

Lieu de la thèse : LIRMM, Montpellier & ICube, Strasbourg

Encadrant /Co-encadrant : Yassine Haddab, professeur, LIRMM, yassine.haddab@umontpellier.fr  
Lennart Rubbert, maître de conférences, ICube, lennart.rubbert@insa-strasbourg.fr

Démarrage de la thèse : octobre 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 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.

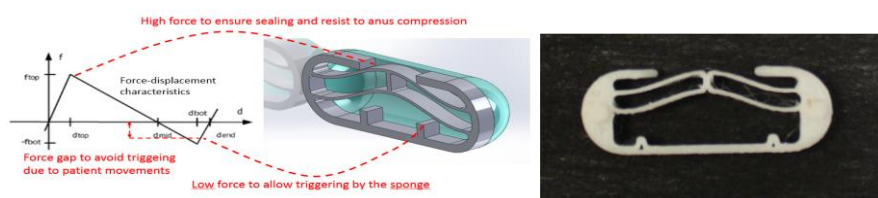
La vision stratégique du LABEX Computer Assisted Medical Interventions (CAMI) est qu'une approche intégrée des interventions médicales résultera en percées en termes de qualité des interventions médicales, observable en pratique par le service médical rendu et par le degré de pénétration de la technologie CAMI dans la pratique clinique de routine.

Le Labex CAMI a pour objectif en particulier dans les 5 années à venir de relever 2 challenges, dont celui du développement des interventions endoluminales. Ce sujet de thèse s'inscrit dans ce challenge.

## 2. Contexte et objectifs

La réalisation de tâches de diagnostic ou de thérapie dans le contexte de la chirurgie endoluminale requiert l'introduction et l'utilisation dans l'organisme humain de dispositifs chirurgicaux. Pour réaliser des interventions non invasives, une approche importante consiste à exploiter des systèmes robotiques introduits par les orifices naturels (NOTES). Ces systèmes, qu'ils soient des endoscopes, des capsules ou cathéters requièrent souvent des dispositifs de commande externes complexes pour maîtriser leur progression et assurer un positionnement précis.

Au sein du Labex CAMI, et plus précisément dans le projet intégré FLEXTER, nous avons mis en évidence l'intérêt de l'utilisation de structures mécaniques particulières que sont les mécanismes bistables pour la réalisation de fonctions comme l'activation et le verrouillage d'une chambre de prélèvement intégrée à une capsule endoscopique. L'objectif était alors de réaliser la collecte d'échantillons du microbiote intestinal (voir figure 1).



**Fig. 1** : prototype de capsule de prélèvement de microbiote intestinal utilisant une structure mécanique bistable (IP FLEXTER - CAMI).

Intégrer des solutions comme les mécanismes bistables dans un système qui doit, par ailleurs, être nécessairement très compact impose d'exploiter des procédés de fabrication spécifiques. La fabrication additive, i.e. l'impression 3D, est apparue très intéressante pour ce faire : il est alors possible de produire des solutions développant des efforts compatibles avec la réalisation de gestes *in situ*, avec des matériaux biocompatibles, et des formes 3D complexes peuvent être obtenues de manière simple, contrairement aux techniques MEMS. La fabrication additive a cependant un impact sur le comportement des mécanismes. Les travaux réalisés dans FLEXTER ont permis d'étudier l'influence de certains paramètres de production intervenant dans la fabrication additive de structures bistables [1-4] et de montrer la faisabilité pour le cas de la capsule de prélèvement.

Dans le travail de thèse proposé, nous souhaitons étendre l'usage de solutions associant mécanismes bistables et fabrication additive. Cette extension s'entend sur le plan des fonctions réalisées, et du contexte d'utilisation en considérant la question de la conception d'endoscopes, comme décrit dans la suite.

### 3. Sujet détaillé

L'utilisation de structures bistables dans la conception de robots chirurgicaux miniaturisés peut présenter de nombreux avantages. Dans le travail de thèse proposé, nous en développerons et exploiterons trois.

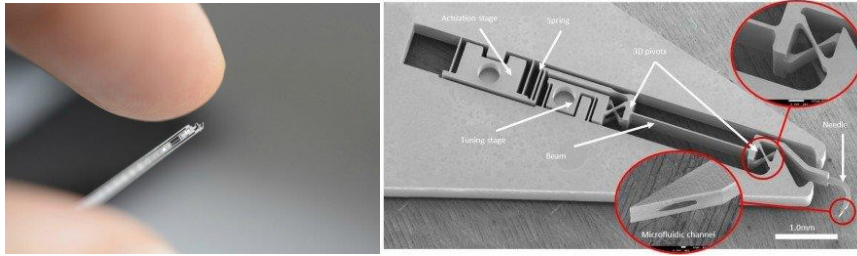
En premier lieu, des structures bistables possèdent deux états mécaniques stables dans lesquels elles peuvent demeurer sans apport continu d'énergie. L'énergie n'est nécessaire qu'aux instants de basculement rendant ainsi la structure d'une certaine manière peu gourmande en énergie. Nous étudierons la possibilité d'exploiter cette propriété pour réaliser des fonctions de stabilisation voire d'ancrage de tête d'endoscope flexible afin d'améliorer la stabilité lors de la réalisation de gestes de diagnostic ou d'interventions.

En deuxième lieu, une structure bistable peut également être utilisée pour emmagasiner de l'énergie mécanique et la délivrer de façon contrôlée [6] (Fig. 2). La répétabilité du positionnement est alors excellente, et peut ici être mise à profit pour déployer puis rétracter de manière très contrôlée des outils mécaniques ou optiques embarqués en tête d'endoscope.

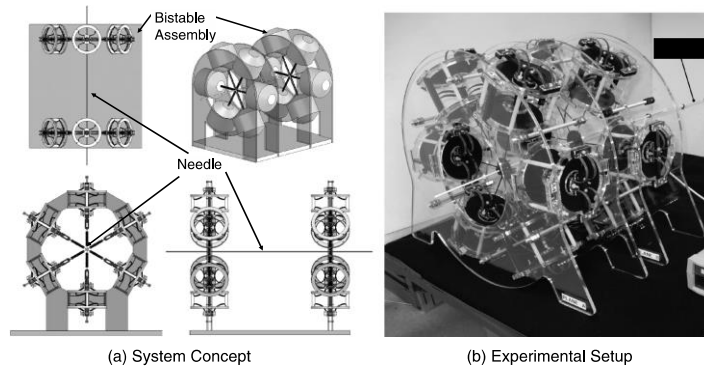
En troisième lieu, l'exploitation de mécanismes bistables, lorsqu'ils sont combinés, permet de concevoir des robots dits « numériques ». Ce concept a été développé dans le contexte des MEMS (figure4), où il a alors été montré que la commande peut être rendue plus simple en restant en boucle ouverte tout en assurant une haute précision [5]. L'usage d'une telle approche a aussi été considérée pour l'insertion d'aiguille [7]. Nous proposons ici d'explorer les possibilités de réalisation d'architectures de ce type pour gérer l'orientation d'une tête d'endoscope, en créant plusieurs positions référencées pour disposer d'un espace de travail important en bout d'endoscope.

L'association de la fabrication additive et de la conception de mécanismes bistables doit permettre d'élaborer de nouvelles solutions pour l'intégration de fonctions de mobilité, de manipulation d'outils, et de stabilisation d'endoscopes. Pour y parvenir, le travail conduit sera composé de quatre volets :

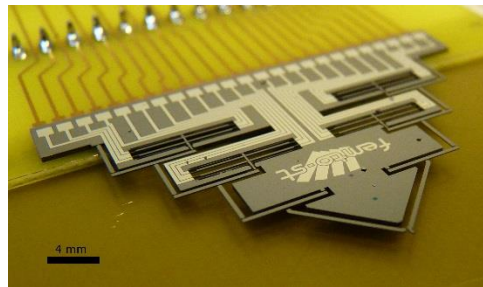
1. Modélisation fine de mécanismes bistables produits par fabrication additive. L'impact du procédé reste encore à inclure dans un modèle permettant de concevoir des solutions robustes aux incertitudes de fabrication inhérentes à l'impression 3D.
2. Caractérisation avec comparaison de 3 technologies pertinentes pour le contexte applicatif : polymérisation deux photons, photo-polymérisation et fusion de fil. Il n'existe pas encore de comparaison rigoureuse de ces procédés pour les échelles nous intéressant, et dans le cas de la production de composants fonctionnels comme nous souhaitons le faire.
3. Commande de systèmes bistables et robots digitaux : les non linéarités de certains matériaux produits par fabrication additive peut ici introduire des contraintes dans la commande des dispositifs développés.
4. Réalisation de preuves de concept pour les 3 fonctions et validation de leur intérêt.



**Fig. 2 :** Safe puncture tool for retinal vein cannulation. *Instant-Lab, EPFL [6].*



**Fig. 3 :** Robot d'insertion d'aiguille à orientation discrète à base de mécanismes bistables.



**Fig. 4 :** Microrobot numérique planaire réalisé en technologie MEMS.

## 4. Collaboration

LIRMM apporte son expertise dans le domaine de la robotique chirurgicale, ainsi que la conception et la commande de mécanismes bistables et robots digitaux. LIRMM a porté le projet FLEXTER, et le laboratoire dispose de moyens de fabrication additive de type FDM avec production à base de matériaux biocompatibles. Ces moyens seront mis à profit dans le cadre de la thèse.

ICUBE apporte son expertise en modélisation de mécanismes compliants, et l'exploitation de la fabrication additive pour leur production. L'équipe AVR dispose de moyens expérimentaux pour la production (Equipex Robotex) et la caractérisation (plateforme IRIS) de dispositifs médicaux qu'elle pourra ici mettre à profit.

## 5. Profil souhaité

Compte-tenu des caractéristiques de cette proposition de thèse, le candidat devra être issu d'une formation de mécatronicien ou d'une formation de conception mécanique, en étant titulaire d'un Master dans ces domaines, ou d'un titre équivalent (diplôme d'ingénieur). Des compétences en structures déformables et/ou en robotique médicale seraient un plus appréciable. Le travail comportant un volet expérimental par ailleurs important, un goût pour l'expérimentation et la pratique sera indispensable.

## 6. Modalités de candidature

Les candidats devront envoyer une lettre de motivation, un CV et leurs relevés de notes (M1 et M2 ou 4ème et 5ème années universitaires) sous forme de fichier unique en PDF aux adresses suivantes [yassine.haddab@umontpellier.fr](mailto:yassine.haddab@umontpellier.fr), [lennart.rubbert@insa-strasbourg.fr](mailto:lennart.rubbert@insa-strasbourg.fr)

## 7. Bibliographie

[1] Mouna Ben Salem, Guillaume Aiche, Yassine Haddab, Lennart Rubbert, Pierre Renaud. Additive Manufacturing Of A Bistable Mechanism Using Fused Deposition Modeling: Experimental And Theoretical Characterization. ASME IDETC 2019, August 18-21, 2019. Anaheim. USA.

[2] Mouna Ben Salem, Hussein Hussein, Guillaume Aiche, Yassine Haddab, Philippe Lutz, Lennart Rubbert, Pierre Renaud. Characterization of bistable mechanisms for microrobotics and mesorobotics Comparison between microfabrication and additive manufacturing. *Journal of Micro-Bio Robotics.*, Springer, In press.

[3] Yassine Haddab, Guillaume Aiche, Hussein Hussein, Mouna Ben Salem, Philippe Lutz, Lennart Rubbert, Pierre Renaud. Mechanical Bistable Structures for Microrobotics and Mesorobotics from Microfabrication to Additive Manufacturing. MARSS: Manipulation, Automation and Robotics at Small Scales, Jul 2018, Nagoya, Japan. IEEE, International Conference on Manipulation, Automation and Robotics at Small Scales, pp.1-6, 2018

[4] Mouna Ben Salem, Guillaume Aiche, Lennart Rubbert, Pierre Renaud, Yassine Haddab. Design of a Microbiota Sampling Capsule using 3D-Printed Bistable Mechanism. EMBC: Engineering in Medicine and Biology Conference, Jul 2018, Honolulu, United States. 40th Engineering in Medicine and Biology Conference, 2017.

[5] Vincent Chalvet, Yassine Haddab, Philippe Lutz. A Microfabricated Planar Digital Microrobot for Precise Positioning Based on Bistable Modules. *IEEE Transactions on Robotics*, IEEE, 2013, 3, pp.641-649.

[6] Zanaty, M. et al. Programmable Multistable Mechanisms for Safe Surgical Puncturing. *J. Med. Devices* 13(2), 021002 (Mar 21, 2019) (10 pages)

[7] Plante J, Tadakuma K, DeVita LM, et al. An MRI-Compatible Needle Manipulator Concept Based on Elastically Averaged Dielectric Elastomer Actuators for Prostate Cancer Treatment: An Accuracy and MR-Compatibility Evaluation in Phantoms. *ASME. J. Med. Devices*. 2009;3(3):031005-031005-10. doi:10.1115/1.3191729.