

**Lieu de la thèse :** ICUBE, Strasbourg & LIRMM, Montpellier

**Encadrants /Co-encadrants :** Florent Nageotte, Maître de conférences, ICube, [Nageotte@unistra.fr](mailto:Nageotte@unistra.fr)  
Nabil Zemiti, Maître de conférences, LIRMM, [nabil.zemiti@lirmm.fr](mailto:nabil.zemiti@lirmm.fr)

**Directeur de thèse :** Bernard Bayle, Professeur, ICube, [bernard.bayle@unistra.fr](mailto:bernard.bayle@unistra.fr)

**Démarrage de la thèse :** automne 2019

## 1. Le contexte CAMI

Les interventions médicales ont encore une marge de progrès très significative en termes de planification personnalisée et de réalisation optimale. Pour répondre aux exigences du patient au niveau de la qualité, les opérateurs seniors veulent voir au-delà de l'immédiatement visible, être assistés dans leur prise de décisions vitales en temps réel, et accéder à une dextérité augmentée. Les opérateurs juniors demandent eux à « apprendre à voler » avant d'être laissés seuls, tandis que les autorités de Santé Publique et les industriels demandent la démonstration du service médical rendu par les innovations.

La vision stratégique du LABEX Computer Assisted Medical Interventions (CAMI) est qu'une approche intégrée des interventions médicales résultera en percées en termes de qualité des interventions médicales, observable en pratique par le service médical rendu et par le degré de pénétration de la technologie CAMI dans la pratique clinique de routine. En particulier, le Labex CAMI a pour objectif dans les 5 années à venir de relever 2 challenges : celui du développement des interventions endoluminales et celui d'augmenter le niveau d'autonomie des tâches médicales assistées par robot. Le sujet de thèse proposé ici s'inscrit simultanément dans ces deux challenges.

## 2. Contexte et objectifs

La robotique apporte de nombreux avantages à la chirurgie minimalement invasive. La télémanipulation permet notamment d'améliorer le confort et la précision de positionnement et de déplacement d'instruments chirurgicaux miniatures. Il est aussi envisageable d'augmenter les gestes des utilisateurs en offrant la possibilité de réaliser des tâches ou des parties de tâches de façon automatique. Les procédures automatiques sont largement utilisées en chirurgie orthopédique ou en neuro-chirurgie, domaines pour lesquels la tâche médicale à réaliser peut être précisément définie et planifiée à partir d'image pré-opératoires.

Dans les domaines de la chirurgie de l'appareil digestif ce type d'approche n'est en revanche pas utilisé pour différentes raisons : généralement la tâche médicale n'est que partiellement définie à partir d'images médicales pré-opératoires (par exemple pour une dissection la trajectoire complète du bistouri n'est que grossièrement définie), la

tâche implique des interactions avec des tissus mous qu'il est très difficile de modéliser a priori, le recalage par rapport à des images pré-opératoires est difficile (déformations, changements de positions, etc.).

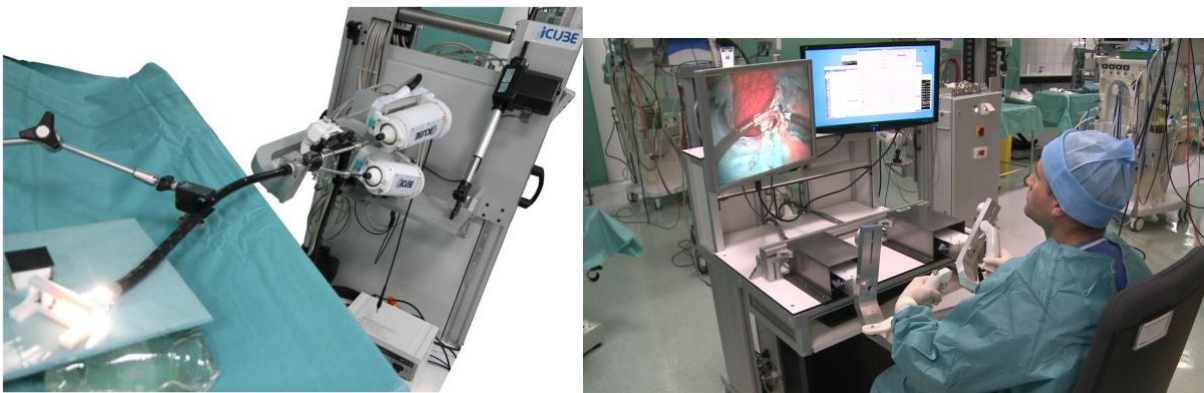
En revanche il est possible d'envisager réaliser des parties de tâches de façon automatique lorsque celles-ci peuvent être définies de façon géométrique à partir de l'imageur per-opératoire (caméra endoscopique). Plusieurs travaux ont été menés dans cette direction [Nageotte09], [Liu16], [Osa18], [Shademan16]. De nombreuses difficultés pratiques persistent néanmoins : erreurs de recalage entre robot et capteur per-opératoire, interactions avec les tissus difficiles à prévoir, erreurs de modèles du système robotique (en particulier dans le domaine des robots continus).

Dans le projet de thèse proposé nous souhaitons étudier la possibilité de réaliser des tâches semi-automatiques mettant en œuvre une collaboration entre l'utilisateur et des modes autonomes ou pré-calculés en développant des modes de commande partagée. En particulier on considérera des schémas où le mouvement est généré de manière autonome et où l'utilisateur utilise sa connaissance de la tâche et de l'environnement pour compléter ou corriger le positionnement du système robotique.

### 3. Sujet détaillé

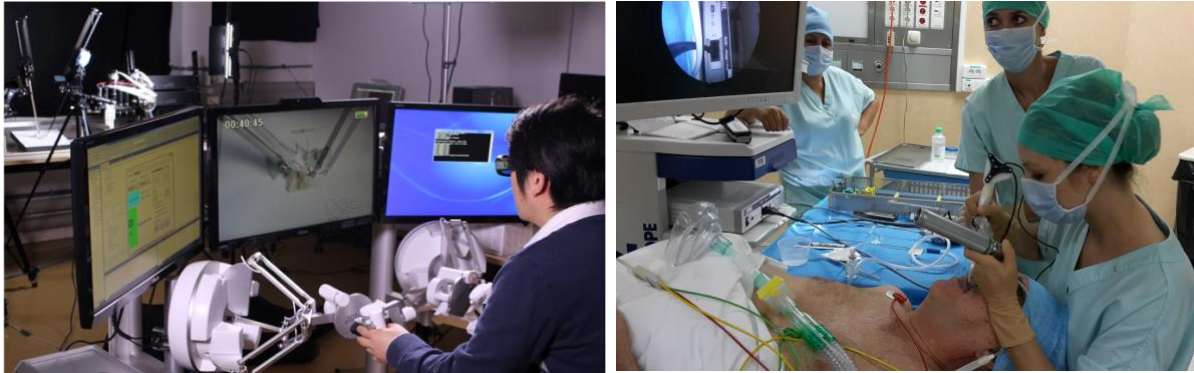
L'objectif du travail de thèse est d'explorer les possibilités de nouveaux modes de collaboration entre système robotique et utilisateur dans le cas de robots médicaux télémanipulés afin de réaliser des tâches partiellement pré-définies.

Une application directe possible concerne la chirurgie endoluminale. Le laboratoire ICube est un centre d'excellence en robotique pour la chirurgie endoluminale et dispose d'un système robotique télémanipulé, STRAS [Zorn18] (voir figure), testé en conditions in vivo et en cours de transfert vers un partenaire industriel.



A gauche : Système robotique STRAS, à droite : télémanipulation pendant des essais in vivo.

Une seconde application directe serait l'assistance robotisée au geste de résection tumorale en chirurgie de la base de langue. Le LIRMM travaille en collaboration avec l'équipe ORL du CHU de Montpellier sur la mise en place d'outils et de méthodes pour la mesure d'élastographie basée effort pour la localisation des marges tumorales par palpation. Ces travaux sont en cours de développement sur la plateforme de téléchirurgie « Raven ».



A gauche : Plateforme de téléchirurgie Raven, à droite : Mesure d'élastographie basée effort au CHU de Montpellier.

Pour ces deux applications, nous souhaitons introduire des modes "intelligents" afin d'augmenter les capacités du robot utilisé. De nombreuses tâches semi-automatiques peuvent être envisagées, comme par exemple le scanning automatique d'une zone afin de localiser des tumeurs. On peut aussi penser à des sutures automatiques avec des degrés de liberté limités [Nageotte09].

Les différents cas qui pourront être considérés pour lesquels des actions correctives de l'utilisateur paraissent utiles sont :

- Le recalage du robot par rapport à la tâche définie dans les images per-opératoires
- Les erreurs de modélisation du système robotique
- Les déformations liées aux interactions avec les tissus
- Les contraintes apparaissant en cours de geste

Les différents aspects que l'on étudiera dans le cadre de cette thèse sont les suivants :

- L'interaction entre l'utilisateur et le système robotique : Plusieurs approches de commande partagée ont été récemment proposées dans le cas de tâches déjà réalisées auparavant [Zeestraten18]. Elles pourront servir de base dans le cas où la tâche a été partiellement pré-définie mais jamais réalisée. Plusieurs cas pourront être envisagés selon que l'interface maître dispose ou non de retour haptique.
- La prise en compte d'incertitudes dans la définition de la tâche à réaliser : Celle-ci sera définie à partir d'une ou deux caméra(s) endoscopique(s). Les erreurs de définition en profondeur seront probablement plus marquées et l'exécution du geste nécessitera probablement des corrections plus importantes dans cette direction.
- L'adaptation du système de commande : Au-delà de la correction directe de la tâche, les corrections de l'utilisateur pourront être utilisées pour déterminer des erreurs de modèles. Un des objectifs est de permettre au système de s'améliorer afin de diminuer au cours du temps le besoin d'actions de l'utilisateur.

## 4. Collaboration

ICUBE apporte son expertise dans l'utilisation et la commande de robots flexibles et en commande de systèmes robotiques. Le système STRAS sera utilisé dans le cadre de la thèse

LIRMM apporte son expertise dans le domaine de la robotique chirurgicale et de la télémanipulation.

## 5. Profil souhaité

Diplôme d'ingénieur ou master en robotique, mécatronique ou en automatique appliquée. Des connaissances en vision par ordinateur pourront être utiles pour la mise en place des systèmes expérimentaux. Le travail comportera un volet expérimental important, un goût pour l'expérimentation et la pratique est donc requis. De bonnes connaissances en programmation sont nécessaires (C / C++).

## 6. Modalités de candidature

Pour candidater les candidats devront envoyer une lettre de motivation, un CV et leurs relevés de notes (niveaux M1 et M2) aux adresses [Nageotte@unistra.fr](mailto:Nageotte@unistra.fr) et [nabil.zemiti@lirmm.fr](mailto:nabil.zemiti@lirmm.fr)

## 7. Bibliographie

[Liu16] Taoming Liu and Murat Cenk Cavusoglu, « Needle Grasp and Entry Port Selection for Automatic Execution of Suturing Tasks in Robotic Minimally Invasive Surgery », IEEE Transactions on Automation Science and Engineering; vol. 13, no. 2, pp. 552-563, April 2016

[Nageotte09] F. Nageotte, P. Zanne, C. Dognon, M. de Mathelin, Stitching Planning in Laparoscopic Surgery : Towards Robot-Assisted Suturing, International Journal of Robotics Research, pages 1303--1321, Volume 28, n° 10, octobre 2009.

[Osa18] Takayuki Osa, Naohiko Sugita and Mamoru Mitsuishi, « Online Trajectory Planning and Force Control for Automation of Surgical Tasks », IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, Volume: 15, Issue: 2, April 2018

[Shademan16] Azad Shademan, Ryan Decker, Justin Opfermann, Peter C. W. Kim, « Supervised autonomous robotic soft tissue surgery », May 2016 Science translational medicine, 8

[Zeestraten18] Martijn J. A. Zeestraten, Ioannis Havoutis, et Sylvain Calinon, « Programming by Demonstration for Shared Control With an Application in Teleoperation », dans IEEE Robotics and Automation Letters, juillet 2018

[Zorn18] L. Zorn, F. Nageotte, P. Zanne, A. Legner, B. Dallemagne, J. Marescaux, M. de Mathelin, « A Novel Telemanipulated Robotic Assistant for Surgical Endoscopy: Preclinical Application to ESD », IEEE Transactions on Biomedical Engineering, pages 797-808, Volume 65, n° 4, avril 2018