

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

Fiche **QUESTIONS SUR...** n° 02.07.Q09

2020, révisée 2026

Xavier DEGLISE, membre de l'Académie d'Agriculture de France

Mots clés : cellulose, nano-composite

La société est à la recherche de produits biosourcés performants à faible impact environnemental, et disponibles en grandes quantités ; ils doivent pouvoir se substituer à d'autres matériaux traditionnels, en présentant des propriétés d'usage au moins équivalentes à des coûts compétitifs.

À cet égard, les additifs de renfort sont en pleine expansion et promus à un brillant avenir, compte-tenu de propriétés remarquables qu'ils confèrent aux matériaux composites auxquels ils sont associés. Les avancées en matière de procédés industriels – empruntés pour la plupart aux technologies papetières – laissent entrevoir un fort potentiel pour des nano-composites à base de fibre cellulosique issue du bois ou de certaines plantes annuelles. Jusqu'à un passé récent ces nano-éléments ne provenaient pas de composés naturels renouvelables.

Qu'en est-il actuellement ? La cellulose du bois peut-elle être source de nano-particules renforçantes ? Quels sont les mécanismes physicochimiques mis en jeu ? Comment produire la nano-cellulose ? Quelles en sont les applications ?

Qu'appelle-t-on nano-composites ?

On parle de nano-composites dès lors que les nano-éléments qui les composent (pour tout ou partie) possèdent une de leurs dimensions inférieure à 100 nanomètres¹ (un dix millième de millimètre). À cette échelle, ces nano-particules 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 ?

À ce stade dimensionnel, ces nano-particules 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 jouant alors un rôle prépondérant sur la cohésion du matériau. Lorsque ces nano-particules sont de forme asymétrique (cas des microfibrilles de cellulose), leur orientation conduisant à des propriétés unidirectionnelles privilégiées.



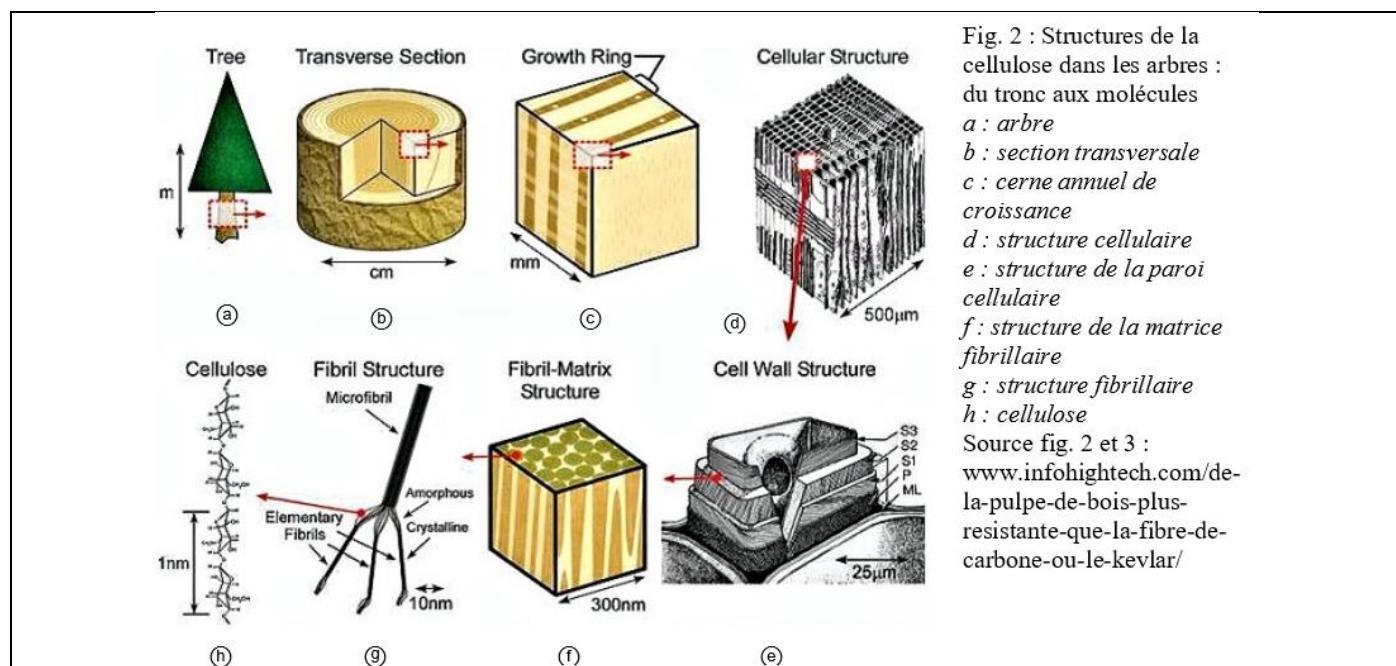
Fig. 1 : microfibrilles de cellulose enchevêtrées

Du bois à la nano-cellulose

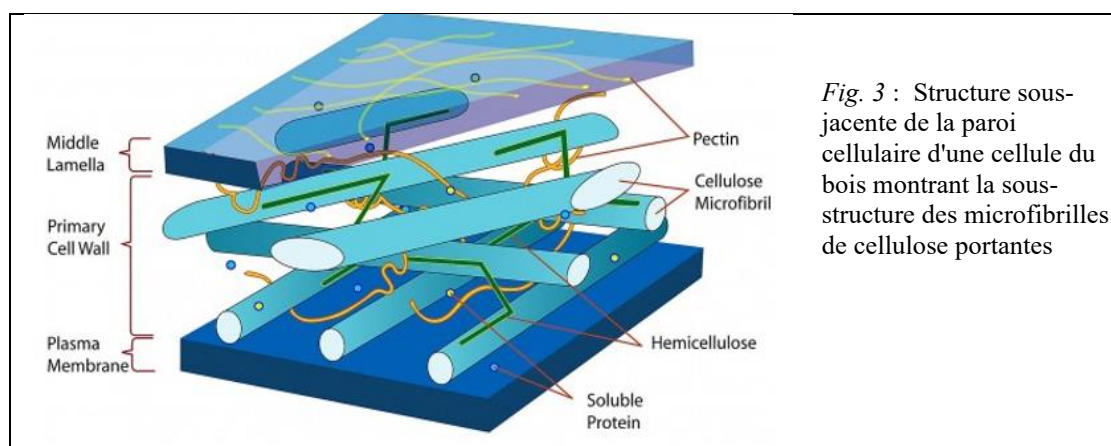
Le bois, constitué de fibres lignocellulosiques (cellulose-lignine-hémicelluloses-tanins etc...) est par excellence un des plus remarquables matériaux composites orientés. La constitution de la paroi cellulaire, la présence de fibres, fibrilles et microfibrilles partiellement orientées, induisent des propriétés mécaniques élevées au regard de la densité du matériau. En revanche, les nombreuses inhomogénéités du bois ne

¹ Pour atteindre ces dimensions,, il est très difficile de déstructurer de la matière, et cela requiert généralement beaucoup d'énergie
page 1. Fiche consultable sur le site internet www.academie-agriculture.fr onglet "**Publications**" puis "**Table des matières des documents de l'Encyclopédie**".

permettent pas de profiter pleinement des caractéristiques intrinsèques particulièrement intéressantes des éléments les plus fins que sont les nano-fibrilles.

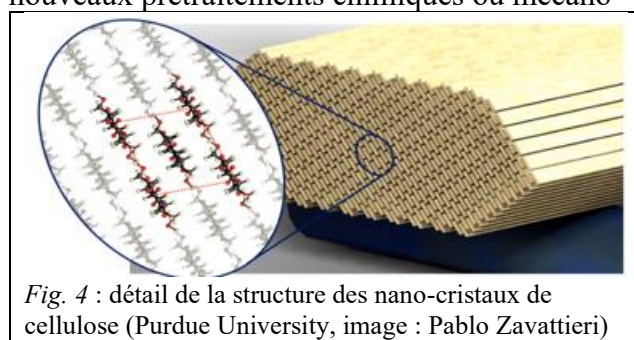


Les fibres natives de cellulose sont agrégées en longs filaments de cellulose, constitués de domaines moléculaires à caractères cristallin et amorphe, plus ou moins alternés. Du fait de la structure hiérarchique et de la nature semi-cristalline de la cellulose, on peut en extraire – après traitement physicochimique adéquat – les nano-fibrilles de cellulose qui correspondent essentiellement aux domaines à forte cristallinité.



Comment obtenir la nano-cellulose ?

À partir du bois ou des plantes annuelles, les procédés papetiers permettent de libérer les fibres de cellulose par dissolution chimique de la lignine ; il est alors possible, par traitement d'hydrolyse par un acide fort, de dissoudre les domaines moléculaires amorphes de ces fibres. Il en résulte l'obtention de nano-cristaux, appelés whiskers de cellulose. Utilisant des fibres cellulosiques, de nouveaux prétraitements chimiques ou mécano-enzymatiques (enzymes produites à partir de champignons filamenteux de la pourriture du bois) permettent d'initier la déstructuration des fibres pour faciliter la libération des microfibrilles de la paroi cellulaire. Un traitement mécanique à très haute pression hydraulique est ensuite nécessaire pour individualiser les microfibrilles, qui se présentent sous la forme d'un gel ; ces prétraitements sont encore très 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 Young² de l'ordre de 150 GPa sont de nature à conférer aux particules de nano-cellulose un potentiel de renforcement important dans des matrices polymères, même à faible taux d'incorporation. Leur transparence peut être mise à profit pour la réalisation de films résistants. Leur réactivité de surface est propice au greffage moléculaire pour l'obtention de propriétés spécifiques remarquables, tel le relargage sélectif de principes actifs pour médicaments.

La nano-cellulose cristalline (CNC) constitue un domaine de recherche particulièrement prometteur qui est désormais produit à l'échelle d'unités- pilotes, voire de petites entités industrielles. Ainsi, l'usine de CelluForce au Québec est en mesure de produire plus d'une tonne par jour. Le marché s'avère porteur avec un chiffre d'affaires de l'ordre de 340 M\$ en 2022, et une estimation de 830 M\$ en 2029.



Fig. 5 : unité pilote de fabrication de nano-cellulose (Université de Toronto, prof. M. Sain)

Les applications actuelles et futures

Les applications potentielles sont particulièrement variées et non exhaustives :

- L'adjonction de 0,5 % de nano-cellulose 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 nano-cellulose 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 nano-cellulose sont incorporées dans des casques audio Hi-Fi en mettant à profit l'exceptionnelle rigidité dynamique du matériau.
- La nano-cellulose additionnée aux boues de forage en modifie la rhéologie, permettant une réduction de l'énergie requise pour l'extraction du pétrole.
- Des composites plastiques renforcés avec de la nano-cellulose sont envisagés dans des applications automobiles.
- Des composants électroniques transparents à base de nano-cellulose sont en cours de tests pour la réalisation de diodes électroluminescentes (LED).

Ce qu'il faut retenir :

On peut produire de la nano-cellulose à partir de bois. Cette nano-cellulose présente des propriétés originales très intéressantes, pouvant conduire à de nombreuses applications.

Les procédés d'obtention de nano-cellulose 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 nano-cellulose.



Fig. 6 : écran ultra-mince et flexible (scc : Samsung)

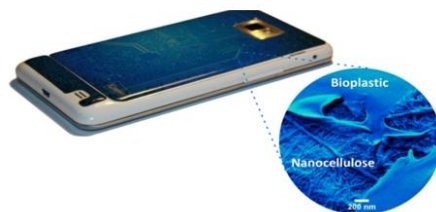


Fig. 7 : protection de smartphone en nano-composite (scc : Gary Chinga-Carasco, PFI)

² Contrainte mécanique qui engendrerait un allongement de 100 % de la longueur initiale d'un matériau, doublant alors de longueur

