



## Laboratoire CIMAP

Centre de recherche sur les Ions, les Matériaux et la Photonique

UMR 6252 – CEA – CNRS – ENSICAEN – UNICAEN

6 Boulevard Maréchal Juin

14050 Caen Cedex 4

### Proposition de sujet de thèse

<b>Titre :</b> Modélisation multi-échelles et caractérisation du comportement phénoménologique d'une fibre végétale sous contrainte	
<b>Contact :</b>	Magali Morales <a href="mailto:magali.morales@ensicaen.fr">magali.morales@ensicaen.fr</a> Christophe Poilâne <a href="mailto:christophe.poilane@unicaen.fr">christophe.poilane@unicaen.fr</a>
<b>Mots clés :</b>	Modélisation multi-échelles ; Fibres de lin ; Comportement mécanique ; Diffraction des rayons X ; Traction
<b>Acronyme :</b>	MICRONLIN
<b>Établissement employeur :</b>	Université de Caen Normandie ou Région Normandie

### Résumé version Française

Les polymères renforcés par des fibres artificielles, particulièrement celles de verre et de carbone, deviennent de plus en plus un choix intéressant pour des applications industrielles. On les retrouve dans l'aéronautique, l'automobile, le sport, l'industrie navale ou encore le bâtiment, du fait de leurs bonnes propriétés : faible densité, résistance et rigidité spécifiques élevées, grande résistance aux chocs, résistance à la corrosion et faible coût de maintenance. Cependant, leur utilisation soulève de plus en plus de questions tant du point de vue sanitaire qu'environnemental, d'autant plus qu'aujourd'hui les normes relatives au respect de l'environnement deviennent de plus en plus sévères. Aussi, la consommation d'énergie pendant la production de ces fibres est élevée et associée à l'émission de Composés Organiques Volatiles nocifs. Il n'existe par ailleurs actuellement aucune solution écologique et économique viable pour recycler des composites à renfort artificiel en fin de vie sans transfert de pollution. Dans le monde des matériaux composites, les renforts artificiels se résument ainsi à un prélèvement de matières premières sous tension – silice et pétrole – sans solution sérieuse de recyclage, et à des techniques de transformations nocives et énergivores. Ces constats ont favorisé l'émergence des matériaux à renfort végétal, pour certains bio-compostables en fin de vie, donc plus respectueux de l'environnement. Ainsi,

en remplaçant les fibres artificielles par des fibres végétales, il est possible de réduire drastiquement l'impact environnemental d'une large gamme de matériaux composites.

Les composites bio-sourcés avec des fibres de lin ont des potentialités d'application fortes et soutiennent la comparaison avec les composites à renfort verre sur bien des points. C'est le cas notamment sur la rigidité spécifique. L'équipe PM2E du CIMAP a montré que dans ces composites le seuil d'élasticité est très faible et fortement tributaire de la température et du taux d'humidité du matériau. Cette particularité fait que les composites lin sont globalement non élastiques. C'est sur ce point qu'il est important d'apporter des certitudes quant à son origine. Au-delà du comportement intrinsèque au lin, si de faibles écarts d'humidité et de température du renfort au moment de l'élaboration des composites à fibre végétale ont un rôle déterminant sur leurs propriétés finales, il convient de le démontrer pour améliorer in fine les processus d'élaboration de ces composites d'avenir. Le projet de thèse MICRONLIN, proposé ici, s'inscrit dans la continuité d'une thèse UNICAEN soutenue en juin 2022. L'objectif était d'établir les lois de comportement mécanique micro-macro qui relient le comportement des composites à renfort végétal aux mouvements des micro-fibrilles constitutives des fibres élémentaires. Pour ce faire, nous avons couplé le comportement mécanique d'un faisceau de fibres de lin sous contrainte et la technique de micro-diffraction des rayons X.

La nouvelle thèse portera sur l'étude de la fibre élémentaire de lin avec l'objectif d'apporter des connaissances solides supplémentaires sur les causes de son comportement, notamment de la rigidification observée sous différentes sollicitations. Le comportement mécanique des fibres isolées présente en effet trois domaines apparents activés ou non lors d'un essai mécanique. Les hypothèses pour expliquer ces observations sont nombreuses : alignement dans l'axe de la fibre des micro-fibrilles de cellulose, cristallisation de la cellulose sous contrainte hydrique, phénomènes non linéaires de type stick-slip, agressions subies par la fibre lors de son extraction, transformation des zones amorphe, cristallines et paracristallines... C'est donc pour confirmer ou infirmer ces différentes hypothèses que nous nous proposons d'étudier le comportement d'une fibre élémentaire de lin par une approche expérimentale multi-échelle accompagnée de modélisations multi-physiques.

## English version

Artificial fiber-reinforced polymers, particularly glass and carbon ones, are increasingly becoming an attractive choice for industrial applications. They are found in fields such as aeronautics, automotive, sports materials, shipbuilding and construction, because of their good properties: low density, high specific strength and rigidity, high impact resistance, corrosion resistance and low maintenance cost. However, their use raises more and more questions both from a health and environmental point of view, especially since today the standards relating to respect for the environment are becoming more and more severe. Also, energy consumption during the production of these fibers is high and associated with the emission of harmful Volatile Organic Compounds. There is currently no viable ecological and economic solution for recycling end-of-life artificial reinforced composite parts without pollution transfer. In the world of composite materials, artificial reinforcements are thus summarized as the use of raw materials under tension – silica and petroleum – without serious solution of recycling, and to harmful and energy-consuming transformation techniques. These findings favored the emergence of plant-reinforced composite materials, for some fully compostable at the end of life, and therefore more respectful of the environment. Thus, by replacing artificial fibers with plant fibers, it is possible to drastically reduce the environmental impact of a wide range of composite materials.

Bio-based composites with flax fibers have strong application potential and stand the comparison with glass reinforced composites on many points. This is particularly the case with “specific stiffness”. The PM2E team of CIMAP showed that in these composites the yield point is very low and highly dependent on the temperature and humidity of the material. This peculiarity makes that flax composites are generally non-elastic. It is clearly that point which need to be clarify as to the origin of the observed phenomenon.

Beyond the intrinsic behavior of flax, if small differences in humidity and temperature of the reinforcement at the time of the composite manufacturing have a determining role on the final properties of plant fiber composites, it must be demonstrated to ultimately improve the processes for developing these future composites.

The MICRONLIN thesis project, proposed here, is a continuation of a UNICAEN thesis defended in June 2022 and whose objective was to establish the laws of micro-macro mechanical behavior that link the behavior of plant-reinforced composites to micro-macro microfibril movements that make up the plant fibers. To do this, we coupled the mechanical behavior of flax fiber bundle under stress and the micro-X-ray diffraction technique. The new thesis will focus on the study of elemental fiber

with the objective of providing additional solid knowledge on the causes of its behavior, including stiffening observed under different stresses. The mechanical behavior of insulated fibers presents three apparent domains which are not always activated during a mechanical test. The hypotheses to explain these observations are numerous: alignment in the fiber axis of cellulose microfibrils, crystallization of cellulose under water stress, nonlinear phenomena like stick-slip effect, aggressions suffered by the fiber during its extraction, transformation of amorphous, crystalline and para-crystalline domains... It is therefore to confirm or refute these different hypotheses that we propose to study the behavior of an elementary flax fiber by a multi-scale experimental approach accompanied by multi-physics modeling.