

---

# Impression 4D de matériaux composites multi-stimulables pour le morphing de structures

Guillaume Chabaud<sup>\*†</sup>, Antoine Le Duigou<sup>1</sup>, and Mickaël Castro<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut de Recherche Dupuy de Lôme (IRDL) – CNRS : UMR6027 – France

## Résumé

L'impression 4D est une technologie qui consiste à élaborer des systèmes par impression 3D pouvant modifier leur forme sous l'influence de modifications environnementales [1] tel que la température [2] ou l'humidité [3]. L'humidité est souvent perçue comme à une problématique à surmonter dans le cas des matériaux stimulables. Cependant, pour les hygrosensibles, ce facteur peut-être être utilisée comme un stimulus particulièrement intéressant du fait des déformations hygroscopiques nettement plus importantes que les déformations thermiques pour ces matériaux. Ces matériaux permettent une activation autonome et passive de la réponse en fonction des variations d'humidité et visent des applications de morphing autonome (bâtiment, tracker solaire...). Néanmoins, ils souffrent d'un manque de contrôle de leur réponse. Plusieurs équipes de recherche, notamment Hamedi et al., ont montré que l'actionnement de matériaux fortement sensibles à l'humidité, en l'occurrence du papier, pouvait être piloté grâce à un courant électrique appliqué via une encre conductrice [4]. Cependant, ces matériaux présentent une faible rigidité lorsqu'ils sont exposés à un milieu humide, ce qui limite leurs applications au domaine de la soft robotic.

L'objectif de ces travaux est de s'inspirer des travaux conduits sur les papiers électroactifs afin de développer un nouveau concept de matériaux stimulables structurels (pour pièce de grande taille) pour l'impression 4D. Des matériaux composites hygromorphes à la microstructure inspirée des pommes de pin sont développés. Ils sont multi-stimulables (température et humidité) et leur activation est pilotée grâce à une impulsion électrique.

Ainsi, les actionneurs sont constitués d'une couche active (forte expansion hygroscopique) de PA6 ainsi que d'une couche passive (faible expansion hygroscopiques) constituée d'un composite à fibres de carbone continues enrobées de PA6 amorphe. La nature fortement hygroscopique du polyamide est utilisée afin d'induire un gradient de déformation hygroscopique entre les couches actives et passives qui conduit à la courbure de la structure. Ces matériaux sont ainsi des matériaux hygromorphes présentant une réponse autonome mais lente (environ 300 min jusqu'à stabilisation) à la variation d'humidité. Dans l'objectif de contrôler la teneur en eau du matériau et donc de piloter l'actionnement hygromorphe, le caractère conducteur des fibres de carbone est utilisé via l'intégration d'un réseau conducteur architecturé permettant d'induire un chauffage par effet Joule. L'élévation de température va permettre une accélération de la désorption d'eau ainsi que de contrôler la teneur en eau de l'actionneur en fonction de la puissance électrique appliquée. Le couplage des stimulus thermiques et hygroscopiques permet ainsi d'obtenir une réponse rapide et contrôlée par la puissance électrique appliquée au système. Ainsi, ces travaux ont pour objectif de démontrer

---

<sup>\*</sup>Intervenant

<sup>†</sup>Auteur correspondant: guillaume.chabaud@univ-ubs.fr

le potentiel de ce type d'actionnement en étudiant l'influence de l'impulsion électrique sur le chauffage induit par effet Joule dans le réseau conducteur ainsi que l'effet de l'échauffement sur la désorption d'eau et la réponse de l'actionneur. L'extrapolation à d'autres matériaux hygromorphes aussi qu'au métamatériaux sera discuté.

Références :

S. Tibbits, 4D printing: multi-material shape change, *Archit. Des.* (2014) 116–121.

A. Mitchell, U. Lafont, M. Ho, C. Semprimoschnig, Additive manufacturing - A review of 4D printing and future applications, *Addit. Manuf.* 24 (2018) 606–626.

A. Le Duigou, M. Castro, R. Bevan, N. Martin, 3D printing of wood fibre biocomposites: From mechanical to actuation functionality, *Mater. Des.* 96 (2016) 106–114.

M.M. Hamedi, V.E. Campbell, P. Rothmund, F. Güder, D.C. Christodouleas, J.F. Bloch, G.M. Whitesides, Electrically Activated Paper Actuators, *Adv. Funct. Mater.* 26 (2016) 2446–2453.

**Mots-Clés:** Impression 4D, Morphing, Matériaux électroactifs, Biomimétisme, Hygromorphe