

FIBRES VEGETALES : LES BASES DE LA COMPOSITION/L'ULTRASTRUCTURE ET L'INTERRELATION AVEC LES PROCEDES; LES CARACTERES VARIABLES ET CEUX GENERIQUES

COURS 2, LUNDI 20 JANVIER

J. Beaugrand, UMR 614 INRA-URCA Fractionnement des Agroressources et Environnement, 2 Esplanade Roland Garros, 51686 Reims Cedex 2. Téléphone : 03 26 91 38 22, Télécopie : 00 00 00 00 00, Adresse(s) électronique(s) : johnny.beaugrand@reims.inra.fr,

Mots clés : Ressource, biologie, structure, comportement multi-échelle, matériaux

1. INTRODUCTION

Les fibres végétales, provenant des arbres, ainsi que des plantes pérennes ou annuelles, sont étudiées par des communautés scientifiques multiples. En effet, elles présentent un intérêt académique, car elles sont assimilables à des composites, multicouches ou stratifiés et multidirectionnels. Egalement, et peut être surtout, les fibres végétales ont un intérêt fonctionnel : elles sont en effet utilisées par l'Homme comme outils, ou comme aide à la confection d'outils secondaires. Des preuves de ces usages existent dans l'histoire depuis l'époque d'*Homo sapiens* (Piel-Desruisseaux 2011, Belnet 2012).

A l'aube du XXIème siècle, c'est visiblement l'aspect économique qui prime, se traduisant par les sorties 'agromatériaux' (Summersacles et al. 2013, Huber et al. 2012) ou 'bioraffinerie' (Gellerstedt et al. 2010 ; Lavoie et Beauchet, 2012). Ceci expliquent le regain constaté (Fig.1) de la recherche pour ces ressources renouvelables, et notamment la recherche appliquée via le développement de l'ingénierie qui lui est associé. Au XXème siècle cette dernière avait été, à travers l'évolution des procédés 'fibres naturelles', mécaniquement mise en veille par la suprématie du pétrochimique. On note également une inversion d'une 'hiérarchie' établie de longue date dans la mesure où les articles scientifiques relevant des fibres végétales pour renfort (dites 'longues'), sont depuis peu plus nombreux (Fig. 1) que ceux étudiant les fibres végétales de bois pour de la charge (dites 'courtes').

Un tel accroissement des efforts de recherches pour ces matériaux végétaux n'est pas unique, il en avait été de même lors d'une précédente crise mondiale. Par exemple, dans les années 1930 les ingénieurs de Ford Motor Company produisaient déjà un concept-car à base de «produits poussant du sol» (bien que les natures et proportions soient imparfaitement connus). Une 'soybean/hemp-car' fut même produite jusqu'en 1941, puis abandonné pour se concentrer sur l'industrie de guerre alors considérée comme vitale.

Nous vivons donc un événement périodique dans le regain d'intérêt pour les fibres naturelles, avec la 'redécouverte' de leur potentialités. Une part non négligeable du marketing autour des fibres naturelles, et des biopolymères qui en proviennent, n'est pas en phase avec leurs exactes 'vertus'. Il existe en effet un Green Whasing, plus ou moins volontaire, qui ne travaille pas dans le sens d'une image univoque et sérieuse des activités liées aux fibres végétales. Mais force est de constater que l'industrialisation des pratiques de transformations des fibres naturelles (dont le coton peut servir de référence) peut devenir durable. Premièrement tant les contraintes/motivations sont multiples (environnementales/sociétale/économique) et tant les débouchés paraissent en passe d'être compétiteurs en termes de coûts et rentabilités. Deuxièmement, parce que l'état de l'art dispose de données synergétiques de nature génétiques, agricoles, biochimiques, physicochimiques, mécaniques, ou enfin d'ACV (Analyse de cycle de vie) (Bourmaud et al. 2010, Dissanayake et al. 2009) de moins en moins controversées.

Amorcée il y a une deux décennies, la période paraît de plus en plus favorable, et on constate un accroissement des volumes de fibres naturelles ainsi que la multiplication des marchés, du fait de la conjonction des intérêts des producteurs de fibres lignocellulosiques (=fibres végétales ou encore

naturelles) qui recherchent de nouveaux marchés (technology-pull) et des utilisateurs/manufacturiers qui recherchent eux à exploiter pleinement le potentiel (market-pull) (Müsig et al 2010, BiLi). On assiste de fait à des structurations d'acteurs socio-economique de toutes tailles, structurations locales, nationales (les pôles de compétitivité comme IAR) ou internationales (exemple de la CELC), allant pour certaines jusqu'à s'étendre à toute une filière, de la plante aux matériaux/produits pour les plus grandes actions (Sinfoni, Fiabilin).

Les innovations contemporaines se fondent sur le socle des connaissances antérieures de relation type structure-propriété des fibres naturelles. Un front de science émergeant s'efforce lui d'intégrer et quantifier le poids des effecteurs (génétique/agronomique/ procédés de transformation) sur des propriétés d'usage après transformation de ces fibres. Ces thèmes seront abordés dans ce cours.

-Un aperçu de la biologie du développement sera proposé, principalement la biosynthèse des parois des fibres (croissance et développement) dans la plante en relation avec l'origine biologique (Gorshkova et al. 2012, Guerriero et al. 2013).

-Puis un tour d'horizon des principaux gisements en France, en Europe et de par le monde sera fourni (FRD-ADEM 2011, Carus and Gahle 2008, Shah 2013).

-Egalement, ce cours donnera une introduction:

à la biochimie et la distribution hétérogène des constituants pariétaux (Ji et al. 2013),

à l'ultra structure ainsi qu'à la morphologie des fibres végétales (Madsen 2013, Müssig 2010).

En lien étroit avec ces descriptions, les principales propriétés élastiques disponibles aux différentes échelles (microfibrilles de cellulose/matrice amorphe, sous couches pariétales, paroi, fibre et enfin faisceaux) seront transmises (Placet et al. 2012, Shah 2013).

-Dans la continuité de la présentation du monde des fibres végétales, leurs principaux avantages ainsi que leurs faiblesses seront discutés en comparaison de fibres synthétiques (Wambua et al. 2003). Avec une attention particulière pour les propriétés dites 'différenciantes', c'est à dire là où par un reflexe ancré dans le quorum des scientifiques, les fibres végétales n'ont pas pour fonction automatiquement à se 'substituer' à une fibre synthétique (de carbone, de verre).

-L'influence des conditions hydriques (et thermiques) sera aussi soulignée, à l'état natif ou lors de transformation, et de fait, l'influence sur les localisations et modes de ruptures (Beaugrand et Berzin, 2013 ; Karinkanta et al. 2013). En effet, de par leur constituant majoritaire, ces fibres sont relativement hydrophiles (polysaccharides = polymères avec nombreux sites potentiels de liaison avec les atomes de l'eau). Et ces fibres présentent un caractère hygroscopique important (Engelund et al. 2013), qui les différencient des fibres synthétiques.

Ce comportement variable des fibres naturelles à l'environnement thermohydrique est un des points principaux de la compréhension et de la prédiction des modes de rupture suite à un procédé de transformation, en vue de la préservation du potentiel naturel des fibres.

En lien avec la rupture au sein des fibres naturelles, la description des points de défauts aux différentes échelles structurales sera présentée (Hugues et al. 2012, Charlet et Beakou 2011) avec des illustrations de l'approche statistique de la rupture appliquée à ces matériaux (Andersons et al. 2011).

Dans cette présentation générale du monde des fibres végétales, les propriétés mécaniques et physicochimiques de produits auxquels ils participent seront évoqués.

-Dans cette optique, les caractéristiques typiques des composites agrosourcés seront traités (Summerscales et al. 2010), avec un zoom sur ceux possédant une anisotropie d'orientation ainsi qu'une porosité importante. Les enjeux de la préservation et/ou modification du potentiel de ces fibres ; morphométrie, facteur de forme etc... (Legland et Beaugrand 2013, Summerscales et al.

2011) seront posés, et mis en perspectives lors de procédés de transformation (extrusion etc...) à des fins composites (Ausias et al. 2013, Gamon et al. 2013, Berzin et al. 2014).

-Des exemples d'utilisation des fibres végétales (Vallons et al. 2013) feront un prélude à une introduction aux tendances françaises et mondiales en matière de projection des besoins et des approvisionnements. L'ensemble sera illustré au travers des exemples récents de structuration de filière (vision sectorielle, et place de la recherche dans ce système). La montée en puissance de l'éco-conception et ses nombreux soutiens via des guichets de financement (ANR, horizon 20:20) seront brièvement évoqués.

-Enfin, le cours se terminera sur une évocation de défis à relever dans le futur proche, comme ceux de la description à la fois de la variabilité 'naturelle' et de la distribution des propriétés au sein des populations de fibres naturelles, ainsi que leurs gestions.

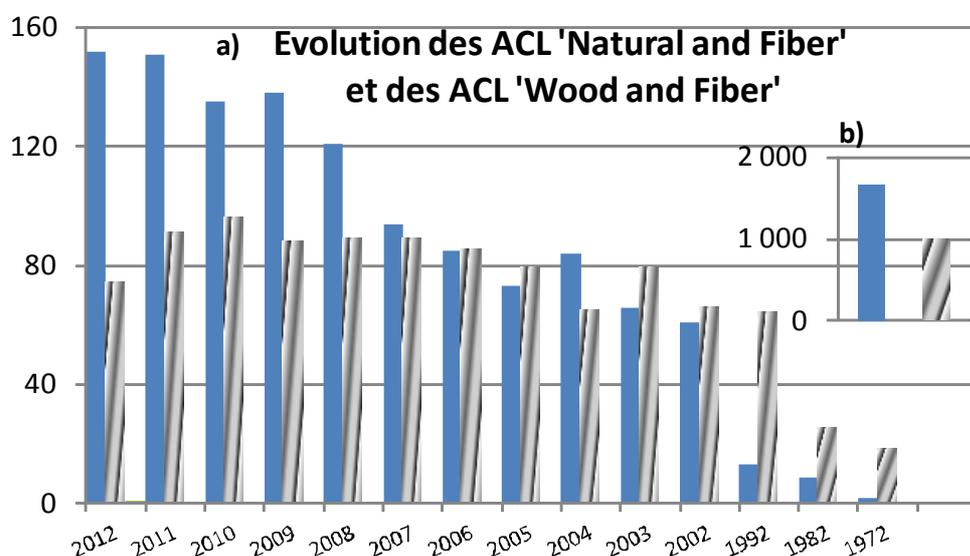


Figure 1. Bibliométrie, évolution du nombre d'ACL (article à comité de lecture) publiés contenant 'Natural Fiber' ou 'Wood Fiber' dans le titre (a), et en miniature (b) le nombre d'ACL contenant ces termes en mots clefs. Les barres pleines correspondent à 'Natural et Fiber' et les barres hachés correspondent à 'Wood et Fiber'.

REFERENCES

- Andersons J., Porike E., Sparnins E., "Modeling strength scatter of elementary flax fibers: The effect of mechanical damage and geometrical characteristics", *Composites Part A*, 43, (2011), pp.542-549
- ANR Programme Production Durable et Technologies de l'Environnement (ECOTECH) <http://www.agence-nationale-recherche.fr/financer-votre-projet/appel-detail/programme-production-durable-et-technologies-de-l-environnement-ecotech-2010/>
- Ausias G., Bourmaud A., Coroller G., Baley C., "Study of the fibre morphology stability in polypropylene-flax composites", *Polymer Degradation and Stability*, 98 (2013), pp. 1216-1224
- Beaugrand J., Berzin F., "Lignocellulosic Fiber Reinforced Composites: Influence of Compounding Conditions on Defibrization and Mechanical Properties", *Journal of Applied Polymer Science*, 127, (2013), pp.1227-1238
- Belnet F., "Les premiers outils de l'Homme" *Historia*, 782, (2012)

- Berzin F., Vergnes B., Beaugrand J., "Evolution of lignocellulosic fibre lengths along the screw profile during twin screw compounding with polycaprolactone", *Composites Part A*, (2014), accepté.
- BiLi, INRA, "Biorrafinerie des Lignocelluloses" <http://www.cepia.inra.fr/Le-departement-Les-recherches/Biorrafinerie-des-lignocelluloses>
- Bourmaud A., Le Duigou A., Baley C., "What is the technical and environmental interest in reusing a recycled polypropylene hemp fibre composite? ", *Polymer Degradation and Stability*, 96, (2011), pp. 1732-1739
- Carus M., Gahle C., "Natural fibre reinforced plastics-material with future", Nova-Institut GmbH, (2008), Huerth
- Charlet K., Beakou A., "Mechanical properties of interfaces within a flax bundle - Part I: Experimental analysis", *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 31, (2011), pp.875-881
- CELC, Confédération Européenne du Lin et du Chanvre, <http://www.mastersoffinen.com/>
- Dissanayake NPJ., Summerscales J., Grove SM., Singh MM., "Life Cycle Impact Assessment of Flax Fibre for the Reinforcement of Composites", *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 3, (2009) , pp. 245-248
- Engelund E. T., Thygesen L. G., Svensson S. Hill C. A. S., "A critical discussion of the physics of wood-water interactions", *Wood Science and Technology*, 47, (2013), pp.141-161
- Fiabilin, programme Investissements d'avenir, "Développement de matériaux composites à base de produits moins impactants sur le plan environnemental"
http://www-limatb.univ-ubs.fr/le-lin-technique-pour-composites-une-filiere-en-mouvement--371318.kjsp?RH=presentation_limatb
- FRD-Ademe, "Evaluation de la disponibilité et de l'accessibilité des fibres végétales à usages matériaux en France" (2011)
- Gamon G., Evon P., Rigal L., "Twin-screw extrusion impact on natural fibre morphology and material properties in poly(lactic acid) based biocomposites", *Industrial Crops and Products*, 46, (2013), pp.173-185
- Gellerstedt G., Sjöholm E., Brodin I., "The wood-based biorefinery: a source of carbon fiber?", *The Open Agriculture Journal*, 4, (2010), pp.119-124
- Gorshkova T., Brutch N., Chabbert B., Deyholos M., Hayashi T., Lev-Yadun S., Mellerowicz, E. J., Morvan C., Neutelings G., Pilate, G., "Plant Fiber Formation: State of the Art, Recent and Expected Progress, and Open Questions", *Critical Reviews in Plant Sciences*, 31, (2012), pp.201-228
- Guerriero G., Sergeant K., Hausman J. F., "Integrated -Omics: A Powerful Approach to Understanding the Heterogeneous Lignification of Fibre Crops", *International Journal of Molecular Sciences*, 14,(2013), pp.10958-10978
- Horizon 20:20 , EU, http://ec.europa.eu/europe2020/index_en.htm
- Huber T., Müssig J., Curnow O., Pang S. S., Bickerton S., Staiger M. P., "A critical review of all-cellulose composites", *Journal of Materials Science*, 47, (2012), pp.1171-1186.
- Ji Zhe Ma, Jian-Feng Zhang, Zhi-Heng Xu, Feng Sun, Run-Cang, "Distribution of lignin and cellulose in compression wood tracheids of *Pinus yunnanensis* determined by fluorescence microscopy and confocal Raman microscopy", *Industrial Crops and Products*, 47, (2013), pp.212-217
- Karinkanta P., Illikainen M., Niinimäki J., "Effect of grinding conditions in oscillatory ball milling on the morphology of particles and cellulose crystallinity of Norway spruce (*Picea abies*)", *Holzforschung*, 67, (2013), pp. 277-283
- Lavoie JM., Beauchet R., "Biorefinery of *Cannabis sativa* using one- and two-step steam treatments for the production of high quality fibres", *Industrial Crops and Products*, 37, (2012), pp.275-283
- Legland D., Beaugrand J., "Automated clustering of lignocellulosic fibres based on morphometric features and using clustering of variables", *Industrial Crops and Products*, 45, (2013), pp. 253-261
- Müsig J., "Structure, Properties and Technical Applications", *Book Wiley Series in Renewable Resources*, Edited by Stevens, Christian, (2010), *Industrial Applications of Natural Fibres*
- Piel-Desruisseaux J-L., "Encyclopédie pratique des outils préhistoriques" (2011), Edition Dunod
- Placet V., Trivaudey F., Cisse O., Gucheret-Retel V., Boubakar M. L. "Diameter dependence of the apparent tensile modulus of hemp fibres: A morphological, structural or ultrastructural effect? ", *Composites Part A*, 43, (2012), pp.275-287
- Shah, D.U., "Developing plant fibre composites for structural applications by optimising composite parameters: a critical review", *J. Mater Sci.*, 48, (2013), pp.6083–6107

Sinfoni, programme Investissements d'avenir, "Structuration de la filière fibres techniques végétales lin et chanvre à usage matériaux"
http://frd.fr/resources/File/communiqu_e_de_presse_sinfoni_comprese.pdf

Summerscales J., Hall W., Virk, A. S., "A fibre diameter distribution factor (FDDF) for natural fibre composites", *Journal of Materials Science*, 46, (2011), pp.5876-5880

Summerscales J., Virk A., Hall W., "A review of bast fibres and their composites. Part 2 – Composites", *Composites Part A*, 41, (2010), pp.1336-134

Vallons K., Adolphs G., Lucas P., Lomov S. V., Verpoest I. "Quasi-UD glass fibre NCF composites for wind energy applications: a review of requirements and existing fatigue data for blade materials", *Mechanics & Industry*, 14, (2013), pp.175-189

Wambua P., Ivens J., Verpoest I., "Natural fibres: can they replace glass in fibre reinforced plastics?", *Composites Science and Technology*, 63, (2003) pp. 1259-1264