

## **Composites biosourcés hautes-performances et fonctionnels : de la fibre végétale à la structure**

### ***High-grade and functional bio-based composites: from plant fibre to structure***

**Vincent Placet**

Département Mécanique Appliquée, Institut FEMTO-ST, Université Bourgogne Franche-Comté, CNRS-  
UFC-ENSMM-UTBM  
24 rue de l'Épitaphe, F- 25000 Besançon  
e-mail : vincent.placet@univ-fcomte.fr

Durant cette dernière décennie, face au dérèglement climatique, à l'épuisement des ressources fossiles et à l'initiation d'une transition écologique, le secteur des composites a vu s'opérer un déploiement remarquable des activités de recherche portant sur les composites biosourcés. L'objectif est d'utiliser des ressources renouvelables à la place des ressources fossiles, de revisiter les technologies de mises en œuvre et de conception de manière à proposer des solutions compétitives d'un point de vue économique et dont l'impact environnemental est minimisé. Grâce aux efforts de recherche et développements consentis, les composites biosourcés trouvent aujourd'hui de multiples applications et entrent dans la fabrication d'une large gamme de produits. Néanmoins, les familles de matériaux composites sont nombreuses, se distinguant par la nature du renfort et de la matrice, le type, la forme et l'architecture du renfort. Il en va de même pour les composites biosourcés et force est de constater, qu'aujourd'hui, toutes n'ont pas atteintes le même niveau de maturité technologique. Si les composites biosourcés à fibres courtes et les non-tissés ont pris des parts de marchés non négligeables dans les secteurs de la plasturgie et de l'automobile, le déploiement des composites à fibres longues pour des applications semi-structurales en est à un stade plus précoce. Les verrous scientifiques et technologiques à lever sont effectivement plus nombreux et ces applications requièrent la capacité de prédire leur comportement sur le long-terme en particulier lorsqu'ils sont soumis à des sollicitations mécaniques et environnementales complexes. Grâce aux spécificités des matières premières issues de la biomasse, nous pouvons également observer une mouvance plus récente consistant à concevoir et proposer des solutions biosourcées qui, au-delà de la reproduction des fonctionnalités offertes par les solutions pétrosourcées, permettent d'élaborer de nouvelles fonctionnalités avancées. Ce pan de la recherche n'en est qu'à ses prémices, et permet ainsi d'entrevoir de nouvelles applications à forte valeur ajoutée.

Ce travail, présenté dans le contexte de l'attribution du prix Daniel Valentin, a pour objectif de proposer une vue d'ensemble des travaux et contributions au développement des composites biosourcés menées au sein du département Mécanique Appliquée de l'institut FEMTO-ST depuis le lancement de cette thématique de recherche. Cette thématique est née lors de mon intégration en 2008 dans l'équipe de recherche dirigée à l'époque par Lamine Boubakar. Elle est le fruit de la conjonction de mes compétences développées autour du matériau bois lors de ma formation et de l'expertise développée à Besançon pendant près de trente ans sur les CMO « traditionnels ».

L'exposé présentera un bref historique du déploiement de cette thématique et des activités associées et proposera une présentation des résultats marquants obtenus entre 2008 et ce jour. Sur cette période, un travail conséquent a été réalisé pour comprendre, caractériser et modéliser le comportement des fibres élémentaires issues du chanvre en vue de leur intégration dans des

---

matériaux composites. Ces travaux ont permis de mettre en évidence un comportement mécanique complexe, présentant des non-linéarités physiques et géométriques, des couplages thermo-hygro-mécaniques forts, des phénomènes de rigidification sous sollicitations cycliques ainsi qu'une large variabilité des propriétés [1-8]. La présentation présentera également les principaux résultats collectés sur la durabilité et la tenue en fatigue des composites biosourcés [9] ainsi que les projets de recherche en cours et futurs.

### Remerciements

Je tiens à remercier très sincèrement tous les collègues du département Mécanique Appliquée de l'institut FEMTO-ST qui m'ont permis et qui ont contribué au développement de cette thématique de recherche sur les matériaux composites biosourcés et à qui je dois en grande partie l'obtention de cette récompense qu'est le Prix Daniel Valentin. J'adresse des remerciements tous particuliers à Lamine Boubakar, Frédérique Trivaudey et Violaine Guicheret-Retel qui m'ont accompagné et soutenu dans le développement de cette thématique depuis les tout débuts.

J'adresse également mes remerciements aux collègues avec qui je collabore sur ces thématiques à l'UBS, INRA, ISAT, ICMUB, C2MA, FRD®, LCE... et au sein du consortium BioLam.

### Références

- [1] V. PLACET, F. TRIVAUDEY, O. CISSE, V. GUICHERET-RETEL, L. BOUBAKAR, "Diameter dependence of the apparent tensile modulus of hemp fibres: a morphological, structural or ultrastructural effect?". *Composites Part A*, Vol. 43(2), pp.275-287, 2012.
  - [2] V. PLACET, O. CISSE, ML. BOUBAKAR, "Influence of environmental relative humidity on the tensile and rotational behavior of hemp fibres". *Journal of Materials Science*, Vol. 47(7), pp. 3435-3446, 2012.
  - [3] V. PLACET, O. CISSE, ML. BOUBAKAR, "Nonlinear tensile behavior of elementary hemp fibres. Part I: Investigation of the possible origins using Repeated Progressive Loading with in situ microscopic observations". *Composites Part A*, Vol. 56, pp. 319-327, 2014.
  - [4] V. PLACET, J. METEAU, L. FROEHLI, R. SALUT, ML BOUBAKAR, "Investigation of the internal structure of hemp fibres using Optical Coherence Tomography and Focused Ion Beam transverse cutting". *Journal of Materials Science*, Vol. 49, pp. 8317-8327, 2014.
  - [5] F. TRIVAUDEY, V. PLACET, O. CISSE, ML. BOUBAKAR, "Nonlinear tensile behavior of elementary hemp fibres. Part II: Modelling using an anisotropic viscoelastic constitutive law in a material rotating frame". *Composites Part A*, Vol. 68, pp. 346-355, 2015.
  - [6] O. CISSE, V. PLACET, V. GUICHERET-RETEL, F. TRIVAUDEY, ML. BOUBAKAR, "Creep behaviour of single hemp fibres. Part I: Viscoelastic properties and their scattering under constant climate". *Journal of Materials Science*, Vol. 50(4), pp. 1996-2006, 2015.
  - [7] V. GUICHERET-RETEL, O. CISSE, V. PLACET, J. BEAUGRAND, M. PERNES, F. TRIVAUDEY, ML. BOUBAKAR, "Creep behaviour of single hemp fibres. Part II: Influence of loading level, moisture content and moisture variation". *Journal of Materials Science*, Vol. 50(5), pp. 2061-2072, 2015.
  - [8] A. DEL MASTO, F. TRIVAUDEY, V. GUICHERET-RETEL, V. PLACET, ML. BOUBAKAR, "Nonlinear tensile behaviour of elementary hemp fibres: a numerical investigation of the relationships between 3D geometry and tensile behavior". *Journal of Materials Science*, Vol. 11(52), pp. 6591-6610, 2017.
  - [9] M. BERGÈS, R. LÉGER, V. PLACET, V. PERSON, S. CORN, E. RAMASSO, J. ROUSSEAU, X. GABRION, P. IENNY, S. FONTAINE, "Influence of moisture uptake on the static, cyclic and dynamic behaviour of unidirectional flax fibre-reinforced epoxy laminate". *Composites Part A*, Vol. 88, pp. 165-177, 2016.
-