

S'ORIENTE-T-ON VERS UNE MODÉLISATION DES COMPÉTENCES CHIRURGICALES ?

La salle d'opération est un « écosystème » centré sur le patient, qui est doté d'outils grâce auxquels plusieurs spécialistes interagissent et collaborent afin de délivrer une thérapie appropriée dans les meilleures conditions.

Désormais, l'amélioration de la qualité chirurgicale passe obligatoirement par l'assistance par ordinateur.

Dans cet article, sont présentés certains résultats de projets de recherche visant à modéliser les compétences chirurgicales, notamment la modélisation des connaissances procédurales.

Par **Pierre JANNIN** *

LES ENJEUX

Selon la Haute Autorité de Santé, plus de six millions d'interventions chirurgicales sont pratiquées en France chaque année. La qualité de leur réalisation impacte considérablement la qualité, et même, pour certaines, la durée de vie des patients.

Mais qu'est-ce que la qualité chirurgicale ? La littérature médicale a souligné que la qualité de la prise en charge chirurgicale ne dépendait qu'à 25 % de la dextérité du chirurgien. Les 75 % restants s'appuyant sur les compétences non techniques du chirurgien

(SPENCER, 1978 ; HALL, ELLIS et *al.*, 2003 ; KOHLGATZOULIS, REGEHR et *al.*, 2004).

Pour aider cette prise en charge ainsi que l'apprentissage médico-chirurgical, les progrès récents dans le domaine des technologies de l'information ont permis le développement d'outils de chirurgie assistée par ordinateur (CLEARY et PETERS, 2010).

La salle d'opération, en particulier, a subi d'importantes transformations et est devenue un environnement très complexe et hautement technologique.

La chirurgie assistée par ordinateur joue désormais un rôle essentiel dans le processus chirurgical. Ainsi, par exemple, lors de la planification chirurgicale, les systèmes de chirurgie guidée par l'image permettent d'assister la préparation et la réalisation du geste chirurgical à partir d'imagerie multimodale. Pendant l'opération, ces systèmes fournissent visuellement la

* Inserm UMR1099 - Université de Rennes 1, LTSI - Équipe Mediciis.

localisation d'informations pré ou intra-opératoires relatives au patient, en lien direct avec le champ opératoire. Cette première génération de systèmes a principalement été axée sur l'aspect Imagerie.

La salle d'opération est un « écosystème » centré sur le patient, qui est doté d'outils grâce auxquels plusieurs spécialistes interagissent et collaborent afin de délivrer une thérapie appropriée dans les meilleures conditions. Il en découle une variabilité dans la prise en charge chirurgicale ou interventionnelle d'un patient. Cette variabilité est multifactorielle et dépend du patient, du type de procédure à réaliser et de l'équipe médico-chirurgicale (les intervenants, leur expertise individuelle et collective en matière de prise de décision et d'action).

Les études sur les processus décisionnels en chirurgie et sur les compétences mises en jeu (SPENCER 1978 ; DARZI, DATTA *et al.*, 2001 ; REZNICK et MACRAE, 2006 ; YULE, FLIN *et al.*, 2006) distinguent les compétences techniques des compétences non techniques. Les compétences techniques incluent la dextérité, les perceptions visuelles et haptiques, ainsi que les connaissances conceptuelles (dont les connaissances sur le domaine de travail).

Les compétences non techniques incluent, quant à elles, les connaissances procédurales (MCCORMICK, 1997) et les compétences cognitives intra- et interpersonnelles (YULE, FLIN *et al.*, 2006).

Les compétences intra-personnelles incluent la conscience de la situation, l'anticipation des risques et les processus décisionnels pré ou intra-opératoires.

Les compétences non techniques interpersonnelles (comme la communication d'équipe et le *leadership*) sont, quant à elles, considérées comme une source possible d'erreurs pouvant avoir parfois des conséquences graves.

L'amélioration de la qualité chirurgicale passe obligatoirement par une assistance par ordinateur, qui devra prendre en compte tous les aspects liés à cet écosystème et qui apportera une assistance dans les différentes compétences chirurgicales mises en jeu.

Une approche méthodologique pour mettre en place des outils d'assistance consiste en : a) l'étude des différentes compétences (en conditions de simulation et en conditions cliniques), b) la proposition de méthodes permettant de modéliser et d'évaluer ces compétences à partir des données acquises lors des études, enfin c) l'implémentation des modèles et des méthodes dans des systèmes d'évaluation et d'optimisation de la qualité chirurgicale.

Dans cet article, nous nous focaliserons sur les compétences non techniques. Nous présenterons certains résultats des projets de recherche visant à modéliser les compétences chirurgicales tant pour l'assistance que pour l'évaluation chirurgicales. Nous aborderons plus particulièrement la modélisation des connaissances procédurales (un domaine qui a fait l'objet de nombreux travaux récents). Nous identifierons ensuite

quelques travaux récents abordant les autres aspects des compétences non techniques.

LES COMPÉTENCES PROCÉDURALES

Il a été souligné que l'assistance par ordinateur peut différer en fonction de la tâche chirurgicale à réaliser. Permettre une assistance optimale en fonction du contexte chirurgical courant est une des motivations de la modélisation des procédures chirurgicales.

Ces dernières années, il a été proposé le concept de modélisation des processus chirurgicaux (JANNIN, RAIMBAULT *et al.*, 2001 ; JANNIN et MORANDI, 2007 ; NEUMUTH, JANNIN *et al.*, 2009 ; LALYS et JANNIN, 2013). Ce concept s'appuie sur la connaissance du processus ou du scénario suivi par le chirurgien en salle d'opération. Le modèle de processus chirurgical correspond à une description formelle de l'intervention chirurgicale générique ou spécifique au patient. Ces modèles abordent les aspects comportementaux, anatomiques et pathologiques, et intègrent l'information sur les instruments chirurgicaux utilisés. Ils représentent de façon séquentielle et parallèle la procédure chirurgicale. Cette capacité d'identifier les activités, les étapes ou les phases chirurgicales en cours tout en ayant la possibilité de s'appuyer sur un modèle formel constitue un outil puissant pour faciliter le processus de prise de décision, ainsi que l'enseignement et l'évaluation chirurgicale.

La modélisation des procédures chirurgicales peut être réalisée selon différents niveaux de granularité allant d'une description très globale, en quelques mots, de l'objectif de la chirurgie jusqu'à la description des principales phases ou étapes chirurgicales ou à celle des actions physiques réalisées par le chirurgien (LALYS et JANNIN, 2013).

La procédure chirurgicale peut être décrite avec différents niveaux de précision : temps opératoire, phases, étapes, activités..., le temps opératoire étant composé de phases, les phases d'étapes et les étapes d'activités. *Par exemple, une phase d'ouverture, en chirurgie crânienne, inclut des étapes d'incision cutanée, d'ouverture de la boîte crânienne, puis d'ouverture de la dure-mère. L'étape d'incision cutanée peut être décomposée en une liste d'activités décrivant la suite des actions physiques réalisées par le chirurgien. Chaque action est décrite par un ensemble de termes : un verbe décrivant l'action physique, l'instrument chirurgical utilisé, la structure anatomique sur laquelle porte l'action, la main effectuant le geste, les temps de début et de fin de l'action.*

Ces modèles de procédures, comme toute approche de modélisation de connaissances, peuvent être construits à partir de connaissances génériques exprimées par la littérature ou par des interviews d'experts (ou de comités d'experts). La motivation opérationnelle de ces modèles a aussi motivé le développement

de méthodes s'appuyant sur des observations de cas cliniques (voir les Figures 1 ci-dessous et 3 de la page suivante).

L'avantage principal de cette approche réside dans sa nature objective et quantitative.

Son inconvénient principal est son coût, avec la nécessité de disposer d'observateurs présents en salle d'opération et attentifs à toute activité, et ce pendant toute la durée de la procédure à modéliser. Pour remédier à cela, des approches sont étudiées pour une reconnaissance automatique des activités par des capteurs installés dans les salles d'opération (LIN, SHAFRAN *et al.*, 2006 ; BOUARFA, JONKER *et al.*, 2011 ; LALYS, RIFFAUD *et al.*, 2012 ; PADOY, BLUM *et al.*, 2012).

Une autre limite commune aux approches observationnelles réside dans le fait que le modèle se cantonne

aux seules données observées. En effet, dans tous les cas, la création du modèle s'appuie sur une représentation formelle (pour remédier à cela, de nombreuses équipes étudient actuellement l'intérêt de la réalisation d'ontologies).

L'on distingue communément deux types de modèles : a) les modèles individuels (ou patient-spécifiques), qui décrivent une procédure chirurgicale planifiée ou réalisée pour un patient donné, et b) les modèles génériques, qui agrègent les modèles individuels constitutifs d'une population homogène de cas chirurgicaux (voir la Figure 2 de la page suivante).

En plus des méthodes de reconnaissance automatique, la méthodologie de modélisation des processus chirurgicaux nécessite le développement de nombreuses méthodes, comme le calcul de distances entre

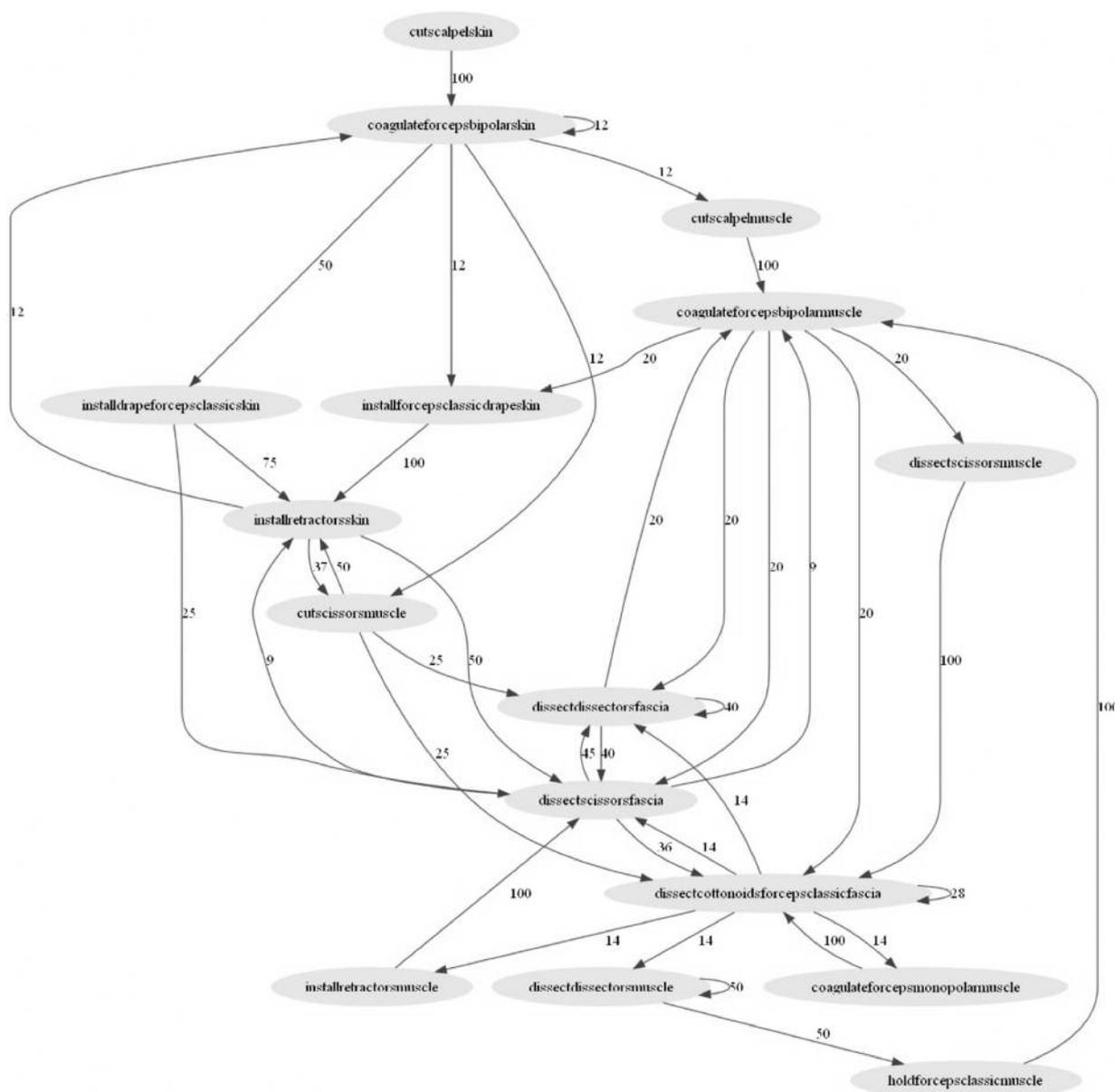


Figure 1 : Logiciel d'acquisition des descriptions des procédures chirurgicales.



Figure 2 : Arbre probabiliste construit par concaténation de 12 descriptions de procédures du rachis. Phase d'ouverture. Arbre pouvant servir de scénario réaliste pour des simulateurs médico-chirurgicaux.



Figure 3 : Visualisation par codage (de couleurs) d'une procédure chirurgicale et des différentes activités physiques réalisées.

modèles, l'agrégation de modèles individuels au sein de modèles génériques ou encore la visualisation des modèles (NEUMUTH, JANNIN et *al.*, 2011 ; FORESTIER, LALYS et *al.*, 2012 ; NEUMUTH, LOEBE et *al.*, 2012). Comme il a été souligné, les modèles manipulés sont complexes. Ils sont multi-échelles et fortement séquentiels. Ils représentent des processus fortement variables selon les patients, selon les chirurgiens, selon les équipes, voire selon les systèmes de santé. Le vocabulaire manipulé est riche, avec un fort contenu sémantique, qu'il faut savoir gérer. Cette complexité pose des problèmes méthodologiques particuliers non encore résolus.

À ce jour, l'intérêt de la méthodologie de modélisation des processus chirurgicaux est encore à démontrer, cette méthodologie étant très récente et n'ayant pas encore été déployée à grande échelle. Néanmoins, certaines applications commencent à être étudiées, comme :

- L'utilisation de modèles chirurgicaux ayant fait l'objet du plus grand nombre de publications à ce jour est celle qui vise l'évaluation de l'impact d'un système ou d'un nouvel instrument chirurgical, par exemple sur la procédure, en termes de temps et de nombre d'activités chirurgicales (GENTRIC, JANNIN et *al.*, 2013).

– Ces modèles servent aussi de supports pour étudier les compétences procédurales. En comparant des modèles entre des ensembles de chirurgiens, il est possible d'identifier des différences de pratique chirurgicale entre individus, entre différents niveaux d'expertise (RIFFAUD, NEUMUTH *et al.*, 2010 ; GENTRIC, TRELHU *et al.*, 2013) ou entre différents sites chirurgicaux (FORESTIER, LALYS *et al.*, 2013).

– Logiquement, on peut supposer que les modèles peuvent apporter une aide à la formation initiale comme continue des chirurgiens.

– Les modèles semblent apporter une aide intéressante à la gestion des blocs opératoires, que ce soit pour estimer le temps opératoire restant ou pour anticiper les instruments chirurgicaux qui seront utilisés (FRANKE, MEIXENSBERGER *et al.*, 2013).

– La reconnaissance automatique des activités chirurgicales peut permettre d'optimiser l'assistance informatisée au chirurgien en fonction du contexte courant (par exemple, en adaptant les informations rendues disponibles).

– La reconnaissance automatique des activités chirurgicales peut aussi permettre une génération automatique des comptes rendus postopératoires.

La plupart des études existantes ont été réalisées dans les contextes de la neurochirurgie ou de la chirurgie endoscopique, qui sont les applications les plus concernées par la chirurgie assistée par ordinateur. Les procédures laparoscopiques sont aussi plus faciles à étudier de par leur faible variabilité inter-patient et de l'abondance de données vidéo.

Un autre élément de complexité est la validation des modèles, qui nécessite aujourd'hui l'intervention des cliniciens. Des méthodes quantitatives et automatiques doivent encore être développées.

La méthodologie de modélisation des processus chirurgicaux doit être vue par les cliniciens comme un support à la compétence et comme un puissant outil d'enseignement et d'amélioration, plutôt que comme l'outil d'une surveillance malsaine permettant d'analyser et, éventuellement, de critiquer leur pratique. Sans une compréhension claire de la valeur ajoutée potentielle de la méthodologie par les cliniciens, sans une prise de conscience éthique solide et sans un contrôle de l'utilisation de ces données, ceux-ci ne l'accepteront que difficilement.

LES COMPÉTENCES COGNITIVES INTRAPERSONNELLES ET INTERPERSONNELLES

Les compétences cognitives intra et interpersonnelles ont été identifiées comme cruciales pour la bonne réalisation de la procédure chirurgicale. Néanmoins, peu font l'objet d'études détaillées et quantitatives et peu ont été modélisées dans un contexte d'assistance par ordinateur pour l'amélioration de la qualité chirurgicale.

Les compétences intrapersonnelles incluent la conscience de la situation, l'évaluation et l'anticipation des risques, et les processus décisionnels préopératoires ou intra-opératoires (YULE, FLIN *et al.*, 2006).

Pour étudier la conscience de la situation, nous nous sommes appuyés sur les méthodes d'ingénierie cognitive et sur la notion de hiérarchie d'abstraction (RASMUSSEN, 1986 ; RASMUSSEN, 1993). Pour une population de neuf neurochirurgiens aux expertises différentes et pour des cas chirurgicaux de complexité croissante, nous avons montré des *patterns* différents dans l'anticipation des risques et dans les stratégies suivies pour la résolution de ces risques (MORINEAU, MORANDI *et al.*, 2009). Nous avons aussi proposé un outil pour évaluer la complétude de l'appréhension du domaine du travail à partir d'imagerie médicale (MORINEAU, MORANDI *et al.*, 2013). Nous avons montré là aussi que cette appréhension différait en fonction de l'expertise chirurgicale.

Nous avons aussi montré que les modes de visualisation permettant la meilleure complétude différaient en fonction du niveau d'expertise. Ces études soulignent un peu plus le besoin d'adapter l'assistance des systèmes de chirurgie assistée par ordinateur au niveau d'expertise du chirurgien.

Les compétences non techniques interpersonnelles incluent la communication d'équipe, le *leadership*, le travail et la gestion d'équipe. Nous avons développé un outil permettant l'évaluation de ces compétences en étudiant des marqueurs comportementaux. Nous avons évalué cet outil en codant, grâce à cette grille, les échanges verbaux entre le neurochirurgien et le personnel en salle d'opération pendant cinq opérations de stimulation cérébrale profonde réalisées par la même neurochirurgienne. Nous avons montré des *patterns* différents selon la phase chirurgicale et selon le métier du personnel source ou cible de l'échange verbal. Cette grille devrait être utilisée pour la comparaison entre des chirurgiens présentant des niveaux d'expertise différents dans des cas chirurgicaux de différents niveaux de complexité issus de différents départements chirurgicaux.

La limite principale des approches présentées pour l'étude des compétences cognitives intra et interpersonnelles réside dans la lourdeur de l'acquisition et de l'analyse des données. Cela limite considérablement tant leur diffusion que la réalisation d'études à une plus large échelle.

CONCLUSION

L'étude et la modélisation des compétences chirurgicales semblent être une approche prometteuse pour une assistance optimale apportée par l'ordinateur lors de la préparation et de la réalisation d'une intervention ou lors de l'évaluation chirurgicale. Cette approche pourrait permettre non seulement de réduire le nombre des erreurs médicales, mais aussi de

développer des outils de simulation chirurgicale pour l'enseignement et l'évaluation. Néanmoins, il reste des barrières à ce développement : des barrières technologiques, mais aussi des barrières éthiques. Ces modèles doivent encore être validés en profondeur. Ils doivent aussi rester de simples supports à une évaluation aux finalités formatrices et non sanctionnantes.

BIBLIOGRAPHIE

- BOUARFA (L.), JONKER (P. P.) & *al.*, "Discovery of high-level tasks in the operating room", *Journal of Biomedical Informatics*, Inform 44(3), pp. 455-462, 2011.
- CLEARY (K.) & PETERS (T. M.), "Image-guided interventions: Technology review and clinical applications", *Annual Review of Biomedical Engineering in Medicine and Biology Society*, 12, pp. 119-142, 2010.
- DARZI (A.), DATTA (V.) & *al.*, "The challenge of objective assessment of surgical skill", *The American Journal of Surgery*, 181(6), pp. 484-486, 2001.
- FORESTIER (G.), LALYS (F.) & *al.*, "Multi-site study of surgical practice in neurosurgery based on surgical process models", *Journal of Biomedical Informatics*, Inform 46(5), pp. 822-829, 2013.
- FORESTIER (G.), LALYS (F.) & *al.*, "Classification of surgical processes using dynamic time warping", *Journal of Biomedical Informatics*, Inform 45(2), pp. 255-264, 2012.
- GENTRIC (J.-C.), JANNIN (P.) & *al.*, "Effects of low dose protocols in endovascular treatment for intracranial aneurysms: Development of Workflow Task Analysis during Cerebral Endovascular Procedures", *American Journal of Roentgenology*, 2013.
- GENTRIC (J.-C.), TRELHU (B.) & *al.*, "Development Of Workflow Task Analysis during Cerebral Diagnostic Angiographies. Time-Based Comparison of Junior and Senior Tasks", *Journal of Neuroradiology*, 2013.
- HALL (J.), ELLIS (C.) & *al.*, "Surgeons and cognitive processes", *British Journal of Surgery*, 90(1), pp. 10-16, 2003.
- JANNIN (P.) & MORANDI (X.), "Surgical models for computer-assisted neurosurgery", *Neuroimage*, 37(3), pp. 783-791, 2007.
- JANNIN (P.), RAIMBAULT (M.) & *al.*, *Modeling Surgical Procedures for Multimodal Image-Guided Neurosurgery*, MICCAI, Utrecht (The Netherlands), Springer, 2001.
- KOHLGATZOUSIS (J.), REGEHR (G.) & *al.*, "Teaching cognitive skills improves learning in surgical skills courses: a blinded, prospective, randomized study", *Canadian Journal of Surgery*, 47(4), pp. 277-283, 2004.
- LALYS (F.) & JANNIN (P.), "Surgical process modelling: a review", *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 2013.
- LALYS (F.), RIFFAUD (L.) & *al.*, "A framework for the recognition of high-level surgical tasks from video images for cataract surgeries", *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 59(4), pp. 966-976, 2012.
- LIN (H. C.), SHAFRAN (I.) & *al.*, "Towards automatic skill evaluation: detection and segmentation of robot-assisted surgical motions", *Journal of Computer Aided Surgery*, 11(5), pp. 220-230, 2006.
- Mc CORMICK (R.), "Conceptual and Procedural Knowledge", *International Journal of Technology and Design Education*, 7(1), pp. 141-159, 1997.
- MORINEAU (T.), MORANDI (X.) & *al.*, "Decision making during preoperative surgical planning", *Human Factors*, 51(1), pp. 67-77, 2009.
- MORINEAU (T.), MORANDI (X.) & *al.*, "A cognitive engineering framework for the specification of information requirements in medical imaging: application in image-guided neurosurgery", *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 8(2), pp. 291-300, 2013.
- NEUMUTH (T.), JANNIN (P.) & *al.*, "Analysis of surgical intervention populations using generic surgical process models", *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 6(1), pp. 59-71, 2011.
- NEUMUTH (T.), JANNIN (P.) & *al.*, "Validation of knowledge acquisition for surgical process models", *Journal of the American Medical Informatics Association*, 16(1), pp. 72-80, 2009.
- NEUMUTH (T.), LOEBE (F.) & *al.*, "Similarity metrics for surgical process models", *Artificial Intelligence in Medicine*, 54(1), pp. 15-27, 2012.
- PADOY (N.), BLUM (T.) & *al.*, "Statistical modeling and recognition of surgical workflow", *Medical Image Analysis*, 16(3), pp. 632-641, 2012.
- RASMUSSEN (J.), *Information processing and human-machine interaction. An approach to cognitive engineering*, NY, North-Holland, 1986.
- RASMUSSEN (J.), "Skills, rules and knowledge ; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 13(3), pp. 257-266, 1993.
- REZNICK (R. K.) & MAC RAE (H.), "Teaching surgical skills-changes in the wind", *The New England Journal of Medicine (NEJM)*, 355(25), pp. 2664-2669, 2006.
- RIFFAUD (L.), NEUMUTH (T.) & *al.*, "Recording of surgical processes: a study comparing senior and junior neurosurgeons during lumbar disc herniation surgery", *Neurosurgery*, 67 (2 Suppl Operative), pp. 325-332, 2010.
- SPENCER (F.), "Teaching and measuring surgical techniques: the technical evaluation of competence", *Bulletin of the American College of Surgeons (Bull Am Coll Surg)*, (64), pp. 9-12, 1978.
- YULE (S.), FLIN (R.) & *al.*, "Non-technical skills for surgeons in the operating room: a review of the literature", *Surgery*, 139(2), pp. 140-149, 2006.