

## Variations dimensionnelles et comportement mécanique de plusieurs espèces de fibres végétales en conditions hygro/hydrothermiques contrôlées

William Garat<sup>1</sup>, Stephane Corn<sup>1</sup>, Nicolas Le Moigne<sup>1</sup>, Johnny Beaugrand<sup>2</sup>, Anne Bergeret<sup>1</sup>

1: C2MA, IMT Mines Ales, Université de Montpellier,  
6 avenue de Clavières, 30100 Ales, France

[stephane.corn@mines-ales.fr](mailto:stephane.corn@mines-ales.fr), [nicolas.le-moigne@mines-ales.fr](mailto:nicolas.le-moigne@mines-ales.fr)

2: Biopolymères Interactions Assemblages (BIA),  
INRA, Nantes, France

[johnny.beaugrand@inra.fr](mailto:johnny.beaugrand@inra.fr)

Afin de pouvoir contrôler, modéliser et prédire le comportement mécanique des biocomposites lors de leur mise en œuvre et de leur utilisation, il est essentiel d'avoir une connaissance approfondie des caractéristiques morphologiques et des propriétés mécaniques des fibres végétales, en particulier parce qu'elles dépendent fortement des conditions d'humidité et de température (Thuault et al., 2014 ; Baley et al., 2005 ; Bruce et Davies, 1998 ; Placet et al., 2012 ; Jin et Gong, 2011). Le but de ce travail est de caractériser les variations dimensionnelles et le comportement mécanique des faisceaux de fibres végétales extraits de diverses espèces de plantes dans des conditions hygro/hydrothermiques variables et contrôlées. Basé sur une technique de mesure de la section transversale par balayage laser automatisée et d'un test de micro-traction, conduits dans une chambre climatique ou en cellule d'immersion, les variations des dimensions transversales et l'évolution du comportement mécanique des faisceaux de fibres végétales ont été étudiés. Les caractérisations ont été effectuées pour des faisceaux de fibres extraits de cinq espèces végétales : lin, chanvre, ortie, palmier et sisal. En raison de leurs diverses origines botaniques, ces lots de faisceaux de fibres présentent des caractéristiques morphométriques, des microstructures et des compositions biochimiques contrastées.

Un dispositif d'analyse dimensionnelle appelé « FDAS » (Diastron Ltd, Hampshire, Royaume-Uni) a été utilisé pour mesurer les dimensions transversales des faisceaux de fibres et ainsi estimer l'aire de section droite qui est généralement évolutive le long d'un faisceau de fibre végétale. Cette méthode, basée sur le balayage laser automatisé de l'objet (Figure 1), est décrite en détails dans une étude précédente (Garat et al., 2018).

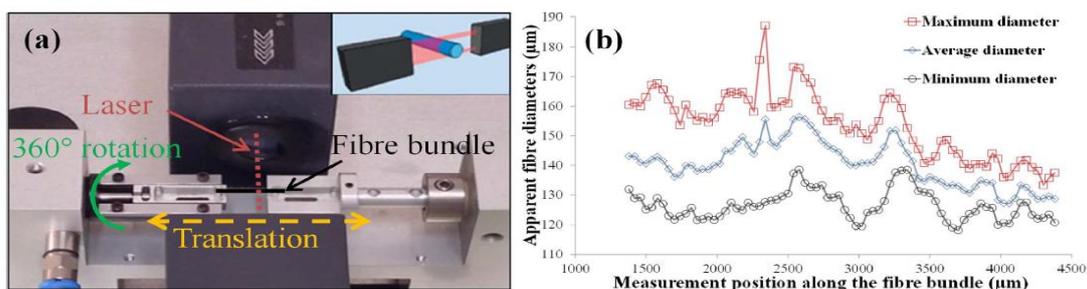


Figure 1. a) Schéma de principe du FDAS, b) Evolution des diamètres (minimum, maximum et moyen) le long d'un faisceau de fibres de palmier (mesures FDAS)

La rigidité et la résistance axiales de chaque échantillon ont été évaluées à partir de tests de micro-traction réalisés sur un dispositif appelé « LEX » (Diastron Ltd) équipé d'une cellule de charge de 20N. La conversion force-contrainte est basée sur l'aire de section résistive estimée au FDAS. Afin d'analyser l'influence de l'humidité relative sur les dimensions transversales et le comportement mécanique des faisceaux de fibres, les deux appareils d'analyse (dimensionnelle (FDAS) et mécanique (LEX)) ont été placés dans une chambre climatique à 23 °C et aux humidités relatives de 20, 50 et 73% HR. Pour chaque espèce végétale et chaque taux d'humidité relative, 20 faisceaux de fibres ont été testés. En outre, une cellule d'immersion « DSM » (Diastron Ltd) adaptée sur le dispositif FDAS a permis de mesurer les dimensions des faisceaux de fibres en immersion (100% HR) dans de l'eau déionisée à 23 °C ; le temps d'immersion correspondant à la durée de l'essai, soit 1 minute. L'évolution de l'aire de section médiane, normalisée par rapport à une aire de section mesurée à

50% HR, a été reportée pour chaque taux d'humidité relative (Figure 2). Il a été constaté que le gonflement, dans des conditions de HR contrôlées, diffère entre les espèces de fibres végétales, en raison des variations de leur composition biochimique et de leur microstructure. En particulier, des faisceaux de fibres faiblement lignifiés (< 5%) comme le lin, le chanvre et l'ortie ont présenté un gonflement beaucoup plus important en immersion que les faisceaux plus lignifiés de sisal et de palmier (> 9%).

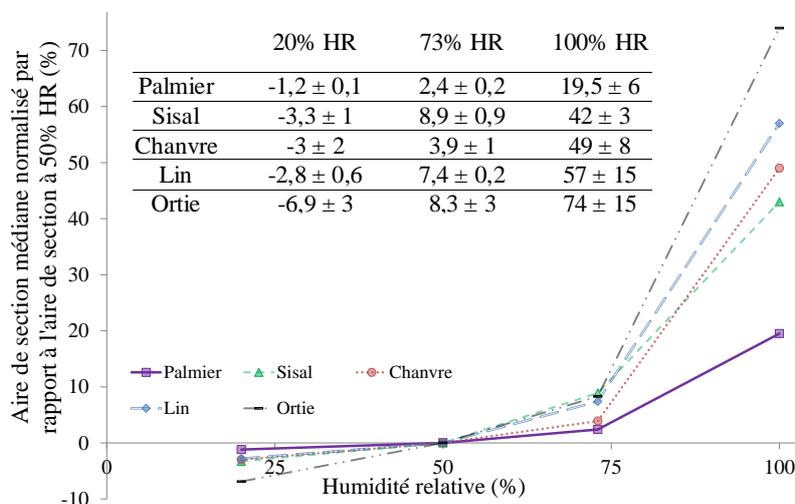


Figure 2. Variation de l'aire de section médiane normalisée par rapport à l'aire de section à 50% HR en fonction de l'humidité relative

Par ailleurs, les essais mécaniques ont montré que le module d'Young diminue fortement lorsque l'HR est augmentée, quelle que soit l'espèce végétale considérée. Ces résultats démontrent que la diffusion de l'eau au sein des parois cellulaires et de la lamelle mitoyenne contribue fortement à la plastification des faisceaux de fibres, diminuant ainsi leur rigidité. Une analyse de Weibull a été réalisée sur la résistance des faisceaux de fibres aux différents taux d'humidité. Concernant les faisceaux de fibres libériennes (chanvre, ortie et lin), une augmentation de la résistance à la traction en fonction de l'humidité relative jusqu'à un seuil compris entre 50 et 73% HR a été observée. Au-delà de cette valeur seuil d'HR, une baisse de la résistance à la traction est observée. Pour les faisceaux de fibres de palmier, la résistance à la traction diminue entre 20 et 73% HR sans diminution supplémentaire après immersion. Ces évolutions particulières de la résistance à la rupture en fonction du taux d'humidité, sont probablement liées aux points de saturation en eau des parois cellulaires qui varient selon les espèces de fibres végétales étudiées. On notera que la plastification des polysaccharides amorphes des parois cellulaires peut conduire à une baisse de la résistance à la traction (Thuault et al., 2014; Placet et al., 2012). En conclusion, nos résultats démontrent que l'état d'hydratation, de gonflement et de plastification des parois cellulaires jouent un rôle très important sur le comportement mécanique des faisceaux de fibres végétales à la fois dans les domaines élastique et à rupture. L'origine botanique, la microstructure et la composition biochimique des fibres végétales sont fortement impliquées dans ces mécanismes.

## Références

- Baley C., Morvan C., Grohens Y. (2005). Influence of the absorbed water on the tensile strength of flax fibers. In *Macromolecular Symposia*. Wiley-Blackwell. 222:195–201.
- Bruce DM., Davies GC. (1998). Effect of environmental relative humidity and damage on tensile properties of flax and nettle fibres. *Textile Research Journal*, 68 (9): 623–29.
- Garat W., Corn S., Le Moigne N., Beaugrand J., Bergeret A. (2018). Analysis of the morphometric variations in natural fibres by automated laser scanning: towards an efficient and reliable assessment of the cross-sectional area. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 108. Elsevier: 114–23.
- Jin S., Gong XL. (2011). Influence du vieillissement en humidité relative sur les propriétés mécaniques des fibres de chanvre. 20ème Congrès Français de Mécanique, 1–6.
- Pejic BM., Kostic MM., Skundric PD., Praskalo JZ. (2008). The effects of hemicelluloses and lignin removal on water uptake behavior of hemp fibers. *Bioresource Technology*, 99 (15). Elsevier: 7152–59.
- Placet V., Cisse O., Boubakar ML. (2012). Influence of environmental relative humidity on the tensile and rotational behaviour of hemp fibres. *Journal of Materials Science* 47 (7): 3435–46.
- Thuault A., Eve S., Blond D., Bréard J., Gomina M. (2014). Effects of the Hygrothermal Environment on the Mechanical Properties of Flax Fibres. *Journal of Composite Materials*, 48 (14): 1699–1707.