

XYLOGOLOGIE, UN DISCOURS SUR LE BOIS

Bernard Thibaut

Equipe Mécanique de l'Arbre et du Bois

Laboratoire de Mécanique et Génie Civil (LMGC)

Université de Montpellier 2 - CNRS



C'est quoi la xylologie?

Il s'agit de la **description du bois** à toutes les échelles, de la **mesure de propriétés** physiques, mécaniques, chimiques ou biologiques pertinentes, de **l'étude des relations entre paramètres descriptifs du bois et propriétés**.
(définition GDR bois 2012)

Xylologie: Science du bois, de sa structure et de ses propriétés physiques, mécaniques et chimiques. Larousse

Xylology: The branch of dendrology treating of the gross and minute structure of wood. Webster

Le xylologue étudie chaque étape de l'histoire du bois : de la vie de l'arbre à la gestion de son abattage, de ses transformations successives au mode d'utilisation des objets, de l'analyse de leurs usures aux raisons de leur enfouissement ou de leur conservation. Les sciences de l'archéologie

De quel bois parle-t-on?



Une forêt: le bois de Huelgoat ...



Un arbre: le bois canon ...



Un rameau: Le bois de l'année, le vieux bois ...



Une ressource: le bois mort

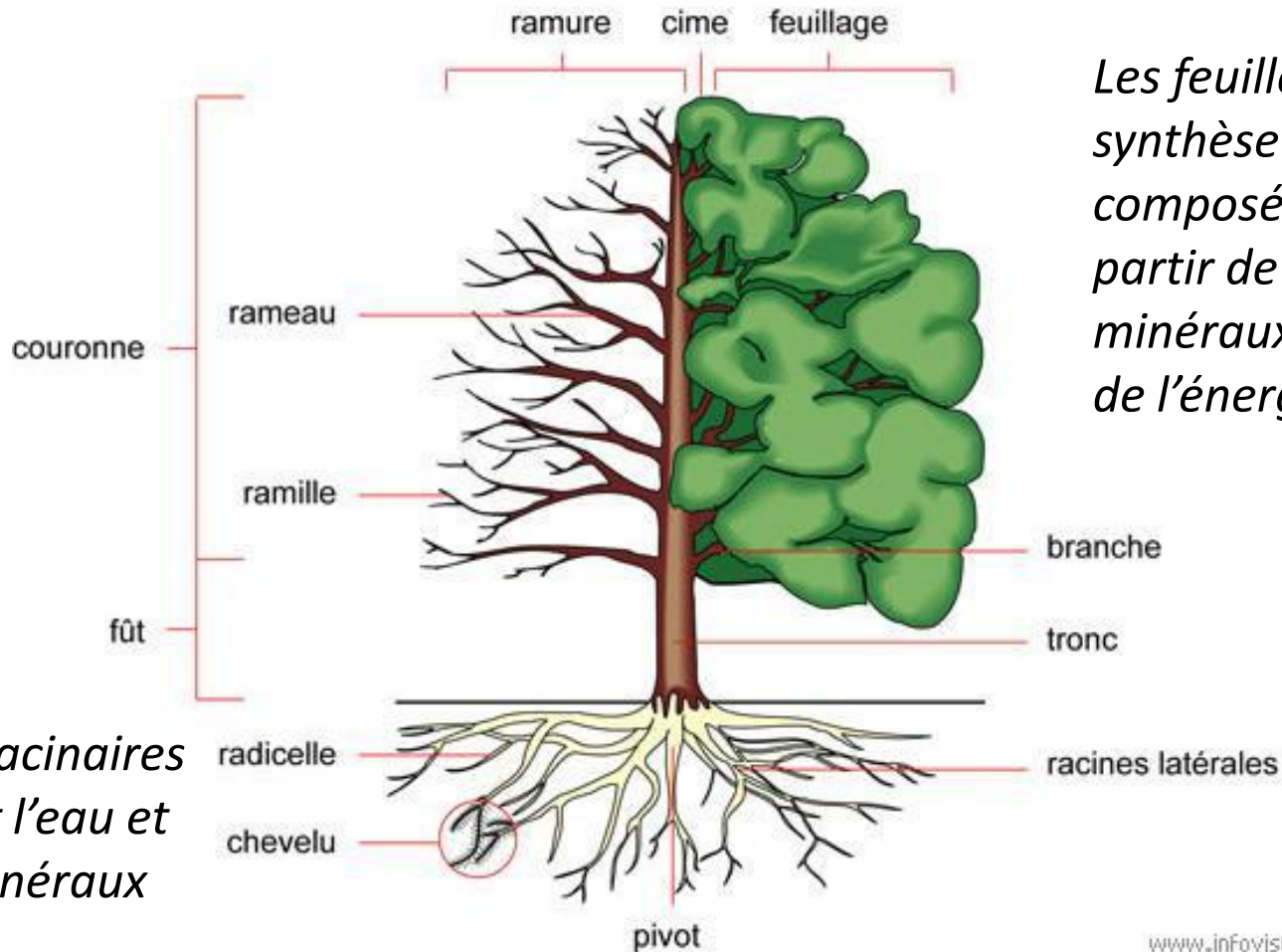


Un combustible: Le bois de chauffage



Un matériau: Le bois de construction ...

Le bois de l'arbre



Les poils racinaires absorbent l'eau et les sels minéraux

Le bois de l'arbre c'est tout ce qu'il y a entre le chevelu racinaire et le feuillage, il est vivant et comprend les méristèmes, et l'écorce. C'est la croissance du bois qui construit l'arbre et génère les forces nécessaire à son adaptation au milieu

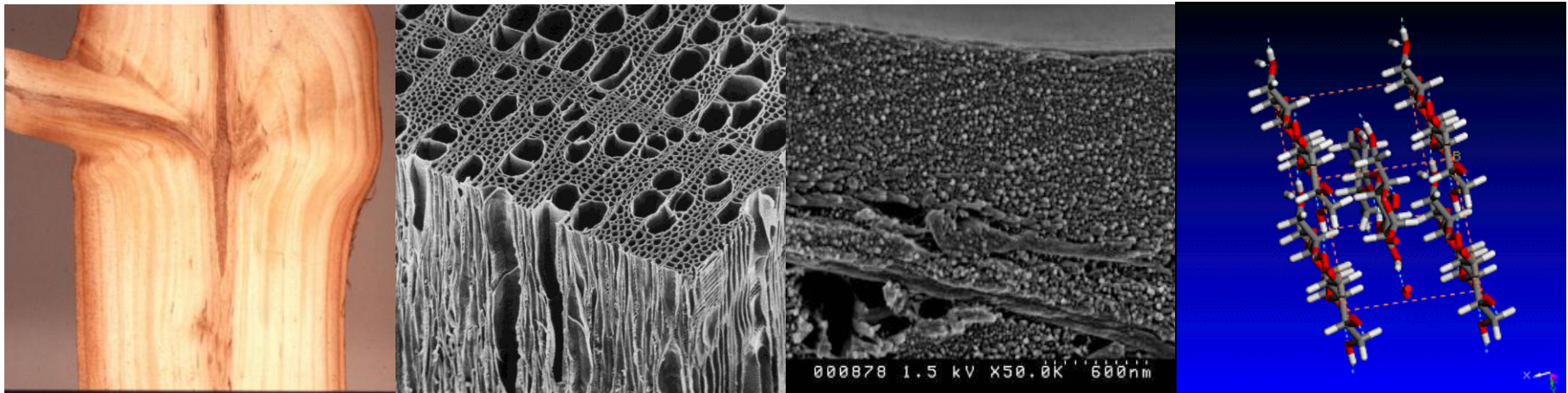
Le bois des humains



Le bois de l'industriel, de l'architecte, de l'artisan ou du particulier c'est le résultat de la déconstruction de l'arbre, il est mort, sec à l'air, ne comprend que rarement l'écorce. Il est réduit à des rondins, poutres, planches, feuilles, copeaux ou fibres

Les échelles de description des bois

- Echelle macroscopique: Architecture et empilement de cernes
- Microstructure: le plan ligneux
- Ultra structure: la paroi cellulaire
- Composition chimique de la paroi: macromolécules, métabolites et minéraux



Echelle macroscopique: Architecture et empilement de cernes



Une solution primaire ...



et une solution combinée
primaire + secondaire à
un accident mécanique

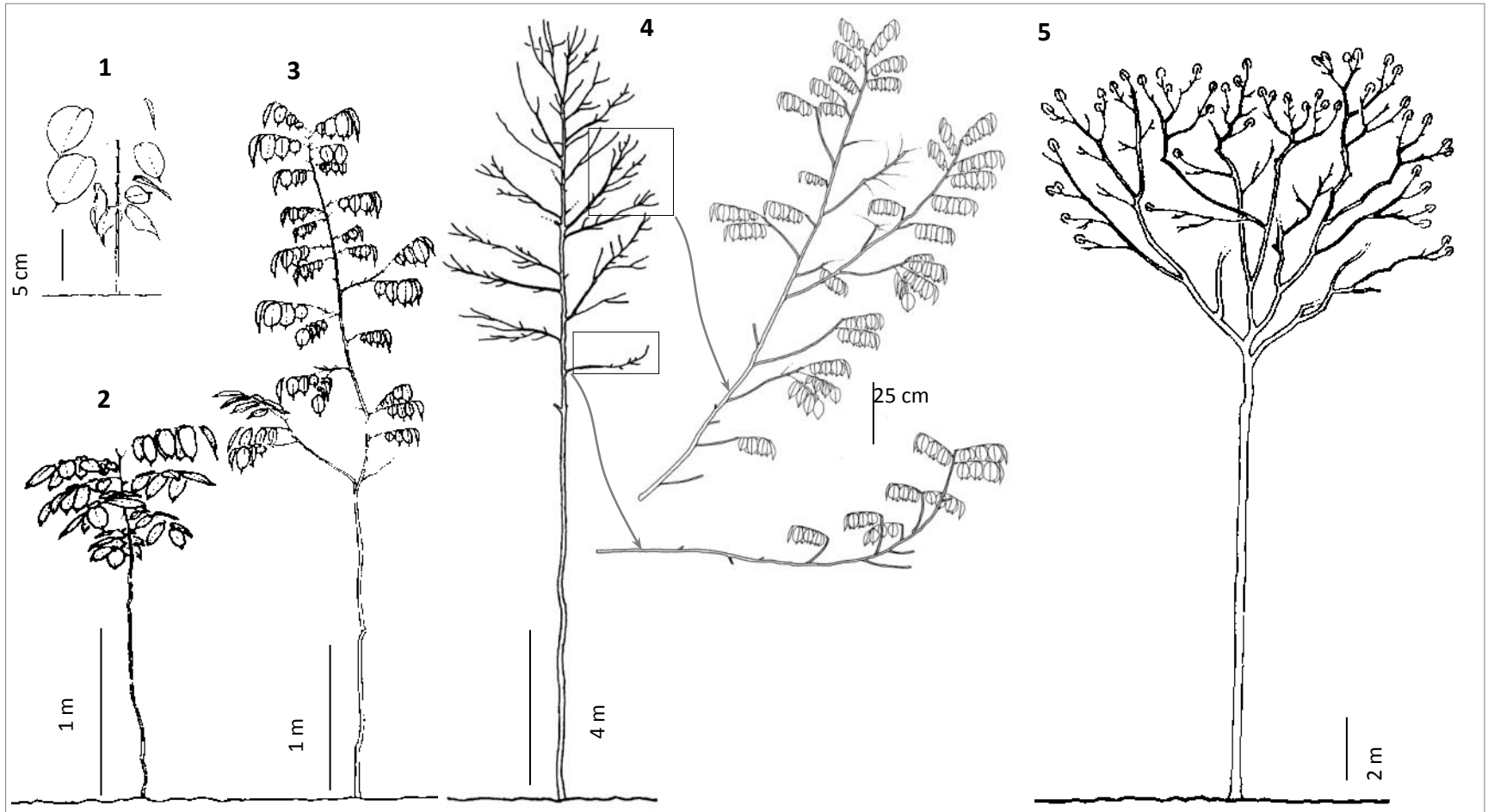


Jouer sur les inerties et
les bras de levier par la
croissance en épaisseur



***Les outils de description:
Dessin, Photo, Lidar, Tomographie 3D***

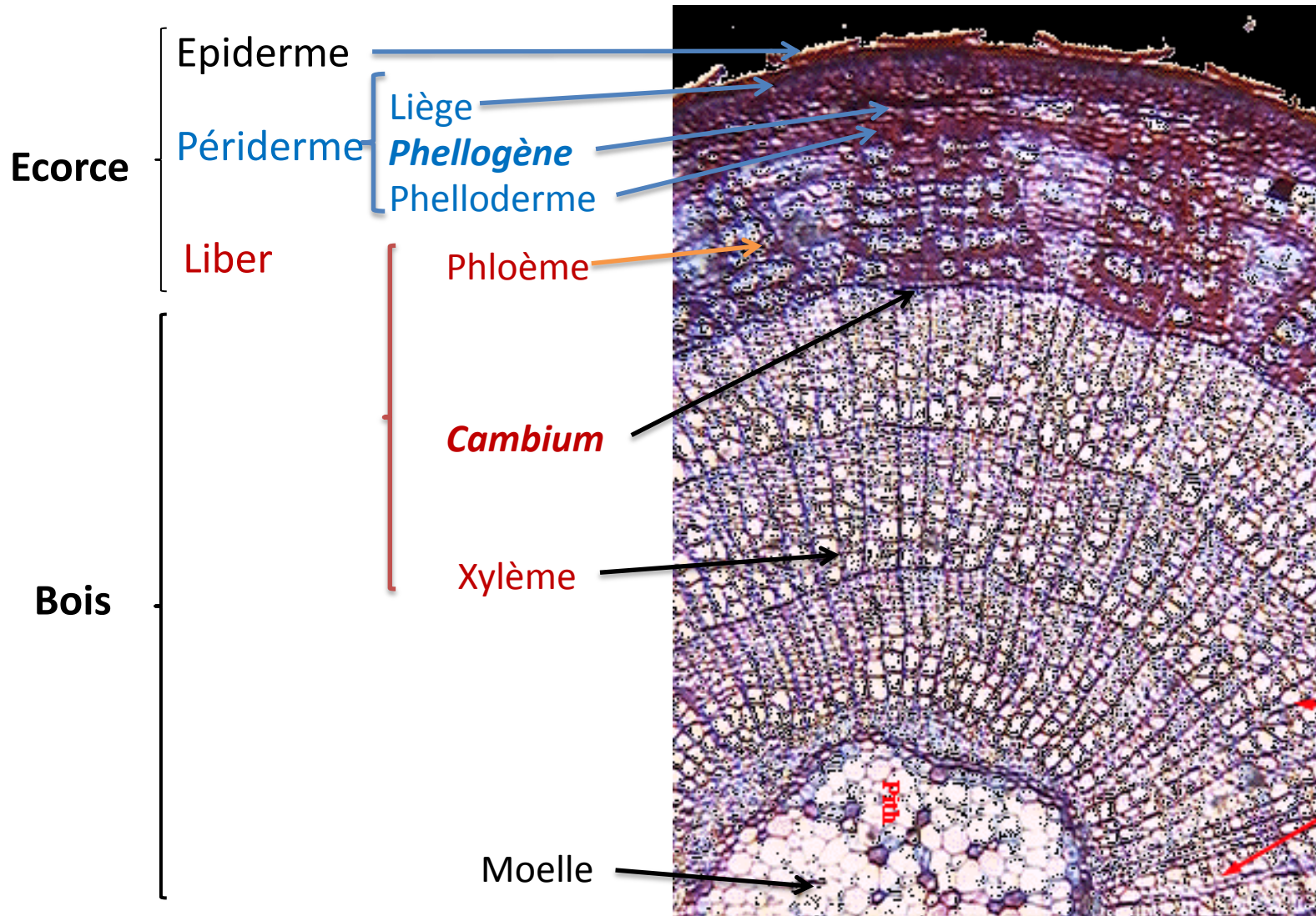
L'architecture de l'arbre



Le bois de l'arbre est un ensemble ramifié de plus en plus complexe avec l'âge

Le modèle architectural est une signature utile pour l'identification

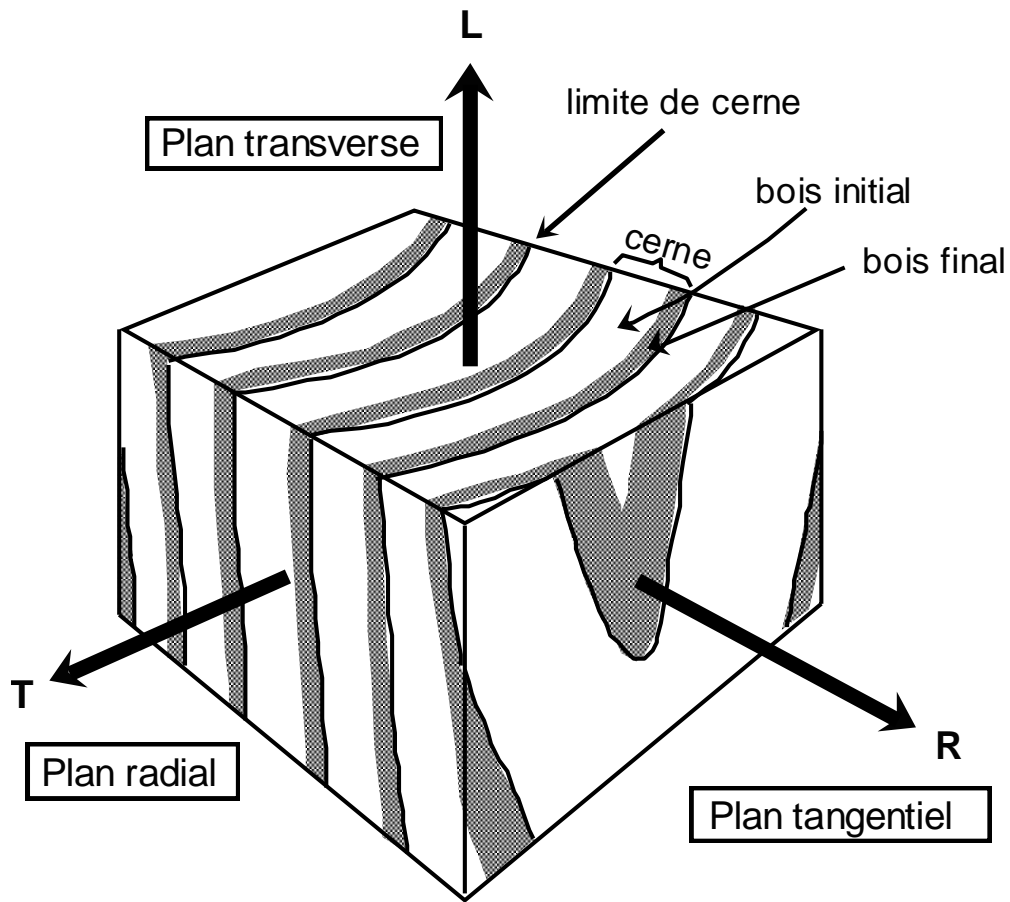
La section transversale d'un axe



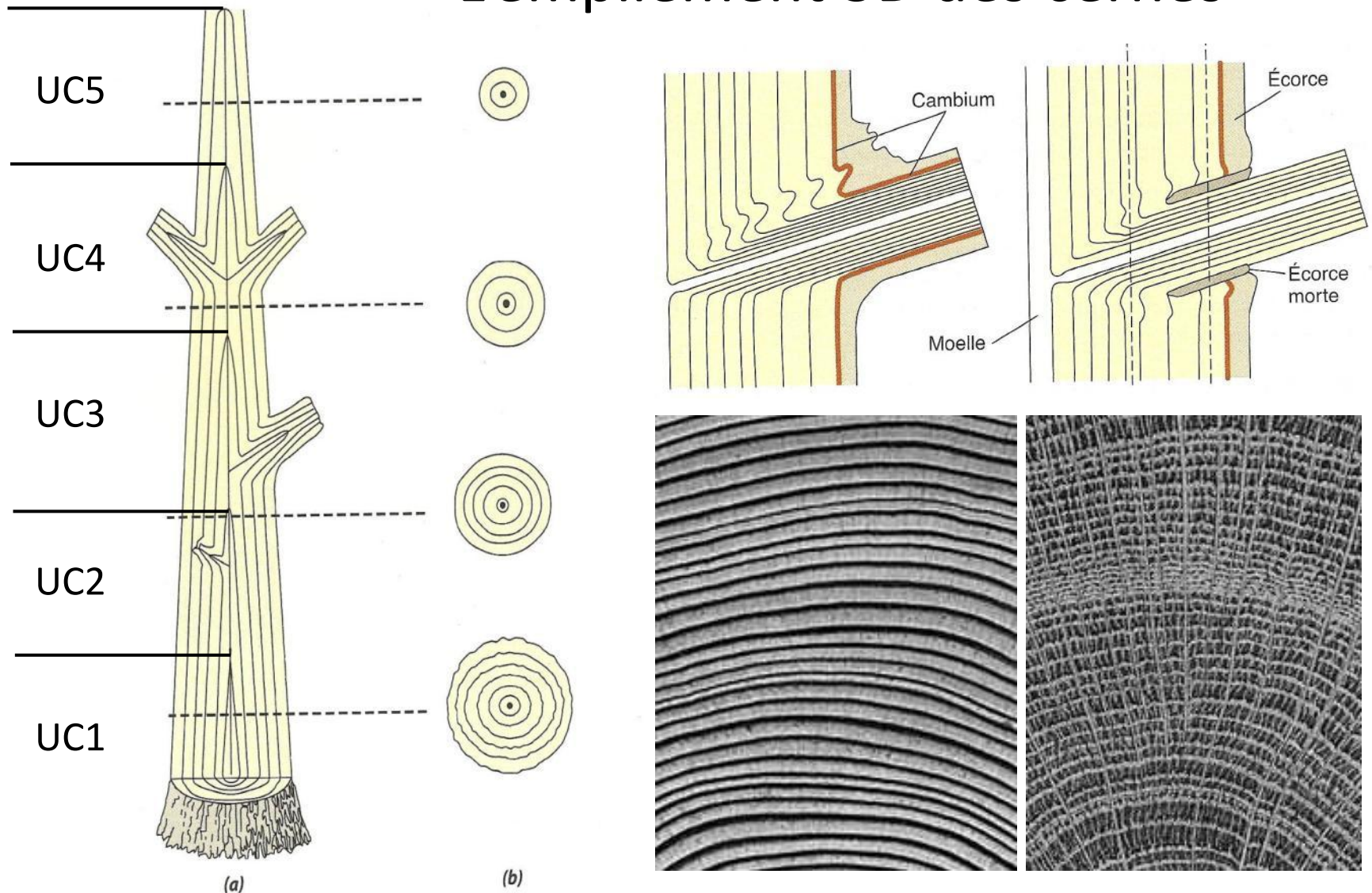
Cambium et phellogène: méristèmes; épiderme et liège: protection, phelloderme: stockage; phloème et xylème: conduction; bois construction et régulation mécanique

Premier niveau d'anisotropie du bois

3 axes privilégiés, 3 plans de symétrie



L'empilement 3D des cernes



Lecture de l'histoire: temps écoulé (vieillissements), séquence des évènements (mise en place des contraintes ...), contexte historique (climat, sylviculture ...)

Conséquences lors de la déconstruction

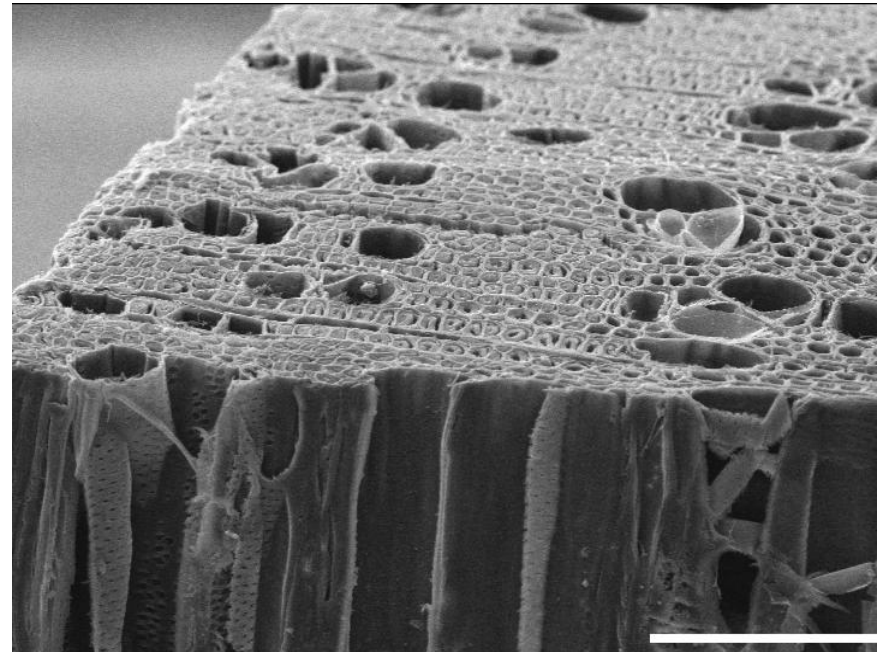
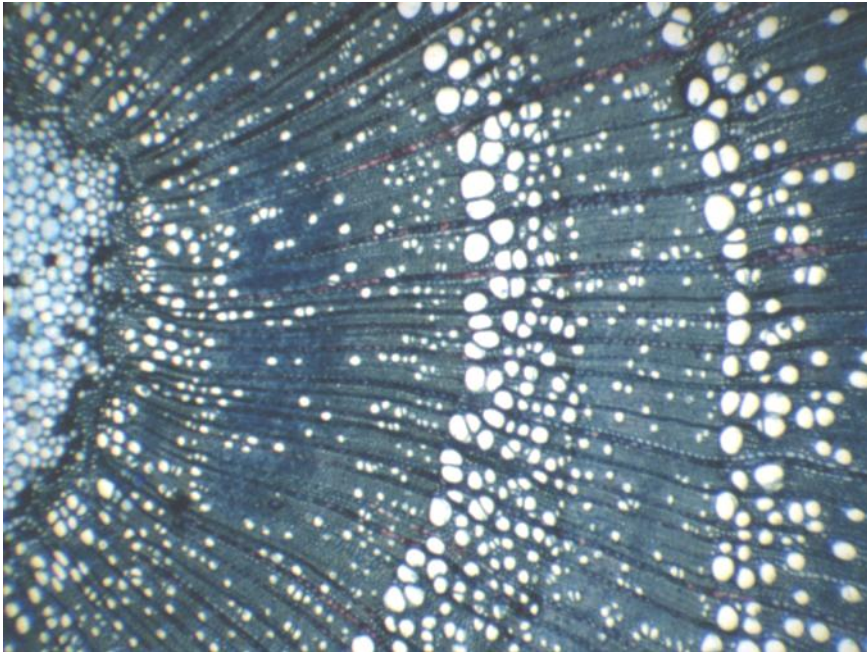


Selon la nature et la disposition des nœuds, qui sont les traces des branches, la résistance mécanique d'une pièce de bois peut être deux ou trois fois plus faible que celle du bois du tronc qui la constitue pour l'essentiel

Microstructure: le plan ligneux

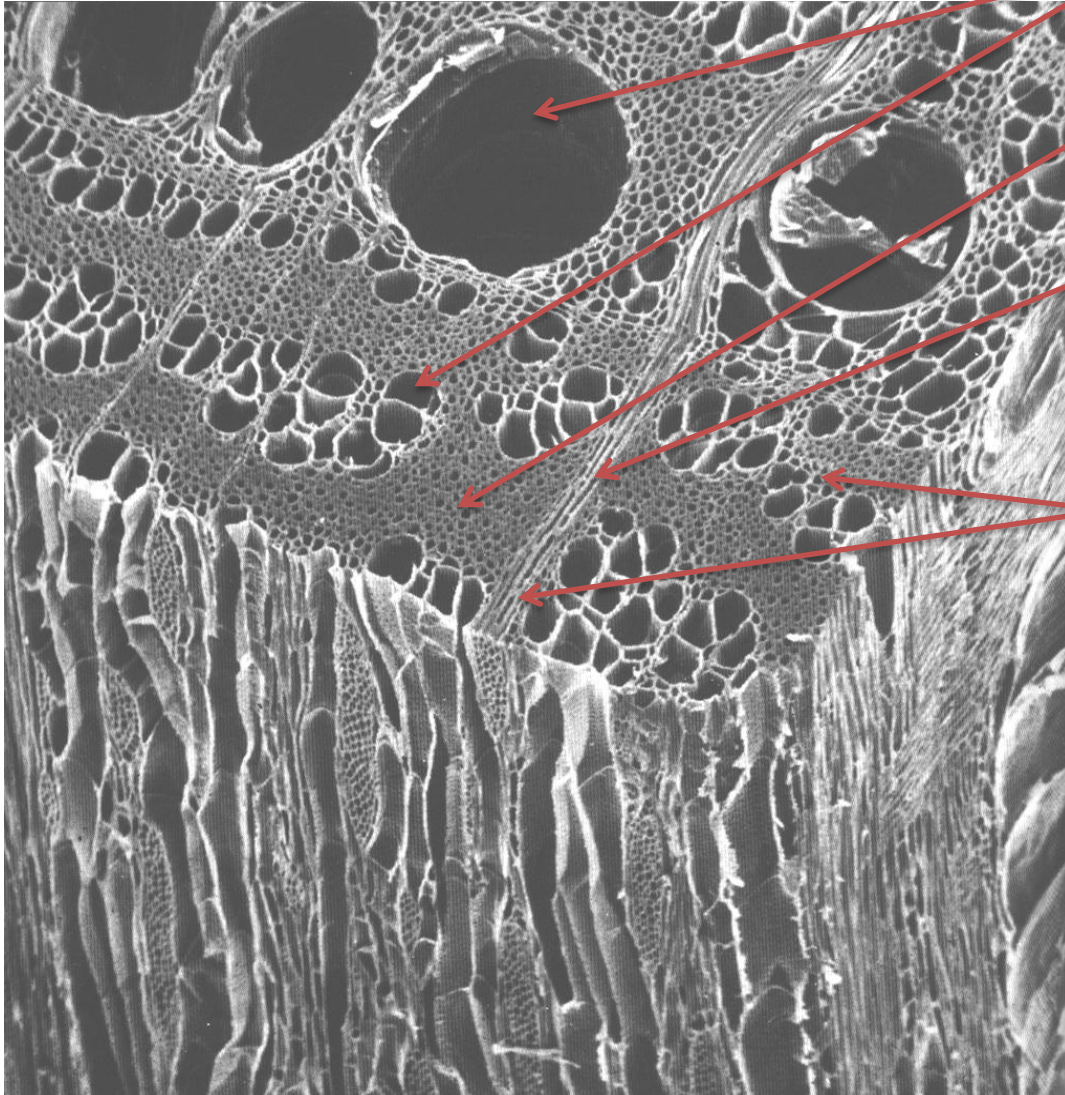
Le bois est composé de cellules de formes et de tailles différentes

Le plan ligneux est une signature anatomique utile pour l'identification



***Les outils de description:
Microscopie photonique et électronique, microtomographie 3D***

Chez les feuillus

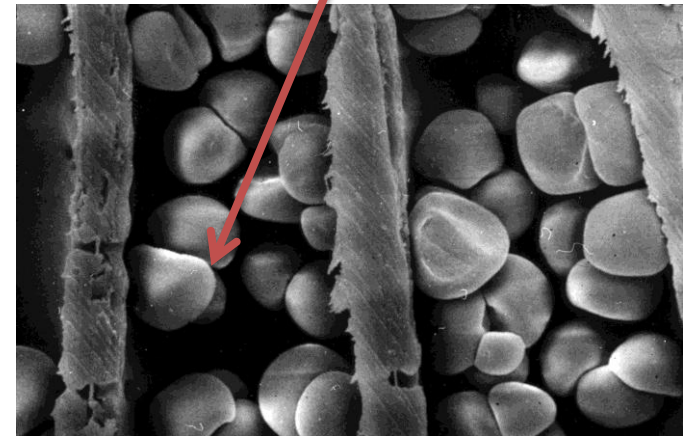


Les vaisseaux transportent la sève brute

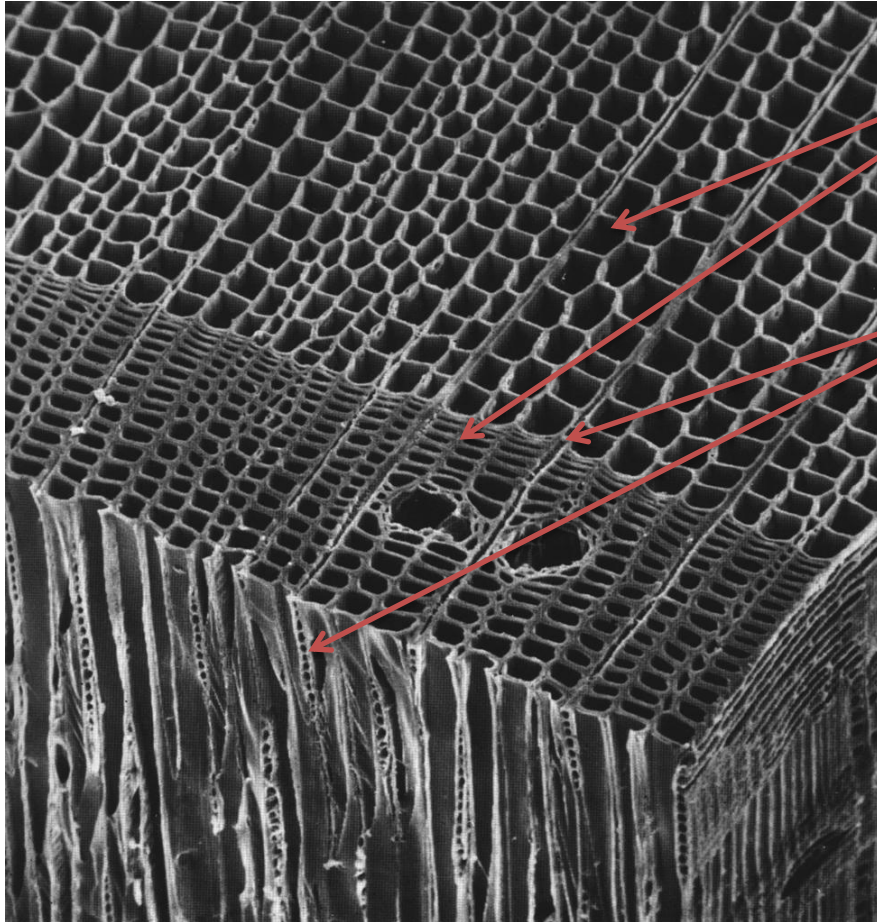
Les fibres assurent le soutien mécanique

Les rayons assurent la liaison entre le phloème et le xylème

Les parenchymes axiaux et radiaux stockent des nutriments et synthétisent les molécules pour la protection



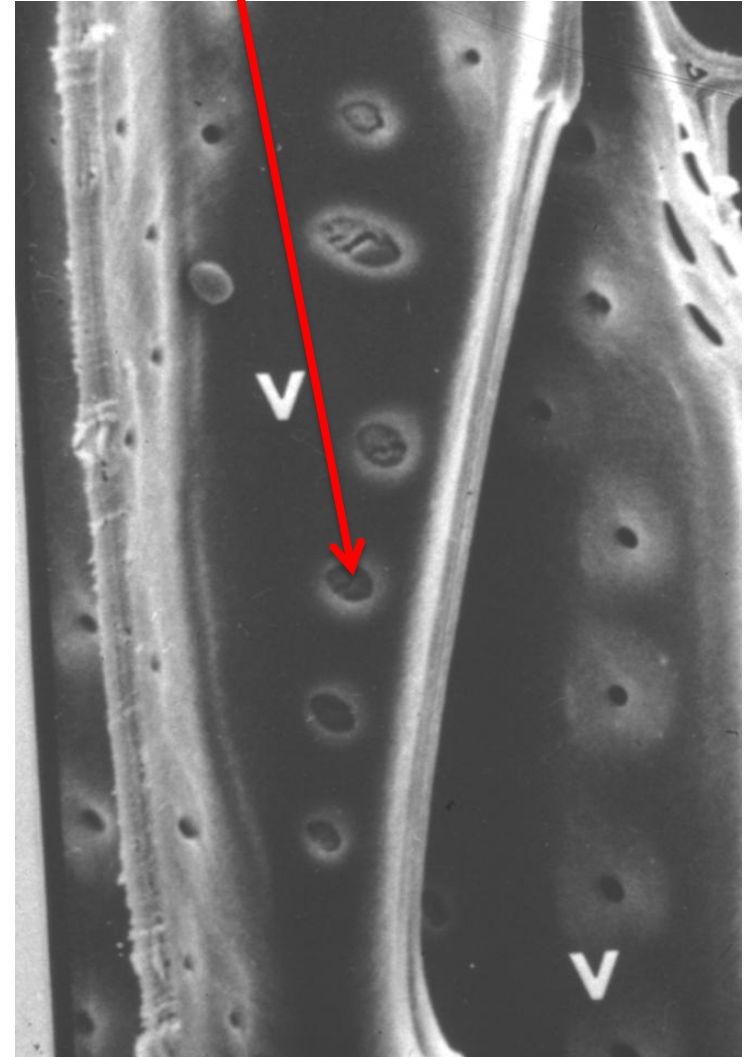
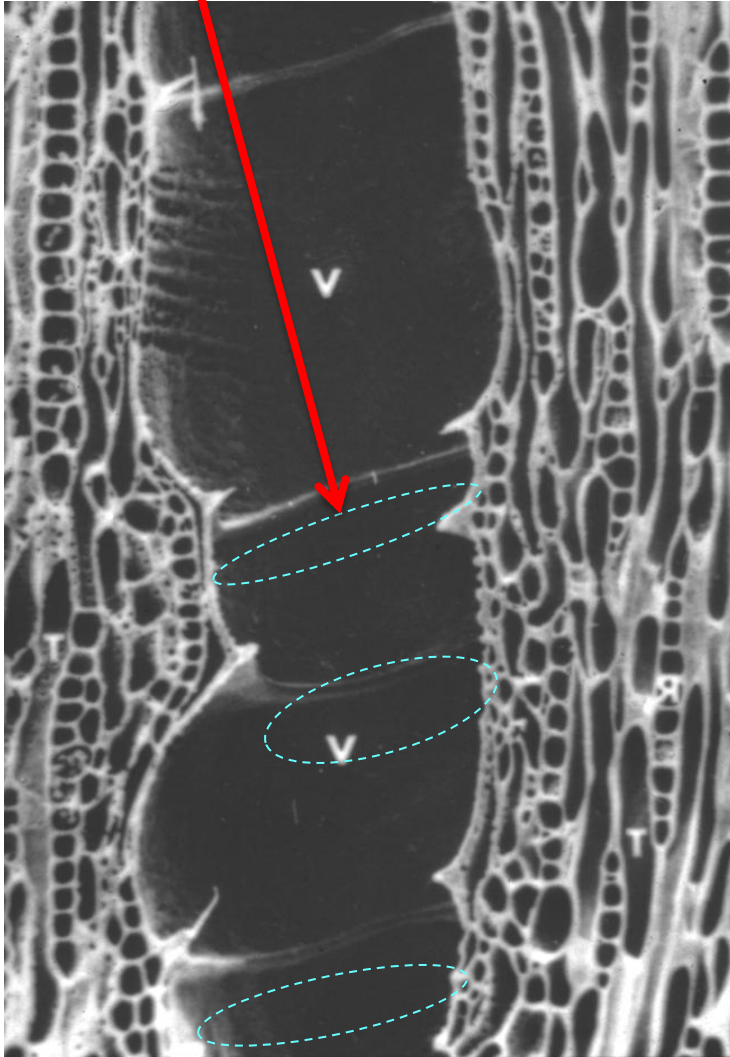
Chez les résineux



Les trachéïdes transportent la sève brute et assurent le soutien mécanique

Les rayons assurent la liaison entre le phloème et le xylème

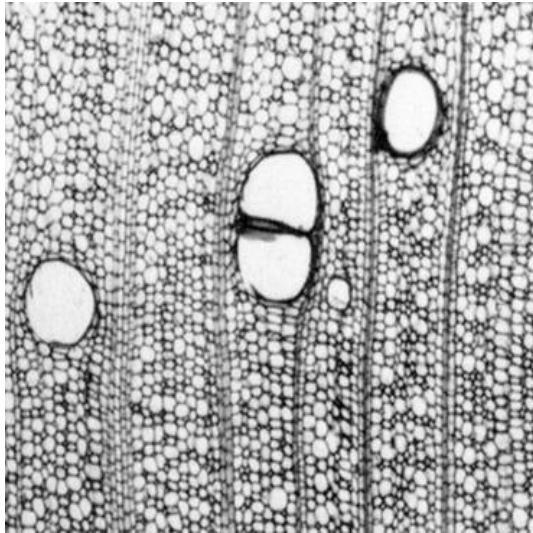
Les perforations et les ponctuations assurent la communication entre cellules



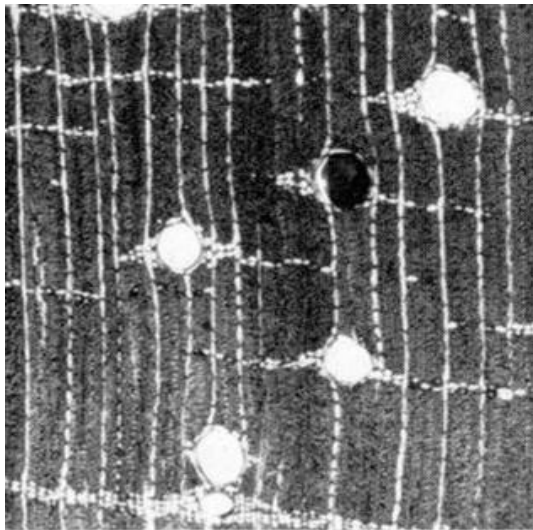
C'est l'échelle d'étude de la circulation des fluides dans le bois

Porosité et densité

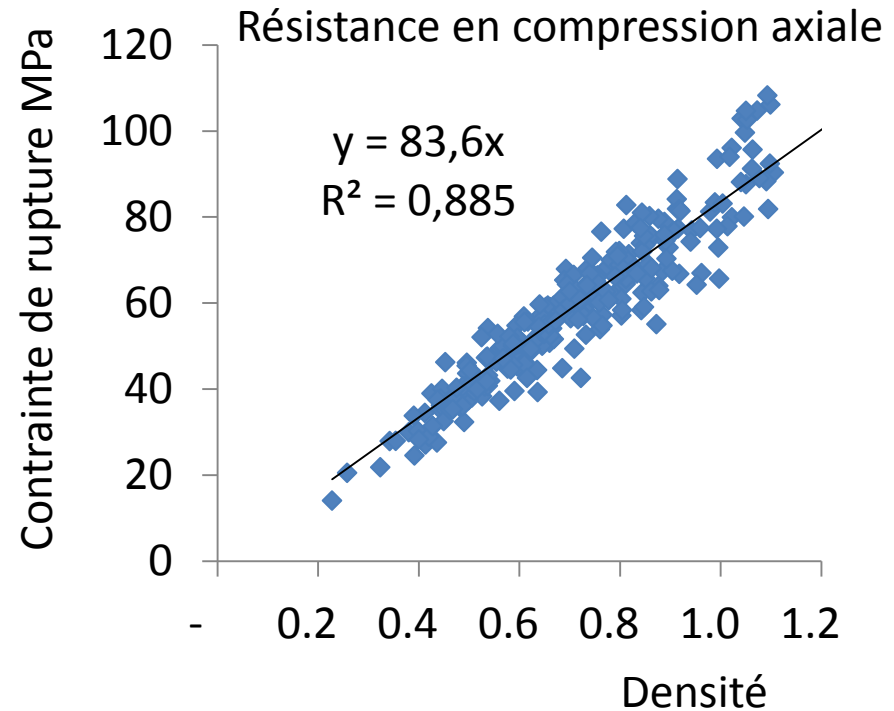
La porosité du bois varie comme l'inverse de la densité $P = 1 - 2 \cdot D/3$



Balsa $D = 0,15$
 $P = 90\%$

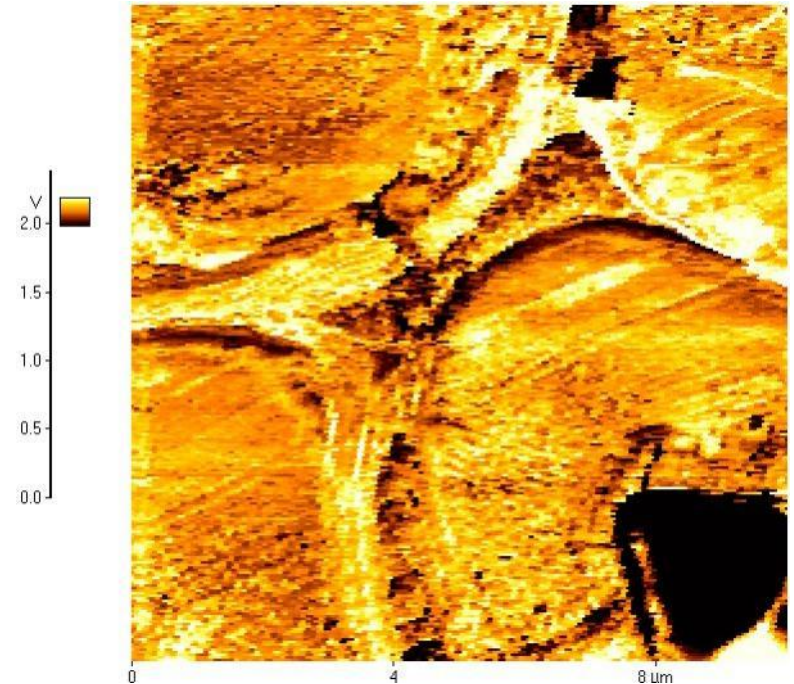
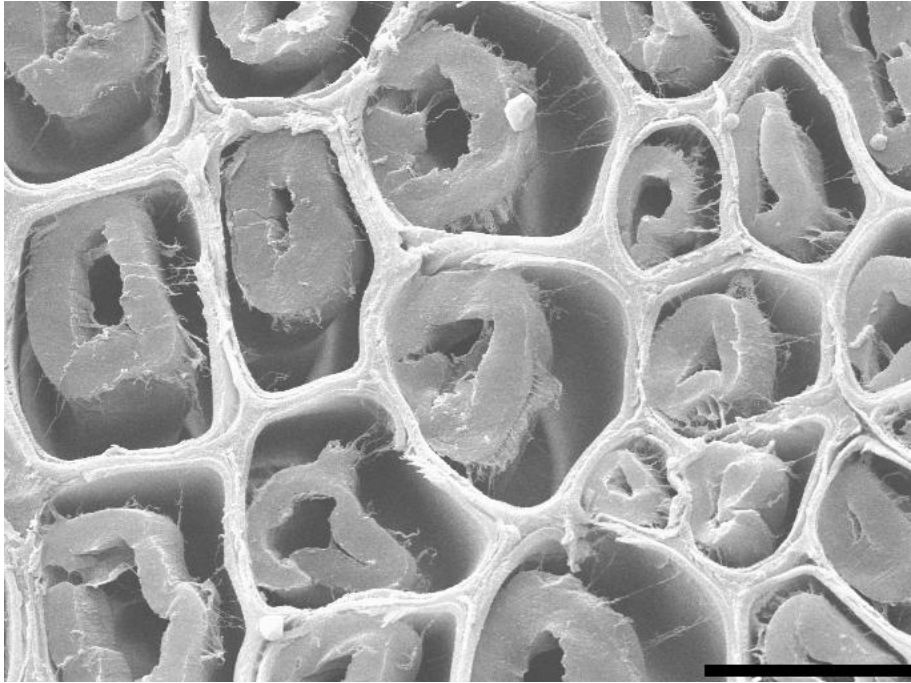


Panacoco $D = 1,2$
 $P = 20\%$



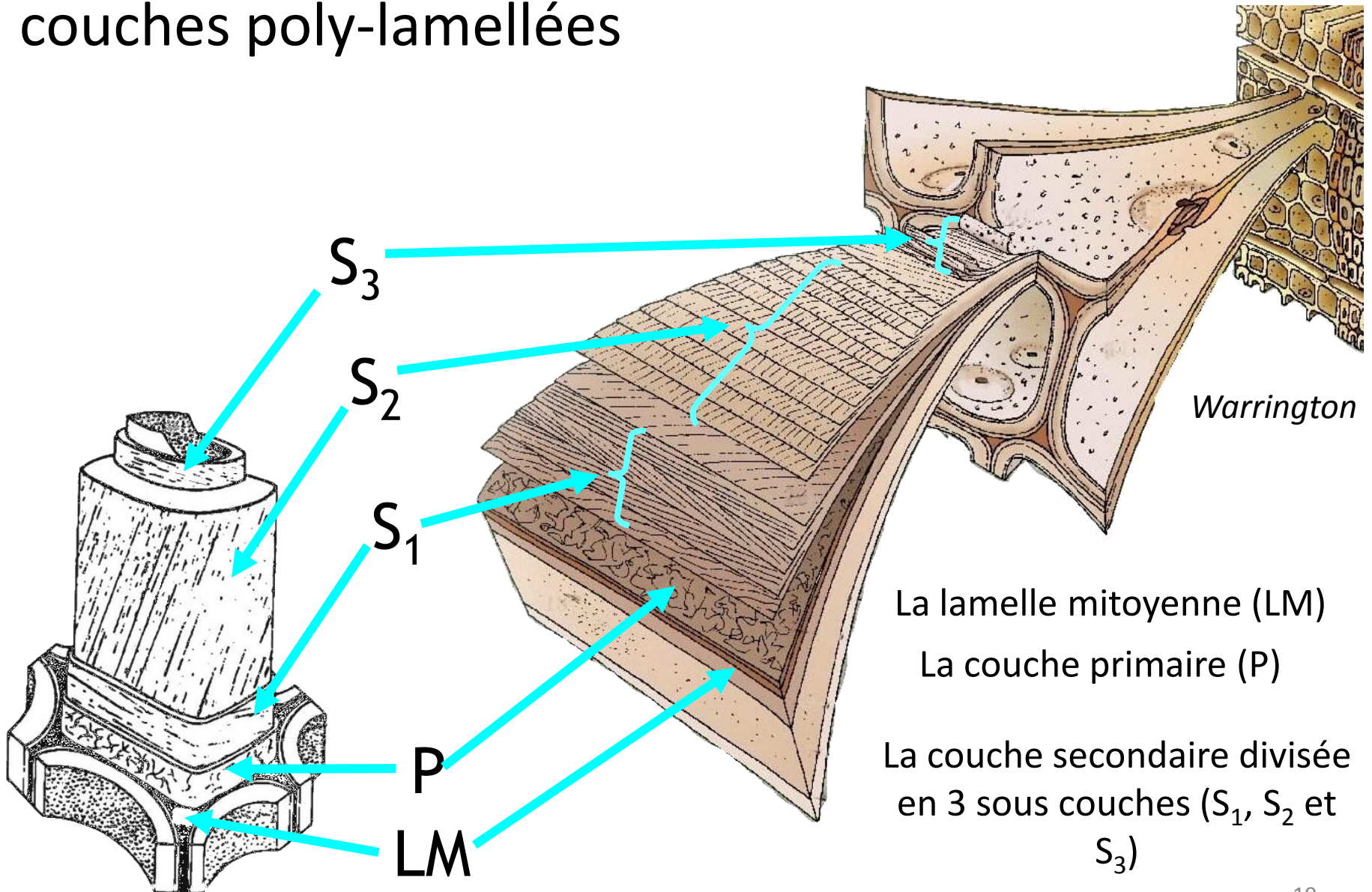
A masse de matière sèche égale, diviser par 2 la densité permet d'augmenter le diamètre de 40% et de multiplier par 2 la rigidité en flexion du tronc.

Ultra structure: la paroi cellulaire

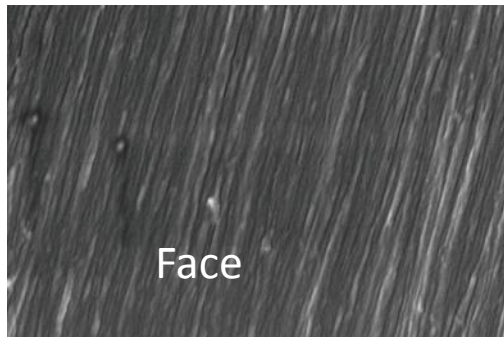


***Les outils de description:
Microscopie électronique, microscopie raman, microscopie à force
atomique, diffraction X***

La paroi des fibres est composée de plusieurs couches poly-lamellées

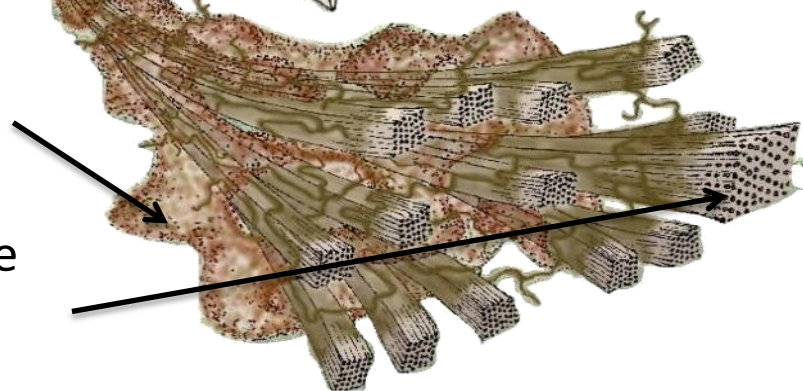


Chaque lamelle est un composite à fibres

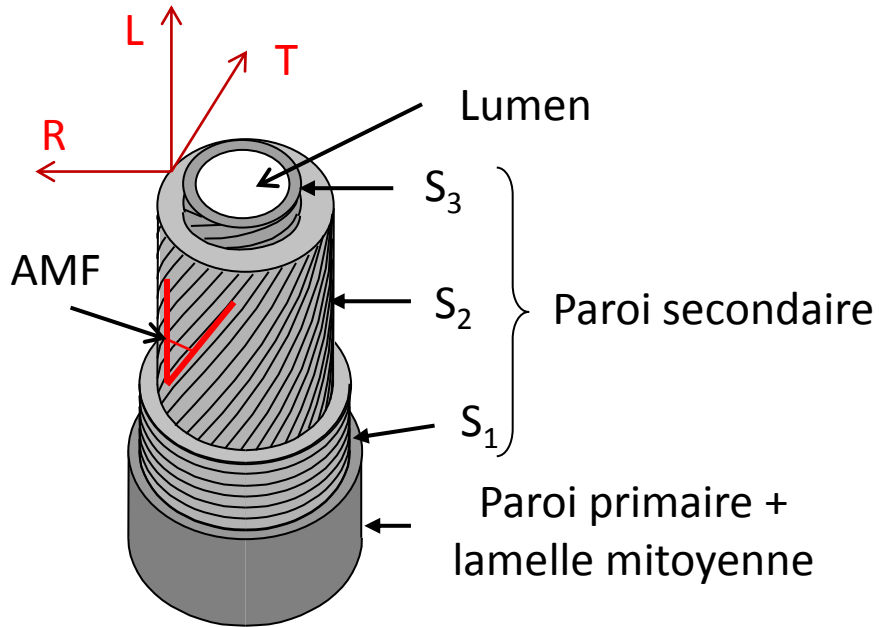


Enrobage de lignine et
poly-oses amorphes

Paquets de nano-fibres de
cellulose cristalline
(agrégat de base 25nm)

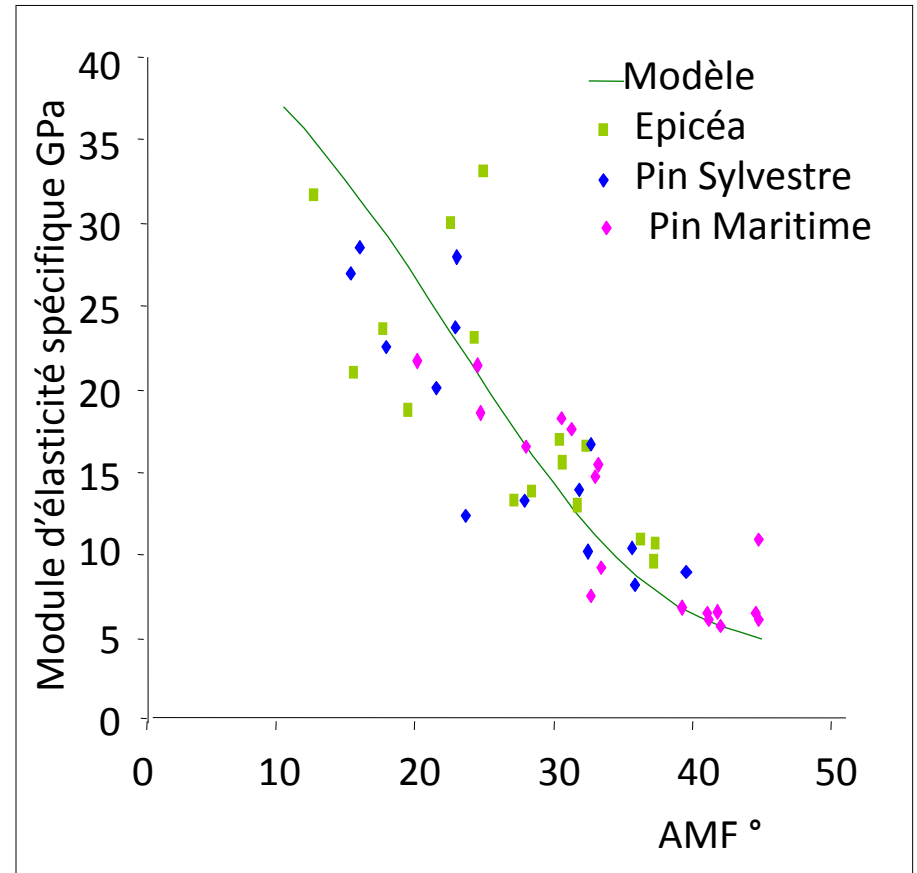


L'angle des microfibrilles facteur clé des propriétés élastiques de la paroi



Organisation de la paroi de la fibre
La couche S₂ est la plus épaisse

***Deuxième niveau d'anisotropie
du bois***

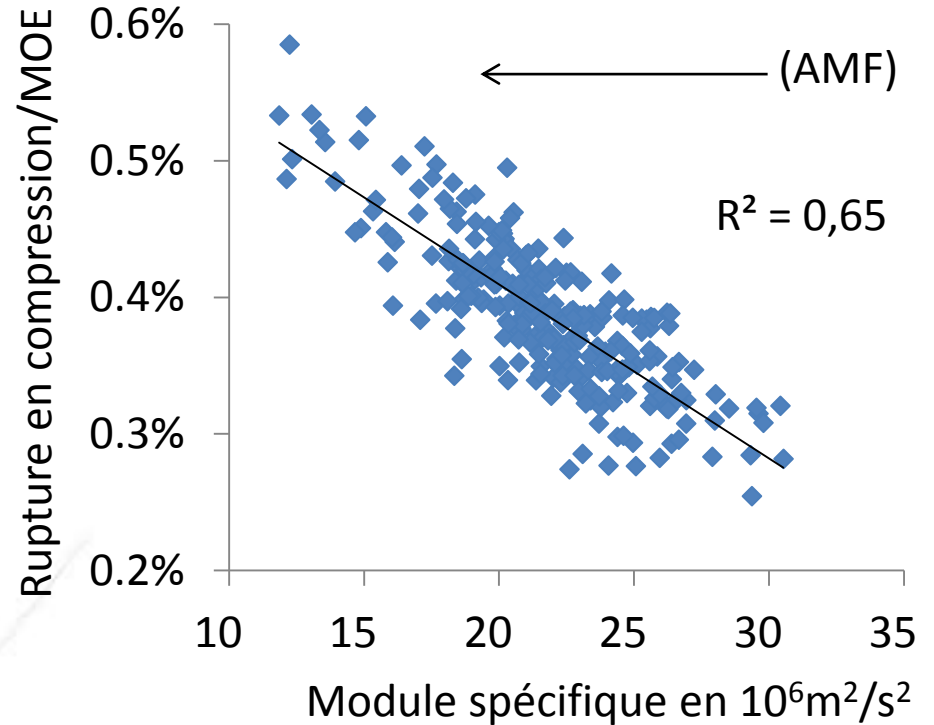


Module spécifique = Module d'élasticité/Densité

L'angle des microfibrilles facteur d'adaptation au vent

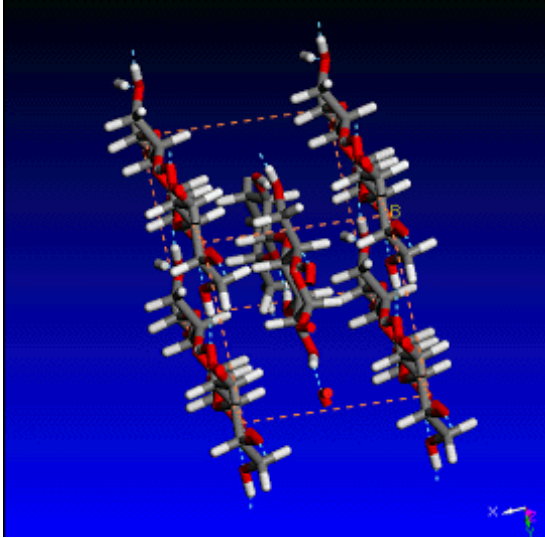


© Can Stock Photo - csp6094394

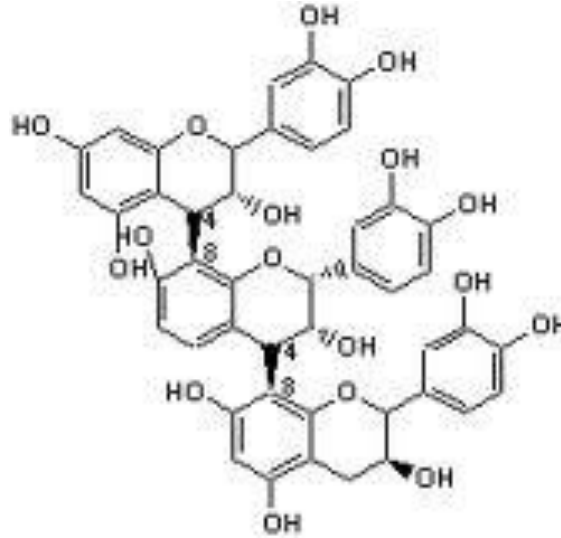


En augmentant l'AMF de 10° à 30° , on divise par 2 le module et on multiplie par 2 la déformation maximale; la flexibilité des axes ligneux est très fortement augmentée

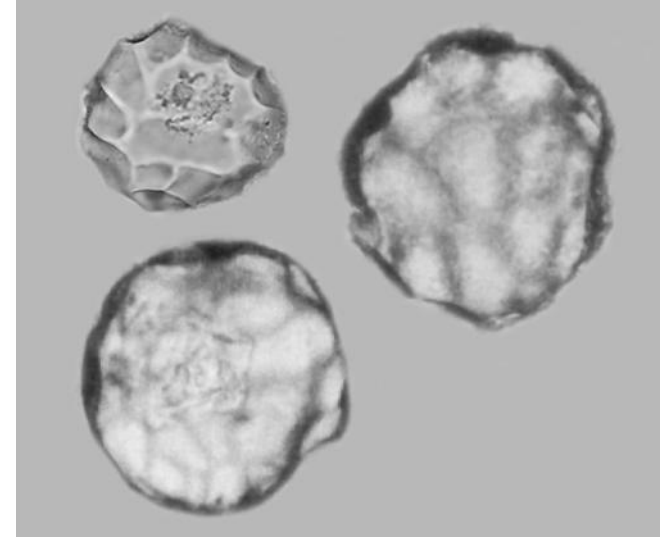
Composition chimique de la paroi: macromolécules, métabolites et minéraux



Cristal de cellulose



Tanin

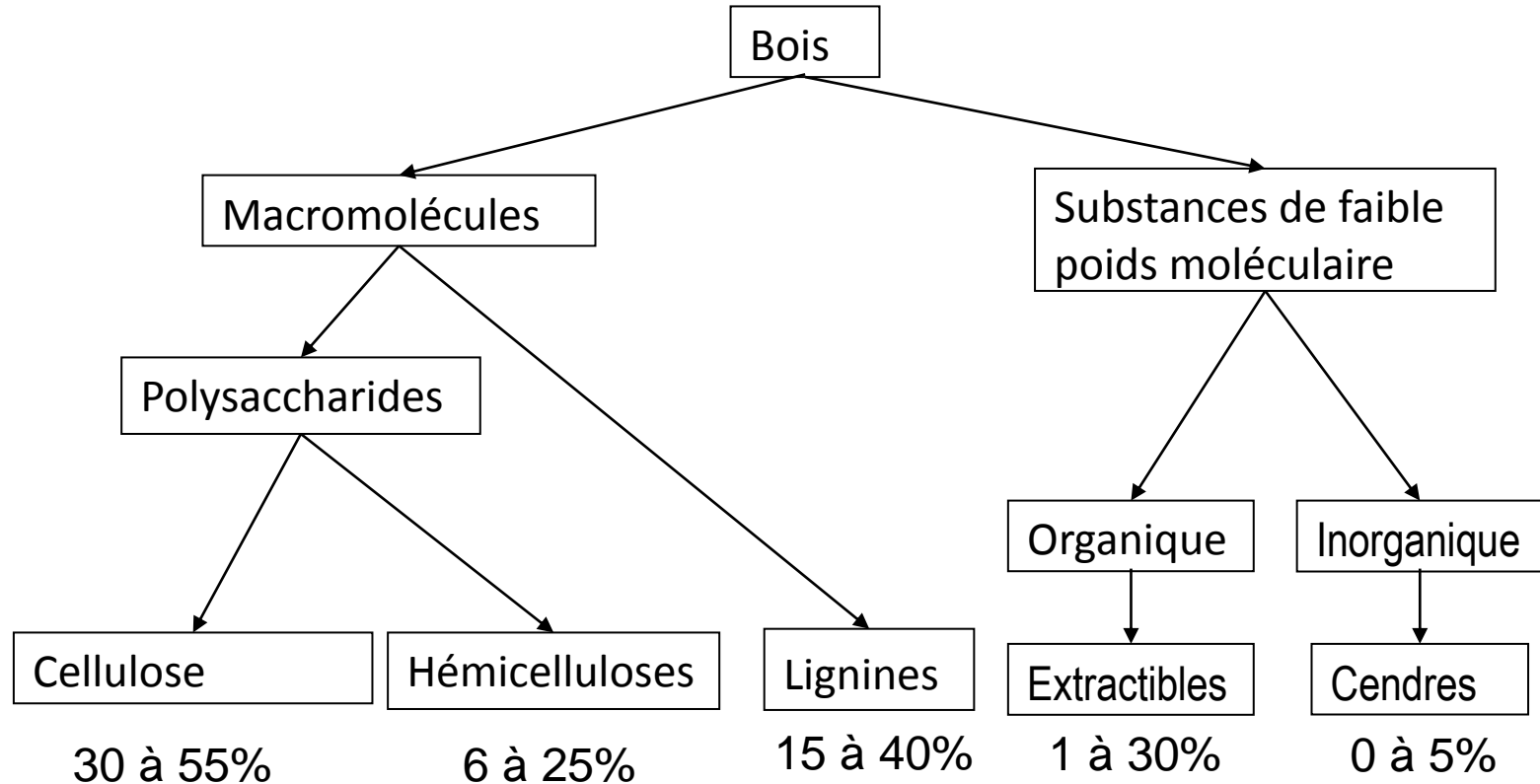


Cristaux de silice

Les outils de description:

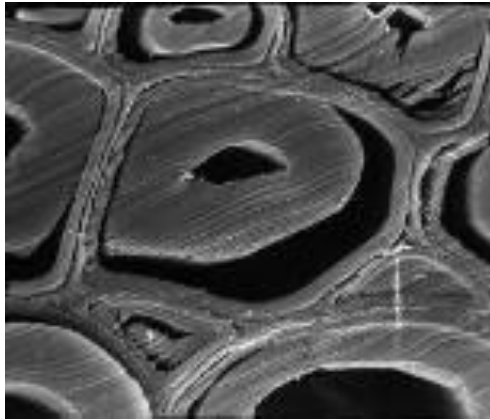
Analyse, chromatographie (HPLC, GC/MS ...), spectroscopie (RMN, SPIR, Raman...)

Constituants chimiques du bois



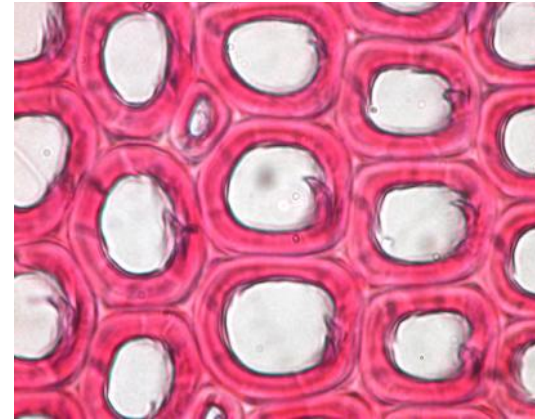
La composition en extractibles est une signature chimique utile pour l'identification

Chimie des macromolécules et précontraintes



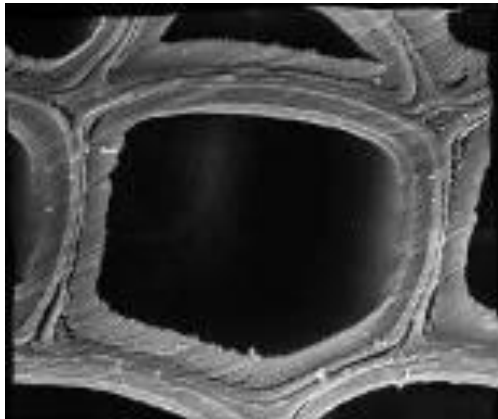
ϵ maturation
-2 à -5 mdef

Bois de tension



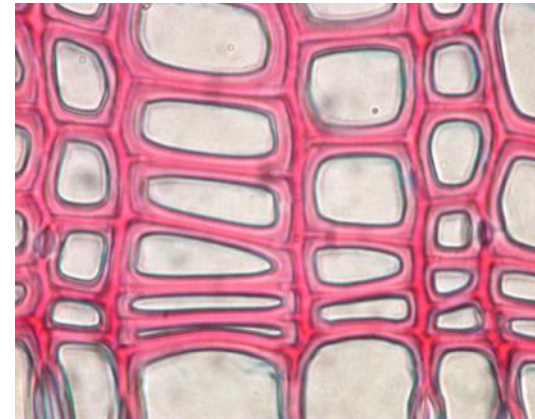
ϵ maturation
+1 à +2,5 mdef

Bois de compression



ϵ maturation
-0,2 à -1,5 mdef

Bois normal

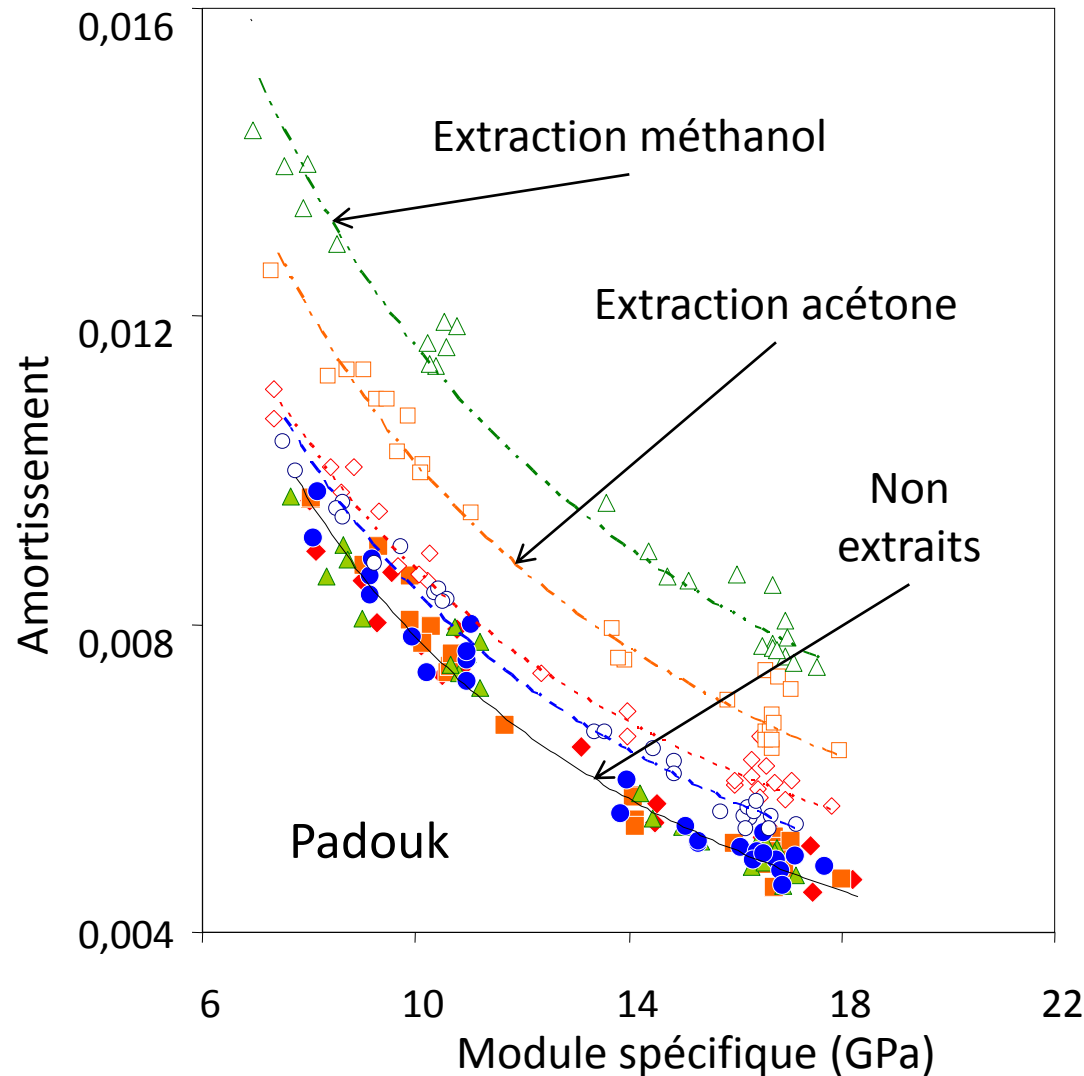


ϵ maturation
-0,2 à -1,5 mdef

Bois normal

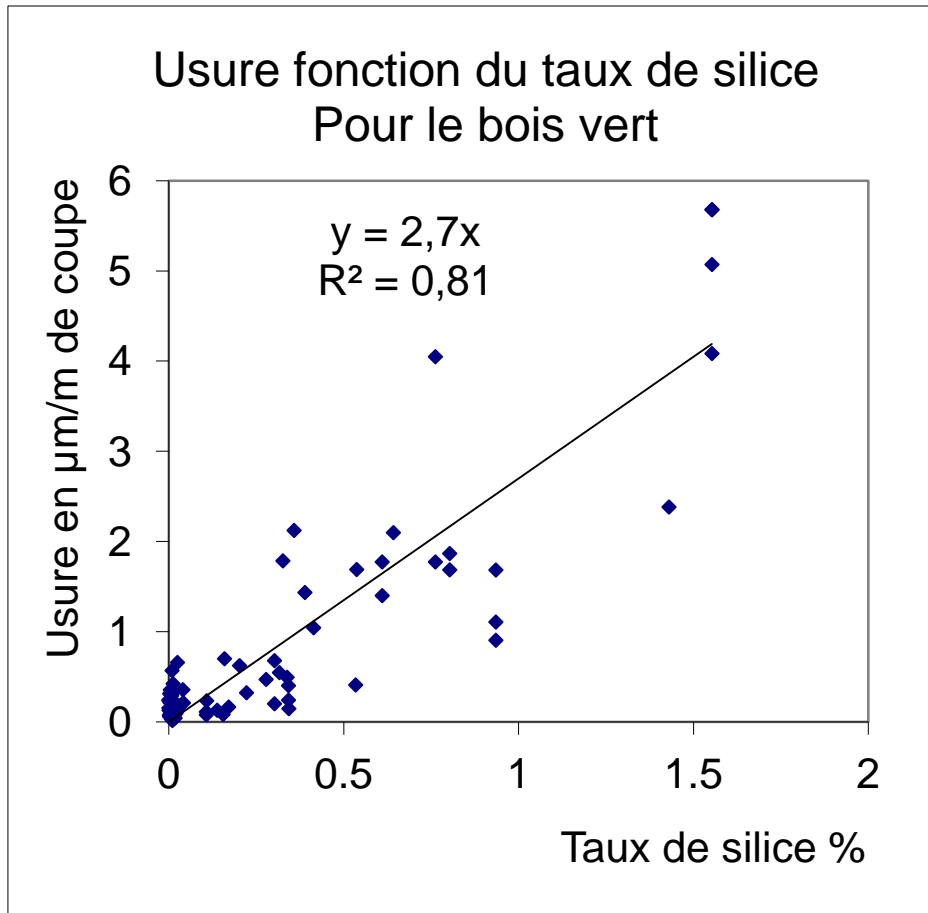
Les bois de réaction ont une genèse différenciée induisant une modification radicale de la chimie des macromolécules et conduisant à saut qualitatif net dans la mise en précontrainte de la couche de bois.

Les extractibles ont un impact fort sur le comportement viscoélastique



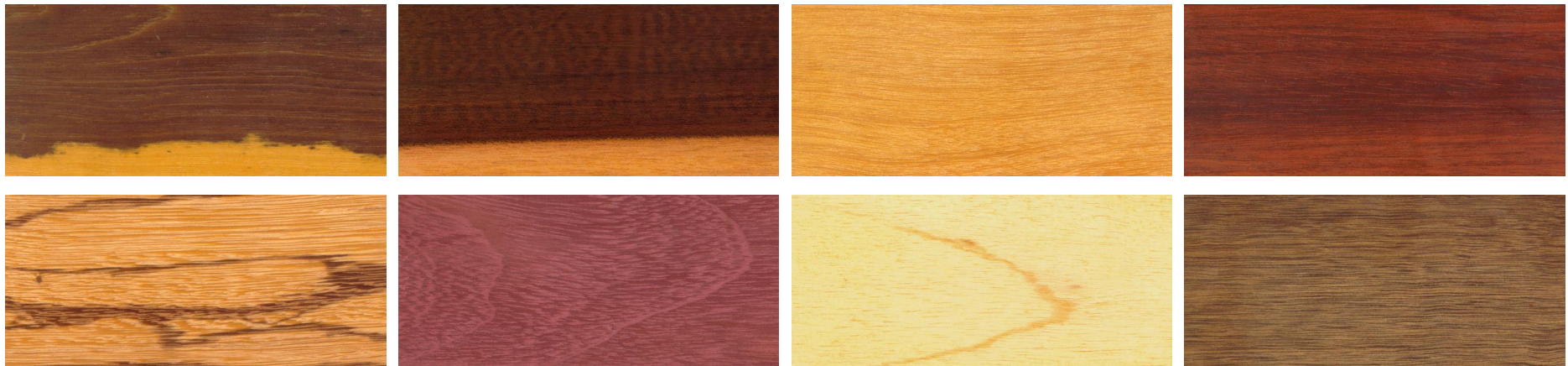
Le très faible amortissement du Padouk est dû aux extractibles, petites molécules insérées dans les polymères de la paroi des fibres

Les grains de silice un facteur d'usure dissuasif



Conclusion

- Il y a une révolution dans les outils de description (3D)
- Les descriptions (physico-chimique) de la structure sont des cartographies 3D de propriétés, ou plutôt des descriptions 3D de ces propriétés
- Il faut des outils de traitement des données et de modélisation pour obtenir l'image de la structure ou la description des propriétés
- Le temps (chronologie des événements) quatrième dimension essentielle
- Il faut associer adaptation à la construction de l'arbre et aptitude aux usages
- La révolution de la « biodiversité » concerne les sciences du bois: description, valorisation de toute la diversité des bois (> 2000 bois français)



Une démarche pour valoriser la diversité

Signature architecturale (arbre) + signature génétique (cambium) + signature anatomique (bois) + signature chimique (écorce ou duramen) permettent ***l'identification de l'espèce*** (taxon)

Une espèce = un archétype de bois (ensemble de relations fortes entre les paramètres de structure et les propriétés: ***modèles*** à établir par espèce)

La provenance (milieu + histoire) influence l'archétype (largeur de cerne, type de bois juvénile et de branchaison, risques de défauts internes ...)

La position (aubier, duramen externe ou interne, bois de réaction ...) différencie des variantes éventuelles de l'archétype

Des indicateurs mesurables sur les pièces de bois (densité, vitesse du son, signature IR, KAR ...) traduisent l'adaptation du bois à la croissance de l'arbre

Espèce + Provenance + Position + Indicateurs génèrent une ***fiche technique*** de la pièce de bois ***identifiée*** (code barre, puce RFID ...) à partir des modèles établis

Identifiant + Fiche technique sont la base des échanges

Merci de votre participation

