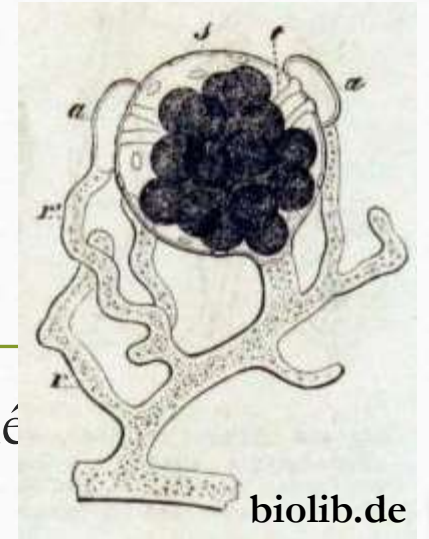


Approche multiéchelle de l'utilisation de la cellulose en foresterie et en biomatériaux

**Leandro Passarini – chercheur postdoctoral
Midi de la foresterie – 5 décembre 2017**



plu
06

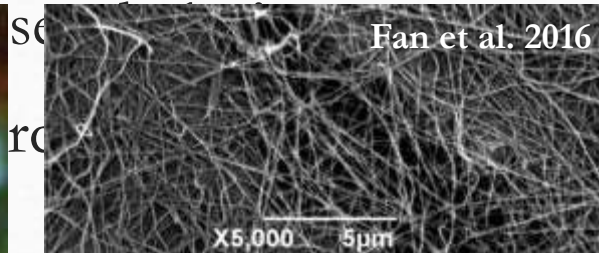
né

biolib.de

ine végétale la p genome.jgi.doe.gov h



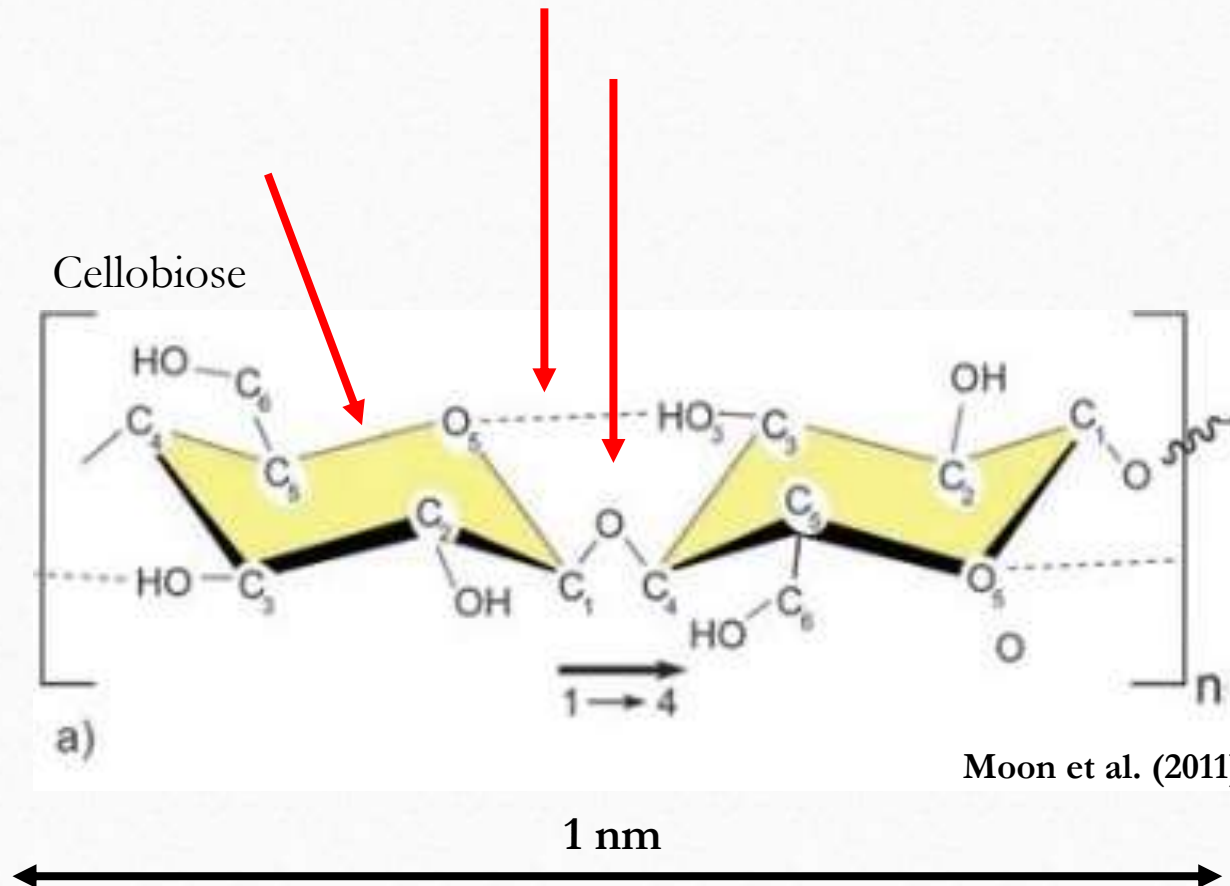
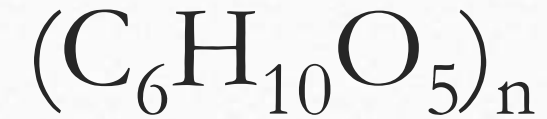
britannica.com



Fan et al. 2016

X5,000 5µm

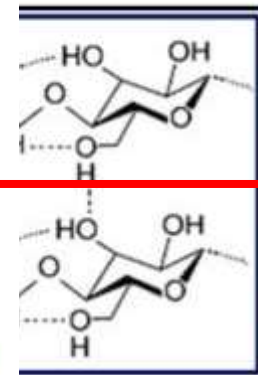
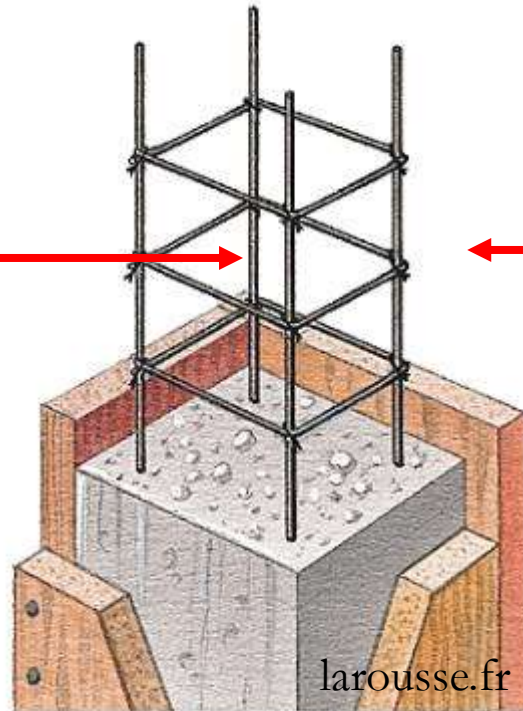
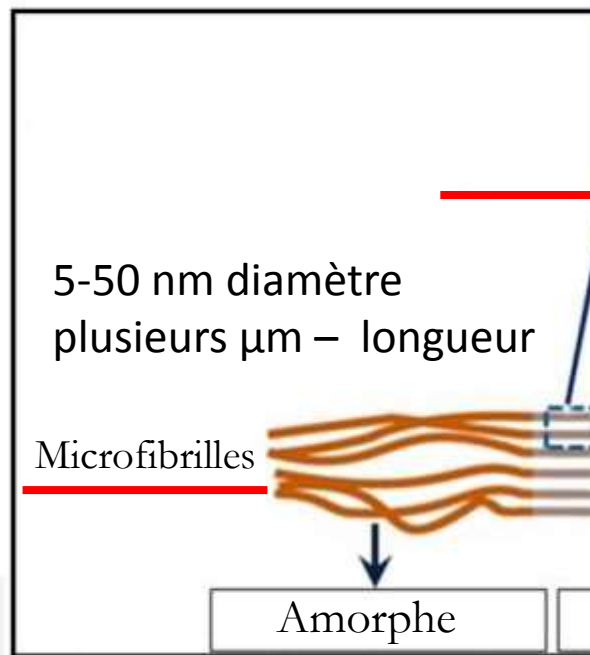




Moon et al. (2011)

- **Polysaccharide** composé par unités de D-anhydro glucopyranose (glucose) reliées par une liaison glucosidique β -(1 $\rightarrow$ 4) – liaison covalente (force élevée)
- Amidon: α -(1 $\rightarrow$ 4) - position du groupe OH sur le carbone 1
- n = Degré de polymérisation (DP)
- n = 10k (bois), 15k (coton), 20k (certaines algues)
- Cellobiose = élément de répétition = 2 unités de D-anhydro glucopyranose
- Bois: longueur $\sim 10 \mu\text{m}$
- Configuration linéaire et stabilisation de la chaîne: liaison hydrogène intramoléculaire – force plus faible

L'organisation supramoléculaire de la cellulose

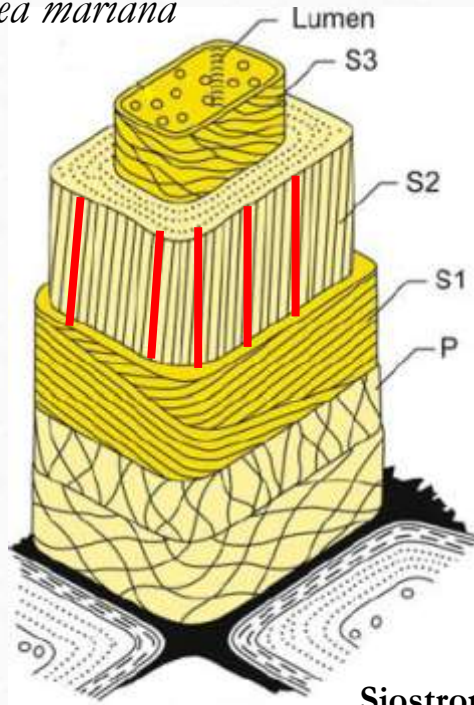


Zhou et Wu (2012)

- Des liaisons hydrogène et de van der Waals -fibrilles élémentaires – microfibrilles (5-50 nm)
- Stabilité et **résistance mécanique axiale élevée**
- Analogie: armature en fer de béton armé
- Régions cristallines et amorphes – biopolymère semi-cristallin
- Bois: 50–60% **crystalline**

La paroi cellulaire - un matériel composite et anisotrope

Picea mariana



S3 $\sim 0.1 \mu\text{m}$

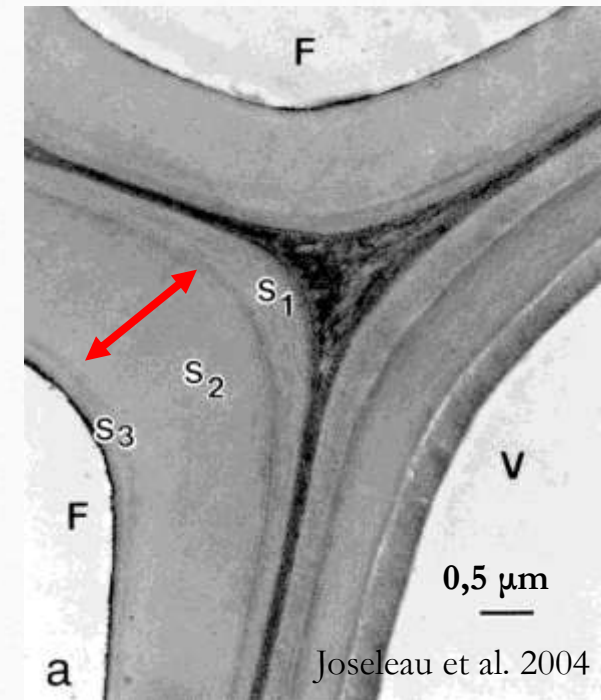
S2 1–5 μm

S1 0.2–0.3 μm

P 0.1–0.2 μm

Sjöström (1993)

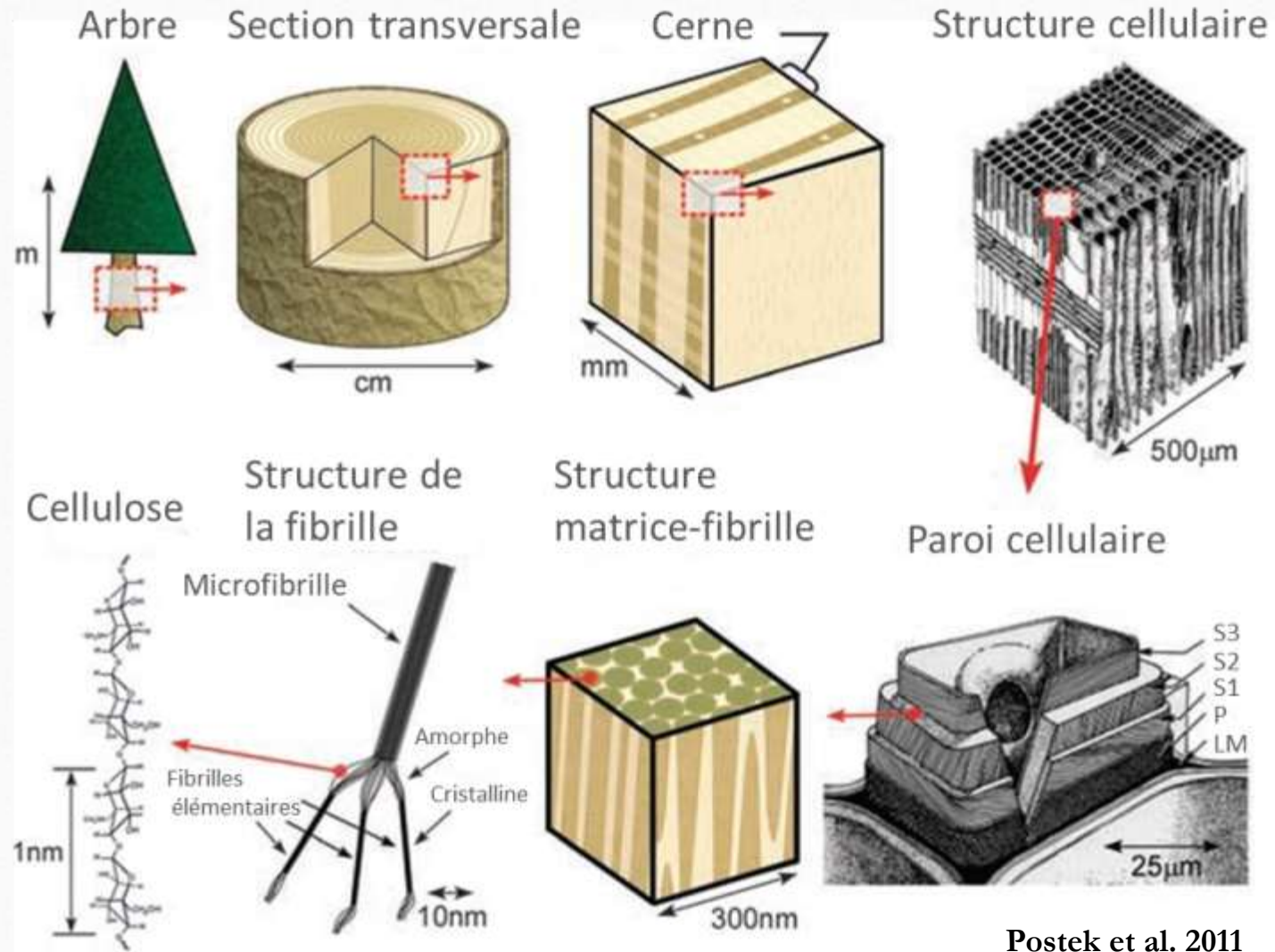
Populus deltoides



Le bois - un matériau composite et anisotrope

- Différentes propriétés physiques et mécaniques en fonction de la direction de l'axe structurel (longitudinal - L, radial - R, et tangentiel - T) - anisotropie
- Effet sur les changements dimensionnels ($T > R \gg L$)
- $T > R$: effet des rayons
- En général, pour une même propriété mécanique, le bois est de 10 à 20x plus résistant dans le sens parallèle au grain (L) que perpendiculairement (R ou T)





Postek et al. 2011

La cellulose en foresterie et en biomatériaux

Quelques exemples

Il y a longtemps...



Les arbres en ville

- Fonction écologique, économique, sociale, esthétique, thérapeutique
- Conditions adverses: sol disponible peu profond, peu de protection contre le vent
- Résistance mécanique élevée du tronc



Vent de 160 km/h



Un jeune *Calycophyllum spruceanum* – capirona ou pau-mulato

- Évènement climatique rare – chaque 40 ans
- Situation non usuelle pour des arbres sains
- Densité élevée : $0,64 \text{ g/cm}^3$
- Propriétés mécaniques élevées - poteaux d'éclairage
- Vitesse critique du vent = 150 km/h (Viro et al. 2016)

Le bois, un matériau d'avenir – merci la cellulose!



Stürzenbecher et al. (2010)

nordic.ca



vancouver.housing.ubc.ca

**WATER STATE STUDY OF WOOD STRUCTURE OF FOUR
HARDWOODS BELOW FIBER SATURATION POINT
WITH NUCLEAR MAGNETIC RESONANCE**

Leandro Passarini

PhD Student

Centre de recherche sur les matériaux renouvelables
Département des sciences du bois et de la forêt
2425, rue de la Terrasse
Université Laval
Québec, QC, Canada, G1V 0A6
E-mail: leandro.passarini.l@ulaval.ca

Cédric Malveau

Research Assistant
Laboratoire de RMN
Département de chimie
2900, boul. Édouard-Montpetit
Université de Montréal
Montréal, QC, Canada H3T 1J4
E-mail: cedric.malveau@umontreal.ca

Roger E. Hernández†*

Professor

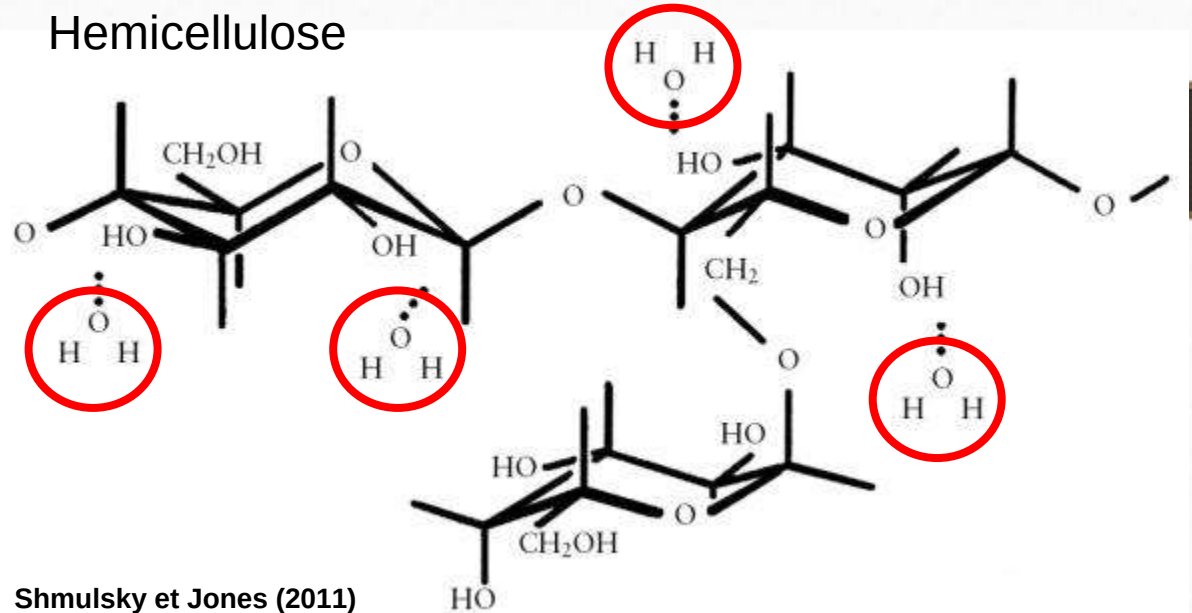
Centre de recherche sur les matériaux renouvelables
Département des sciences du bois et de la forêt
2425, rue de la Terrasse
Université Laval
Québec, QC, Canada, G1V 0A6
E-mail: roger.hernandez@sbf.ulaval.ca

Les relations eau-bois

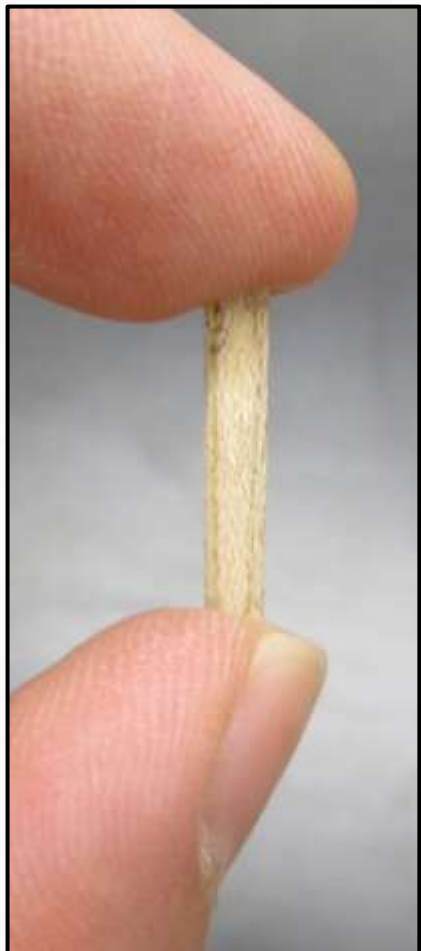


www.na.fs.fed.us/spfo/pubs/misc/treedecay/pg12-19.htm

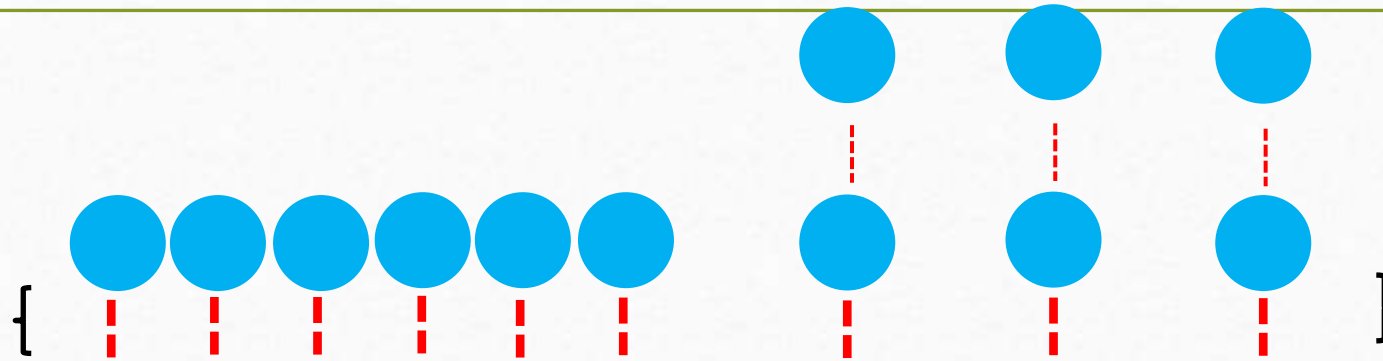
Hemicellulose



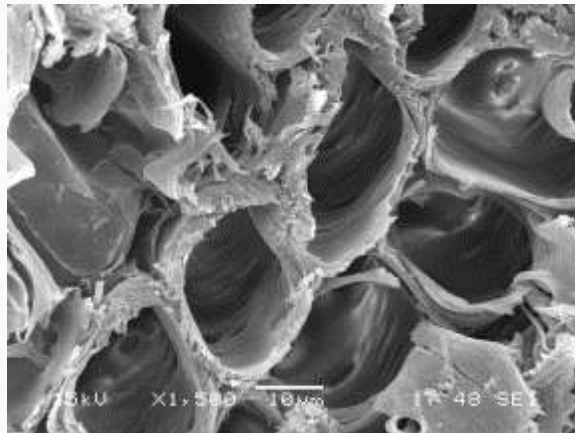
Shmulsky et Jones (2011)



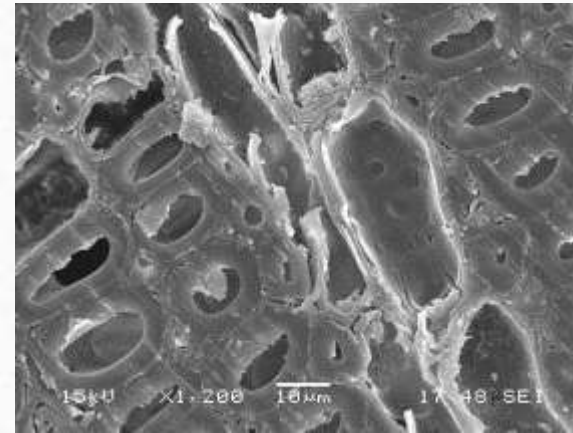
L'eau dans le bois vue par RMN



Robinia coccinea
(Huayruro)



Cariniana domestica
(Cachimbo)



L'utilisation de la cellulose



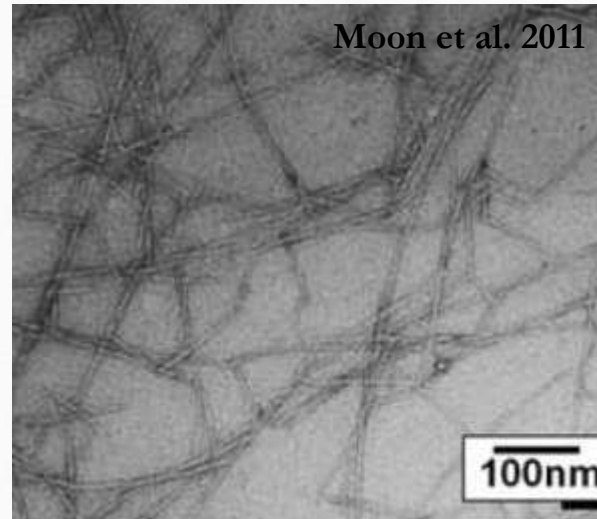
La nanocellulose

- La société moderne demande des matériaux de haute performance: nanocellulose
- Possibilité d'éliminer la plupart des défauts associés à la structure hiérarchique
- Bloc de construction pour de nouveaux matériaux

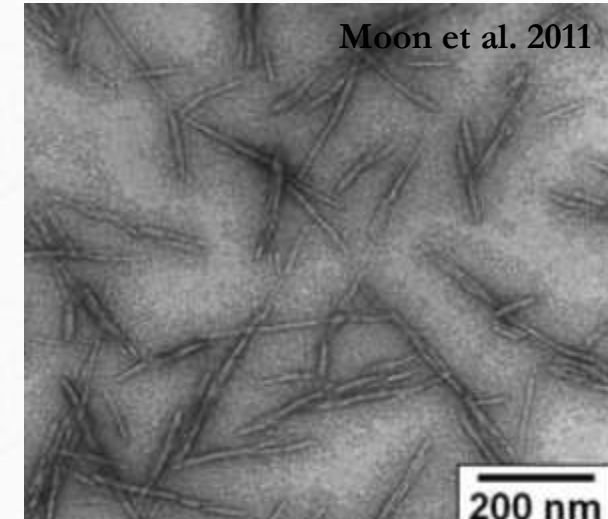


La nanocellulose

- Au moins une dimension à l'échelle nano
- Plusieurs types selon les matériaux de source et la méthode d'extraction des particules
- Procédé mécanique ou chimique



Procédé mécanique: nanofibrille de cellulose (NFC) - diamètre 1-10 nm, longueur 5-50 μm - zones amorphes et cristallines



Procédé chimique: nanocellulose cristalline (CNC) - diamètre 3-5 nm, longueur 50-500 nm - zone cristallines

Les nanoparticules cristallines de cellulose

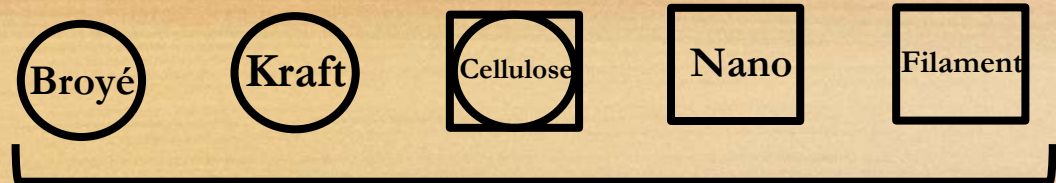
Matériau*	D (g cm ⁻³)	T (GPa)	MOE (GPa)	T/D	MOE/D
Fibre de carbone	1,8	1,5-5,5	150-500	0,8 -3	83-277
Kevlar	1,4	3,5	124-130	2,5	89-93
Fil d'acier	7,8	4,1	210	0.5	27
Cellulose cristalline	1.6	7,5-7,7	110-220	4,7-4,8	69-138

* Tiré de Moon et al. (2011) à partir de plusieurs d'autres sources

D = densité; T = résistance à la traction; MOE = Module d'élasticité en direction axiale

Défis

- Désintégration de la cellulose de la paroi cellulaire à un coût raisonnable et sans dégradation sévère
- Dispersion homogène de la nanocellulose dans une matrice polymère - grande quantité de groupes OH qui ont tendance à s'agglomérer



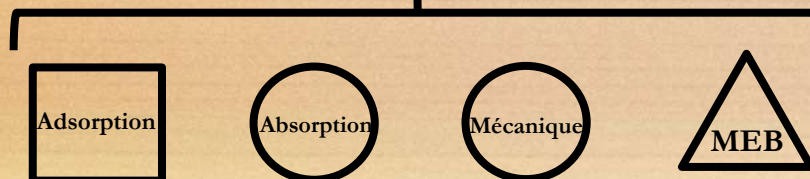
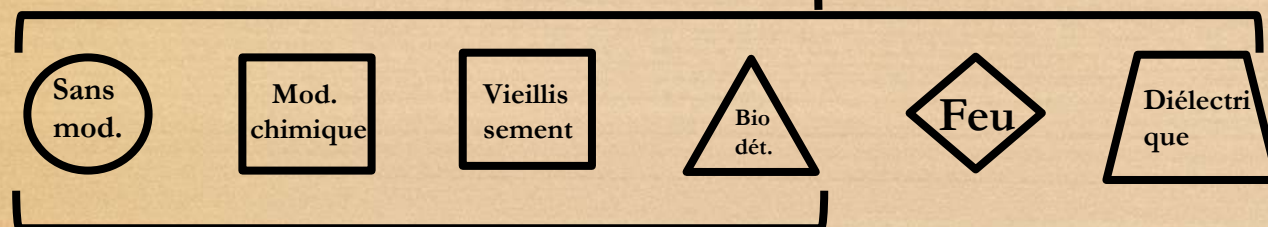
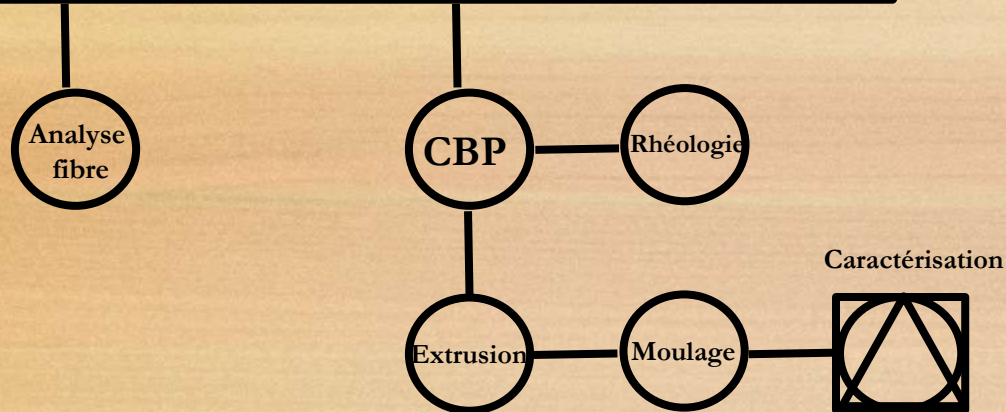
○ Abdelmajid

□ Leandro

△ Erika

◇ Jingfa

▭ ?



Valorisation des fibres cellulosiques pour la production de composites à base de matrices thermoplastiques

Merci. Des questions?

J'en ai beaucoup!

