

SUJET DE DOCTORAT

Sujet

Vers une modélisation de structures en impression 3D composites renforcés avec des fibres longues.

Lieu

Laboratoire SYMME (Systèmes et Matériaux pour la MEcatronique) - campus d'Annecy de l'Université Savoie Mont Blanc

Profil recherché

Formation niveau Bac + 5 en mécanique et matériaux avec une bonne connaissance en science des matériaux et en modélisation éléments finis. Le candidat recherché devra idéalement avoir une expérience en impression 3D. On recherche un profil équilibré entre expérimentateur et modélisateur. Une forte curiosité et une rigueur scientifique sont attendues pour mener à bien le projet.

Résumé

Les travaux de recherche en impression 3D composites à fibres longues connaissent une croissance importante depuis 2015. Ce moyen tend vers de la réalisation de pièces mécaniques industrielles et non plus seulement de pièces prototypes. Il devient pertinent d'avoir des modèles de comportements à la fois thermomécanique et géométrique des pièces ainsi imprimées.

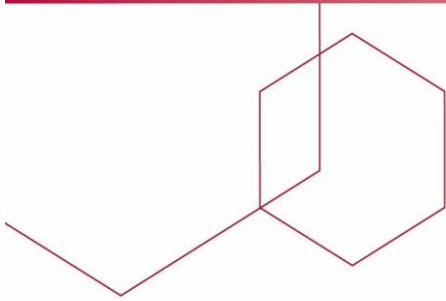
L'objectif des travaux de cette thèse est dans un premier temps, d'identifier une maille élémentaire représentative en fonction des différents paramètres d'impression. Il s'agit ensuite de la caractériser au moins d'un point de vue géométrique et thermomécanique, puis électrique voire acoustique et/ou vibratoire. L'intégration, dans un code de calculs Eléments Finis, de la modélisation issue de ces caractérisations précédemment obtenues sera la dernière étape de ces premiers travaux.

On disposera ainsi d'un outil prédictif performant avant de lancer des impressions 3D de pièces de structure qui peuvent être coûteuses en temps et en fibres. De plus, à partir des caractérisations thermiques, électriques, acoustiques ou vibratoires obtenues, il est possible que s'ouvrent des opportunités d'utiliser le renfort fibre comme capteur ou actionneur directement imprimé au cœur de la pièce structurelle.

Contacts

Pascale Balland (pascale.balland@univ-smb.fr)

Alain Sergent (alain.sergent@univ-smb.fr)



Projet de recherche détaillé

L'impression 3D composites à fibres longues (FR3DP) connaît depuis 5 ans des applications croissantes dans le domaine du prototypage mais aussi de la fabrication de pièces fonctionnelles [1]. Ce développement s'est fait très rapidement pour répondre à des besoins commerciaux sans caractérisation ni modélisation thermomécanique pointues associées. Cette approche connaît aujourd'hui ses limites et nécessite une meilleure connaissance de ce procédé d'un point de vue au moins d'un point de vue thermomécanique [2-3] et géométrique [4-5] et ouvre des possibilités sur les propriétés thermique, acoustique et/ou vibratoire par la présence de deux matériaux très différents.

Le laboratoire SYMME étant d'une part, équipé de moyens de caractérisation complets et reconnu dans ce domaine, et ayant d'autre part investi dans des moyens d'impression 3D multiples :

- impression par fils bi-matière (matrice + fibres longues) - objet de cette étude -
 - impression par fusion laser sur lit de poudre - thèse qui commencera en 2021 -
- il apparaît opportun de lancer des travaux de caractérisation et de modélisation thermomécanique sur ces nouveaux moyens de fabrication rapide et en plein essor.

Dans un premier temps, il faudra, par une étude bibliographique, trouver le (ou les) couple(s) résine-renfort le(s) plus adapté(s) aux attentes parmi les matériaux disponibles pour notre imprimante 3D, soit pour les résines : Onyx et Nylon, et les renforts fibrés : Kevlar, fibre de verre, fibre de carbone.

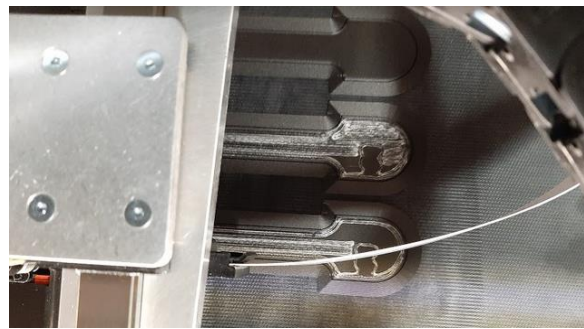
Les 5 étapes de l'étude et les moyens associés sont décrits ci-dessous :

1- *Prise en main de la machine Markforged X7* pour maîtriser la conformité des pièces imprimées par rapport à leur définition : géométrie, répartition, orientation des fibres...

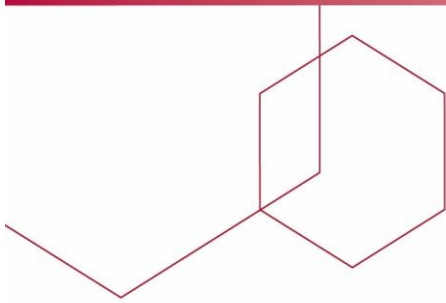
Moyens visés : métrologie classique et analyse modale pour identifier les familles de défauts et tomographie aux rayons X (EASYTOM XL) pour avoir les informations géométriques de la résine et des fibres au cœur de la pièce imprimée.



Motifs de remplissage de la matrice



Dépôt de fibre longue par buse spécifique



SYMME

2- *Campagne d'expérimentations selon un plan d'expériences* bien défini pour :

- Imprimer de manière optimisée les différentes configurations retenues par le plan d'expériences pour un couple matériaux résine-renfort imposé
- Identifier et définir le volume minimal, qui pourrait être appelé *Maille Élémentaire Représentative*, qui sera bien représentatif de l'ensemble de la structure imprimée
- Pour en déduire l'influence des paramètres d'impression (épaisseur de couche ; motif de remplissage ; orientation des fibres...) sur les caractéristiques qui sont mesurées dans l'étape suivante

Moyen visé : logiciel Ellistat

3- *Diverses caractérisations de chaque maille élémentaire* du plan d'expériences d'un point de vue :

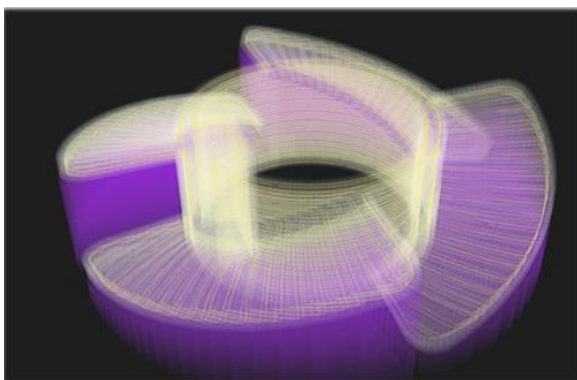
- Thermomécanique : avec la détermination des paramètres élastoplastiques de l'ensemble imprimé. Des travaux ont déjà été menés mais pas en température et pas de manière complète [2].

Moyens visés : machine de traction ; flexion ; essais DMA en température

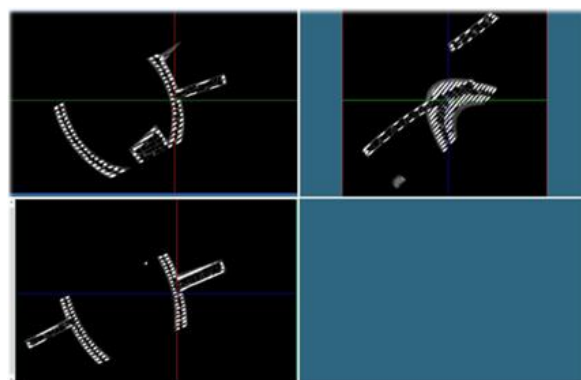
Moyens à développer : conception de mors spécifiques pour exercer de la traction multiaxiale suivant les directions d'impression des fibres (30° ; 45°...)

- Géométrique et dimensionnelle : dans le but de mesurer le retrait de la matière dans le plan d'impression avec ou sans fibre longue pour pouvoir l'anticiper dans la définition de la géométrie initiale d'une pièce

Moyens visés : métrologie tridimensionnelle, analyse modale et tomographie RX

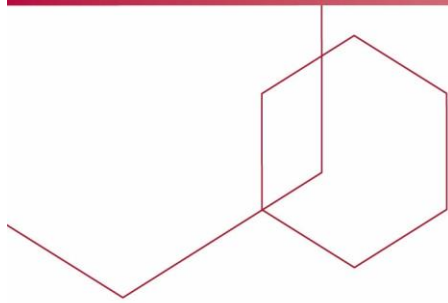


CAO de l'impression d'une hélice fibrée



Images tomographiques (fibres en blanc)

- Electrique : mesure de la conductivité de la fibre noyée dans la résine par exemple si elle est conductrice
- Vibratoire et/ou acoustique : possibilités d'obtenir des filtres grâce à la présence de certaines fibres.



SYMME

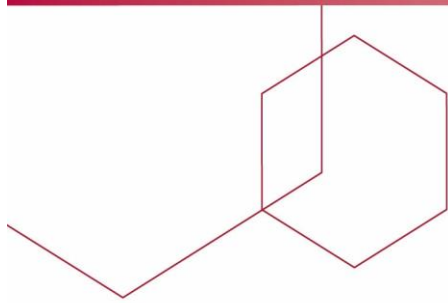
4- *Modélisation et validation à partir d'un code de calcul par éléments finis* du comportement thermomécanique de chaque maille élémentaire : il s'agira dans un premier temps de définir la meilleure modélisation possible pour optimiser le triptyque coût-temps-précision et ensuite de vérifier que l'on retrouve bien les caractéristiques mesurées sur les essais élémentaires (traction, flexion...). Des premières modélisations ont déjà été engagées [3].

5- *Application du modèle éléments finis sur une pièce de structure et validation expérimentale* : une pièce de structure pertinente sera définie. La prédiction de la géométrie à imprimer pour avoir une géométrie finale voulue sera testée et une prédiction de ses caractéristiques mécaniques sera également calculée. La confrontation avec l'impression 3D et la caractérisation expérimentale d'une pièce réelle sera le gage de la qualité de notre modélisation.

A partir des résultats obtenus dans cette étude complète, il sera alors possible de juger les préconisations données par les fabricants d'imprimantes 3D composites en fonction des situations recherchées. Nous disposerons également d'un outil numérique définissant la géométrie de la pièce à imprimer pour avoir une géométrie voulue ainsi que les caractéristiques mécaniques attendues. De plus, il pourra être envisagé d'intégrer les fibres longues comme des capteurs ou actionneurs directement imprimés au cœur d'une pièce en fonction des autres propriétés physiques mesurées.

Références bibliographiques

- [1] Manoj Prabhakar, M., Saravanan, A. K., Haiter Lenin, A., Jerin leno, I., Mayandi, K., & Sethu Ramalingam, P. (2020). A short review on 3D printing methods, process parameters and materials. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.225>
- [2] Bárnik, F., Vaško, M., Handrik, M., Dorčiak, F., & Majko, J. (2019). Comparing mechanical properties of composites structures on Onyx base with different density and shape of fill. *Transportation Research Procedia*, 40, 616–622. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.07.088>
- [3] Somireddy, M., & Czekanski, A. (2021). Computational modeling of constitutive behaviour of 3D printed composite structures. *Journal of Materials Research and Technology*, 11, 1710–1718. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.02.030>
- [4] Farhan Khan, M., Alam, A., Ateeb Siddiqui, M., Saad Alam, M., Rafat, Y., Salik, N., & Al-Saidan, I. (2020). Real-time defect detection in 3D printing using machine learning. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.482>
- [5] Rivas Santos, V. M., Thompson, A., Sims-Waterhouse, D., Maskery, I., Woolliams, P., & Leach, R. (2020). Design and characterisation of an additive manufacturing benchmarking artefact following a design-for-metrology approach. *Additive Manufacturing*, 32, 100964. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.100964>



SYMME

Financement de la thèse – concours pour l’obtention d’une Allocation Doctorale de Recherche de l’Ecole Doctorale SISEO de l’Université Savoie Mont Blanc pour septembre 2021

Le contrat doctoral fixe une rémunération principale, indexée sur l’évolution des rémunérations de la fonction publique : depuis le 1er février 2017, elle s’élève à 1768,55 euros bruts mensuels pour une activité de recherche seule. Des heures d’enseignements peuvent être effectuées dans la limite de 64 heures équivalent TD par année universitaire après autorisation du président de l’université et rémunérées au taux fixé pour les travaux dirigés en vigueur. D’autres activités complémentaires au contrat doctoral sont prévues par l’article 5 du décret n° 2009-464 du 23 avril 2009 modifié. La durée totale des activités complémentaires aux activités de recherche confiées au doctorant dans le cadre du contrat doctoral ne peut excéder un sixième du temps de travail annuel.