

Proposition de sujet de thèse France-UK :

Etude du comportement électro-thermo-mécanique d'un actionneur élaboré par impression 4D

La fabrication additive, ou impression 3D, est actuellement en pleine essor et a démontré son fort potentiel dans de nombreux secteurs industriels, tels que l'aéronautique, la robotique et la bio-ingénierie [1]. Cette technologie permet de développer rapidement des prototypes innovants, de réduire les impacts environnementaux en diminuant les déchets de fabrication par rapport aux procédés de fabrication conventionnels, et d'élaborer des pièces complexes sans usinage ni assemblage. En particulier, le procédé FDM (Fused Deposition Modeling) permet d'élaborer des structures en polymères et polymères renforcés [2]. En se basant sur cette technologie, il est possible de créer des matériaux intelligents intégrés directement dans la structure, c'est ce qu'on appelle l'impression 4D. Ce nouveau procédé permet d'élaborer par impression 3D des objets capables de changer de forme grâce à des stimuli extérieurs : température, humidité, lumière, solvant [4-7]... L'impression 4D a donc un fort potentiel pour concevoir des dispositifs intelligents tels que des actionneurs ou des capteurs. Par exemple, dans le domaine du spatial, l'impression 4D est développée pour créer des structures auto-déployables, telles que des panneaux solaires pour satellites, des réflecteurs d'antenne de radars de communication et de surveillance, ou des dômes de protection [8]. De plus, ce procédé se prête facilement à la miniaturisation et peut donc être utilisé dans les microsystèmes. En robotique, des actionneurs obtenus par impression 4D sont ainsi développés pour faciliter la motricité, la préhension et le mouvement [9]. Dans la littérature, les nombreuses applications potentielles dans le secteur de la défense sont également citées [10,11], comme par exemple dans le domaine des drones.

Dans ce travail, l'objectif est de développer un actionneur de type charnière, capable de modifier sa forme grâce à un stimulus électrique. Pour cela, un multi-matériau fonctionnel sera élaboré par le procédé FDM d'impression 3D. L'un des matériaux sera un polymère renforcé par des particules conductrices, l'autre sera un polymère isolant. Lorsque ce multi-matériau sera soumis à une tension électrique, sa température augmentera par effet Joule. Selon la concentration et la dispersion des particules conductrices, la température pourra dépasser la température de transition vitreuse (T_g) du polymère. Il sera alors possible, après une phase d'apprentissage, de déclencher le mouvement de l'actionneur par des stimuli électriques. Ce projet est porté par trois partenaires, disposant d'équipements et de savoir-faire complémentaires : l'ESTACA (France), l'Institut PPRIME (ISAE-ENSMA, France) et l'Université d'Edimbourg (UK).

Dans la bibliographie, le principe des actionneurs par apprentissage a été décrit par Wu et al. [12]. Des recherches ont été menées sur le lien entre les paramètres du procédé et la déformée stimulée par la température [13]. D'autres travaux ont porté sur le comportement électrique de composites conducteurs élaborés par impression 3D [14]. Mais, à notre connaissance, il n'y a pas d'études publiées sur le couplage entre le procédé, le stimulus électrique et la déformée d'actionneurs élaborés par impression 4D.

Une première thèse sur cette thématique, encadrée par deux des partenaires de ce projet - l'Université d'Edimbourg (UK) et l'ESTACA (France) - a débuté en 2019, financée par le DSTL. Les premiers résultats obtenus ont permis d'étudier le comportement mécanique et électrique du polymère (PLA) chargé de particules conductrices [15,16]. Les travaux se poursuivent pour élaborer un multi-matériau capable de se déformer sous stimulus électrique. Cependant, des analyses approfondies sont également nécessaires pour mieux appréhender le comportement électro-thermo-mécanique de ce type d'actionneur, élaboré par impression 4D.

Ce nouveau travail de thèse a donc pour objectifs, par une approche à la fois expérimentale et numérique, de caractériser l'actionneur à différentes échelles et d'optimiser le procédé pour améliorer ses performances. Ce projet se déroulera sur 3 ans (2 ans en France et 1 an à Edimbourg) et se composera de plusieurs phases : élaboration du multi-matériau par impression 4D et tests électro-mécaniques (ESTACA), caractérisation fine de la microstructure dans chaque configuration de l'actionneur (PPRIME) et modélisation du comportement multiphysique pour simuler le mécanisme d'activation et optimiser l'architecture de la partie conductrice (Université d'Edimbourg). Ces différentes phases sont bien sûr inter-dépendantes et un dialogue étroit sera mené entre les partenaires.

À l'issue de ces travaux, le but est d'obtenir une base de données fiable et complète sur ce type de multi-matériau fonctionnel, et de proposer une configuration optimisée pour un actionneur intelligent.

Encadrement :

Thuy Quynh Truong Hoang, enseignante-chercheure, ESTACA (France) :
thuy-quynh.truong-hoang@estaca.fr

Francisca Martinez Hergueta, lecturer, Edinburgh University (UK) :
francisca.mhergueta@ed.ac.uk

Fabienne Touchard, directrice de recherche CNRS, Institut PPRIME, ISAE-ENSMA (membre de la COMUE Léonard de Vinci) :
fabienne.touchard@ensma.fr

Références bibliographiques :

- [1] Wang, Xin, et al. "3D printing of polymer matrix composites: A review and prospective." *Composites Part B: Engineering* 110 (2017): 442-458.
- [2] Ngo, Tuan D., et al. "Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges." *Composites Part B: Engineering* 143 (2018): 172-196.
- [3] Falahati, Mojtaba, et al. "Smart polymers and nanocomposites for 3D and 4D printing". *Materials today* 40 (2020): 215-245.
- [4] J. Choi, O.-C. Kwon, W. Jo, H. J. Lee, and M.-W. Moon, "4D Printing Technology: A Review," *3D Print. Addit. Manuf.*, vol. 2, no. 4 (2015), 159–167.
- [5] Gladman, A. Sydney, et al. "Biomimetic 4D printing." *Nature materials* 15.4 (2016), 413-418.
- [6] Zhou, Ye, et al. "From 3D to 4D printing: approaches and typical applications." *Journal of Mechanical Science and Technology* 29.10 (2015), 4281-4288.
- [7] Momeni F., Ni J. "Laws of 4D printing" *Engineering*, 6 (2020) 1035-1055.
- [8] Mitchell A., et al. "A review of 4D printing and future applications". *Additive manufacturing*, vol 24 (2018), 606-626.
- [9] Decroly G. et al. "Programmable Stimuli-Responsive Actuators for Complex Motions in Soft Robotics: Concept, Design and Challenges" *Actuators* 9 (2020) 131.
- [10] Saritha D. et al. "A concise review on 4D printing technology", *Materials today: proceedings*, (2021) in press.
- [11] Shao, Li-Hua, et al. "4D printing composite with electrically controlled local deformation". *Extreme Mechanics Letters* 39 (2020) 100793.
- [12] Wu J., et al., "Multi-shape active composites by 3D printing of digital shape memory polymers." *Nature-Scientific reports* (2016) 6:24224.

[13] Barletta M. et al. "4D printing of shape memory polylactic acid (PLA) components: Investigating the role of the operational parameters in fused deposition modelling (FDM), Journal of Manufacturing Processes 61 (2021) 473–480.

[14] Kwok, Sen Wai, et al. "Electrically conductive filament for 3D-printed circuits and sensors." Applied Materials Today 9 (2017): 167-175.

[15] Delbart R., Bence Toth, Francisca Martinez-Hergueta, Thuy Quynh Truong Hoang, "Mechanical response of structural 3D printed polymers: an experimental and numerical study", SAMPE Europe Conference, (2020), Amsterdam.

[16] Delbart R., C. Robert, T. Noble, F. Martinez-Hergueta and T. Quynh Truong Hoang, "Influence of self and external heating on electrical properties of conductive 3D printed filament", ICCM23, (2021), Belfast.

Conditions :

Financement demandé : bourse DGA.

Date de début de thèse : fin 2021.

Durée de la thèse : 3 ans.

Déroulement de la thèse : 2 ans en France (Laval et Poitiers), et 1 an au Royaume-Uni.

Pour candidater :

Envoyer avant le 5 avril 2021 aux trois adresses email données plus haut :

- CV en français et en anglais.
- une lettre de motivation en anglais.
- une copie du diplôme du baccalauréat.
- le relevé des notes du dernier semestre, et le classement.