

# Contribution au développement d'actionneurs à base de matériaux actifs pour des robots origamis reconfigurables

**Lieu de la thèse :** Femto-ST (Besançon) et ISM (Marseille)

**Direction de thèse :** Kanty RABENOROSOA (rkanty@femto-st.fr), Morvan OUISSE (morvan.ouisse@femto-st.fr), et Stéphane VIOLLET (stephane.viollet@univ-amu.fr)

**Date de démarrage :** octobre/novembre 2019

Ce projet de thèse traite de l'étude et du développement de structures robotiques inspirées des origamis. Le travail proposé concerne la modélisation, la conception et la fabrication des actionneurs de telles structures. Durant la thèse, les travaux viseront à développer des actionneurs à base de matériaux actifs (alliages à mémoire de forme, polymères à mémoire de forme et autres polymères fonctionnalisés) pour assurer la propriété reconfigurable des robots origamis en général et du robot OrigaBot, un robot mobile à locomotion multimodale, en particulier. Cette thèse se déroulera dans le cadre d'une collaboration entre les laboratoires Femto-ST, ICube et ISM.

## Contexte

Le travail de thèse proposé se place dans le cadre du projet de recherche collaboratif OrigaBot, supporté par l'Agence Nationale de Recherche, dans lequel sont associés ISM (Marseille, porteur du projet), Femto-ST (Besançon) et ICube (Strasbourg). Le projet OrigaBot vise à développer de nouveaux types de robots mobiles capables de se déplacer au sol en roulant et rampant, et dans les airs en volant aux moyens de rotors, ceci en modifiant leur morphologie grâce à des structures inspirées des origamis. Le projet implique trois laboratoires aux compétences complémentaires pour travailler conjointement sur la modélisation et la caractérisation de structures de type origami, le développement de structures spécifiques au projet, leur actionnement, leur commande pour la locomotion et finalement la validation des performances de ce nouveau type de robot.

## Problématique et objectifs

Les avantages offerts par les structures à base d'origami suscitent l'intérêt des recherches en robotique depuis quelques années. Pour les exploiter, il est indispensable de réaliser l'actionnement des structures à base d'origami et cela induit deux défis : la maîtrise de l'auto-pliage pour passer d'une structure 2D en 3D fonctionnelle et le changement de forme d'une structure 3D pour assurer la reconfiguration du robot. Pour cela, les actionneurs à base de matériaux actifs sont utilisés car ils ne sont pas encombrants pour s'intégrer dans les structures et leur densité d'énergie est meilleure que les actionneurs

conventionnels surtout dans le cas d'un robot mobile. Plusieurs objectifs doivent être atteints pour garantir l'auto-plier et le changement de formes des robots origamis : la déformation de l'actionneur, la capacité à générer une force ou un couple à l'échelle appropriée, l'intégration dans une structure généralement peu épaisse et déformable, etc. Dans la littérature, il existe différentes manières de contrôler une structure auto-pliable en fonction du matériau actif utilisé : piézoélectriques, électrostrictifs, polymères électro-actifs (PEA) [1, 2], élastomère magnéto actif (MAE) [2], polymères sensibles à la température, polymères sensibles au pH, alliages à mémoires de formes (AMF) [3] et polymères à mémoires de formes (PMF) [4, 5]. Certaines applications bien connues sont illustrées sur la Fig. 1). On remarque que les AMF et PMF sont largement utilisés de nos jours, en fonction des conditions de contrainte, de déformation, d'intégration et de l'énergie utile pour le robot [6, 7, 8]. Des efforts conséquents ont donc été déployés pour élaborer des modèles mathématiques permettant de décrire les phénomènes liés aux effets mémoires de forme et d'analyser leur fonctionnement en actionneur [9]. L'exploitation de ces modèles dans une méthode incluant le choix et le dimensionnement multi-échelle de ces actionneurs sur une structure complexe comme l'origami manque et on propose de l'aborder dans le travail de thèse. La connaissance fine de l'effet mémoire de forme associée à des techniques d'optimisation dans le processus de conception des actionneurs constitue une étape pour obtenir les robots origamis reconfigurables.

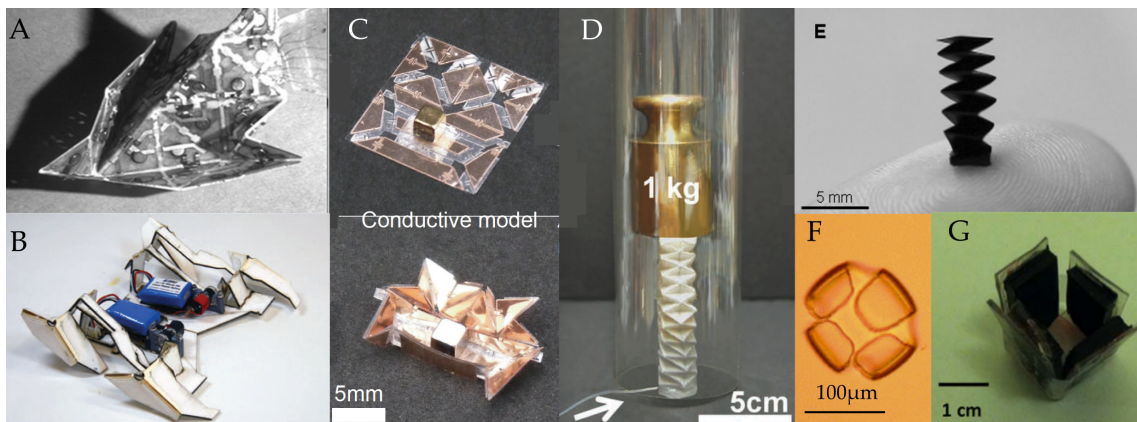


FIGURE 1 – Actionneurs utilisés sur un origami en auto-plier. A) AMF dans une structure reconfigurable [3], B) Machines à auto-plier basées sur des composites à mémoire de forme [4] C) PMF sur un robot en auto-plier [5] D) composites papier-élastomère servant d'actionneurs pneumatiques [10], E) actionneur en origami en forme d'accordéon [1], F) auto-plier d'un hydrogel tridimensionnel [11], et G) boîte auto-pliante à base de MAE [2].

L'objectif de la thèse se concentre donc sur le développement d'actionneurs permettant de propulser le robot basé sur l'origami et la structure (2D ou 3D) permettant de réaliser un auto-plier et un changement de forme en exploitant des actionneurs à effets mémoire de forme. Les méthodes de conception, d'optimisation et le processus de fabrication de ces derniers seront établis pour ensuite réaliser leur intégration sur les structures produites par le laboratoire ICube. On envisage deux stratégies pour obtenir le changement de configuration, conformément aux contraintes fournies par le projet : générer des déformations locales sur les vallées et les montagnes pour induire un changement de forme global ou commander un changement radial ou longitudinal pour contraindre les déformations locales.

## Expertises et moyens mis en jeu

Le département AS2M et le département de mécanique appliquée (DMA) de Femto-ST sont impliqués dans le projet OrigaBot. Ils développent des activités de recherche unique en France dans le domaine de la micromécatronique et des structures actives obtenues par l'intégration de matériaux actifs et la fonctionnalisation. Ils s'y développent notamment des technologies de production de matériaux actifs, leur modélisation, leur caractérisation et leur intégration pour créer des structures robotiques actives. Femto-ST dispose des moyens de caractérisation et de commande de ces actionneurs. Ces compétences sont ici mises à profit du projet de thèse.

L'équipe Biorobotique de l'ISM, pour sa part, a plus de 30 ans de contributions majeures au développement de robots terrestres et volants bio-inspirés. Ils ont développé avec succès des robots mobiles équipés de yeux artificiels offrant des performances inégalées en matière de détection de flux optique et de suivi précis de cible. En outre, le laboratoire a une longue tradition de fabrication de prototypes complexes, notamment de microélectronique et de pilote automatique intégré pour des robots.

## Profil requis

Le travail de thèse requiert un profil pluridisciplinaire, en abordant la conception, la modélisation, la fabrication et la commande de systèmes mécatroniques. Le profil requis est celui d'un étudiant en master 2 ou élève ingénieur en dernière année ayant une formation en robotique, 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) et de calcul numérique de type MATLAB. La connaissance des méthodes de microfabrication salle blanche et/ou des sciences des matériaux 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. Il (elle) doit être à 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<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup> années universitaires) sous forme de **fichier unique en PDF** aux adresses suivantes : [rkanty@femto-st.fr](mailto:rkanty@femto-st.fr) , [morvan.ouisse@femto-st.fr](mailto:morvan.ouisse@femto-st.fr) et [stephane.viollet@univ-amu.fr](mailto:stephane.viollet@univ-amu.fr)

## Références

- [1] H. Okuzaki, T. Saido, H. Suzuki, Y. Hara, and H. Yan, "A biomorphic origami actuator fabricated by folding a conducting paper," in *Journal of Physics : Conference Series*, vol. 127, p. 012001, IOP Publishing, 2008.
- [2] S. Ahmed, K. McGough, Z. Ounaies, and M. Frecker, "Origami-inspired folding and unfolding of structures : fundamental investigations of dielectric elastomer-based active materials," in *ASME 2013*, pp. V001T01A029– V001T01A029, American Society of Mechanical Engineers, 2013.

- [3] E. Hawkes, B. An, N. Benbernou, H. Tanaka, S. Kim, E. Demaine, D. Rus, and R. Wood, “Programmable matter by folding,” *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 107, no. 28, pp. 12441–12445, 2010.
- [4] S. Felton, M. Tolley, E. Demaine, D. Rus, and R. Wood, “Applied origami. a method for building self-folding machines.,” *Science*, vol. 345, pp. 644–646, Aug 2014.
- [5] S. Miyashita, S. Guitron, M. Ludersdorfer, C. R. Sung, and D. Rus, “An untethered miniature origami robot that self-folds, walks, swims, and degrades,” in *Robotics and Automation (ICRA), 2015 IEEE International Conference on*, pp. 1490–1496, IEEE, 2015.
- [6] L. Hines, P. Kirstin, L. Guo Zhan, and S. Metin, “Soft actuators for small-scale robotics,” *Advanced Materials*, vol. 29, no. 13, 2017.
- [7] E. A. Peraza-Hernandez, D. J. Hartl, R. J. Malak Jr, and D. C. Lagoudas, “Origami-inspired active structures : a synthesis and review,” *Smart Materials and Structures*, vol. 23, no. 9, p. 094001, 2014.
- [8] S. I. Rich, R. J. Wood, and C. Majidi, “Untethered soft robotics,” *Nature Electronics*, vol. 1, pp. 102–112, 2018.
- [9] Lagoudas, D. C. (Ed.). *Shape memory alloys : modeling and engineering applications*. Springer Science & Business Media, 2008.
- [10] R. V. Martinez, C. R. Fish, X. Chen, and G. M. Whitesides, “Elastomeric origami : Programmable paper-elastomer composites as pneumatic actuators,” *Advanced Functional Materials*, vol. 22, no. 7, pp. 1376–1384, 2012.
- [11] J. Guan, H. He, D. J. Hansford, and L. J. Lee, “Self-folding of three-dimensional hydrogel microstructures,” *The Journal of Physical Chemistry B*, vol. 109, no. 49, pp. 23134–23137, 2005.