

# Etude du comportement en fatigue d'un composite lin-époxy soumis à un vieillissement hydro-thermique.

Thomas Jeannin<sup>1\*</sup>, Michael Bergès<sup>1,2,3</sup>, Romain Léger<sup>2</sup>, Stéphane Corn<sup>2</sup>, Benoit Piezel<sup>3</sup>, Véronique Person<sup>3</sup>, Patrick Ienny<sup>2</sup>, Stéphane Fontaine<sup>3</sup>, Vincent Placet<sup>1</sup>

<sup>1</sup> FEMTO-ST, UMR CNRS/UFC/ENSMM/UTBM, Université Bourgogne-Franche-Comté, Département Mécanique Appliquée, Besançon, France

<sup>2</sup> C2MA, École des Mines d'Alès, F-30319 Alès, France.

<sup>3</sup> DRIVE, EA1859, Université. Bourgogne Franche-Comté, F-58000 Nevers, France.

\* e-mail: thomas.jeannin@femto-st.fr

## Résumé :

Les composites à fibres végétales présentent en général des capacités d'absorption de l'eau plus importantes que les composites traditionnels réalisés avec des fibres de verre et de carbone. Ce constat conduit la communauté scientifique à s'interroger sur la durée de vie de ces matériaux, en particulier lorsqu'ils sont exposés à des conditions climatiques variables et en contact avec de l'eau sous forme liquide. Ce travail propose ainsi d'étudier l'influence du vieillissement hydro-thermique sur les performances en fatigue d'un composite stratifié UD lin/époxy. Dans le cadre de ce travail un banc d'essais a été conçu et réalisé spécifiquement pour la réalisation d'essais de fatigue en immersion. L'objectif est de maintenir l'état de saturation hydrique atteint pendant le vieillissement hydro-thermique lors des essais de cyclage mécanique. En exploitant ce dispositif expérimental, des essais ont été réalisés en traction avec une fréquence de cyclage de 5 Hz et un ratio de chargement R de 0,1. La tenue en fatigue pour ces éprouvettes vieillies testées en immersion a été comparée à celle mesurée pour le même matériau non-vieilli et testé en fatigue dans l'air. Les résultats montrent que le vieillissement hydro-thermique induit une baisse significative de la résistance quasi-statique. Néanmoins, malgré cette différence de performance statique, il apparaît que la durée de vie en fatigue des éprouvettes vieillies est similaire à celles des éprouvettes non-vieillies pour les faibles niveaux de contrainte.

**Mots clés :** Composite lin/époxy, fatigue, vieillissement, durabilité.

## Introduction :

Les fibres naturelles sont utilisées de manière croissante dans la fabrication de matériaux composites [1]. Les types de renforts naturels sont nombreux et permettent pour certains d'obtenir des composites dont les propriétés mécaniques spécifiques peuvent atteindre et parfois dépassées celles des composites à fibres de verre [2]. Malgré ces propriétés spécifiques très intéressantes, les composites bio-sourcés ne sont, à ce jour, que peu utilisés dans les applications semi-structurales ou structurales. Une des raisons conduisant à cette faible utilisation des bio-composites dans les structures est le manque de connaissances sur leur comportement à long-terme. La connaissance de leur comportement en fatigue couplé à un vieillissement climatique est en particulier nécessaire pour assurer un dimensionnement robuste des structures. Plusieurs études traitent de la problématique du vieillissement en immersion pour ce type de composite [3-5]. L'effet du vieillissement hydrique est généralement évalué sur les propriétés mécaniques quasi-statiques. Les résultats disponibles dans la littérature ouverte montrent une baisse de ces propriétés. L'influence du vieillissement hydro-thermique sur la tenue en fatigue n'a néanmoins pas été étudiée à notre connaissance. Dans une précédente étude [6], nous avons étudié l'influence du vieillissement hygro-thermique sur le comportement quasi-statique statique, vibratoire et en fatigue d'un composite lin-époxy. Dans cette étude, les éprouvettes ont été conditionnées à 70°C et 85% HR. Après saturation, les éprouvettes ont été testées en fatigue. Pour éviter leur séchage pendant le cyclage, celles-ci avaient été revêtues d'un film déformable. Si ce dernier assurait le maintien de la teneur en eau dans l'échantillon il ne garantissait pas pour autant le maintien d'une homogénéité de la teneur en eau dans le volume de l'éprouvette. Les résultats ont montré un effet favorable de la saturation en vapeur d'eau sur la tenue en fatigue. Dans la présente étude, nous proposons d'étudier le comportement en fatigue de composites UD lin/époxy saturés en eau et testés en immersion afin de maintenir la saturation durant l'essai de fatigue.

---

## Matériels et méthodes :

Le matériau étudié est un composite UD lin/époxy réalisé par thermocompression à partir de 20 plis d'un voile de fibres de lin unidirectionnelles (LINEO® Flaxtape110), imprégnés d'une résine époxy (DGEBA SR8500 et durcisseur SZ8525 de Sicomin©). La fraction volumique de fibres est d'environ 40% (pour plus de détails sur le matériau, se référer à [7]). Les essais de fatigue sont réalisés en traction sur une machine hydraulique INSTRON 8501 équipée d'une cellule de force de 100kN et d'un montage spécifique permettant de maintenir les éprouvettes immergées. La fréquence de sollicitation est de 5Hz. Des éprouvettes ont été vieilles via une immersion durant 3 semaines dans de l'eau distillée à 70°C, et d'autres ont simplement été stockées à 23°C et 50% de RH pour établir une comparaison. Des essais de traction monotone sur les deux types d'éprouvettes ont préalablement été réalisés afin de déterminer la contrainte à rupture du matériau sous chargement quasi-statique ( $\sigma_R$ ). Lors du cyclage, un ratio de chargement (R) de 0,1 est appliqué. Cinq niveaux de contraintes, correspondant à 80%, 72.5%, 65% et 50% de  $\sigma_R$ , sont étudiés. Trois éprouvettes sont testées pour chaque niveau de chargement. Lors des essais, la déformation longitudinale des éprouvettes est mesurée par extensométrie à contact (y compris pour les éprouvettes immergées).

## Résultats et conclusions :

La figure 1 présente les courbes S-N obtenues pour les éprouvettes vieilles et non-vieilles. En accord avec les résultats de la littérature, une résistance mécanique statique plus faible est mesurée pour les éprouvettes vieilles. Néanmoins, contre toute attente, la pente de la courbe S-N est plus faible pour les éprouvettes vieilles. Ceci conduit à une durée de vie en fatigue des éprouvettes vieilles quasi-similaire à celles des éprouvettes non-vieilles pour les faibles niveaux de contrainte. Ce phénomène pourrait être attribué à une meilleure résistance à l'interface fibre/matrice induit par l'hygro-expansion des fibres dans le composite saturé en eau. La dissipation de chaleur dans les deux configurations de fatigue (en immersion ou dans l'air) pourrait également différer, un point qu'il sera nécessaire d'étudier dans des travaux ultérieurs.

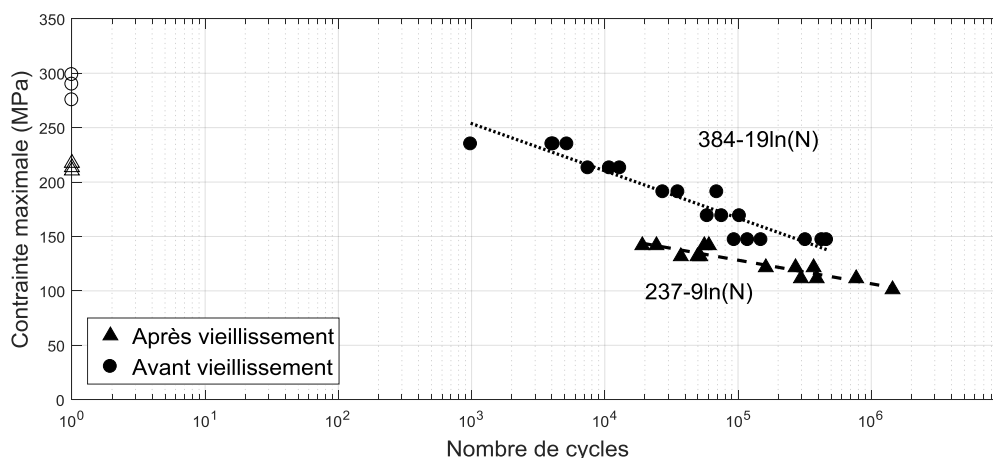


Fig. 1: Courbe S-N pour des éprouvettes ayant subi un vieillissement ou non.

## Références :

- [1] Bourmaud, A., et al. (2018), Towards the design of high-performance plant fibre composites. Progress in Materials Science, 97, 347-408.
- [2] Bensadoun F. (2016). in-service behaviour of flax fibre reinforced composites for high performance applications. PhD thesis, KU Leuven, 32(2), 263 p.
- [3] Assarar, M., et al. (2011). Influence of water ageing on mechanical properties and damage events of two reinforced composite materials: Flax-fibres and glass-fibres. Materials & Design, 32(2), 788-795..
- [4] Le Duigou, A., et al. (2009). Seawater ageing of flax/poly (lactic acid) biocomposites. Polymer Degradation and Stability, 94(7), 1151-1162.
- [5] Scida, D., et al. (2013). Influence of hygrothermal ageing on the damage mechanisms of flax-fibre reinforced epoxy composite. Composites Part B: Engineering, 48, 51-58.
- [6] Berges, M., et al. (2016). Influence of moisture uptake on the static, cyclic and dynamic behaviour of unidirectional flax fibre-reinforced epoxy laminates. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 88, 165-177.
- [7] Cadu, T., et al. (2018). 2. What are the key parameters to produce a high-grade bio-based composite? Application to flax/epoxy UD laminates produced by thermocompression. Composites Part B: Engineering, 150, 36-46.