



# INSTITUT DES SYSTEMÈS INTELLIGENTS ET DE ROBOTIQUE\*

## OFFRE DE THESE

**Sujet : « Vers un placement automatisé des vis pédiculaires en chirurgie rachidienne grâce à l'apport de la robotique et de la commande multimodale »**

- **Directeur de thèse : Brahim Tamadazte**
- **Co-direction éventuelle : Raphaël Vialle**
- **Laboratoire d'accueil : ISIR (Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique),** Campus Pierre et Marie Curie, 4 place Jussieu, 75005 Paris.
- **Contact : Brahim Tamadazte, Chargé de Recherche, [tamadazte@isir.upmc.fr](mailto:tamadazte@isir.upmc.fr) ;** Envoyer votre candidature par mail, avec [Thèse : Vers un placement automatisé des vis pédiculaires en chirurgie rachidienne grâce à l'apport de la robotique et de la commande multimodale] en objet, un CV et une lettre de motivation.

### Contexte

Les pathologies du rachis sont nombreuses et peuvent être classées en quatre grands groupes : dégénératives (ex. hernies discales, canal lombaire étroit), traumatiques (ex. luxation et fractures), les déformations rachidiennes (Scolioses et Cyphoses) et les lésions tumorales primitives ou secondaires. Ces pathologies peuvent entraîner un retentissement fonctionnel important (douleurs) voire un handicap lourd pouvant aller jusqu'à la paralysie des membres (paraplégie ou tétraplégie). Certaines pathologies sont du ressort d'un traitement conservateur (médicaments et rééducation) mais, pour les cas graves, une intervention chirurgicale peut être nécessaire. Le nombre d'interventions de chirurgie du rachis augmente de façon régulière, tant pour les cas liés à la traumatologie (Kumar, 2018) que pour les indications de chirurgie dégénérative en raison du vieillissement de la population (Ravindra, 2018). Cette augmentation de l'activité crée un besoin d'innovations qui passera par l'introduction de nouvelles technologies au bloc opératoire.

Parmi les enjeux principaux de la chirurgie du rachis figurent la sécurité et la précision. En effet, des vis pédiculaires mal positionnées, peuvent entraîner une lésion osseuse ou discale qui menacent alors la stabilité de la fixation chirurgicale. Plus rarement, la lésion peut être vasculaire ou nerveuse avec un risque de complication neurologiques, voire vitales.

Les avancées dans l'utilisation de l'imagerie pré-opératoire et per-opératoire couplée aux systèmes de navigation tridimensionnelle ont permis d'améliorer de manière notable le protocole chirurgical. En effet, certains gestes courants de la chirurgie du rachis comme la mise en place des vis pédiculaires nécessitent davantage d'innovations scientifiques et technologiques. Le placement des vis pédiculaires peut être rendu plus difficile, en particulier chez les patients présentant une déformation sévère de la colonne vertébrale (comme la scoliose), l'ostéoporose ou une tumeur. La littérature rapporte qu'environ 20% des vis pédiculaires sont mal positionnées (Mason, 2014), impliquant à moyen terme des symptômes neurologiques qui peuvent souvent amener à une seconde chirurgie avec tous les

---

\*L'Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique (Isir) est une Unité Mixte de Recherche (UMR7222) sous tutelle de [Sorbonne Université](#), du [CNRS](#) et de l'[Inserm](#) (ERL-U1150). Ce laboratoire de recherche pluridisciplinaire rassemble des chercheurs.euse.s et enseignant.e.s-chercheur.euse.s relevant de différentes disciplines des Sciences de l'Ingénieur et de l'Information ainsi que des Sciences du Vivant.

risques et le coût que cela implique (Verma, 2018). C'est dans ce contexte que les robots ont fait leur entrée en salle d'opération depuis plusieurs années.

Actuellement, ces robots servent à matérialiser le guidage calculé par un système de navigation.

Ainsi, plutôt que de faire figurer l'axe de perçage planifié dans une image 3D recalée, un guide de perçage physique est placé dans l'environnement chirurgical, en regard de la vertèbre, par le robot. Le geste reste manuel, guidé par le robot, sous contrôle du chirurgien.

Ces dispositifs, dont les principes furent introduits pour la première fois il y a presque 30 ans (Lavalée, 1992), dès les balbutiements de la robotique chirurgicale, souffrent des mêmes limitations que celles des systèmes de navigation :

- l'installation est longue et fastidieuse et la durée de l'opération s'en trouve augmentée ;
- le recalage se fait la plupart du temps au moyen d'une imagerie dosante par rayon X,
- les images ne permettent pas de représenter finement l'anatomie (densité osseuse, structures invisibles, résolution),
- les erreurs géométriques des capteurs du robot, des systèmes de tracking, de l'imagerie et de la déformation des instruments se cumulent pour aboutir à des erreurs de positionnement importantes,
- le geste en lui-même induit des déformations en temps-réel qui mettent à mal le recalage.

Pour toutes ces raisons, la précision des systèmes robotiques n'est pas significativement meilleure que le placement manuel navigué (Yu, 2018).

Dans ce contexte, ce projet de recherche doctorale vise à améliorer sensiblement le placement des vis pédiculaires à l'aide de solutions robotiques, grâce à l'intégration d'instruments chirurgicaux dotés de capteurs, d'algorithmes de traitement des données multimodales en temps-réel et de schémas de commande robotique intégrant ces données.

## Objectif scientifique

Notre objectif est de sortir du paradigme de la robotique chirurgicale semi-autonome dominant depuis 30 ans la robotisation de la chirurgie orthopédique et reposant sur le triptyque imagerie (dosante) – planification – recalage. Pour cela, il faut être capable, à partir d'une configuration géométrique et d'un plan initial, d'adapter en temps réel le comportement du robot : vitesses, forces, impédances, etc. Nous évaluerons la possibilité d'intégrer différents capteurs locaux : visuels, d'efforts, d'impédance électrique (technologie DSG de SpineGuard). Avec l'ensemble de ces signaux, notre objectif est d'apprendre à détecter des événements imposant des changements ou des adaptations de comportement (trajectoire inadaptée imposant de modifier la direction d'insertion).

Les objectifs scientifiques se situent donc :

- dans le traitement de signaux multi-physiques et leur fusion, par des moyens de l'Intelligence Artificielle, pour détecter des ruptures de modèle. Par exemple, nous envisageons de fusionner le signal d'impédance électrique et une estimation de l'impédance mécanique pour déterminer la nature du tissu (os spongieux, corticale),

---

*\*L'Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique (Isir) est une Unité Mixte de Recherche (UMR7222) sous tutelle de [Sorbonne Université](#), du [CNRS](#) et de l'[Inserm](#) (ERL-U1150). Ce laboratoire de recherche pluridisciplinaire rassemble des chercheur.euse.s et enseignant.e.s-chercheur.euse.s relevant de différentes disciplines des Sciences de l'Ingénieur et de l'Information ainsi que des Sciences du Vivant.*

- dans la programmation de comportements réactifs du robot adaptés à ces signaux et à l'interaction mécanique avec le chirurgien et avec les tissus. Par exemple, nous envisageons de programmer une impédance adaptative qui permettra un pré-positionnement manuel précis de la pointe de l'instrument tout en réglant finement l'orientation de l'axe de pénétration. Nous essaierons aussi de travailler sur la réalisation d'un perçage précis de pièces mobiles, comme le sont les vertèbres. Il s'agira, grâce à des modèles et des capteurs, d'estimer les déformations et mobilités en temps réel pour adapter le comportement (force / vitesse / impédance) et améliorer la précision.

Par ailleurs, nous concevrons simultanément le système robotique, composé d'un ou deux bras Kuka (à disposition à l'ISIR) et le processus chirurgical associé. C'est sur ce point crucial que l'interaction entre les deux équipes de recherche est cruciale. Il s'agit de concevoir un scénario qui minimise le temps d'installation et maximise le service médical rendu. La conception des interfaces de pilotage et de dialogue est un point critique que nous pourrions aborder en nous appuyant sur l'expertise en Interface Homme-Machine (IHM) de collègues de l'ISIR.

### **Adéquation à l'institut Universitaire d'Ingénierie en Santé (IUIS)**

L'équipe encadrante sera constituée de Brahim Tamadazte (CR-HdR, CNRS, ISIR) et de Raphaël Vialle (PUPH, Chirurgien orthopédiste, APHP, Institut Univ. de Chirurgie du Rachis, IUCR, Hôpital Trousseau). Le cadre plus global de ce travail inclue un partenariat industriel (thèse CIFRE dirigée par Guillaume Morel et qui se termine en 2021) avec l'entreprise SpineGuard ([www.spineguard.com](http://www.spineguard.com)) qui développe des instruments innovants pour la chirurgie rachidienne. Un brevet a déjà été délivré, deux autres sont en cours de dépôt, ce qui sécurise la faisabilité d'un transfert des résultats vers la pratique clinique. Un projet EU H2020 - FAROS, reprend une partie de ces thèmes mais l'équipe clinique de ce projet est Suisse et les interactions sont plus complexes.

La présente thèse a pour objectif d'impliquer l'équipe chirurgicale du Prof. VIALLE dans ce vaste projet et ainsi de pouvoir faire jouer à plein les complémentarités d'expertise ingénierie – chirurgie au sein de Sorbonne Université, dans une boucle rapide.

Le rapprochement a été entrepris dès cette année, avec le recrutement à l'ISIR, grâce au soutien du Labex CAMI, d'un chirurgien orthopédiste de l'équipe du Pr. Vialle, le Dr Elie Saghbiny. Ce travail permet de collecter des données au bloc, qui seront très précieuses pour la conception des algorithmes d'IA de caractérisation des tissus.

Il est envisagé, au cours de la thèse, de recruter un autre interne qui pourra travailler en binôme avec le doctorant pour maximiser l'impact des recherches sur le plan clinique grâce à une approche réaliste de l'application. Ce modèle a déjà été pratiqué par l'ISIR et ses partenaires cliniques depuis de nombreuses années et il a largement fait les preuves de sa capacité translationnelle (les sociétés Endocontrol, Koelis, GEMA, Base Camp Vascular, Moon Surgical, GE Healthcare commercialisent ou sont en voie de le faire des dispositifs médicaux issus de ce modèle de recherche à l'ISIR).

[Kumar, 2018] Kumar R, et al., Traumatic Spinal Injury: Global Epidemiology and Worldwide Volume. *World Neurosurg.* 2018 May;113:e345-e363.

---

*\*L'Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique (Isir) est une Unité Mixte de Recherche (UMR7222) sous tutelle de [Sorbonne Université](#), du [CNRS](#) et de [l'Inserm](#) (ERL-U1150). Ce laboratoire de recherche pluridisciplinaire rassemble des chercheurs et enseignants-chercheurs relevant de différentes disciplines des Sciences de l'Ingénieur et de l'Information ainsi que des Sciences du Vivant.*



[Ravindra, 2018] Ravindra VM, et al. Degenerative Lumbar Spine Disease: Estimating Global Incidence and Worldwide Volume. *Global Spine J.* 2018 Dec;8(8):784-794.

[Mason, 2014] Mason A et al. *J Neurosurg Spine.* 2014 Feb;20(2):196-203.

[Verma, 2018] Verma SK, et al. O-arm with navigation versus C-arm: a review of screw placement over 3 years at a major trauma center. *Br J Neurosurg.* 2016 Dec;30(6):658-661,2016.

[Lavallee, 1992] S Lavallee, et al., D Hoffmann, Image guided operating robot: a clinical application in stereotactic neurosurgery, *IEEE Int. Conference on Robotics and Automation.*

[Yu, 2018] L. Yu, et al., "Robot-assisted vs freehand pedicle screw fixation in spine surgery - a systematic review and a meta-analysis of comparative studies," *The Int. J. of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery*, vol. 14, no. 3. p. e1892, 2018

[Floyd, 2020] Floyd, E., et al. "A review of preoperative planning technologies for spinal deformity correction." *Seminars in Spine Surgery.* Vol. 32. No. 2. WB Saunders, 2020.

[Edström, 2020] Edström, E., et al. (2020). A novel augmented-reality-based surgical navigation system for spine surgery in a hybrid operating room: design, workflow, and clinical applications. *Operative Neurosurgery*, 18(5), 496-502.

[Naddeo, 2017] Naddeo F, et al. An automatic and patient-specific algorithm to design the optimal insertion direction of pedicle screws for spine surgery templates. *Med Biol Eng Comput.* 2017.

---

*\*L'Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique (Isir) est une Unité Mixte de Recherche (UMR7222) sous tutelle de [Sorbonne Université](#), du [CNRS](#) et de l'[Inserm](#) (ERL-U1150). Ce laboratoire de recherche pluridisciplinaire rassemble des chercheurs et enseignants-chercheurs relevant de différentes disciplines des Sciences de l'Ingénieur et de l'Information ainsi que des Sciences du Vivant.*