Stage de Master M2 /PFE

Conception et optimisation de structures auxétiques en polymères et composites produites par fabrication additive

Porteur du projet : Lionel GILSON — Maître de conférences à l'Université de Lille / UML de Lille
Collaborateur scientifique : Rami BELGUITH — Maître de conférences à l'Université d'Artois, représentant du Laboratoire de Génie Civil et géo-Environnement (LGCgE)
Durée du stage : 6 mois (répartis entre Béthune et Lille)

1 Contexte et problématique scientifique

Les structures auxétiques sont des architectures présentant un coefficient de Poisson effectif négatif, qui se traduit notamment par un élargissement transversal sous une sollicitation de traction. Ce comportement macroscopique résulte principalement de leur architecture interne, notamment de la géométrie des cellules élémentaires, de l'orientation des éléments structuraux et des mécanismes de déformation tels que la flexion, la rotation et le flambement des motifs constitutifs [1–3].

La fabrication additive permet de réaliser ces architectures et de faire varier leurs paramètres géométriques. Toutefois, la réponse mécanique des pièces fabriquées dépend également des propriétés du matériau constitutif et des conditions de fabrication. La compréhension de ces interactions est nécessaire pour concevoir des structures présentant un comportement auxétique maîtrisé [2–4].

Ce projet associe les compétences de l'UML de Lille et du LGCgE dans une démarche combinant conception, plan d'expériences, fabrication additive, caractérisation mécanique et modélisation. Il vise à identifier les configurations permettant d'obtenir et de maintenir un coefficient de Poisson effectif négatif sur une plage de déformation définie, puis à exploiter ces résultats pour optimiser les architectures.

2 Objectifs du stage

L'objectif principal est d'étudier l'influence conjointe de la géométrie et du matériau sur le comportement auxétique de structures fabriquées par dépôt de filament fondu (FDM).

- Concevoir et paramétrer une famille d'architectures auxétiques de référence.
- Définir un plan d'expériences intégrant plusieurs matériaux et paramètres géométriques.
- Fabriquer les éprouvettes et caractériser leur réponse mécanique.
- Déterminer le coefficient de Poisson effectif et son évolution avec la déformation.
- Analyser les effets des facteurs étudiés et leurs interactions.
- Confronter les résultats expérimentaux aux simulations numériques.
- Définir des configurations optimisées, en tenant compte du comportement auxétique recherché, de la tenue mécanique et des contraintes de fabrication.

3 Matériaux et périmètre de l'étude

La première phase du projet sera consacrée aux polymères et aux polymères chargés en carbone fabriqués par FDM. Cette liste constitue un ensemble de matériaux mobilisables. La sélection définitive sera arrêtée conjointement par les deux équipes à l'issue des essais préliminaires.

Une campagne principale pourra porter sur le PETG, le PETG HF et le PETG CF, avec un plan d'expériences géométrique commun. Le PLA, l'ABS et le PA6 CF pourront ensuite être étudiés sur un nombre restreint de configurations, afin de conserver un programme compatible avec les six mois du stage.

Les comparaisons porteront sur les formulations commerciales effectivement utilisées. L'attribution des différences au seul renforcement en carbone nécessitera une connaissance suffisante des matrices et des compositions.

4 Démarche scientifique et programme de travail

Sélection et conception des architectures
Une étude bibliographique permettra de sélectionner une architecture auxétique de référence et de définir les paramètres géométriques pertinents. Une conception paramétrée sera développée afin de générer les différentes configurations de manière reproductible [5-7].

Définition du plan d'expériences
Le plan d'expériences croisera la nature du matériau, considérée comme un facteur qualitatif, avec un nombre limité de facteurs géométriques quantitatifs.

Fabrication et caractérisation
La fabrication des éprouvettes sera réalisée au LGCgE. Les références des filaments, leurs conditions de préparation et les paramètres d'impression seront documentés.

Modélisation et optimisation
La modélisation numérique constituera un volet central de l'étude, en complément de la caractérisation expérimentale, afin de comprendre les mécanismes à l'origine du comportement auxétique et d'orienter l'optimisation des architectures étudiées. Elle visera à établir un lien entre les paramètres géométriques des cellules, les propriétés mécaniques des matériaux constitutifs et les performances macroscopiques des structures fabriquées par FDM.

5 Résultats attendus et perspectives

- Une famille de modèles géométriques paramétrés et leurs fichiers de fabrication.
- Un plan d'expériences documenté.
- Une base de données associant matériau, géométrie, conditions de fabrication et réponse mécanique.
- Une analyse des facteurs et interactions influençant le comportement auxétique.
- Des modèles numériques confrontés aux résultats expérimentaux.
- Des recommandations de conception et de premières configurations optimisées.

Le stage constituera une première étape de la collaboration entre les deux équipes. Une extension ultérieure aux matériaux souples fabriqués par SLA et au PA12 mis en œuvre par SLS permettra d'étudier la transférabilité de la démarche à d'autres matériaux et procédés. Ces développements constituent des perspectives au-delà de la campagne FDM prévue dans le stage.

Contacts :

- Lionel Gilson : lionel.gilson@univ-lille.fr
- Rami Belguith : rami.belguith@univ-artois.fr

Comment candidater ?

- **Envoyer un CV et une lettre de motivation (1 page max)**
- **Relevés de notes des deux dernières années (obligatoire !)**
- **2 lettres de recommandation**

6 Références :

[1] Mocerino, D., Ricciardi, M. R., Antonucci, V., & Papa, I. (2023). Fused deposition modelling of polymeric auxetic structures: a review. *Polymers*, *15*(4), 1008.

[2] Xue, X., Lin, C., Wu, F., Li, Z., & Liao, J. (2023). Lattice structures with negative Poisson's ratio: A review. *Materials Today Communications*, *34*, 105132.

[3] Mondal, P., & Jayaganthan, R. (2023). Review of mechanical properties and impact response of PLA auxetic structures. *Materials Today: Proceedings*, *87*, 307-313.

[4] Jiang, D., Thissen, H., Hughes, T. C., Yang, K., Wilson, R., Murphy, A. B., & Nguyen, V. (2024). Advances in additive manufacturing of auxetic structures for biomedical applications. *Materials Today Communications*, *40*, 110045.

[5] Nugroho, W. T., Dong, Y., Pramanik, A., Selvan, M. C. P., Zhang, Z., & Ramakrishna, S. (2023). Additive manufacturing of re-entrant structures: Well-tailored structures, unique properties, modelling approaches and real applications. *Additive Manufacturing*, *78*, 103829.

[6] Széles, L., Horváth, R., & Cveticanin, L. (2024). Analysis of mechanical properties and parameter dependency of novel, doubly re-entrant auxetic honeycomb structures. *Polymers*, *16*(17), 2524.

[7] Chen, Z., Li, J., Wu, B., Chen, X., & Xie, Y. M. (2024). Enhanced mechanical properties of re-entrant auxetic honeycomb with self-similar inclusion. *Composite Structures*, *331*, 117921.