

Conception d'un environnement informatique pour la formation des chirurgiens

VADCARD Lucile, Auxiliaire de Recherches, CNRS, Grenoble, France

Introduction

En France, l'apprentissage de la chirurgie orthopédique requiert sept années de spécialisation, en plus des six années de formation médicale initiale. Il se compose d'une partie théorique qui permet d'acquérir des connaissances sur les indications et les contre-indications associées à chaque pathologie, et d'une partie pratique, qui se déroule selon différentes modalités d'enseignement comme le compagnonnage, les travaux pratiques en laboratoire d'anatomie et quelquefois sur des simulateurs. Parmi tous ces dispositifs, le compagnonnage est 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. Ce mode d'apprentissage est basé sur l'observation de l'expert et l'acquisition progressive de son savoir-faire. Concrètement, durant l'opération l'apprenti chirurgien – l'interne – se place à proximité de l'expert, dans la zone stérile. Il peut ainsi observer de très près les actions entreprises par le chirurgien. Cela permet également au chirurgien, qui a la double responsabilité d'expert (il faut réussir l'opération) et d'enseignant (il faut former l'interne), de faire intervenir l'apprenant dans la réalisation du geste. Ces interventions sont d'une importance mesurée par l'expert, et qui s'accroît au fur et à mesure qu'avance la formation du novice. Si dans un premier temps l'expert peut lui demander de l'aider (tenir un outil, maintenir une position particulière du membre concerné), il l'incite ensuite de plus en plus à réaliser certaines parties du geste en autonomie, mais sous son contrôle étroit.

Ce type d'apprentissage soulève quelques problèmes. D'une part, il 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 certaine pathologie. Enfin, elle n'est pas sans risque pour le patient qui se trouve impliqué dans une situation d'apprentissage.

De plus, un travail antérieur que nous avons mené sur l'enseignement du métier de chirurgien nous a permis de montrer qu'un écart existe entre les contenus de la formation théorique qui sont de nature prédictives, et la formation pratique qui transmet des connaissances opératoires (Vadcard 2003).

Notre objectif est de développer un environnement informatique qui offre un terrain d'application des connaissances. Cet outil constitue une étape intermédiaire entre les enseignements formels et le compagnonnage, il permet une pragmatisme des concepts théoriques et prescriptifs de l'action avant leur mise en situation. Pour cela, nous utilisons un logiciel de planification de pose de vis, développé au cours d'un précédent projet par un laboratoire de recherche grenoblois¹ (Vadcard 2002, Tonetti et al. 2004). Nous le complétons par des modules dédiés à la connaissance visée par l'apprentissage, construits à partir d'un travail d'analyse des situations professionnelles mené par les psychologues et didacticiens de

¹ TIMC, Technique de l'Imagerie, de la Modélisation et de la Cognition

l'équipe. L'environnement obtenu est dédié à l'apprentissage de la trajectoire de la pose de vis dans le bassin, et à l'anatomie du bassin.

Dans cet article nous présentons notre approche théorique de la conception d'outils informatiques pour l'apprentissage. Puis nous présentons brièvement l'architecture de notre environnement. Enfin, nous développons la méthodologie adoptée pour l'analyse et la représentation des connaissances en jeu dans la situation prescrite, et dans les situations réelles.

Approche théorique

Le travail présenté s'inscrit dans le cadre de recherches sur le développement des EIAH, Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (Balacheff 1998, Tchounikine 2002). Nous présentons dans ce paragraphe les grandes lignes de notre approche théorique de cette discipline.

Nos travaux sont de nature didactique, considérant ainsi la construction des connaissances comme étant le résultat d'une interaction entre le sujet apprenant et son environnement, le milieu pour l'apprentissage (Brousseau 1998). 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 (Pastré 2002), en plus de celle issue de la théorie des situations (Brousseau 1998) et des champs conceptuels (Vergnaud 1991).

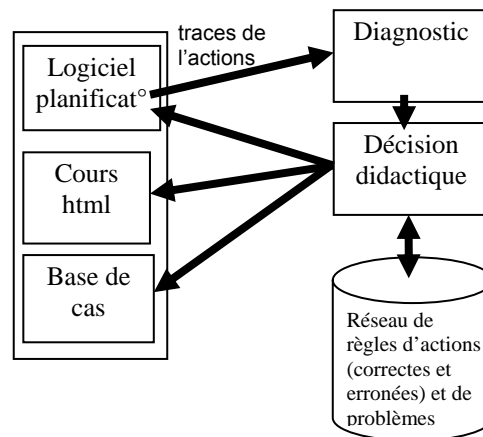
Dans le cadre de la construction d'EIAH orientés vers une approche socioconstructiviste de l'apprentissage, la problématique didactique peut être particulièrement intéressante. Dans les EIAH de type micromonde ou simulateur, la didactique peut intervenir dès la conception de l'environnement informatique, 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.

C'est cet apport de la didactique dans la conception de notre EIAH que nous voulons présenter dans ce texte.

L'EIAH, élément du milieu pour l'apprentissage

Le milieu pour l'apprentissage doit être organisé de façon à favoriser l'apprentissage : produire des rétroactions pertinentes en fonction des actions de l'apprenant sur le problème posé (Brousseau 1998). En ce sens, l'outil informatique d'aide à l'apprentissage devra également pouvoir réagir vers l'apprenant en fonction de ses actions à l'interface. Nous posons l'hypothèse 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 1999).

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



L'utilisateur résout un problème posé dans le logiciel. Un problème se caractérise par le type de tâche (déterminer une trajectoire ou valider une trajectoire donnée), le type de fracture, la qualité de l'os. Les traces des actions qu'effectue l'utilisateur sont récupérées, et analysées en terme d'appartenance possible à une ou des conceptions (une conception est un ensemble organisé de règles d'action et de contrôle et de problèmes, Balacheff 1995). Ce diagnostic permet la prise de décision didactique qui va déterminer la réaction que le système va donner à l'utilisateur (le feedback) : poser un autre problème dans le logiciel, renvoyer à une partie précise du cours en ligne, proposer la consultation d'un cas clinique.

Dans cet ensemble, nous avons déjà réalisé la récupération des traces de l'utilisateur au niveau de l'interface du logiciel de planification. Le cours en ligne est également réalisé, et nous développons en ce moment une indexation des concepts qui permettra un renvoi direct aux parties pertinentes du cours. La base de règles et de problèmes est en cours d'élaboration. Elle est construite de manière à 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 développement².

Dans ce texte je développerais particulièrement la méthodologie de réalisation de la base de données de règles d'action et 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 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.

Méthode

La construction d'un ensemble organisé de règles et de problèmes passe par une analyse des processus d'enseignement et d'apprentissage, par une analyse 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. Ces deux facettes de l'activité sont analysées parallèlement, et s'enrichissent mutuellement (Pastré 2002).

- La situation prescrite est analysée et décrite à partir d'un cours écrit par le chirurgien partenaire du projet³ et d'articles décrivant cette même technique ;

² Thèse en cours de Dima Mufti-Alchawafa, laboratoire CLIPS équipes ARCADE et MeTAH

³ <http://www-sante.ujf-grenoble.fr/SANTE/voeu/visfran/vissage.htm>

- 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 critères de validation qui sont sous-jacents aux actions et aux prises de décisions. C'est à ce niveau que se joue la conceptualisation de l'action. En particulier, nous identifions des critères de validation 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 1996). 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. En effet la formation théorique médicale fournit à l'apprenant une masse importante de connaissances qui ont une valeur prédictive, non pas opératoire. Puis, lors du compagnonnage, les situations d'apprentissages ne sont pas construites à des fins didactiques mais existent de fait, en amont de l'intention d'enseigner. L'expert est ainsi placé au cours de chaque opération dans la double position d'expert et d'enseignant vis-à-vis de l'interne. Les connaissances qu'il transmet ne sont pas organisées pour l'apprentissage, mais dépendent du déroulement effectif de la situation. Il en résulte une difficulté pour l'apprenant qui doit intégrer des connaissances nouvelles et les structurer, tout ceci dans une situation stressante par nature. (Bisseret 1995, Perrenoud 2001).

Exemple d'analyse de dialogue

Nous prendrons appui sur un court extrait de dialogue pour illustrer note 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. Mais 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.*

Cet extrait de dialogue se situe dans le deuxième quart d'heure d'une opération d'une heure. Nous y voyons apparaître certaines caractéristiques de l'apprentissage du métier de chirurgien : 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 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 la situation prescrite, il est indiqué que la broche doit être amenée jusqu'à un centimètre environ après la ligne médiane, pour qu'elle ait une bonne tenue dans l'os. Nous voyons ainsi comment l'expert décide qu'une mauvaise trajectoire (« 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 mauvaise position). L'apprenant, durant l'intervention, récupère des informations provenant du milieu (au sens de Brousseau 1998) 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 d'agir, de contrôler ses actions et de lire la situation ; l'instrumentation de la situation, en particulier ici les contrôles radiologiques.

Résultats

Nous développons ici un exemple issu du dialogue 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. 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>PA: consigne : « déterminer une trajectoire » qualité de l'os : très dense type de cas : bonne réduction, fracture type Tile C</p> <p>PB: consigne : « déterminer une trajectoire » qualité de l'os : normale type de cas : bonne réduction, fracture type Tile C</p> <p>PC: 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>PA peut être résolu avec l'intervention de R1</p> <p>PA peut être résolu avec l'intervention de R2</p> <p>PA ne peut pas être résolu avec l'intervention of R3</p> <p>R1 n'intervient pas dans la résolution de PB</p> <p>PB ne peut pas être résolu avec l'intervention of R2</p> <p>R3 n'intervient pas dans la résolution de PB</p> <p>R1 n'intervient pas dans la résolution de PC</p> <p>PC ne peut pas être résolu avec l'intervention of R2</p> <p>R3 n'intervient pas dans la résolution de PC</p>	<p>● SI solution de PA = {correct, « trajectoire courte »}</p> <p>ALORS diagnostic = {R1, R2 ou R3} ET RESOUDRE PB</p> <p>● SI solution de PB = {incorrect, « trajectoire très courte »} ALORS diagnostic = {R3}</p> <p>● SI solution de PB = {incorrect, « trajectoire courte »} ALORS diagnostic = {R2 ou R3}</p> <p>● SI solution de PB = {correct, « trajectoire normale »} ALORS diagnostic = {R1, R2 ou R3} ET RESOUDRE Pc</p> <p>● SI solution de PC = {correct, « faux »} ALORS diagnostic = {R1}</p> <p>● SI solution de PC = {incorrect, « vrai »}</p> <p>ALORS diagnostic = {R2 ou R3}</p> <p>● SI diagnostic = {R2 ou R3} ALORS REMEDIATION 2</p> <p>Remédiation 2 = renvoi au cours consultation cas avec mauvaise tenue post-opératoire texte d'explicitation de R1 avec domaine de validité</p>

Ce modèle de connaissance 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.

Conclusion et perspectives

Le travail que nous menons est de nature fortement pluridisciplinaire. Le choix des modèles utilisés pour représenter la connaissance est lié à cette forte interaction entre les chercheurs en didactique, en psychologie du travail et en informatique. Le modèle cKç (Balacheff 1995) 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 la mise en oeuvre informatique. Cette

méthodologie nous permet de mener un projet pluridisciplinaire dans lequel les didacticiens interviennent dès le début du projet et non pas uniquement pour la validation finale.

Ce projet intéresse les praticiens hospitaliers de deux points de vue. Le premier est lié à la problématique de l'enseignement de leur discipline. L'outil que nous élaborons offre un terrain d'application des connaissances sans problème de coût ni de déontologie. En outre, les chirurgiens sont 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

Enfin, l'outil informatique que nous avons présenté dans cet article traite de l'apprentissage de concepts nécessaires à la réalisation de l'intervention de vissage sacro-iliaque percutané. Il nous paraît naturel et nécessaire de poursuivre nos travaux sur la formation chirurgicale en y intégrant l'apprentissage du geste.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier le CNRS de son soutien à nos travaux dans le cadre 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.

Bibliographie

BALACHEFF Nicolas, 1995, « Conception, propriété du système sujet/milieu », in : Robert NOIRFALISE et Marie-Jeanne PERRIN-GLORIAN (eds.), *Actes de la VII^e Ecole d'été de didactique des mathématiques*, Clermont-Ferrand, IREM de Clermont-Ferrand, pp.215-229.

BALACHEFF Nicolas, 1998, « Formalisation des connaissances et modélisation des environnements informatiques d'apprentissage humain », in : *Actes des Assises fondatrices du GDR I3*, Lyon, juin 1998.

BISSERET André, 1995, *Représentation et décision experte – Psychologie cognitive de la décision*, Toulouse, Octarès.

BROUSSEAU Guy, 1998, *Théorie des situations didactiques*, Grenoble, La Pensée Sauvage éditions.

LUENGO Vanda, 1999, « 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

PASTRE Pierre, 2002, « L'analyse du travail en didactique professionnelle », *Revue Française de Pédagogie*, n°138, pp. 9-17.

PERRENOUD Philippe, 2001, « Articulation théorie-pratique et formation de praticiens réflexifs en alternance », in : LHEZ Pierrette, MILLET Dominique et SEGUIER Bernard (dir.), *Alternance et complexité en formation, Education – Santé – Travail social*, Paris, Editions Seli Arslan, pp.10-27.

TCHOUNIKINE Pierre, 2002, « Conception des environnements informatiques d'apprentissage : mieux articuler informatique et sciences humaines et sociales », in : Georges-Louis BARON, Eric BRUILLARD (eds.), *Les technologies en éducation :*

Perspectives de recherche et questions vives, Paris, INRP - MSH - IUFM de Basse Normandie, pp. 203-210.

TONETTI Jérôme, VADCARD Lucile, TROCCAZ Jocelyne, CINQUIN Philippe et MERLOZ Philippe, 2004, « Problématique de l'enseignement de la chirurgie en ligne. Application à la simulation d'un geste de vissage percutané », *in* : Congrès IPM Internet et Pédagogie Médicale, Grenoble, 2 et 3 décembre 2004.

VADCARD Lucile, 2002, « Réflexions didactiques autour de la construction d'une université virtuelle en chirurgie orthopédique », *Informatique et Santé*, n°14, pp.73-82.

VADCARD Lucile, 2003, *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/>

VERGNAUD Gérard, 1991, « La théorie des champs conceptuels », *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vol. 10(2/3), pp. 133-170.

VERGNAUD Gérard, 1996, « Au fond de l'action, la conceptualisation », *in* : Jean-Marie BARBIER (ed.) *Savoirs théoriques et savoirs d'action*, Paris, PUF, pp 275-292