

Proposition de stage (niveau M2) :

Développement d'essais à rupture aux petites échelles de composites à renforts de fibres végétales

Contexte

Avec la prise en compte des enjeux environnementaux, il est nécessaire d'introduire des composants éco-sourcés dans les matériaux afin de réduire leur empreinte carbone. L'utilisation de fibres végétales (ex : lin, chanvre) comme alternative aux renforts synthétiques dans les composites répond en partie à cet objectif. En effet, les fibres végétales présentent des propriétés mécaniques en traction comparables aux fibres de verre. Néanmoins, les fibres naturelles présentent des défauts ainsi qu'une variabilité naturelle de structure qui peuvent impacter ses propriétés à rupture et la tenue des pièces en service. Une bonne compréhension des mécanismes d'endommagement des fibres végétales est donc nécessaire pour les utiliser dans des applications à haute valeur ajoutée. Si quelques études dans la littérature s'intéressent à l'endommagement à l'échelle de la fibre [1-2], un certain nombre de questions restent encore ouvertes à ce jour : Où s'initie l'endommagement dans la fibre ? Quelles sont les longueurs caractéristiques en jeu lors de la rupture ? Comment la matrice du composite interagit avec la fibre ? Pour y répondre, un certain nombre de verrous doivent être levés, notamment sur la faisabilité d'essais de caractérisation de l'endommagement jusqu'à l'échelle de la fibre élémentaire.

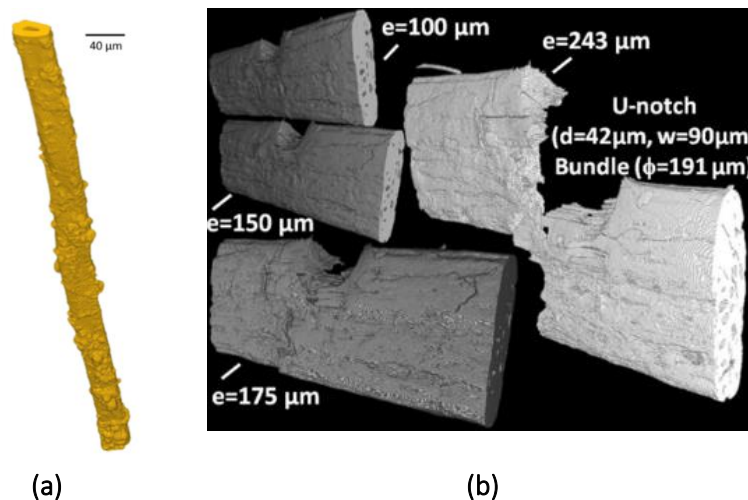


Figure 1 : (a) Tomographie RX d'une fibre de lin [Jeannin et al., 2024], (b) Tomographie RX de la rupture d'un faisceau de fibres préalablement entaillé [1].

Dans ce contexte, ce projet de stage a pour ambition de mettre au point des essais à rupture à l'échelle de la fibre élémentaire. Pour cela, le laboratoire dispose de moyens de caractérisation aux petites échelles dont un tomographe à rayons X ainsi que des micro-dispositifs de traction. Nous souhaitons utiliser ces dispositifs afin de mener des essais in-situ sous tomographie RX ce qui permettrait de suivre le développement de l'endommagement à ces petites échelles lors d'essais à rupture. Une méthode par descente d'échelles est envisagée en commençant par réaliser des essais à rupture sur des microéchantillons de composites unidirectionnels (quelques fibres dans une matrice), puis dans un second temps, en s'intéressant à des faisceaux de fibres et enfin à une seule fibre. Pour ces systèmes étudiés, le stage s'intéressera à la mise en place des essais, à sa réalisation et à l'analyse des résultats obtenus. En fonction du profil de la personne retenue, les résultats expérimentaux pourront être confrontés à une modélisation numérique.

Objectifs du stage

La finalité du stage est le développement d'essais à rupture de fibres végétales sous tomographe à rayons X, afin d'observer les mécanismes d'endommagement aux petites échelles. Le stage comprendra les étapes suivantes :

- Mise en place de l'essai (dimensionnement des éprouvettes, création d'entailles, adaptation du dispositif de traction, ...),
- Réalisation des essais sous tomographe à rayons X,
- Analyse des résultats (caractérisation structurale par analyse d'images tomographiques).

Profil recherché

Étudiant·e en école d'ingénieurs ou en Master 2 dans le domaine de la mécanique ou des matériaux, possédant un goût prononcé pour l'expérimentation et l'analyse d'images. Une connaissance en tomographie serait un élément favorisant mais n'est pas une contrainte forte. Les profils mixtes expérimental/numérique seront également appréciés.

Laboratoire d'accueil :

Institut FEMTO-ST
Département Mécanique Appliquée (DMA)
Équipe MAT'ÉCO (Matériaux pour la transition écologique)
et MICRO (Microtechniques Intelligentes)

Durée :

6 mois, à compter de février/mars 2026

Gratification :

Environ 600 €/mois (conformément à la législation en vigueur)
Ce stage est financé par l'ANR TREC.

Encadrement :

François VILLETTE, Maître de Conférences, Université Marie et Louis Pasteur
Vincent PLACET, Ingénieur de Recherche HDR, Université Marie et Louis Pasteur
Xavier GABRION, Ingénieur de Recherche, SUPMICROTECH-ENSMM

Merci de transmettre un **CV** et une **lettre de motivation** à francois.villette@femto-st.fr

[1] Beaugrand, J., Guessasma, S. & Maigret, JE. Damage mechanisms in defected natural fibers. Sci Rep 7, 14041 (2017). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-14514-6>

[2] Guessasma S and Beaugrand J (2019) Damage Kinetics at the Sub-micrometric Scale in Bast Fibers Using Finite Element Simulation and High-Resolution X-Ray Micro-Tomography. Front. Plant Sci. 10:194. doi: 10.3389/fpls.2019.00194

Internship proposal (Master degree level):

Development of small-scale fracture tests for plant fibre-reinforced composites

Context

With environmental issues being taken into account, it is necessary to introduce eco-sourced components into materials in order to reduce their carbon footprint. The use of plant fibres (e.g., flax, hemp) as an alternative to synthetic reinforcements in composites partially meets this objective. Plant fibres have tensile mechanical properties comparable to those of glass fibres. However, natural fibres have defects and natural structural variability that can impact their breaking properties and the performance of parts in service. A good understanding of the damage mechanisms of plant fibres is therefore necessary for their use in high value-added applications. While a few studies in the literature have focused on damage at the fibre scale [1-2], a number of questions remain open to date: Where does damage in the fibre begin? What are the characteristic lengths involved in failure? How does the composite matrix interact with the fibre? To answer these questions, a number of obstacles must be overcome, particularly regarding the feasibility of testing to characterize damage down to the elementary fibre scale.

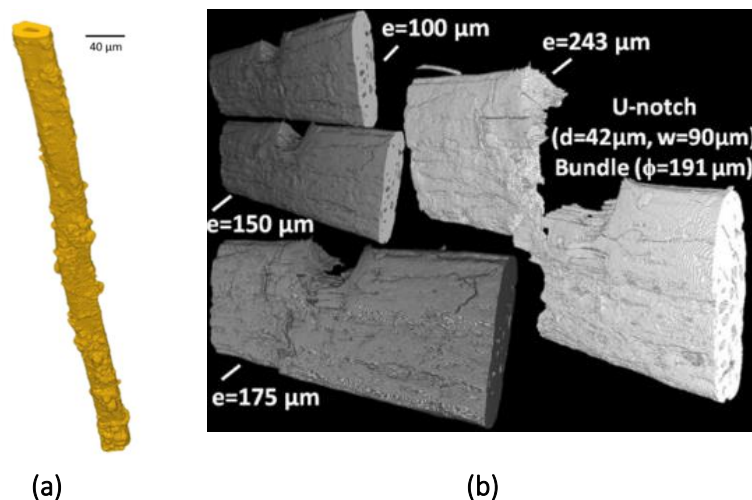


Figure 2 : (a) X-ray tomography of a flax fibre [Jeannin et al., 2024], (b) X-ray tomography of the breakage of a previously notched fibre bundle [1].

In this context, this internship project aims to develop fracture tests at the elementary fibre scale. To this end, the laboratory has small-scale characterization equipment, including an X-ray tomograph and micro-tensile testing devices. We want to use these devices to conduct in-situ tests under X-ray tomography, which would allow us to monitor the development of damage at these small scales during fracture tests. A scale-down method is envisaged, starting with fracture tests on micro-samples of unidirectional composites (a few fibres in a matrix), then moving on to fibre bundles and finally to a single fibre. For these systems, the internship will focus on setting up the tests, carrying them out, and analysing the results. Depending on the profile of the successful candidate, the experimental results may be compared with numerical modelling.

Objectives

The aim of the internship is to develop plant fibre fracture tests using an X-ray tomograph in order to observe damage mechanisms on a small scale. The internship will include the following steps:

- Setting up the test (sizing the test specimens, creating notches, adapting the traction device, etc.),
- Performing the tests under an X-ray tomograph,
- Analyzing the results (structural characterization through tomographic image analysis).

Profile

Student in an engineering school or Master's program in the field of mechanics or materials, with a strong interest in experimentation and image analysis. Knowledge of tomography would be an advantage but is not a strict requirement. Candidates with both experimental and digital backgrounds will also be considered.

Host Laboratory: FEMTO-ST Institute

Department of Applied Mechanics (DMA)
MAT'ÉCO team (Materials for ecological transition)
and MICRO team (Intelligent Microtechnology)

Duration: 6 months, starting in February/March 2026

Gratification: Approximately €600/month (in accordance with current legislation)
This internship is funded by ANR TREC.

Supervision: François VILLETTE, Associate Professor, Université Marie et Louis Pasteur
Vincent PLACET, Research Engineer HDR, Université Marie et Louis Pasteur
Xavier GABRION, Research Engineer, SUPMICROTECH-ENSMM

Please send your **resume** and **cover letter** to francois.villette@femto-st.fr

[1] Beaugrand, J., Guessasma, S. & Maigret, JE. Damage mechanisms in defected natural fibers. Sci Rep 7, 14041 (2017). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-14514-6>

[2] Guessasma S and Beaugrand J (2019) Damage Kinetics at the Sub-micrometric Scale in Bast Fibers Using Finite Element Simulation and High-Resolution X-Ray Micro-Tomography. Front. Plant Sci. 10:194. doi: 10.3389/fpls.2019.00194