



**HAL**  
open science

## Réduire l'écart entre formations théorique et pratique en chirurgie : conception d'un EIAH

Lucile Vadcard, Vanda Luengo

► **To cite this version:**

Lucile Vadcard, Vanda Luengo. Réduire l'écart entre formations théorique et pratique en chirurgie : conception d'un EIAH. 2005. hal-00005655

**HAL Id: hal-00005655**

**<https://telearn.archives-ouvertes.fr/hal-00005655>**

Preprint submitted on 27 Jun 2005

**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.

---

## Réduire l'écart entre formations théorique et pratique en chirurgie : conception d'un EIAH

**Lucile Vadcard, Vanda Luengo**

Laboratoire CLIPS-IMAG et équipe MeTAH  
BP 53  
38041 Grenoble cedex 9  
Lucile.Vadcard@imag.fr  
Vanda.Luengo@imag.fr

---

*RÉSUMÉ. L'objet de la recherche présentée est de concevoir un environnement informatique d'apprentissage qui permette de réduire l'écart entre la formation théorique des chirurgiens et leur formation pratique, qui se déroule principalement sur le mode du compagnonnage. L'article expose la méthodologie et quelques illustrations du travail didactique d'analyse des connaissances et du système d'enseignement / apprentissage en milieu hospitalier (chirurgie orthopédique). La prise en compte dans l'EIAH de connaissances tacites, décisionnelles, permet le diagnostic des connaissances de l'utilisateur en fonction des actions qu'il effectue à l'interface pour résoudre un problème (pose de vis dans le bassin), et la prise de décision didactique qui suit : quelle rétroaction fournir pour affiner le diagnostic, et/ou permettre l'apprentissage souhaité.*

*MOTS-CLÉS : didactique, formation médicale, EIAH, connaissances.*

---

## 1. Introduction

Le travail que nous présentons dans cet article répond à un problème de formation dans le domaine médical. En France, l'apprentissage de la chirurgie orthopédique requiert sept années de spécialisation, en plus des six années de formation initiale en médecine. Sur le terrain pratique la formation se déroule selon différentes modalités d'enseignement comme le compagnonnage (apprentissage en situation réelle), les travaux pratiques en laboratoire d'anatomie et quelquefois sur des simulateurs. Parmi tous ces dispositifs, le compagnonnage reste une phase indispensable de l'apprentissage du métier, au cours de laquelle les connaissances opératoires qui permettent l'action en situation se construisent chez le novice. Mais cette forme d'apprentissage soulève quelques problèmes. Elle nécessite une grande disponibilité de la part des experts puisque c'est un apprentissage qui se déroule en face à face, entre un interne et un expert. De plus, l'apprentissage est conditionné par les cas qui se présentent à l'hôpital. Un interne pourra n'avoir jamais rencontré une pathologie particulière. Enfin, elle n'est pas sans risque pour le patient qui se trouve impliqué dans une situation d'apprentissage. Un travail antérieur que nous avons mené sur l'enseignement du métier de chirurgien nous a permis de montrer l'écart qui existe entre les contenus de la formation théorique et les besoins de la pratique [VADCARD 03]. La formation théorique n'est pas orientée vers la résolution de problèmes en situation, et la situation réelle, n'étant pas construite à des fins didactiques, ne permet pas à l'apprenant de prendre le temps qu'il lui faut pour comprendre la résolution du problème qui se déroule [BISSERET 95]. Les connaissances du chirurgien ne se limitent pas à une partie déclarative et une partie gestuelle, nous avons pointé l'existence et la valeur opératoire de connaissances décisionnelles, souvent implicites, tacites, qui permettent l'activité en situation. Ces connaissances, dont nous avons montré l'absence de prise en charge dans le système d'enseignement, nous semblent être un élément important à prendre en compte pour réduire l'écart entre la formation théorique, qui transmet des connaissances de nature prédictive et la formation pratique, qui transmet des connaissances gestuelles opératoires.

Notre objectif est ainsi de développer un environnement informatique qui offre un terrain d'application des connaissances ; il constitue une étape intermédiaire entre les enseignements formels et le compagnonnage, et permet une pragmatization des concepts théoriques et prescriptifs de l'action avant leur mise en situation. Cet EIAH est centré sur un modèle de connaissances, lequel intègre des connaissances « tacites », ou « décisionnelles ». Nous menons actuellement ce travail dans le domaine de la chirurgie osseuse, pour la résolution des problèmes de vissage des fractures du bassin.

## 2. Cadre théorique

Le travail présenté s'inscrit dans le cadre de recherches sur le développement des EIAH, Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain [BALACHEFF 98 ; TCHOUNIKINE 02]. Nous présentons dans ce paragraphe les grandes lignes de notre approche théorique de cette discipline.

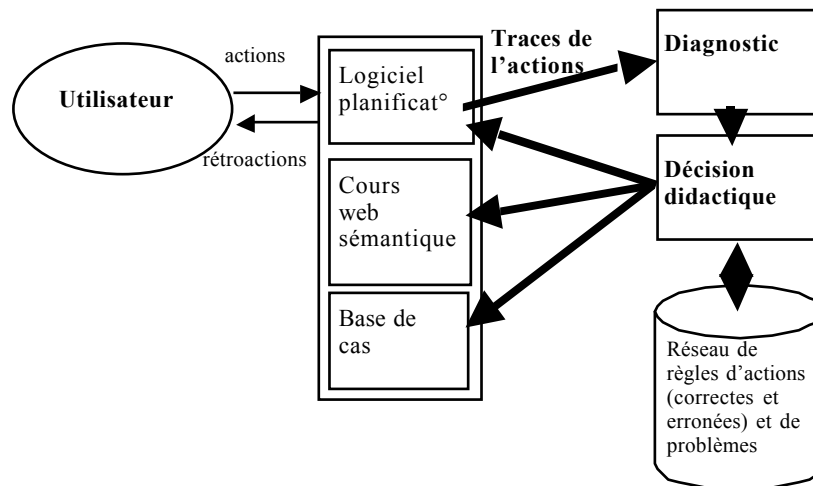
Nos travaux sont de nature pluridisciplinaire : informatique, didactique, psychologie et médecine travaillent à la réalisation de ce système d'apprentissage. Dans cet article, nous montrons comment l'aspect didactique de nos recherches nous permet de modéliser les connaissances en interaction avec les problématiques informatiques de représentation de ce modèle. De ce point de vue, nous considérons la construction des connaissances comme étant le résultat d'une interaction entre le sujet apprenant et son environnement, le milieu pour l'apprentissage [BROUSSEAU 98]. En tant qu'élément de ce milieu, l'EIAH devra posséder certaines caractéristiques précisées par l'analyse de la connaissance qui est enjeu de l'apprentissage. Nos recherches touchent également au domaine de la formation professionnelle ; nous nous inscrivons ainsi dans l'approche de la didactique professionnelle [PASTRE 02], en plus de celle issue de la théorie des situations [BROUSSEAU 98] et des champs conceptuels [VERGNAUD 91].

C'est dans le cadre de la construction d'EIAH orientés vers une approche socioconstructiviste de l'apprentissage qu'une problématique didactique peut être intéressante. Dans les EIAH de type micromonde ou simulateur, la didactique peut intervenir dès la conception de l'environnement informatique, en fournissant des moyens de modélisation et de compréhension de la construction de la connaissance du point de vue du processus qui engage l'apprenant en interaction avec son environnement. Elle permettra également la construction des situations d'apprentissages appropriées selon le type d'environnement construit.

### ***2.1. L'EIAH, un élément du milieu pour l'apprentissage***

Le milieu doit être organisé de façon à favoriser l'apprentissage : produire des rétroactions pertinentes en fonction des actions de l'apprenant sur le problème posé. En ce sens, le dispositif informatique d'aide à l'apprentissage devra également pouvoir réagir vers l'apprenant en fonction de ses actions à l'interface. Nous considérons que pour que les rétroactions de l'EIAH soient pertinentes au regard de l'apprentissage il faut que celui-ci réagisse en fonction d'une validation de la résolution proposée par l'apprenant en fonction d'un modèle des connaissances du domaine et non pas uniquement en fonction d'une solution experte déterminée a priori [LUENGO 99].

L'architecture que nous adoptons pour réaliser cet objectif est la suivante :



**Figure 1.** Architecture de l'EIAH

L'utilisateur résout un problème posé dans un logiciel de planification de trajectoire de vis orthopédiques<sup>1</sup>. Les traces de ses actions sont récupérées, et analysées en terme d'appartenance possible à une ou des conceptions (une conception est un ensemble organisé de règles d'action, de règles de contrôle de l'action, et de problèmes) [BALACHEFF 95]. Ce diagnostic permet la prise de décision didactique qui va déterminer la rétroaction que le système va donner à l'utilisateur : poser un autre problème dans le logiciel, renvoyer à une partie précise du cours en ligne, proposer la consultation d'un cas clinique.

De cet ensemble, nous avons réalisé la récupération des traces de l'utilisateur au niveau de l'interface du logiciel de planification. Le cours html existe également, et nous développons actuellement une indexation de ses concepts qui permettra un renvoi direct de l'utilisateur aux parties du cours jugées pertinentes par le module de prise de décision didactique. La base de règles et de problèmes est en cours d'élaboration. Elle est construite pour pouvoir s'enrichir au fur et à mesure des expérimentations et usages qui seront observés. Le diagnostic et la prise de décision didactique d'un point de vue informatique sont en cours de développement (thèse en cours<sup>2</sup>).

Nous développons particulièrement dans ce texte la méthodologie de réalisation de la base de données de règles d'action, de règles de contrôle et de problèmes. Problèmes et règles sont organisés en réseau, pour permettre la prise de décision didactique et ainsi, l'aide à l'apprentissage : quelle rétroaction fournir à un certain

<sup>1</sup> Une version de ce logiciel est disponible sur <http://www-sante.ujf-grenoble.fr/SANTE/voeu/visfran/vissage.htm>, suivre les liens « Protocole fluoroscopique » puis « Exercice »

<sup>2</sup> Dima Mufti-Alchawafa, laboratoire CLIPS-IMAG équipes ARCADE et MeTAH

utilisateur, en connaissant le diagnostic qui a été établi à la suite de ses actions à l'interface pour la résolution d'un premier problème.

Le modèle de connaissances choisi est issu de la prise en compte des contraintes de l'analyse de la connaissance et de contrainte informatiques. Le modèle cK $\phi$  [BALACHEFF 95] a été développé comme une extension et une précision de celui des champs conceptuels de Vergnaud. Il est également un pont entre les disciplines des Sciences Humaines et Sociales (SHS) et informatique, puisqu'il a été développé pour être intelligible et opératoire du point de vue des SHS, et computable du point de vue de sa mise en oeuvre informatique.

Nous explicitons dans ce texte la méthodologie adoptée pour la construction du modèle de connaissances et les choix de sa représentation.

## ***2.2. Méthodologie***

La construction d'un ensemble organisé de règles et de problèmes passe par une analyse des processus d'enseignement et d'apprentissage, par une phase d'explicitation des connaissances, et par leur représentation. La méthodologie adoptée est structurée autour des points suivants.

Nous analysons et décrivons à partir de notre corpus d'observations la situation prescrite et la situation réelle. Les analyses de ces deux facettes de l'activité sont menées parallèlement, et s'enrichissent mutuellement [PASTRE 02].

La situation prescrite est analysée et décrite à partir d'un cours écrit par le chirurgien partenaire du projet [TONETTI 03], et des articles décrivant cette même technique ; la situation réelle professionnelle est analysée et décrite à partir d'observations de l'action du point de vue des interactions entre l'apprenant et l'expert : films et entretiens de verbalisation.

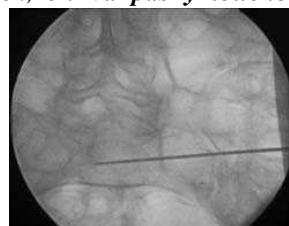
Nous nous attachons dans nos analyses à faire apparaître les contrôles sous-jacents aux actions et aux prises de décisions. Nous appelons contrôle des connaissances mises en oeuvre pour valider l'état de la résolution du problème. C'est à ce niveau que se joue la conceptualisation de l'action. En particulier, nous identifions des contrôles de l'action en situation qui n'apparaissent pas dans la situation prescrite. Ce sont des connaissances forgées par l'expert au cours de sa confrontation à la diversité des possibles de la situation de vissage sacro-iliaque. Elles permettent à l'expert de faire face à la diversité des situations tout en conservant l'invariance globale de la résolution de l'activité [VERGNAUD 96]. Ce type de connaissances nous intéresse tout particulièrement puisque nous les intégrons dans le modèle de connaissances de notre environnement afin qu'il permette une réelle valeur ajoutée par rapport au déroulement actuel de la formation (théorie puis pratique sur le terrain) et comblant, au moins partiellement, l'écart qui existe entre ces deux modalités de formation.

### 3. Illustration

#### 3.1. Etude des situations

Nous prendrons appui sur un court extrait de dialogue pour illustrer notre propos. Il s'agit d'une opération de vissage percutané de la hanche sous contrôle radioscopique. On introduit dans l'os du patient, sans incision, une broche qui servira de guide pour la vis qui sera placée ensuite. La problématique est ici le bon positionnement de cette broche guide, le danger principal étant d'obtenir une trajectoire extra-osseuse qui peut léser des racines nerveuses. Le déroulement des actions et des contrôles à effectuer pour obtenir une trajectoire correcte est détaillé dans la situation prescrite. En situation réelle, nous voyons apparaître dans le discours qui suit des éléments nouveaux, des connaissances en acte qui permettent au chirurgien de contrôler la position de la broche guide qu'a placée l'interne. L'expert interprète sur un contrôle radiologique la position de la broche qui a été enfoncée jusqu'à mi-parcours. Nous avons indiqué en gras les éléments du discours qui n'apparaissent pas dans la situation prescrite. L'expert s'adresse à l'interne ; les « / » marquent les temps sans parole (environ 5 secondes par signe).

*E : Donc là t'as les deux lignes condensées, tu vois, voilà, par contre tu t'es mis un peu vers l'arrière / t'es juste tu vois elle est un petit peu vers l'arrière, il aurait fallu que ce soit plus là, mais l'entrée est bien, **on va pas y toucher, simplement tu dépasseras pas trop la ligne médiane, d'autant qu'il a un os très dur, donc t'as pas besoin d'avoir un filetage qui tient énormément** / elle est bien, tu vois, elle arrive par là, en arrière et en dessous des lignes condensées donc ça veut dire que tu ne risques pas de léser le tronc lombo-sacré, hein.*



**Figure 2.** Contrôle radio

Cet extrait de dialogue se situe dans le deuxième quart d'heure d'une opération d'une heure. Durant la phase précédant ce dialogue, l'expert avait laissé l'interne positionner la broche. Alors que l'action a été réalisée par l'interne, c'est l'expert qui va prendre en charge la validation de la trajectoire, tout en communiquant à l'apprenant ses critères de contrôle en commentant les radios et ses prises de décisions. C'est l'objet de la phrase ci-dessus, dans laquelle nous repérons des connaissances déclaratives, d'ordre anatomique et technique qui sont présentes dans le cours : « t'as les deux lignes condensées », « elle arrive par là, en arrière et en dessous des lignes condensées donc ça veut dire que tu ne risques pas de léser le tronc lombo-sacré ». Nous y repérons également des connaissances qui vont permettre la prise de décision en situation : « on va pas y toucher, simplement tu dépasseras pas trop la ligne médiane, d'autant qu'il a un os très dur, donc t'as pas besoin d'avoir un filetage qui tient énormément ». Dans cette phrase nous voyons comment l'expert décide qu'une trajectoire non idéale (« trop en arrière ») peut quand même satisfaisante, d'une part car elle est intra-osseuse (elle l'est à ce moment, et il pense qu'elle le restera) et d'autre part en raison de l'anatomie

particulière du patient (l'os dur permettra de ne pas pousser la broche trop loin, ce qui limitera les inconvénients de la position non idéale). La situation prescrite précise pourtant qu'il faut amener la broche jusqu'à un centimètre après la ligne médiane.

L'apprenant, durant l'intervention, récupère des informations provenant du milieu (au sens de Brousseau) pour se forger ses propres schèmes d'action. Le milieu est constitué de l'expert, détenteur des connaissances, dont certaines sont censées être partagées avec l'interne (ce sont les prérequis, appartenant à la situation prescrite) ; le patient, en tant que milieu pour l'action ; les propres connaissances de l'interne qui lui permettent de lire la situation, d'agir, de contrôler ses actions ; l'instrumentation de la situation, en particulier ici les contrôles radiologiques.

### 3.2. Modèle de connaissances

Nous poursuivons ici l'exemple précédent. Nous considérons la connaissance (R1) « si l'os est très dense, alors une trajectoire courte qui dépasse juste la ligne médiane est envisageable ». Ce type de règle est communiqué à l'apprenant en cours d'action, de manière très contextuelle et sans que le domaine de validité d'application de la règle soit très clairement énoncé. C'est le cas du dialogue précédent. Il peut en résulter chez l'apprenant la construction de règles d'actions erronées, issues de relâchement de contraintes par rapport à la situation prescrite. Nous considérons ainsi également les règles suivantes : (R2) « si la trajectoire risque d'être extra-osseuse en allant jusqu'à un centimètre derrière la ligne médiane, alors on peut raccourcir la trajectoire en dépassant à peine la ligne médiane pour rester intra-osseux », qui est incorrecte en dehors du domaine « os très dense » ; (R3) « Si la trajectoire risque d'être extra-osseuse, alors on peut raccourcir la trajectoire pour rester intra-osseux », qui est incorrecte en dehors du domaine très restreint d'un os très dense et d'une trajectoire raccourcie mais qui dépasse quand même la ligne médiane.

Avec un ensemble de règles et une étude des variables didactiques des problèmes pouvant être posés aux apprenant dans notre système, nous avons élaboré des parcours pour le diagnostic des règles d'actions sous-jacentes aux actions effectuées. Nous en présentons un exemple dans le tableau suivant :

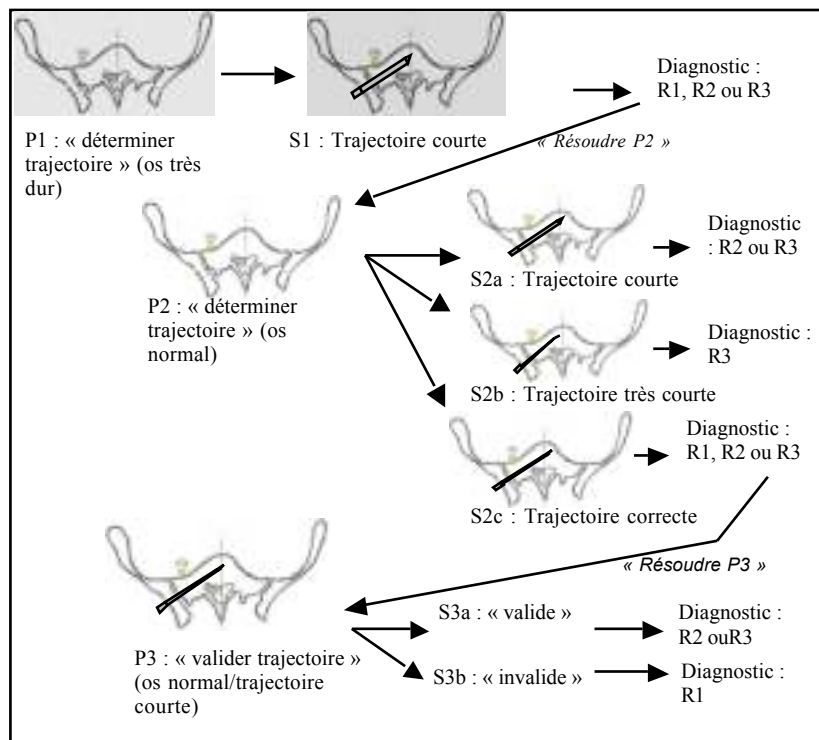
Description des problèmes	Liens Problèmes-Règles	Diagnostic
<p>P<sub>A</sub>:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- consigne : « déterminer une trajectoire »</li> <li>- qualité de l'os : très dense</li> <li>- type de cas : bonne réduction, fracture type Tile C</li> </ul> <p>P<sub>B</sub>:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- consigne : « déterminer une trajectoire »</li> <li>- qualité de l'os : normale</li> </ul>	<p>P<sub>A</sub> peut être résolu avec l'intervention de R1</p> <p>P<sub>A</sub> peut être résolu avec l'intervention de R2</p> <p>P<sub>A</sub> ne peut pas être résolu avec l'intervention of R3</p> <p>R1 n'intervient pas dans la résolution de P<sub>B</sub></p>	<p>— SI solution de P<sub>A</sub> = {correct, « trajectoire courte »} ALORS diagnostic = {R1, R2 ou R3} ET RESOUDREP<sub>B</sub></p> <p>— SI solution de P<sub>B</sub> = {incorrect, « trajectoire très courte »} ALORS diagnostic = {R3}</p> <p>— SI solution de P<sub>B</sub> = {incorrect, « trajectoire</p>



<p>- type de cas : bonne réduction, fracture type Tile C P<sub>C</sub>: - consigne : « valider une trajectoire donnée » - qualité de l'os : normale - type de cas : bonne réduction, fracture type Tile C - trajectoire donnée :   - intra-osseuse   - point d'entrée : quadrant dorso caudal   - point extrémité : + [0 ; 0,3 cm[ après la ligne médiane</p>	<p>P<sub>B</sub> ne peut pas être résolu avec l'intervention of R2 R3 n'intervient pas dans la résolution de P<sub>B</sub>  R1 n'intervient pas dans la résolution de P<sub>C</sub> P<sub>C</sub> ne peut pas être résolu avec l'intervention of R2 R3 n'intervient pas dans la résolution de P<sub>C</sub></p>	<p>courte »} ALORS diagnostic = {R2 ou R3}  _ SI solution de P<sub>B</sub> = {correct, « trajectoire normale »} ALORS diagnostic = {R1, R2 ou R3} ET RESOUDRE P<sub>C</sub>  _ SI solution de P<sub>C</sub> = {correct, « faux »} ALORS diagnostic = {R1}  _ SI solution de P<sub>C</sub> = {incorrect, « vrai »} ALORS diagnostic = {R2 ou R3}  _ SI diagnostic = {R2 ou R3} ALORS REMEDIATION2</p>
---	---	--

**Tableau 1.** Règles d'action et problèmes

Ce tableau peut être représenté par le schéma suivant. En fonction des réponses de l'apprenant à un problème donné, le système lui renvoie d'autres situations à résoudre, afin d'affiner le diagnostic.



**Figure 3.** Exemple d'actions / rétroactions

Le modèle de connaissance présenté permet de distinguer l'état de connaissance qui est sous-jacent à une action. Ainsi si R1 et R2 donnent une solution correcte pour un problème de type  $P_A$ , il n'est cependant pas souhaitable du point de vue de l'apprentissage de valider la solution de l'apprenant si c'est R2 qu'il mobilise pour répondre. Nous proposons alors d'autres problèmes à résoudre à l'apprenant, afin de discriminer R1 ou R2, et de mettre en évidence pour l'apprenant les domaines de validité des règles qu'il a éventuellement utilisées.

### 3.3. Représentation informatique

Même si nous ne développons pas de manière approfondie le travail informatique du projet dans cet article, en voici quelques éléments qui sont liés à l'analyse didactique présentée précédemment. En effet, celle-ci produit un ensemble de contraintes pour le choix du modèle informatique et de sa représentation. D'une part, la prise de décision didactique se pose en termes d'états de connaissance diagnostiqué et visé. Dans l'exemple ci-dessus, l'objectif d'apprentissage est d'invalider R2 s'il a été diagnostiqué, et d'amener l'apprenant à acquérir R1. Il faut ainsi que le modèle tienne compte de la façon dont on peut passer d'une conception contenant R2 à une conception contenant R1. En d'autres termes, la représentation informatique doit nous permettre la construction d'un chemin entre la conception diagnostiquée et la conception cible. D'autre part, la prise de décision didactique est dépendante du problème dans lequel se situe l'action qui est identifiée, les règles d'action et de validation qui ont été diagnostiquées. Ainsi, pour pouvoir mettre en oeuvre une décision didactique à l'aide du système informatique, ce dernier doit prendre en compte la situation problème dans laquelle le diagnostic a été produit. Enfin, une des caractéristiques de cette décision didactique est son degré de certitude ou d'incertitude. Ce degré d'incertitude dépendra des informations disponibles lors de la prise de décision [SOURY-LAVERGNE 98].

La piste que nous avons choisie pour représenter la connaissance et la prise de décision avec leurs contraintes est celle des réseaux bayésiens. Les réseaux bayésiens sont les résultats de la convergence entre deux types d'approches, les méthodes statistiques et les technologies de l'intelligence artificielle. Ils permettent l'acquisition, la représentation et l'utilisation de connaissances par des ordinateurs.

Dans le domaine métier dont nous nous occupons, l'expert (enseignant/chirurgien) est capable de donner un jugement sur une situation, même avec un ensemble incomplet de données. L'idée est de formaliser cette connaissance sous la forme d'un modèle de causalité, en indiquant les liens existants entre les différentes variables. Cette représentation est également intéressante pour nous car elle permet d'intégrer une notion d'incertitude dans le système, à partir d'une approche quantitative.

Un premier réseau bayésien, explicite mais incomplet, est construit à partir des données obtenues par les analyses didactiques. Nous utilisons ensuite la capacité d'apprentissage incrémental des réseaux bayésiens pour le faire évoluer. Nous cherchons à établir des relations entre les différentes variables observées en termes d'indépendance et de causalité. Nous représentons ces liens par un graphe de

causalité, dans lequel nous définissons des probabilités conditionnelles qui prennent en compte le degré d'incertitude du diagnostic et de la prise de décision didactique.

L'avantage essentiel des réseaux bayésiens est de permettre une formalisation complète d'un domaine de connaissance sous forme de graphe causal. Ce graphe peut être utilisé ensuite pour effectuer des raisonnements en formulant des requêtes relativement complexes. Dans notre cas, la problématique est de déterminer le bon chemin qui permet de passer d'une conception identifiée à une conception attendue en connaissant le problème résolu, et en posant des hypothèses sur les règles d'action utilisées pour la résolution.

#### **4. Conclusion**

Notre travail traite de la conception d'EIAH pour la formation médicale, dans la perspective de réduire l'écart qui existe entre les aspects théoriques et pratiques de cette formation. Nous avons présenté dans cet article la méthodologie d'analyse de la connaissance qui est menée afin d'intégrer un modèle de connaissances dans le système. Le travail informatique, mené parallèlement, a fait l'objet d'autres publications [LUENGO 04, MUFTI-ALCHAWAFA 04]. Le modèle de connaissances construit permet le diagnostic de l'état de connaissances de l'apprenant et une prise de décision didactique.

Les premières campagnes d'expérimentations seront menées au printemps 2005. Nous utilisons deux types de méthodologie, qualitative de type ingénierie didactique et quantitative de type comparaison de groupes et observations de leurs performances sur le système. Nous évaluerons ensuite la représentation informatique choisie, en particulier par l'analyse de la structure du réseau et des probabilités qui seront définies.

La recherche présentée dans cet article est menée avec le CHU de Grenoble. Elle intéresse les praticiens hospitaliers de deux points de vue. Le premier est lié à la problématique de l'enseignement de leur discipline. Le dispositif que nous élaborons offre un terrain d'application des connaissances qui minimise les problèmes de coût et de déontologie. En outre, les chirurgiens étant à la fois experts et enseignants, ces deux aspects de leur métier peuvent bénéficier de la mise en place d'une méthodologie d'analyse de leurs pratiques du point de vue de l'action et de la validation. Mieux comprendre leur geste pour mieux le transmettre ; et mieux analyser le déroulement d'une opération en vue de l'évaluation par des pairs de techniques novatrices.

#### **Remerciements**

Les auteurs tiennent à remercier le CNRS de son soutien à nos travaux par l'intermédiaire du programme TCAN (Traitement des Connaissances, Apprentissage et NTIC), ainsi que le service d'orthopédie et de traumatologie du CHU de Grenoble pour son accueil et son optimisme dans la réalisation de ce projet.

## 5. Bibliographie

- [BALACHEFF 95] Balacheff N., Conception, propriété du système sujet/milieu, in : R. Noirfalise , M.J. Perrin-Glorian (Eds.), *Actes de la VII<sup>e</sup> Ecole d'été de didactique des mathématiques*, Clermont-Ferrand : IREM de Clermont-Ferrand, 1995, p.215-229.
- [BALACHEFF 98] Balacheff N., Formalisation des connaissances et modélisation des environnements informatiques d'apprentissage humain, in : *Actes des Assises fondatrices du GDR 13*, Lyon, juin 1998.
- [BISSERET 95] Bisseret A., *Représentation et décision experte – Psychologie cognitive de la décision chez les aiguilleurs du ciel*, Toulouse, Octarès, 1995.
- [BROUSSEAU 98] Brousseau G., *Théorie des situations didactiques*, Grenoble, La Pensée Sauvage éditions, 1998.
- [LUENGO 99] Luengo V., Analyse et prise en compte des contraintes didactiques et informatiques dans la conception et le développement du micromonde de preuve Cabri-Euclide, *Sciences et Techniques Educatives*, vol. 6 n°1, 1999.
- [LUENGO 04] Luengo V., Mufti-Alchawafa D., Vadcard L.. The knowledge like the object of interaction in an orthopaedic surgery-learning environment, ITS 2004 7th *International Conference on Intelligent Tutoring Systems*, 30 août - 3 septembre 2004, Maceio, Brésil.
- [MUFTI-ALCHAWAFA 04] Mufti-Alchawafa D., Luengo V., Vadcard L., Architecture d'un environnement d'aide à l'apprentissage de la chirurgie orthopédique, *Conférence des Technologies de l'Information et de la Connaissance dans l'Enseignement Supérieur et l'Industrie*, TICE 2004, 20-22 octobre 2004, Compiègne, France.
- [PASTRE 02] Pastré P., L'analyse du travail en didactique professionnelle, *Revue Française de Pédagogie*, n°138, 2002, p. 9-17.
- [SOURY-LAVERGNE 98] Soury-Lavergne S., (1998), *Etayage et explication dans le préceptorat distant, le cas TéléCabri*, Grenoble, Thèse de l'Université Joseph Fourier.
- [TCHOUNIKINE 02] Tchounikine P., Conception des environnements informatiques d'apprentissage : mieux articuler informatique et sciences humaines et sociales. In: *Les technologies en éducation : Perspectives de recherche et questions vives*, Baron G.L., Bruillard E. (ed.), p. 203-210, Edité par Paris : INRP - MSH - IUFM de Basse Normandie, 2002.
- [TONETTI 03] Tonetti J., Réalisation d'outils de réalité augmentée – apprentissage, simulation et guidage de gestes en chirurgie du bassin, Thèse de l'Université Joseph Fourier, 2003.
- [VADCARD 03] Vadcard L., *A pedagogical strategy for VOEU*, Final Deliverable (35.07) of the VOEU European Project (IST-1999-13079), accepted by the European Commission, <http://vou-caos.vitamib.com/>, 2003.
- [VERGNAUD 91] Vergnaud G., La théorie des champs conceptuels, *Recherches en Didactique des Mathématiques* vol. 10(2/3), 1991, p. 133-170.
- [VERGNAUD 96] Vergnaud G., Au fond de l'action, la conceptualisation, in Barbier (Ed.) *Savoirs théoriques et savoirs d'action*, Paris, PUF, 1996, p. 275-292.