

APPORT DE LA MICROFABRICATION SOUSTRACTIVE SUR VERRE POUR LA CONCEPTION DE MICROROBOTS BIOMÉDICAUX

Lieu de la thèse : Département AS2M, Femto-ST (Besançon)

Direction de thèse : Kanty RABENOROSOA (rkanty@femto-st.fr),
Guillaume LAURENT (guillaume.laurent@femto-st.fr), et Sylwester BARGIEL
(sylwester.bargiel@femto-st.fr)

Date de démarrage : octobre/novembre 2019

Contexte

L'institut FEMTO-ST (Franche-Comté Electronique Mécanique Thermique et Optique - Sciences et Technologies) est une unité de Mixte de Recherche (UMR) associée au CNRS et dispose comme tutelle l'Université de Franche-Comté (UFC), l'Ecole Nationale Supérieure de Mécanique et de Microtechniques (ENSMM), et l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard (UTBM). L'institut FEMTO-ST est organisé en 7 départements thématiques et le département AS2M mène depuis quelques années des travaux en microrobotique biomédicale. Ces travaux se focalisent souvent sur des applications identifiées telle que μ RALP sur la chirurgie endoscopique des cordes vocales, NEMRO sur la biopsie optique des muqueuses olfactives, μ RoCS sur la chirurgie du cholestéatome. Ils relèvent de la recherche fondamentale en robotique, microrobotique et micromécatronique en proposant à la fois des structures robotiques innovantes et pertinentes pour les applications visées.

Dans le cadre du projet **PIA I-Site BFC**¹, ce travail de thèse vise à la structuration scientifique de l'espace de recherche du site BFC tout en s'appuyant sur une coopération internationale (Collégium SMYLE²) pour traiter la microrobotique pour le biomédical dans le pôle **Sciences fondamentales, Appliquées et Technologie (SFAT)**. Un des axes de recherche en microrobotique biomédicale porte sur la conception, la modélisation, la fabrication et la commande de dispositifs microrobotiques pour l'assistance aux gestes médico-chirurgicaux. Pour assoir le positionnement singulier d'AS2M et accroître l'exploitation d'une des dernière machine acquise à la centrale MIMENTO, nous proposons d'investiguer les possibilités offertes par la fabrication

1. <http://www.ubfc.fr/excellence/isite-bfc/>

2. <https://www.femto-st.fr/fr/Partenariat-Valorisation/Collégium-international-SMYLE>

soustractive sur verre sur la machine *FemtoPrint* pour la fabrication de microrobots pour le biomédical. En effet, cette machine autorise la liberté de forme tout en garantissant une résolution micrométrique. Plus généralement, MIMENTO dispose de plusieurs équipements permettant la réalisation de technologie dédiée à la fabrication et l'intégration 3D des microdispositifs. Parmi ces équipements il y a un wafer bonder (assemblage de plusieurs substrats), un nano-scribe (photolithographie 3D), équipement de connectique électrique, un équipement d'usinage assisté par laser (*FemtoPrint*). Ce dernier équipement arrive à FEMTO-ST fin novembre 2017. L'équipement *FemtoPrint* permet l'usinage du verre avec l'écriture dans le volume avec un laser femtoseconde et une gravure chimique sélective. La résolution de ce procédé est de 1 μm . De plus, cet équipement réalise des soudures localisées verre-verre de taille micrométrique. Enfin, une modification d'indice du verre est possible. Dans le cadre du développement de la filière d'intégration 3D à Besançon, cet équipement doit permettre l'usinage, l'assemblage ou la modification d'indice optique d'autres matériaux utilisés dans les secteurs du temps-fréquence, de l'optique MOEMS, de la microfluidique. De plus, l'état-de l'art international ne cesse de démontrer la pertinence d'utiliser les moyens de fabrication modernes pour réaliser des structures microrobotiques en rupture. On peut citer les travaux du Hamlyn Centre sur des actionneurs et capteurs [1] en bout de fibre fabriqués sur la machine *Nanoscribe* et les travaux de l'EPFL (Galatea) sur l'outil chirurgical pour la cannulation des veines rétinales [2] fabriqué sur la machine *FemtoPrint*. La Fig. 1 regroupe les travaux récents en lien avec **des applications médicales**.

Objectifs

Nous proposons d'investiguer l'apport de la fabrication soustractive sur verre pour la fabrication de microrobots biomédicaux qui offriront **une compacité inégalée, une capacité à se mouvoir dans une espace confinée tout en générant les efforts nécessaires à la réalisation d'une tâche médicale et un guidage précis par un système d'imagerie en intégrant des indices visuels**. Nous visons la conception, la modélisation mécatronique et la commande du plus petit endomicroscope à base de robots à tubes concentriques, nommé "*micro-RTC*". Par ce travail de thèse, nous allons exploiter la flexibilité du verre à l'échelle microscopique et identifier les limites à la miniaturisation de la cinématique concentrique pour ensuite proposer des structures optimales pour les surpasser. Nous souhaitons exploiter les mesures de la déformation [7] et de position [8] par vision, à l'aide d'indices visuels disposés sur la structure, en utilisant des systèmes d'imagerie variés (MEB, OCT, DHM).

Les différentes étapes du travail de thèse sont :

- La conception mécatronique d'actionneurs et de capteurs par la fabrication soustractive sur verre afin d'élaborer une solution globale d'actionnement du *micro-RTC* ;
- La modélisation de structures flexibles et élancées en grande déformation et en interaction avec un fluide pour tenir compte du passage de produits ;
- La fabrication, la caractérisation et la commande du dispositif intégrant le mé-

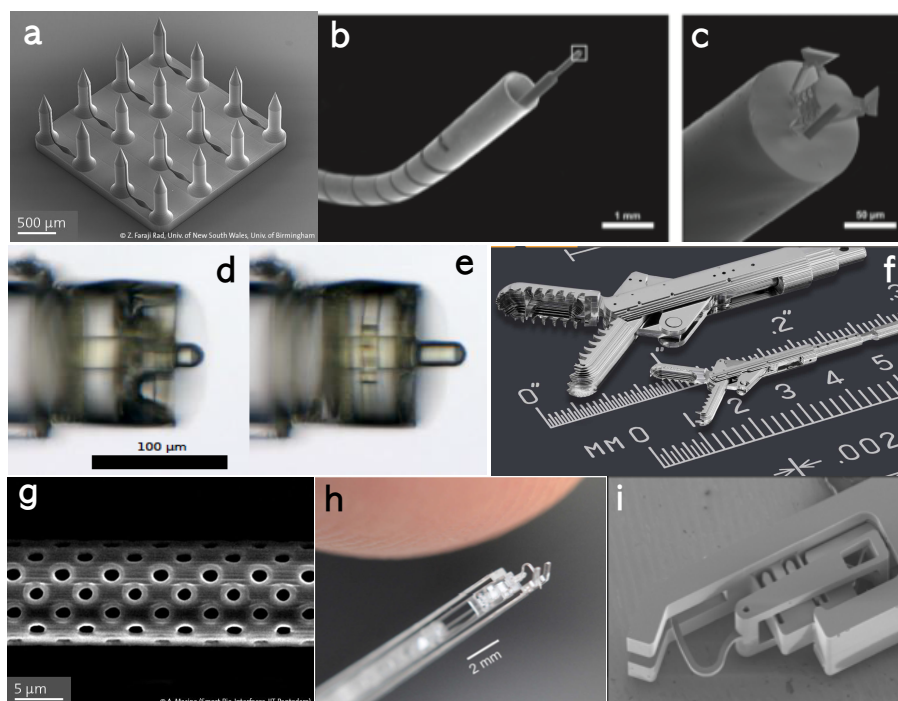


FIGURE 1 – a) matrice de micro-aiguille [3], b) et c) capteur de force en bout de fibre [1], d) et e) micro-piston à actionnement pneumatique [4] , f) forceps de Microfabrica obtenu par procédé EFAB (<https://www.microfabrica.com/>), g) tube structuré [5], h) et i) micro-aiguille de cannulation des veines rétinales [6], [2].

canisme concentrique, les actionneurs et les capteurs développés ;

Profil requis

Le travail de thèse requiert un profil pluridisciplinaire, en abordant la conception, la modélisation, la fabrication et la commande de systèmes microrobotiques. De fait, le profil requis est celui d'un étudiant en master 2 ou élève ingénieur en dernière année ayant une formation en mécatronique ou mécanique. Il (elle) doit être à l'aise sur l'utilisation d'un logiciel de CAO (Solidworks ou autres), de simulation multiphysique (COMSOL ou ANSYS) et de calcul numérique de type MATLAB. La connaissance des procédés salle blanche serait un plus.

Il (elle) aura de bonnes capacités d'expression écrite en français et en anglais. Ouvert d'esprit, il (elle) sera amené(e) à travailler en équipe et doit être capable de communiquer aisément. A l'écoute, dynamique et persévérant pour mener un travail de recherche sur 3 ans.

Modalités de candidature

Les candidats devront envoyer une lettre de motivation, un CV et leur relevés de notes (M1 et M2 ou 4^{ème} et 5^{ème} années universitaires) sous forme de **fichier unique en PDF** aux adresses suivantes : guillaume.laurent@femto-st.fr, rkanty@femto-st.fr et sylwester.bargiel@femto-st.fr

Références

- [1] Power, M., Thompson, A. J., Anastasova, S., & Yang, G. Z. (2018). A Monolithic Force Sensitive 3D Microgripper Fabricated on the Tip of an Optical Fiber Using 2-Photon Polymerization. *Small*, 14(16), 1703964.
- [2] Bellouard, Y. (2015, April). Femtosecond laser-based production of 3D micro-and nano-devices in transparent substrate : a step toward system-materials. In *Laser-based Micro-and Nanoprocessing IX* (Vol. 9351, p. 93510G). International Society for Optics and Photonics.
- [3] Faraji-Rad, Z., Nordon, R. E., Anthony, C. J., Bilston, L., Prewett, P. D., Arns, J. Y., ... & Davies, G. J. (2017). High-fidelity replication of thermoplastic microneedles with open microfluidic channels. *Microsystems & Nanoengineering*, 3, 17034.
- [4] A. Barbot, M. Power, F. Seichepine, & G.-Z. Yang. Surface tension for micro-gripper pneumatic actuation. In *Short paper in MARSS (Manipulation Automation and Robotics at Small Scales)*, 2018
- [5] Marino, A., Tricinci, O., Battaglini, M., Filippeschi, C., Mattoli, V., Sinibaldi, E., & Ciofani, G. (2018). A 3D Real-Scale, Biomimetic, and Biohybrid Model of the Blood-Brain Barrier Fabricated through Two-Photon Lithography. *Small*, 14(6), 1702959.
- [6] Tielen, V., & Bellouard, Y. (2014). Three-dimensional glass monolithic micro-flexure fabricated by femtosecond laser exposure and chemical etching. *Micromachines*, 5(3), 697-710.
- [7] V. Guelpa, J. S. Prax, Y. Vitry, O. Lehmann, S. Dehaeck, P. Sandoz, C. Clévy, N. L. Fort-Piat, P. Lambert & G. J. Laurent (2017), 3D-printed vision-based micro-force sensor dedicated to in situ SEM measurements, *Proc. of the IEEE/ASME Int. Conf. on Advanced Intelligent Mechatronics*, 424-429.
- [8] Baran, Y., Rabenorosoa, K., Laurent, G. J., Rougeot, P., Andreff, N., & Tamadazte, B. (2017, September). Preliminary results on OCT-based position control of a concentric tube robot. In *2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)* (pp. 3000-3005). IEEE.