

Proposition de stage pour Master 2 au LaMCoS (INSA Lyon) avec Framatome Lyon
Début : dès que possible en 2021 (6 mois)

Conception de matériaux architecturés 4D et à mémoire de forme par optimisation topologique

Personne à contacter :

Nawfal BLAL, LaMCoS.....nawfal.blal@insa-lyon.fr

1. Contexte et objectifs

La naissance de ces nouveaux procédés 3D a très tôt intéressé la communauté de la mécanique et science des matériaux puisqu'ils ont fortement accéléré le développement de nouveaux matériaux dit « architecturés » aux propriétés uniques (e.g. [1,2,3]). A présent, avec l'avènement des matériaux intelligents/4D (la quatrième dimension étant le temps), l'utilisation des procédés de fabrication additive prend sa pleine valeur puisqu'il est possible de faire évoluer une structure dans une configuration préprogrammée suite à un stimulus extérieur. Pour illustrer ces nouvelles possibilités, on pourra citer les applications médicales (stents) et aérospatiales (panneaux automatiquement déployables) [4]. Bien souvent, ces applications reposent sur l'utilisation de matériaux à mémoire de forme mais dont l'applicabilité n'est forcément immédiate quelque soit le domaine de sollicitation rencontré par ces matériaux, notamment pour des applications nucléaires telles que visées dans ce projet. Le domaine nucléaire ne fait pas exception : l'intérêt pour les procédés additifs (impression 3D) et les possibilités de conception associées est sans cesse croissant. De plus, la perspective d'une utilisation de structures/matériaux intelligents ouvre aussi la voie à des optimisations de performances/sécurité toujours plus importantes et peut être source de ruptures technologiques également pour ce domaine industriel très exigeant. Malgré cet intérêt, le milieu nucléaire se heurte souvent à des verrous importants en terme de justification de nouveaux matériaux. Bien que de nombreuses actions sont en cours à travers le monde, et notamment chez Framatome, sur la justification de matériaux issus de fabrication additive le passage à des matériaux intelligents n'est pas immédiate. En effet, leur développement est souvent lié à l'utilisation de matériaux à mémoire de forme et/ou actuateur dont la tenue en service n'est pas trivialement assurée pour des sollicitations en service extrême (température, irradiation...). **L'objectif du présent projet est donc d'étudier la faisabilité d'une conception de structures intelligentes/4D uniquement à partir de matériaux conventionnels. Pour ce faire, l'utilisation de matériaux architecturés est indispensable et pourrait permettre l'accès à structures pilotables (via stimuli) ou à mémoire de forme uniquement à partir de matériaux éprouvés dans le domaine nucléaire.**

2. Outils de développement :

La preuve de faisabilité d'une conception de structures intelligentes uniquement à partir de matériaux conventionnels sera accomplie à l'aide de l'utilisation de matériaux architecturés conçus par optimisation topologique à deux échelles.

2.1. Optimisation Free-Material macroscopique

A l'échelle de la structure et afin d'atteindre la configuration cinématique ciblée par activation du stimuli, une optimisation macroscopique de type *Free-Material* est envisagée.

Cela consiste à trouver la bonne répartition spatiale des propriétés matériaux effectifs (thermo-mécaniques) à l'échelle macroscopique. Pour ce problème, les variables de design seront les propriétés physique en chaque point de la structure.

2.2. Optimisation topologique microscopique

Une fois les propriétés physiques optimales de l'échelle macroscopiques sont déterminées, l'objectif est ensuite de concevoir la matériau architecturé avec ces propriétés prescrites (le matériau est dit architecturé car pour un matériau local donné, on cherche à atteindre une performance ou propriétés effectives ciblées en optimisant la microstructure). Ainsi, à l'échelle microscopique et afin d'atteindre les propriétés macroscopiques ciblées, le recours à des stratégie basée sur *l'optimisation topologique* paraît judicieux. Cela consiste à trouver la bonne répartition spatiale de la matière (zones avec de la matière et zones vides). Pour ce problème, les variables de design seront la densité de la matière en chaque point du matériau architecturé.

2.3. Pilotage par les données

La complexité algorithmique du problème à deux échelles évoqué précédemment rend la solution par des solveurs d'optimisation standard avec des calculs à l'échelle fine impossible. Dans un objectif d'écourter le temps de calcul, on propose une stratégie avec un calcul à deux échelles séparés et assistés par des données d'un abaque numérique.

3. Cas d'étude

Le présent projet mais vise à vérifier des preuves de concept à partir de l'utilisation d'alliages de référence du nucléaire, tels que des matériaux austénitiques. Deux types de concept, tirés de la littérature, seront à minima à l'étude et sont représentés en Figure 1 : i) l'activation d'un mécanisme de préhension suite à un changement de condition de fonctionnement et ii) le pliage autonome d'une structure sous stimuli.

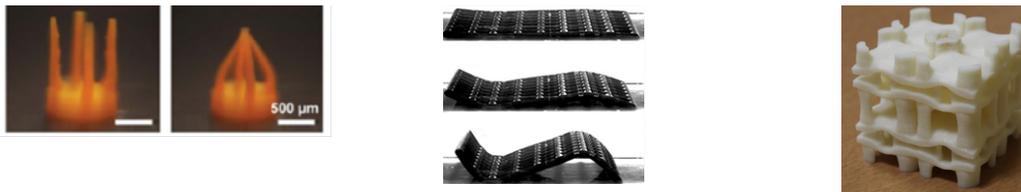


Figure 1 : Mécanisme automatique de préhension [5], pliage autonome d'une structure [6], Exemple d'un matériau architecturé [6]

Software: Matlab, Fortran, Python

Keywords: optimisation topologique multi-échelles, Free material, matériaux architecturés, data-driven

Nous cherchons un étudiant master 2 (ou équivalent) avec un fort niveau en Mathématiques Appliquées et/ou Mécanique computationnelle. Pour postuler envoyer votre CV, notes et une lettre de motivation à nawfal.blal@insa-lyon.fr

[1] O. Sigmund et al. Design of materials with extreme thermal expansion using a three phase topology optimization method. J. Mech. Phys. Solids, 45, 1037-1067, 1997.

[2] T. Djourachkovitch et al. Conception de structures micro-architecturées par optimisation topologique multi-échelle. CSMA 2019.

[3] Y. Liu et al. High fracture toughness micro-architectured materials. Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 143, 104060, 2020.

[4] A. Mitchell et al. Additive manufacturing – A review of 4D printing and future applications. Additive manufacturing, 24, 606-626, 2018.

[5] S. Joshi et al. 4D printing of materials for the future : opportunities and challenges. Applied Materials Today, 18, 100490, 2020.

[6] T. Djourachkovitch, N. Blal, N. Hamila, A. Gravouil. Multiscale Topology Optimization of 3D Structures: A micro-architectured materials database assisted strategy. Computers and Structures, (under review)