



HAL
open science

Pour une ingénierie des Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain

Pierre Tchounikine

► **To cite this version:**

Pierre Tchounikine. Pour une ingénierie des Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain. Revue I3 - Information Interaction Intelligence, 2002, 2 (1), pp.59-95. hal-00002140

HAL Id: hal-00002140

<https://hal.science/hal-00002140>

Submitted on 21 Jun 2004

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Tchounikine P., 2002,
« Pour une ingénierie des Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain »,
Revue I3 information – interaction – intelligence 2(1),
www.revue-i3.org.

Pour une ingénierie des EIAH 1

Pour une ingénierie des Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain

Pierre Tchounikine

LIUM - Université du Mans
Avenue Laennec - 72085 Le Mans cedex 9 - France
Pierre.Tchounikine@lium.univ-lemans.fr

Résumé. Nous proposons dans cet article une réflexion sur la notion d'ingénierie des EIAH (Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain). Nous posons tout d'abord une définition de l'ingénierie des EIAH : travaux visant à définir des éléments de méthodes et de techniques reproductibles et/ou réutilisables facilitant la mise en place (conception – réalisation – expérimentation – évaluation - diffusion) d'environnements de formation ou d'apprentissage (dans leur articulation avec les dispositifs informatiques d'aujourd'hui) en permettant de dépasser le traitement *ad hoc* des problèmes. Après avoir mis en évidence l'intérêt de travailler sur l'ingénierie des EIAH en prenant comme exemple d'impact positif de constitution d'une ingénierie l'évolution des travaux en ingénierie des connaissances, nous mettons en évidence les problèmes que pose la constitution d'une ingénierie, c'est-à-dire, fondamentalement, le problème de l'articulation entre ingénierie et fondements théoriques. Nous proposons alors des pistes pour progresser vers une ingénierie des EIAH.

Abstract. We propose in this paper an analysis of the concept of computer-supported educational systems engineering. We first propose a definition of engineering in this context: works that aim at providing reusable and/or reproducible methods and techniques that facilitate the construction and deployment (conception – design – experimentation – evaluation –

dissemination) of computer-supported educational systems (in the context of present computer science) that allow to go beyond an *ad hoc* approach of the solving of problems. Using the knowledge engineering example, we highlight what are the interest of working on engineering. Then, we put into evidence that the fundamental problem we have to face is that of the articulation between engineering and theoretical basements. Finally, we discuss how we can go forward towards computer-supported educational systems engineering.

Note préliminaire. *Ce texte présente un point de vue sur la question de l'ingénierie des Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain¹. L'objet n'est pas de présenter une méthode d'ingénierie ni même une approche générale, mais d'ouvrir un chantier. Je propose dans ce texte une définition, une analyse, des propositions. L'idée principale est : considérer la question de l'ingénierie des EIAH est un travail utile et nécessaire en tant que tel (par sa finalité, i.e. faciliter la construction de systèmes), mais également et surtout car c'est un vecteur d'avancement de la recherche sur les EIAH. En effet, travailler sur l'ingénierie nécessite de mieux définir les places et rôles des travaux théoriques liés aux EIAH dans le processus de conception des systèmes et, probablement, de les faire évoluer. La réflexion proposée ici se veut générale. Si elle est fondée sur une forme de diagnostic de la nature et de l'état des travaux actuels sur la conception des EIAH, cette analyse ne prétend pas à l'exhaustivité (ni sur les travaux référencés, il ne s'agit pas ici de proposer un panorama général des travaux d'EIAH, ni sur le fait que tous les travaux existants relèvent de ce diagnostic), mais à un caractère suffisant de généralité (i.e. de couverture du domaine) pour être pertinente. La réflexion présentée ici fait suite aux exposés présentés lors de la conférence « Ingénierie des connaissances 2001 » et de l'atelier « EIAH » qui ont eu lieu dans le cadre de la plate-forme AFIA de Grenoble en juin 2001.*

¹ Je tiens à remercier Nicolas Balacheff (laboratoire Leibnitz, Imag) qui, par ses commentaires sur les premières versions de ce texte, m'a conduit à reconceptualiser certaines des idées proposées ici.

1. INTRODUCTION

Tous les systèmes informatiques ont été, au départ, des produits originaux (au sens de « unique »), conçus par tâtonnements. Ceux qui ont fait la preuve de leur intérêt ont ensuite fait l'objet d'études visant à systématiser leur production. Construire un programme était un art, c'est maintenant une technique, encadrée par des méthodes éprouvées de Génie Logiciel. Ceci est vrai de produits informatiques standards (système d'information, base de données, etc.), mais également de produits informatiques fortement liés aux connaissances humaines, comme les systèmes à base de connaissances : dans les années 80, construire un système à base de connaissances était un travail artisanal (ou, selon un point de vue moins positif, du « bricolage »), mais on parle aujourd'hui d'ingénierie des connaissances car il existe des méthodes bien établies qui permettent d'encadrer le processus de construction de ces systèmes. Ce type d'ingénierie ne vise pas à proposer des processus normés de conception des systèmes, mais des cadres méthodologiques et technologiques structurants (il existe différents cadres concurrents, de spectres d'application différents ou identiques).

L'objet de cet article est d'explorer la problématique de l'ingénierie des EIAH (Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain).

Un EIAH² est un environnement informatique conçu dans le but de favoriser l'apprentissage humain, c'est-à-dire la construction de connaissances chez un apprenant. La conception d'un EIAH est un processus complexe, profondément pluridisciplinaire. Poser la question de l'ingénierie, ce n'est pas chercher à réduire ce processus à un ensemble de « recettes » ni réfuter la nécessaire inventivité des auteurs, mais étudier la possibilité de proposer (ou ce qui fait que l'on ne peut pas proposer) des méthodes, des techniques et/ou des outils permettant d'encadrer le processus de conception des EIAH. Cette question, comme on tentera de le montrer dans cet article, renvoie à la question des bases théoriques utilisées dans les travaux en EIAH. Travailler sur l'ingénierie des EIAH apporte *a minima* des éclairages et des questionnements qui contribuent à une meilleure perception et compréhension du domaine. Nous pensons que c'est, de façon plus fondamentale, un vecteur

² Nous utiliserons dans cet article le terme EIAH pour dénoter un système (un « EIAH ») mais également, par abus de langage (et lorsque cela n'est pas ambigu), le domaine de recherche correspondant (l'« EIAH »).

d'avancement de la recherche, même si, naturellement, la recherche ne saurait être réduite à un travail sur l'ingénierie.

Cet article est structuré de la façon suivante. Dans la section 2, nous précisons rapidement la notion d'EIAH. Dans la section 3, nous proposons une définition générale du concept « Ingénierie des EIAH », puis une argumentation sur l'intérêt de se poser le problème de l'ingénierie, en prenant, comme exemple d'impact positif de constitution d'une ingénierie, l'évolution des travaux en ingénierie des connaissances. Nous étudions alors en section 4 le lien entre la mise en place d'une ingénierie et les savoirs de référence, en dissociant les travaux pour lesquels existe un cadre théorique couvrant les besoins de la conception (par exemple la mise en place de curriculum, qui peut être fondée sur les théories du design pédagogique) et les travaux pour lesquels la référence à un cadre théorique est beaucoup plus complexe (par exemple les travaux qui se focalisent sur les activités d'apprentissage, comme les tuteurs intelligents ou les micromondes). Dans la section 5, nous mettons en évidence les problèmes que pose la constitution d'une ingénierie pour ce type de système, c'est-à-dire, fondamentalement, le problème de l'articulation avec les bases théoriques de conception. Nous proposons alors en section 6 des pistes pour progresser vers une ingénierie des EIAH.

2. LA NOTION D'ENVIRONNEMENT INFORMATIQUE POUR L'APPRENTISSAGE HUMAIN (EIAH)

Un EIAH est un environnement informatique conçu dans le but de favoriser l'apprentissage humain, c'est-à-dire la construction de connaissances chez un apprenant.

Dans sa perspective diachronique, le sigle EIAH renvoie à un type particulier de système³. Nous l'utiliserons ici de façon littérale, pour désigner tout environnement informatique conçu pour favoriser un apprentissage. Ce type d'environnement intègre des agents humains (élève, enseignant) et

³ D'un point de vue diachronique, le sigle EIAH dénote une évolution des idées (de l'enseignement programmé à l'EAO - Enseignement Assisté par Ordinateur -, puis à l'EIAO dans sa première acception - Enseignement Intelligemment Assisté par Ordinateur - puis seconde acception - Environnements Interactifs Assistés par Ordinateur - et, actuellement, l'EIAH) ; pour une analyse de l'évolution du domaine, Cf. par exemple [9], [36], [14].

Pour une ingénierie des EIAH 5

artificiels (i.e., informatiques) et leur offre des conditions d'interactions, localement ou à travers les réseaux informatiques, ainsi que des conditions d'accès à des ressources formatives (humaines et/ou médiatisées), ici encore locales ou distribuées [36]. La machine peut alors avoir différents rôles (non mutuellement exclusifs) : outil de présentation de l'information (typiquement, un hyper-média), outil de traitement de l'information (typiquement, un système à base de connaissances résolvant les exercices avec l'élève) ou outil de communication entre l'homme et la machine ou entre les hommes à travers les machines⁴.

Il n'est pas possible de comprendre la difficulté intrinsèque de la conception d'un EIAH si l'on ne cerne pas correctement l'objet du discours. Nous précisons donc ci-dessous différents points.

Tout d'abord, il peut toujours y avoir un apprentissage incident dans n'importe quelle situation et sur la base de n'importe quelle information, et l'on peut attribuer une vertu pédagogique à à peu près n'importe quoi. Nous nous intéressons ici aux environnements informatiques conçus *spécifiquement* pour une utilisation dans un contexte éducatif, et pour lesquels les spécificités de l'usage éducatif sont donc explicitement prises en compte lors de la conception. Les travaux où l'on ne prend absolument pas en compte les problèmes pédagogiques (par exemple utiliser la fonction « sauver-au-format-HTML » pour « mettre des cours sur le Web » ou proposer un résolveur de problème et indiquer à l'apprenant qu'il faut « faire pareil ») sont hors du propos de cette réflexion. D'autres travaux sont centrés sur les aspects pédagogiques mais s'intéressent uniquement à l'usage pour l'apprentissage de systèmes informatiques existants par ailleurs, par exemple l'utilisation d'un

⁴ Dans la vision des EIAH héritée des EIAO et notamment des tuteurs intelligents, le système informatique « embarque » les connaissances du domaine considéré. La vision naïve d'un « transfert » des connaissances contenues dans le système vers l'élève est cependant maintenant largement abandonnée, et l'on considère aujourd'hui que ce sont les interactions entre l'apprenant et le système qui sont au cœur du processus d'apprentissage. La connaissance émerge donc des interactions entre l'apprenant et son environnement. La généralisation des réseaux informatiques amène maintenant la création de systèmes conçus pour favoriser les interactions entre apprenants, sans que le système n'« embarque » nécessairement de connaissances sur l'objet de l'apprentissage. Un dispositif informatique qui a un impact significatif sur la structuration de l'interaction entre deux acteurs (qui, par exemple, amène deux élèves à structurer leur argumentation afin de favoriser et apprendre la collaboration) peut être considéré, à notre sens, comme relevant des EIAH, bien que le système n'embarque pas de connaissances du domaine d'apprentissage. Ce point n'est cependant pas partagé par tous.

tableur comme un outil de simulation ou d'un collecticiel comme environnement d'apprentissage collaboratif. On peut alors considérer qu'il y a EIAH au sens où l'on considère un système élargi (l'artefact informatique, la situation pédagogique créée, les différents acteurs et leurs rôles), mais il n'y a pas conception d'un artefact pour la situation. Ceci encore est donc hors de la réflexion menée ici, où l'on s'intéresse au problème spécifique posé par la prise en compte de l'objectif d'apprentissage au niveau de la conception de l'artefact informatique.

Par ailleurs, prise littéralement, la notion d'EIAH couvre une diversité de systèmes. Il est possible de définir des typologies selon une multitude d'axes : la notion au cœur du propos (formation, enseignement, apprentissage - toutes choses liées mais différentes), le caractère spécifique à un domaine, à une forme d'apprentissage, à une approche pédagogique, à un mode d'interaction, à un type d'architecture informatique, etc. Nous tenterons ici de garder un niveau de discours assez général, sans entrer dans les différenciations non strictement nécessaires à notre propos. En section 4 nous introduirons une dissociation entre les systèmes « orientés pédagogie » (en prenant l'exemple des travaux sur la Formation Ouverte ou à Distance) et les systèmes « orientés performance » (tuteurs intelligents, micromondes). Cette dissociation ne sera cependant utilisée ici que pour introduire notre axe d'analyse du problème de l'ingénierie des EIAH, à savoir le rapport aux théories de référence.

Il est également important de garder à l'esprit que l'on s'intéresse ici à des environnements *informatiques*. Il ne s'agit donc pas de considérer l'ensemble des problématiques en éducation, ni l'enseignement ou l'apprentissage en tant que tels, ni « ce qu'il serait souhaitable » de pouvoir faire hors de toute réflexion technologique, mais les environnements que l'alliance des connaissances en éducation et en technologie permet de construire. Dans ce contexte, les références et comparaisons avec les pratiques des enseignants sont utiles mais ne sont pas des modèles (nous sommes dans un monde nouveau, il s'y passe des choses nouvelles), de même que les avancées technologiques sont des sources d'idées intéressantes mais non prescriptives : il s'agit d'un milieu écotone, qu'il faut étudier en tant que tel [39].

Enfin, il est fondamental de comprendre que la recherche en EIAH est une recherche pluridisciplinaire. Lorsque nous travaillons sur la conception d'un EIAH, nous ne sommes pas sur un terrain où les sciences humaines (didactiques, sciences de l'éducation, etc.) permettraient de savoir ce qui est,

puis de spécifier l'artefact informatique qu'il s'agirait ensuite pour l'informaticien de réaliser. Cette vision, tout comme celle de l'informaticien concevant un système fondé sur une nouvelle technologie puis cherchant comment l'utiliser en éducation (i.e., ayant une solution et cherchant un problème), peut produire, très ponctuellement, quelques résultats. Mais elle ne saurait fonder la recherche en EIAH, qui doit prendre en compte, fondamentalement, ce que constitue l'apprentissage avec une machine et comment concevoir et utiliser cette machine pour favoriser l'apprentissage. La recherche en sciences humaines ne s'arrête donc pas à la spécification d'un outil (pour reprendre lors de son évaluation) pas plus que la recherche en informatique ne commence lorsque les spécifications du système ont été identifiées. Il ne s'agit pas de considérer l'éducation puis la technologie ou la technologie puis l'éducation, mais la recherche en EIAH [39].

3. POSER LE PROBLEME DE L'INGENIERIE

3.1. Définition

Nous proposons d'appeler « Ingénierie des EIAH » les travaux visant à définir des concepts, méthodes et techniques reproductibles et /ou réutilisables facilitant la mise en place (conception – réalisation – expérimentation – évaluation – diffusion) d'environnements de formation ou d'apprentissage (dans leur articulation avec les dispositifs informatiques d'aujourd'hui) en permettant de dépasser le traitement *ad hoc* des problèmes.

Dépasser le traitement *ad hoc* des problèmes signifie que, pour faire face à la construction d'un EIAH répondant à des contraintes identifiées (domaine, niveau, contexte, objectif pédagogique, etc.), l'équipe de conception pourra faire appel à un ensemble de connaissances (et éventuellement d'outils) capitalisés (« éléments de méthodes et de techniques ») qui guideront le processus de conception, de réalisation, d'évaluation et d'expérimentation du système. Ceci sous-entend que cet ensemble de connaissances aura été capitalisé (identifié, décrit) car reconnu comme utile dans un spectre d'application donné.

Une mauvaise compréhension de la notion d'« ingénierie des EIAH » serait de la confondre avec un point de vue technologique, en l'occurrence

informatique. Chaque avancée technologique de l'informatique se révélant pertinente pour les EIAH (les hypertextes, les systèmes à base de connaissances, les TIC aujourd'hui) a conduit à des travaux dont le principe est de construire une « coquille vide » correspondant à cette nouvelle technologie et à proposer cette coquille comme un outil permettant de « générer » des EIAH. Cette vision technocentrée, fondée sur les possibilités technologiques plus sur les spécificités de l'apprentissage avec des machines, a conduit à la construction de dispositifs génériques (proposés par les promoteurs de la technologie concernée plus que par les spécialistes de l'EIAH) mais à peu de systèmes effectivement utilisés. Les travaux de recherche ayant conduit à des systèmes dont la valeur pédagogique est clairement reconnue et qui sont effectivement utilisés ou en passe de l'être (on ne se risquera pas ici à proposer une liste de systèmes qui ne pourrait être exhaustive, mais on peut, pour citer quelques travaux Français, penser à Aplusix, Cabrigéomètre ou Roboteach) n'ont pas été conçus à partir de la technologie, mais par une réflexion mêlant l'étude des problématiques de l'apprentissage et des possibilités informatiques. Il s'agit donc bien ici de s'intéresser au processus de conception des EIAH dans son acception profondément pluridisciplinaire (cf. section 2). Il faut alors naviguer entre différents écueils. Un premier est de tomber dans le technocentrisme, ainsi qu'indiqué ci-dessus. Un second est de tomber dans une posture visant à écarter tout travail d'ingénierie au prétexte que chaque situation est unique, ou encore que la machine ne peut pas encore ou ne pourra jamais gérer certaines choses. Enfin, il est également possible de considérer que notre compréhension des processus de l'apprentissage en général et des phénomènes liés aux EIAH en particulier n'est pas (encore) suffisante pour engager ce type de réflexion. Sans rejeter ce dernier argument, notre position est qu'il convient cependant d'engager cette réflexion sur l'ingénierie, car elle est utile à l'avancement de la recherche.

3.2 De l'intérêt de se poser le problème de l'ingénierie

Une ingénierie des EIAH telle que définie ci-dessus a-t-elle un sens ? Est-elle possible ? Est-elle souhaitable ? Il est possible de répondre à ces questions en adoptant une posture de principe. Au delà des réponses individuelles que chacun peut apporter – et que ces réponses soient positives ou négatives –, il est utile d'aller plus loin que la posture de principe et d'examiner ce qu'avancer vers ce type d'ingénierie implique.

Pour une ingénierie des EIAH 9

Tout d'abord, travailler sur l'ingénierie présente un certain nombre d'intérêts « de surface » :

- Améliorer la définition et l'échange de résultats. Par nature, les travaux d'EIAH sont généralement menés par des équipes (plus ou moins) pluridisciplinaires structurées autour d'un projet (la construction d'un EIAH particulier). L'ingénierie nécessite de travailler également « en largeur » (sur des ensembles de systèmes, sur des principes de conception) et non uniquement « en profondeur » sur un système donné, à considérer (et donc à définir) des schémas généraux de description et de spécification de systèmes développés par des entités (laboratoires, entreprises) différentes. Identifier l'ingénierie comme un aspect central de la recherche en EIAH ne signifie pas abandonner le travail « en profondeur », qui est indispensable, mais considérer également des dimensions trop souvent ignorées comme l'abstraction, la généralisation, la capitalisation, la réutilisation ou encore, *a minima*, le positionnement des résultats et propositions (spectre de validité, conditions de réutilisation, etc.).
- Proposer un cadre spécifique pour certains travaux. Ainsi, l'évaluation et l'expérimentation, qui sont des problématiques au cœur de la recherche en EIAH, sont abordées de front dans certains projets qui bénéficient d'un « contexte favorable », i.e. soit de l'existence d'études préalables, soit de l'apport de spécialistes de la question impliqués dans le projet. Elles sont en revanche peu ou mal traitées dans nombre de projets qui ne bénéficient pas d'un tel contexte. A ce niveau, l'un des problèmes de base est que les travaux existants sont décrits soit de façon très générale et peu opérationnelle, soit de façon intimement liée à un projet (ou domaine) particulier et peu réutilisables. Travailler sur l'ingénierie nécessite que ces problématiques soient étudiées en tant que telles, mais également en lien direct avec les processus de conception, qu'il s'agit d'éprouver. Aux travaux d'expérimentation et d'évaluation d'EIAH particuliers doivent s'ajouter des travaux d'expérimentation et d'évaluation des EIAH, de proposition de cadres généraux et de processus opérationnels, y compris pour des situations non idéales, même si bien évidemment les résultats sont alors d'une autre nature et ont une portée qu'il conviendra de préciser.
- Modifier l'économie de la recherche. Dans le cadre de la recherche en EIAH, un écueil central est que le travail réalisé doit être reconnu comme un travail de recherche par ses différents acteurs. Or la recherche en EIAH implique nécessairement des chercheurs de différentes disciplines. Cet

écueil est la cause de l'échec de nombreux projets : un chercheur en informatique n'a pas à concevoir et développer un produit non innovant d'un point de vue informatique, un chercheur en sciences de l'éducation (resp. en pédagogie, en psychologie cognitive, en didactique, en linguistique ou en communication) n'a pas à concevoir un modèle au prétexte que cela définit des spécifications qui justifient un travail de recherche en informatique. La constitution d'une ingénierie des EIAH est un objet de recherche pour l'ensemble des acteurs, qui ne recouvre aucun des champs disciplinaires : c'est un champ transdisciplinaire. En ce sens, l'ingénierie peut favoriser la fédération des recherches, en permettant de dépasser les fonctionnements stériles de type « prestation de service », par exemple le schéma éculé de l'informaticien sollicitant des spécifications (intéressantes « pour lui ») auprès de spécialistes de didactiques ou de sciences de l'éducation et qui, en désespoir de cause (cause perdue d'avance, car elle n'a pas de sens !), finit par proposer une solution à un problème qui n'existe pas. Il est rare de trouver des configurations équipe / projet suffisamment riches pour présenter des objets de recherche intéressant les différentes disciplines mises en jeu. Travailler spécifiquement sur l'ingénierie peut contribuer à modifier les relations entre les différentes disciplines nécessaires et, plus généralement, peut contribuer à modifier une économie de la recherche en EIAH qui est, pour reprendre une expression de N. Balacheff, désastreuse.

Plus fondamentalement, se poser la question de l'ingénierie amène à se poser des questions de fond, directement liées à l'essence même du domaine. Ainsi, examiner l'hypothèse de la constitution d'une ingénierie oblige à identifier ce qui pourrait faire l'objet d'une certaine capitalisation ; à analyser l'état de l'art du domaine d'un point de vue particulier, celui qui consiste à identifier ce qui fait l'objet d'un consensus suffisant pour être utilisé comme une base de travail et ce qui reste encore trop incompris, ce que l'on sait faire et ce que l'on sait ne pas savoir faire ; à décrire les processus et composants à un niveau abstrait ; à identifier « ce qui marche » et, pour cela, à comprendre ce que signifie, pour un EIAH, « marcher » ; à réfléchir aux notions de généricité et de réutilisation, qui sont au cœur de toute ingénierie ; etc. Travailler sur l'ingénierie est donc, en ce sens, un vecteur d'avancement de la recherche, et ceci indépendamment du fait que l'on réussisse ou pas à construire des éléments d'ingénierie.

Pour une ingénierie des EIAH 11

Présenter l'ingénierie comme vecteur d'avancement de la recherche demande cependant de clarifier les liens entre sciences et techniques. En effet, l'ingénierie peut être perçue comme une démarche conduisant non pas à définir les concepts en tant que tels, mais à travers leur exploitation. Certes, l'ingénierie ne peut et ne doit pas se substituer au travail fondamental de conceptualisation et de définition. Cependant, lorsque l'on aborde le problème de la conception des EIAH tel que défini dans cet article, nous ne sommes pas sur un terrain où existe un travail théorique (une science) visant à comprendre, science qui, incidemment, donne lieu à des applications, la construction d'EIAH. Les tâches de compréhension des phénomènes et de conception de système sont intimement liées, le système étant à la fois la source et le but du travail scientifique. Un EIAH est un objet complexe artificiel dont il faut entreprendre la conception et l'évaluation en tant qu'objet artificiel.

Bien entendu, travailler sur l'ingénierie présente des risques inhérents (tomber dans la simplification, la généralisation ou la systématisation réductrice et abusive) et ne doit pas conduire à abandonner les autres types de travaux. Ainsi, travailler sur les aspects « évaluation des EIAH dans une perspective d'ingénierie » n'est pas une problématique qui doit supplanter les travaux généraux ou particuliers sur l'évaluation et l'expérimentation, mais une problématique supplémentaire qu'il convient également d'aborder. Ce qui va notamment différencier les travaux « en contexte d'ingénierie », c'est le fait de travailler simultanément sur l'ensemble des problématiques liées à la conception des EIAH (les aborder dans leur complexité) et non en se contentant de se focaliser sur un aspect particulier.

L'ingénierie doit donc être considérée comme une source de réflexion et de connaissances, un point de vue qui, parce qu'il apporte un éclairage indirect, contribue à faire avancer la théorie et les pratiques. Elle n'a donc pas, au niveau de la recherche, à être directement liée à une nécessité économique, c'est-à-dire au fait de répondre à une demande de masse. Si une réelle ingénierie est possible, elle prendra place une fois que la théorie aura suffisamment balisé le terrain, et non en lieu et place de la théorie.

3.3 Exemple d'impact positif de constitution d'une ingénierie : l'ingénierie des connaissances

3.3.1. IC et EIAH

L'ingénierie des connaissances (IC) se définit actuellement de la façon suivante (extrait de l'appel à communication de la conférence IC'2001) : *« L'ingénierie des connaissances propose des concepts, méthodes et techniques permettant de modéliser, de formaliser, d'acquérir des connaissances dans les organisations dans un but d'opérationnalisation, de structuration ou de gestion au sens large. Ces mêmes connaissances sont des informations destinées à être, in fine, interprétées par un humain, dans son interaction avec l'artefact, i.e. le système à base de connaissances (SBC) construit ».*

L'IC est un champ dans lequel des problématiques voisines de celles des EIAH se posent. Historiquement, le point de convergence est au niveau de la représentation et de la manipulation des connaissances (modélisation de la connaissance du domaine d'apprentissage, des connaissances des apprenants, etc.) et de la résolution de problème (résolution d'exercices, diagnostic de l'élève ou planification de l'interaction modélisés comme des problèmes à résoudre [40]). L'IC fournit, sur ces aspects, des outils (conceptuels, techniques, méthodologiques) utiles à la construction d'EIAH. Inversement, l'EIAH présente des spécificités dont la prise en compte a notablement contribué à l'évolution de l'IC (cf. notamment les travaux de Clancey, largement liés à la recherche d'une utilisation pédagogique de Mycin [17])⁵.

⁵ Les travaux de Clancey ont très largement contribué à la notion de modèle conceptuel de raisonnement d'un système à base de connaissance, c'est-à-dire de modèle décrivant à un niveau abstrait (dit « niveau connaissance ») la structure générale du processus de raisonnement du système, en général en termes de tâches et de méthodes. Ce modèle sert notamment à guider le processus d'acquisition des connaissances auprès des experts. Ce problème de la construction d'un modèle conceptuel de raisonnement est un bon exemple de problématique partagée par l'IC et l'EIAH mais avec des spécificités propres à chaque domaine. Les travaux de Clancey (entre autres) puis du projet Kads [43] ont conduit à généraliser une démarche interprétative de conception du modèle qui consiste à identifier, dans un ensemble de modèles conceptuels prédéfinis (donc génériques, comme la « classification heuristique » ou le modèle « cover and differentiate ») celui qui correspond le mieux à la situation, puis à l'adapter éventuellement. C'est une démarche rationnelle et efficace, mais qui conduit généralement à construire un résolveur qui a peu de chances de correspondre à la pratique des acteurs humains. Ceci pose problème dans

Les travaux d'EIAH sur la notion de connaissance (cf. par exemple [8]) ou l'étude des interactions épistémiques [5] sont directement pertinents pour l'IC. L'avènement des TIC amène actuellement de nouveaux points de convergence, par exemple pour la construction et l'utilisation d'ontologies [28], la modélisation de documents pédagogiques avec XML [35], les hypermedia adaptatifs, etc. Les deux domaines se rejoignent enfin très largement dans le cadre des travaux sur l'apprentissage / le travail collaboratif (CSCL – Computer Supported Collaborative Learning / CSCW – Computer Supported Collaborative Work), deux problématiques que certains proposent même de confondre⁶.

L'ingénierie des connaissances est un champ de recherche distinct du champ de l'EIAH. Un système à base de connaissances et un EIAH sont des objets de nature différente, et, en particulier, il se pose lors de la conception d'un EIAH des problèmes spécifiques (perception et l'interprétation des actions de l'apprenant, contrôle de l'interaction, prise en compte des caractéristiques individuelles des apprenants et de l'évolution de leurs connaissances, évaluation des apprentissages, etc.). Ces deux domaines sont cependant suffisamment voisins par la nature de certaines des problématiques qu'ils abordent (représentation et exploitation de connaissances, prise en compte de facteurs humains – cognitifs, psychologiques, sociaux –, impacts organisationnels et sociaux des systèmes) pour qu'il ne soit pas inintéressant d'examiner l'évolution récente de ce domaine, qui s'est complètement reconstruit en se posant la question de l'ingénierie.

certain cas et, notamment, dans un contexte éducatif, lorsque l'on cherche à construire un résolveur ayant une certaine « plausibilité cognitive » et/ou devant s'intégrer dans un contexte où les acteurs humains pratiquent un autre type de résolution. Ceci a conduit à proposer des démarches constructives consistant à analyser la situation puis à construire (par abstraction) un modèle satisfaisant, la difficulté étant alors d'encadrer et d'outiller ce processus [40], [41].

⁶ Pour certains auteurs, le CSCL n'est qu'une branche spécialisée du CSCW : pour construire un CSCL, il suffit de « spécialiser » un logiciel de CSCW (mise en place de filtres sur les fonctionnalités, d'une aide spécifique, etc.). A cette vision s'oppose un point de vue (partagé par l'auteur) selon lequel l'objectif d'apprentissage impose des spécificités propres, notamment au niveau de la relation entre la tâche à réaliser et l'enjeu de l'apprentissage et au niveau de l'instrumentation de l'activité [11].

3.3.2. Impact positif de la dimension « ingénierie » dans la recherche sur les SBC

Dans les années 80, la construction d'un système à base de connaissances (SBC) relevait de l'artisanat (artisanat dont le résultat était d'ailleurs, le plus souvent, lorsque développé dans les laboratoires, intéressant, mais, lorsque transféré en situation réelle, un échec). La solution a tout d'abord été recherchée au niveau des techniques sous-jacentes, en travaillant sur les langages de représentation ou les moteurs d'inférence. Si ces travaux ont conduit à des résultats théoriques importants (ce qui les justifie pleinement), ces résultats n'ont en revanche contribué que marginalement au problème de l'utilisation à grande échelle des SBC, qui ne leur était pas directement lié. Ce sont les travaux visant la constitution d'une ingénierie de construction des systèmes à base de connaissances (travaux précurseurs sur les « Generic Tasks » [15] et les « Role Limiting methods » [26], travaux sur l'acquisition de connaissances auprès des experts [4], constitution des projets Européens Kads [43], etc.) qui ont véritablement permis de cerner la cause majeure du problème (l'acquisition des connaissances) et de proposer des avancées fondamentales significatives. Le modèle simpliste d'un expert « transférant » ses connaissances dans le système a été abandonné pour laisser place à une vision fondée sur la conception d'un modèle conceptuel abstrait guidant l'acquisition des connaissances auprès des experts. Cette évolution a conduit aux travaux sur les notions de « méthode de résolution de problème générique » et de « rôle » des connaissances [37]. Des méthodologies ont été proposées (Comett, Kads, Protege), ce qui a permis de disposer de modèles de références, à appliquer ou à critiquer. Ces travaux sur les méthodes de résolution de problème ont notamment permis de comprendre l'importance de la notion d'ontologie, ce qui a conduit à engager des travaux sur ce nouveau domaine, en constituant des équipes et groupes de recherche pluridisciplinaires (par exemple, en France, le groupe Terminologie et Intelligence Artificielle).

Nous pouvons préciser, sur deux exemples, la nature de l'ingénierie produite par ces travaux :

- Les travaux autour des projets Européens Kads ([43] pour la première version), qui ont conduit à proposer une méthodologie de conception de SBC, sont fondés sur l'idée selon laquelle l'acquisition des connaissances est un processus de modélisation et non simplement de transcription des

Pour une ingénierie des EIAH 15

connaissances. La méthodologie est fondée sur un ensemble de concepts de base (notion de modèle générique de résolution de problème, notion de modèle d'expertise, notion de primitive d'inférence, notion de rôle, notion de tâche, etc.) et de structures de modélisation (structuration du modèle d'expertise en quatre couches, structuration du modèle de tâches, etc.). Le concepteur d'un SBC se voit proposer un processus précis (étude des modèles organisationnels et de coopération, sélection d'une méthode générique à l'aide de critères de décision, etc.) et étayé (bibliothèque de modèles génériques, grille d'analyse de différents langages d'opérationnalisation, etc.) qui guide le travail de construction du SBC.

- La construction de ressources terminologiques à partir de texte a fait l'objet de différents travaux (au sein du groupe TIA notamment) qui ont conduit à la constitution d'un cadre méthodologique (cf. [3] par exemple). Ceci a notamment permis de dresser une chaîne de traitements (constitution de corpus, extraction de termes, extraction de relations entre termes, structuration conceptuelle, normalisation et formalisation), en situant les rôles et propriétés des différents outils de traitement de la langue (extracteur de terme, éditeur d'ontologie, etc.).

Ces deux exemples illustrent bien la notion d'ingénierie dans ce type de domaine. Une certaine compréhension des phénomènes permet d'élaborer un ensemble de concepts, méthodes et outils reproductibles pouvant être mis en œuvre pour encadrer le processus de conception, dans un spectre de validité donné. L'objectif est que le concepteur (par exemple d'un SBC) dispose d'un cadre conceptuel clair (l'ensemble des notions à prendre en compte), d'un plan d'action et d'éléments réutilisables (bibliothèque de modèles de résolution, composants informatiques, etc.).

On peut remarquer que, si l'objectif a une dimension clairement pragmatique, cela n'implique pas que les travaux engagés sont purement techniques. Travailler sur l'ingénierie a permis de mieux prendre la mesure de la complexité de ces domaines et des différents verrous, compréhension qui a profondément modifié et enrichi le domaine. Ceci a conduit à des avancées conceptuelles (sur la notion de modèle générique, sur la notion de rôle, etc.) et conduit à considérer de nouvelles problématiques (les travaux sur les ontologies en étant un exemple prototypique). L'IC a avancé en considérant les SBC comme des objets artificiels complexes devant faire l'objet d'un processus de conception, c'est-à-dire en se plaçant résolument dans les Sciences de l'Ingénieur (les « sciences de l'artificiel » au sens de H. Simon),

avec la modélisation comme outil central. On peut également noter que le fait de voir - enfin - introduire ces systèmes dans les entreprises a conduit à de nouveaux travaux sur leurs impacts sociaux et organisationnels, travaux qui se répercutent aussitôt sur les processus de conception⁷ et font avancer le domaine.

L'ingénierie des connaissances est un domaine encore récent, qui n'a pas encore atteint sa maturité. Les exemples de travaux présentés ci-dessus sont plus ou moins aboutis et toujours en cours d'évolution. Nous disposons cependant maintenant de suffisamment de recul pour affirmer que le fait de poser la question de l'ingénierie (et d'y travailler) a engagé une dynamique qui a complètement renouvelé le domaine et qui organise les recherches actuelles, sans que ceci n'écarte les travaux « théoriques » sur, par exemple, les langages formels, comme le montre le regain sur ce point lié au Web sémantique.

3.3.3. Spécificité de l'ingénierie des EIAH

Nous avons cherché à montrer, à travers l'exemple de l'IC, qu'un travail sur l'ingénierie a un impact positif sur l'avancée de la recherche, tant au niveau « fondamental » (définition de nouveaux concepts, etc.) que de la structuration et de l'organisation de la recherche. Notre proposition est d'engager des travaux de ce type en EIAH, en complément et en support aux travaux théoriques existants.

Il ne s'agit cependant pas de considérer la recherche en IC comme un modèle pour la recherche en EIAH. D'une part, ainsi qu'indiqué précédemment, il se pose en EIAH des problèmes spécifiques. Mais, d'autre part et surtout, l'IC et l'EIAH ont des fondements de natures différentes. En effet, en IC, il n'existe que très peu de travaux pouvant être considérés comme des fondements théoriques de la discipline⁸ (si l'on reprend l'exemple des SBC, la théorie sous-jacente est la théorie du « niveau connaissance » et du principe de rationalité [30], qui ne propose au demeurant qu'un cadre assez général). Au contraire, en EIAH, il existe de nombreux travaux théoriques

⁷ La recherche en EIAH pâtit cruellement du manque de travaux de recherche ayant évolués vers une utilisation banalisée dans des classes, dont l'analyse des usages serait extrêmement utile.

⁸ Il débute actuellement au sein de la communauté IC une réflexion sur la nature de ce qu'est l'IC, cf. [16].

pouvant être mobilisés : l'étude des phénomènes d'apprentissage n'a pas attendu (et n'a pas lieu que dans le contexte de) l'informatique et les TIC. L'ingénierie des EIAH peut et doit chercher à profiter des connaissances théoriques issues de ces travaux, sans en ignorer cependant la difficulté (cf. section 2).

4. EIAH ET INGENIERIE : LE RAPPORT AUX « SAVOIRS »⁹

Une ingénierie suppose la mise en place de méthodes et de techniques sur la base de « savoirs ». Il faut donc s'intéresser au triplet problématique – théorie – méthode : considérant une problématique précise, quelles sont les théories (éventuellement concurrentes) sur lesquelles fonder (ou dont les résultats sont pertinents pour fonder) les méthodes et, éventuellement, les outils ? Il s'agit donc d'étudier les travaux dans leur rapport aux théories (aux savoirs), c'est-à-dire aux « moyens » dont on dispose pour fonder et encadrer le processus de conception.

Un premier écueil, mis notamment en avant par R. Mizoguchi [27], est que les travaux du domaine sont trop souvent fondés sur des conceptualisations implicites, ce qui rend difficile la communication entre chercheurs et la capitalisation des connaissances. L'auteur, faisant explicitement le parallèle avec les problèmes rencontrés dans les SBC et l'évolution vers l'ingénierie des connaissances, propose d'aborder ce problème par la construction d'ontologies.

Un second écueil est que, comme indiqué précédemment, le terme EIAH recouvre une pluralité de systèmes. Il convient donc de ne pas raisonner en terme de cadre théorique unique, mais en terme de cadre théorique pertinent pour le contexte de l'étude et les objectifs poursuivis.

Nous reprendrons ici la dissociation en deux grandes classes proposée par T. Murray [29] dans un article de synthèse sur les systèmes auteurs. D'une

⁹ Nous utilisons cette expression pour introduire l'objet de cette section, à savoir analyser les rapports entre les travaux théoriques des différentes disciplines impliquées et les processus de conception informatique, et non dans l'acception précise qu'elle trouve dans les travaux de Chevallard.

part, les systèmes « orientés pédagogie », qui se focalisent sur comment organiser et enseigner des contenus bien identifiés. Ceci correspond notamment aux travaux sur la conception et la planification de curriculum. D'autre part, les systèmes « orientés performance », qui se focalisent sur la réalisation d'activités par les apprenants. Ceci correspond notamment aux travaux sur les environnements de simulation ou de résolution de problèmes (tuteurs intelligents, micromondes), qui permettent de mettre en place des « situations d'apprentissage » (notons que les deux types de travaux ne s'opposent pas, un EIAH support d'activité d'apprentissage pouvant être associé à des composants « orientés pédagogie »). Cette dissociation est intéressante dans le cadre de cet article car elle va nous permettre d'étayer notre façon de poser le problème (EIAH et ingénierie : le rapport aux savoirs). En effet, les travaux d'ingénierie sont beaucoup plus avancés pour les systèmes « orientés pédagogie » que pour les systèmes « orientés performance », et ceci est lié à notre sens à l'existence de travaux théoriques répondant aux exigences des premiers (les théories du design pédagogique) et au manque de travaux théoriques répondant aux exigences des seconds (ou plus exactement, au manque d'articulation entre ces travaux et les problématiques de l'ingénierie, cf. ci-dessous). Ceci nous conduira à analyser, en section 5, les difficultés que posent la mise en place d'une ingénierie pour les EIAH supports aux situations d'apprentissage et, en section 6, à proposer des pistes pour avancer dans cette direction.

4.1. Ingénierie, FOAD et design pédagogique

La FOAD (Formation Ouverte ou A Distance) est certainement le contexte dans lequel les travaux « orientés pédagogie » à forte connotation d'ingénierie sont actuellement les plus nombreux, notamment, sous le vocable « e-learning », avec la généralisation des réseaux et l'explosion Web / TIC. Un marché immense (« campus virtuels » des Universités, formation tout au long de la vie, formation professionnelle dans les entreprises) et un mode de diffusion socialement valorisé ont créé un besoin de production de masse, et donc des conditions favorables à la constitution d'une ingénierie.

L'une des formes que prennent ces travaux est 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 (supports de cours, exercices, pointeurs vers des ressources externes, etc.) et d'outils de

Pour une ingénierie des EIAH 19

communication (mail, chat, forum, écran partagé). Certains travaux se limitent à la seule production / médiatisation / organisation de ces ressources, d'autres abordent également la relation entre l'apprenant et les ressources proposées, par exemple en mettant à disposition des plans d'activités, des scénarios pédagogiques, des outils d'auto-évaluation, des feuilles de route et de planning, etc. Les objets au coeur 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.). Elle ne peut être menée que par une équipe et n'a de sens (ou de viabilité économique) qu'à une certaine échelle. Les travaux d'ingénierie visent à rationaliser les processus de production.

Les travaux du Licef (Télé-université, Québec - Canada) sont un bon exemple d'un travail d'ingénierie abordant ces problématiques sur la base de travaux théoriques. L'objectif général est de proposer une ingénierie permettant d'encadrer la conception et la diffusion des enseignements de la Télé-université et d'institutions privées. Le principe de base est que l'enseignement est considéré comme une combinaison de design pédagogique et de tutorat, le design pédagogique étant quant à lui considéré comme un processus de résolution de problème (il s'agit de considérer le problème que constitue la construction de la formation envisagée et de chercher à le résoudre). Une solution est alors un système devant satisfaire un ensemble de contraintes, peu spécifiées au départ et qui se précisent tout au long du processus. Sur la base de ces principes, le Licef a élaboré des méthodes, des techniques et des outils : une méthodologie d'ingénierie des systèmes d'apprentissage (Misa), un atelier logiciel de développement de systèmes d'apprentissage fondé sur cette méthode (Adisa), une plate-forme de diffusion des cours (Explora), des systèmes d'aide interactive pour le concepteur de la formation (système conseiller associé à la plate-forme Adisa) et pour l'apprenant (système conseiller associé à la plate-forme Explora) [34] [33]. Cette méthodologie est actuellement utilisée pour produire des systèmes effectivement mis en ligne.

Ces travaux relèvent clairement d'une ingénierie telle que définie précédemment. Le concepteur d'un système d'apprentissage se voit proposer un processus précis décrit sous la forme de tâches et de sous-tâches (près de 150 au total) qu'il doit réaliser, chaque tâche étant décrite par ses intrants et

extrants, qui correspondent à des objets (modèles, documents) décrits en détail. Par exemple, la tâche « Identifier les écarts de compétence à combler » conduit, à partir d'un certain nombre d'intrants (« publics cibles », « objectifs de la formation », « orientation du modèle de connaissances », « registre de changement », « ressources documentaires »), à définir l'extrant « tableau des compétences », qui sert lui-même d'intrant pour différentes tâches qui vont permettre de construire les « orientations pédagogiques », le « réseau des événements d'apprentissage » ou les « scénarios pédagogiques ».

La mise en place de travaux d'ingénierie de ce type est directement liée à l'existence de travaux théoriques (en l'occurrence, [18]). En effet, la démarche d'ingénierie porte essentiellement sur la planification de séquences d'enseignement, qui a fait l'objet de nombreuses études et propositions théoriques clairement prescriptives (ou pouvant être utilisées de façon prescriptive) [19]. FOAD et théories de l'« instructional design » sont étroitement liées, et ces théories génériques et indépendantes du domaine se prêtent tout particulièrement à des travaux relevant de l'ingénierie [27]. De façon cohérente avec les objectifs de ce type de système, on se place d'emblée à un niveau générique (il ne s'agit pas de prendre en compte les concepts ou éléments didactiques d'une discipline particulière et l'on ne cherche pas à mettre en place des interactions système/apprenant liées à des situations d'apprentissage étudiées en détail), ce qui permet de décrire les notions et processus à un niveau abstrait (« identifier le niveau de départ des apprenants et le niveau cible », « définir les événements d'apprentissage », etc.).

En terme de structuration de la recherche, on peut noter que le fait que l'ingénierie soit considérée comme une dimension naturelle de la FOAD a créé les conditions de l'explicitation des travaux à un niveau abstrait, de leur échange et de leur capitalisation (élaboration de « savoirs » et de retours d'expériences exploitables car décrits par rapport à un cadre d'analyse partagé, travaux sur interopérabilité et la conception par composants, etc.).

4.2. Ingénierie et environnements supports aux situations d'apprentissage

Les systèmes « orientés performance » les plus courants sont les tuteurs intelligents et les micromondes. Ces systèmes visent à créer une « situation d'apprentissage », i.e. une activité, individuelle ou collective, conçue pour

Pour une ingénierie des EIAH 21

favoriser l'apprentissage de concepts précis et/ou l'acquisition de compétences précises, et pour lesquelles les interactions (apprenant - apprenant, apprenant - tuteur, apprenant - système) et les processus d'apprentissage dont elles sont le cadre sont considérés comme des facteurs clés, au centre de l'étude. Typiquement, il s'agit de créer un environnement informatique dans le cadre duquel l'apprenant va être amené à réaliser une activité propice à un apprentissage (par opposition à une simple « exposition » à des supports de cours).

Les travaux actuels sur la conception d'EIAH supports à la mise en place de situations d'apprentissage sont le résultat d'une évolution des travaux de la communauté de recherche. L'introduction de techniques d'Intelligence Artificielle dans les systèmes d'EAO (Enseignement Assisté par Ordinateur) a rapidement conduit au paradigme des Tuteurs Intelligents (TI), où le système informatique est un expert du domaine enseigné et un expert en pédagogie, expertises sur la base desquelles il conduit le processus d'apprentissage. Ce paradigme a conduit à des travaux visant à étudier les différents problèmes au cœur de la conception de ces systèmes : modélisation de l'expertise du domaine (tout d'abord sous une forme unique, puis en intégrant une dissociation entre connaissance experte, connaissance de référence et connaissances des élèves) ; modélisation de l'apprenant ; diagnostic des actions et des productions de l'élève par rapport à un modèle de référence ; modélisation de connaissances pédagogiques permettant de proposer des activités ou de guider l'élève ; etc. Les travaux relevant des micromondes se différencient par une dimension de « contrôle par la machine » beaucoup moins prégnante, voire absente¹⁰.

¹⁰ Il n'entre pas dans le propos de cet article de détailler les notions de TI et de micromonde (cf. sur ce point les références proposées en section 2) et, afin de garder un propos général, nous ne les différencierons pas plus avant dans leur rapport à l'ingénierie. En effet, et c'est sur ce point que nous resterons dans cet article, dans les deux cas se pose le même problème de base, celui de l'articulation des théories de référence avec les problématiques de la conception. Il est clair cependant que ces deux types de système se distinguent par la nature et le rôle des théories sous-jacentes. Par exemple, dans un tuteur intelligent, le système doit contenir un modèle détaillé des connaissances du domaine, et le contrôle de l'interaction ou l'interprétation des erreurs des apprenants sont des éléments fondamentaux, pour lesquels existent des travaux spécifiques (cf. par exemple la présentation des théories Buggy / Repair / Step dans [42]) ; ces aspects sont moins centraux dans les micromondes, où se posent en revanche d'autres problèmes.

La conception d'un EIAH support aux situations d'apprentissage nécessite la prise en compte d'une multitude de problèmes inter-reliés : analyse didactique du contexte (analyse des conceptions des apprenants, des obstacles à l'évolution de ces conceptions, etc.) ; identification des objectifs d'apprentissage ; étude du contexte d'insertion de l'activité ; spécification et modélisation de l'activité proposée, ce qui nécessite la conception de la tâche à réaliser, l'identification des acteurs (apprenants, co-apprenants, enseignants, tuteurs, formateurs) et de leurs rôles, la prise en compte des dispositions personnelles, des intentions et attitudes des acteurs et l'instrumentation des acteurs (développement, si nécessaire, d'outils informatiques supports de l'activité) ; étude des comportements émergents, étude de l'activité réelle et de l'usage effectif des outils ; évaluation et affinement du dispositif.

La question de l'ingénierie de ces EIAH se pose en ces termes : quels sont les éléments dont dispose le concepteur (au sens de « équipe pluridisciplinaire de conception » et non de « l'informaticien développant le logiciel » ou « le didacticien spécifiant la situation ») pour encadrer le processus de conception de ce type d'environnement ?

A cette question, peu ou pas de réponses sont actuellement apportées. Ainsi qu'indiqué précédemment, la plupart des travaux et systèmes sont *ad hoc*, et peu d'efforts sont faits pour capitaliser les résultats et les artefacts. Ainsi que le note N. Balacheff, « *l'organisation de la recherche dans le domaine des EIAH est souvent vue comme celle d'une activité de modélisation pragmatique, voire de prototypage, qui évolue pour s'adapter aux « usages » dans un processus empirique d'ingénieries successives* » [7]. T. Murray, dans son analyse de différents outils auteurs, montre que lorsque l'on analyse comment ces systèmes ont été construits, il y a très peu de consensus sur les principes de base (selon les auteurs, il faut fonder le système sur l'observation des bonnes pratiques des enseignants, sur les travaux des psychologues de l'éducation ou de sciences cognitives, sur des théories propres, etc.), et les arguments avancés pour justifier les choix sont peu explicites [29]. Le retour sur expériences a permis de dresser quelques directives générales : « s'inspirer du cycle de vie en spirale proposé par Boehm », « partir d'un problème d'enseignement et, si possible, d'une analyse didactique », « travailler au sein d'une équipe pluridisciplinaire dès la conception du projet », « construire des maquettes et les évaluer au plus tôt », « centrer la conception sur les interactions apprenant - système », etc. [14]. Si ces propositions ne sont certes

pas inutiles, elles restent cependant très générales et peu opérationnelles d'un point de vue ingénierie.

4.3. Discussion

Une ingénierie est la mise en place de méthodes et de techniques sur la base de « savoirs ». La constitution d'une ingénierie nécessite une compréhension des phénomènes et du milieu qui permettent l'identification de structures de modélisation et de composants, puis l'élaboration d'éléments méthodologiques. Nous avons montré un exemple d'ingénierie en FOAD¹¹ et mis en évidence que ce type d'ingénierie bénéficiait des travaux théoriques proposant des résultats qui sont directement utiles à sa constitution.

Les travaux d'ingénierie visant la conception d'EIAH support aux situations d'apprentissage se heurtent à la multiplicité et à la complexité des phénomènes devant être intégrés lors de la conception. Cette difficulté est inhérente à la nature de ces systèmes et ne peut être éludée. Il nous semble cependant nécessaire d'aller plus loin que ce simple constat et d'analyser plus précisément cette difficulté et, notamment, le rapport aux théories.

5. INGENIERIE DES EIAH : UN OXYMORON ?

L'ingénierie des EIAH « orientés performance », i.e., visant à mettre en place des situations d'apprentissage, pose à notre sens trois problèmes fondamentaux : l'articulation entre les cadres théoriques pouvant être mobilisés et les problématiques de la conception, le problème de l'évaluation et le problème de l'opérationnalisation informatique.

5.1. La relation entre théorie et conception

Un premier constat s'impose, pour beaucoup des systèmes construits, le cadre théorique de référence n'est indiqué que sous la forme d'une référence

¹¹ Il n'entre pas dans le propos de cet article de rentrer dans une analyse critique de cette ingénierie, mais simplement de constater qu'elle existe et est utilisée pour produire des systèmes effectivement utilisés. Notons que, s'il existe d'autres travaux de ce type en FOAD, tous les travaux de FOAD ne sont pas fondés sur des travaux théoriques, loin de là.

très générale (les théories constructivistes, la théorie de l'activité, la théorie de l'étayage Brunerien, etc.) qui dénote simplement le type d'approche ou l'« école » dont ils relèvent (ce diagnostic rejoint celui de [7]). Ceci est utile pour comprendre les intentions des auteurs et les principes du système. Cependant, indiquer que l'on va construire un système relevant d'une approche constructiviste donne peu d'indications sur le processus de conception à suivre. Indiquer un cadre théorique est une chose, l'utiliser pour encadrer le processus de conception d'un système en est une autre.

Un certain nombre de travaux consistant à utiliser une théorie existante pour fonder la conception de systèmes ont été menés, nous en citons ci-dessous deux exemples.

- Plusieurs systèmes (Geometry tutor, Lisp tutor) ont été construits à partir de la théorie cognitive ACT [1]. Dans ces tuteurs, ACT est utilisé comme proposant un modèle computationnel d'apprentissage (fondé sur la notion de compilation des connaissances) qui conduit à des préceptes opérationnels : mise en place de situations de résolution de problème, représentation des processus cognitifs sous la forme de règles de production, rétroaction immédiate, etc. La conception des tuteurs, si elle se révèle complexe car fondée sur des analyses très fines, n'en est pas moins intrinsèquement liée à la théorie¹².
- Ecolab [25] est un système dont la conception est fondée sur les travaux de Vygotsky sur la Zone Proximale de Développement (ZPD). Les auteurs ont analysé la théorie de référence pour identifier un certain nombre de préceptes (sur le mode de représentation des connaissances, le type d'interaction, etc.) et de spécifications (pouvoir construire un modèle de l'élève, pouvoir calculer la ZPD, etc.), ainsi que pour construire le processus d'évaluation. Dans cette approche, l'objectif assigné au concepteur est de maximiser la « Zone of Available Assistance » (qui décrit l'assistance que peut proposer le système) et de proposer les moyens de définir une « Zone of Proximal Adjustment » (sélection de la ZAA appropriée pour la situation) aussi proche que possible de la ZPD de l'apprenant : la théorie fonde la conception.

Ces deux travaux exemplifient un processus de conception fondé sur un cadre théorique de référence (quelques autres travaux sont cités dans [25], cf.

¹² La relation est dans ce cas entre théorie et système et inversement.

également [42]). Dans certains autres travaux la relation n'est pas en terme de « système fondé sur une théorie » mais de « système dont la conception pose des problèmes face auxquels on fait appel à des résultats/connaissances issus de théories bien établies ». Ces exemples restent cependant rares¹³.

T. Murray (op. cit.), lorsqu'il met en évidence le manque de consensus sur les fondements des systèmes qu'il a analysés, propose différentes explications possibles : il s'agit d'un domaine trop récent pour disposer de théories de référence ; la recherche existe mais n'est pas pertinente pour construire des systèmes ; s'il n'est pas possible de définir des théories communément admises, c'est peut être que le domaine est trop complexe pour produire des résultats. Selon R. Mizoguchi (op. cit.), qui argumente pour une meilleure prise en compte des théories de l'« instructional design », la coloration « Intelligence Artificielle » de nombre de chercheurs impliqués dans le domaine pourrait expliquer la tendance à travailler sur des heuristiques plus que sur des théories générales. Nous pouvons ajouter à ces considérations générales la difficulté liée au fait que les « savoirs » de référence, qui relèvent de plusieurs disciplines (pédagogie, didactique, psychologie, ergonomie, informatique, communication, linguistique), sont par ailleurs pour une bonne part en complet bouleversement, cf. par exemple, sur le point de la cognition, le changement récent d'unité d'analyse (de la cognition comme « partie » de l'élève au système cognitif composé des individus et des artefacts qu'ils utilisent - cognition distribuée, cognition socialement distribuée - [6]).

Il nous semble cependant important de pointer deux difficultés fondamentales :

- La plupart des théories dont les travaux d'EIAH se réclament relèvent plus de théories pour interpréter que de théories pour construire. Par ailleurs, même lorsqu'elles peuvent être utilisées comme base de conception, 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. Ceci pose des difficultés majeures. Pour des théories très générales, type théorie de l'activité [22], il y a loin entre la description de la théorie et son exploitation comme principe de conception d'un système. Mandl & Renkl (cités dans [20]) notent que, dans le domaine de l'apprentissage

¹³ Il est intéressant de noter que, dans son ouvrage de synthèse (datant de 1987), E. Wenger [42] note (à propos de ACT) que l'idée de fonder les principes de conception des tuteurs sur une théorie cognitive générale semble extrêmement prometteur et devrait se généraliser.

collaboratif, l'analyse des interactions se heurte au fait que les théories de référence (Piaget, Vygotsky) sont trop générales pour permettre une explication propre. Ce problème est accentué lorsqu'il s'agit d'utiliser ces théories non pour interpréter des situations, mais pour construire des systèmes. Ainsi, dans Ecolab, différents concepts supplémentaires ont dû être introduits. Pour des théories plus spécifiques, la difficulté est de transposer des modèles d'interaction dans le milieu informatique, qui ne permet pas le même type d'interaction (que ce soit homme – machine ou homme – homme à travers la machine). Les travaux menés sur les EIAO dans les années 80-90 ont montré toute la difficulté de cette transposition. La « migration » de modèles issus des Sciences Humaines et Sociales dans le milieu informatique ne relève pas de la simple difficulté de mise en œuvre informatique, c'est un problème de reconceptualisation (ou de création d'une nouvelle théorie propre) beaucoup plus complexe.

- La conception des EIAH supports aux situations d'apprentissage relève, comme indiqué précédemment, de plusieurs problématiques, qu'il convient de prendre en compte simultanément. La conception de ces EIAH est un processus complexe (au sens des théories de la complexité), qui ne peut se simplifier en un point de vue ou par simple juxtaposition de points de vue cloisonnés et réducteurs. Or, s'il existe des théories (des « savoirs ») bien établies pouvant servir de référence pour certains points (par exemple les travaux sur l'interprétation des erreurs des apprenants, cf. Buggy / Repair / Step [42], les travaux sur l'interaction médiatisée [5], etc.), ces savoirs ont pour la plupart une portée locale et, surtout, ils ne sont actuellement que peu articulés. Or, pour développer une ingénierie, il faut des savoirs couvrant de façon intégrée l'ensemble des problématiques que pose la conception des systèmes. La situation diffère sur ce point des systèmes « orientés pédagogie » qui se focalisent sur comment organiser et enseigner des contenus bien identifiés et pour lesquels le design pédagogique est considéré comme un cadre théorique qui apporte des solutions aux problèmes que posent la conception [27] (définition des unités pédagogiques, planification des séquences, etc.).

5.2. Le problème de l'évaluation

En EIAH, un problème majeur vient de l'objet central que l'on doit considérer, c'est-à-dire l'apprentissage. L'objectif de la mise en place d'un

EIAH est 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), soit différents aspects facilitant l'apprentissage (modification de l'appréhension d'un problème, éveil d'un intérêt, création de liens sociaux, etc.). Dans les deux cas, cet objet central est délicat à cerner. Il est difficile de déterminer si l'objectif a été atteint (la réponse n'est pas booléenne), d'identifier les facteurs d'influence, ce qui est lié à des facteurs idiosyncrasiques ou à des facteurs externes, etc. Or l'évaluation des « produits » est un aspect clé de la mise en place d'une ingénierie. Le fait que le logiciel réponde à sa spécification informatique permet de valider le versant « mise en œuvre » informatique, mais en aucun cas l'EIAH en tant que tel. Il est donc strictement nécessaire de disposer de travaux de référence pour l'évaluation des EIAH, tant sur la notion même d'évaluation (ce que l'on peut/doit évaluer et pourquoi) que sur les procédés (approche comparative avec validation externe par analyse groupes expérimentaux / groupes témoins ou étude de cas avec validation interne par analyse *a priori* / *a posteriori* ; rôle du contexte et des conceptions propres des acteurs ; gestion du problème du temps¹⁴). Insistons sur le fait qu'il s'agit bien ici d'une évaluation dans la perspective de l'analyse des dispositifs et de leur processus de conception en vue de la constitution de résultats réutilisables, ce qui ne se substitue pas à d'autres formes d'évaluation.

5.3. L'opérationnalisation informatique

On peut remarquer que, dans les travaux d'ingénierie de FOAD que nous avons cités, la structure interne et le processus de conception de l'artefact informatique (en l'occurrence, une plateforme de diffusion cohérente avec la démarche de design pédagogique) posent des difficultés qui relèvent pour l'essentiel de la gestion de flots d'information. Les questions qui se posent sont du type « comment organiser les ressources » ou « comment visualiser les parcours de l'apprenant et de ses pairs », c'est-à-dire une interprétation des besoins des apprenants en termes de gestion d'information et d'accès à des ressources (cours, exercice, activité, visualisation de parcours, etc.). D'un point de vue informatique, l'artefact est donc en fait une forme particulière de système d'information complexe. On assiste d'ailleurs actuellement à

¹⁴ Les processus de l'apprentissage sont généralement à long terme, ce qui pose un problème d'évaluation dans un contexte d'ingénierie [2].

différents travaux abordant les problématiques de la FOAD selon les approches de « knowledge management » (« gestion des connaissances ») développées en ingénierie des connaissances. Il y a en fait une double ingénierie parallèle, l'une en sciences de l'éducation / pédagogie, l'autre en l'informatique, corrélées mais dissociées.

Au contraire, pour les EIAH supports aux situations d'apprentissage, la conception de l'artefact informatique pose souvent des difficultés majeures. Non pas, en général, du point de vue de la réalisation technique, mais du point de vue de la conception de l'artefact (« invention », spécification initiale, évolution à travers les usages)¹⁵. En effet, les phénomènes qui doivent être pris en compte lors de la conception de l'artefact informatique sont beaucoup plus complexes que dans un système d'information. Il y a, d'une part, les difficultés propres à la réalisation de ce type d'EIAH comme le contrôle de l'interaction, la médiatisation des actions et des processus de communication, la perception et l'interprétation des actions des apprenants à partir des observables informatiques (etc.), ou encore la prise en compte des caractéristiques individuelles des apprenants et de l'évolution de leurs connaissances (et, par suite, de l'environnement). Il y a, d'autre part, des problèmes plus généraux, par exemple le fait que, dès qu'il s'agit de réaliser une activité complexe à l'aide d'un artefact informatique, il faut étudier en détail l'instrument en tant que médiateur entre le sujet et l'action et prendre en compte les processus d'instrumentation et d'instrumentalisation¹⁶ [10]. Un EIAH tel que discuté ici crée (ou modifie) un système de relations sociales. Comme pour toute introduction de dispositifs technologiques mais de façon beaucoup plus cruciale, les usages émergent. Rappelons que l'objet central est l'apprentissage, et que, ainsi que le note [38], « *l'intention pédagogique qui sous-tend tout projet d'EIAO doit être considérée comme une hypothèse que seule une confrontation objective avec le comportement des apprenants peut permettre de valider* ».

La construction de ces EIAH nécessite donc des processus de conception itérative (voire participative), avec des expérimentations nombreuses et

¹⁵ Nous sommes ici dans l'informatique en tant que science, où l'on invente et construit des artefacts, et non dans l'informatique au sens de technique d'opérationnalisation de modèles construits par ailleurs.

¹⁶ « *Dans le processus d'instrumentation, l'activité est en développement, alors que dans le processus d'instrumentalisation c'est l'artefact qui évolue* » [10].

contrôlées. Ceci est vrai pour d'autres domaines, par exemple pour la conception des interfaces homme - machine, où ce type de processus est utilisé pour valider des hypothèses. Le problème se pose cependant de façon beaucoup plus cruciale en EIAH où, pour les raisons évoquées précédemment, les expérimentations sont souvent utilisées pour tester des hypothèses, mais également pour étayer le processus de conception. L'expérimentation n'est alors plus une phase permettant d'affiner un produit, mais un élément clé du processus de conception, voire une méthode de conceptualisation par prototypages successifs. A ce niveau se greffe par ailleurs un problème pratique mais incontournable : l'expérimentation d'un EIAH suppose non pas une simple maquette, mais un prototype très avancé, voire un produit fini. En effet, la complétude des fonctionnalités, la qualité et la robustesse de l'ergonomie et des interfaces sont strictement nécessaires. Il n'est pas possible de chercher à évaluer un EIAH en demandant à un apprenant de « faire abstraction de l'interface » ou du fait que certaines fonctionnalités ne sont pas encore implantées. Les processus de conception itératives sont donc à la fois strictement nécessaires et extrêmement coûteux.

L'opérationnalisation de ces EIAH pose donc des problèmes spécifiques, qui complexifient la mise en place d'une ingénierie (si l'on veut éviter de tomber dans les erreurs technocentristes du passé).

6. PROGRESSER VERS L'INGENIERIE DES EIAH

Nous avons tenté dans cet article d'explicitier (une certaine vision de) la notion d'ingénierie des EIAH, d'en mettre en évidence l'intérêt et d'en cerner les difficultés. Si celles-ci sont réelles, et pour cette raison même, il nous semble utile à l'avancée de la recherche en EIAH de travailler sur cette question de l'ingénierie et d'identifier dans quelle mesure et jusqu'à quel point il est possible de supporter le processus de conception des systèmes.

M. Baker a proposé dans [6] une analyse de la notion de modèle en EIAH. Il dissocie les « modèles pour comprendre » (i.e., « ... *comme un moyen de comprendre et prédire un certain aspect d'une situation d'apprentissage* »), les « modèles comme composant d'un système » (par exemple, un modèle de l'apprenant embarqué dans l'artefact) et les « modèles comme base de design des systèmes » (i.e., « ... *une base pour concevoir le système* »). Reprenant le mot de Shank (« *Où est l'IA ? dans le design* »), il met en avant la notion de

modèle pour le design. Bien que l'analyse de M. Baker ne soit pas du tout liée à une réflexion sur l'ingénierie, elle nous semble également pertinente dans ce contexte : progresser vers l'ingénierie nécessite la construction de modèles pour le design. Les modèles de situations didactiques, les modèles de résolution collective de problème, les modèles de dialogue ou les modèles de pédagogie de projet [21] sont autant de constructions sur lesquelles la mise en place de processus d'ingénierie est possible¹⁷.

Pour avancer sur l'ingénierie il convient également d'étudier quels sont les « objets » potentiellement récurrents. Différents candidats peuvent être examinés :

- La récurrence des domaines. C'est une proposition mise notamment en avant par J.F. Nicaud, qui propose de travailler sur les « connaissances de référence » d'un domaine et leur évolution [31].
- La récurrence des situations. Il s'agit d'étudier s'il existe des situations d'apprentissage suffisamment génériques ou réutilisables (en définissant le sens précis de ces termes) pour justifier d'être considérées spécifiquement tout en permettant suffisamment de latitude pour intéresser les auteurs [29].
- La récurrence dans le processus de conception des situations. Il s'agit d'étudier les considérations à prendre en compte, les critères de choix, les préceptes, etc.
- La récurrence des artefacts informatiques utilisés : environnement générique ou adaptable, générateur, interface permettant l'inter-opérabilité, normes, etc.

La mise en place d'une ingénierie nécessite par ailleurs de disposer de processus d'évaluation permettant d'identifier et de comprendre les facteurs d'influence, de valider ou d'invalider les hypothèses, processus d'évaluation sans lesquels toute tentative de réutilisation des travaux, des idées ou des systèmes est vaine. Il existe quelques travaux de synthèse proposant un ensemble de résultats attestés par des expérimentations et des évaluations et

¹⁷ En ce qui concerne l'ingénierie, « embarquer » la théorie dans le système ne présente pas d'avantage particulier si l'on préserve une certaine correspondance structurelle entre le système et le modèle de conception, ce qui est une propriété importante du point de vue du Génie Logiciel. Cela peut en revanche présenter d'autres intérêts. Ainsi, Mizoguchi & Bourdeau (op. cit.) proposent de faire en sorte que les systèmes « embarquent » leurs théories de référence afin qu'ils puissent s'en servir dans leurs interactions tant avec les auteurs qu'avec les apprenants (idée similaire à celle de « réflexivité à niveau connaissance » développée en IC [40]).

exprimés sous une forme permettant leur réutilisation, par exemple [5] sur les interactions épistémiques dans un contexte d'apprentissage ou [20] sur l'apprentissage collaboratif. Ces travaux sont cependant (encore) trop peu nombreux.

Plus fondamentalement, poser le problème de l'ingénierie des EIAH amène directement au problème des fondements théoriques. A notre sens, progresser vers l'ingénierie des EIAH demande, tout particulièrement en ce qui concerne les EIAH supports aux situations d'apprentissage¹⁸, un travail sur les fondements théoriques. Une ingénierie nécessite des travaux de référence permettant de comprendre et de prescrire. Ceci ne signifie qu'il faut chercher à construire une hypothétique théorie qui, couplée à une méthodologie, permettrait de produire « à la chaîne » des EIAH, mais qu'il convient d'étudier également les problématiques du domaine selon cet angle. Différents points en particulier doivent être étudiés :

- Rôle que les théories peuvent jouer dans la conception des systèmes : base sur laquelle établir des ensembles de préceptes et éventuellement des modèles réutilisables (cf. Ecolab), référence proposant des résultats utiles à la résolution de problèmes qui se posent lors de la conception, simple cadre général dénotant un type d'approche.
- Place des théories dans le processus de conception : théorie pertinente pour un aspect particulier de la conception (par exemple, un modèle de dialogue) ou théorie (théorie unifiée ou articulation de théories) couvrant de façon intégrée plusieurs (voire l'ensemble) des problématiques de la conception.
- Nature des théories : théories générales pouvant être appliquées aux EIAH ou théories prenant en compte ce qu'est, spécifiquement, un EIAH.

¹⁸ Par souci de simplification nous avons introduit dans notre analyse une dissociation en termes de vision « macro » (mise en place de formations considérées comme un ensemble de ressources et d'activités et focalisation sur la spécification des ressources et des parcours d'apprentissage, « orientation pédagogie ») et de niveau « micro » (mise en place de situations d'apprentissage, « orientation performance »), qui correspond également, dans une certaine mesure, à une analyse en terme de travaux où l'on se focalise sur l'enseignement et de travaux où l'on se focalise sur l'apprentissage. Ces différents axes d'analyse correspondent à des points de vue différents mais, dans les réalisations concrètes, corrélés. Précisons cependant que les travaux de FOAD qui tentent de prendre en compte les problèmes que nous avons mentionnés pour les situations d'apprentissage se heurtent aux mêmes difficultés que celles évoquées ici, cf. par exemple [12].

Ce dernier point renvoie à une question centrale, la nécessité de construire des théories *ad hoc*, spécifiques des EIAH, ou la possibilité de faire migrer des travaux des sciences humaines et sociales comme la théorie de situations didactiques [13] et le cadre méthodologique que constitue l'ingénierie didactique [2], la théorie de l'activité en général [22] ou à travers les modèles de l'apprentissage inspirés de la théorie de l'activité comme le modèle Hélices [24] ou d'autres encore. Les travaux de A. Derycke, qui propose de fonder l'architecture informatique des plateformes collaboratives sur la théorie de l'activité [12], sont un exemple de ce type de démarche¹⁹. Un problème majeur est alors la traçabilité de cette migration.

Pour mener ces travaux, il nous semble important de considérer que l'on ne peut procéder en dissociant une activité de compréhension des phénomènes relevant des sciences humaines et une activité de conception des artefacts relevant de l'informatique : l'EIAH ne peut être abordée en juxtaposant des dimensions apprentissage et informatique, la mise en place d'une ingénierie est directement liée au fait de penser les EIAH comme des objets fondamentalement transdisciplinaires. La pluridisciplinarité (qui consiste à enrichir la réflexion disciplinaire par d'autres regards, par exemple, considérer un EIAH comme un objet informatique étudié également du point de vue des autres disciplines que sont les sciences de l'éducation ou la sociologie) ou l'interdisciplinarité (qui consiste à transférer des méthodes d'une discipline à une autre, par exemple les méthodes d'expérimentation des sciences sociales dans le contexte des EIAH) sont utiles mais restent insuffisantes. A notre sens, la complexité des EIAH ne peut être approchée sans passer à la transdisciplinarité²⁰, c'est-à-dire à l'intégration de différentes approches scientifiques existantes pour construire un cadre théorique propre aux EIAH. En d'autres termes, il faut passer de l'accumulation de connaissances disciplinaires à la transformation des principes organisant de ces connaissances. Ceci n'est pas propre aux EIAH mais à tout artefact

¹⁹ L'objet de ces travaux est de permettre aux acteurs d'une situation de travail collaboratif assisté par ordinateur (ou d'apprentissage, qui est considéré comme une activité au même titre que les autres activités humaines) de spécifier eux-mêmes, au cours de l'activité, les éléments de l'environnement. L'approche proposée est de construire un environnement réflexif dont les spécifications sont fondées sur les principes de la théorie de l'activité.

²⁰ Ce qui devrait également présenter l'avantage de modifier l'économie de la recherche en EIAH (ainsi que mentionné précédemment), mais également, plus fondamentalement, son existence et sa visibilité scientifique.

informatique si l'on considère, comme le propose A. Nicolle, que l'informatique n'est pas la science du calcul, mais la science de la conception, de la réalisation et de l'usage des artefacts sémiotiques informatiques [32]. L'EIAH est cependant certainement le domaine où les problèmes se posent avec le plus d'acuité, car au carrefour de disciplines qui, dans leur rapport à l'informatique, sont en cours d'évolution majeure.

En ce sens, il convient de considérer les EIAH comme des objets complexes artificiels relevant, à ce titre, des Sciences de l'Ingénieur au sens de H. Simon (« science de l'artificiel, connaissance des objets et des phénomènes artificiels » ; sciences où l'on va s'intéresser simultanément à la finalité de l'objet, à ses caractéristiques intérieures et à l'environnement dans lequel il est mis en œuvre, et pour lesquelles la conception de modèles est centrale). Lorsque l'on travaille sur les EIAH, il n'y a pas un travail relevant de la science consistant à comprendre et un travail relevant de la technique consistant à produire, les deux aspects sont inextricablement liés, le système étudié est à la fois la source et le but du travail scientifique. Ainsi qu'indiqué précédemment, nous sommes en EIAH face à des phénomènes complexes. Les travaux sur la complexité prônent dans ce cas non pas de chercher à simplifier les phénomènes mais de les modéliser (selon plusieurs points de vue) pour identifier les traits sur lesquels il est possible de jouer [23].

Une façon modeste et pragmatique d'avancer est, en parallèle au travail sur les théories, de procéder par capitalisation, c'est-à-dire d'analyser les expériences concrètes de conception des EIAH pour identifier les considérations prises en compte lors de la conception, l'explicitation des critères de choix, etc. Ce travail doit être mené avec un double objectif. D'une part, la mise en évidence de résultats avérés permettant l'élaboration de préceptes, cf. par exemple les articles de Baker ou Dillembourg (op. cit.). D'autre part, le cas échéant, la description des activités et des systèmes à un niveau abstrait, dans un processus ascendant de recherche d'un caractère « plus général » à partir d'une expérience (la réutilisation au sens littéral, i.e. sur la base d'une première utilisation effective).

A minima, nous formulons le souhait que tout projet et tout article scientifique relevant des EIAH fasse référence aux problématiques liées à l'ingénierie qui ont été mises en évidence dans cet article : explicitation des théories de référence, explicitation des liens entre théories, modèles et artefacts, description des modèles de design, description du processus de

conception et explicitation des critères d'évaluation. Que ces descriptions soient effectuées à un niveau abstrait permettant d'étudier les caractères de réutilisabilité (généricité, adaptabilité) et le spectre d'application des objets (des modèles, de l'architecture, des connaissances, du code informatique), permettant ainsi d'identifier des résultats réutilisables sur lesquels il sera possible d'avancer. En effet, s'il existe des travaux disciplinaires qui sont des réponses potentielles aux difficultés citées précédemment (cf. les travaux théoriques cités dans cet article, bien d'autres existent), encore faut-il qu'ils soient perçus ainsi par l'ensemble des acteurs, et qu'ils soient donc exprimés dans un cadre transdisciplinaire précis. L'ingénierie, tel que proposée ici, en est un. Il faut affirmer la question de l'ingénierie avec suffisamment de force pour constituer un paradigme de référence obligé et favoriser ainsi les échanges fructueux. Il s'agit moins à l'heure actuelle de proposer une ingénierie que de considérer cette problématique.

RÉFÉRENCES

- [1] Anderson J.R., Boyle C.F., Corbett A.T., Lewis M.W., 1990, « Cognitive Modelling and Intelligent Tutoring », *Artificial Intelligence* Vol. 42, pp 7-49.
- [2] Artigue M., 1990, « Ingénierie didactique », *Recherches en didactique des mathématiques* Vol. 9 (3), pp 281-308.
- [3] Aussenac-Gilles N., Biebow B., Szulman S., 2003, « Modélisation du domaine par une méthode fondée sur l'analyse de corpus », In Teulier R., Tchounikine P., Charlet J. (eds.) *Ingénierie des connaissances*, à paraître chez Eyrolles.
- [4] Aussenac N., 1989, « Conception d'une méthodologie et d'un outil d'acquisition de connaissances experts », Thèse de l'Université Paul Sabatier, Toulouse.
- [5] Baker M., de Vries E., Lund K., Quignard M., 2001, « Interactions épistémiques médiatisées par ordinateur pour l'apprentissage des sciences : bilan de recherches », *Actes des journées EIAO'2001*, *Revue Sciences et Techniques Educatives* Vol. 8, pp 21-32.
- [6] Baker M., 2000, « The roles of models in Artificial Intelligence and Education research: a prospective view », *International Journal of Artificial Intelligence in Education* Vol. 11(2), pp 122-143.

Pour une ingénierie des EIAH 35

- [7] Balacheff N., 2002, « Contribution à la réflexion sur la recherche sur les Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain », In Baron G.-L. et Bruillard E. (eds.) Les technologies en éducation : Perspectives de recherche et questions vives. Paris : INRP – MSH - IUFM de Basse Normandie, pp 193-201.
- [8] Balacheff N., 2000, « Les connaissances, pluralité de conceptions. Le cas des mathématiques », Actes des journées Ingénierie des connaissances 2000 (P. Tchounikine ed.), Toulouse, pp 83-90.
- [9] Babacheff N., Vivet M., 1994, « Didactique et Intelligence Artificielle », La Pensée Sauvage éditions.
- [10] Béguin P., Rabardel P., 2000, « Concevoir des activités instrumentées », Revue d'Intelligence Artificielle Vol. 14, pp35-54.
- [11] Betbeder M-L., Tchounikine P., 2001, « Analyse d'une activité médiatisée collective visant à favoriser la création d'une communauté d'apprenants », Actes des journées Ingénierie des connaissances 2001 (J. Charlet ed.), PUG, Grenoble, pp 389-408.
- [12] Bourguin G., Derycke A., 2000, « A Reflective CSCL Environment with Foundations Based on the Activity Theory », Actes de ITS'2000 (Montréal, Canada), Springer Verlag, Lectures Notes in Computer Science Vol. 1839, pp 272-281.
- [13] Brousseau G., 1998, « Théorie des situations didactiques », La Pensée Sauvage éditions.
- [14] Bruillard E., Delozanne E., Leroux P., Delannoy P., Dubourg X., Jacoboni P., Lehuen J., Luzzati D., Teutsch P., 2000, « Quinze ans de recherche informatique sur les sciences et techniques éducatives au LIUM », Revue Sciences et Techniques Educatives Vol. 7(1), pp 87-145.
- [15] Chandrasekaran B., 1987, « Generic tasks in knowledge based reasoning: high-level building blocks for expert system design », Proceedings of 10th IJCAI (IJCAI'87), Milano, Italy, pp 1183-1192.
- [16] Charlet J., 2001, « L'Ingénierie des connaissances : une science, un enseignement ? », Actes des journées Ingénierie des connaissances 2001 (J. Charlet ed.), PUG, Grenoble, pp 233-252.
- [17] Clancey W.J., 1986, « From Guidon to Neomycin and Heracles in twenty short lessons: ORN final report 1979-1985 », The AI magazine, pp 40-60.
- [18] Crevier F., 1997, « Conception et validation d'une méthode d'ingénierie didactique », Thèse de l'Université de Montréal.

- [19] Dessus P., 2000, « La planification de séquences d'enseignement, objet de description ou de prescription ? », *Revue Française de pédagogie* Vol. 133, pp 101-116.
- [20] Dillembourg P., Baker M., Blaye A., O'Malley C., 1996, « The evolution of research on collaborative learning », In E. Spada & P. Reiman (eds.) *Learning in humans and machine: towards an interdisciplinary learning science*, Oxford Elsevier, pp. 189-211.
- [21] George S., Leroux P., 2001, « Un environnement support de projets collectifs entre apprenants : Splach », *Actes des journées EIAO'2001, Revue Sciences et Techniques Educatives* Vol. 8, pp 49-60.
- [22] Kuutti K., 1996, « Activity theory as a potential framework for human-computer interaction research », In B.Nardi (ed.) *Context and consciousness – Activity theory and human-computer interaction*, the MIT Press, Cambridge, Massassuchets, pp 17-44.
- [23] Lemoigne J.L., 1990, « La modélisation des systèmes complexes », Dunod.
- [24] Linard M., 2001, « Concevoir des environnements pour apprendre : l'activité humaine, cadre organisateur de l'activité technique », *Revue Sciences et Techniques Educatives* Vol. 8(3-4), pp 211-238.
- [25] Luckin R., Du Boulay B., 1999, « Ecolab: The Development and Evaluation of a Vygotskian Design Framework », *International Journal of Artificial Intelligence in Education* Vol. 10, pp 198-220.
- [26] Marcus S, McDermott J., 1989, « SALT: a knowledge acquisition tool for propose and revise systems », *Artificial Intelligence* 39, pp 1-37.
- [27] Mizoguchi R., Bourdeau J., 2000, « Using Ontological Engineering to Overcome Common AI-Ed Problems », *International Journal of Artificial Intelligence in Education* Vol. 11(2), pp 107-121.
- [28] Mizoguchi R., Murray T., 1999, *Workshop on Ontologies for intelligent educational systems (AI-Ed Conference)*, Le Mans, France.
- [29] Murray T., 1999, « Authoring Intelligent Tutoring Systems: An Analysis of the State of the Art », *International Journal of Artificial Intelligence in Education* Vol. 10, pp 98-129.
- [30] Newell A., 1982, « The Knowledge Level », *Artificial Intelligence* Vol. 18, pp 87-127.
- [31] Nicaud J.F., 1994, « Modélisation en EIAO, les modèles d'Aplusix », *Revue Recherche en Didactique des Mathématiques*, Vol 14(1-2), pp 67-112.
- [32] Nicolle A., « La question du symbolique en informatique », *Colloque de l'ARCo Lyon, Décembre 2001 (à paraître chez Hermès)*.

- [33] Paquette G., Tchounikine P., 2002, « Contribution à l'ingénierie des systèmes conseillers : une approche méthodologique fondée sur l'analyse du modèle de la tâche », *Revue Sciences et Techniques Educatives* Vol. 9, à paraître.
- [34] Paquette G., 2000, « Construction de portails de télé-apprentissage Explor@ - Une diversité de modèles pédagogiques », *Revue Sciences et Techniques Educatives* Vol. 7(1), pp 207-226.
- [35] de la Passardière B., Giroire H., 2001, « XML au service des applications pédagogiques », *Actes des journées EIAO'2001*, *Revue Sciences et Techniques Educatives* Vol. 8, pp 99-112.
- [36] PRC-IA 97, « Conception d'Environnements Interactifs d'Apprentissage avec Ordinateur. Tendances et perspectives », contribution du groupe EIAO coordonnée par Balacheff N., Baron M., Desmoulins C., Grandbastien M., Vivet M., *Actes des journées nationales du PRC IA*, 1997, Grenoble, pp 315-338.
- [37] Reynaud C., Aussenac-Gilles N., Tchounikine P., Trichet F., 1997, « The Notion of Role in Conceptual Modeling », *Actes de EKAW'97 (10th European Knowledge Acquisition Workshop)*, Springer Verlag, *Lectures Notes in Artificial Intelligence* Vol. 1319, pp 221-236.
- [38] Rouet J.F., « Quelle(s) place(s) pour la psychologie dans la conception de dispositifs destinés à l'apprentissage », *Actes des journées EIAO'2001*, *Revue Sciences et Techniques Educatives* Vol. 8, pp 17-18.
- [39] Tchounikine P., 2002, « Conception des environnements informatiques d'apprentissage : mieux articuler informatique et sciences humaines et sociales », In Baron G.-L. et Bruillard E. (eds.) *Les technologies en éducation : Perspectives de recherche et questions vives*. Paris : INRP – MSH - IUFM de Basse Normandie, pp 203-210.
- [40] Tchounikine P., 1998, « Mapcar, une approche pour l'élaboration du modèle conceptuel de raisonnement d'un système à base de connaissances », mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Nantes.
- [41] Tchounikine P., 1997, « Mapcar: a framework to support the elaboration of the conceptual model of a Knowledge Based System », *International Journal of Intelligent Systems* Vol. 12(6), pp 441-468.
- [42] Wenger E., 1987, « *Artificial Intelligence and Tutoring Systems* », Los Altos, CA: Morgan Kaufmann.
- [43] Wielinga B., Schreiber A., Breuker A., 1992, « Kads: a modelling approach to knowledge engineering », *Knowledge Acquisition journal* Vol. 4(1), pp 1-162.