

Propagation du comportement non-linéaire en traction de la fibre végétale élémentaire aux faisceaux de fibres : caractérisation des effets morphologiques par simulation numérique

Alessandra DEL MASTO, Frédérique TRIVAUDEY, Violaine GUICHERET-RETEL, Vincent PLACET, Lamine BOUBAKAR

Département de Mécanique Appliquée, FEMTO-ST, UMR CNRS 6174, 24 rue de l'Épitaphe, 25000 Besançon
Université de Franche-Comté, 25000 Besançon

Dans le contexte actuel dit de *développement durable*, l'utilisation des fibres naturelles d'origine végétale (chanvre, lin, bois...) comme éléments de renfort dans les polymères en remplacement des fibres synthétiques est un concept séduisant.

L'utilisation de ces ressources dans la fabrication de matériaux composites est néanmoins liée à une bonne connaissance des propriétés des matériaux constitutifs.

Le principal problème rencontré dans l'utilisation de composites à fibres végétales est lié à la complexité et variabilité¹ de leur comportement mécanique et à la disparité de leurs propriétés mécaniques et morphologiques.

A l'échelle de composites unidirectionnels renforcés par des fibres issues de plantes annuelles, plusieurs auteurs² ont également observé un comportement non-linéaire en traction. Une des hypothèses avancées pour expliquer le comportement observé concerne la non-linéarité du comportement en traction des fibres elles-mêmes. Pour assurer la pérennité des composites à fibres végétales et disposer d'outils de simulation de leur comportement fiables, il est fondamental de bien comprendre l'origine de ces non-linéarités.

Les observations expérimentales ont montré la complexité ainsi que la variabilité de la géométrie des fibres végétales élémentaires. La section des fibres est irrégulière et non-uniforme pouvant se rapprocher pour certaines de formes cylindriques, polygonales ou elliptiques. Ces caractéristiques géométriques peuvent affecter le comportement mécanique des fibres élémentaires, avec apparition de concentrations de contraintes, et les rotations de la fibre. Ces phénomènes peuvent effectivement provoquer la non-linéarité du comportement en traction observé expérimentalement.

L'objectif de cette étude est d'analyser la propagation du comportement mécanique de l'échelle de la fibre élémentaire à celle du faisceau de fibres. L'analyse se concentre notamment sur la compréhension de l'effet de la morphologie des fibres élémentaires sur le comportement en traction des faisceaux. Pour ce faire, une approche numérique a été favorisée, avec des modèles de fibres et faisceaux implémentés dans le code EF Abaqus®. La simulation de l'essai de traction est effectuée dans le cas des fibres (et faisceaux) de chanvre. Une loi de comportement viscoélastique anisotrope est utilisée pour décrire le comportement du matériau constituant la paroi des fibres. Ce modèle de comportement est issu de travaux développés précédemment dans l'équipe³.

La morphologie des fibres est générée à partir de sections elliptiques avec différents *ratios* d'ellipticité, sur la base de données collectées expérimentalement. Dans un premier temps, l'influence de la forme de la section sur la réponse en traction de la fibre élémentaire est caractérisée, pour ensuite évaluer le transfert de comportement à l'échelle des faisceaux, modélisés comme un ensemble de fibres élémentaires enrobées dans une interphase pectique.

Les résultats, en termes de réponse en traction, montrent comment le comportement de la fibre élémentaire se propage aux faisceaux. La structuration en faisceaux entraîne un changement de la forme de la non-linéarité de la réponse par rapport à celle des fibres élémentaires, ainsi qu'une atténuation de l'effet structural lié à la forme de la section des fibres.

¹ Placet, Cissé, and Lamine Boubakar, "Nonlinear Tensile Behaviour of Elementary Hemp Fibres. Part I."

² Shah et al., "Determining the Minimum, Critical and Maximum Fibre Content for Twisted Yarn Reinforced Plant Fibre Composites."

³ Trivaudey et al., "Nonlinear Tensile Behaviour of Elementary Hemp Fibres. Part II."