

**Title :** Approches expérimentales et numériques combinées pour comprendre la relation structure-propriété mécanique des fibres et faisceaux de lin

**Mots clés :** Fibres naturelles, lin, défauts, lumen, modélisation mécanique.

**Résumé :** Parmi les fibres végétales, le lin apparaît comme une alternative viable aux fibres synthétiques pour l'industrie des composites. Cependant, l'accélération de son utilisation à l'échelle industrielle est entravée par une trop grande variabilité en terme de qualité, inhérente à son origine naturelle. L'objectif de notre étude est donc de mieux comprendre la relation structure-propriété mécanique des fibres et faisceaux de lin, grâce à des approches expérimentales et numériques combinées. En particulier, l'influence des conditions de culture, variétés et paramètres de transformation est abordée par comparaison de lots contrastés, en partenariat avec un producteur de lin. L'étude est ensuite axée sur la morphologie complexe de différentes fibres grâce à la tomographie aux rayons X, révélant une porosité contrastée comprise entre 0 et plus de 7%. Une diminution du module de Young avec l'augmentation de la porosité est confirmée par une analyse par éléments finis (EF) dans le domaine élastique. Les concentrations de contraintes locales induites par ces morphologies complexes

sont également révélées. Les défauts sont ensuite caractérisés par des techniques d'imagerie et d'essais mécaniques *in situ*. La diffraction aux rayons X (Synchrotron Soleil) révèle la réorientation des microfibrilles de cellulose de 3 à 24% lors d'essais de traction, dépendante de caractéristiques expérimentales et de la densité de défauts. La rigidification qui en résulte est soulignée par un modèle EF, n'expliquant qu'en partie le comportement non-linéaire observé expérimentalement. Des orientations hétérogènes de microfibrilles sont également observées le long des fibres. Enfin, les mécanismes de rupture sont étudiés par des essais de traction *in situ* avec caméra rapide et tomographie aux rayons X (Synchrotron ESRF). Les résultats apportent des éléments pour mieux comprendre et adapter les propriétés des fibres végétales à l'échelle composite. D'autres perspectives de modélisation s'ouvrent, notamment la prise en compte de mécanismes d'endommagement complexes et l'influence de la lamelle moyenne à l'échelle du faisceau.

**Title :** Combined experimental and numerical approaches to understand the structure-mechanical property relationship of flax fibres and bundles

**Keywords :** Plant fibres, flax, defects, lumen, mechanical modelling.

**Abstract :** Among plant fibres, flax emerges as a promising alternative to synthetic fibres for the composite industry. However, its expansion at a large industrial scale is hindered by variability typically encountered with natural materials in terms of quality. Therefore, the aim of our study is to better understand the structure-mechanical property relationship of flax fibres and bundles, thanks to combined experimental and numerical approaches. In particular, the influence of different growing conditions, varieties and processing parameters is addressed by comparing contrasted flax in partnership with a flax producer. The study is latter focused on the fibre intricate morphology and internal porosities through X-ray tomography, revealing contrasted porosity content between 0 and more than 7%. A decrease of Young's modulus upon increasing porosity is confirmed by a finite element analysis (FEA) in the elastic domain. Local stress concentrations induced by the intricate geometries are also revealed.

The defects are then characterized by means of imaging techniques and *in situ* mechanical testing. X-ray diffraction (synchrotron SOLEIL) reveals reorientations of cellulose microfibrils upon tensile testing ranging from 3 to 24%, with behaviours depending of experimental features and defect content. The resulting stiffening is underlined by a finite element model, only partly explaining the non-linear behaviour observed experimentally. Heterogeneous microfibril orientations are also observed along the fibres. Finally, the complex failure mechanisms are investigated through *in situ* tensile testing with high speed camera recording and X-ray tomography (ESRF). The results are of interest to better understand and tailor the properties of plant fibres at the composite scale. Further prospects regarding modelling will take into consideration the complex damage mechanisms and the influence of the middle lamella at the bundle scale.