

# Cycles de vieillissement hygrothermique : quels impacts sur un composite unidirectionnel lin époxy

Thomas Cadu<sup>1,2</sup>, Laetitia Van Schoors<sup>2</sup>, Olivier Sicot<sup>1</sup>, Sandrine Moscardelli<sup>2</sup>,  
Loïc Divet<sup>2</sup>, Stéphane Fontaine<sup>1,3</sup>

1: DRIVE EA1859

Univ. Bourgogne Franche-Comté

F- 58000 Nevers, France

e-mail : [thomas.cadu@u-bourgogne.fr](mailto:thomas.cadu@u-bourgogne.fr)

2: MAST, CPDM

IFSTTAR Université Paris Est

F- 77447 Marne la Vallée Cedex 2

e-mail : [laetitia.van-schoors@ifsttar.fr](mailto:laetitia.van-schoors@ifsttar.fr)

3 : Ecole Nationale Supérieure D'arts et Métiers ParisTech,

57070 Metz, France

e-mail: [stephane.fontaine@ensam.eu](mailto:stephane.fontaine@ensam.eu)

Pour répondre au concept relatif à l'économie circulaire, des solutions innovantes ont été étudiées pour réduire l'impact environnemental des composites. Les fibres végétales sont de plus en plus utilisées comme renforts en remplacement des fibres synthétiques, nécessitant des adaptations lors de la mise en œuvre de ces matériaux et des études spécifiques pour prédire leur durabilité.

Des travaux ont montré que les propriétés mécaniques spécifiques des fibres de lin pouvaient concurrencer les propriétés des fibres de verre [1]. Cependant, il est connu que ce type de fibres est hydrophile et que leur teneur en eau joue un rôle important sur leurs propriétés mécaniques et sur les composites dans lesquelles elles sont utilisées [2]. Dans la plupart des cas, les matrices polymère utilisées pour la fabrication des composites biosourcés sont moins hydrophiles que les fibres. Ainsi, les variations d'humidité de l'environnement peuvent induire des effets de gonflement différentiel entre les fibres et la matrice au sein du composite [3], pouvant affecter la cohésion du matériau. En effet, des phénomènes de cisaillement aux interfaces peuvent se produire, ainsi que la formation de microfissures au sein de la matrice polymère.

Différentes études ont porté sur le vieillissement par immersion qui peut être préjudiciable aux fibres végétales, avec un phénomène d'extraction des composants hydrosolubles [4]. Mais ce type de vieillissement n'est pas nécessairement représentatif de ce que peuvent subir ces composites dans leur conditions normales d'utilisation. L'impact des effets de gonflement différentiel entre les composants du matériau peut en outre être intensifié par des cycles d'humidité-séchage. Il est donc important de quantifier l'influence de l'exposition répétée de ces matériaux à des conditions d'humidité relative élevée / faible sur leurs propriétés.

Le but de cette étude est d'évaluer l'influence des cycles hygrothermiques sur les propriétés d'un composite à base de lin. Pour comprendre les mécanismes de vieillissement, il est indispensable de bien connaître les caractéristiques du composite et les différentes phases qui le constituent. Ainsi, la première étape a consisté à fabriquer un composite lin-époxy de haute qualité avec un procédé de fabrication contrôlé et adapté. Le procédé de mise en œuvre a été réalisé sur des constituants dont les caractéristiques ont été évaluées par des analyses multi-échelles. Un procédé de thermocompression a été développé et de nombreux paramètres (tels que le conditionnement des fibres, la température de durcissement, la vitesse de refroidissement...) ont été déterminés pour améliorer les propriétés mécaniques et physico-chimiques de ces matériaux. Cela a permis d'adapter la fabrication aux fibres de lin et à la matrice époxy afin d'obtenir un composite unidirectionnel biosourcé de haute qualité ayant des propriétés peu dispersées malgré la présence de fibres végétales [5].

Ces matériaux ont ensuite été soumis à un vieillissement hygrothermique cyclique (3 jours et demi sous 90% H.R, puis 3 jours et demi sous 40% HR à 55°C) pendant différentes échéances allant d'une semaine à un an. Ces conditions de vieillissement ont été appliquées sur le composite et sur ses différentes phases constitutives afin d'identifier les paramètres pouvant être responsables des évolutions de propriétés mécaniques au cours du temps. Les évolutions ont été suivies par des analyses multi-échelles pour mieux comprendre les mécanismes

---

impliqués. Selon le matériau et la sensibilité des phases, différents comportements ont été observés au cours du vieillissement.

Des essais de traction réalisés sur des composites unidirectionnels ( $0^\circ$ ) ont révélé des chutes de propriétés mécaniques pouvant atteindre 15% au cours du vieillissement. Les analyses physico-chimiques n'ont pas mis en évidence d'évolutions chimiques et microstructurales significatives des fibres au sein des composites. En revanche, des analyses morphologiques et d'absorption d'eau ont révélé que les diminutions de modules peuvent être attribuées à l'augmentation de la quantité d'eau présente dans le matériau, ainsi qu'à des phénomènes de décohésion fibre/fibre et fibre/matrice. Les variations dimensionnelles des fibres induites par les cycles humidité-séchage semblent être à l'origine de ces décohésions (figure 1).

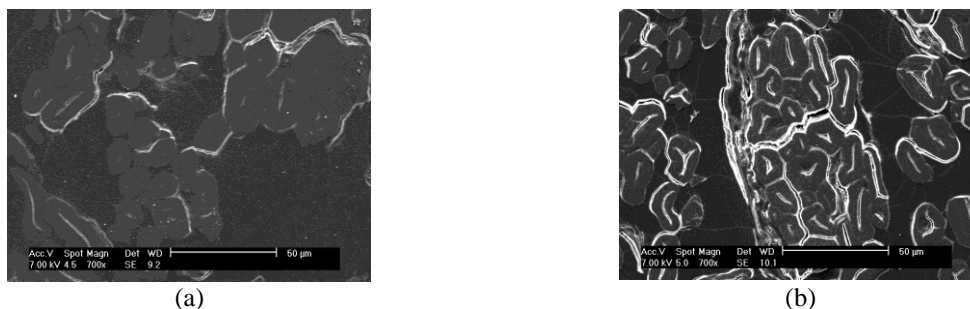


Fig. 1 : Photographies réalisées par microscopie électronique à balayage des composites époxy fibres de lin (a) non vieillis et (b) vieillis 1 an.

Les chutes de résistance à la rupture semblent quant à elles liées à la formation de défauts au sein du composite, sans toutefois entraîner d'évolution physico-chimique significative des fibres. Le faible impact de ce vieillissement sur ces fibres présentes dans le composite est un résultat prometteur pour le développement de ce type de matériaux biosourcés.

## Références

- [1] C. Baley and A. Bourmaud, *Mater. Lett.* **122**, 159–161 (2014).
- [2] C. Baley, A. Le Duigou, A. Bourmaud, P. Davies, *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.* **43**, 1226–1233 (2012).
- [3] Z. N. Azwa, B. F. Yousif, A. C. Manalo, and W. Karunasena, *Mater. Des.* **47**, 424–442 (2013).
- [4] A. Le Duigou, A. Bourmaud, C. Baley, *Ind. Crops Prod.* **70**, 204–210 (2015).
- [5] T. Cadu, M. Berges, O. Sicot, V. Person, B. Piezel, L. Van Schoors, V. Placet, S. Corn, R. Léger, L. Divet, P. Lenny, S. Fontaine, *Compos. Part B Eng.* **150**, 36–46 (2018).