

Étude multi-échelle de l'interface chanvre/epoxy: influence des contraintes hygroscopiques

Samuel Réquillé¹, Antoine Le Duigou¹, Alain Bourmaud¹, Christophe Baley¹

1: Université Bretagne Sud, IRDL, UMR CNRS 6027
Rue de Saint-Maudé - BP 92116, 56321 Lorient Cedex
e-mail: samuel.requile@univ-ubs.fr

Les fibres végétales sont aujourd'hui utilisées en tant que renforts de composites visant des applications structurelles ou semi-structurelles. L'expérience des industriels montre que certaines applications nécessitent une tenue en humidité sur une large gamme, notamment dans le secteur automobile. Il est donc nécessaire d'étudier le comportement hygro-mécanique de ces matériaux qui sont sujet à un environnement humide et possédant un renfort à tendance hydrophile. En effet, les fibres végétales peuvent être assimilées à une structure de type composite constituée de composés sensibles à l'eau, notamment de polysaccharides : hémicelluloses et de pectines [1,2]. En contact de molécules d'eau, un phénomène de sorption d'eau est observé et est associé à un gonflement des fibres. Dans un matériau composite, ces deux phénomènes entraînent une dégradation des performances mécaniques, généralement associée à une décohésion partielle et un affaiblissement de l'adhérence fibre/matrice [3]. Aujourd'hui la plupart des travaux de la littérature traitent de l'impact de l'eau sur les performances mécaniques des biocomposites à l'échelle macroscopique : une dégradation très sévère notamment par lessivage des composés solubles présents dans les fibres est généralement observée. Ces essais sont loin d'être représentatifs des conditions d'utilisation des biocomposites dans de nombreuses applications avec variation d'humidité relative.

Le transfert de charge, ou résistance au cisaillement de la liaison interfaciale, d'un système composite fibre/matrice est une condition essentielle pour le développement de matériaux hautes performances et peut se décomposer en plusieurs contributions. L'accroche physico-chimique est d'une grande importance et est pilotée par la présence de groupes fonctionnels en surface des fibres pouvant réagir, par différentes interactions, avec la matrice. L'accroche mécanique contribue également aux propriétés à l'interface notamment par ancrage mécanique de par la rugosité des fibres végétales et enfin par la présence d'une pression adhésive liée au différentiel d'expansion thermique et/ou hygroscopique [4] entre la matrice et la fibre. Divers travaux ont mis en évidence l'importante dépendance des contraintes radiales à la température et les expriment en fonction du coefficient de dilatation transverse thermique de la matrice et de la fibre [5]. Cependant, il a été vu précédemment que les fibres végétales absorbent la vapeur d'eau et développent un phénomène de gonflement qui génère inévitablement des contraintes radiales qui doivent être considérées [6]. Les contraintes hygroscopiques sont aujourd'hui peu prises en compte dans la compréhension du transfert de charge à l'interface fibre végétale/matrice.

Cette étude vise donc à étudier l'influence d'un environnement humide sur l'interface fibre/matrice d'un biocomposite à différentes échelles, macroscopique avec des stratifiés unidirectionnels et à l'échelle microscopique à l'aide d'essai de déchaussement de microgoutte.

La sorption d'eau au sein du composite epoxy/chanvre ($v_f = 50\%$) conduit à des conséquences réversibles ou partiellement réversibles des propriétés mécaniques des composites renforcés par des fibres de chanvre. L'évolution de la contrainte et de la déformation à rupture en fonction de la sorption d'eau dans une gamme de RH de 9% à 98% est présenté sur la figure 1.A. Les propriétés à rupture montrent une évolution non monotone avec une amélioration très nette (+50%) entre 9% et 75% RH. Au-delà de cette humidité, une dégradation des propriétés est visible pouvant être due à un mécanisme de sorption par agglomération de molécule d'eau (généralement observé à RH élevée) et plastification des lamelles mitoyennes au sein des faisceaux, dégradant leur cohésion. Ces propriétés montrent un optimum aux alentours de 3% de prise de masse, correspondant à un environnement à 75% RH.

Plusieurs hypothèses peuvent être établies : à l'échelle de la fibre, l'augmentation de la teneur en vapeur d'eau conduit à une plastification favorisant le réalignement des micro-fibrilles de cellulose lorsque les fibres élémentaires sont sollicitées longitudinalement et améliorant leurs performances mécaniques [7].

Également, à l'échelle de l'interface fibre/matrice, une augmentation du RH et de la teneur en eau conduit à la création de contraintes radiales compressives à l'interface et donc une augmentation de la pression adhésive. Ces contraintes sont générées pendant la sorption de vapeur d'eau par expansion hygroscopique des fibres, et

plus spécifiquement par le gonflement différentiel entre le renfort et la matrice. Le transfert de charge serait ainsi favorisé et peut influencer la résistance au cisaillement interfacial [6,8].

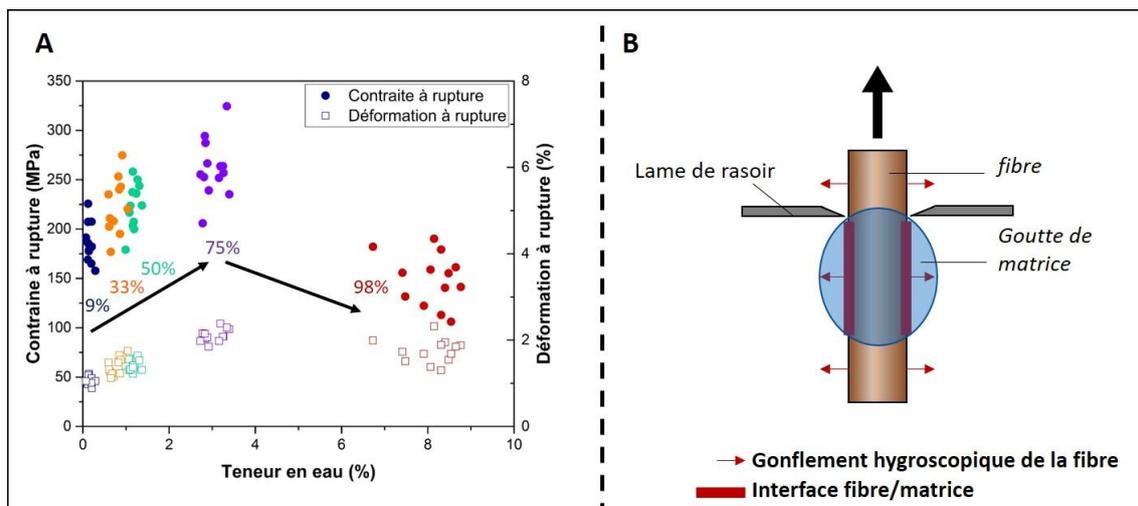


Fig. 1 : (A) Évolution des propriétés à rupture de biocomposite chanvre/epoxy en fonction de la teneur en eau. (B) Schéma du montage de déchaussement de microgoutte sur fibre élémentaire en environnement humide. Les flèches représentent le gonflement isotrope transverse des fibres végétales lorsque soumises à une élévation de RH ainsi que les contraintes radiales créées à l'interface fibre/matrice.

Afin de confirmer nos hypothèses et de mieux appréhender la contribution des contraintes hygroscopiques sur la qualité de l'adhérence entre la fibre et la matrice, des essais de déchaussement de microgoutte (figure 1.B) ont été effectués. Des gouttes d'époxy sont déposées sur des fibres élémentaires de chanvre avant de subir un cycle de cuisson. Une fois montée sur le système de déchaussement (Figure 1.B), la microgoutte est déchaussée (le déplacement est bloqué par deux lames) afin d'obtenir des informations directes sur l'adhérence et la friction post-déchaussement. Ces essais sont réalisés en environnement contrôlé à différents RH.

Initialement considéré comme un verrou pour le développement de matériaux biocomposites, ces travaux montrent que la sensibilité à l'humidité des fibres végétales pourrait être bénéfique et seront discutées lors d'ECOMAT18.

Références

- [1] Callum A. S H, Norton A, Newma G. The water vapor sorption behavior of natural fibers. Appl Polym Sci 2009;112:1524–37.
- [2] Cousins WJ. Young's modulus of hemicellulose as related to moisture content. Wood Sci Technol 1978;12:161–7.
- [3] Assarar M, Scida D, El Mahi A, Poilâne C, Ayad R. Influence of water ageing on mechanical properties and damage events of two reinforced composite materials: Flax-fibres and glass-fibres. Mater Des 2011;32:788–95.
- [4] Le Moigne N, Otazaghine B, Corn S, Angellier-Coussy H, Bergeret A. Surfaces and Interfaces in Natural Fibre Reinforced Composites. Biobased P. Springer International Publishing; 2018.
- [5] Thomason JL, Yang L. Temperature dependence of the interfacial shear strength in glass-fibre polypropylene composites. Compos Sci Technol 2011;71:1600–5.
- [6] le Duigou A, Merotte J, Bourmaud A, Davies P, Belhouli K, Baley C. Hygroscopic expansion: A key point to describe natural fibre/polymer matrix interface bond strength. Compos Sci Technol 2017;151:228–33.
- [7] Placet V, Cisse O, Boubakar ML. Influence of environmental relative humidity on the tensile and rotational behaviour of hemp fibres. J Mater Sci 2012;47:3435–46.
- [8] Gamstedt EK, Joffre T, Isaksson P, Sticko S, Dumont PJJ, Rolland S, et al. Moisture-Induced Swelling Properties of Natural Cellulose Fibres Characterized By Synchrotron X-Ray Computed Tomography 2015:19–24.