

PROPOSITION DE THÈSE

**Caractérisation multi-échelle de la résistance mécanique
à l'interface fibre/matrice de matériaux composites recyclés et/ou recyclables**

Laboratoire d'accueil : Institut FEMTO-ST
Département de Mécanique Appliquée (DMA)
Équipes MAT'ÉCO (Matériaux pour la transition écologique)
et MICRO (Microtechniques Intelligentes)

Spécialité du doctorat préparé : Domaine scientifique : Sciences pour l'ingénieur
Spécialité : Mécanique

Mots-clés : Recyclage des composites à matrice organique – Fibres naturelles, de verre et de carbone
Approche micromécanique – Méthodes expérimentales – Modélisation numérique

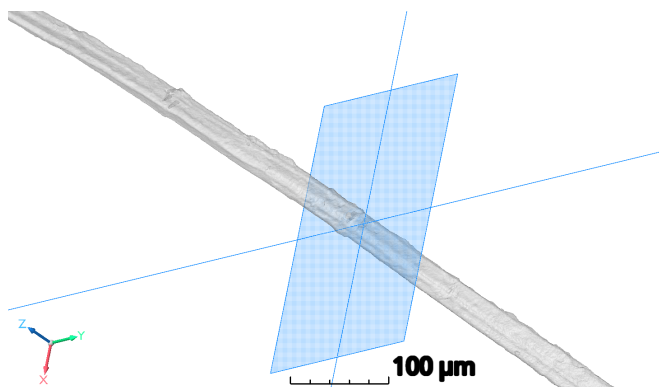
Descriptif détaillé de la thèse :

La quantité de matériaux composites en fin de vie, par exemple issus des nouvelles technologies pour l'énergie ou de l'industrie automobile, ne cesse d'augmenter. Cependant, la recyclabilité totale des composites à matrice organique par séparation et récupération efficaces de leurs composants à haute valeur ajoutée demeure un défi technique et industriel [1,2]. Ce verrou technologique limite ainsi la réduction de l'impact environnemental de ces matériaux. Dans le cadre de l'action PEPR « Recyclabilité, recyclage et réincorporation des matériaux recyclés », le projet RECYCOMP vise à **établir une nouvelle génération de matériaux composites à matrice organique recyclables obtenue à partir de matières premières de recyclage** dans une logique d'économie circulaire.

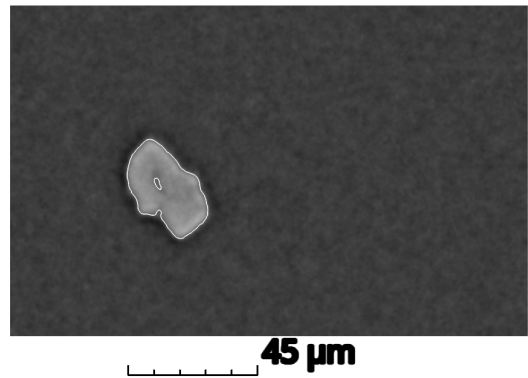
En outre, l'interface fibre/matrice joue un rôle crucial d'un point de vue mécanique puisqu'elle assure le transfert de charges entre les deux constituants. Plus généralement, elle est, aux petites échelles, le siège de fortes interactions pouvant avoir une influence significative au niveau du comportement macroscopique du composite. Par conséquent, la compréhension et la maîtrise des mécanismes responsables de la résistance mécanique à l'interface fibre/matrice sont nécessaires pour exploiter pleinement le potentiel de cette nouvelle génération de matériaux.

L'équipe MAT'ÉCO (Matériaux pour la transition écologique) du Département de Mécanique Appliquée (DMA) de l'Institut FEMTO-ST développe des méthodes de caractérisation et de modélisation du comportement thermo-hygro-mécanique des composites à fibres végétales de l'échelle nanométrique à l'échelle macroscopique. En s'inscrivant dans le projet RECYCOMP, cette thèse vise à **caractériser la résistance mécanique au niveau de l'interface fibre/matrice de matériaux composites recyclés et/ou recyclables en s'appuyant sur une approche multi-échelle.**

Afin de répondre à cet objectif, la démarche proposée comprend plusieurs étapes. Il s'agira principalement de caractériser, tant d'un point de vue mécanique que microstructural, l'interface fibre/matrice des matériaux étudiés dans ce projet (fibres naturelles, de verre ou de carbone avec, en majorité, une matrice thermoplastique). Plusieurs **méthodes de caractérisation** peuvent être envisagées aux **différentes échelles** [3]. Par exemple, des essais de déchaussement de fibre ou de cisaillement dans le plan seront considérés. Ces essais mécaniques pourront, en particulier, être couplés à la micro-tomographie X (Figure 1) dont les équipements sont disponibles sur la plateforme MIFHySTO de l'Institut. Il s'agit dès lors de pouvoir proposer des moyens de caractérisation originaux [4]. Cette approche expérimentale sera complétée par une **démarche de simulation numérique** en vue de proposer un **modèle mécanique** de la résistance à l'interface de ces matériaux. À l'issue de la phase de caractérisation, une étape de comparaison des résultats avec des composites conventionnels visera à valider les processus de recyclage investigués.



(a) Visualisation 3D d'une fibre d'ortie par micro-tomographie X (résolution : 0.45 µm)



(b) Vue de la section transversale de la fibre

Figure 1 : Exemple d'étude de fibres naturelles par micro-tomographie X [5]

Références bibliographiques :

- [1] Khalid, M. Y., et al. (2022). Recent trends in recycling and reusing techniques of different plastic polymers and their composite materials. *Sustainable Materials and Technologies*, 31, e00382.
- [2] Bourmaud, A. and Baley, C. (2007). Investigations on the recycling of hemp and sisal fibre reinforced polypropylene composites. *Polymer Degradation and Stability*, 92 (6), 1034-1045.
- [3] Huang, S., et al. (2021). Characterization of interfacial properties between fibre and polymer matrix in composite materials – A critical review. *Journal of Materials Research and Technology*, 13, 1441-1484.
- [4] Govilas, J., et al. (2022). Platen parallelism significance and control in single fiber transverse compression tests. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 159, 106990.
- [5] Richely, E., et al. (2023). Measurement of microfibril angle in plant fibres: Comparison between X-ray diffraction, second harmonic generation and transmission ellipsometry microscopies. *Composites Part C: Open Access*, 11, 100355.

Profil recherché :

De formation Bac+5 (Master ou École d'ingénieurs) en mécanique, le candidat possède un goût prononcé pour l'expérimentation ainsi que des compétences en modélisation/simulation numérique. Une expérience dans les matériaux composites sera un plus. Faire preuve de rigueur et d'autonomie, aimer travailler en équipe, avoir de bonnes capacités de communication (à l'écrit et à l'oral) en français et en anglais sont des aptitudes attendues chez le candidat.

Compétences recherchées : Expérimentation / Instrumentation – Caractérisation des matériaux – Simulation numérique en mécanique – Mécanique des matériaux

Financement : Projet RECYCOMP (ANR-22-PERE-0005) soutenu par l'ANR au titre de France 2030

Début du contrat : Septembre/Octobre 2023

Encadrement de la thèse :

Directeur : Sébastien THIBAUD, Professeur, SUPMICROTECH-ENSMM
sebastien.thibaud@femto-st.fr

Co-directeurs : Xavier GABRION, Ingénieur de Recherche, SUPMICROTECH-ENSMM
xavier.gabrion@femto-st.fr
 Florian BOUTENEL, Maître de Conférences, SUPMICROTECH-ENSMM
florian.boutenel@femto-st.fr

Merci de transmettre
 un **CV**, une **lettre de motivation** et les **relevés de notes avec classements** (années M1 et M2)
 à florian.boutenel@femto-st.fr

Date limite de candidature : 15 juin 2023