

QUELS APPORTS DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES À LA RESTAURATION DE NOTRE-DAME DE PARIS ?

Les techniques de mise en œuvre du bois dans les charpentes de cathédrales : pertinence et innovations.

Bernard THIBAUT
DR émérite CNRS

Laboratoire de Mécanique et Génie Civil
UMR 5508 CNRS Université de Montpellier





Le bois: matériau sophistiqué résolument moderne, innovation majeure du monde végétal

Apparu il y a 300 millions d'années il permet de construire des architectures audacieuses (les arbres) résistant pendant des siècles

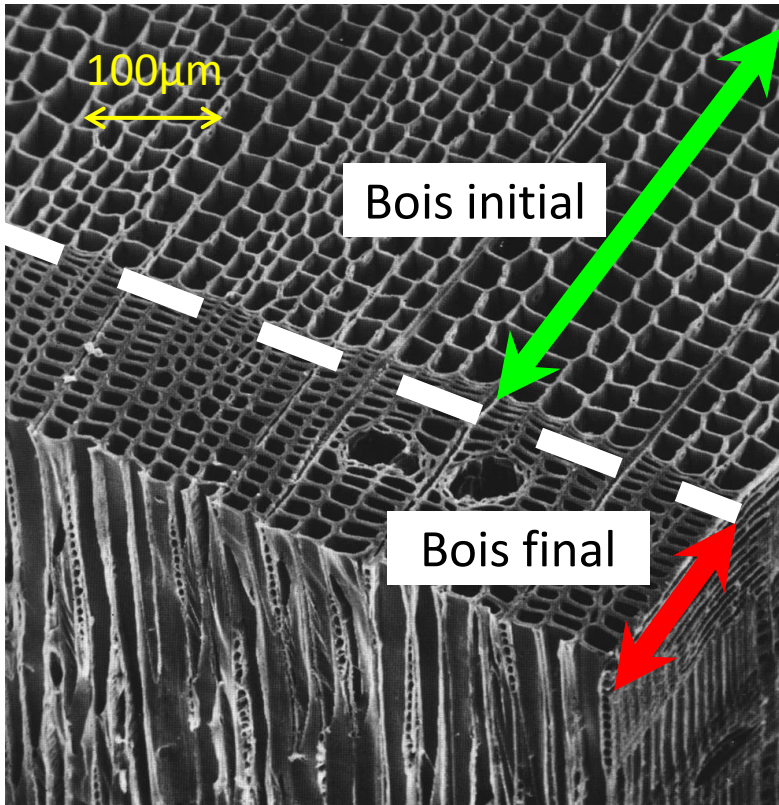
Il faut des outils modernes:

- microscope électronique ou à force atomique,
- diffraction X,
- spectrométrie de résonance magnétique nucléaire, pour comprendre ce matériau

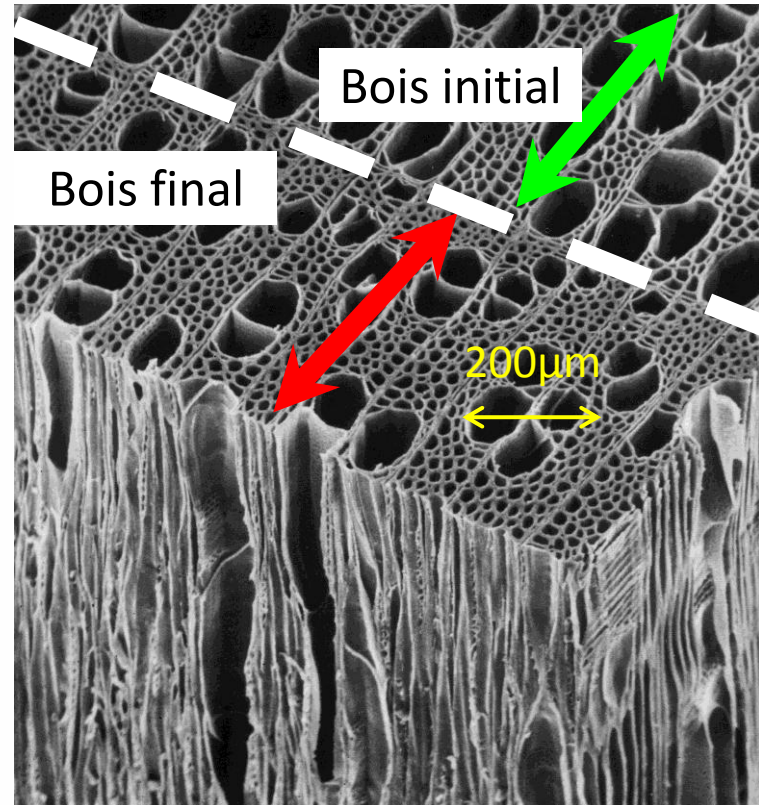


$I_\varepsilon(\varphi) =$ $\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} W(\cdot, F) = \infty$

Le bois est un matériau nid d'abeille naturel à l'échelle du micromètre

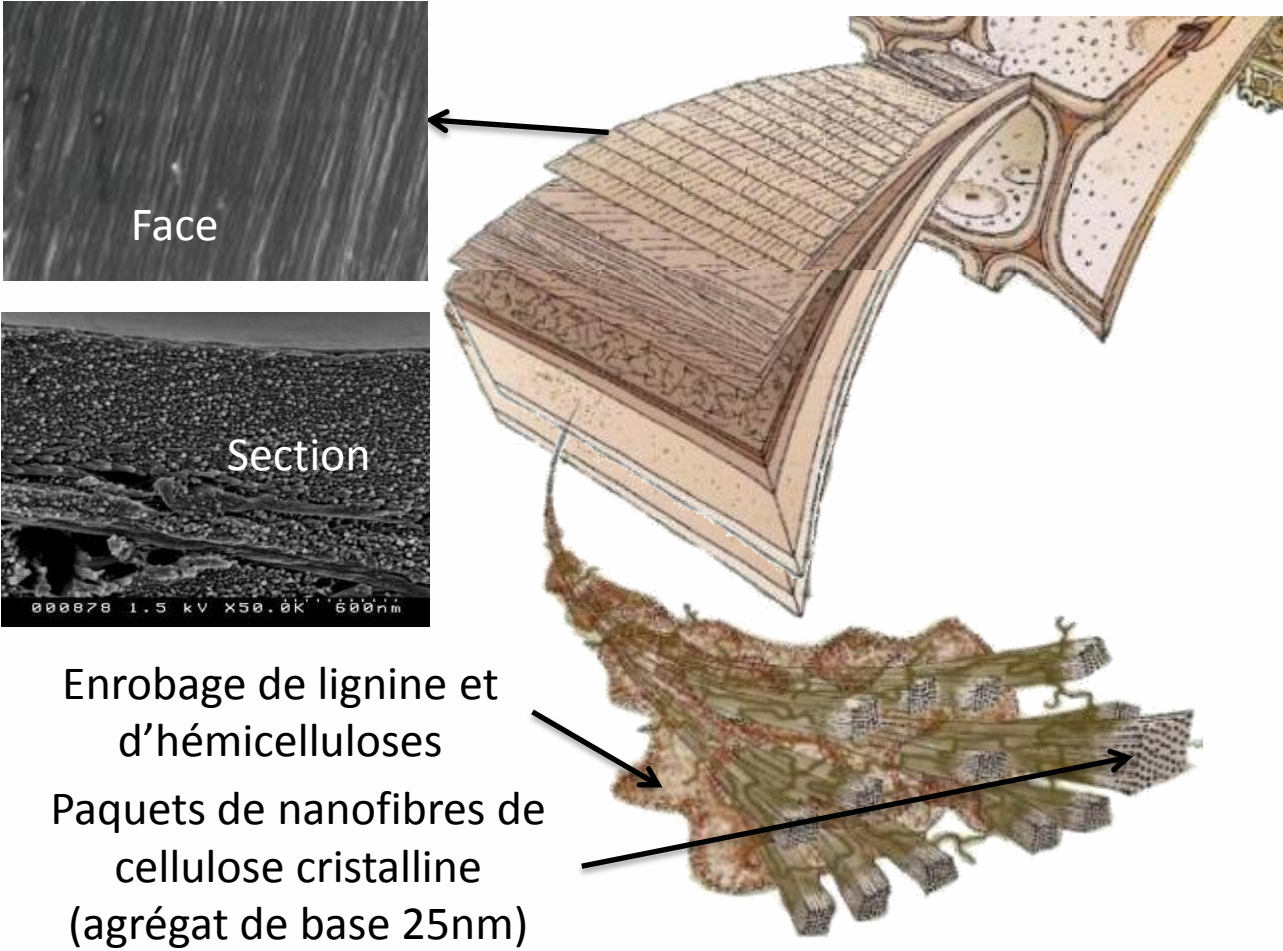


Bois de résineux



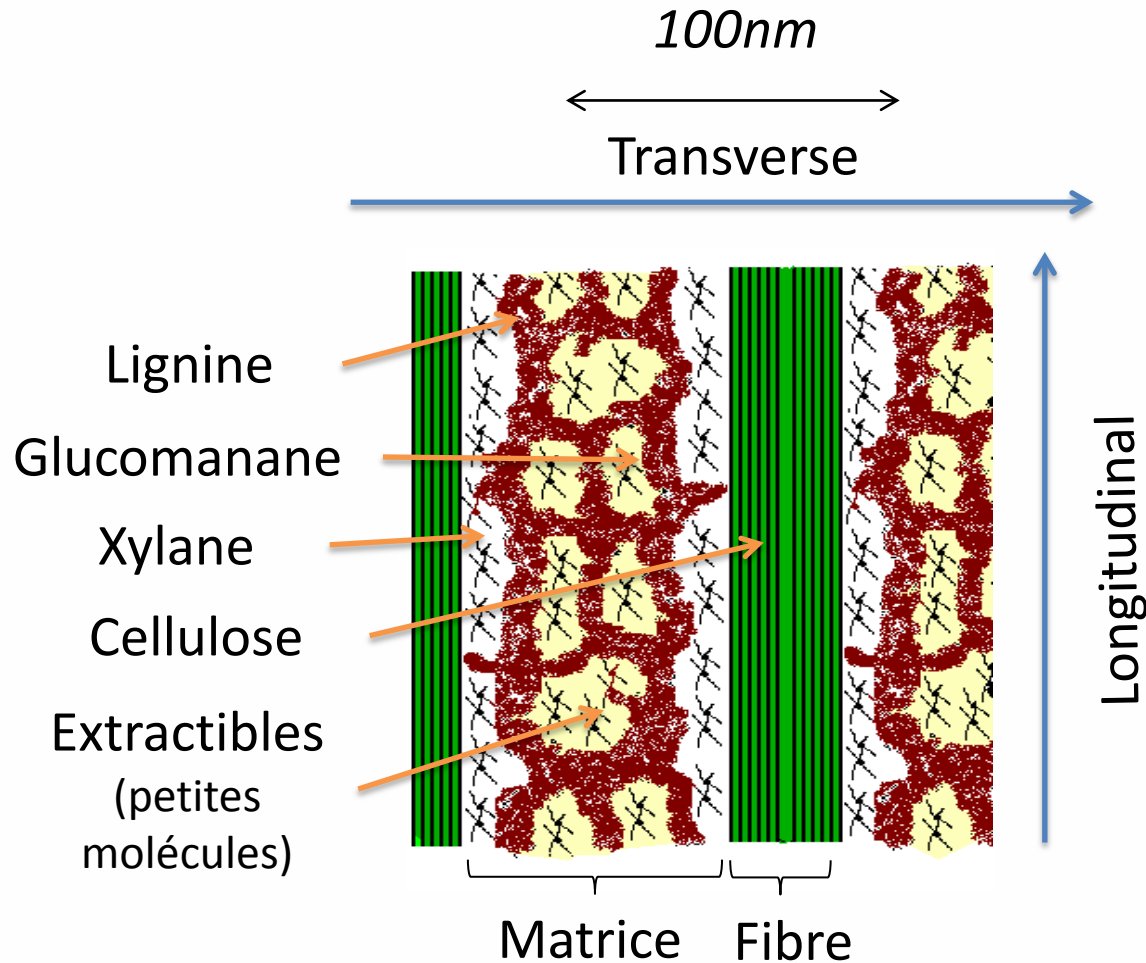
Bois de feuillu

La paroi des cellules est un composite à fibres à l'échelle du nanomètre



Une efficacité qui combine la légèreté du nid d'abeille et la performance mécanique des composites à fibre

Les composants de la paroi sont des polymères carbonés sensibles à l'hygrométrie de l'air



Un alliage de polymères dopé par un cocktail de 50 à 100 molécules actives

Les extractibles: un cocktail subtil de molécules qui régulent les propriétés sensorielles des bois et les relations avec les insectes ou les micro-organismes



Plus de 1500 types de bois différents dans la forêt française

Des innovations oubliées des charpentiers du Moyen Age

Les historiens ont percé les mystères des charpentes médiévales grâce à la dendrochronologie

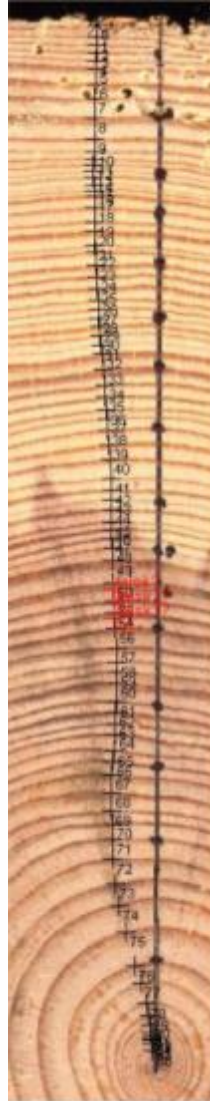
Les charpentiers sélectionnaient des arbres jeunes (moins de 100 ans), élancés et de petit diamètre (25 cm)

Les troncs entiers sont juste équarris pour garder la résistance de l'arbre

Les poutres sont mises en place dans la charpente rapidement après l'abattage qui se faisait en hiver

Les pièces de charpente ne sont pas séchées avant la mise en place

Ces principes sont encore utilisés en petit génie civil



Charpente de Notre Dame de Paris



Franchissement de rivière en Guyane

Des chênes du 21^{ème} siècle à disposition dans notre forêt

Il faut moins de 2000 arbres pour la charpente

Il y a 200 millions de chêne de ce diamètre dans la forêt française actuelle (Inventaire forestier national)

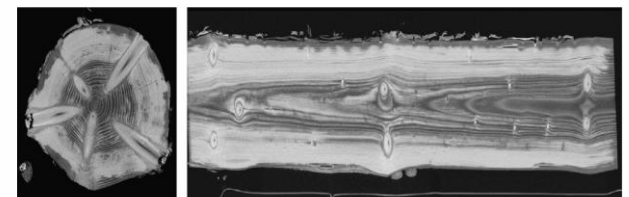
Les bases de données permettent de trouver les forêts de chênes élancés


Le Lidar terrestre et le carottage permettent de sélectionner sur pied

La tomographie de rayons X permet de visualiser l'intérieur de la poutre (défauts)

Le contrôle non destructif permet de déterminer la résistance mécanique de la poutre

La spectrométrie proche infrarouge sur carottes permet de mesurer la richesse en tannins





Pourquoi il est intéressant de refaire la charpente en chênes du 21^{ème} siècle, pour le prochain millénaire

C'est une solution rapide (tous les plans sont prêts), peu onéreuse qui offre une garantie de résistance supérieure à cinq siècles.

Une tonne de chêne utilisée dans la charpente c'est 1,8 tonne de CO² récupérée dans l'atmosphère et stockée pendant des siècles

C'est le matériau et la technique qui consomment le moins d'énergie fossile pour la mise en œuvre

La charpente de Notre Dame de Paris n'est pas qu'un hommage aux chênes français, c'est le résultat de milliers d'années d'innovations dans le mariage entre la forêt française et le peuple des charpentiers.

Le chantier pourrait être une école pour nombre d'apprentis charpentiers sous les regards des parisiens et des touristes



Innover pour mieux protéger les charpentes de notre patrimoine

Les incendies de charpente sont associés aux travaux de rénovation

Il faut une grande quantité de chaleur (> 280 degrés) pour enflammer une poutre

Des caméras thermiques associées à l'intelligence artificielle sont efficaces

Des robots extincteurs peuvent être utilisés sur le chantier de rénovation

Utiliser les savoir-faire en matière de prévention de feux de forêt:

- Surveillance combinée (chantier, conservateur, pompiers)
- Alerte immédiate des pompiers dès les premiers signaux
- Intervention précoce du robot extincteur
- Comités citoyen des charpentes monumentales analogues aux Comités Communaux Feux de Forêts (CCFF)

Merci de votre attention

