

Les nanotechnologies ont-elles un intérêt pour le bois et ses dérivés ?

La société est désormais à la recherche de produits biosourcés performants, à faible impact environnemental et disponibles en grandes quantités, qui doivent pouvoir se substituer à d'autres matériaux traditionnels en présentant des propriétés d'usage au moins équivalents à des coûts compétitifs. A cet égard, les composites sont en pleine expansion et promus à un brillant avenir compte tenu de propriétés remarquables qu'ils confèrent aux matériaux auxquels ils sont associés. De récentes avancées en matière de procédés industriels empruntés pour la plupart aux technologies papetières laissent entrevoir un fort potentiel pour des nanocomposites à base de fibre cellulosique, que celle-ci provienne du bois ou de certaines plantes annuelles. Jusqu'à un passé récent ces nanoéléments ne provenaient pas de composés naturels renouvelables. Qu'en est-il actuellement ? La cellulose issue du bois peut-elle être source de nanorenforts ? Quels sont les mécanismes physicochimiques mis en jeu ? Comment produire la nanocellulose ? Quelles en sont les applications ?

Qu'appelle t-on nanocomposites ?

On parle de nanocomposites dès lors que les nanoéléments qui les composent, pour tout ou partie, possèdent une de leurs dimensions inférieure à 100 nanomètres (c'est à dire 1/10 000 mm) Il s'avère, bien entendu, très difficile de déstructurer la matière pour atteindre des dimensions de cet ordre. Cela requiert généralement beaucoup d'énergie. A cette échelle, ces nanoparticules présentent le plus souvent des caractéristiques physicochimiques très intéressantes, mises à profit comme éléments de renforcement même ajoutées en faible quantité (accroissement sensible des caractéristiques mécaniques, modification du comportement de surface des matériaux à titre d'exemples).

Pourquoi un tel comportement physicochimique ?

A ce stade dimensionnel ces nanoparticules ont une structure moléculaire plus ordonnée que les particules millimétriques, avec un taux de cristallinité élevé et de moindres défauts. Elles présentent par ailleurs une surface spécifique considérable qui génère une activité physicochimique de surface importante due à la présence de très nombreux groupes hydroxyles. Les liaisons hydrogène jouent alors un rôle prépondérant sur la cohésion du matériau. Lorsque ces nanoparticules sont de forme asymétrique (cas des microfibrilles de cellulose), leur orientation éventuelle conduit à des propriétés unidirectionnelles privilégiées.



Figure 1. *Microfibrilles de cellulose enchevêtrées.*
(Keystone/Science photo library)

Du bois à la nanocellulose

Le bois, constitué de fibres lignocellulosiques (cellulose-lignine-hémicelluloses-tanins etc...) est par excellence un matériau composite orienté des plus remarquables. La constitution de la paroi cellulaire, la présence de fibres, fibrilles et microfibrilles partiellement orientées, induisent des propriétés mécaniques élevées en regard de la densité du matériau. Par contre, les nombreuses inhomogénéités du bois ne permettent pas de profiter pleinement des caractéristiques intrinsèques particulièrement intéressantes des éléments les plus fins, à savoir les microfibrilles. Les fibres natives de cellulose sont agrégées en longs filaments de cellulose constitués de domaines moléculaires à caractères cristallin et amorphe, plus ou moins alternés. De part la structure hiérarchique et la nature semi-cristalline de la cellulose on peut en extraire les microfibrilles de cellulose qui correspondent essentiellement aux domaines à forte cristallinité.

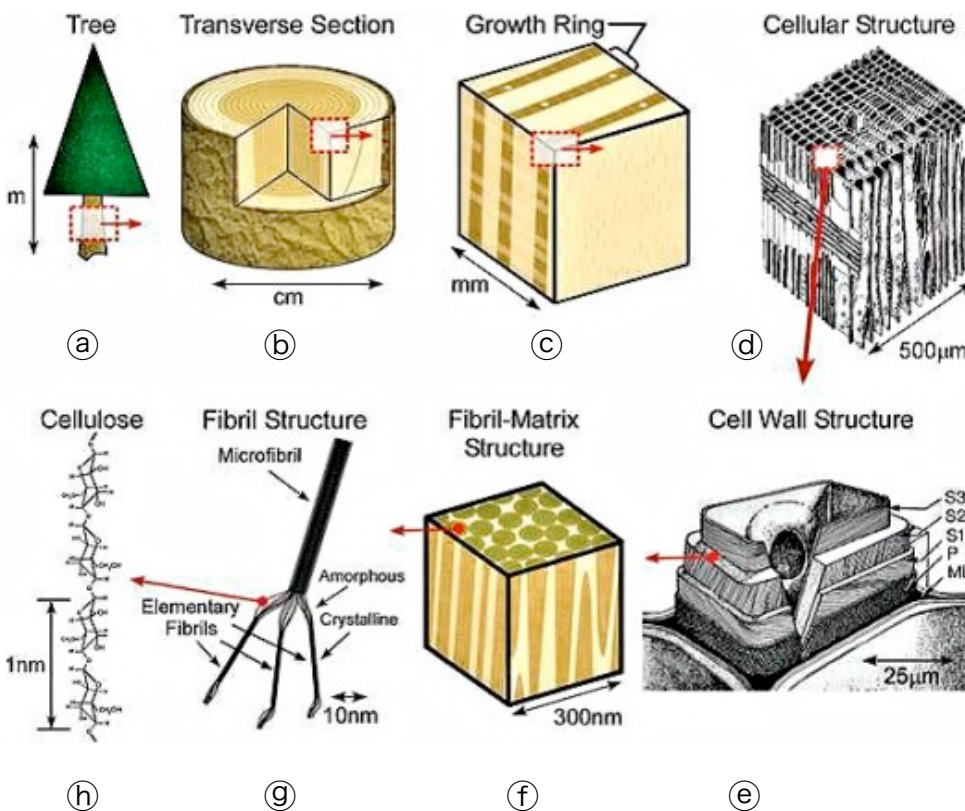


Figure 2. Structures de la cellulose dans les arbres : du tronc aux molécules

- a : arbre
- b : section transversale
- c : cerne annuel de croissance
- d : structure cellulaire
- e : structure de la paroi cellulaire
- f : structure de la matrice fibrillaire
- g : structure fibrillaire
- h : cellulose

Source fig. 2 et 3 :
www.infohightech.com/de-la-pulpe-de-bois-plus-resistante-que-la-fibre-de-carbone-ou-le-kevlar/

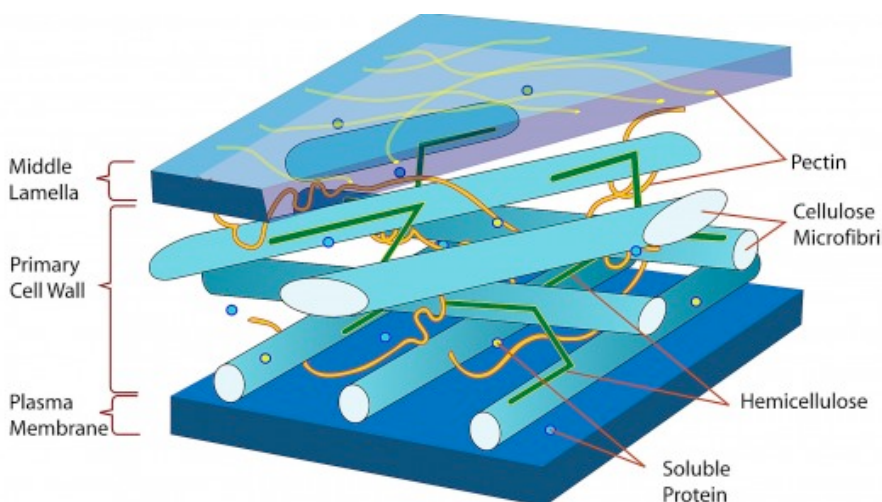


Figure 3. Structure sous-jacente de la paroi cellulaire d'une cellule du bois montrant la sous-structure des microfibrilles de cellulose portantes

Comment obtenir la nanocellulose ?

A partir du bois ou des plantes annuelles, les procédés papetiers permettent de libérer les fibres de cellulose par dissolution chimique de la lignine. A partir de ces fibres, il est alors possible par traitement d'hydrolyse par un acide fort de dissoudre les domaines moléculaires amorphes. Il en résulte l'obtention de nanocristaux de cellulose, encore appelés whiskers de cellulose.

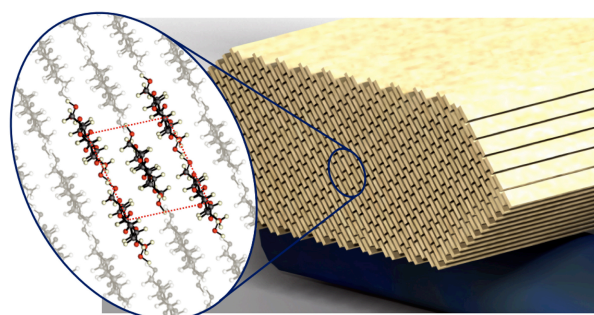


Figure 4. Détail de la structure des nanocristaux de cellulose. (Purdue University- image : Pablo Zavattieri)



Figure 5. Unité pilote de fabrication de nanocellulose (Université de Toronto - Prof. M. Sain - Canada)

Toujours à partir des fibres cellulosiques, de nouveaux prétraitements chimiques ou mécano-enzymatiques (utilisation d'enzymes produits à partir de champignons filamenteux de la pourriture du bois) permettent de commencer la déstructuration de ces fibres de cellulose pour faciliter la libération des microfibrilles de cellulose de la paroi. Un traitement mécanique à très haute pression hydraulique est ensuite nécessaire pour individualiser les microfibrilles de cellulose qui se présentent sous la forme d'un gel. Ces prétraitements sont encore fort consommateurs d'énergie électrique mais des travaux de recherche sont en cours pour la réduire.

Des propriétés remarquables

Leur surface spécifique très importante et leur module de Young de l'ordre de 150 GPa prédestinent les particules de nanocellulose à conférer un potentiel de renforcement important dans des matrices polymériques même à faible taux de charge. Leur transparence peut être mise à profit pour la réalisation de films résistants. Leur réactivité de surface est propice au greffage moléculaire.

Les applications actuelles et futures

Les applications potentielles sont particulièrement variées :

- L'adjonction de 0,5% de nanocellulose à la pâte de cellulose conduit à une amélioration très sensible des caractéristiques mécaniques du papier (+25% en résistance au déchirement, +20% en résistance à l'éclatement ...)
- L'incorporation de faibles quantités de nanocellulose dans des vernis et revêtements de surface accroît la résistance à l'abrasion et la durabilité dans le temps (applications sur bois, panneaux et cuir à titre d'exemples). Des membranes électroacoustiques à base de films de nanocellulose sont incorporées dans des casques audio Hi-Fi compte tenu de leur exceptionnelle rigidité dynamique.
- La nanocellulose additionnée aux boues de forage en modifie la rhéologie ce qui permet une réduction de l'énergie requise pour ce type d'application.
- Des composites plastiques renforcés avec de la nanocellulose sont envisagés dans des applications automobiles.
- Des composants électroniques transparents à base de nanocellulose sont en cours d'essai pour la fabrication de diodes électroluminescentes (LED).



Figure 6. Écran ultra-mince et flexible Photo Samsung

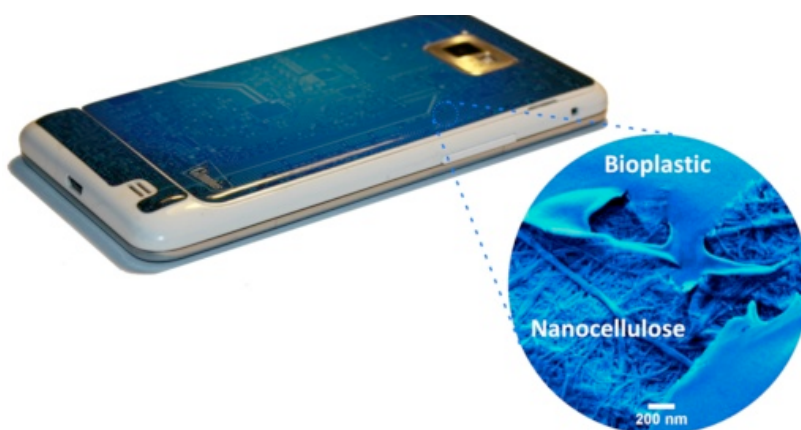


Figure 7. Protection de smartphone en nanocomposite
Photo : Gary Chinga-Carasco, PFI

Ce qu'il faut retenir

- On peut effectivement produire de la nanocellulose à partir de bois.
- Cette nanocellulose présente des propriétés originales très intéressantes pouvant conduire à de nombreuses applications.
- Les procédés d'obtention de nanocellulose sont en cours d'industrialisation.
- La ressource ligneuse très abondante, renouvelable, recyclable et de faible coût offre de grandes perspectives pour de futurs matériaux composites incorporant de la nanocellulose.