

## **ED SMAER**

### **Sujet de thèses 2014**

Laboratoire : Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique (ISIR)

Etablissement de rattachement : UPMC/CNRS

Directeur de thèse et section CNU ou CNRS : **Stéphane Régnier**, professeur à l'UPMC (CNU 60)

Codirection et section CNU ou CNRS : professeur Nicolas Andreff (FEMTO-ST)

Titre de la thèse : **Conception et commande de capsules magnétiques multiflagelles**

#### **Résumé du sujet :**

Les enjeux actuels de la médecine sont de permettre un diagnostic précoce, précis et rapide, associé à une thérapie, elle aussi, précoce et, de ce fait, ciblée. On cherche ainsi à traiter totalement et exclusivement les zones malignes. DE même un objectif est également de réduire les risques d'infection, d'améliorer le rétablissement des patients et d'éviter l'anesthésie générale, ce qui amène à envisager des interventions par les voies naturelles, essentiellement par le tube digestif.

Il est donc fondamental de développer des techniques liées à la micro-robotique appliquée au domaine médical. L'objectif de cette thèse est de développer un système composé d'une capsule et de plusieurs flagelles pour la locomotion dans le corps humain.

## Sujet développé

Les enjeux actuels de la médecine sont de permettre un diagnostic précoce, précis et rapide, associé à une thérapie, elle aussi, précoce et, de ce fait, ciblée. On cherche ainsi à traiter totalement et exclusivement les zones malignes. DE même un objectif est également de réduire les risques d'infection, d'améliorer le rétablissement des patients et d'éviter l'anesthésie générale, ce qui amène à envisager des interventions par les voies naturelles, essentiellement par le tube digestif.

Il est donc fondamental de développer des techniques liées à la micro-robotique appliquée au domaine médical. L'objectif de cette thèse est donc de proposer un système de micro-capsules endoscopiques pour le diagnostic et la thérapeutique de l'intestin grêle.

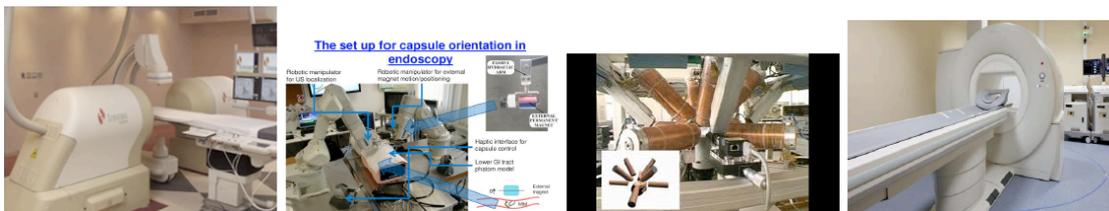
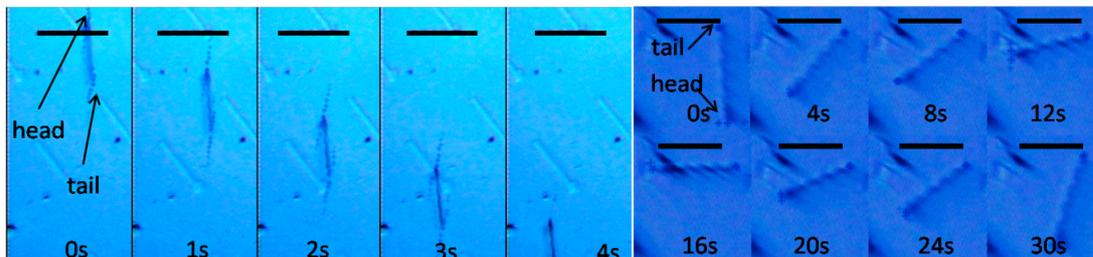


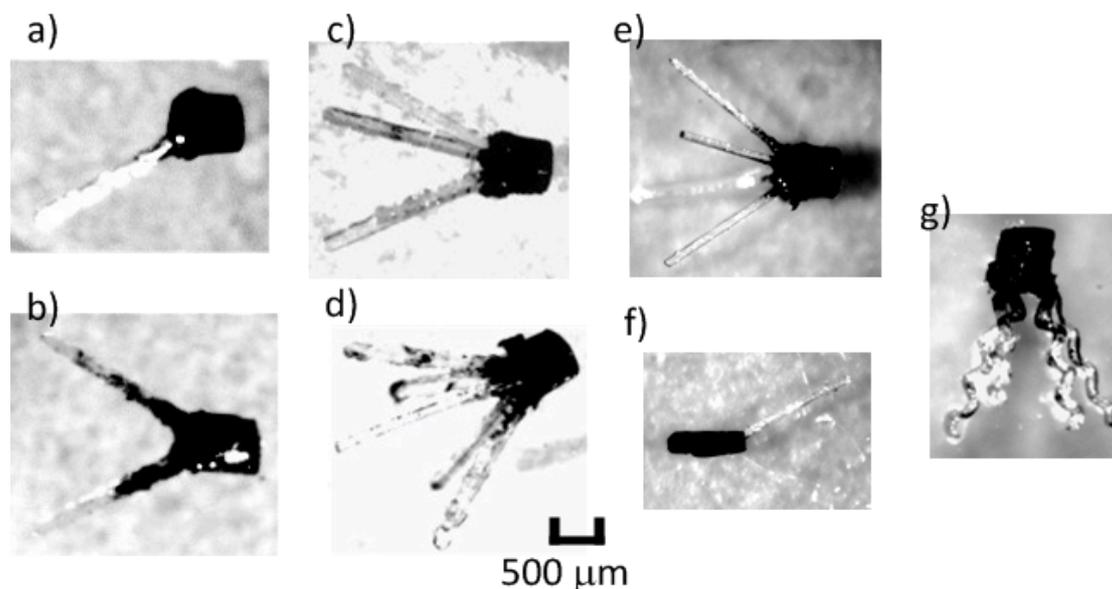
Figure : exemple de systèmes de pilotage de capsules

Un des champs thématiques les plus prometteurs dans le domaine de l'ingénierie biomédicale concerne les microneageurs [1]. Du fait de l'échelle considérée dans le corps humain, la physique est fondamentalement différente. Une solution innovante est apparue ces dernières années dans la littérature autour des robots de formes hélicoïdales qui imitent le comportement des bactéries [2]. Ces derniers peuvent être actionnés par des champs externes électriques ou magnétiques et ainsi se déplacer dans un environnement fluide visqueux comme le sang humain. Des techniques de fabrication standard permettent de maîtriser sa conception en termes de structure et de taille.



**Figure 2:** Locomotion d'un hélice de 20 microns de longueur; mouvement de translation et de rotation à partir d'un champ électrique externe.

Pour augmenter la force de poussée engendrée par ces structures, un système multi flagelle offre des solutions prometteuses [3]. Ainsi, à l'échelle submillimétrique des systèmes avec plusieurs structures de flagelles (à hélice, à poutres déformables,...) peuvent être conçues pour naviguer dans des environnement à faible nombre de Reynolds [4].



**Figure 3** Vue microscopique de différentes structures avec différents formes géométriques de flagella [5].

L'objectif de cette thèse est de développer un système composé d'une capsule et de plusieurs flagelles pour la locomotion dans le corps humain. Pour atteindre cet objectif, nous nous concentrerons dans un premier temps sur des modèles de simulation réaliste du système. Nous nous baserons sur une extension du modèle de [6] pour obtenir un modèle analytique multi paramètre. Une optimisation multicritère sera ensuite employée pour déterminer la structure la plus optimale en terme de propulsion. La conception technologique de ces structures sera ensuite basée sur les premiers résultats de simulation (elle sera basée sur la technique de la figure 3). Une corrélation modèle expérience et de nouvelles simulations permettront d'affiner les paramètres de la structure comme le nombre de flagelles, la taille et la forme géométrique (hélice, poutre déformable ou rigide, position absolue et relative des flagelles,...) A la fin de cette tâche, un prototype de capsule attaché avec plusieurs hélices sera opérationnel.

Après la conception de ces structures pour optimiser la locomotion, nous nous intéresserons au contrôle du déplacement du système par un champ magnétique tournant. Contrairement à la configuration classique d'Helmholtz qui donne un champ magnétique uniforme dans un espace de travail, le champ magnétique tournant n'offre pas cette propriété précieuse pour le contrôle du système. Il est cependant possible d'exploiter ce champ pour déplacer des systèmes magnétiques à base de flagelle [3, 9]. Ainsi, des commandes non linéaires devront être mis en œuvre comme par exemple des commandes par backstepping adaptatifs avec des estimateurs grands gains [7]. Nous proposerons ainsi un dispositif expérimental de test avec un environnement imitant les conditions fluidiques du corps humain en terme de nombre de Reynolds et de distance de l'objet à la paroi (ces deux paramètres modifient drastiquement les conditions du problème). Il s'agit à la fin de cette tâche d'être capable de piloter le système composé par la capsule et son système multiflagelle vers une position spatiale désirée. Le pilotage de ce type de structure dans un espace 3D est aujourd'hui un défi majeur des systèmes magnétiques submillimétriques [8] et cette thèse cherchera à résoudre ce problème à partir d'une collaboration forte entre l'UPMC et FEMTO-ST.

[1] Yeşin, K.B., Vollmers, K., Nelson, B.J., (2006). Modeling and control of untethered biomicrorobots in a fluidic environment using electromagnetic fields, *International Journal of Robotics Research*, 25(5-6): 527--536.

- [2] Hwang, G. and Braive, R. and Cavanna, A. and Ouerghi, A. and Robert-Philip, I. and Beveratos A. and Haliyo, S. and Sagnes, I. and Régnier, S. (2011). Electro-osmotic Propulsion of Helical Nanobelt Swimmers. *The International Journal of Robotics Research*. Vol 30 No 7 Pages 806-819.
- [3] Xu, T. and Hwang, G. and Andreff, N. and Régnier, S. (2012). Scaled-Up Helical Nanobelt Modeling and Simulation at Low Reynolds Numbers ICRA'12 IEEE International Conference on Robotics and Automation. Pages 4045-4051.
- [4] Singleton, J. and Diller, E. and Régnier, S. and Sitti, M. (2011). Micro-Scale Propulsion using Multiple Flexible Artificial Flagella. 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2011). Pages 913 - 918 .
- [5] Zhou Ye, Stéphane Régnier, and Metin Sitti Rotating Magnetic Miniature Swimming Robots with Multiple Flexible Flagella, soumis à IEEE/ASME Transaction on Mechatronics, 2012
- [6] Arabagi V, Behkam B. Cheung E and Sitti M (2011) Modeling of stochastic motion of bacteria propelled spherical microbeads. *Journal of Applied Physics* 109: 114702.
- [7] L. Arcese, M. Fruchard et A. Ferreira Endovascular Magnetically-Guided Robots: Navigation Modeling and Optimization IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 54(4):977-987, 2012.
- [8] K. E. Peyer, L. Zhang, B. J. Nelson, "Bio-inspired magnetic swimming microrobots for biomedical applications", *Nanoscale*, October 2012.
- [9] A. W. Mahoney, D. L. Cowan, K. M. Miller, and J. J. Abbott, "Control of Untethered Magnetically Actuated Tools using a Rotating Permanent Magnet in any Position," IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, pp. 3375-3380, 2012.