

VOYAGE AU CENTRE DU BOIS

Bernard Thibaut

Equipe Mécanique de l'Arbre et du Bois

Laboratoire de Mécanique et Génie Civil (LMGCG)

Université de Montpellier 2 - CNRS



Déroulement du cours

- I. Introduction: de quel bois parle-t-on?
- II. Description du bois de l'arbre à différentes échelles
- III. Les techniques d'observation
- IV. L'identification des bois
- V. La diversité des bois
- VI. Conclusion

De quel bois parle-t-on?

Une forêt



Le bois de Vincennes, le bois de Huelgoat ...

Un arbre



Le bois bénit, le bois canon ...

Un rameau



Le bois de l'année, le vieux bois ...

Un matériau



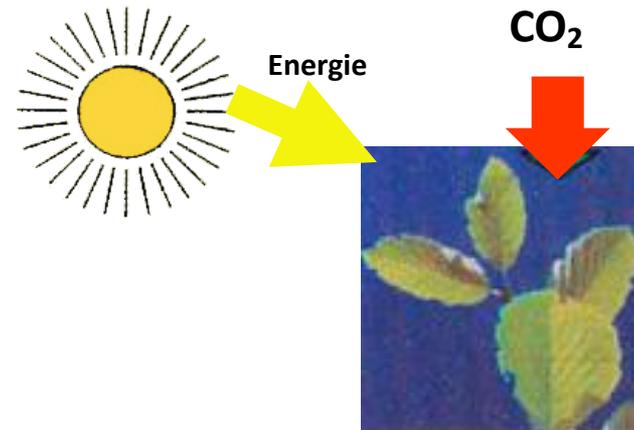
Le bois de construction, le bois de feu ...

Le bois : un éco matériau

- L'effet de serre : fixation du carbone
- Matériau à faible coût énergétique
- Matériau renouvelable et biodégradable
- Analyse du cycle de vie (ACV) : hautes performances

Bilan CO₂

Matériau	1 m ³	Effet CO ₂
Acier	7000 kg	+ 5000 kg
Béton	2300 kg	+ 375 kg
Ciment	1600 kg	+ 2500 kg
Feuillus	700 kg	- 1000 kg



Sucre pour nourrir les cellules et pour, notamment, créer un polymère naturel très élaboré



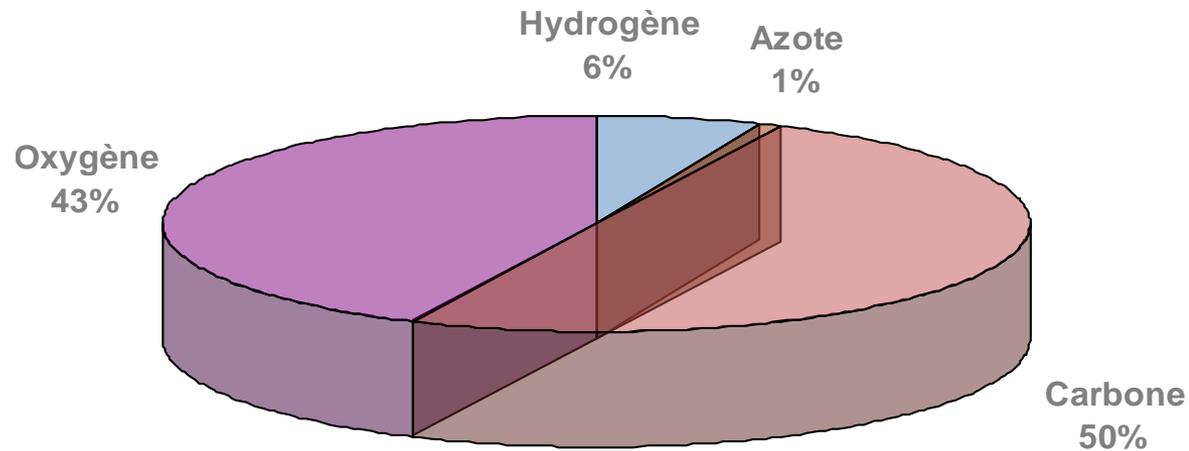
**Produire 1m³
de bois**

=

**Absorber 1 tonne
de CO₂**



Le bois : un matériau stockant du carbone

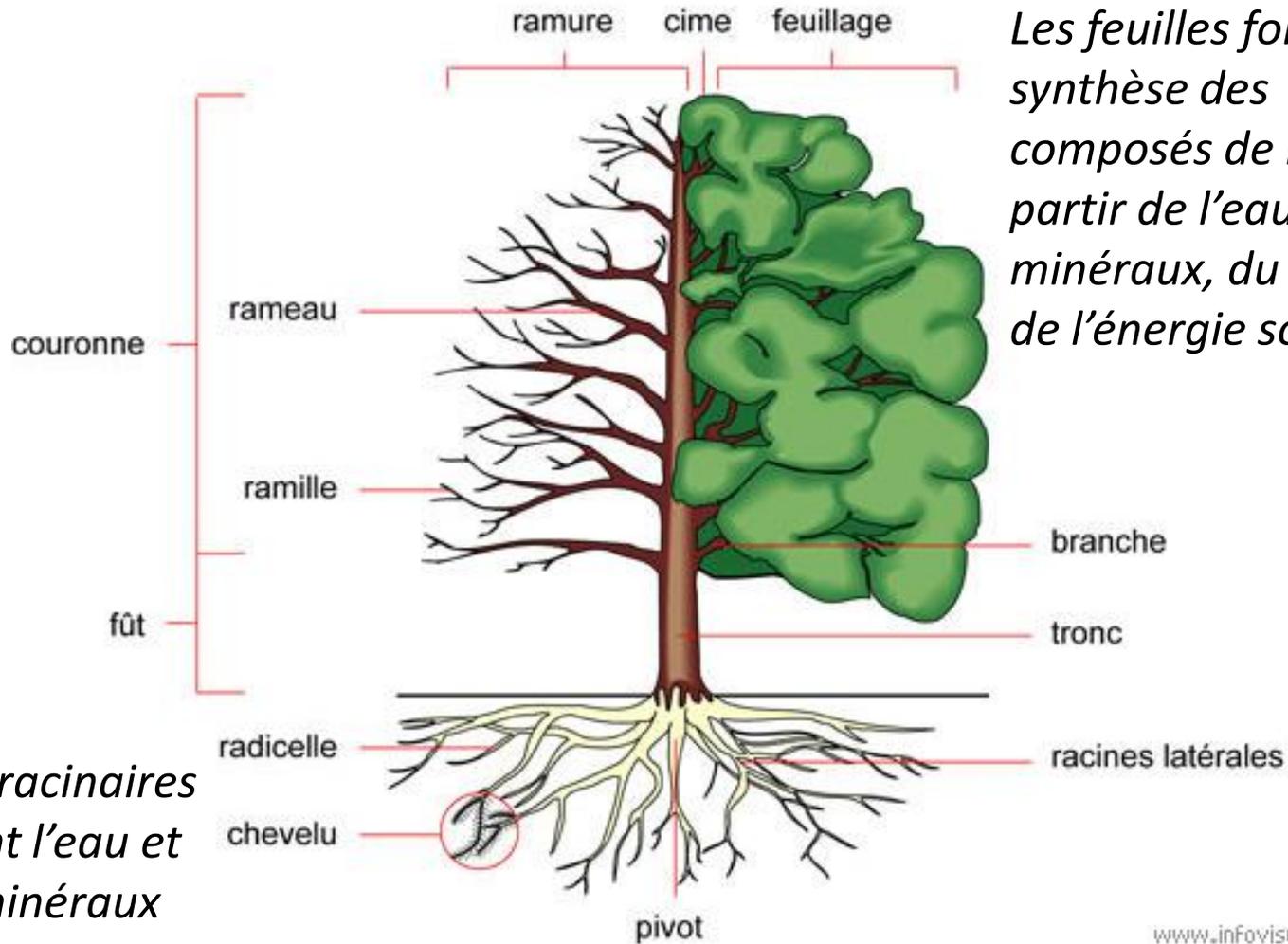


Composition du bois

1 tonne de bois produite par photosynthèse

- ➔ **1,6 tonne de CO₂ absorbé**
- ➔ **1,1 tonne d'O₂ émis**
- ➔ **0,5 tonne de C fixé**

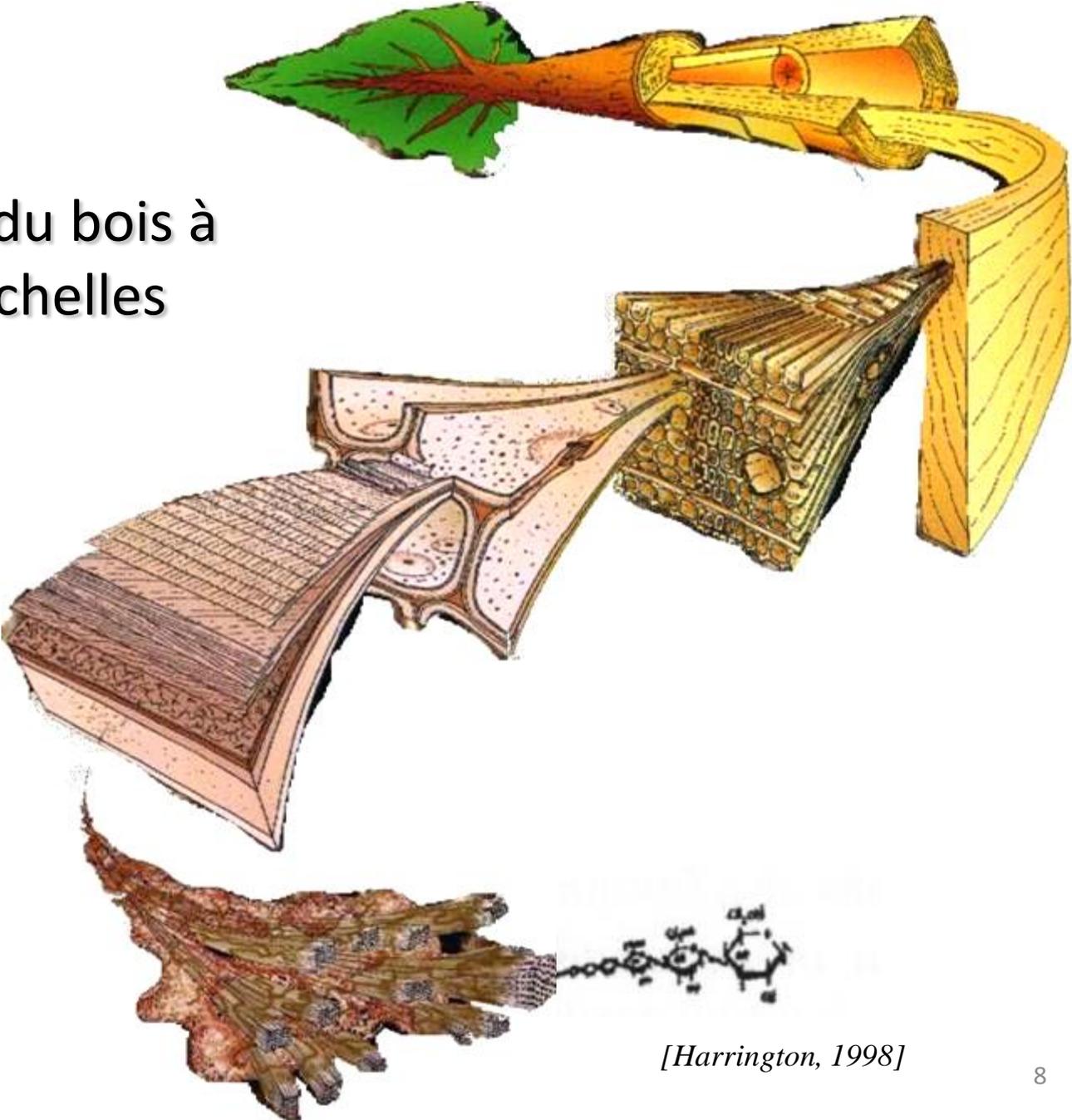
Le bois de l'arbre



Les poils racinaires absorbent l'eau et les sels minéraux

Le bois c'est tout ce qu'il y a entre le chevelu racinaire et le feuillage

La structure du bois à différentes échelles

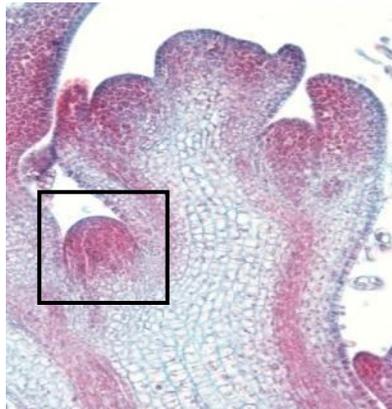


[Harrington, 1998]

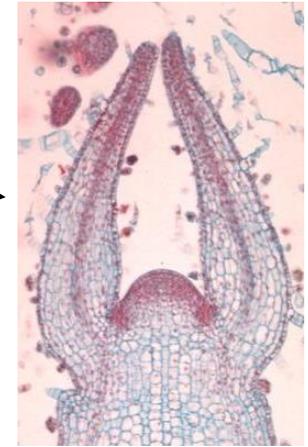
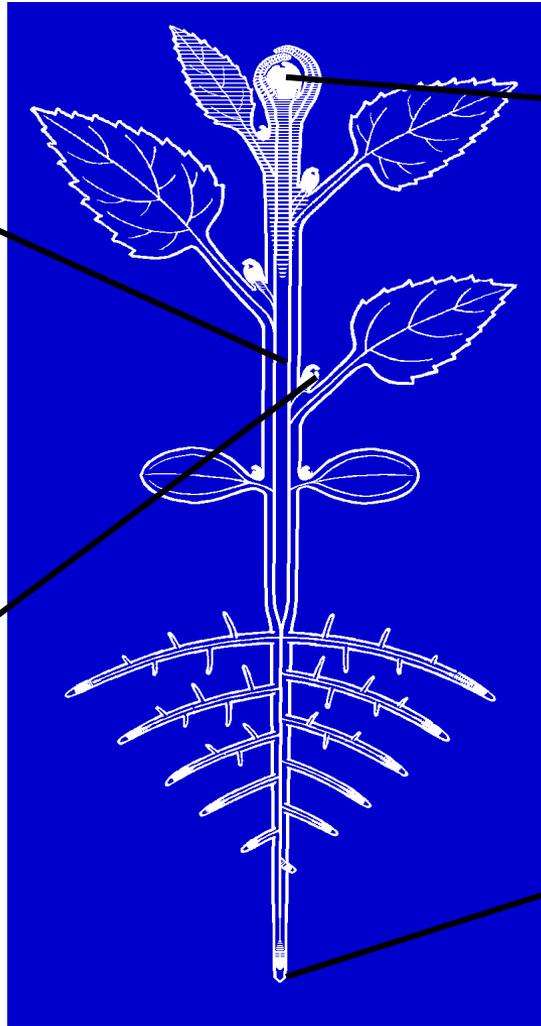
Le jeune arbre



Tige avec
moelle



Bourgeon
latéral

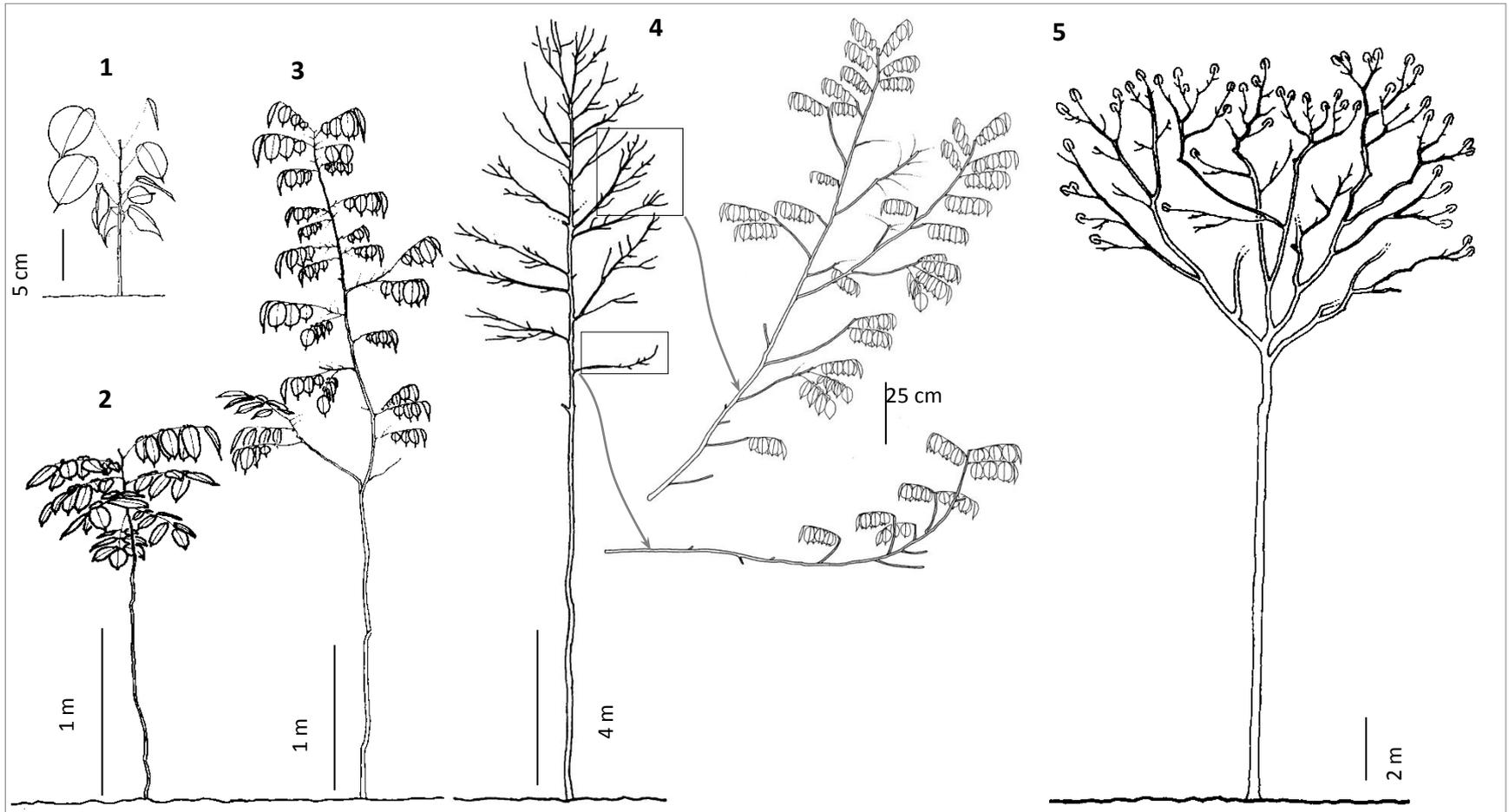


Bourgeon
terminal



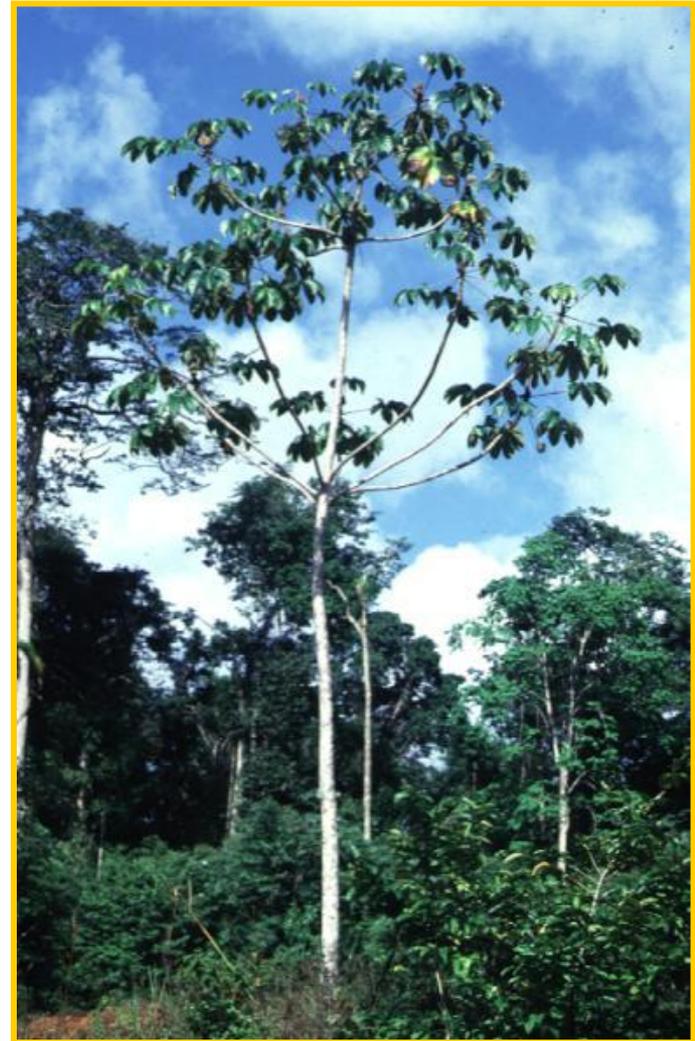
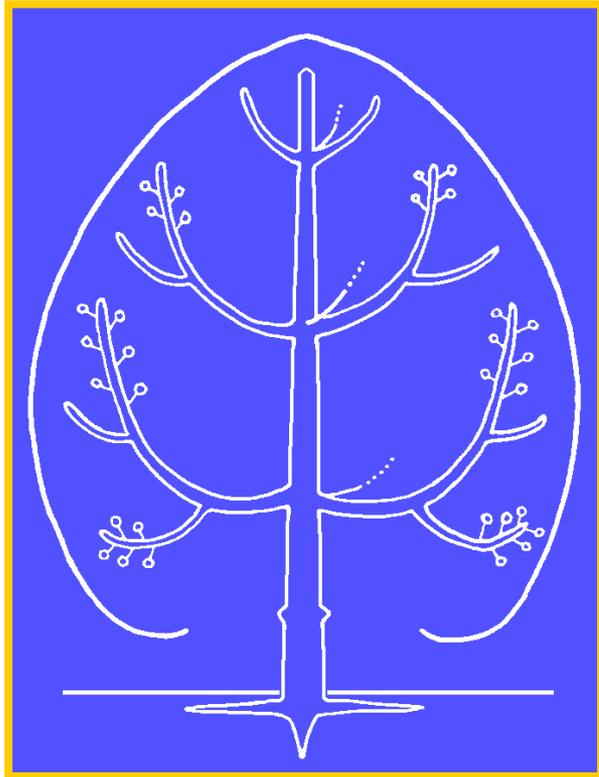
Coiffe
racinaire 9

L'architecture de l'arbre



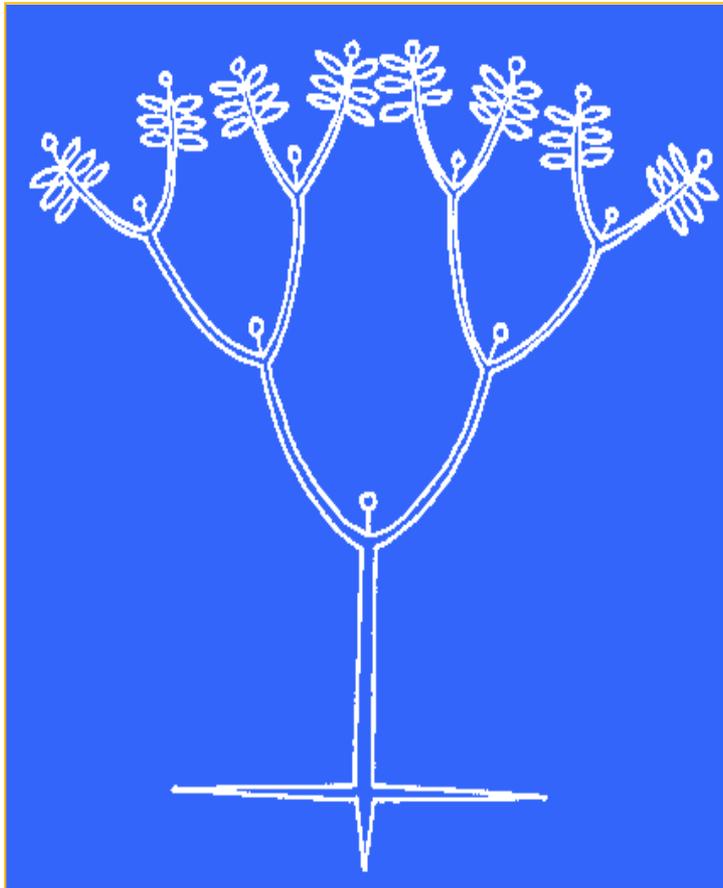
Le bois de l'arbre est un ensemble ramifié de plus en plus complexe avec l'âge

Le modèle de Rauh



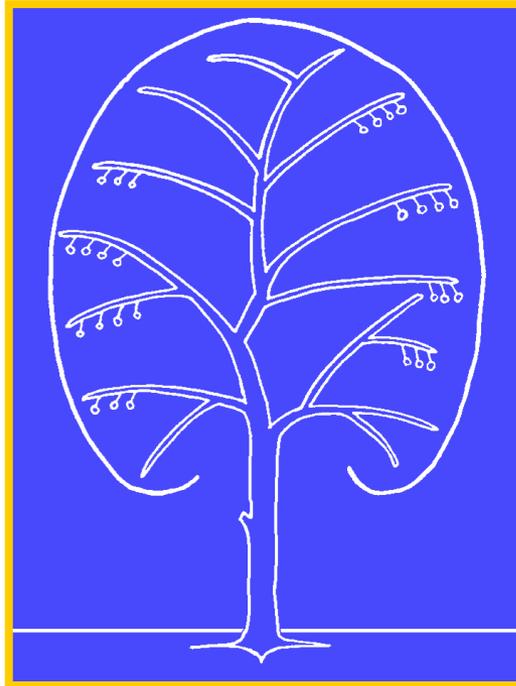
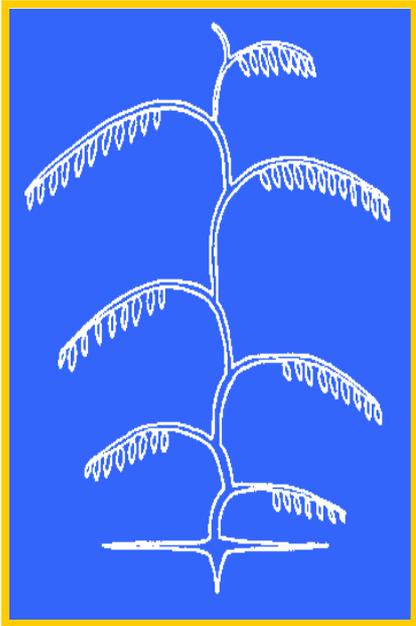
Cecropia obtusa
(*Cecropiaceae*)

Le modèle de Leuwenberg



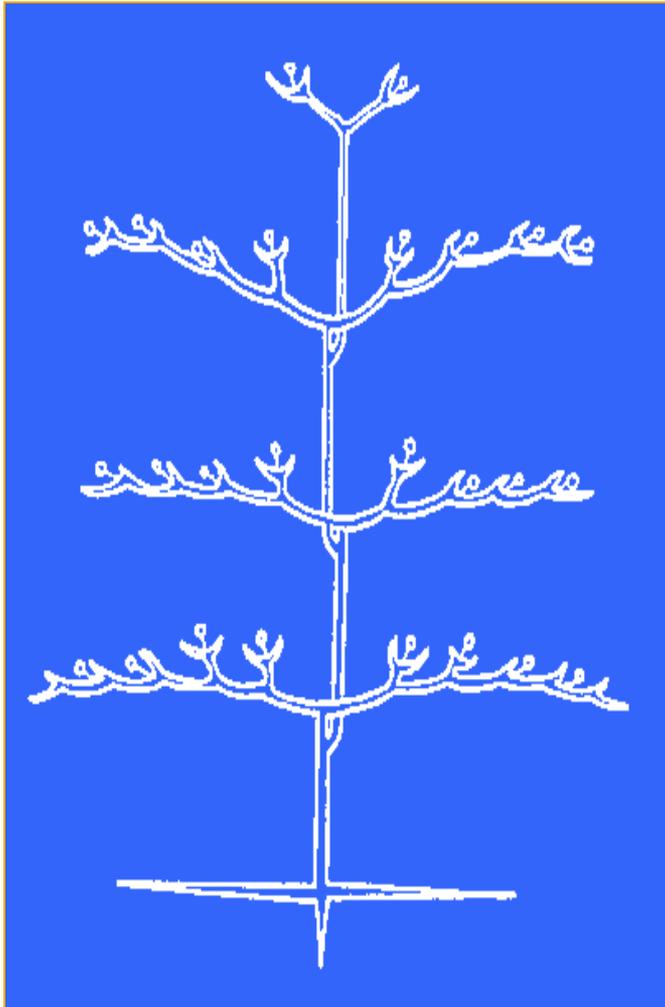
Schefflera morototoni
(*Araliaceae*)

Le modèle de Troll



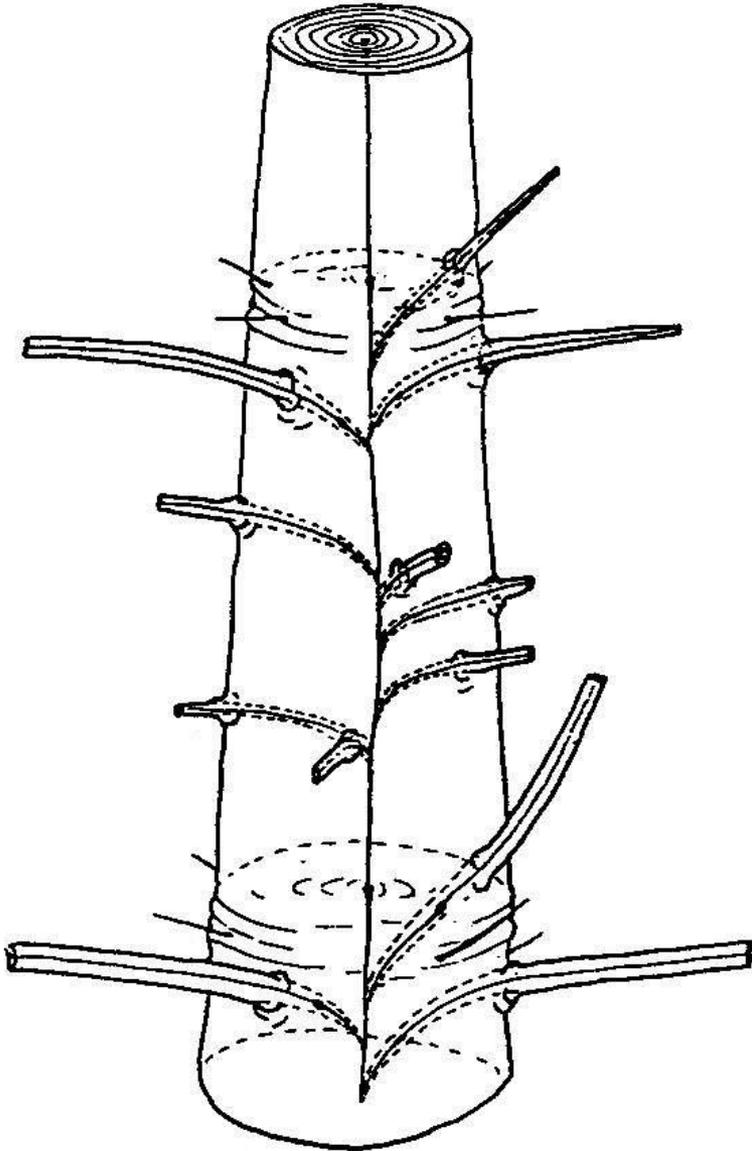
Rollinia exsua
(Annonaceae)

Le modèle de Prévost



Cordia sp.
(Boraginaceae)

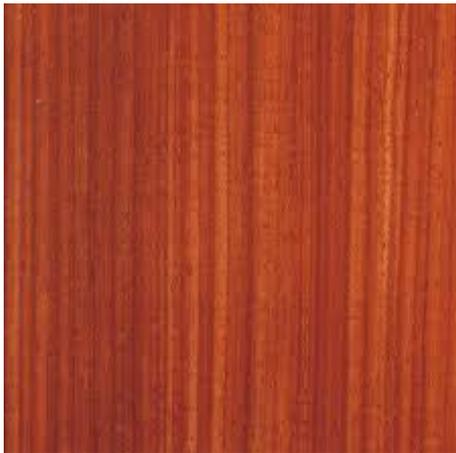
La jonction d'une tige et d'une branche



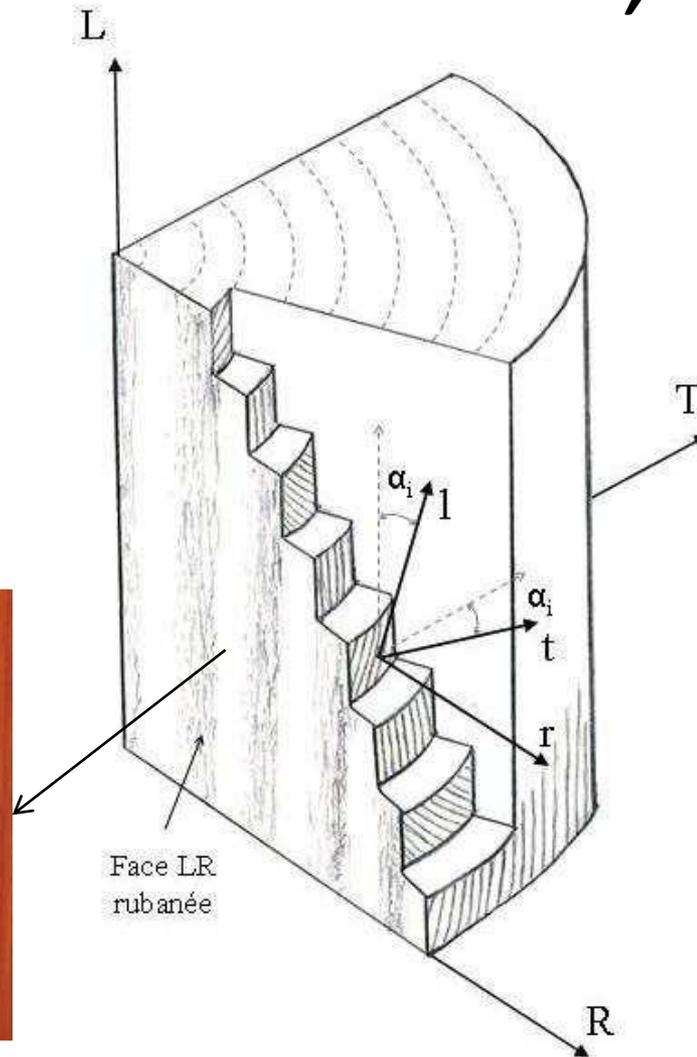
Contrefil, fibre torse



Fibre torse chez un Pin

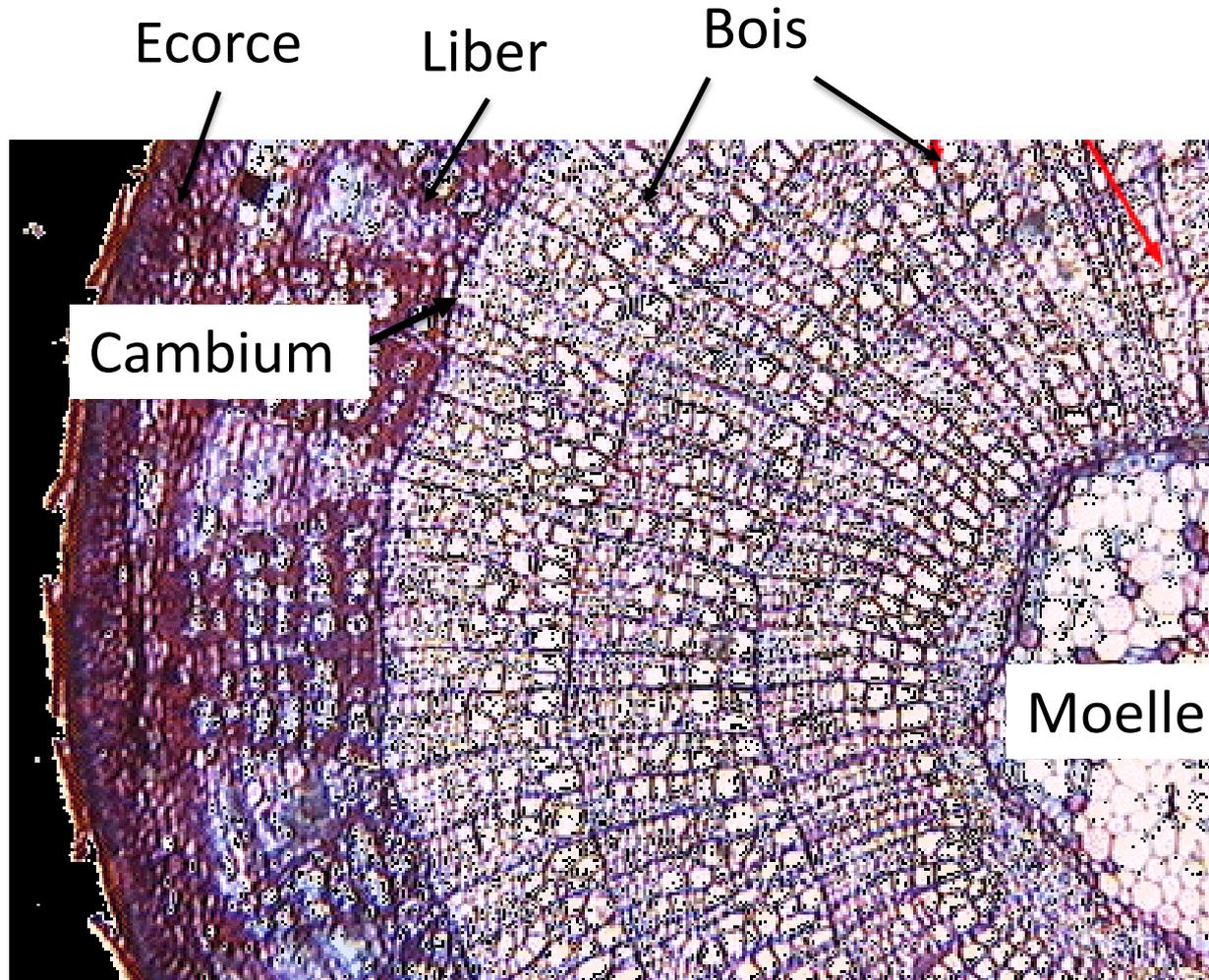


Aspect rubané du Padouk en face radiale



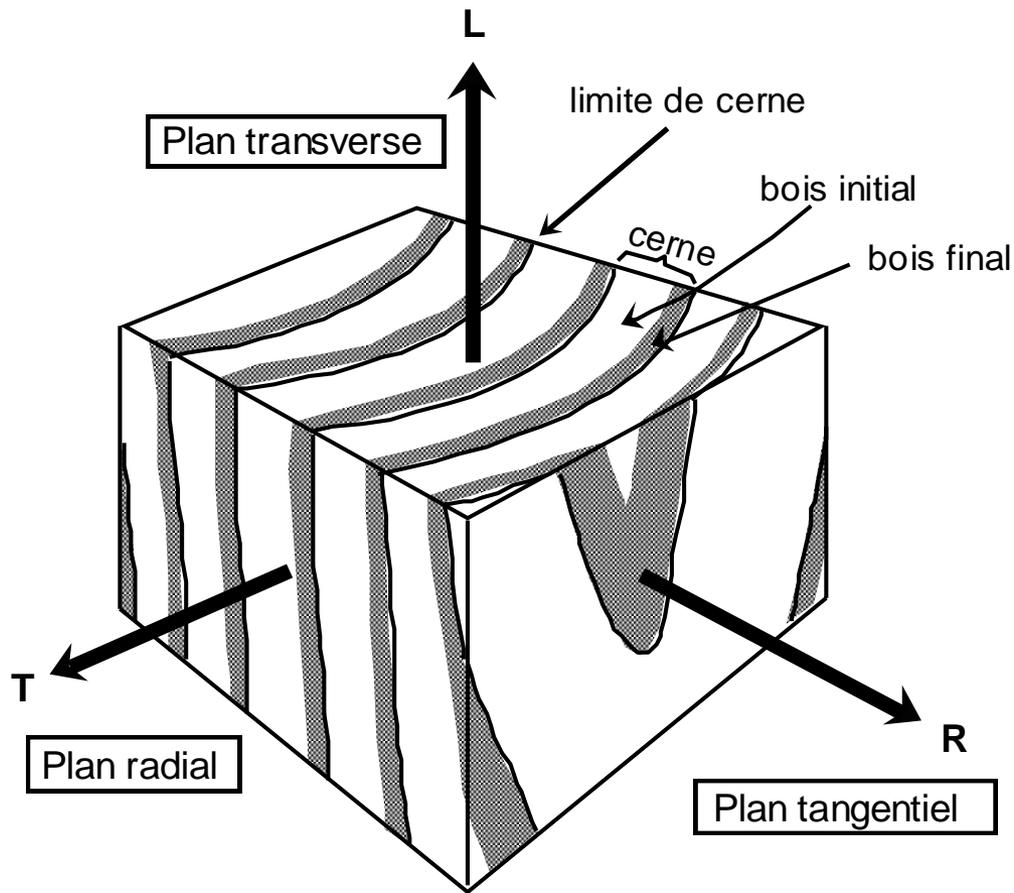
Contrefil fréquent chez les bois tropicaux

Les constituants d'un « vieux bois » de 3 ans

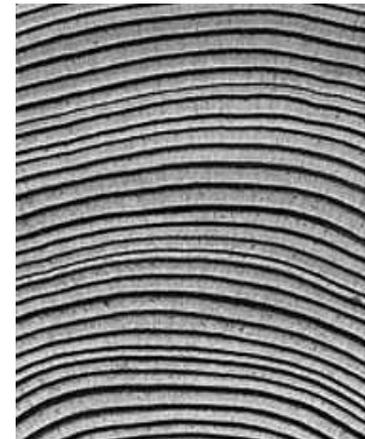


Anisotropie du bois

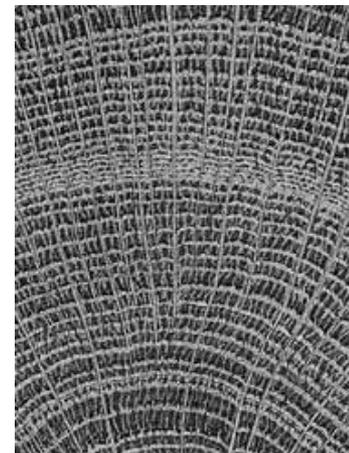
3 axes privilégiés, 3 plans de symétrie



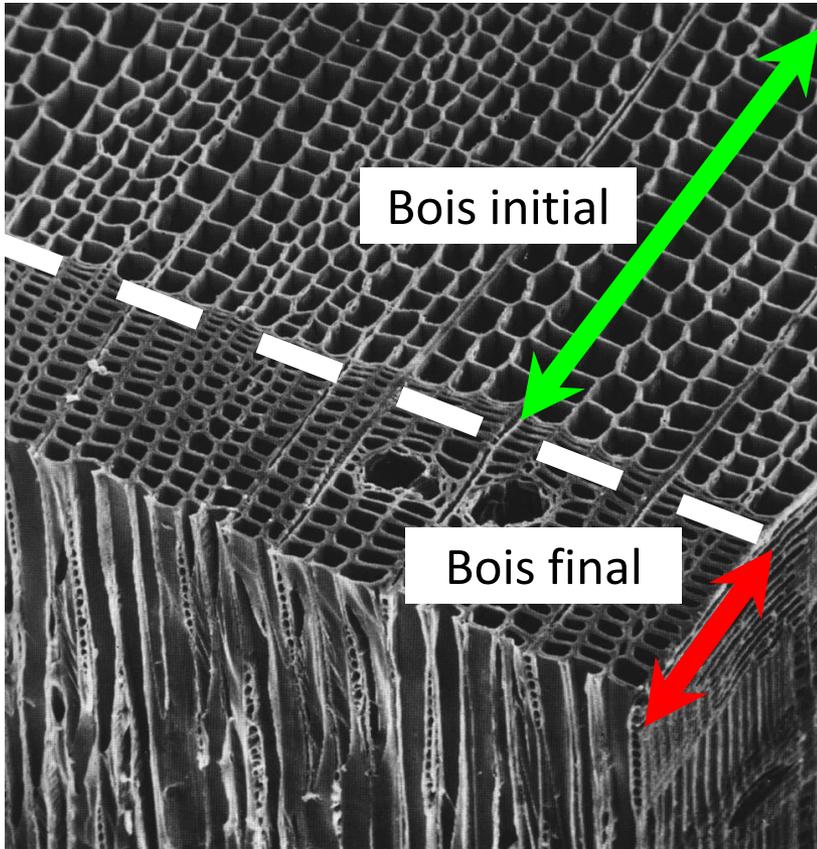
plan transverse
conifères



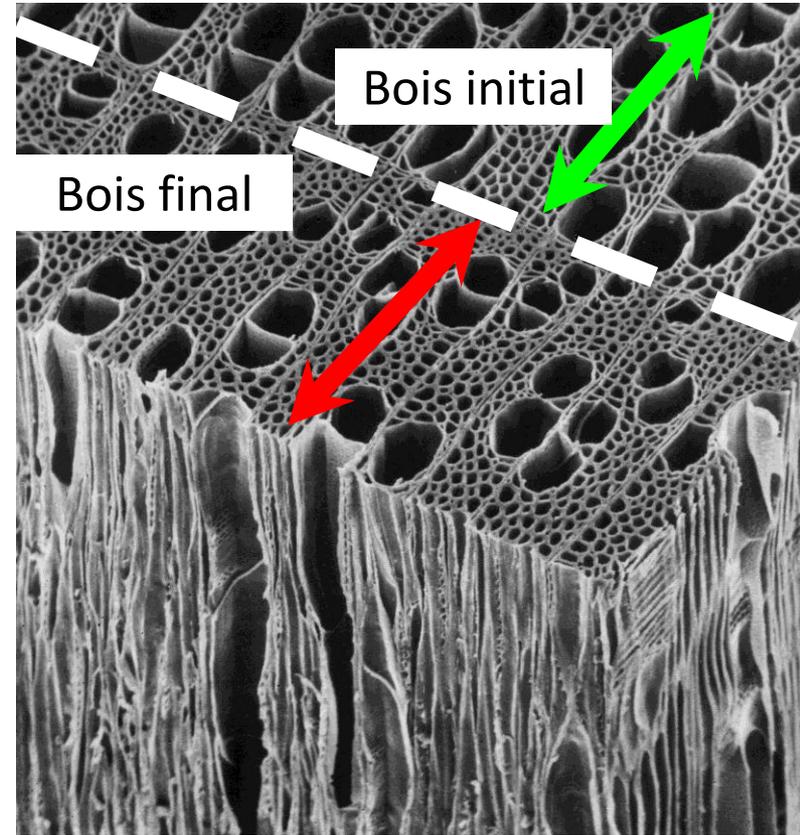
feuillus



Le bois est un matériau poreux



Bois de résineux

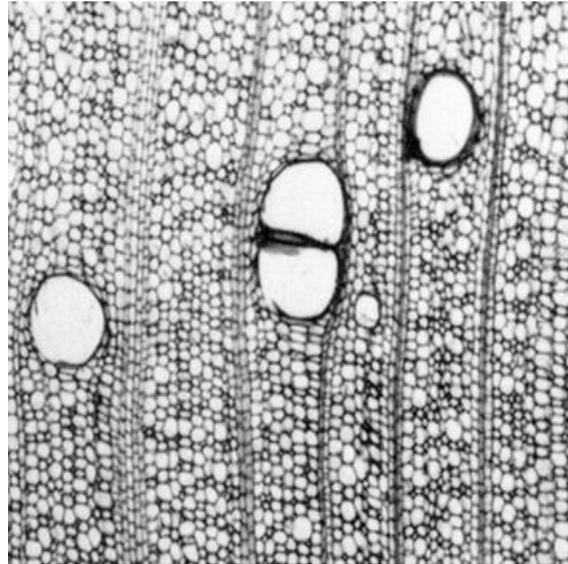


Bois de feuillu

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

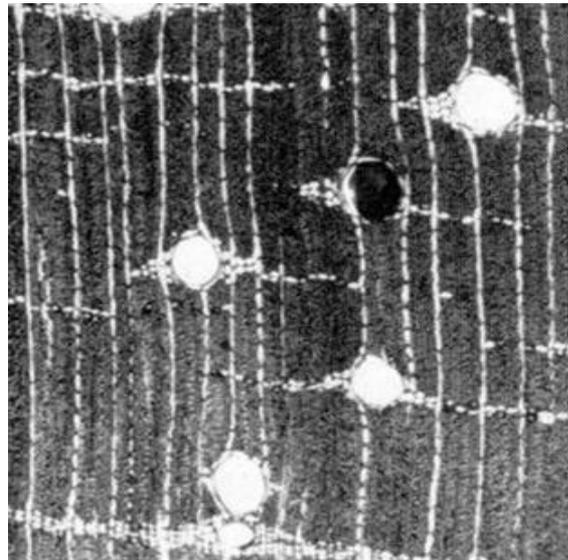
Porosité et densité

La densité de la paroi
est identique pour
toutes les espèces
 $D = 1,5$



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

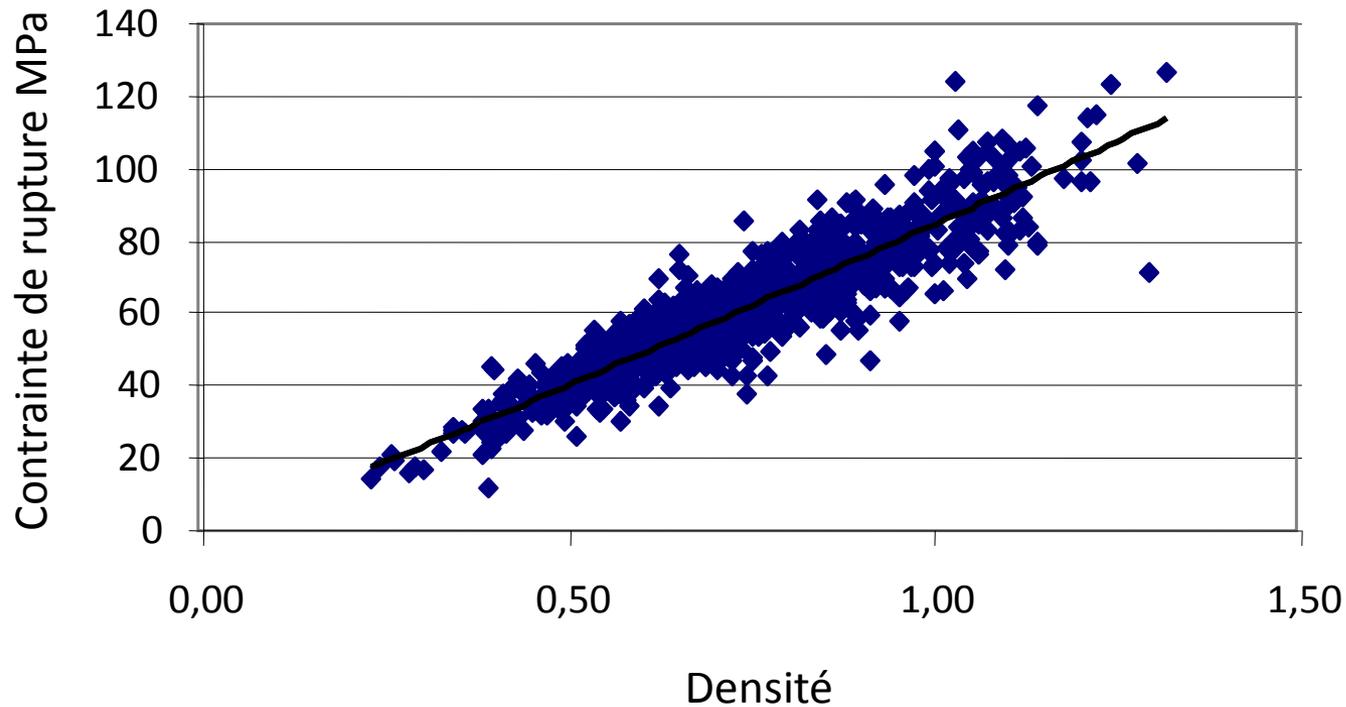
La porosité du bois
varie comme
l'inverse de la
densité $P = 1 - 2 * D / 3$

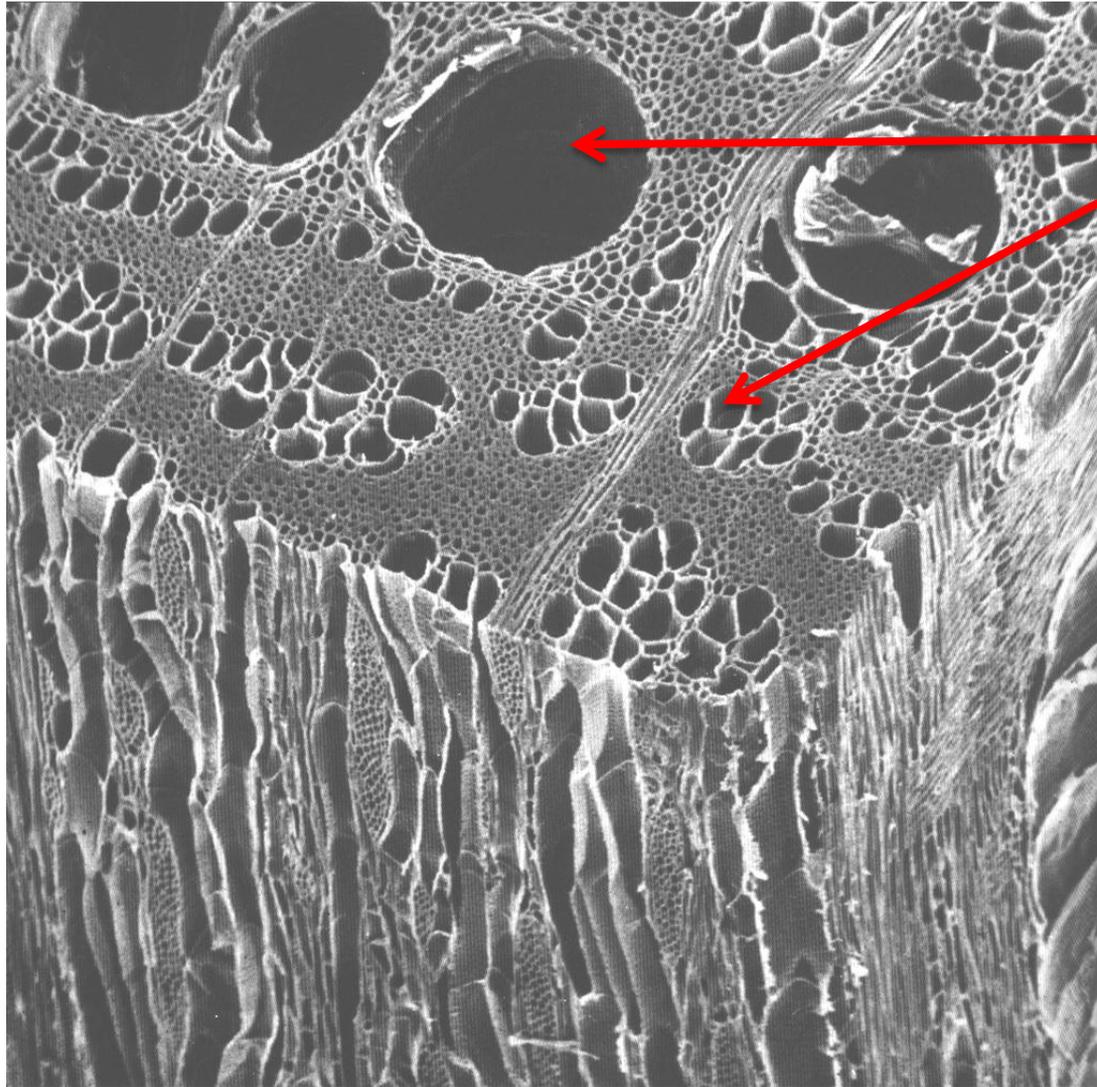


Panacoco $D = 1,2$
 $P = 20\%$

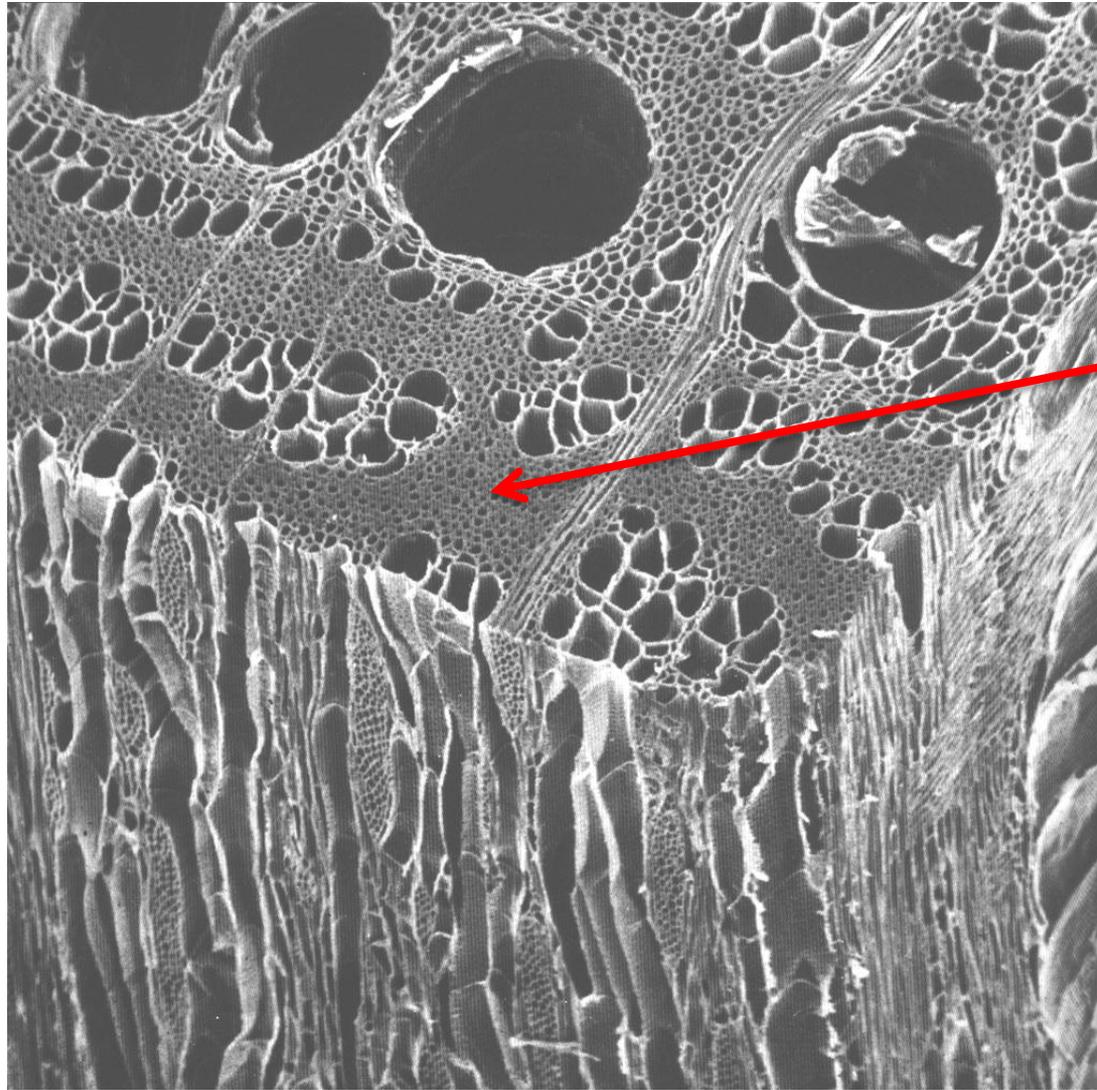
La densité: premier facteur explicatif des propriétés mécaniques des bois

Résistance en compression axiale

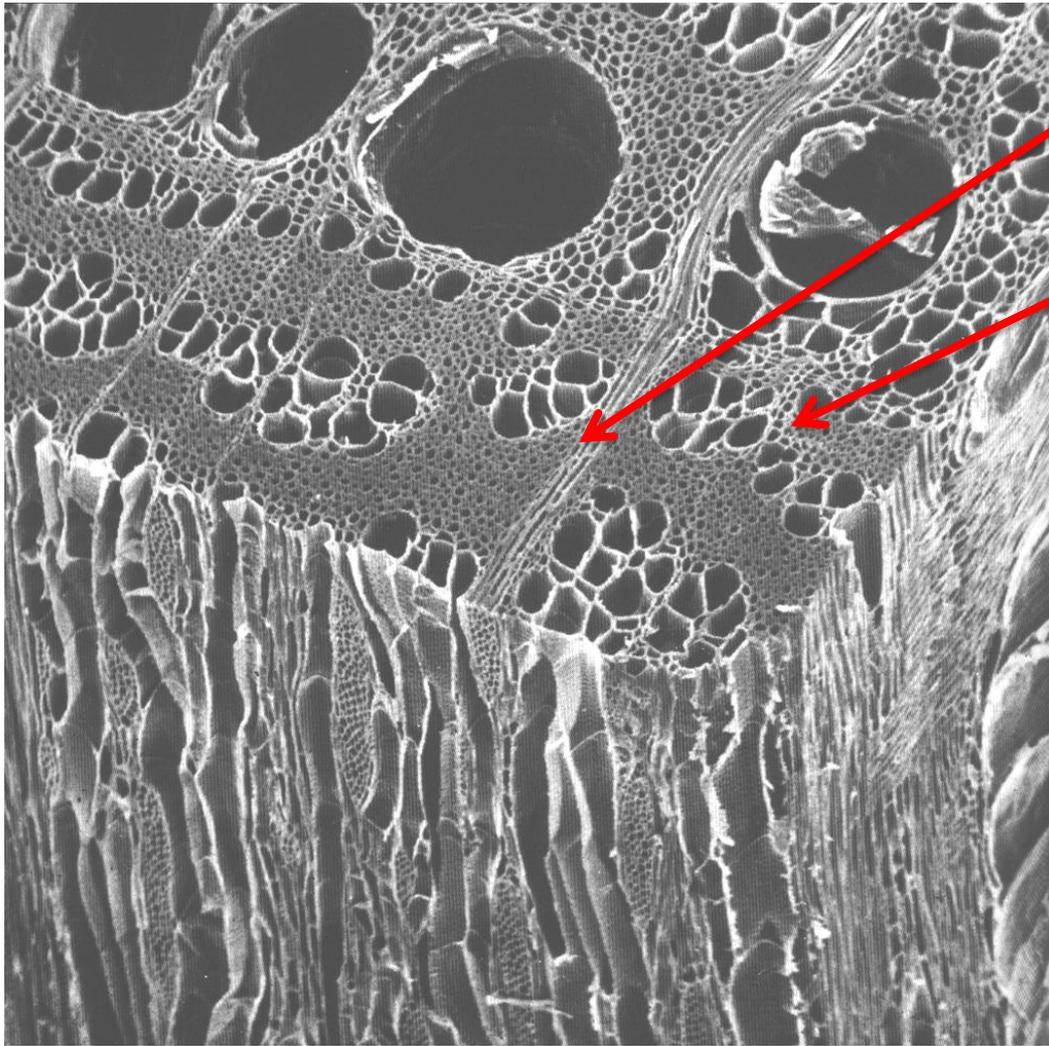




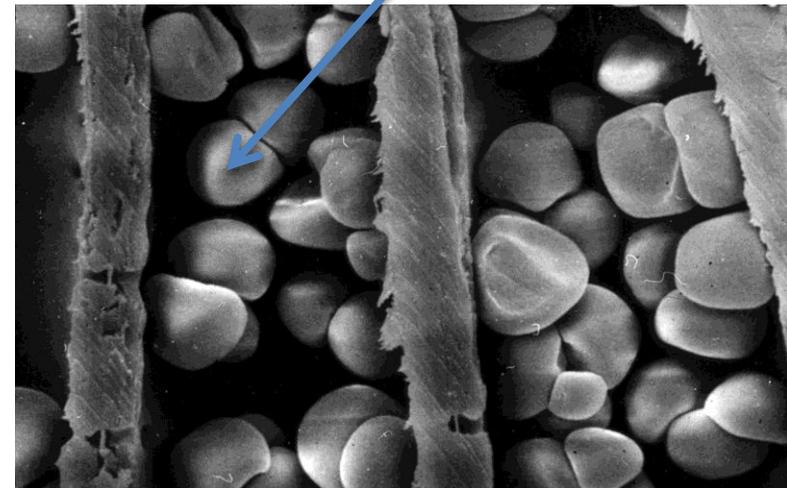
Les vaisseaux transportent la sève brute



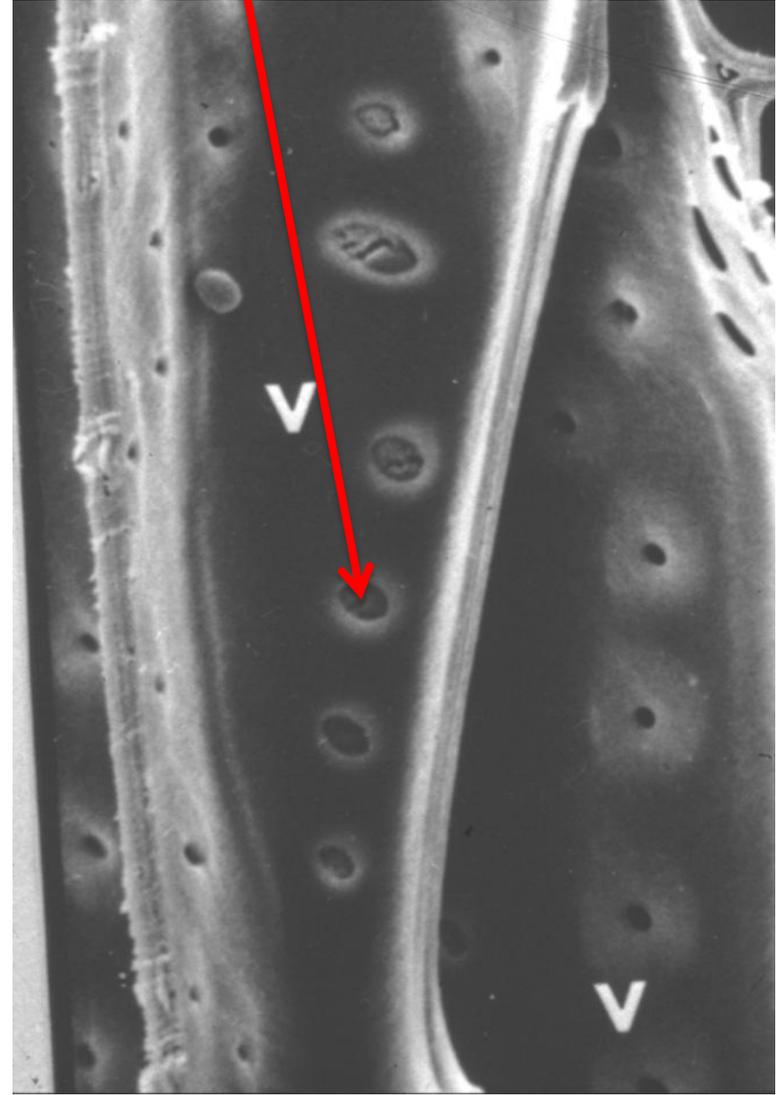
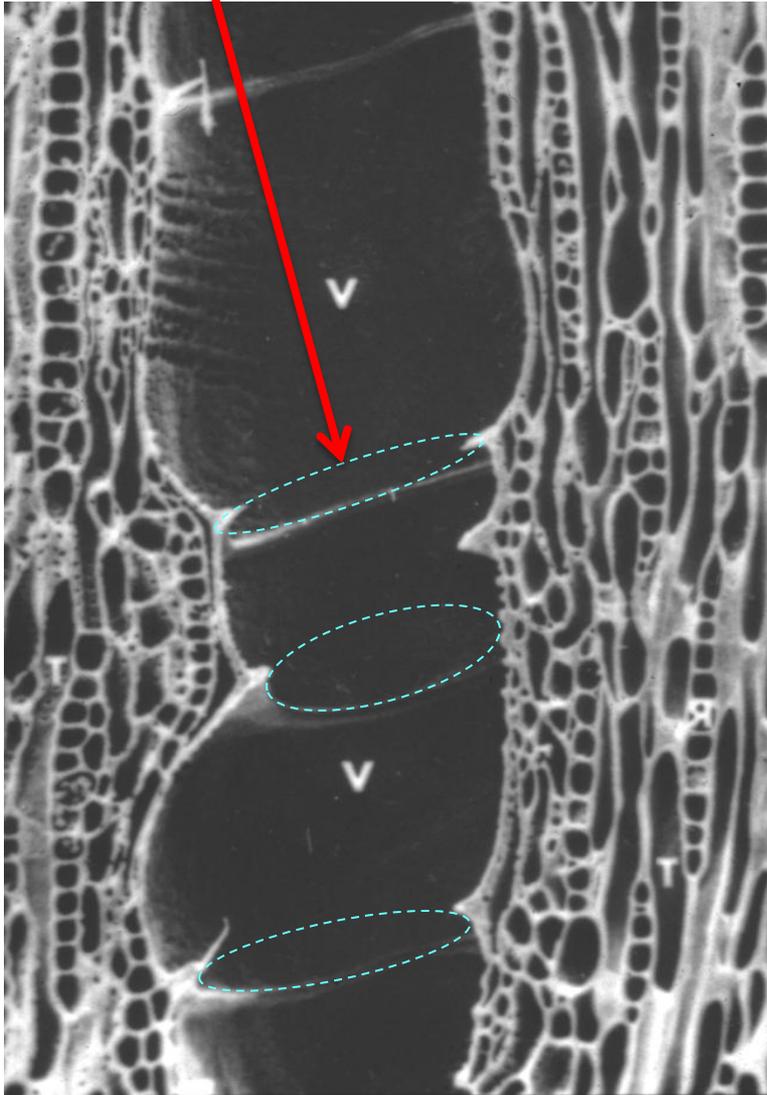
Les fibres assurent le soutien mécanique



Les rayons et les parenchymes axiaux stockent des réserves comme l'amidon et synthétisent les molécules pour la protection

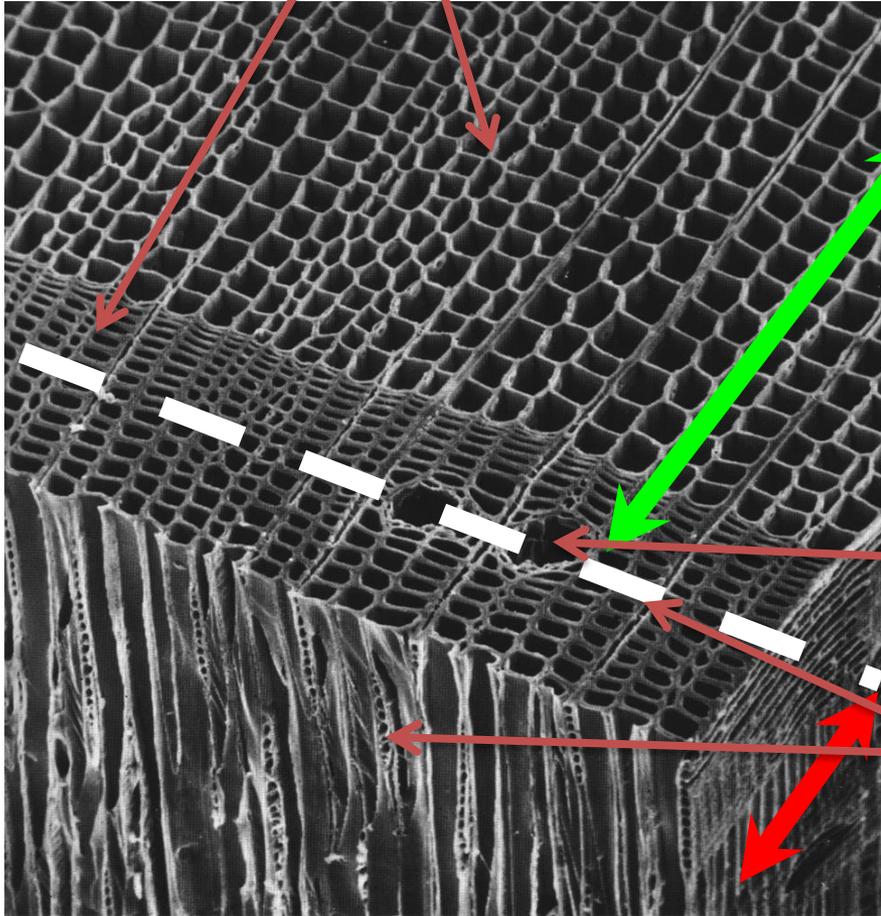


Les perforations et les ponctuations assurent la communication entre cellules



Trachéïdes

Chez les résineux les trachéïdes transportent la sève brute et assurent le soutien mécanique



Canal résinifère

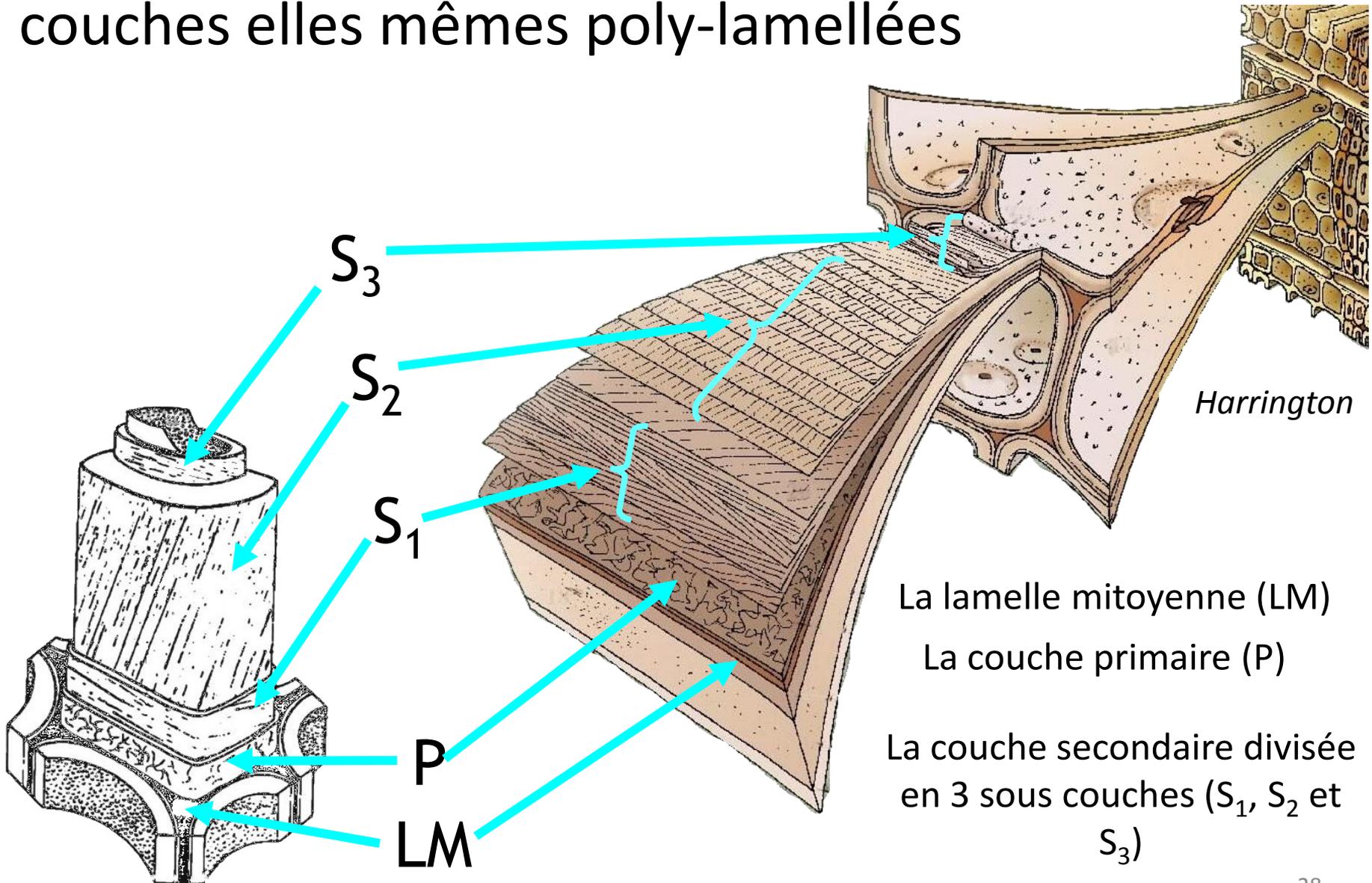
Rayons

Le bois est aussi un matériau fibreux

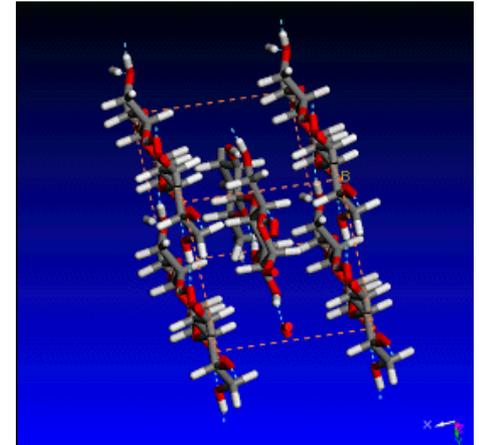
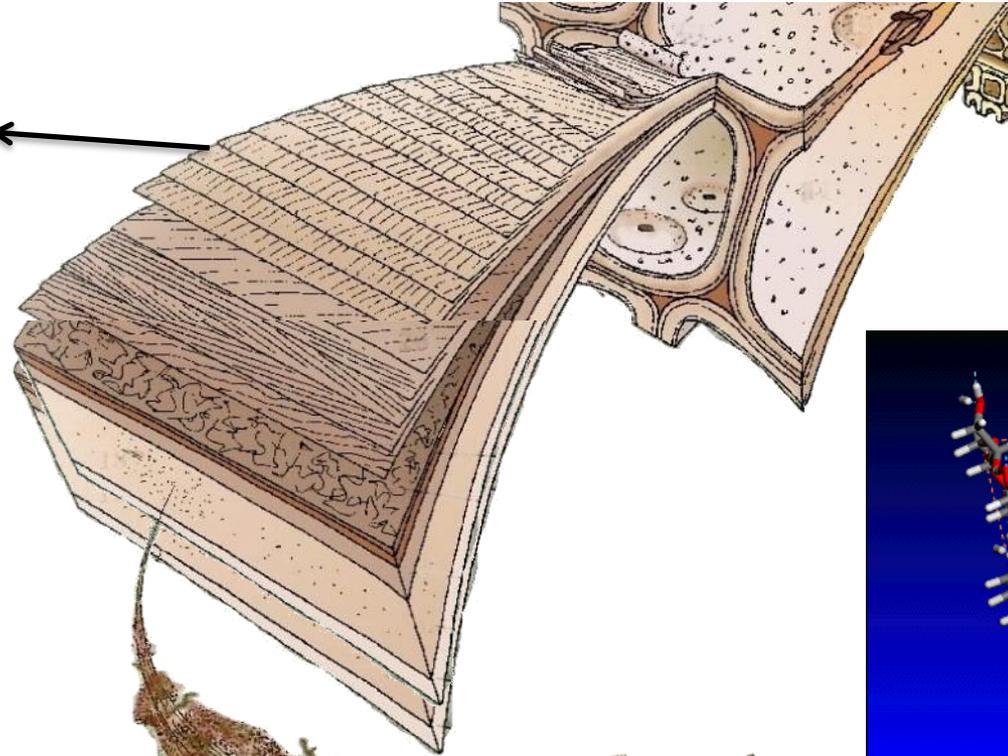
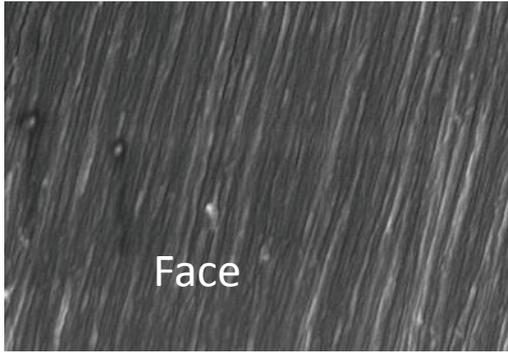


Fibres de bois pour diverses utilisations

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



Chaque couche est un composite à fibres

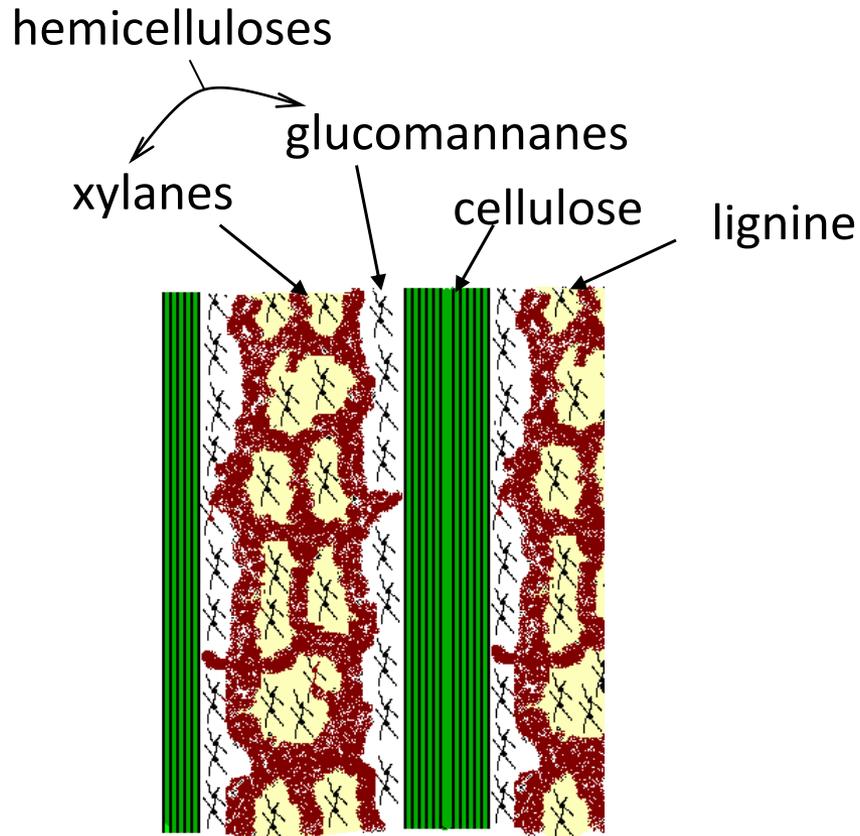


Enrobage de lignine et poly-oses amorphes

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

Cristal de cellulose

Organisation interne de la matière ligno-cellulosique



*Structure polymérique de la paroi
cellulaire d'après Salmen & Olsson*

- cellulose formant des microfibrilles rigides

$E_{\text{cel. cristalline}} \sim 134 \text{ GPa}$

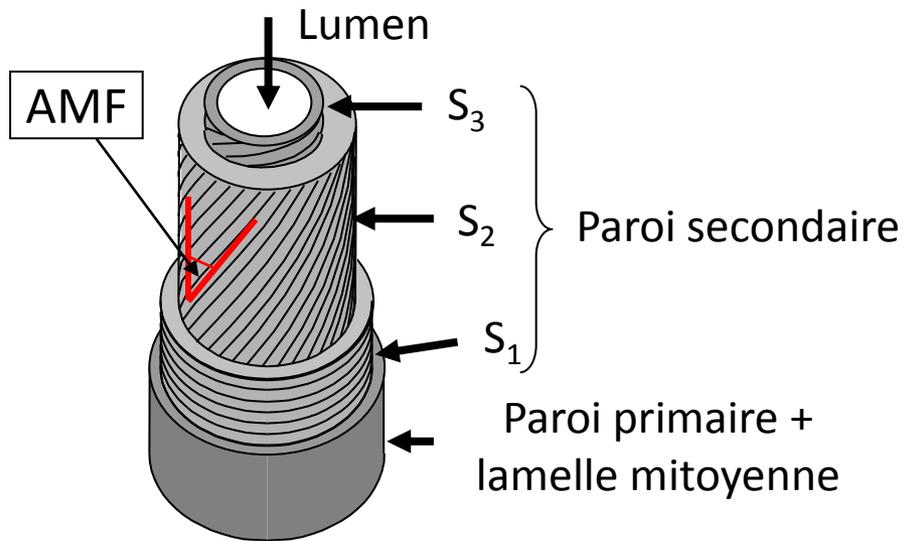
$E_{\text{cel. amorphe}} \sim 110 \text{ GPa}$

$E_{\text{fibre de verre}} = 75 \text{ GPa}$

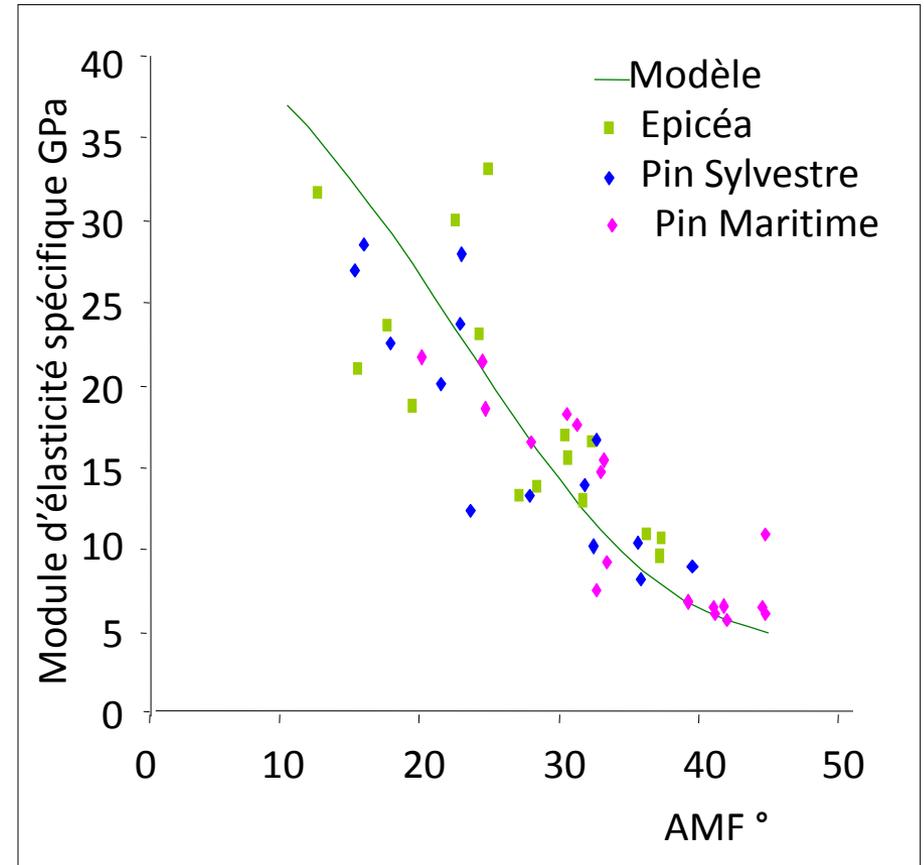
$E_{\text{acier}} = 196 \text{ GPa}$

- matrice amorphe de lignine et hemicelluloses

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

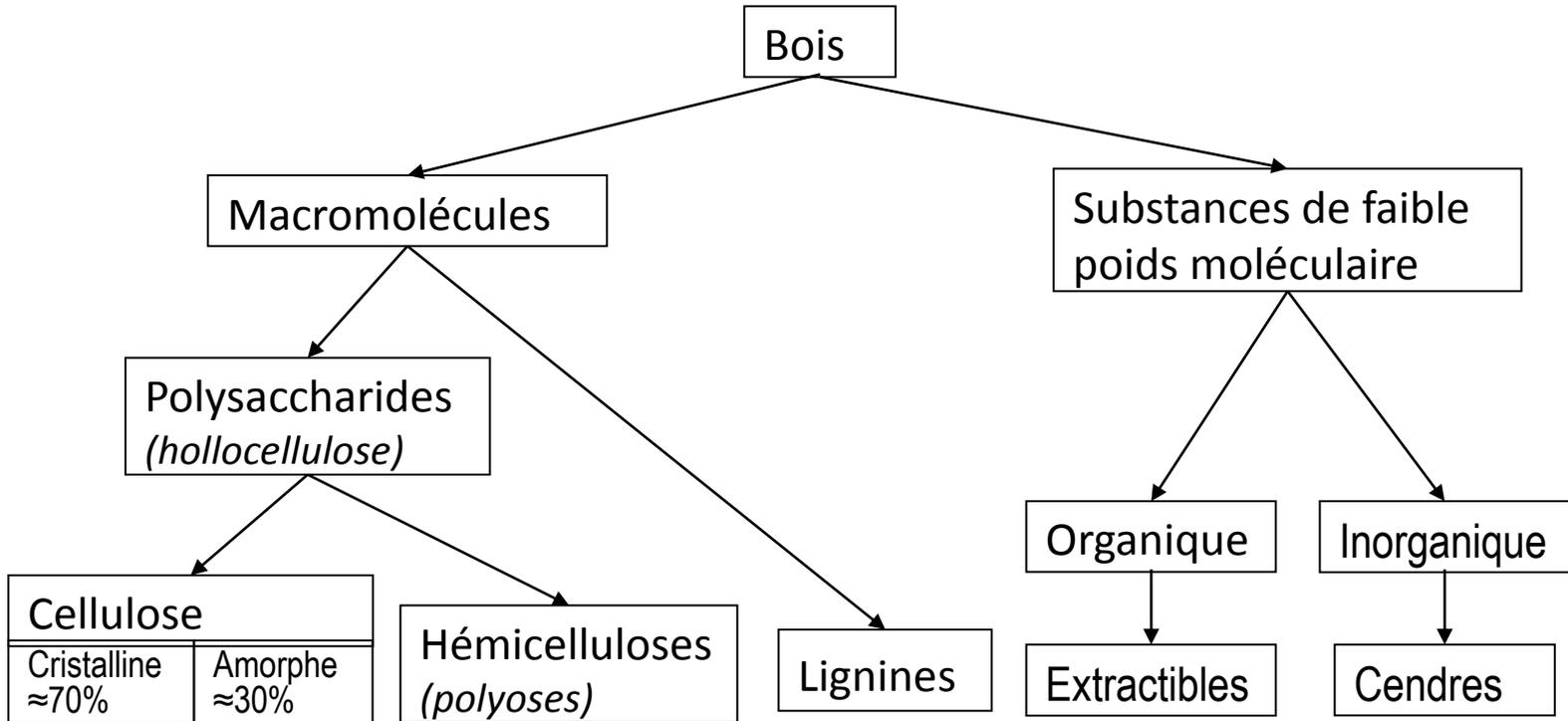


Organisation de la paroi de la fibre
La couche S₂ est la plus épaisse



Module spécifique = Module d'élasticité/Densité

Constituants chimiques du bois



	≈ 50%	≈ 30%	≈ 20%	≈ ≤5%	≈ ≤2%
		≈ 20%	≈ 30%		
	≈45% ≈(25-65%)	<20% (10-30%)	≈30% ≈(14-45%)	≈7% (1-35%)	0-8%

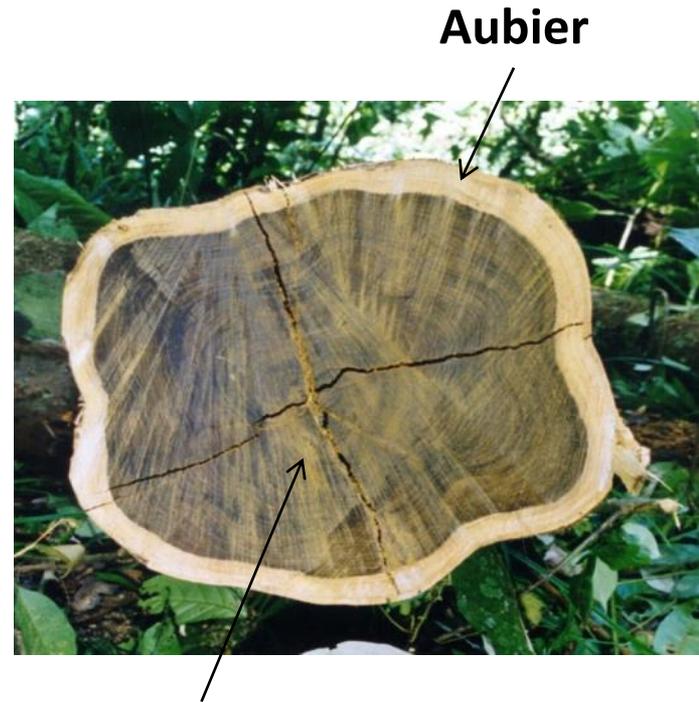
Les extractibles

- Structures chimiques très variées: tanins, flavonoïdes, lignanes, terpènes, acides gras, tropolones, etc...

	<5%	+ tanins
		+résines
	≈0-35%	très divers

- Donnent au bois des caractéristiques particulières: Couleur, odeur, durabilité naturelle
- Applications industrielles (résines, tannage des peaux, colorants)

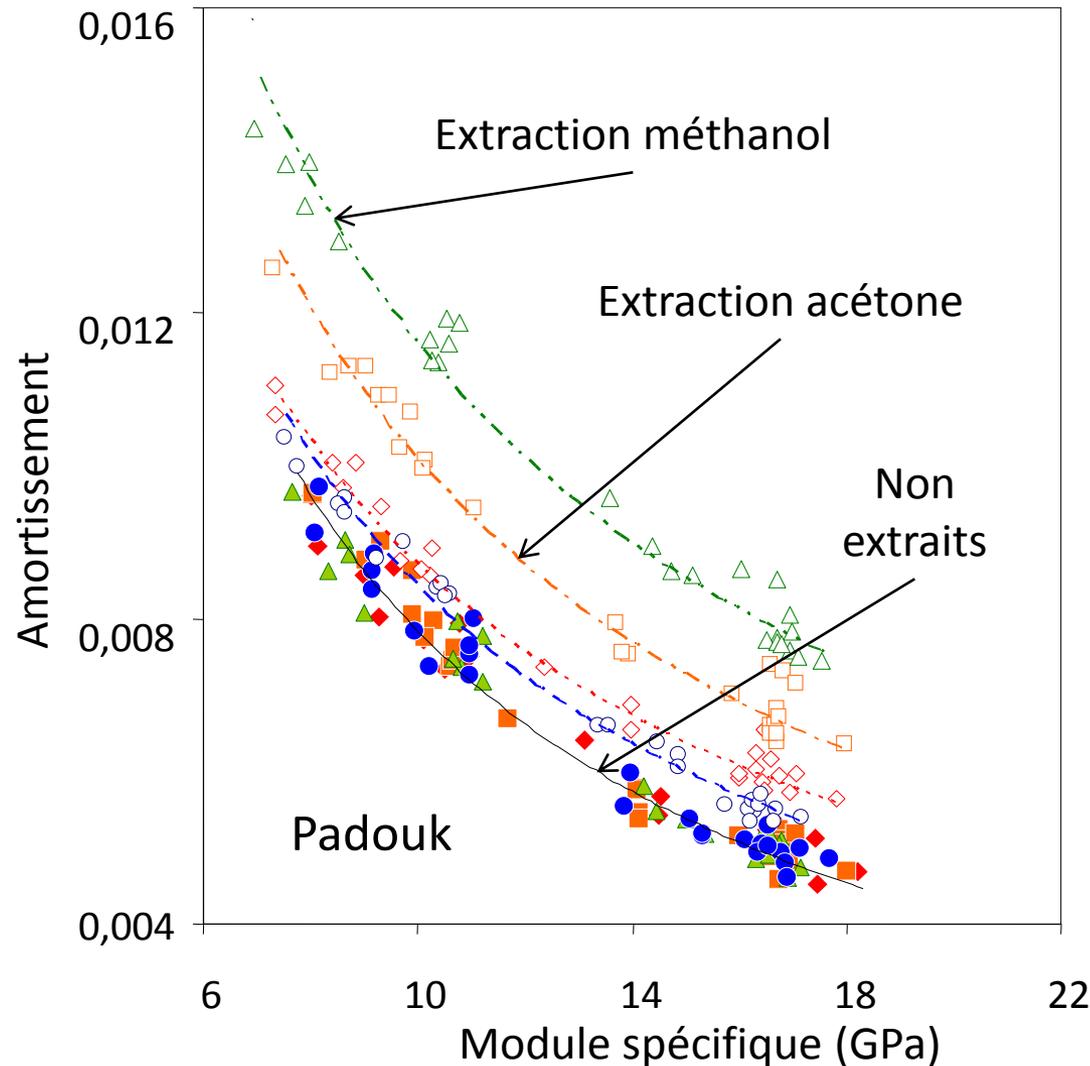
Les extractibles imprègnent le bois de coeur



Bois de cœur

Dans le bois de cœur , des petites molécules viennent s'incruster dans les parois cellulaires pour modifier et protéger le 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

L'identification des bois

- La notion d'espèce
- La signature architecturale
- La signature anatomique
- La signature chimique
- La signature génétique

Exemple de classification linnéenne

De l'Acajou à grande feuille

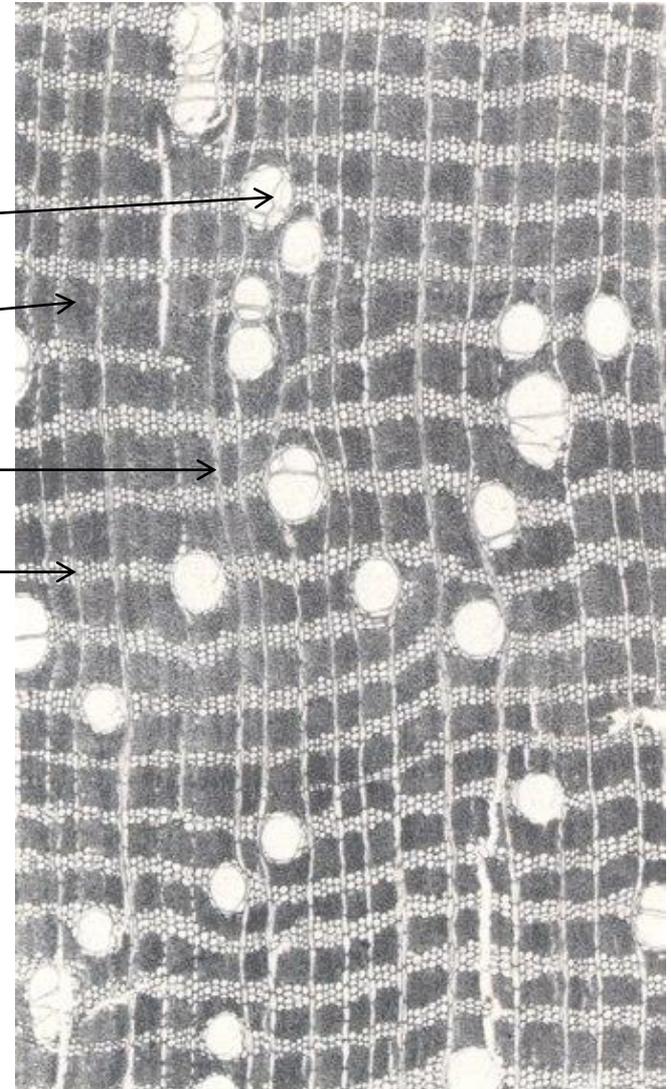
Embranchement	<i>Spermatophyte</i>
Sous-embranchement	<i>Angiosperme</i>
Classe	<i>Dicotylédone</i>
Ordre	<i>Rutales</i>
Famille	<i>Méliacées</i>
Genre	<i>Swietenia</i>
Espèce	<i>macrophylla</i>
Sous-espèce	...
Variété	...

Anatomie et reconnaissance des bois

Éléments d'identification:

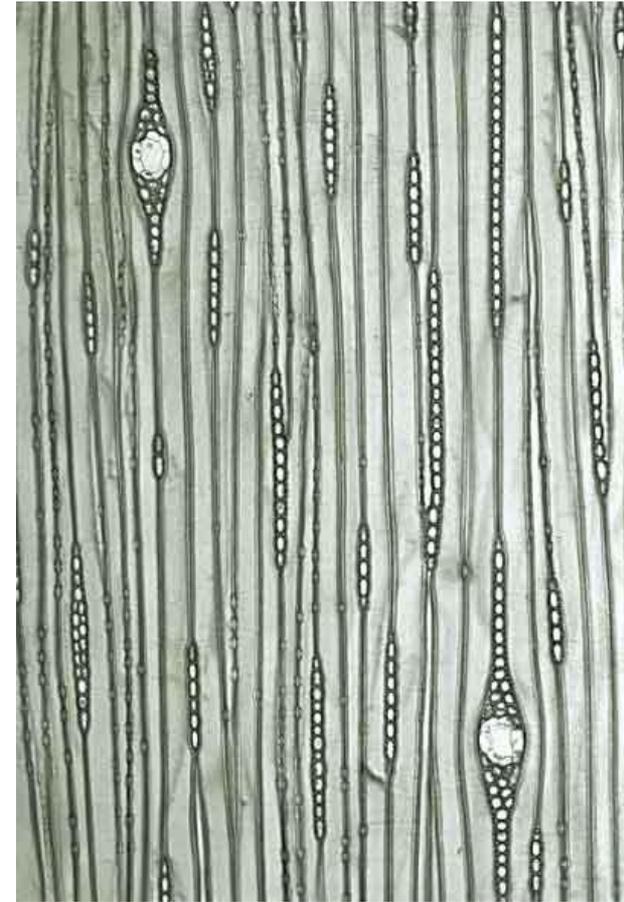
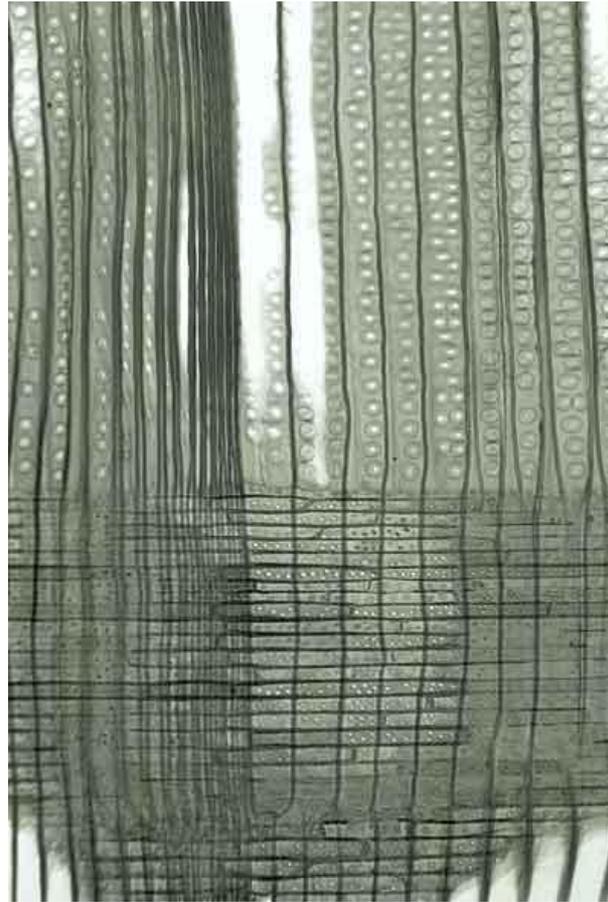
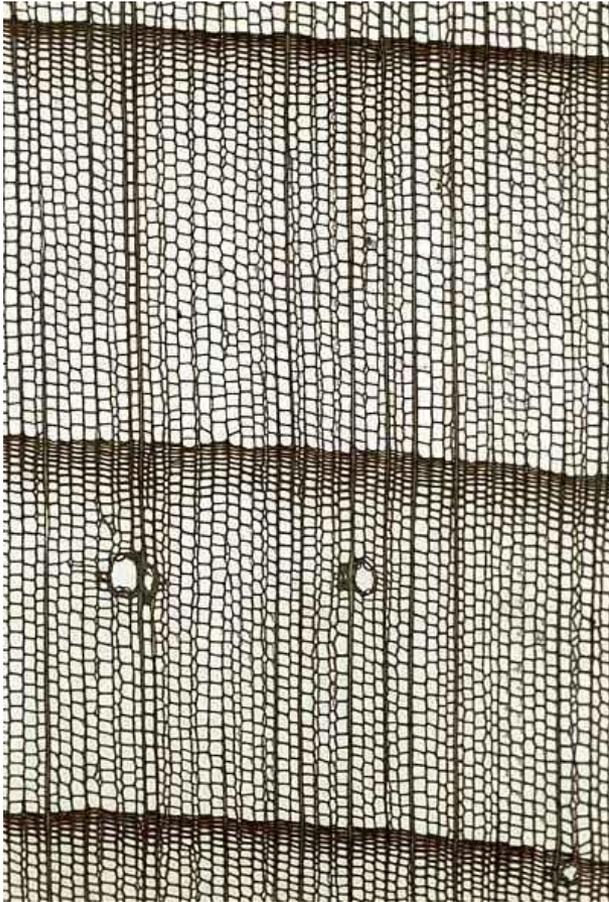
- Vaisseaux
- Fibres
- Rayons médullaires
- Parenchyme axial

et leur organisation mutuelle dans le plan ligneux caractéristique d'une espèce.



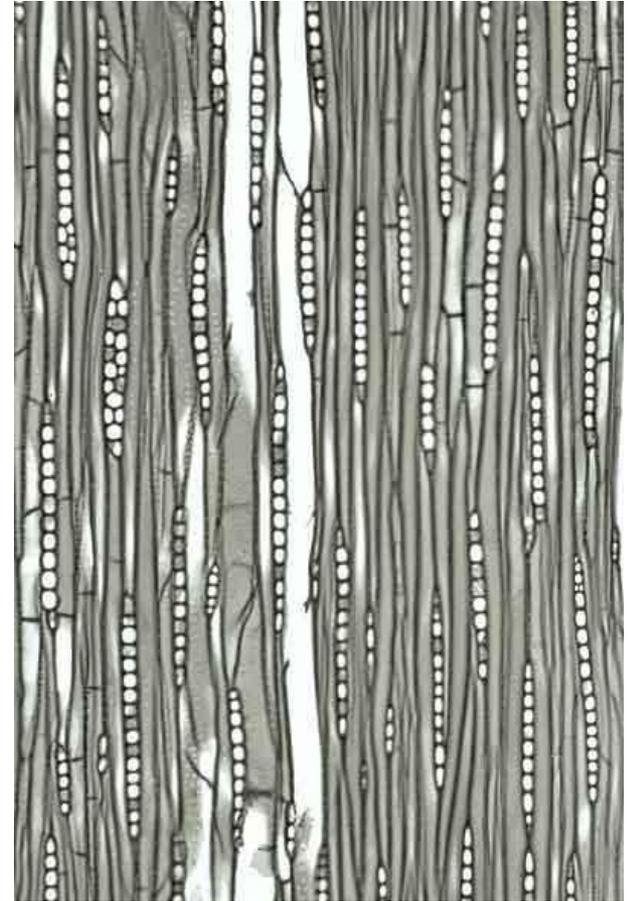
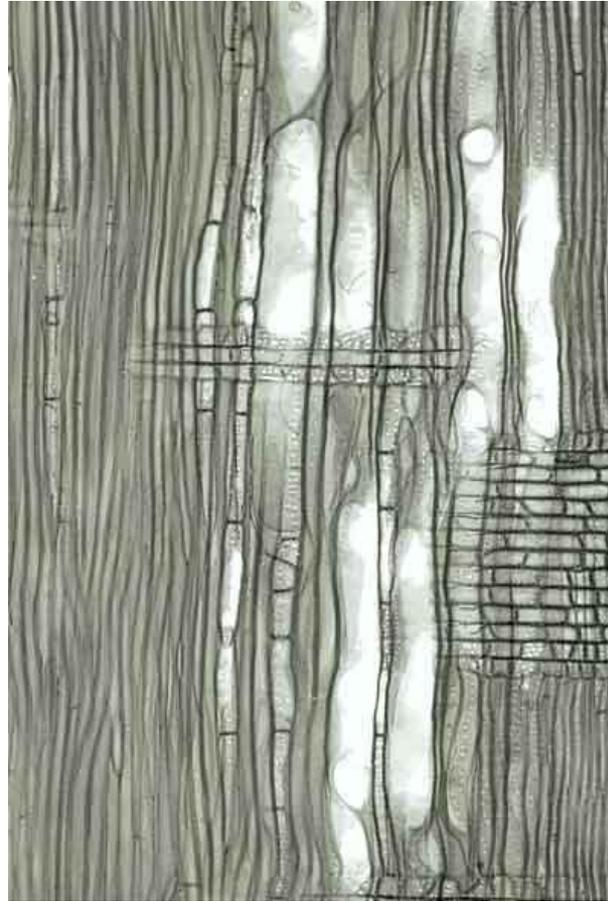
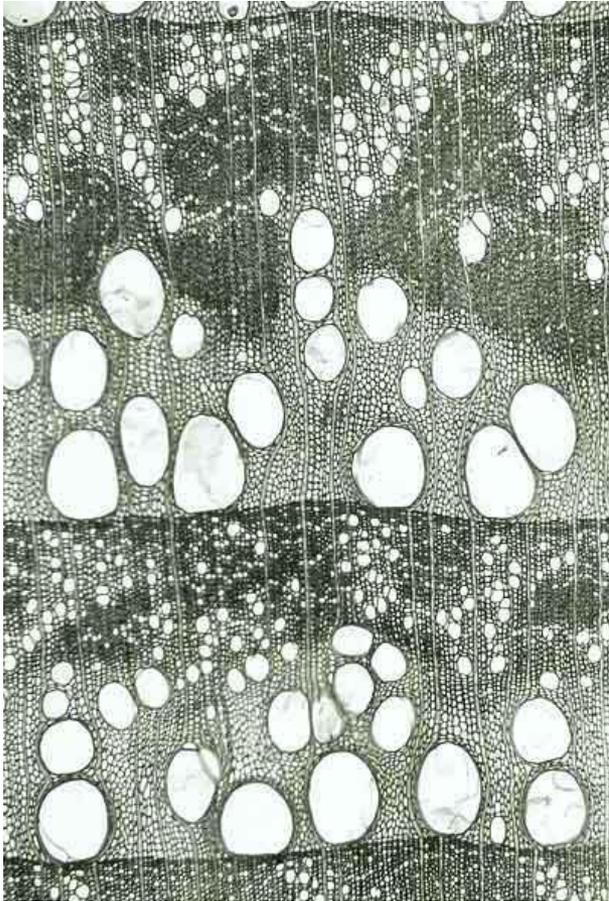
Crudia aromatica CAE.

Les plans d'observation anatomiques: Epicéa (conifère)



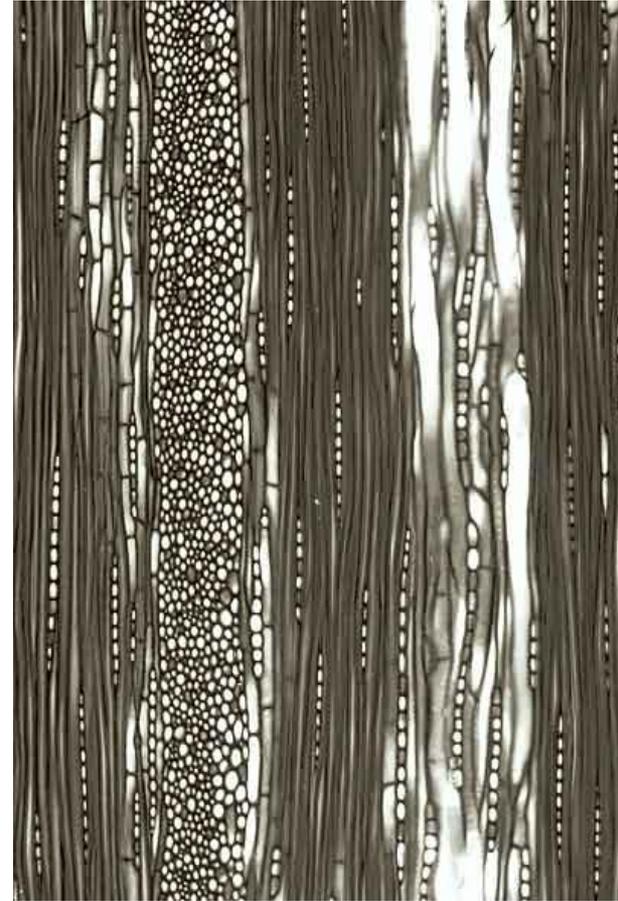
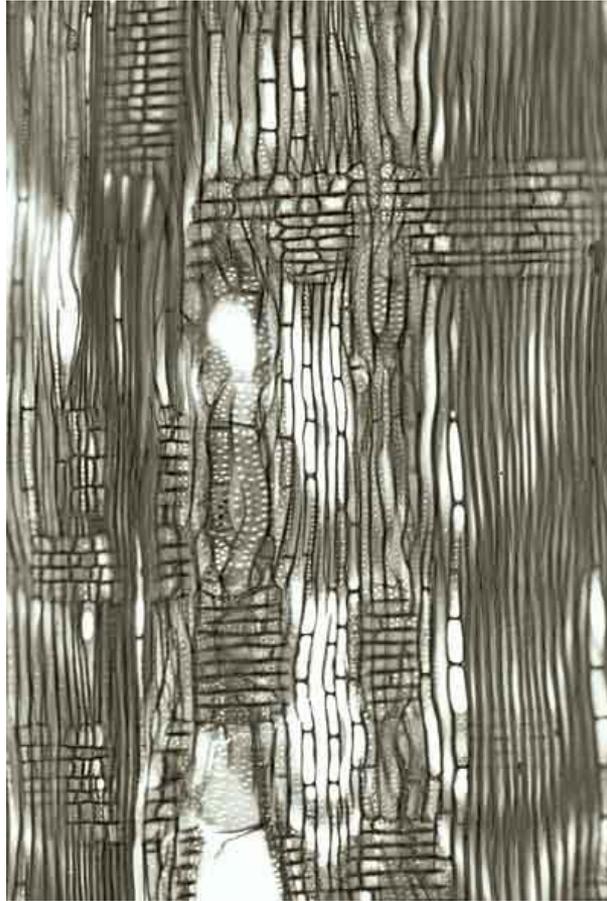
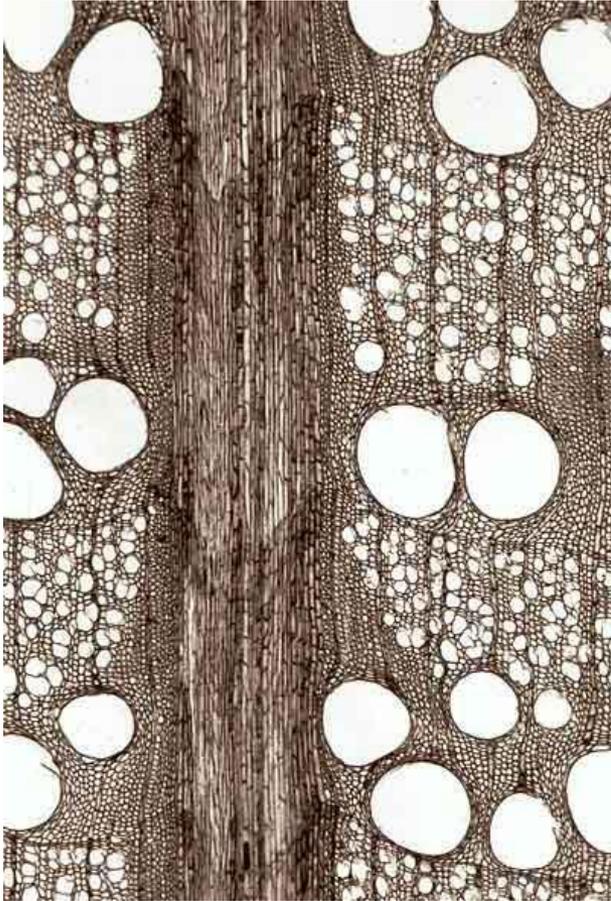
Les plans d'observation anatomiques: Châtaignier

(zone poreuse initiale)



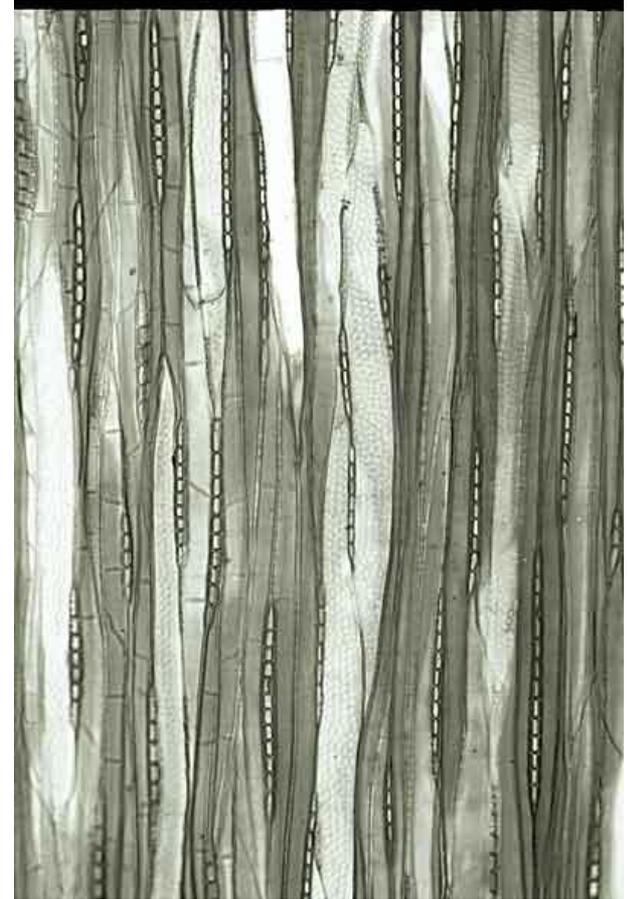
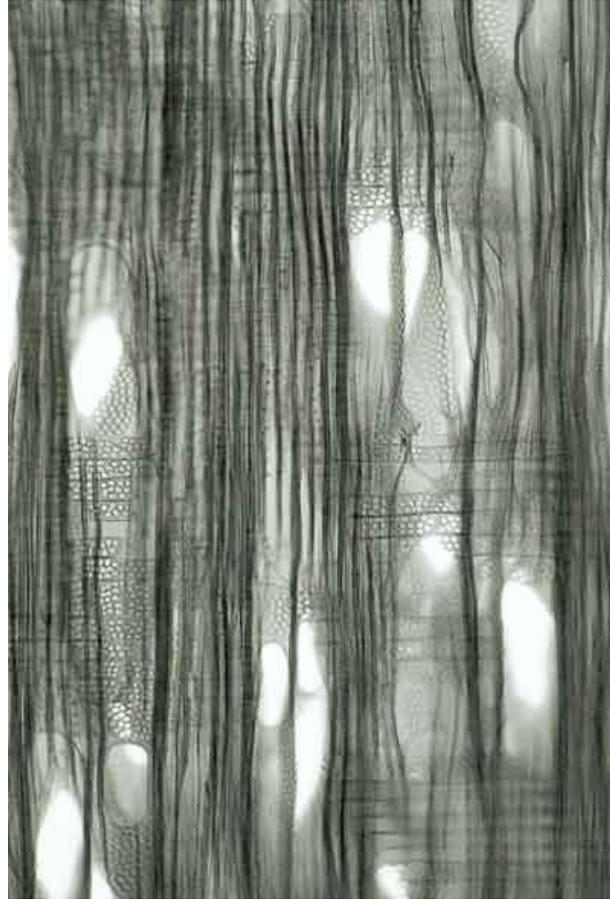
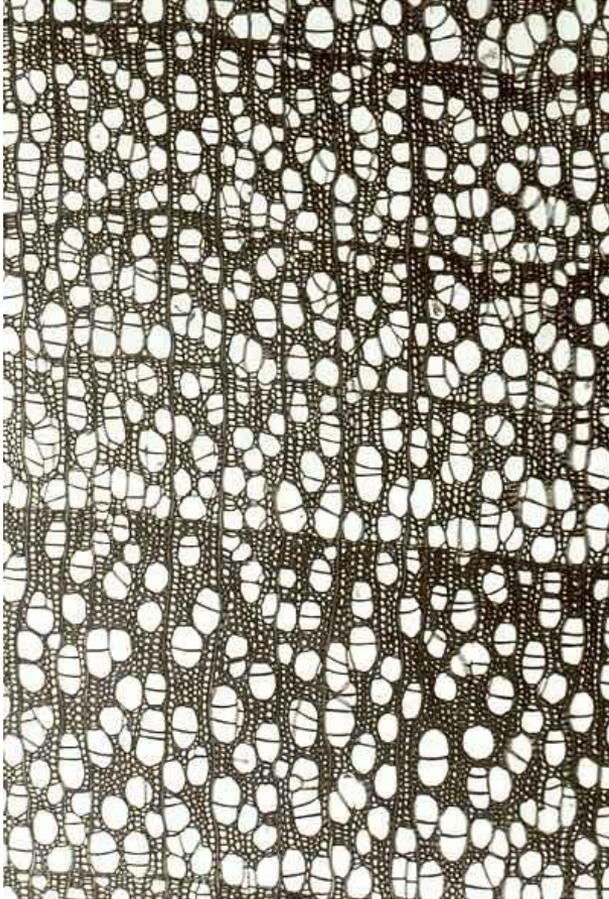
Les plans d'observation anatomiques: Chêne

(zone poreuse initiale, gros rayons)



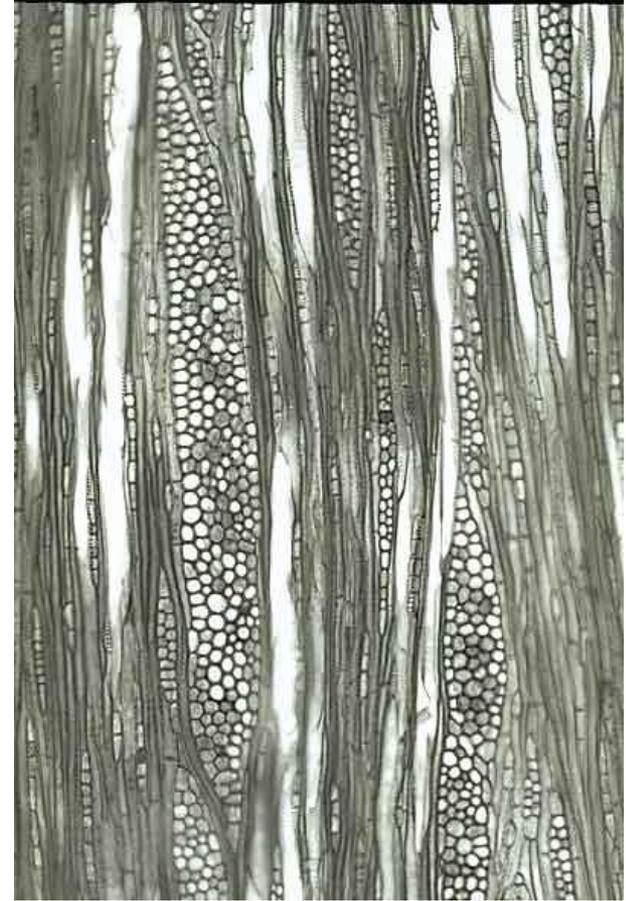
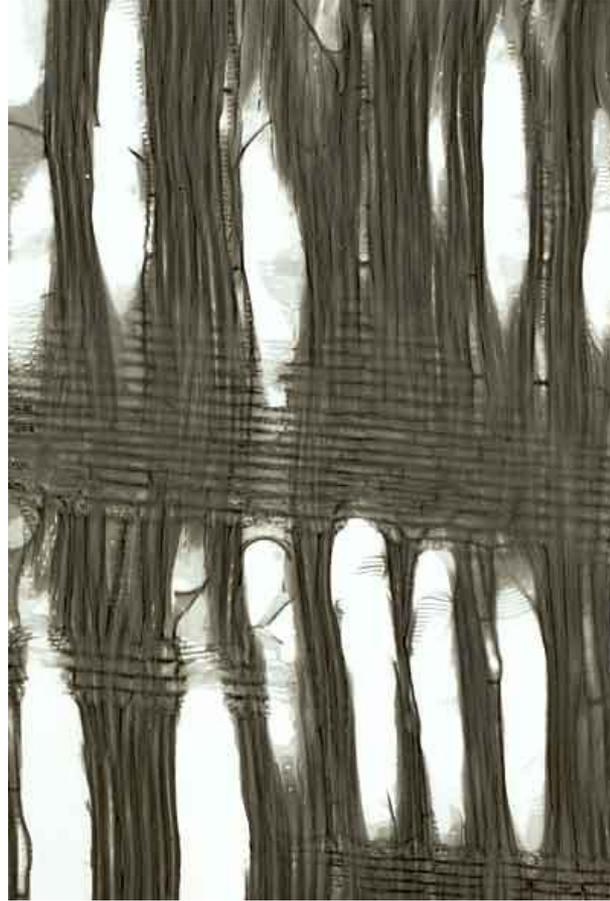
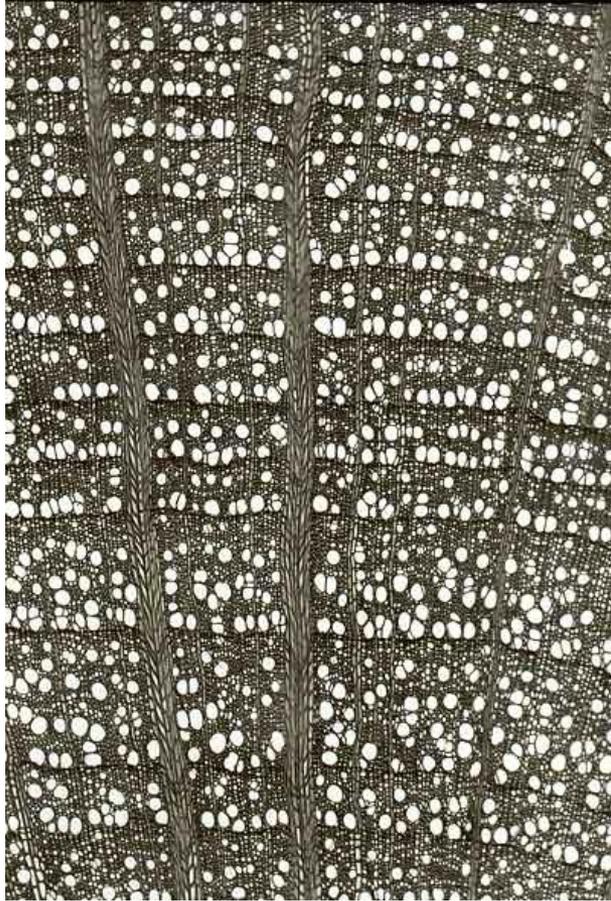
Les plans d'observation anatomiques: Peuplier

(pores diffus)

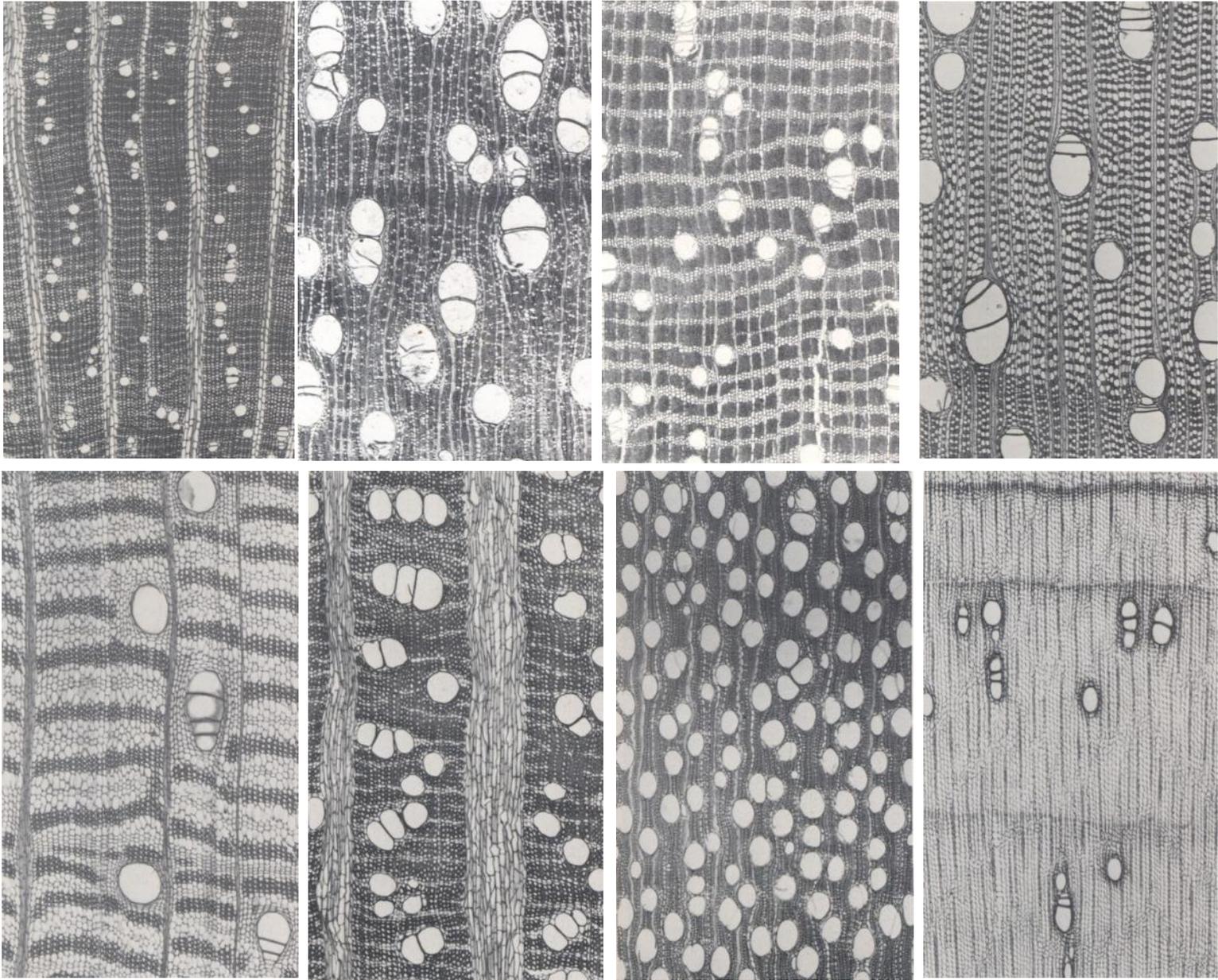


Les plans d'observation anatomiques: Hêtre

(pores diffus, gros rayons)

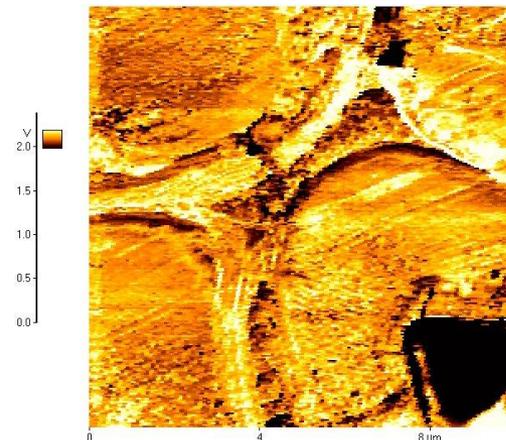
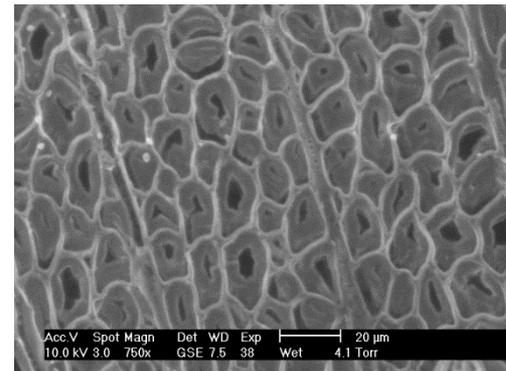
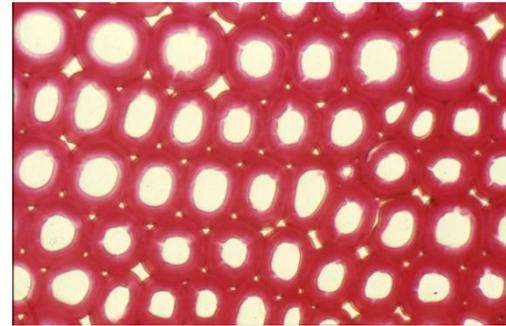


Le plan ligneux, signature de l'espèce

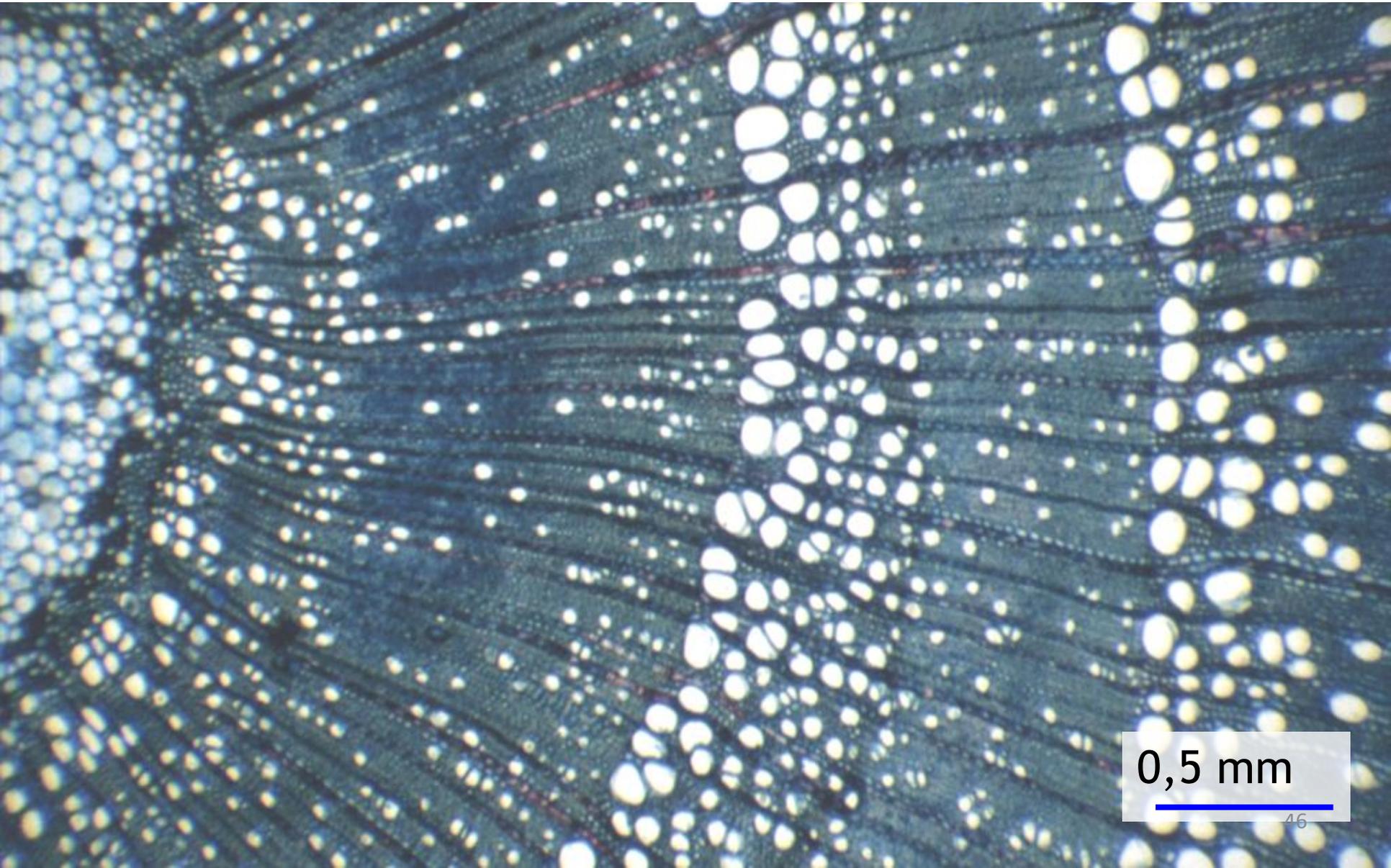


Les techniques d'observation

- Microscopie photonique
- Microscopie électronique
- Microscopie à force atomique

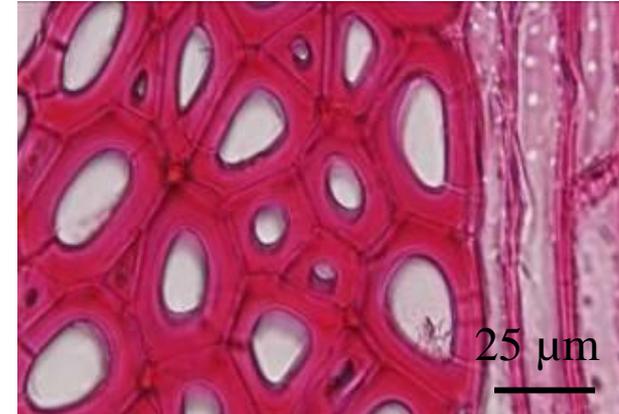
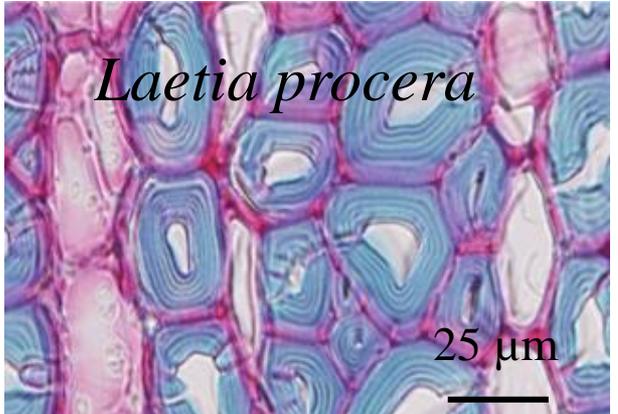
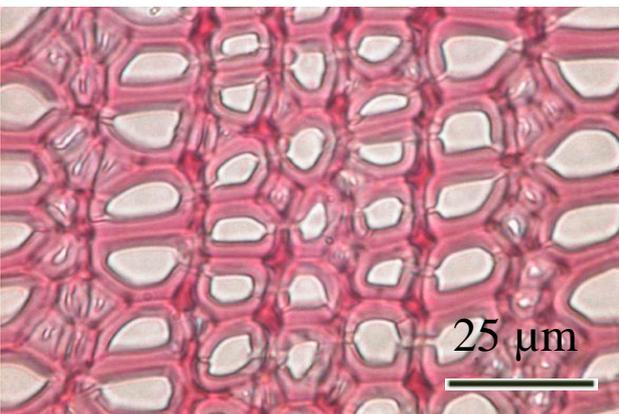
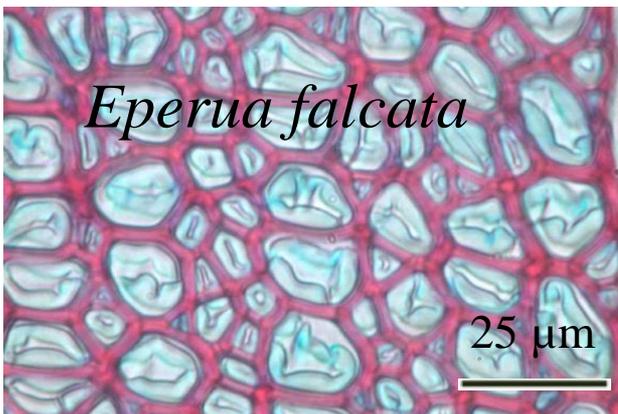


La microscopie photonique permet d'observer des zones de « grandes » dimensions



0,5 mm

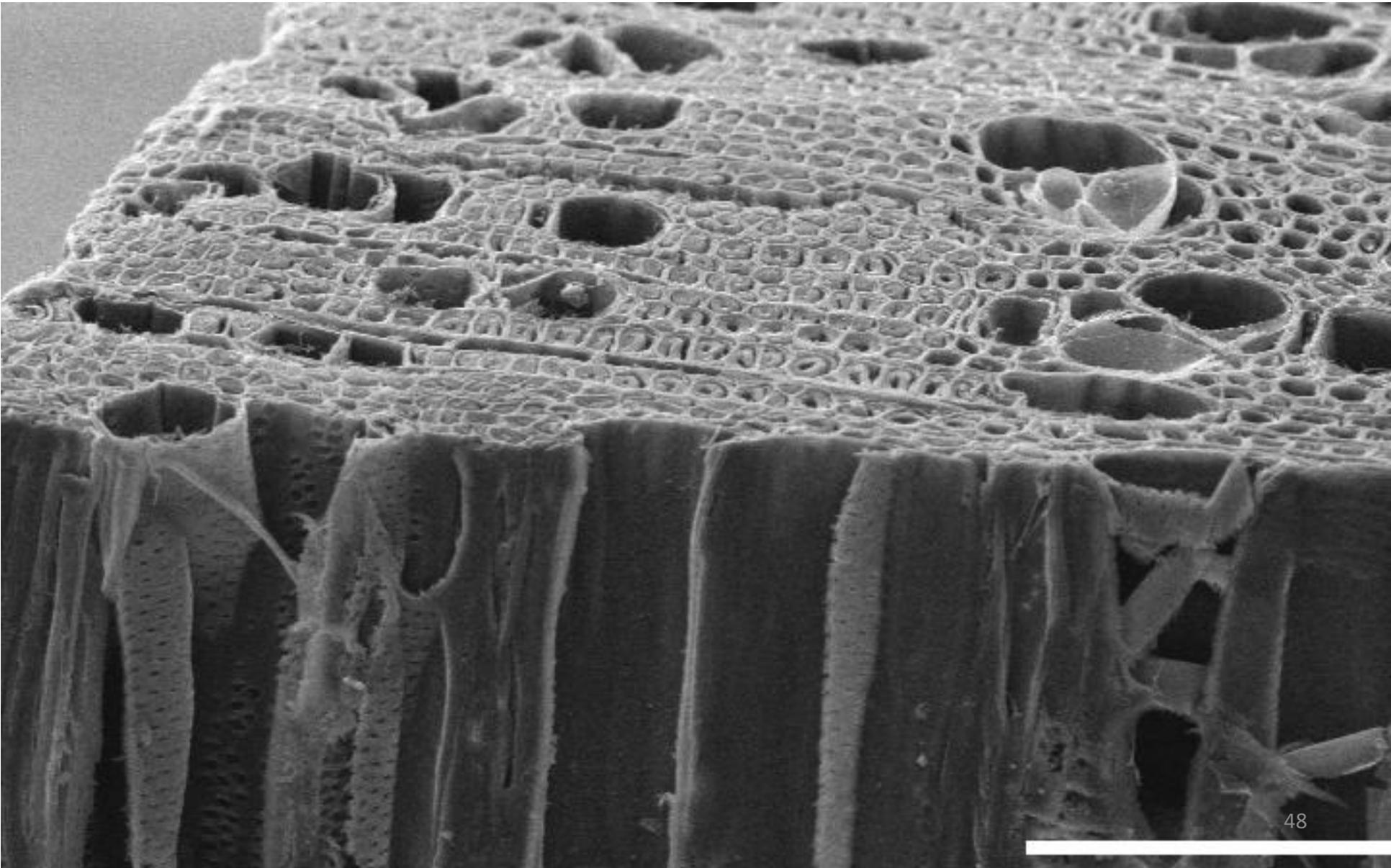
La microscopie photonique permet de différencier les cellules d'après leur composition chimique en utilisant des colorants



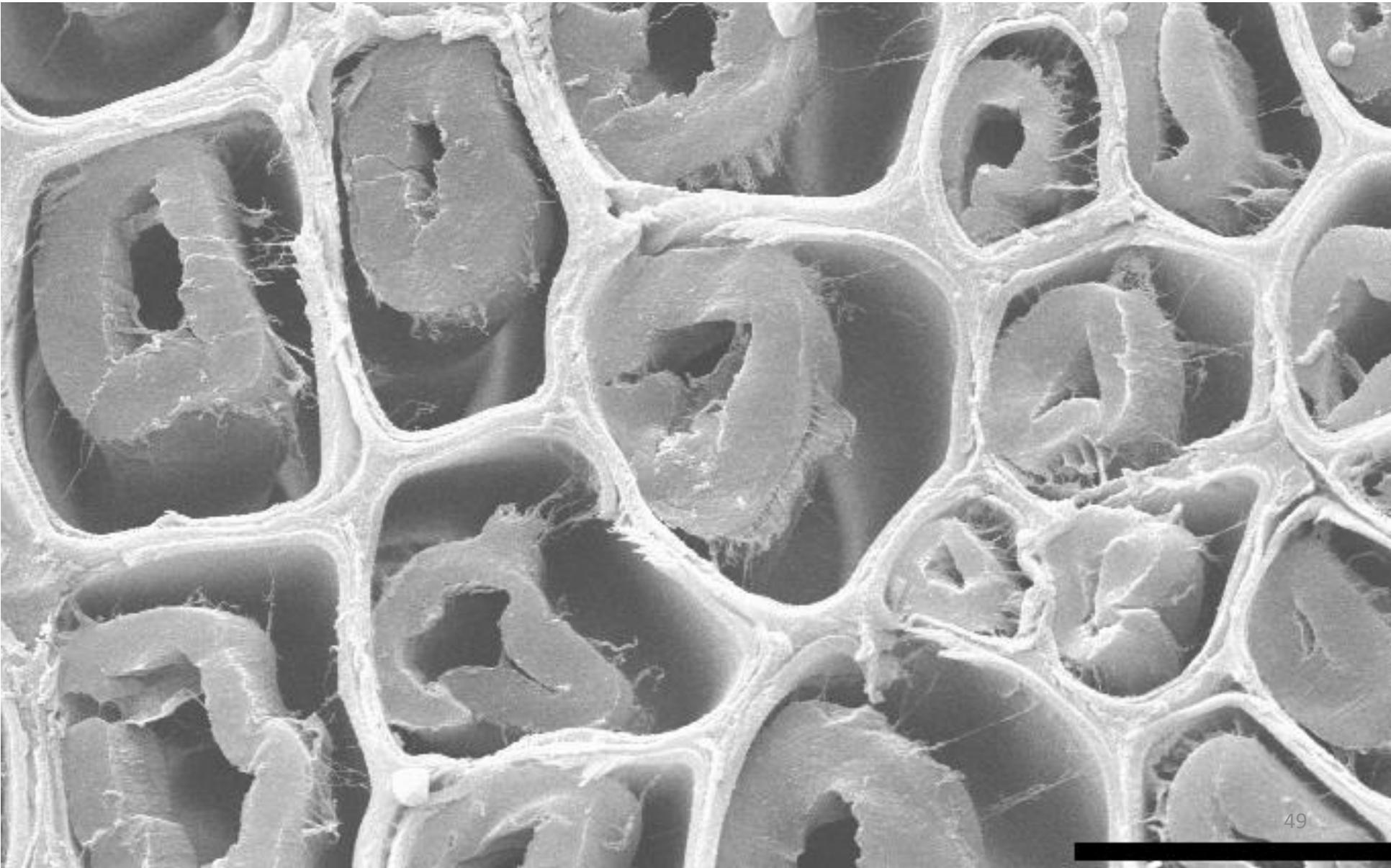
A droite:
Bois normal

A gauche:
bois de tension

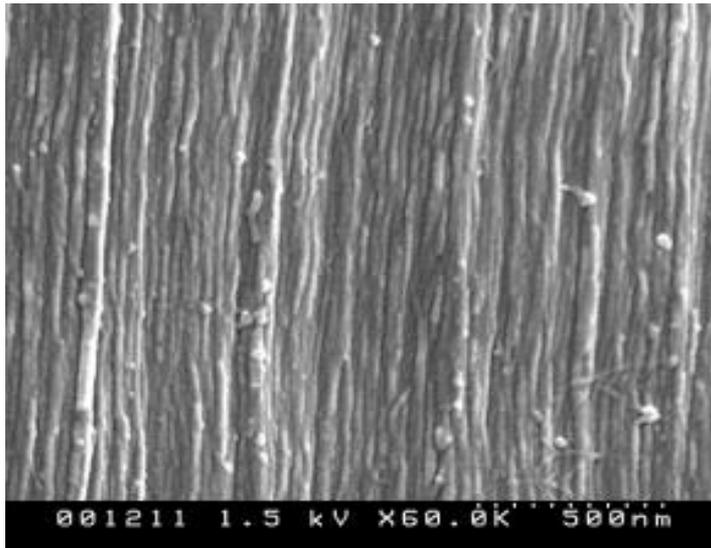
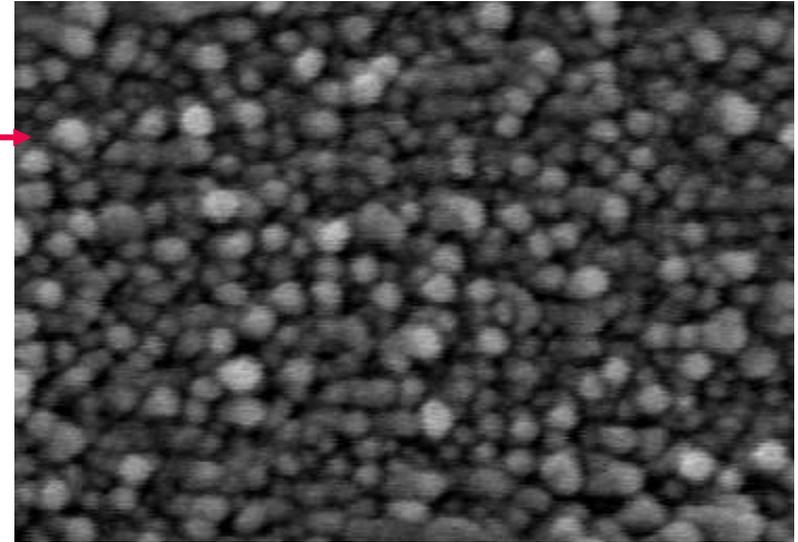
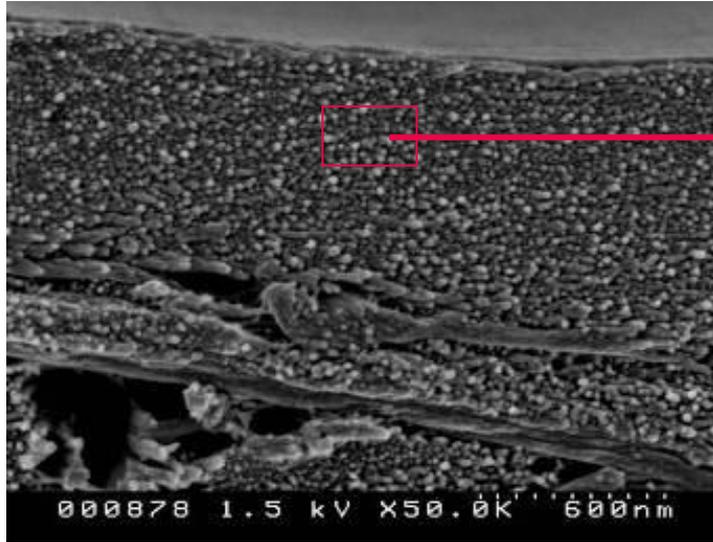
La microscopie électronique permet une vision en trois dimensions



La microscopie électronique permet de très forts grossissements

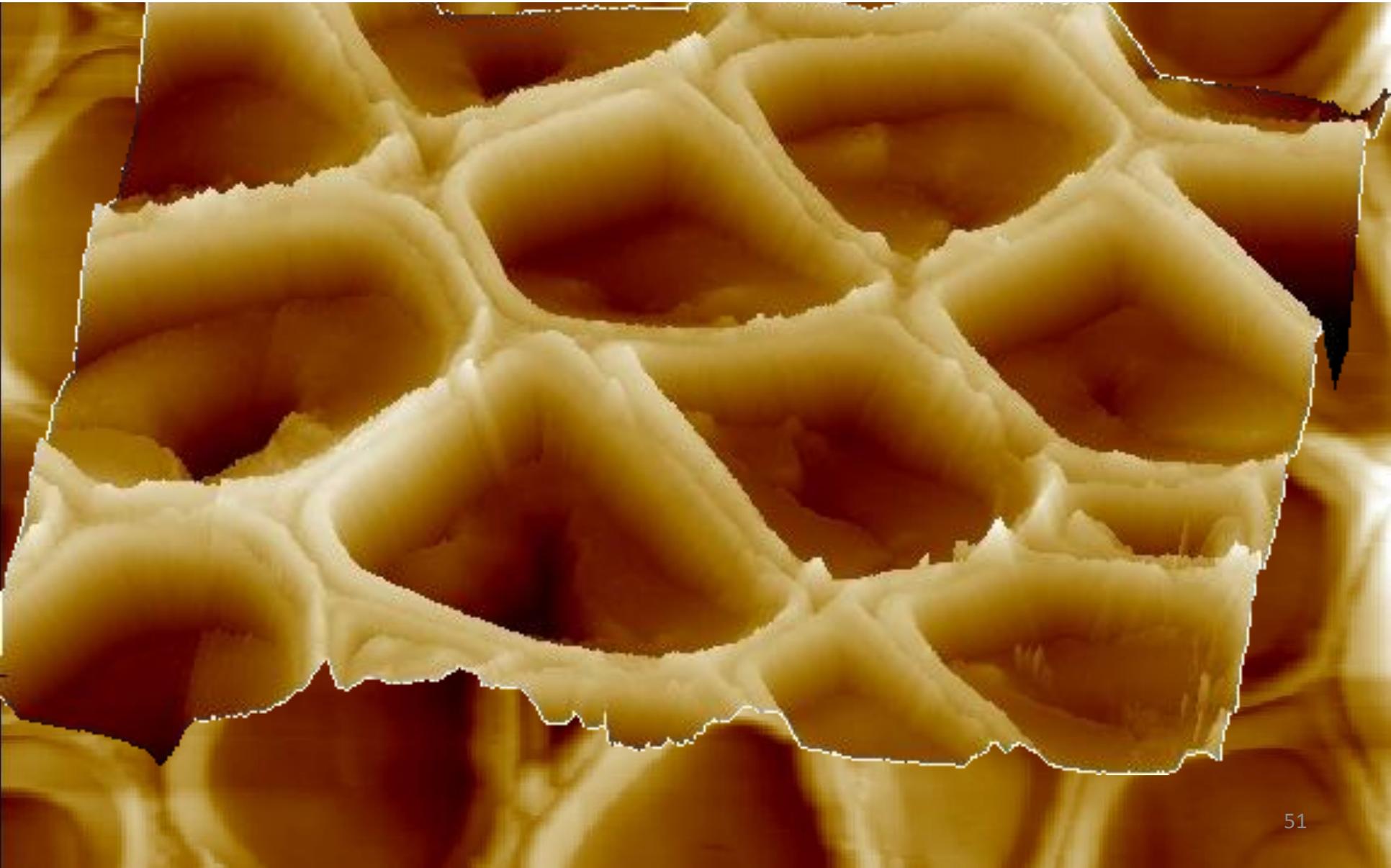


La microscopie électronique permet l'observation directe des fibrilles de cellulose



Observation
transversale (haut) et
latérale (bas) de
spécimen de bois de
tension de
Simarouba amara

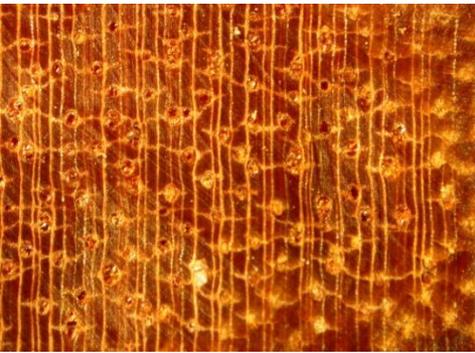
La microscopie à force atomique permet de tracer les reliefs



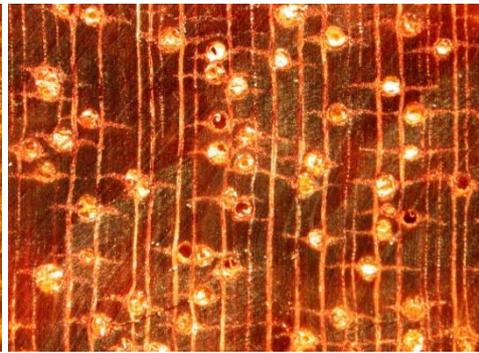
A la diversité des arbres en forêt répond la diversité de leurs bois



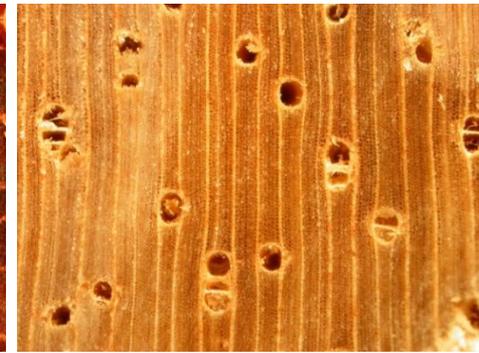
Diversité des anatomies sur bois massif à la loupe



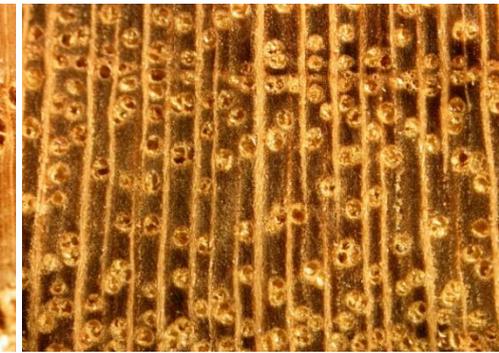
Brosimum guyanensis



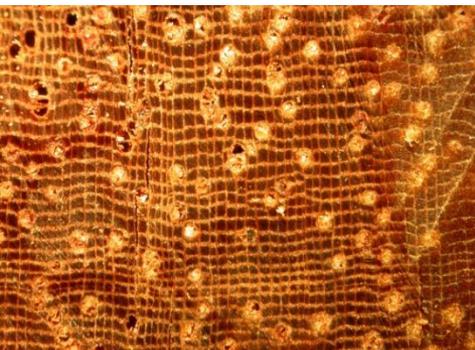
Brosimum rubescens



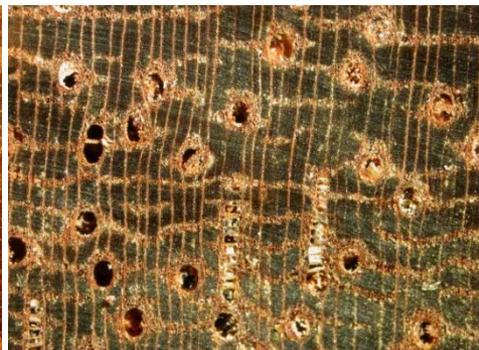
Cecropia obtusa



Cordia alliodora



Dialium guianensis



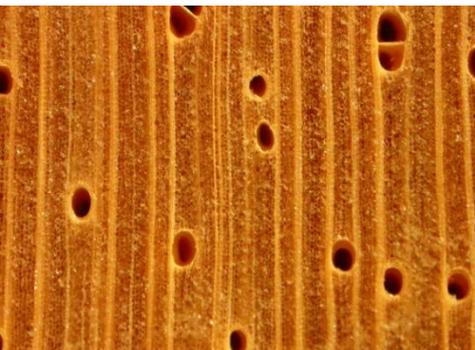
Dicorynia guianensis



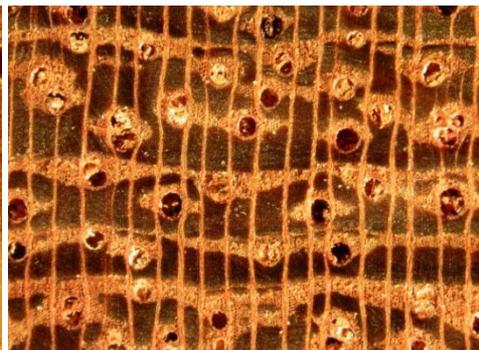
Diplotropis purpurea



Erisma uncinatum



Ochroma lagopus



Peltogyne venosa



Roupala sp.

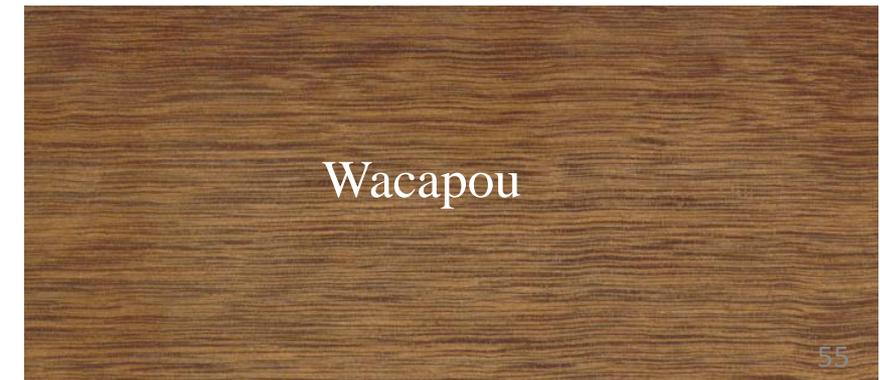
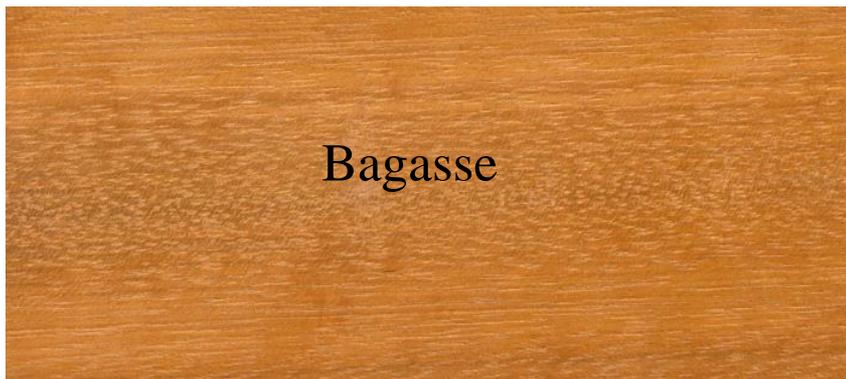
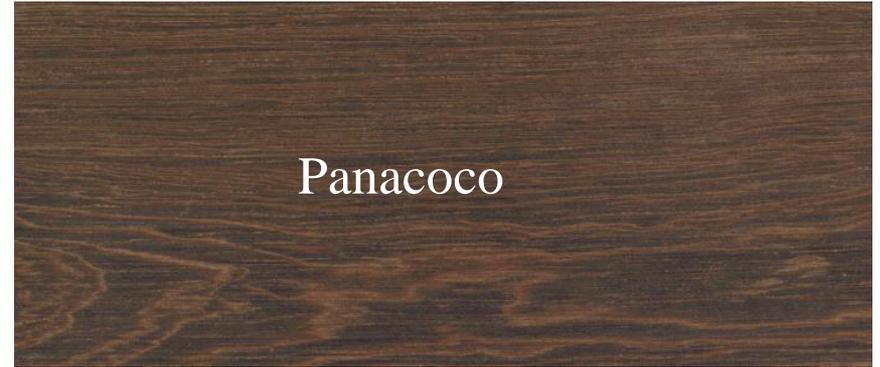
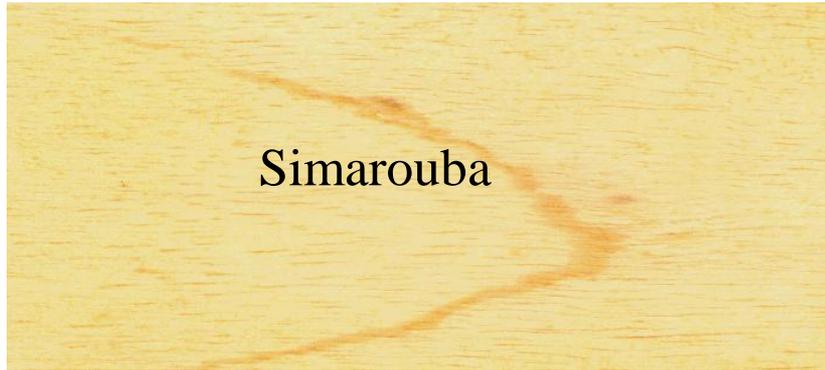


Simarouba amara

Diversité des aspects sur bois massif à l'œil nu



Diversité des aspects sur bois massif à l'œil nu



Conclusion

- Le bois de l'arbre est une arborescence avec imbrication de poutres élancées
- Le bois de l'arbre est précontraint
- Le bois est un matériau fibreux
- Le bois est un matériau cellulaire
- Le bois est un matériau à double niveau de forte anisotropie
- Le bois est un matériau polymérique hydro-carboné
- Le bois parfait est un polymère dopé, hygro et thermo-sensible
- Le bois est un éco-matériau qui stocke du carbone

La discussion est ouverte

