Proposition de stage/PFE (niveau M2)

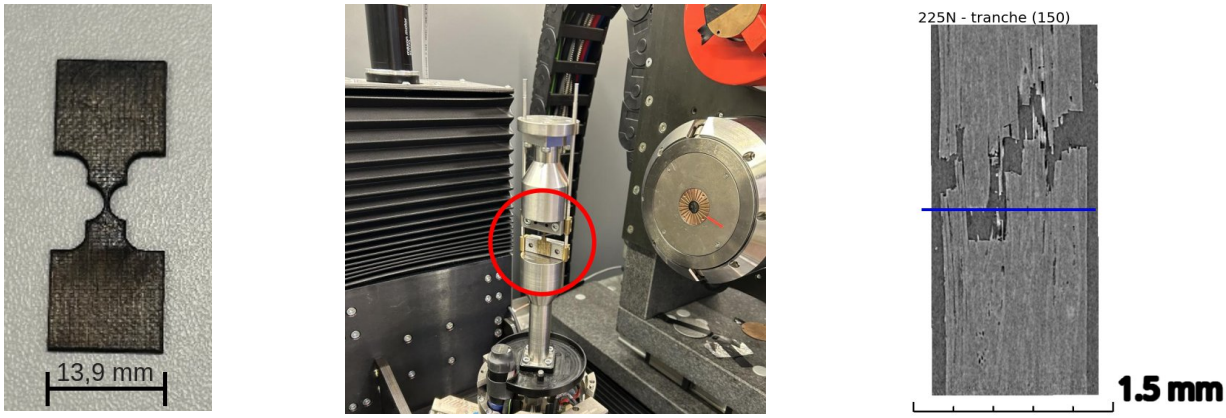
Caractérisation à l'échelle microscopique de composites à fibres végétales par microtomographie à rayons X : conception de micro-éprouvettes et analyse tomographique pour l'étude de la rupture

Contexte

Les composites biosourcés renforcés par des fibres végétales, en particulier le lin, constituent une alternative prometteuse aux composites conventionnels à fibres de verre ou de carbone dans de nombreuses applications à haute valeur ajoutée (aéronautique, spatial, sport,...). Ces matériaux présentent en effet des propriétés mécaniques spécifiques comparables aux fibres de verre tout en affichant un impact environnemental réduit [1]. Cependant, leur déploiement à grande échelle reste limité par une compréhension encore limitée de leurs mécanismes d'endommagement. Les spécificités des fibres végétales (longueur finie, variations morphologiques) et leurs défauts (kink-bands, fissures préexistantes), les porosités présentes dans la matrice ainsi que les défauts d'interface fibre/matrice influencent fortement l'amorçage et la propagation des fissures [2].

Afin d'étudier ces mécanismes, le Département de Mécanique Appliquée de l'Institut FEMTO-ST développe actuellement, dans le cadre de la thèse de Cléa Franchon, des essais de rupture *in situ* sous microtomographie à rayons X sur des micro-éprouvettes de composites lin/époxy. Les premiers résultats ont permis de mettre en évidence la complexité des trajets de fissures observés.

Le principal verrou scientifique identifié concerne aujourd'hui l'exploitation quantitative des volumes tomographiques. En effet, le faible contraste radiographique entre les fibres végétales et la matrice polymère complique fortement la segmentation des images et l'identification des différents constituants du matériau. Cette limitation empêche également l'utilisation de méthodes d'analyse d'images avancées telles que la corrélation volumique d'images (Digital Volume Correlation, DVC), pourtant particulièrement prometteuse pour identifier les zones de localisation de la déformation précédant la rupture.



(a) (b) (c)

Figure 1 : (a) micro-éprouvette UD lin/époxy usinées par CNC. (b) Dispositif d'essais in situ sous microtomographie à rayons X. (c) Coupe tomographique de la partie utile de l'échantillon après rupture.

Dans ce contexte, ce stage s'inscrit dans le projet Chrysalide TIX-µcrack qui vise à lever ces verrous méthodologiques afin de rendre exploitables les essais de rupture *in situ* sous microtomographie à rayons X actuellement développés au laboratoire. Trois actions complémentaires sont envisagées : (i) élaborer des composites spécifiquement adaptés à l'imagerie RX grâce à l'introduction d'agents de contraste dans la matrice [3], (ii) développer des méthodes robustes de segmentation des volumes tomographiques, reposant sur des approches adaptatives et, si nécessaire, sur des outils d'intelligence artificielle et (iii) mettre en œuvre la corrélation volumique d'images afin d'identifier les zones de localisation de la déformation avant rupture et de les relier aux défauts présents dans le matériau.

INSTITUT FEMTO-ST, DÉPARTEMENT MÉCANIQUE APPLIQUÉE
24 rue de l'Épitaphe, 25000 BESANÇON – www.femto-st.fr

Objectifs du stage

L'objectif général du stage est de développer des composites avec un meilleur contraste aux rayons X ainsi qu'une chaîne de traitement d'images tomographiques permettant ensuite la caractérisation quantitative des mécanismes d'endommagement des composites biosourcés.

Le stage comprendra les étapes suivantes :

- Mise au point de composites optimisés pour les essais à rupture sous microtomographie RX, en particulier en évaluant l'influence d'agents de contraste incorporés dans la matrice sur la qualité des images tomographiques,
- Design de micro-éprouvettes de composites adaptées aux essais à rupture *in situ*,
- Comparer différentes approches de segmentation (seuillage adaptatif, méthodes supervisées, …) pour distinguer les fibres, la matrice, les porosités et les fissures,
- Quantifier la distribution des défauts (porosités, défauts de fibres, interfaces) dans les composites étudiés,
- Préparer les données nécessaires à l'application ultérieure de techniques de DVC pour le calcul des champs de déformation avant rupture.

Profil recherché

Étudiant·e en Master 2 ou en école d'ingénieurs dans le domaine de la mécanique, des matériaux ou du traitement d'images.

Compétences appréciées :

- goût pour l'expérimentation et l'analyse d'images,
- connaissances en programmation scientifique (Python ou MATLAB),
- notions de traitement d'images 2D/3D,
- intérêt pour les matériaux composites et les techniques de caractérisation avancées.

Une connaissance préalable de la tomographie RX ou des méthodes d'intelligence artificielle appliquées à l'imagerie constituerait un atout, mais n'est pas indispensable.

Laboratoire d'accueil : Institut FEMTO-ST
Département Mécanique Appliquée (DMA)
Équipe MAT'ÉCO (Matériaux pour la transition écologique)

Durée : **6 mois**, à compter de **février/mars 2027**

Gratification : Environ **600 €/mois** (conformément à la législation en vigueur)
Ce stage est financé par l'AAP Chrysalide

Encadrement : François VILLETTE, Maître de Conférences, Université Marie et Louis Pasteur
Vincent PLACET, Ingénieur de Recherche HDR, Université Marie et Louis Pasteur
Cléa FRANCHON, Doctorante, Université Marie et Louis Pasteur

Merci de transmettre un **CV**, vos **relevés de notes** et une **lettre de motivation** à francois.villette@umlp.fr

[1] M. Z. Rahman, "Mechanical and damping performances of flax fibre composites – A review," *Composites Part C: Open Access*, vol. 4, p. 100081, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.jcomc.2020.100081.

[2] E. Guillou *et al.*, "Impact of flax fibre micro-structural features on composite damage observed through micro-CT characterisation," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 181, p. 108118, 2024, doi: 10.1016/j.compositesa.2024.108118.

[3] Y. Lee *et al.*, "3D strain mapping around fibre breaks using in situ synchrotron computed tomography and digital volume correlation," *Composites Part B: Engineering*, vol. 318, p. 113625, Jun. 2026, doi: 10.1016/j.compositesb.2026.113625.

Master's Internship Offer (M2 Level)

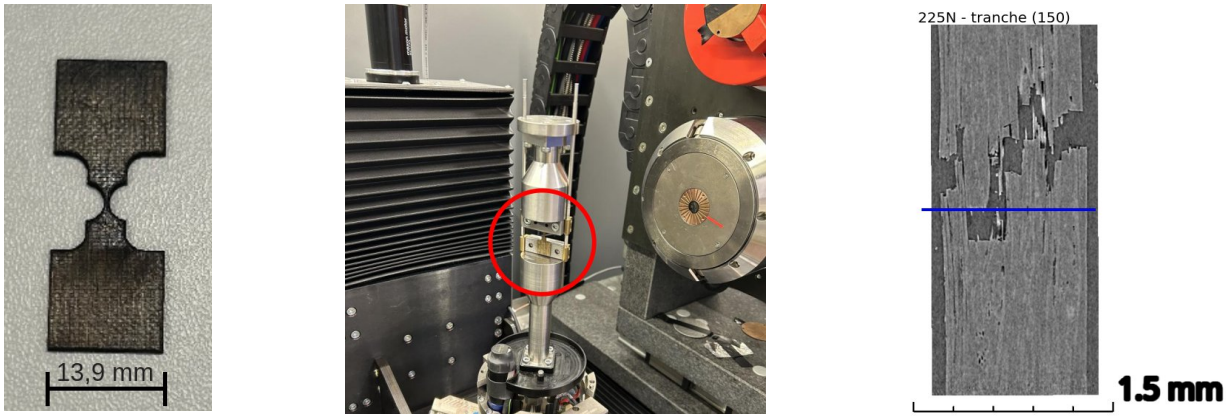
Microscale characterization of plant fibre-reinforced composites through X-ray micro-computed tomography: design of micro-specimens and tomographic analysis for fracture studies

Context

Bio-based composites reinforced with plant fibres, particularly flax, represent a promising alternative to conventional glass- and carbon-fibre composites for many high-value applications (aerospace, space, sports, etc.). These materials exhibit specific mechanical properties comparable to those of glass fibres while offering a reduced environmental impact [1]. However, their large-scale deployment remains limited due to an incomplete understanding of their damage mechanisms. The specific characteristics of plant fibres (finite length, morphological variability) and their defects (kink bands, pre-existing cracks), as well as matrix porosity and fibre/matrix interface defects, strongly influence crack initiation and propagation.

To investigate these mechanisms, the Applied Mechanics Department (DMA) of FEMTO-ST Institute is currently developing, as part of the PhD work of Cléa Franchon, *in situ* fracture experiments under X-ray micro-computed tomography (micro-CT) on flax/epoxy composite micro-specimens. Initial results have highlighted the complexity of the observed crack paths [2].

The main scientific challenge currently identified lies in the quantitative exploitation of tomographic datasets. The low X-ray contrast between plant fibres and the polymer matrix makes image segmentation and phase identification particularly difficult. This limitation also hinders the use of advanced image analysis techniques such as Digital Volume Correlation (DVC), which is particularly promising for identifying strain localization zones that precede fracture.



(a) (b) (c)

Figure : (a) CNC-machined unidirectional (UD) flax/epoxy micro-specimen. (b) Experimental setup for in situ fracture testing under X-ray micro-computed tomography. (c) Tomographic slice of the specimen gauge section following failure.

The internship is part of the Chrysalide TIX-µcrack project, which aims to overcome these methodological barriers and enable the effective use of *in situ* fracture experiments under X-ray microtomography currently being developed in the laboratory. Three complementary research directions are being pursued: (i) the development of composites specifically tailored for X-ray imaging through the incorporation of contrast agents into the matrix [3], (ii) the development of robust tomographic image segmentation methods based on adaptive approaches and, if necessary, artificial intelligence tools and (iii) the implementation of Digital Volume Correlation techniques to identify strain localization zones prior to fracture and correlate them with material defects.

INSTITUT FEMTO-ST, DÉPARTEMENT MÉCANIQUE APPLIQUÉE
24 rue de l'Épitaphe, 25000 BESANÇON – www.femto-st.fr

Internship Objectives

The overall objective of the internship is to develop composites exhibiting enhanced X-ray contrast and to establish a tomographic image-processing workflow enabling the quantitative characterization of damage mechanisms in bio-based composites.

The internship will include the following tasks:

- Design and optimization of composite materials for fracture testing under X-ray microtomography, particularly by evaluating the influence of contrast agents incorporated into the matrix on tomographic image quality,
- Design of composite micro-specimens optimized for in situ fracture experiments,
- Comparison of different segmentation approaches (adaptive thresholding, supervised methods, etc.) for distinguishing fibres, matrix, porosity, and cracks.
- Quantitative analysis of defect distributions (porosity, fibre defects, interface defects) within the studied composites.
- Preparation of datasets for the subsequent application of Digital Volume Correlation (DVC) techniques to compute pre-failure strain fields.

Candidate Profile

Applicants should be enrolled in the second year of a Master's degree (M2) or in an engineering programme in the fields of mechanical engineering, materials science or image processing.

Desirable skills and interests include:

- Motivation for experimental work and image analysis,
- Knowledge of scientific programming (Python or MATLAB),
- Basic understanding of 2D/3D image processing,
- Interest in composite materials and advanced characterization techniques.

Prior experience with X-ray tomography or artificial intelligence methods applied to imaging would be an asset but is not required.

Host Laboratory :	FEMTO-ST Institute Applied Mechanics Department (DMA) MAT'ÉCO Research Group (Materials for Ecological Transition)
Duration :	**6 months**, starting in **February/March 2027**.
Internship Allowance :	Approximately **€600 per month**, in accordance with current French regulations. This internship is funded by the Chrysalide Call for Projects (AAP Chrysalide).
Supervisors :	François VILLETTE, Associate Professor, Marie and Louis Pasteur University Vincent PLACET, Research Engineer (HDR), Marie and Louis Pasteur University Cléa FRANCHON, PhD Candidate, Marie and Louis Pasteur University

Please send a **CV**, your **academic transcripts**, and a **cover letter** to francois.villette@umlp.fr

[1] M. Z. Rahman, "Mechanical and damping performances of flax fibre composites – A review," *Composites Part C: Open Access*, vol. 4, p. 100081, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.jcomc.2020.100081.

[2] E. Guillou *et al.*, "Impact of flax fibre micro-structural features on composite damage observed through micro-CT characterisation," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 181, p. 108118, 2024, doi: 10.1016/j.compositesa.2024.108118.

[3] Y. Lee *et al.*, "3D strain mapping around fibre breaks using in situ synchrotron computed tomography and digital volume correlation," *Composites Part B: Engineering*, vol. 318, p. 113625, Jun. 2026, doi: 10.1016/j.compositesb.2026.113625.