collectivement. Dans une première phase individuelle, chacun est familiarisé avec une partie nécessaire mais non suffisante des connaissances requises pour la tâche. Lors de la phase collective, la tâche nécessitant les compétences de tous, les apprenants vont être conduits à interagir avec leurs pairs pour expliquer et argumenter leurs propositions, élaborer sur les propositions des autres (etc.) et,

à travers ces interactions, apprendre. Dans ce type de situation, le rôle du dispositif informatique est de scénariser la situation, de mettre à disposition les ressources nécessaires (données ; outils de communication ; outils partagés, *e.g.* un outil de modélisation accessibles simultanément aux différents apprenants si nécessaire) et de structurer la façon dont il permet aux acteurs d'interagir. Par exemple, certains outils de communication imposent des contraintes de tour de parole, l'utilisation d'ouvreurs de phrases (« Je propose un argument en faveur de », etc.) ou encore des schémas d'interaction prédéfinis type « proposition ; arguments ; contre-arguments ». Il y a donc une dimension pédagogique de construction de la situation d'apprentissage et une dimension psychologique de proposition aux apprenants de structures (par exemple de structures argumentatives) dont on espère qu'ils les intégreront.

Nous avons ci-dessus indiqué quelques approches afin de montrer la variété des travaux, et par suite des différents types de systèmes informatiques et de leurs différents rôles. Il existe bien entendu des variantes ou des approches mixtes, par exemple la création de situations de problèmes fondées sur une simulation (« apprentissage centré problème », « apprentissage par la découverte ») intégrant également une dimension collaborative entre les apprenants. Un autre exemple est l'introduction d'agents intelligents au sein de micromondes, agents dont le rôle est de susciter des situations d'interaction (explication, justification, argumentation, etc.), par exemple des agents jouant le rôle d'un autre apprenant plus ou moins avancé. D'autres possibilités offertes par les technologies nomades (ordinateurs portables, PDA, téléphone mobile) permettent également d'envisager des situations où le contexte joue un rôle important (par exemple, proposer à l'apprenant des informations et/ou des tâches spécifiquement liées au fait qu'il est en train de visiter un musée au sein duquel il peut se déplacer tout en restant connecté à son environnement informatique et éventuellement, à travers celui-ci, à d'autres acteurs).

La conception des EIAH

Un EIAH est, fondamentalement, la conjonction d'une intention didactique ou pédagogique et d'un environnement informatique. Concevoir un EIAH, c'est concevoir, organiser et gérer un dispositif impliquant des acteurs humains (au moins un apprenant et éventuellement plusieurs, le cas échéant un ou plusieurs enseignants ou tuteurs) et un ou plusieurs artefacts informatiques.

La conception d'un EIAH pose des questions qui relèvent à la fois de l'informatique et des sciences cognitives lorsque le problème considéré est celui de la mise en œuvre de situations d'apprentissage nécessitant la conception d'un artefact informatique spécifique, qui doit présenter des propriétés ou des caractéristiques explicitement liées à l'intention didactique ou au contexte pédagogique. Ces caractéristiques sont, par exemple, les primitives épistémologiques ou les contraintes qui sont véhiculées par les interfaces mises à la disposition de l'apprenant. Les interfaces d'un outil de modélisation proposé (ou imposé) à l'apprenant peuvent ainsi être élaborées en vue de fournir des primitives conceptuelles (*i.e.*, pour l'apprenant, des «outils psychologiques») spécifiques, étudiées sur la base d'un modèle théorique de l'apprentissage ou de connaissances capitalisées sur les conditions de l'apprentissage visé. Il est également possible d'influer sur le processus d'action de l'apprenant en imposant des contraintes qui ne se justifient pas par rapport à la réalisation de la tâche, mais par rapport aux objectifs pédagogiques et/ou à l'adoption d'un point de vue particulier sur les mécanismes d'apprentissage. Il en est de même, par exemple, des moyens de communication dans une situation collaborative, ou encore des moyens de perception (de la situation; des autres acteurs; etc.) proposés par l'environnement. Il est important de noter qu'un programme informatique n'est jamais «neutre»: tout programme véhicule plus ou moins implicitement différentes primitives épistémiques à travers ses interfaces (que peut-on percevoir? que peut-on manipuler? comment peut-on le manipuler?), des modèles d'interaction sous-jacents à ses fonctionnalités et à son architecture. Il n'y a donc pas de programme «neutre», tout comme, par exemple, il n'y a pas de conception «neutre» du type de

ressources pédagogiques pouvant être utilisées dans le cadre de telle ou telle approche pédagogique : c'est simplement que cette dimension peut être ou ne pas être prise en compte.

Comme pour tout artefact informatique, la conception d'un EIAH consiste à inventer l'EIAH (*i.e.*, imaginer et penser l'environnement informatique, ses utilisateurs, son contexte d'utilisation, ses utilisations attendues, etc.), le spécifier (*i.e.*, décrire ses propriétés et caractéristiques), le réaliser (*i.e.*, construire les modèles puis le code informatique correspondant), l'expérimenter (*i.e.*, étudier s'il correspond aux attentes), le raffiner et le faire évoluer (*i.e.*, réaliser les modifications visant à lui faire retrouver sa spécification telle qu'elle a été définie, et/ou en faisant évoluer cette spécification au vu des expérimentations qui précèdent la diffusion, et/ou en faisant évoluer cette spécification au vu des analyses de l'utilisation écologique de l'EIAH ou de son intégration dans les pratiques). Chacune de ces phases relève de l'informatique, aucune ne relève que de l'informatique, et ceci tant pour ce qui est de comprendre et de définir à quoi correspondent ces phases que pour ce qui est de les réaliser.

Il n'existe pas, actuellement, de processus (ou d'ensemble de propositions de processus) de conception des EIAH plus ou moins normalisé faisant l'objet d'un consensus comme cela peut l'être, par exemple, pour les systèmes d'information. Par suite, les travaux sont le plus souvent *ad hoc* et, par ailleurs, peu documentés.

La conception d'un EIAH peut ainsi être fondée sur différents points d'entrée (non exclusifs), par exemple :

- le point d'entrée peut être une technologie particulière (la notion d'hyperlien, la capacité de la machine à tenir une certaine forme de raisonnement, la réalité virtuelle, les réseaux permettant l'accès distant à des ressources pédagogiques, l'existence de machines nomades ou la communication médiatisée, etc.) dont il est fait l'hypothèse qu'elle permet de « nouveaux possibles », qu'elle permet de créer des situations d'apprentissage « intéressantes » ;

- le point d'entrée peut être tout ou partie des processus d'ingénierie, normes et standards du moment développés en EIAH (*e.g.*, LD, SCORM, LOM ou LTSA) et/ou en génie logiciel (*e.g.*, MDA). La démarche est alors orientée vers l'ingénierie et non *ad hoc*. Le

point central est de s'interroger sur la façon donc ces langages, avec leur syntaxe et leur sémantique, permettent de modéliser et/ou de mettre en œuvre la situation pédagogique visée ;

- le point d'entrée peut être un modèle ou une théorie générale issu des sciences humaines et sociales (théorie de l'apprentissage, théorie de la cognition, théorie de l'enseignement, théorie de l'action) et considéré comme un fondement pour concevoir des situations d'apprentissage (et, par suite, les artefacts informatiques associés) ;

- le point d'entrée peut être une analyse de la connaissance en tant qu'enjeu de l'apprentissage. Il s'agit de fonder la conception de l'EIAH sur une analyse didactique des connaissances disciplinaires (et, éventuellement, des pratiques pédagogiques dans l'enseignement traditionnel) afin de déterminer les propriétés et caractéristiques de ces connaissances et de leur apprentissage, et sous quelles conditions les situations d'apprentissage peuvent être transposées dans un environnement informatique tout en conservant leurs caractéristiques favorables à la construction du sens ;

- le point d'entrée peut être l'acteur enseignant ou tuteur dont il s'agit de faciliter la tâche, par exemple lorsque l'on envisage de gérer une situation pédagogique avec un partenariat homme-machine. Il s'agit alors de co-construire avec ces enseignants des objets et des notions qui doivent être partagés par le système et ces enseignants ;

- le point d'entrée peut être un recueil de résultats empiriques dans le domaine de l'apprentissage humain qui permette de dégager des guides de conception concernant par exemple la disposition des informations à l'écran, la structure des connaissances à apprendre ou l'utilisation des animations, sans qu'un modèle théorique général ne soit prégnant.

La notion de point d'entrée ne capte qu'une dimension du processus de conception, et la plupart des travaux correspondent à une hybridation plus ou moins explicite de ces approches. Cet angle d'analyse illustre cependant que, selon l'approche adoptée et le contexte des travaux, la conception des EIAH amène à considérer des questions différentes. Ceci explique la variété des interactions

entre l'informatique et les (autres) sciences cognitives liées à la conception d'EIAH. La section suivante en présente quelques exemples.

Quelques questions et apports liés aux EIAH

Étudier les questions relatives à l'utilisation de théories en relation avec l'apprentissage dans la conception des EIAH

Différentes approches de conception des EIAH impliquent de faire référence à des théories de l'apprentissage, de la cognition ou encore de l'action. Ceci pose différents problèmes. Tout d'abord, la plupart des théories dont se réclament les EIAH (*e.g.*, théories de la cognition située (Clancey 1997) et distribuée (Hollan *et al.* 2000), la théorie des situations didactiques (Brousseau 1998) ou les réinterprétations de la théorie de l'Activité dans le cadre des travaux sur la collaboration (Engeström 1987), sont des théories qui permettent d'interpréter et de comprendre, et non des théories pour construire. Ensuite, pour des théories assez générales, comme la théorie de l'Activité, il y a loin entre la description de la théorie et son exploitation comme principe de conception d'un système. Ainsi, Mandl et Renkl (cités dans Dillembourg *et al.* 1996) notent que, dans le domaine de l'apprentissage collaboratif, l'analyse des interactions se heurte au fait que les théories de référence (Piaget, Vygotsky) sont trop générales pour permettre une explication propre. Enfin, ces théories n'ont pour la plupart pas été élaborées en prenant en compte le fait qu'un EIAH s'inscrit dans un milieu informatique. Il se pose donc un problème de transposition des notions et modèles dans le milieu informatique, lequel ne relève pas de la simple difficulté de mise en œuvre informatique mais d'un problème de reconceptualisation (ou de création d'une nouvelle théorie propre) beaucoup plus complexe.

La théorie de l'Activité est un bon exemple d'un cadre de référence utilisé pour analyser des situations d'apprentissage. Les travaux

d'Engeström notamment (Engeström 1987) fournissent un ensemble de notions (activité, action, opération, sujet, objet, communauté, règle, outil, division du travail, contradiction) qui peuvent être utilisées comme un substrat conceptuel pour « penser » les situations pédagogiques visées et l'EIAH à concevoir. L'utilisation de ces notions dans un contexte EIAH impose cependant de les revisiter. Ainsi, la théorie de l'Activité est fondée sur des dimensions culturelles et historiques. Comment interpréter la notion de « contradiction » telle que définie dans ce cadre dans le contexte d'un EIAH ? Est-ce que les dimensions temporelles sous-jacentes à la théorie de l'activité peuvent être mises en relation avec celles des situations d'utilisation ponctuelle d'un EIAH ?

Les travaux relevant d'une approche « connaissance » qui s'appuient sur le cadre théorique de la théorie des situations didactiques et le cadre méthodologique que constitue l'ingénierie didactique (*cf.* Artigue 1990, Brousseau 1998) sont un bon exemple de transposition d'un modèle vers le milieu particulier que constitue l'informatique. L'approche didactique repose sur une étude épistémologique des connaissances en vue d'apprentissage et sur une théorisation du système d'enseignement permettant de définir les conditions de la construction des situations spécifiques qui donnent un sens aux actions de l'apprenant (Luengo *et al.* 2006). L'EIAH doit alors être étudié en tant que milieu épistémique propre.

La conception d'un EIAH amène donc à considérer des théories et notions à la limite – ou parfois hors – de leur contexte de définition, et dans une perspective différente de celle qui a présidé à leur élaboration. Ceci conduit notamment au problème de la co-construction par l'informatique et les sciences cognitives de notions et modèles utiles à la conception. La conception des environnements informatiques que sont les EIAH pose donc comme un enjeu important la compréhension de la nature des utilisations, interprétations, transpositions, complémentations (...) qui sont effectuées, d'une part pour expliciter les fondements des systèmes construits, d'autre part pour capitaliser les connaissances utiles à la conception et progresser dans la construction de processus de conception. Une difficulté supplémentaire est liée au fait que, au sein d'un EIAH, il est générale-

ment nécessaire d'utiliser différents modèles qui peuvent relever de cadres théoriques différents et dont la compatibilité et l'articulation doivent être examinées : articulation de modèles liés aux connaissances du domaine, au contrôle de l'interaction, à la perception et l'interprétation des actions des apprenants, aux rétroactions de la machine et à la gestion des caractéristiques personnelles ; articulation de modèles dans des situations de partenariat enseignant humain/machine (par exemple, pour la conception d'outils d'analyse et d'intervention destinés à un enseignant humain) ; etc.

Un point délicat reste que la notion de « référence à une théorie » est extrêmement vague et nécessite une attention spécifique. Le lien entre le processus de conception et la ou les théories référencées peut correspondre à une simple évocation d'une approche générale (e.g., « relève d'une approche constructiviste » ou « intègre une dimension sociale »). Ainsi, le langage de modélisation de scénarios IMS-LD (IMS-LD 2003), centré sur la notion d'activité, embarque *de facto* une dimension qui peut être associée au constructivisme. Par suite, certains travaux dont les principes relèvent du génie logiciel (approche « ingénierie normée ») sont présentés, parce qu'ils manipulent des objets représentés avec ce langage, comme relevant du constructivisme, ce qui bien évidemment demanderait une analyse plus fine. De même, les travaux se présentant comme fondés sur une théorie (approche « opérationnalisation de modèles théoriques généraux ») peuvent correspondre à différentes réalités, de la simple recherche de principes directeurs informant les décisions de conception à l'utilisation de notions ou de préceptes précis, émanant de la théorie de référence, qui sont repris ou transposés dans la conception (par exemple, choix de la notion d'Activité comme unité d'analyse, décisions d'opérer des rétroactions de type « feedback immédiat » comme conséquence de la théorie cognitive ACT-R, etc.). La compréhension et le contrôle (en terme de légitimité, en terme de validité, en terme d'efficacité) de la nature de la relation entre un processus de conception d'EIAH et une ou plusieurs théories est donc également un enjeu majeur de l'avancée des travaux et de la capitalisation des connaissances, lequel interroge à la fois l'informatique et ces champs théoriques de référence. Des propositions interdisciplinaires visant

à proposer des cadres d'explicitation des travaux ont été proposées récemment (Tchounikine *et al.* 2004). Ainsi, le dialogue entre EIAH et sciences cognitives aurait tout à gagner si l'on distinguait :

- les échanges qui relèvent de l'ingénierie, où le but est de concevoir un EIAH pour une situation particulière, et où l'on cherche à identifier et utiliser des connaissances (disciplinaires ou pluridisciplinaires) parce qu'elles permettent de prendre des décisions rationnelles;
- les échanges qui relèvent du questionnement théorique, où il s'agit d'élaborer ou de tester une théorie;
- les échanges qui relèvent du simple référencement, de l'« inspiration », où les chercheurs d'une discipline vont chercher une connaissance dans l'autre discipline pour faire avancer leur réflexion, combler une lacune ou chercher une légitimité.

Élaborer des théories liées aux « nouveaux possibles » technologiques : l'exemple de la flexibilité cognitive

Les « nouveaux possibles » créés par l'informatique ont entraîné des travaux visant à proposer un cadre théorique susceptible de les conceptualiser. L'élaboration de ces cadres théoriques liés à la conception d'EIAH contribue à la compréhension des apprentissages humains et de l'enseignement, et parfois l'échec même de ces « nouveaux possibles » permet cette progression.

Par exemple, le succès des hypertextes à partir de la fin des années 1980 a suscité un véritable enthousiasme et a servi de cadre à une théorie pédagogique, la théorie de la flexibilité cognitive (Spiro et Jehng 1990). Cette théorie traite de l'acquisition et du transfert de connaissances avancées. Inspirée par l'approche constructiviste, elle postule qu'il existe deux façons de construire mentalement des connaissances : par ajout de nouvelles connaissances (l'apprenant assimile de nouvelles connaissances en plus de celles qu'il possède) ou par restructuration des connaissances (l'apprenant réorganise les connaissances qu'il possède déjà en fonction des nouvelles connaissances). Cette théorie propose des conditions d'apprentissage favori-

sant le transfert de connaissances, c'est-à-dire la possibilité d'appliquer celles-ci à d'autres sujets, situations ou contextes que celui qui a servi à les enseigner. Le concept central de la théorie est celui de flexibilité cognitive, c'est-à-dire la capacité d'un apprenant à remettre en cause certains de ses automatismes afin de s'adapter à une nouvelle situation. Un apprenant peut posséder de bonnes connaissances dans un domaine complexe, mais lorsqu'il est confronté à une nouvelle situation dans le même domaine, ses connaissances ne seront pas forcément adaptées à la situation. En effet, dans un domaine complexe, les situations sont variées et n'exigent pas toutes la mobilisation des mêmes connaissances. Si les connaissances de l'apprenant sont rigides, il ne parviendra pas à les appliquer correctement face à une nouvelle situation. En revanche, s'il recompose ses connaissances, il parviendra davantage à les transférer. Ainsi, la flexibilité cognitive correspond à la capacité à réadapter ses connaissances face à une nouvelle situation. Elle favorise l'acquisition et le transfert de connaissances. Plus un apprenant est flexible, plus il sera capable de prendre en compte un nouveau fait, une nouvelle situation.

Cette théorie propose des recommandations d'instructions favorisant le développement, chez l'apprenant, de sa flexibilité cognitive et donc censées faciliter l'acquisition et le transfert de connaissances avancées : utiliser de multiples représentations de la connaissance (schémas de présentation, analogies, points de vue) ; lier les concepts abstraits à des cas concrets, pour montrer à l'apprenant les nuances de la variabilité des concepts, de leurs relations et de leurs applications ; introduire la complexité au début de l'apprentissage (ceci permet à l'apprenant d'avoir une idée des éléments conceptuels et de leurs interactions, il pourra alors comprendre les différents concepts dans la logique du thème enseigné et de sa complexité) ; montrer les relations entre les concepts dans des contextes multiples ; favoriser un apprentissage actif de l'apprenant (celui-ci doit essayer de repérer les concepts abstraits pertinents dans une nouvelle situation, mais il doit également tenter de repérer les éléments qui sont spécifiques à une situation, et résoudre des problèmes dans des situations nouvelles à partir desquelles il pourra construire ou reconstruire ses connaissances).

La théorie de la flexibilité cognitive présente l'hypertexte comme un support favorable à l'apprentissage dans les domaines de connaissances complexes et mal structurées. La consultation libre d'un hypertexte favoriserait l'exploration d'un domaine de connaissances complexe. La structure en réseau des hypertextes permettrait à l'utilisateur d'accéder à l'information selon différents parcours. Les apprenants auraient ainsi la possibilité d'intégrer de nouvelles informations dans leurs conceptions existantes et d'établir des connexions entre les concepts (Spiro *et al.* 1991). L'apprenant s'engagerait dans des traitements sémantiques de niveau plus profond en comparant et en différenciant les concepts. Malheureusement, les résultats empiriques infirment cette théorie (Jacobson et Spiro 1995, Jacobson, Sugimoto et Archodidou 1996, Jacobson et Archodidou 2000, Jacobson, Maouri, Mishra et Kolar 1996, Niederhauser, Reynolds, Salmen et Skolmoski 2000).

Cet échec a permis de comprendre que l'accès direct à la représentation de connaissances complexes n'est peut-être pas une solution pour l'enseignement (Hofman et van Oostendrop 1999). Si la connaissance complexe est le *but* de l'apprentissage, sa représentation n'est sans doute pas un bon *moyen* de l'enseigner. Pour élaborer une connaissance complexe, l'apprenant a manifestement besoin de connaissances préalables, soit élémentaires (il va alors élaborer la connaissance complexe en mettant en relation des connaissances élémentaires), soit complexe (il va alors établir une analogie entre la connaissance complexe nouvelle et l'ancienne).

Étudier les dimensions d'ingénierie : l'exemple
de la théorie de la charge cognitive

Enseigner est une ingénierie, c'est-à-dire une utilisation raisonnée, à des fins de conception, de connaissances scientifiques. L'ingénierie est parfois définie par l'objet conçu (ingénierie pédagogique) ou par la discipline source (ingénierie cognitive). « Ingénierie » est bien entendu synonyme de « génie » (génie civil, génie mécanique...).

L'ingénieur a pour tâche de concevoir un dispositif qui permette d'atteindre un objectif donné, avec un certain nombre de ressources et de contraintes. Il conçoit une solution optimale.

Dans le domaine de l'enseignement, il existe une ingénierie, assez ancienne. Celle-ci évolue sous l'influence de l'accroissement des connaissances scientifiques, et, il faut bien le dire, de véritables effets de mode : le behaviorisme a façonné l'ingénierie pédagogique pendant de nombreuses années, le constructivisme et le cognitivisme aussi. Une ingénierie représente donc « une certaine manière de poser les problèmes de conception d'un type de dispositif », à une période donnée. Selon l'époque, on a ainsi pu concevoir des dispositifs d'enseignement au sein de la pédagogie par objectifs, du conflit sociocognitif, de la pédagogie de la découverte, etc. À titre d'exemple, la théorie de la charge cognitive est présentée par ses auteurs comme une ingénierie pédagogique inspirée du cognitivisme classique (Clark, Nguyen et Sweller 2006, Chanquoy, Tricot et Sweller 2007). Elle prend en compte trois grands types de facteurs (niveau de connaissance des apprenants ; complexité du contenu ; type de contenu). Selon cette approche, si les connaissances préalables des apprenants sont faibles, la conception de la situation d'enseignement doit s'attacher à réduire la charge cognitive inutile, en favorisant la réussite de la tâche, utilisant des illustrations pertinentes, expliquant les illustrations de façon orale ou écrite (mais pas les deux), ne donnant pas d'explications inutiles, concevant des leçons directives et utilisant des problèmes résolus en faisant disparaître progressivement l'aide (les explications, les solutions).

L'ingénierie liée à la théorie de la charge cognitive (Sweller 1999), relativement ancienne (elle date des années 1980) et peu connue, a rencontré un grand succès à partir de la fin des années 1990. Les EIAH ont joué ici un double rôle. Premièrement, l'arrivée du multimédia dans l'enseignement, avec sa suite ininterrompue de déceptions, a trouvé dans la théorie de la charge cognitive un cadre pour commencer à concevoir des supports informatisés d'enseignement (des documents électroniques) de façon un peu raisonnée. Deuxièmement, l'informatique a fourni aux chercheurs du domaine

un appareillage méthodologique nouveau, permettant d'étudier des problèmes jusque-là inaccessibles, comme celui des représentations dynamiques ou des commentaires escamotables.

Élaborer de nouvelles connaissances
sur l'apprentissage humain

*Un premier exemple : les effets
de modalité et de redondance*

Dans sa classe, un professeur utilise simultanément différents canaux sensoriels (visuels et auditifs notamment), différents types de formats (document sonore, film vidéo, texte écrit, tableaux, etc.). Traditionnellement, ces aspects de la conception et de la mise en œuvre de la situation d'enseignement retiennent peu l'attention. Peut-être ces aspects sont-ils jugés secondaires ? Trop matériels ? Peut-être pense-t-on qu'un peu de bon sens suffit pour les gérer ? Mais, depuis l'apparition de la télévision, et plus encore depuis celle de la vidéo, la possibilité d'entendre et de voir en même temps un contenu pour apprendre a suscité beaucoup d'espoirs. Entendre et voir un texte en langue seconde ou lors des débuts de l'apprentissage de la lecture. Entendre un commentaire pendant qu'on regarde l'image commentée. Entendre un dialogue pendant qu'on voit les personnages interagir. Ici le multimédia n'est rien d'autre que ce l'on appelait auparavant l'audiovisuel. Entendre et voir en même temps permettrait de mieux apprendre, parce que cela serait plus motivant, plus vivant, plus riche, etc. Cela permettrait aussi aux individus « auditifs » ou « visuels » de traiter un média qui convienne aux différents styles d'apprentissage. Mais cette littérature prospective était souvent dénuée de tout étayage empirique sérieux.

L'arrivée du multimédia a remis sur le devant de la scène ces « questions secondaires » pour constituer un des champs les plus actifs de la recherche en ingénierie pédagogique aujourd'hui. Ces recherches, comme le souligne Mayer (1997), confondent souvent l'étude des effets des caractéristiques du multimédia avec celle des

effets du support (l'ordinateur, le papier). Dans les plans d'expérience, les deux types de variables sont tout simplement confondus. On compare un document monomodal sur papier avec un document multimodal sur ordinateur. Si bien que l'on est bien incapable de savoir si l'effet obtenu est lié à la modalité ou au support. Quand on distingue bien ces variables, on peut obtenir et répliquer des résultats comme l'effet de modalité et l'effet de redondance.

L'effet de modalité correspond aux documents pédagogiques multimodaux au sein desquels les diverses sources d'information qui requièrent d'être mises en relation pour être comprises sont présentées selon des modalités sensorielles différentes (auditive et visuelle). Par exemple, une figure géométrique présentée visuellement et commentée oralement améliore l'apprentissage par rapport à une présentation conventionnelle (voir figure et texte présentés en mode visuel). Cet effet, mis en évidence par Penney (1989), s'expliquerait par le fait que l'information imagée et l'information verbale ne transitant plus par le même canal de traitement de l'information ne nécessiteraient alors plus un partage des mêmes ressources, limitant par là même la surcharge de traitement en mémoire de travail. Cet effet a été largement répliqué par Mayer et ses collaborateurs (Mayer 2001, Moreno et Mayer 1999). Les travaux portant sur l'attention partagée ont permis le développement de la notion de ressource attentionnelle ou de traitement. En effet, si les ressources de traitement sont limitées, Wickens (1989) montre que celles-ci sont rattachées à chaque canal de traitement. Ainsi, lire un texte explicatif tout en regardant des illustrations liées à ce texte risque de surcharger le canal visuel, entraînant une diminution des performances de compréhension. En revanche, écouter un discours explicatif tout en regardant des illustrations liées à ce discours permettra d'utiliser la totalité de la charge de traitement du canal visuel et du canal auditif pour le traitement d'un seul stimulus (le discours pour le canal auditif et les illustrations pour le canal visuel), et donc n'entraînera pas de surcharge de traitement au niveau perceptif.

L'effet de modalité (ou de réduction du partage attentionnel) est obtenu si et seulement si le traitement d'informations disparates est nécessaire à la réalisation de la tâche. Alors, en intégrant physique-

ment ces informations et en les présentant selon des modalités sensorielles différentes, on facilite l'apprentissage. À l'inverse, quand il n'est pas nécessaire de traiter des informations disparates, quand une seule source d'information suffit, l'ajout d'informations redondantes (par exemple en présentant la même information selon deux modalités comme le texte oral et le texte écrit, ou selon deux formats comme le texte et l'image, ou selon deux volumes comme le texte détaillé et le résumé) détériore l'apprentissage (Cerpa, Chandler et Sweller 1996, Chandler et Sweller 1991, 1996, Kalyuga, Chandler et Sweller 1999). Cet effet s'expliquerait assez simplement par un surcoût cognitif lié au traitement d'une information inutile, interférant sur le traitement des informations pertinentes à comprendre et à apprendre. Il a lui aussi été répliqué par Mayer (Mayer, Heiser et Lonn 2001, Mayer, Bove, Bryman, Mars et Tapangco 1996). Le lecteur trouvera une synthèse complète sur l'effet de redondance chez Le Bohec et Jamet (2005).

La recherche sur les EIAH, et plus particulièrement sur le multimédia, a donc permis de générer des connaissances nouvelles pour la conception de supports-documents d'apprentissage, y compris quand ceux-ci ne sont pas informatiques.

Un second exemple : l'analyse des erreurs

Dans la pratique quotidienne du métier d'enseignant, il est fréquent que l'on ait affaire à une erreur produite par un apprenant. Selon la conception qu'il/elle a de sa profession, de ses élèves et des erreurs, le professeur «répond» à cette erreur de telle ou telle manière : il «corrige» l'élève, «ré-explique», «glisse», etc. Gérer les erreurs des élèves est une dimension du métier, qui ne pose pas de problèmes insurmontables. Bien sûr, le professeur est parfois décontenancé par telle erreur. Il ne comprend pas pourquoi, malgré sa correction, l'élève continue de faire cette erreur. Mais, même dans ces situations difficiles, il dispose d'explications (manque de motivation, d'attention, d'intelligence, etc. de la part de l'élève) qui lui rendent la situation intelligible.

Les EIAH se sont très tôt confrontés à l'analyse des erreurs, dès que les tuteurs intelligents ont tourné le dos à l'enseignement programmé et à sa conception béhavioriste de l'enseignement. En enseignement programmé, l'apprenant se voyait présenter une séquence de questions (souvent de type QCM). Celui-ci devait répondre à la première question. En fonction de sa réponse (juste ou fausse), il recevait un retour : c'est juste ou c'est faux. Si sa réponse était juste, il continuait. Si sa réponse était fausse, il pouvait essayer une autre réponse ou se voir présenter la bonne réponse. D'un tuteur intelligent, au contraire, il faut attendre qu'il puisse repérer les erreurs produites par l'apprenant, les diagnostiquer et proposer une réponse adaptée à cette erreur, ce qui est extrêmement difficile. Il faut décrire l'ensemble des états cognitifs possibles de l'ensemble des apprenants possibles à propos du domaine de connaissance concerné. Ceci implique de décrire l'ensemble des actions, des opérations, des réponses, des erreurs que l'ensemble des apprenants est capable de produire. Mais il faut aussi décrire la raison de ces actions, opérations, réponses, erreurs. Quand, après avoir fait ceci, un apprenant répond cela, qu'est-ce que ça veut dire ? Cette quantité énorme de travail, qui se compte en années pour plusieurs personnes, permet d'aboutir à un tuteur intelligent dans un domaine très limité et généralement scientifique. Bref, le rapport bénéfice/coût a peut-être eu raison des tuteurs intelligents comme produits grand public ou commerciaux.

La contribution du psychologue John Anderson aux tuteurs intelligents est importante. Il a conçu des tuteurs intelligents dans le domaine de l'enseignement de la géométrie et de la programmation informatique. Avec quelques collègues, il a écrit un article (Anderson, Boyle, Corbett et Lewis 1990) dans lequel il explique sa vision des tuteurs intelligents : à quoi ils servent et comment ils sont conçus. Un tuteur intelligent est, pour Anderson, une façon de mettre en œuvre une théorie psychologique de l'apprentissage et de la tester empiriquement. Si le tuteur intelligent fonctionne, s'il permet aux apprenants d'apprendre ce qui avait été prévu, il constitue une validation de la théorie. Si le tuteur intelligent ne produit pas l'apprentissage prévu, cela constitue une invalidation de la théorie. Il faut alors comprendre ce qui n'a pas fonctionné pour modifier la théorie en consé-

quence. Les tuteurs intelligents sont donc pour Anderson des outils pour tester sa théorie ACT-R. Pour les chercheurs en psychologie, cet article de 1990 est un rappel important : votre tâche est d'élaborer des théories les plus précises possibles et de les tester. Une théorie trop vague ne peut pas être mise en œuvre informatiquement. Une mauvaise théorie est invalidée par les tests empiriques.

Les EIAH ont ainsi contribué de façon décisive à mettre en exergue un problème fondamental de l'enseignement : la compréhension des erreurs des apprenants. Comprendre l'erreur humaine est un objectif fondamental des sciences cognitives et de ses applications (dans des domaines aussi divers que l'expertise, le jugement, le raisonnement, le travail, etc.). Dans le domaine de l'apprentissage humain, ce sont bien les EIAH qui ont posé le problème de l'erreur tel qu'il est conçu aujourd'hui.

Intégrer au sein de la conception informatique les travaux des sciences humaines et sociales : l'exemple de la conception pour les activités instrumentées

Dans beaucoup de situations, les EIAH sont des environnements informatiques utilisés par des acteurs (en l'occurrence, des apprenants) pour réaliser une tâche. La notion de tâche renvoie à ce que les acteurs doivent faire, par exemple résoudre un problème. La notion d'activité renvoie à ce que font les acteurs. Si l'on considère la conception d'un EIAH en tant qu'instrument support à une activité, l'objet à analyser n'est donc pas simplement l'environnement informatique en tant que tel, mais un cadre plus large comprenant également la tâche, les acteurs humains et leur activité.

Il est maintenant généralement considéré comme acquis que la notion d'activité est une notion centrale des travaux sur l'apprentissage. Or l'activité est fondamentalement émergente. Elle est liée à la tâche, mais également à d'autres dimensions (motivations effectives des acteurs, perception que développent les acteurs de la tâche et de l'environnement informatique proposé, etc.), qui évoluent dans le temps et sont liées par des relations systémiques. Si la tâche ou encore

les caractéristiques de l'environnement informatique peuvent être décrites formellement, l'activité qui émergera de la confrontation des acteurs avec cette tâche et cet environnement peut être difficile à prévoir dans ses détails.

Ainsi, les travaux sur l'activité instrumentée montrent que l'utilisation d'environnements informatiques par leurs utilisateurs est liée à des dimensions psychologiques et non simplement techniques. La vision (technocentrée) usuelle de la conception des environnements informatiques est que le concepteur de l'environnement informatique « instrumente » l'acteur en lui fournissant un environnement dont les fonctionnalités et caractéristiques ont été étudiées par rapport à la tâche à réaliser. La notion d'activité telle que définie dans la théorie de l'activité (Engeström *et al.* 1999) ou les travaux sur la genèse instrumentale (Rabardel et Pastré 2005), qui définissent la notion d'instrument comme médiateur entre le sujet et l'objet, amène au contraire à considérer que c'est l'acteur qui s'instrumente, en utilisant les moyens qui lui semblent les plus adaptés, sous la forme qui lui convient le mieux, et dans le contexte de son activité. Rabardel introduit ainsi notamment une distinction entre l'*artefact*, qui renvoie à la notion d'environnement informatique tel que défini et conçu par le concepteur sur la base de la façon dont il s'est imaginé son utilisation future, et l'*instrument*. L'artefact devient un instrument dans le cours d'une activité en ce qu'il permet à son utilisateur de réaliser les tâches qu'il considère : c'est l'utilisateur qui confère le statut d'instrument à l'artefact. L'instrument est construit à partir de l'artefact (l'objet technique), mais également de l'utilisateur qui lui assigne des fonctions dans le contexte de son activité, dans un double processus d'instrumentation (adaptation de l'utilisateur aux contraintes que constitue l'artefact) et d'instrumentalisation (processus par lequel l'utilisateur attribue des fonctions à l'artefact qui, éventuellement, diffèrent de celles prévues initialement par le concepteur). L'instrument doit donc être considéré comme une entité constituée d'une dimension technique (l'artefact), issue du travail du concepteur, et d'une dimension psychologique (les schèmes d'utilisation, propres à l'utilisateur et/ou institués socialement, mis en place par

l'utilisateur dans l'usage). Les travaux d'ergonomie sur cette dichotomie artefact/instrument montrent que l'artefact ne détermine pas l'instrument.

Ces questions à la fois informatiques et psychologiques relatives à la conception pour les activités instrumentées se posent de façon générale, et commencent à être abordées en tant que telles (Rabardel et Pastré 2005). Les EIAH constituent cependant un terrain particulier. En effet, l'environnement informatique y est à la fois une ressource pour l'activité de l'apprenant et un facteur d'impact sur l'activité, puisque l'EIAH embarque une intention didactique et que ses propriétés ne sont pas contingentes. Comme indiqué précédemment, un EIAH, par les données qu'il permet ou non de manipuler, par ses fonctionnalités et caractéristiques, etc., véhicule un point de vue épistémique, rend certaines choses possibles et d'autres pas, et ces éléments ont été étudiés en relation avec des objectifs pédagogiques précis. Il y a donc un enjeu important à la compréhension des mécanismes d'instrumentation liés aux EIAH et à l'intégration de cette dimension dans leur processus de conception, à la fois d'un point de vue théorique et pratique (conception itérative, conception continuée dans l'usage, etc.).

Développer des travaux spécifiques à partir
des situations créées par les EIAH :
l'exemple de l'évaluation des systèmes

L'évaluation des systèmes est un élément clé de leur conception. L'évaluation d'un EIAH se fait sur un versant informatique (le système fonctionne et répond à ses spécifications) et sur un versant apprentissage (l'apprentissage visé a lieu ou pas). C'est bien évidemment cette seconde évaluation qui est la plus importante.

La singularité de l'évaluation d'un EIAH est liée au hiatus qui existe généralement entre la situation à évaluer et les méthodologies d'évaluation.

Une première difficulté est de définir ce qui doit faire l'objet de l'évaluation. Paradoxalement, cette question n'est pas triviale. La

réalité des contextes de conception des EIAH est variable. Les choses sont claires pour un EIAH visant explicitement un apprentissage cible dans le contexte d'une définition précise de la notion d'apprentissage. D'autres situations sont plus difficiles à appréhender : travaux liés à un domaine pour lequel aucun modèle didactique n'est utilisable, soit parce qu'il n'en existe pas (par exemple en raison de la spécificité du domaine ou de la situation considérée), soit parce que la transposition de ces modèles n'est pas satisfaisante (notamment car, élaborés pour des situations d'apprentissage sans ordinateur, ils ne couvrent que partiellement le contexte particulier que crée l'environnement informatique), soit parce que les spécificités propres du contexte informatique amènent à refuser les attendus sous-jacents à cette métaphore de la migration et à considérer sous un jour nouveau la situation d'apprentissage créée ; travaux fondés sur un cadre théorique qui informe sur la conception de situations pédagogiques (par exemple, la conception de situations collaboratives fondées sur la théorie de l'Activité) sans que les enjeux et processus d'apprentissage individuels ne soient considérés à ce niveau ; travaux fondés sur le fait qu'une technologie permet de créer des situations d'interactions qui semblent intuitivement « intéressantes » sans que ceci ne soit défini plus précisément ; etc. Que l'objectif de l'EIAH soit un apprentissage en tant que tel (apprentissage d'un concept d'un domaine donné, ou apprentissage d'une compétence transverse à travers une activité dans un domaine) ou de seulement faciliter l'apprentissage (modification de l'appréhension d'un problème, éveil d'un intérêt, création de liens sociaux, etc.), il est difficile de déterminer si l'objectif a été atteint (la réponse n'est pas booléenne) et d'identifier les facteurs d'influence (caractéristiques individuelles des apprenants au niveau du domaine et/ou au niveau méta-cognitif, situation d'apprentissage, contexte socioculturel, aspects émotifs, etc.).

Une seconde difficulté est de disposer de méthodologies d'évaluation scientifique. À ce niveau, un problème majeur provient du fait que méthodes d'évaluation telles que développées en psychologie cognitive – fondées sur des protocoles expérimentaux (où l'on mesure l'effet d'une variable, ou facteur, sur une autre variable, au sein d'un dispositif qui a été conçu pour cela, notamment pour qu'il

permette de contrôler que d'autres variables n'interfèrent pas avec l'effet mesuré) – ne s'appliquent que difficilement aux situations dites « écologiques » (dans le sens où on ne les a pas créées pour les besoins de l'évaluation et où d'innombrables variables interagissent entre elles). Les difficultés sont multiples : imbrication des impacts possibles (apprentissage d'un concept d'un domaine donné, apprentissage d'une compétence transverse à travers une activité dans un domaine, modification de l'appréhension d'un problème, éveil d'un intérêt, création de liens sociaux, etc.) ; imbrication des facteurs d'influences (caractéristiques individuelles des apprenants au niveau du domaine et/ou au niveau métacognitif, situation d'apprentissage, contexte socioculturel, aspects émotionnels, etc.) ; prise en compte des aspects temporels (comme pour tout artefact, prise en compte des processus d'instrumentation et d'instrumentalisation ; caractère à long terme des processus d'apprentissage (Artigue 1990).

Une troisième difficulté est que, si l'on se place du point de vue de la conception des EIAH, il s'agit de mener une évaluation qui puisse (au moins en partie) être interprétée pour procéder à une réingénierie du système produit. Il faut donc pouvoir établir des relations de cause à effet entre les propriétés des objets construits (artefacts, situation d'apprentissage) et l'analyse.

L'évaluation des EIAH pose donc différentes questions cruciales. Un premier sujet de controverse est, par exemple, la question de savoir si l'évaluation de l'EIAH doit porter sur la différence en terme d'apprentissage entre une situation pédagogique informatisée et une situation non informatisée, ou bien sur la situation pédagogique informatisée en tant que telle. Un second sujet de controverse est la légitimité de « faire évaluer » un EIAH lorsque cette dimension de l'évaluation n'a pas été un élément pris en compte dès la conception par les constructeurs. Si cette situation pose clairement question dans des projets de recherche, il n'en demeure pas moins que beaucoup d'EIAH sont conçus ainsi, notamment lorsque poussés par la technologie (ou, plus positivement, fondés sur des innovations technologiques) ou les effets de mode. Quoi que l'on pense de ce processus, ces systèmes existent, sont utilisés, et ont donc des conséquences (ne serait-ce que celle d'être utilisés plutôt que d'autres) et éventuelle-

ment des impacts (sur les situations pédagogiques proposées, sur les apprenants). Il est nécessaire de pouvoir les évaluer, ne serait-ce que pour informer les décideurs. Par ailleurs, le paradigme de l'approche comparative avec validation externe par analyse groupes expérimentaux/groupes témoins ne s'applique pas facilement à des situations ouvertes créées par des EIAH, par exemple les projets collaboratifs de longue durée, où le contrôle des variables n'est pas possible et où les phénomènes liés à l'émergence des usages (processus liés à l'activité instrumentée, représentations et évolutions des représentations des acteurs, évolution des motivations des acteurs, dynamique de groupe, etc.) jouent un rôle important. La question sous-jacente est, ici encore, celle de l'élaboration de méthodologies d'analyse d'impact et d'usage pouvant être appliquées à ce type de situation. L'EIAH pose ici aux sciences cognitives une question difficile (et, dans certains cas, discutable), mais dont l'enjeu est important.

Même si l'on peut attendre des progrès importants dans ce domaine, nous nous risquons à proposer quelques réponses temporaires. Il nous semble qu'on peut distinguer l'évaluation d'un EIAH dont le but est d'enseigner une connaissance définie à des apprenants définis dans un contexte défini, de celle d'un EIAH comme objet de recherche.

Pour la première catégorie, les EIAH « finalisés », il semble possible de distinguer l'évaluation de l'efficacité d'un EIAH de l'évaluation diagnostic.

– L'évaluation de l'efficacité constate, elle n'explique pas. Elle a tout intérêt à utiliser une méthode de type expérimental : prescrire une tâche pour faire apprendre une connaissance (ou plusieurs) par le biais de l'EIAH à un groupe d'apprenants, et faire apprendre la même chose sans l'EIAH au second groupe ; présenter au second groupe les mêmes contenus, le même enseignant, la même démarche, le même temps, le même environnement, la même consigne, etc. ; prendre le temps de laisser les apprenants se familiariser avec l'EIAH ; répartir des apprenants dans les deux groupes (avec et sans EIAH) de façon aléatoire.

– L'évaluation diagnostique, ou ergonomique, a pour but d'indiquer ce qu'il faut améliorer dans l'EIAH (Tricot *et al.* 2003). Elle est

fondée sur la multiplication des moyens méthodologiques (observation, entretien, expérimentation). Elle prend en compte l'évaluation de l'efficacité, de l'utilisabilité (prise en main de l'EIAH, facilité à le manipuler) et de l'acceptabilité (compatibilité avec l'organisation de la classe, du temps, des outils disponibles, des habitudes de travail, des valeurs, des motivations). Elle fournit des hypothèses sur les points à améliorer et sur les relations causales entre ces points. Un exemple de résultat obtenu peut être : si l'on veut améliorer l'efficacité de l'EIAH, alors il faut d'abord améliorer la compatibilité entre le temps d'utilisation de l'EIAH et le temps de la classe.

Pour la seconde catégorie, les EIAH « de recherche » sur l'enseignement ou l'apprentissage, l'évaluation dépend du programme de recherche qui a fondé la conception de l'EIAH. Imaginons par exemple que l'on a développé un EIAH dans le cadre d'une recherche sur l'enseignement des mathématiques où l'on souhaite présenter aux apprenants des problèmes avec leur solution. On fait cela car on a une théorie didactique qui dit que (a) l'enjeu de la résolution d'un problème est de comprendre la solution et non pas de trouver la solution et (b) les apprenants qui ne trouvent pas la solution ne peuvent pas la comprendre si on ne la leur présente pas. Il suffit alors de construire deux versions de l'EIAH, l'une où les problèmes sont donnés avec leur solution, l'autre sans, à deux groupes d'apprenants, les groupes ayant été constitués de façon aléatoire. Le résultat obtenu répondra à la question de recherche, et uniquement à elle (en l'occurrence elle répliquera un résultat obtenu de nombreuses fois). Dans l'évaluation des EIAH « de recherche », la question de recherche doit donc permettre de formuler des hypothèses sur l'effet de telle variable sur tel apprentissage, de sorte que l'EIAH lui-même devienne le dispositif expérimental, permettant de comparer l'EIAH dans une version A avec une version B, A et B représentant des valeurs différentes de la variable sur laquelle on a une hypothèse.

Comme nous l'indiquons au début de cette partie, ces questions d'évaluation sont différentes des questions d'évaluation « informatique » des EIAH, soit de vérifier que le système fonctionne et répond à ses spécifications.

Conclusions

Nous avons présenté dans ce chapitre différents types de travaux liés à la façon dont l'informatique aborde, à travers la conception des EIAH, un problème qui relève naturellement de la cognition humaine : l'apprentissage. Ces exemples, qui sont loin d'être limitatifs, illustrent que l'EIAH, lorsque abordé comme un champ scientifique pluridisciplinaire, pose des questions spécifiques qui interrogent à la fois l'informatique et les sciences cognitives s'intéressant à l'apprentissage et à l'enseignement.

L'une des questions méthodologiques à long terme est d'étudier si ces problèmes spécifiques peuvent être abordés par des approches pluridisciplinaires (enrichissement de la réflexion disciplinaire par d'autres regards) ou interdisciplinaires (transfert de méthodes d'une discipline à une autre), ou s'ils nécessitent à travers une approche transdisciplinaire l'intégration de différentes approches scientifiques existantes pour construire un cadre théorique et des notions propres aux EIAH. Un autre défi relève de la capacité des acteurs du domaine (chercheurs, enseignants, concepteurs, décideurs) à distinguer ce qui relève de l'ingénierie de ce qui relève de la recherche, pour les questions de conception comme pour celles d'évaluation,

L'EIAH constitue un terrain privilégié de rencontre entre l'informatique et les autres sciences cognitives. Paradoxalement, si l'on analyse le domaine à l'aune des enjeux éducatifs ou des investissements financiers, relativement peu de travaux sont menés sur ce point précis. Comme souvent en pareil cas, la poussée technologique amène à des points de focalisation locaux qui sont trop rapidement remplacés, avant que des connaissances aient pu être élaborées et vérifiées. Ainsi, la plupart des systèmes effectivement utilisés (voir par exemple les formations à distance développées sous la forme de sites Web ou la plupart des logiciels éducatifs) empruntent très peu aux travaux scientifiques du domaine. Démontrer la valeur ajoutée des travaux fondés sur des résultats scientifiques (valeur ajoutée en terme d'apprentissage, et par suite en terme d'investissement) est l'un des enjeux, et des difficultés, du domaine.

Références bibliographiques:

- Anderson J. R., Boyle C. F., Corbett A. T., Lewis, M. 1990. « Cognitive modeling and intelligent tutoring ». *Artificial Intelligence*, 42: 7-49.
- Artigue M. 1990. *Ingénierie didactique. Recherches en didactique des mathématiques*. Volume 9 (3): 281-308.
- Brousseau G. 1998. *Théorie des situations didactiques*. La Pensée Sauvage éditions.
- Bruillard E.. 1997. *Les machines à enseigner*. Hermès.
- Cerpa N., Chandler P., Sweller J. 1996. « Some conditions under which integrated computer-based training software can facilitate learning ». *Journal of Educational Computing Research*, 15: 345-367.
- Chandler P., Sweller J. 1991. « Cognitive load theory and the format of instruction ». *Cognition & Instruction*, 8: 293-332.
- , 1996. « Cognitive load while learning to use a computer program ». *Applied Cognitive Psychology*, 10: 151-170.
- Chanquoy L., Tricot A., Sweller J. 2007. *La charge cognitive*. Armand Colin.
- Clancey W. J. 1997. *Situated Cognition: On Human Knowledge and Computer Representations*. Cambridge University Press.
- Clark R., Nguyen F., Sweller J. 2006. *Efficiency in Learning: Evidence-Based Guidelines to Manage Cognitive Load*. Pfeiffer.
- Dillembourg P., Baker M., Blaye A., O'Malley C. 1996. « The evolution of research on collaborative learning », in E. Spada, P. Reiman (dir.), *Learning in humans and machine: towards an interdisciplinary learning science*, Oxford Elsevier: 189-211.
- Engeström Y., Miettinen R., Punamäki R. J. 1999. *Perspectives on activity theory*. Cambridge University Press.
- Engeström Y. 1987. *Learning by Expanding. An activity-theoretical approach to development research*. Helsinki, Orienta-konsultit.
- Grandbastien M., Labat J.-M. (dir.). 2006. *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain. Traité IC2 Information Commande Communication*. Paris, Hermès: 47-68.
- Hollan J., Hutchins E., Kirsh D. 2000. « Distributed cognition: Toward a new foundation for human-computer interaction research ». *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 7: 174-196.

- IMS-LD. 2003. *IMS Global Learning Consortium. IMS Learning Design v1.0 Final Specification*. Retrieved May 29th 2006, from <http://www.imsglobal.org/learningdesign/index.cfm>.
- Jacobson M. J., Archodidou A. 2000. «The design of hypermedia tools for learning: Fostering conceptual change and transfer of complex scientific knowledge». *The Journal of the Learning Sciences*, 9: 149-199.
- Jacobson M. J., Spiro R. J. 1995. «Hypertext learning environments, cognitive flexibility, and the transfer of complex knowledge: an empirical investigation». *Journal of Educational Computing Research*, 12: 301-333.
- Jacobson M. J., Maouri C., Mishra P., Kolar C. 1996. «Learning with hypertext learning environments: Theory, design, and research». *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, 5: 239-281.
- Jacobson M. J., Sugimoto A., Archodidou A. 1996. «Evolution, hypermedia learning environments, and conceptual change: A preliminary report», in D. C. Edelson, E. A. Domeshek (dir.), *Proceedings of International Conference on the Learning Sciences*, Association for the Advancement of Computing in Education: 151-158.
- Jonassen D. H. 1989. *Hypertext/Hypermedia*. Educational Technology Publications.
- Kalyuga S., Chandler P., Sweller J. 1999. «Managing split-attention and redundancy in multimedia instruction». *Applied Cognitive Psychology*, 13: 351-371.
- Landauer T., Dumais S. 1997. «A solution to Plato's problem: Latent semantic analysis». *Psychological Review*, 104: 211-240.
- Le Bohec O., Jamet E. 2005. «Les effets de redondance dans l'apprentissage à partir de documents multimédia». *Le Travail Humain*, 68: 97-124.
- Luengo V., Vadcard L., Balacheff N. 2006. «Les EIAH à la lumière de la didactique», in M. Grandbastien, J.M. Labat (dir.), *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain, Traité IC2 Information Commande Communication, Paris, Hermès*: 47-68.
- Mayer R. 1997. «Multimedia learning: Are we asking the right questions?». *Educational Psychologist*, 32(1): 1-19.
- Mayer R. 2001. *Multimedia learning*. Cambridge University Press.
- Mayer R., Bove W., Bryman A., Mars R., Tapangco L. 1996. «When less is more: Meaningful learning from visual and verbal summaries of science textbook lessons». *Journal of Educational Psychology*, 88: 64-73.

- Mayer R., Heiser J., Lonn S. 2001. « Cognitive constraints on multimedia learning: When presenting more material results in less understanding ». *Journal of Educational Psychology*, 93: 187-198.
- Mellet d'Huart D., Michel G. 2006. « Réalité virtuelle et apprentissage », in M. Grandbastien, J. M. Labat (dir.), *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain, Traité IC2 Information Commande Communication*, Paris, Hermès: 249-268.
- Moreno R., Mayer R. E. 1999. « Cognitive Principles of Multimedia Learning: The Role of Modality and Contiguity ». *Journal of Educational Psychology*, 91(2): 358-368.
- Niederhauser D. S., Reynolds R. E., Salmen D. J., Skolmoski P. 2000. « The influence of cognitive load on learning from hypertext ». *Journal of Educational Computing Research*, 23(3): 237-255.
- Hofman R., Van Oostendor H. 1999. « Cognitive effects of a structural overview in a hypertext ». *British Journal of Educational Technology*, 30: 129-141.
- Penney C. G. 1989. « Modality effects and the structure of short term verbal memory ». *Memory and Cognition*, 17: 398-422.
- Rabardel P., Pastré P. 2005. *Concevoir pour les genèses instrumentales. Modèles du sujet pour la conception, dialectiques activité développement*. Octarès éditions.
- Spiro R. J., Jehng J.-C. 1990. « Cognitive flexibility and hypertext: Theory and technology for the non-linear and multidimensional traversal of complex subject matter », in D. Nix, R. J. Spiro (dir.), *Cognition, Education and Multimedia: Exploring Ideas in High Technology*, Erlbaum: 163-205.
- Sweller J. 1999. *Instructional Design in Technical Areas*. Melbourne, ACER Press.
- Tchounikine P. et al. 2004. *Platon-1 : quelques dimensions pour l'analyse des travaux de recherche en conception d'EIAH*. Rapport de l'action spécifique « Fondements théoriques et méthodologiques de la conception des EIAH », département STIC du CNRS et <http://ArchivesEiah.org>.
- Tchounikine P. 2002. « Pour une ingénierie des Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain », *Revue I3*, 2(1): 59-95 et <http://ArchivesEiah.org>.
- Tricot A., Plégat-Soutjis F., Camps J.-F., Amiel A., Lutz G., Morcillo A. 2003. « Utilité, utilisabilité, acceptabilité: interpréter les relations entre trois

dimensions de l'évaluation des EIAH», in C. Desmoulins, P. Marquet, D. Bouhineau (dir.), *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain*, ATIEF – INRP: 391-402.

Wickens C. D. 1989. «Resource management and time sharing», in J. I. Elkind, S. K. Card, J. Hochberg, B. M. Huey (dir.), *Human Performance Models for Computer-Aided Engineering*, National Academy Press: 180-202.

Wenger E. 1987. *Artificial Intelligence and Tutoring Systems*, Los Altos (CA), Morgan Kaufmann.