

Apprentissage de la chirurgie orthopédique assisté par ordinateur : Le cas du Système Tutoriel Intelligent TELEOS

*Computer-assisted orthopedic surgery training: the case of the intelligent
tutoring system TELEOS*

*El aprendizaje de cirugía ortopédica asistida por ordenador : El Sistema Tutorial
Inteligente TELEOS*

**Ben-Manson Toussaint, Vanda Luengo, Lucile Vadcard and Jérôme
Tonetti**



Electronic version

URL: <http://journals.openedition.org/factsreports/3169>

ISSN: 1867-8521

Publisher

Institut Veolia

Electronic reference

Ben-Manson Toussaint, Vanda Luengo, Lucile Vadcard and Jérôme Tonetti, « Apprentissage de la chirurgie orthopédique assisté par ordinateur : Le cas du Système Tutoriel Intelligent TELEOS », *Field Actions Science Reports* [Online], Special Issue 9 | 2014, Online since 27 December 2013, connection on 01 May 2019. URL : <http://journals.openedition.org/factsreports/3169>

Apprentissage de la chirurgie orthopédique assisté par ordinateur. Le cas du Système Tutoriel Intelligent TELEOS.

Ben-Manson Toussaint¹, Vanda Luengo², Lucile Vadcard³ et Jérôme Tonetti⁴

¹Doctorant, Université Joseph Fourier, Laboratoire d'Informatique
de Grenoble : BP 53, 38041 Grenoble cedex 9, France
Doctorant (co-direction), Ecole Supérieure d'Infotronique d'Haïti :
29, 2e ruelle Nazon, HT6110, Port-au-Prince, Haïti
benmanson.toussaint@esih.edu

²Enseignant-Chercheur, Maitre de Conférence, Université Joseph Fourier,
Laboratoire d'Informatique de Grenoble : BP 53, 38041 Grenoble cedex 9, France
Vanda.luengo@imag.fr

³Enseignant-Chercheur, Maitre de Conférence, Université Pierre-Mendès-France,
Laboratoire des Sciences de l'Éducation : BP 47, 38040 Grenoble Cedex 9, France
Lucile.vadcard@upmf-grenoble.fr

⁴Professeur d'Université-Praticien Hospitalier (PU-PH), Chef de Service, Hôpital Michallon,
Département Orthopédie et traumatologie : BP 217, 38043 Grenoble cedex 09, France
jtonetti@chu-grenoble.fr

Résumé. L'objet de la recherche présentée dans cet article est la conception d'Environnement Informatique pour l'Apprentissage Humain. Le cas étudié est le Système Tutoriel Intelligent TELEOS (Technology Enhanced Learning Environment for Orthopaedic Surgery) supportant l'apprentissage de la chirurgie orthopédique percutanée, plus précisément la vertébroplastie et le vissage ilio-sacré. L'article résume l'ensemble des travaux de recherche à la base du développement de ce système, ses fonctionnalités actuelles ainsi que les évolutions en cours. L'intérêt de l'utilisation de ce Système Tutoriel Intelligent comme support aux méthodes de formation et d'apprentissage classiques est aussi abordé.

Mots clés. Systèmes Tutoriels Intelligents, Environnement Informatique pour l'Apprentissage Humain, Apprentissage Assisté par Ordinateur, Systèmes d'apprentissage orientés simulation, Intelligence Artificielle en Education, Haïti

1. Introduction

La formation des professionnels de santé est une problématique longtemps adressée en Haïti : 0.59 professionnels pour 1000 habitants assure la prise en charge de la population [19].

Les espaces dédiés à la formation pratique des étudiants en médecine, spécialement les apprentis chirurgiens, sont très limités. Après le séisme du 12 janvier 2010 qui a fait 300 572 blessés dont plus de 4 000 amputés [4], le besoin de former plus et mieux dans le domaine de la santé s'est particulièrement fait sentir. Encore plus que les difficultés de prise en charge quotidiennes auxquelles se heurtent les structures de soin du pays, cette catastrophe a mis en évidence les limites des ressources tant humaines que

matérielles.

Le dispositif que nous élaborons, TELEOS (Technology Enhanced Learning Environment for Orthopaedic Surgery), s'inscrit dans le cadre de recherches sur le développement des EIAH (Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain) [6 ; 20].

Le terme EIAH désigne les systèmes visant à supporter l'apprentissage humain par l'utilisation d'artefacts informatiques. Ils visent à améliorer les méthodes d'apprentissage en mettant en œuvre des connaissances et compétences pluridisciplinaires se rapportant notamment à la modélisation computationnelle et aux modèles d'apprentissage humain.

D'autres termes faisant références aux environnements d'apprentissage ont précédé ce dernier au fil

des évolutions de la recherche dans le domaine. L'évolution terminologique d'Enseignement Assisté par Ordinateur (EAO) à Enseignement Interactif Assisté par Ordinateur (EIAO) dénotait l'apparition de fonctionnalités interactives. Le concept d'EIAH élargit le champ d'étude à l'apprentissage humain dans toutes ses déclinaisons (enseignement, formation, autodidaxie, diffusion de connaissances, etc.) [11].

Les termes Enseignement Intelligent Assisté par Ordinateur (EIAO) et Systèmes Tutoriels Intelligents font référence à l'utilisation des techniques de l'Intelligence Artificielle dans les EIAH.

TELEOS est un Système Tutoriel Intelligent développé pour supporter l'enseignement et l'apprentissage de la chirurgie orthopédique percutanée. Elle est le produit de la rencontre de plusieurs disciplines : l'informatique, la didactique, la psychologie et la médecine [10 ; 12 ; 13 ; 14 ; 16 ; 23 ; 25 ; 26].

Sa fonctionnalité a été évaluée en environnement réel avec des spécialistes et des internes du Centre Hospitalier Universitaire de Grenoble [22]. Les tests menés ont permis de dégager les gains pédagogiques comparés aux situations d'apprentissage traditionnelles.

L'outil offre en outre aux experts chirurgiens qui enseignent, la possibilité de mettre en place une méthodologie novatrice d'analyse de leurs pratiques du point de vue de l'action et de la validation ; en d'autres mots, la possibilité de mieux comprendre leur geste pour mieux le transmettre.

Les EIAH ne sont pas la panacée à tous les problèmes inhérents à l'apprentissage et l'enseignement, en dépit d'applications et résultats très prometteurs. Cependant, TELEOS constitue un environnement de transmission et d'acquisition de connaissances en chirurgie orthopédique qui répond à une problématique réelle dans l'enseignement du domaine en permettant de minimiser à la fois des problèmes de coût et de déontologie.

TELEOS permet actuellement d'effectuer des simulations de deux types d'interventions chirurgicales percutanées : la vertébroplastie et le vissage ilio-sacré. Il est envisageable de l'étendre à d'autres types d'interventions à l'avenir. Ses fonctionnalités actuelles sont en cours d'évolution notamment sur ce qui a trait à l'automatisation, grâce à des paradigmes d'Intelligence Artificielle, de l'acquisition des connaissances de manière à le rendre plus précis dans ses diagnostics de connaissances et dans les rétroactions pédagogiques produites.

L'objectif est de rendre le système et les solutions novatrices d'enseignement et d'apprentissage qu'il offre, suffisamment évolués pour prendre une place prépondérante dans la formation des internes chirurgiens.

Dans cet article nous détaillons la mise en œuvre de TELEOS ainsi que l'intérêt de son utilisation en complément aux méthodes classiques d'enseignement du domaine.

Dans la première section, nous présentons le contexte du projet ; la 2^e section en détaille la méthodologie de mise en œuvre ; dans la 3^e nous présentons les évolutions en cours des fonctionnalités du système ; enfin, nous abordons dans la 4^e section la question de l'intérêt de son utilisation comme potentiel support aux méthodes de formation et d'apprentissage traditionnelles.

2. Contexte

La chirurgie fait partie des domaines où des difficultés d'enseignement sont rencontrées par le fait qu'une partie des connaissances à transmettre sont perceptivo-gestuelles : il s'agit des connaissances empiriques liées aux gestes chirurgicaux au cours d'une intervention percutanée où la dimension perceptuelle (visualisation des radiographies, retour haptique de la manipulation des outils) revêt une importance cruciale ; et celles faisant appel à la fois aux connaissances empiriques et déclaratives du domaine, nécessaires à la prise de décisions pertinentes selon les spécificités d'une intervention (cas clinique du patient, validation d'un cliché radiographique, corrections du geste). Ces connaissances sont tacites et difficiles à expliciter exclusivement à l'oral par les experts chirurgiens. Elles sont accessibles aux apprentis uniquement par la pratique *in situ*, sous la supervision d'un expert ou dans un environnement de simulation offrant des services tutoriels sur la base des savoir-faire experts tout en tenant compte du caractère ouvert du guidage à offrir [26].

La chirurgie fait aussi partie des domaines dits mal-définis car, en dépit de l'existence de règles et de contrôles pour la bonne conduite d'une intervention, il n'existe pas de procédures spécifiques ou un ensemble théorique formel du geste chirurgical [15]. Le terme « mal-défini » ou encore « mal-structuré » a été proposé par la communauté de l'Intelligence Artificielle en Education pour qualifier les domaines pour lesquels les approches traditionnelles de conception d'EIAH ne sont pas applicables ou peu adaptés [1 ; 2 et 3]. Les modèles d'apprentissage sont particulièrement difficiles à concevoir pour cette catégorie de domaines.

L'apprentissage pratique en chirurgie se déroule en partie sur le mode du compagnonnage (expert à novice). Le chirurgien apprenant acquiert son autonomie et un niveau de savoir-faire efficace par la répétition fréquente de mises en situations dans une même catégorie d'interventions chirurgicales. L'objectif de ces pratiques est de le familiariser aux nombreuses variations de paramètres pouvant se produire au cours d'une intervention et de l'amener à acquérir de la rapidité et de la fiabilité dans le geste chirurgical ainsi que la capacité de prise de conscience et d'autoréflexion sur sa pratique. Cependant, l'apprenant est plus souvent confronté à des interventions de catégories différentes qu'à des situations typiques, variées et variables au sein d'une même catégorie, qui pourraient lui permettre d'approfondir et consolider sa pratique.

Il existe donc un écart entre les contenus de la formation théorique et les besoins de la pratique dans l'enseignement du métier de chirurgien [24] : la formation théorique n'est pas orientée vers la résolution de problèmes en situation réelle, 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 [7].

L'introduction d'outils informatiques dans ce système d'apprentissage, accompagnée d'une réflexion solide aux niveaux didactique et pédagogique, peut constituer une solution à ce problème [22 ; 23]. Le projet TELEOS a été conçu dans cette optique pour l'apprentissage en chirurgie

orthopédique percutanée [14]. Son objectif principal est d'améliorer la transmission du savoir-faire perceptivo-gestuelle aux novices hors du bloc opératoire, afin qu'ils acquièrent de l'aisance face aux interventions chirurgicales et puissent prendre part plus efficacement au processus de compagnonnage au bloc opératoire.

3. Méthodologie de mise en œuvre

L'environnement TELEOS repose sur une description fine de l'expertise chirurgicale et des activités d'apprentissage en orthopédie percutanée. La modélisation de l'environnement professionnel réel passe par l'analyse des processus d'enseignement et d'apprentissage, par une phase d'explicitation des connaissances, et par leur représentation permettant la construction d'un ensemble organisé de règles et de problèmes liés au domaine. Des protocoles expérimentaux ont été conçus pour la réalisation des analyses cognitives des gestes chirurgicaux faisant intervenir des connaissances explicites et tacites [10; 14].

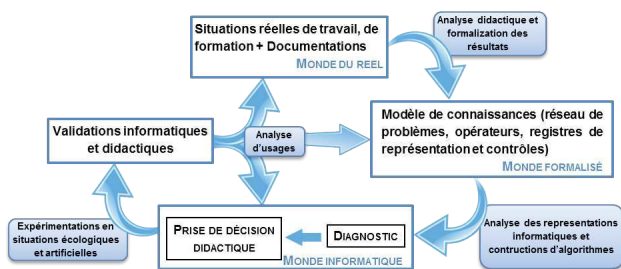


Figure 1. Méthodologie de mise en place de la plateforme

Comme l'illustre la figure 1, pour concevoir la plateforme d'apprentissage, l'analyse des situations réelles est effectuée dans le but in fine de formaliser les connaissances recueillies.

Ces connaissances sont à la base des systèmes de diagnostic et de rétroactions de TELEOS. Les facteurs à considérer dans le processus d'apprentissage ont été dégagés et ont fait apparaître les contrôles (connaissances mises en œuvre pour valider l'état de la résolution d'un problème) sous-jacents aux actions et aux prises de décisions [27]. Ces éléments de connaissances sont intégrés au modèle de connaissances de l'environnement d'apprentissage constitué d'un simulateur intégrant un système de diagnostic des connaissances mises en œuvre au cours des séances de simulation et un système de rétroactions pédagogiques dont les retours se basent sur les résultats du diagnostic [14].

3.1 L'environnement d'apprentissage

[12]

La plateforme de simulation TELEOS est constituée d'une interface logicielle, d'un bras haptique qui enregistre la reproduction valide des gestes chirurgicaux compte tenu des

contrôles du modèle de connaissances, et d'un oculomètre traçant les points fixés par l'apprenant tout au long d'une intervention. Ces outils permettent d'appréhender, dans l'environnement de simulation, la dimension perceptivo-gestuelle des connaissances mises en jeu par l'utilisateur-apprenant.



Figure 2. L'environnement du simulateur TELEOS. Etudiante exécutant une simulation de vertébroplastie.

Le logiciel pour sa part intègre un modèle de représentation des connaissances relatives au domaine, un système de diagnostic des connaissances de l'apprenant et un système de rétroactions pédagogiques basé sur les résultats du système de diagnostic.

3.2 Représentation des connaissances

[27]

Les connaissances chirurgicales sont modélisées sous forme de conceptions selon le modèle didactique $ck\phi$ [5]. Ce modèle présente la formalisation des conceptions du domaine dans quatre ensembles :

- un ensemble P de problèmes ;
- un ensemble R d'opérateurs (ou actions) servant à la résolution d'un problème;
- un ensemble Σ de structures de contrôles (ou connaissances déclaratives) validant ou invalidant le résultat de la mise en jeu d'un opérateur ;
- un ensemble L des systèmes de représentation utilisés au cours de la résolution d'un problème (par exemple, les radiographies).

Les relations de dépendance et de causalité entre les différents ensembles sont définies et représentées sous forme de réseaux bayésiens.

Dans les relations de dépendances, un problème P est résolu si les opérateurs associés R sont appliqués de manière valide. Un opérateur R est appliqué d'une manière valide si les contrôles associés et utilisés lors de la résolution du problème P sont valides. Un contrôle est valide si les variables de situation (VS), traces des actions de l'apprenant lors de la résolution, sont jugées correctes.

Le réseau bayésien permet de diagnostiquer la connaissance mobilisée pour la résolution d'un problème avec un degré d'incertitude [16]. Le diagnostic permet de déduire l'état des contrôles mis en jeu lors de la résolution de problème (valide ou non) en fonction, d'une part, du contexte du problème et, d'autre part, des actions de l'utilisateur dans l'interface de l'environnement. Suite au diagnostic, une décision didactique est calculée et renvoyée à l'utilisateur.

3.3 Diagnostic des connaissances

[26]

Le système de diagnostic est représenté sous la forme d'un réseau bayésien qui permet d'effectuer, grâce à des inférences, l'analyse des connaissances avec un degré d'incertitude [16] c'est-à-dire, dans une configuration où l'ensemble des connaissances n'est pas exhaustif. La méthodologie adoptée est structurée autour des points suivants :

- L'analyse et la description, à partir d'un corpus d'observations, de la situation prescrite et la situation réelle. Les analyses de ces deux facettes de l'activité sont menées parallèlement, et s'enrichissent mutuellement [18].
- L'analyse et la description de la situation prescrite à partir d'un cours écrit par un expert chirurgien [21] et d'autres articles présentant ces techniques;
- L'analyse et la description de la situation professionnelle réelle à partir d'observations (films et entretiens de verbalisation) de chaque action du point de vue des interactions entre l'apprenant et l'expert.

3.4 Décision didactique et rétroactions pédagogiques

La construction des connaissances est le résultat d'une interaction entre le sujet apprenant et son environnement, le milieu pour l'apprentissage [9]. En tant qu'élément de ce milieu, l'EIAH possède des caractéristiques précisées par l'analyse de la connaissance qui est enjeu de l'apprentissage. L'objectif est de produire et de renvoyer à l'apprenant des rétroactions pédagogiques pertinentes par rapport aux résultats du diagnostic des connaissances mobilisées par celui-ci

lors de la résolution d'un problème. Ces rétroactions sont basées sur une analyse didactique de la connaissance chirurgicale de l'apprenant. Elles ciblent l'ensemble des éléments de connaissances mis en jeu par rapport au contexte du problème à résoudre. Ceci permet de déterminer le sujet de la rétroaction et la forme que la rétroaction doit prendre [17] :

- Si le sujet de la rétroaction est relatif à la connaissance déclarative, la rétroaction sera de demander à l'apprenant de consulter des pages précises de cours sur l'élément de connaissance choisi.
- Si le sujet de la rétroaction est lié à la connaissance empirique, la rétroaction sera de demander à l'apprenant de résoudre un autre problème de simulation.
- Si le sujet de la rétroaction concerne à la fois des connaissances déclaratives et empiriques alors la rétroaction sera de demander à l'apprenant de consulter un cas clinique, le cas clinique devant être similaire au contexte du problème résolu et devant présenter les résultats de l'application du sujet de rétroaction dans le contexte du problème.

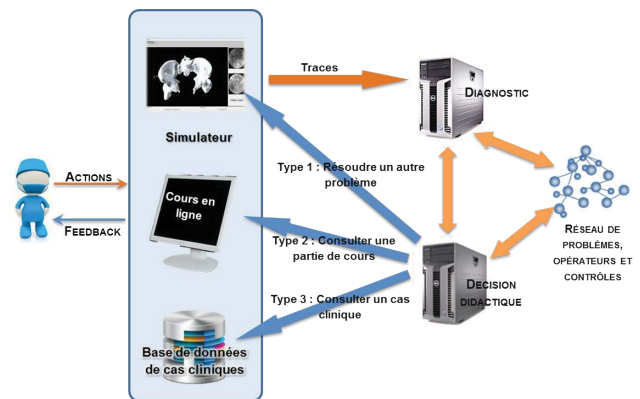


Figure 3. Architecture de TELEOS

4. Evolutions en cours

TELEOS s'inscrit dans le paradigme de l'apprentissage

Tableau 1. Exemples d'éléments de connaissances formalisé selon le modèle ck ϕ

Problèmes	Opérateurs	Représentations	Contrôles
Opération d'une vertèbre thoracique	Prendre une radio de face	Radio (2D)	Les pédicules doivent être centrés sur les radios
Opération d'une vertèbre lombaire	Impacter l'os	Anatomie du corps (3D)	Si le trocart est en dessous des pédicules, alors il lèse les foramens vertébraux

humain du constructivisme. Du point de vue du diagnostic des connaissances et de la rétroaction, il ne s'agit pas de maintenir le sujet au plus près du comportement expert, mais de comprendre suffisamment ses conceptions en amont pour apporter une rétroaction qui en permette l'évolution ou le renforcement. Pour cela, il faut que ces conceptions soient exprimées et que la rétroaction suscitée par le diagnostic de l'activité, permette leur évolution.

Les travaux de recherche actuels sur le système d'apprentissage visent à augmenter la précision, la qualité et la pertinence du diagnostic des connaissances en mettant en œuvre des paradigmes de modélisation centrés données. Il s'agit d'automatiser l'acquisition des connaissances par la plateforme TELEOS à partir des traces d'activités enregistrées à chaque utilisation du simulateur. Les connaissances à dégager de l'ensemble des traces seront obtenues grâce à des algorithmes de datamining dont la conception doit prendre en compte les contraintes propres au type de connaissances de TELEOS et à la structure des traces qu'il enregistre. Les connaissances extraites seront intégrées de manière dynamique et pris en compte dans le processus de diagnostic au fur et à mesure de l'utilisation du système.

Cette fonction d'automatisation implique une exploitation fine des traces d'activités enregistrées à chaque utilisation du système tutoriel. Plusieurs contraintes doivent être prises en compte dans le processus :

- la capacité de dégager les connaissances pertinentes d'un ensemble de traces brutes
- la nécessité de distinguer les traces d'activité d'un expert de celles d'un apprenant
- la capacité de distinguer les erreurs des bonnes pratiques (peu importe le profil de l'utilisateur)
- la nécessité d'identifier les phases distinctes d'une même activité
- et la nécessité de traiter les traces en tenant compte de leur hétérogénéité.

Les deux dernières contraintes posent le problème de l'hétérogénéité des traces induite par l'utilisation de plusieurs outils dans l'environnement d'apprentissage (interface logicielle, bras haptique, oculomètre) et celle liée à la diversité de groupes d'actions distincts dans les traces d'une même source et pour une même activité. Cette double hétérogénéité implique un niveau de difficulté supplémentaire du point de vue du diagnostic des connaissances mais est aussi facteur de précision dans la modélisation des connaissances perceptivo-gestuelles [8].

Les algorithmes envisagés pour réaliser ces traitements sont à concevoir dans un souci de généralité pour être applicables au traitement de traces brutes provenant d'autres domaines faisant intervenir des connaissances perceptivo-gestuelles telle que les systèmes de simulation de pilotage d'appareils volants ou de conduite automobile.

5. Discussion

Nos recherches s'inscrivent dans l'approche de la didactique

professionnelle [18]. L'un des enjeux de la recherche en EIAH est d'élaborer et d'éprouver des techniques, des méthodes et des outils utilisables par des enseignants et des formateurs.

L'introduction d'un EIAH dans l'enseignement constitue une nouvelle façon de transmettre des connaissances et des compétences, une nouvelle façon d'évaluer l'évolution des apprenants et pour ceux-ci, une nouvelle façon de renforcer leurs acquis.

Côté évaluation de l'apprentissage humain, les méthodes classiques, que ce soit par des questions ciblant les connaissances théoriques ou des exercices évaluant les compétences pratiques, s'appliquent dans une configuration statique : le résultat ou la réponse de l'apprenant est produit ou formulé à un moment x dans un intervalle de temps y .

Grâce à l'enregistrement des traces d'activités de l'apprenant, un EIAH offre la possibilité de suivre et d'analyser son parcours et son évolution. Ces traces renferment les informations nécessaires à une évaluation plus poussée de son raisonnement, de ses stratégies en situation de résolution de problème, de son niveau de maîtrise des connaissances et compétences : la possibilité d'évaluer ses acquis dans le temps et de manière continue.

Pour la chirurgie orthopédique, le Système Tutoriel Intelligent TELEOS représente la possibilité pour les apprentis chirurgiens de faire face à des situations réalistes reproductibles à souhait grâce à une base de cas cliniques réels. Le dispositif que nous élaborons offre un terrain d'application des connaissances qui minimise les problèmes de coût et de déontologie. Les outils proposés visent à supporter et renforcer l'activité de formation de manière à combler l'écart induit par des scénarios pédagogiques difficilement applicables sur des patients humains. Ils constituent aussi pour les chirurgiens enseignant l'opportunité de mise en place d'une méthodologie formalisée d'analyse de leur geste et du déroulement d'une opération dans la perspective d'une meilleure transmission aux internes chirurgiens [26].

Pour les apprentis, les services tutoriels de TELEOS visent à offrir les ressources nécessaires à l'entraînement, l'évaluation et l'amélioration de leur expertise, et à une analyse personnelle ou assistée des gestes chirurgicaux et des décisions appliqués lors d'une intervention. La fonction d'acquisition automatique des connaissances de TELEOS permet enfin un enrichissement dynamique de l'ensemble des connaissances du système par le savoir-faire perceptivo-gestuel des experts qui l'utilisent ; cette évolutivité potentiellement continue offrant aux chirurgiens en situation d'apprentissage une base de comparaison pédagogique encore plus riche.

6. Conclusion

Nos travaux de recherche traitent de la conception d'EIAH pour l'apprentissage en chirurgie orthopédique percutanée, particulièrement la vertébroplastie et le vissage ilio-sacré, dans la perspective de réduire l'écart qui existe entre les aspects théoriques et pratiques de cette formation.

Nous avons présenté la méthodologie d'analyse et de mise en place du modèle pédagogique du Système Tutoriel

Intelligent TELEOS intégrant un modèle de représentation des connaissances du domaine, un modèle de diagnostic des connaissances de l'apprenant et un modèle de prise de décision didactique et de rétroactions pédagogiques. Nous décrivons aussi dans cet article l'architecture du système et le fonctionnement de l'environnement de simulation.

Enfin, la fonction d'automatisation de l'acquisition des connaissances du domaine à partir des traces d'activités enregistrées au cours des exercices de simulation, a été présentée. Cette automatisation passe dans un premier temps par le traitement des traces brutes avec des algorithmes de datamining dans le but d'extraire les éléments de connaissances pertinents qui seront par la suite intégrés au modèle de connaissances de la plateforme et pris en compte dans les futurs diagnostics du système dans le but d'en affiner les résultats. Les solutions à concevoir dans ce sens doivent être suffisamment génériques pour être adaptées à d'autres systèmes d'apprentissage faisant intervenir des connaissances perceptivo-gestuelles. Cette fonction constitue la problématique centrale des travaux de recherche menés dans le cadre du doctorat de Ben-Manson Toussaint.

Ce doctorat est conduit en partenariat avec l'Ecole Supérieure d'Infotronique d'Haïti et des chirurgiens orthopédistes haïtiens indépendants. La plupart de ces spécialistes enseignent leur discipline et participent à la réflexion sur l'utilisation de ce type d'outils pour l'amélioration des conditions de formation et de pratique pédagogique des chirurgiens orthopédistes en Haïti. Une réflexion qui s'impose face à la pénurie à la pénurie de ressources tant humaines que matérielles, connue quotidiennement par les structures de soin, a fortiori face aux défis de la prise en charge en situations de crise comme, par exemple, les nombreuses victimes (tout particulièrement les nombreux cas relevant de l'orthopédie-traumatologie), du séisme du 12 janvier 2012.

Les travaux de recherche autour du projet TELEOS dans son ensemble sont réalisés avec le Centre Hospitalier Universitaire de Grenoble.

7. Remerciements

L'auteur remercie Madame Vanda Luengo pour la supervision de ses travaux de recherche dans le cadre de sa thèse de doctorat au Laboratoire d'Informatique de Grenoble, Monsieur Evens Emmanuel qui assure l'encadrement méthodologique de ses recherches, Monsieur Patrick Attié, Directeur Général de l'Ecole Supérieure d'Infotronique d'Haïti qui assure le suivi de ses travaux en Haïti, et l'Agence Universitaire de la Francophonie pour le financement de ses activités de recherche en France et en Haïti.

Bibliographie

- [1] Aleven, V.: Using background knowledge in case-based legal reasoning: a computational model and an intelligent learning environment. *In: Artificial Intelligence vol. 150, Issues 1-2*, November 2003, pp. 183–237
- [2] Aleven, V., Ashley, K., Lynch, C., Pinkwart, N.: *Proc. ITS for Ill-Defined Domains Workshop*. ITS 2006
- [3] Aleven, V., Ashley, K., Lynch, C., Pinkwart, N.: *Proc. Workshop on AIED applications in ill-defined domains*. AIED 2007, Los Angeles, USA
- [4] AlterPresse. Haiti-Séisme - Un an : Les chiffres clés de ces 12 derniers mois. <http://www.alterpresse.org/spip.php?article10512>
- [5] Balacheff, N. : Conception, propriété du système sujet/milieu. *In : Actes de la VIIe école d'été de didactique des mathématiques*, 215–229 (1995)
- [6] Balacheff N., Formalisation des connaissances et modélisation des environnements informatiques d'apprentissage humain. *In : Actes des Assises fondatrices du GDR I3*, Lyon, juin 1998.
- [7] Bisseret A., Représentation et décision experte – Psychologie cognitive de la décision chez les aiguilleurs du ciel, Toulouse, Octarès, 1995.
- [8] Bluteau J., Coquillart S., Y. P. E. G. Haptic Guidance Improves the Visuo-Manual Tracking of Trajectories, 2008.
- [9] Brousseau G., *Théorie des situations didactiques*, Grenoble, La Pensée Sauvage éditions, 1998.
- [10] Ceaux E., Vadcard L., Dubois M., & Luengo V., Designing a learning environment in percutaneous surgery: models of knowledge, gesture and learning situations, *Paper presented at the EARLI Symposium "Simulation-Based Learning: Analysing and Fostering Complex Skills in the Context of Medical Education"*, Amsterdam, August 2009.
- [11] Cottier P., Choquet C., Tchounikine P., *Repenser l'ingénierie des EIAH pour des enseignants concepteurs*. *In : Usages, usagers et compétences informationnelles au XXIème siècle (ed.) Jérôme Dinet*. Pages 159 à 193, Lavoisier 2008.
- [12] Larcher A., Luengo V., Tonetti J., Conception of a simulator for a TEL system in orthopaedic surgery. *VR for Medecine & Surgery*, VRIC, 2010.
- [13] 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.
- [14] Luengo V., Vadcard L., Dubois M., Mufti-Alchawafa D., TELEOS : de l'analyse de l'activité professionnelle à la formalisation des connaissances pour un environnement d'apprentissage. *Actes de la conférence « Ingénierie de Connaissances »*, IC 2006, Nantes, Juin 2006.
- [15] Lynch, C., Ashley, K., Aleven, V., Pinkwart, N.: Defining Ill-Defined Domains; A literature survey. *In: Proc. Intelligent Tutoring Systems for Ill-Defined Domains Workshop*, ITS 2006, pp. 1–10.
- [16] Minh Chieu V., Luengo V., Vadcard L. Student Modeling in Orthopedic Surgery Training: Exploiting Symbiosis between Temporal Bayesian Networks and Fine-grained Didactical Analysis. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 2010, 30 pages, *Accepté avec des modifications majeures (troisième version soumise)*.
- [17] Mufti-Alchawafa D., Luengo V., Design Implementation and computer validation of didactical decision model in a learning environment for orthopaedic, *In: Intelligent Support for Exploratory Environments. 14th International Conference on Artificial Intelligence in Education*, Brighton 2009.
- [18] Pastré P., L'analyse du travail en didactique professionnelle, *In : Revue Française de Pédagogie*, n°138, 2002, pp. 9-17.
- [19] Ministère de la Santé Publique et de la Population, *La planification de main-d'œuvre, un outil de gestion des ressources humaines : Présentation générale du recensement national des travailleurs de la santé 2007-08 : un exercice humain et technique*, Actes de colloque, Port-au-Prince, 22-23 mars 2008.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] Tonetti J., Vadcard L., Girard P., Dubois M., Merloz P., Troccaz J., Assessment of a percutaneous iliosacral screw insertion simulator. In: *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research* 95, pp. 471-477, 2009.
- [23] Tonetti J., Larcher A., Luengo V., Ceaux E., Vadcard L., Dubois M., A simulator for learning percutaneous orthopaedic surgery. *Computer Assisted Orthopaedic Surgery*, CAOS 2010.
- [24] 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.
- [25] Vadcard L., Luengo V., Embedding knowledge in the design of an orthopaedic surgery learning environment, In : *CALIE04, International Conference on Computer Aided Learning in Engineering education*, Grenoble: 16-18 février 2004.
- [26] Vadcard L., Luengo V., Réduire l'Ecart entre Formations Théorique et Pratique en Chirurgie : Conception d'un EIAH.
- [27] Vadcard L., Dubois M., Tonetti J., Luengo, Transmission de l'expérience en chirurgie percutanée : analyse cognitive et conception d'outils de formation. *1er colloque international de l'association Recherches et Pratiques en Didactique Professionnelle DidaPro*, 2, 3 et 4 décembre 2009, Dijon – France