



**HAL**  
open science

# Origine biologique et physico-chimique de la diversité des bois

Bernard Thibaut

► **To cite this version:**

Bernard Thibaut. Origine biologique et physico-chimique de la diversité des bois. École thématique. Les bois et leurs usages: approches pluridisciplinaires de la diversité, Egleton, France. 2015. cel-01975929

**HAL Id: cel-01975929**

**<https://hal.science/cel-01975929v1>**

Submitted on 9 Jan 2019

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Ecole Thématique PLURIBOIS

*Les bois et leurs usages : approches pluridisciplinaires de la diversité*

18-22 Mai 2015 – Egletons



Le bois de l'arbre:  
composant biologique



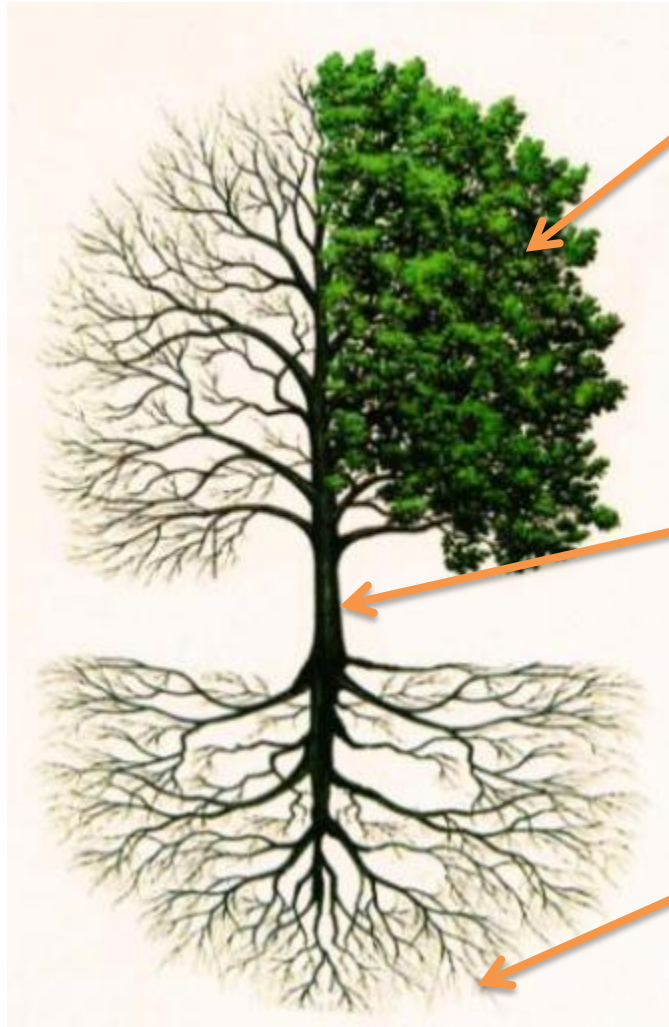
Le bois d'œuvre: matériau d'ingénierie.

**Origine biologique et physico-chimique de la diversité des bois**

*Bernard THIBAUT, CNRS - LMGC*

# Le bois de l'arbre

# Les fonctions du bois de l'arbre



*Les feuilles produisent la biomasse à partir de l'eau, du  $CO^2$  et de l'énergie solaire*

***Le compartiment ligneux est la structure qui connecte les feuilles et les racinelles.***

***La croissance du bois construit l'arbre et le bois a une fonction mécanique, hydraulique et de stockage***

*Les poils racinaires extraient l'eau et les sels minéraux du sol*

# Trois niveaux de description des structures et de la croissance de l'arbre

<i>Macroscopique</i>	Modèle architectural	et	empilement des cernes
<i>Microscopique</i>	Plan ligneux	et	structure de la paroi
<i>Moléculaire</i>	Extractibles	et	composition chimique
	↑		↑
	Signature génétique		Réponse à l'environnement

L'arbre: une croissance indéfinie grâce à des groupements de **cellules souches**:  
les **bourgeons** (croissance en longueur et ramifications des axes ligneux)  
et les **assises cambiales** (croissance en section des axes ligneux)  
Un axe ligneux peut servir à cloner un arbre

*C'est la croissance du bois qui construit l'arbre*

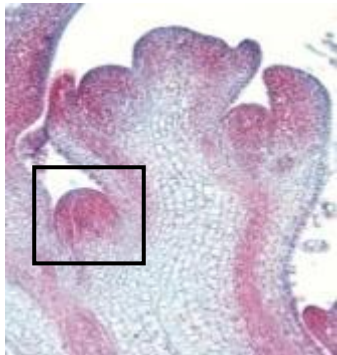
Niveau macroscopique



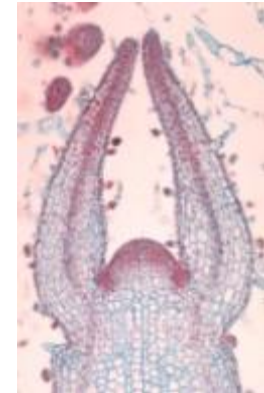
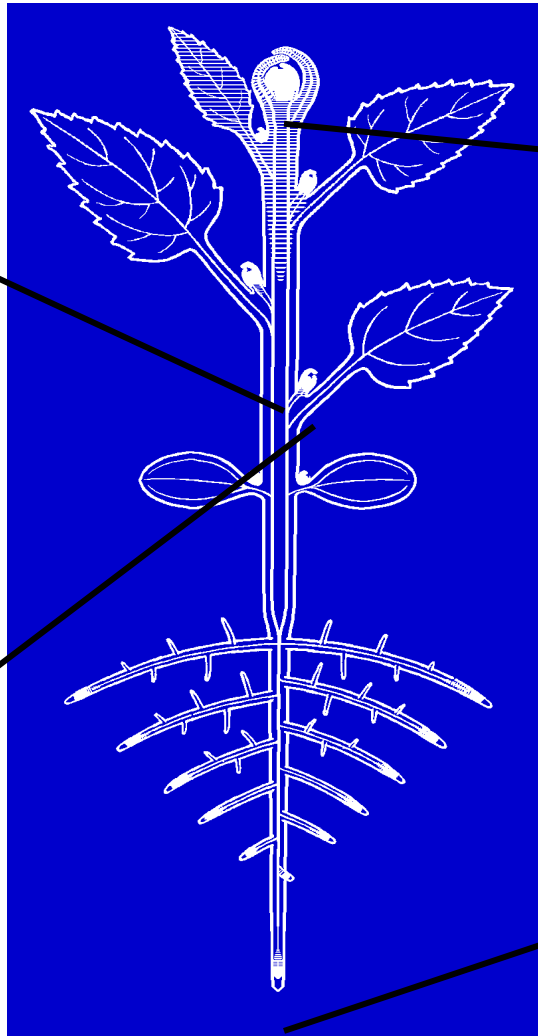
# La croissance primaire



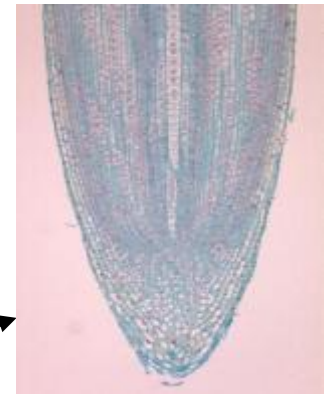
Tige avec  
moelle



Bourgeon  
latéral



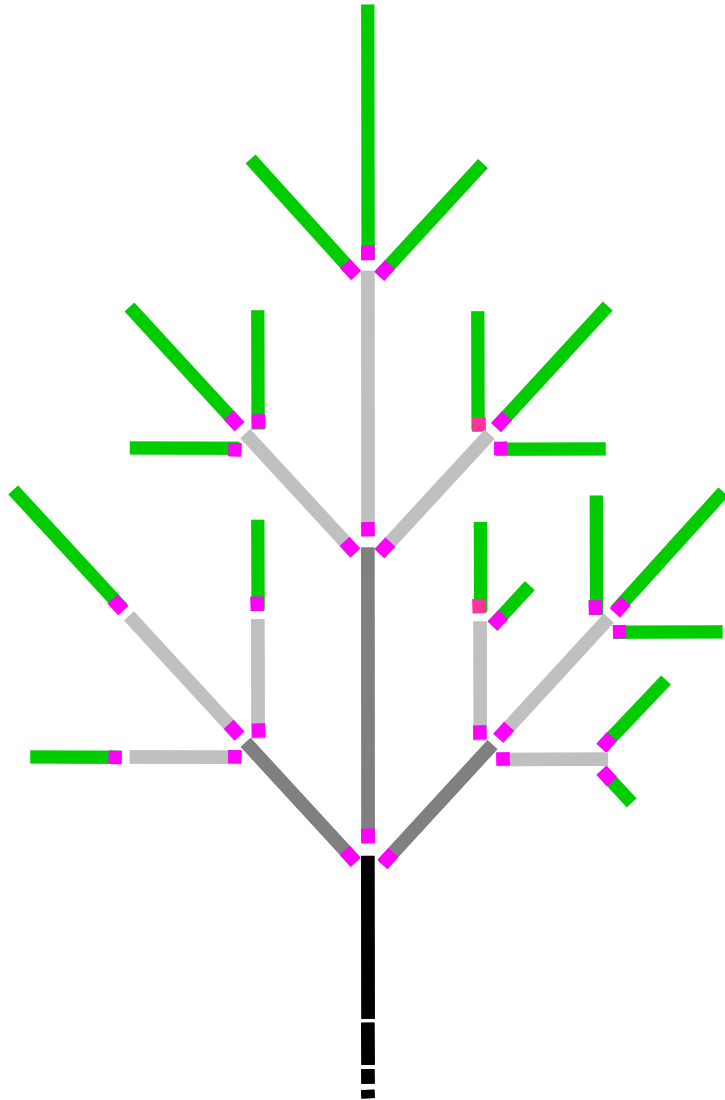
Bourgeon  
terminal



Coiffe  
racinaire

*Les bourgeons sont les méristèmes primaires, leurs divisions cellulaires permettent la création de nouveaux rameaux et l'élongation des axes existants*

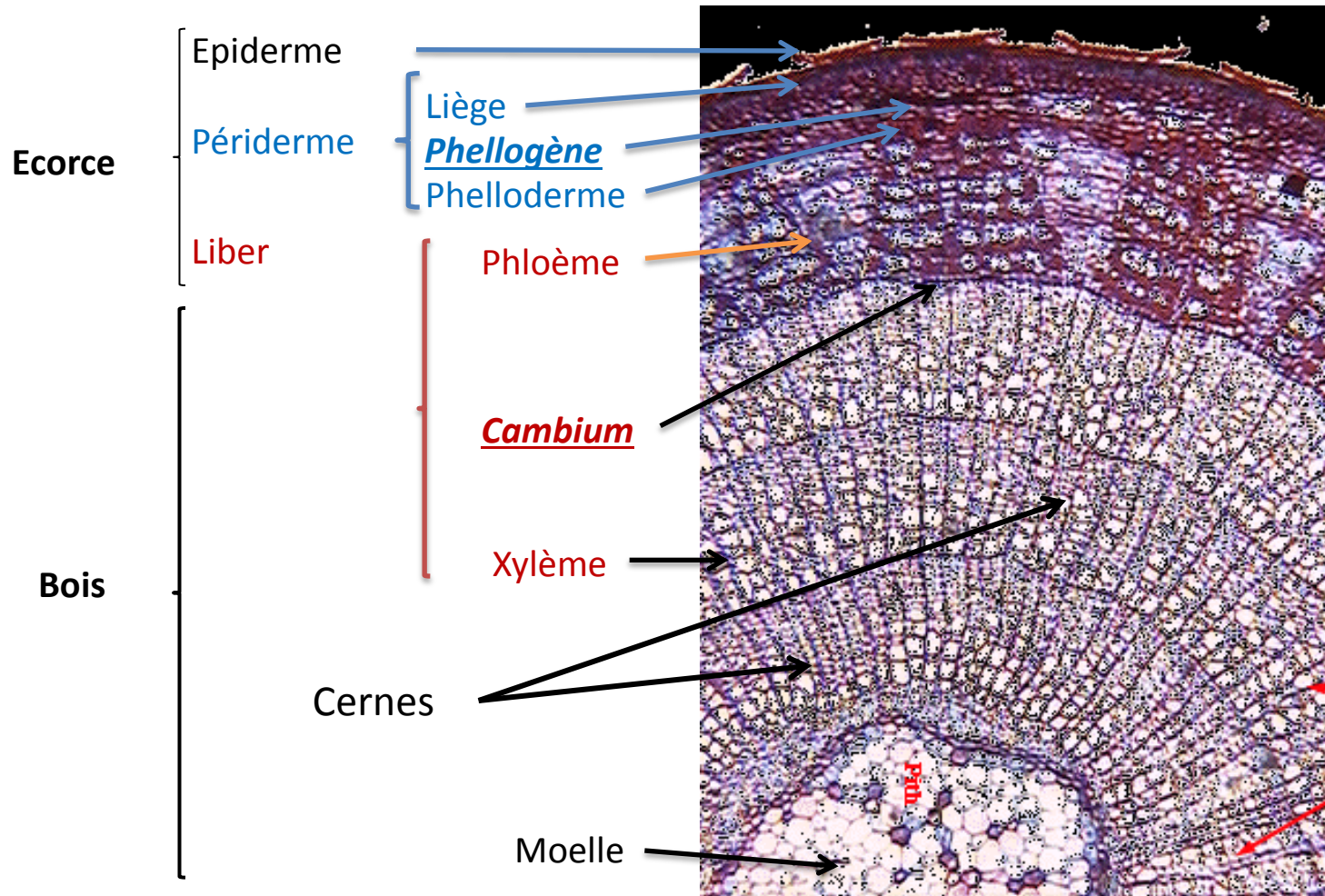
# Les étapes de la croissance primaire: les unités de croissance



Année 4  
Année 3  
Année 2  
Année 1  
Bourgeon

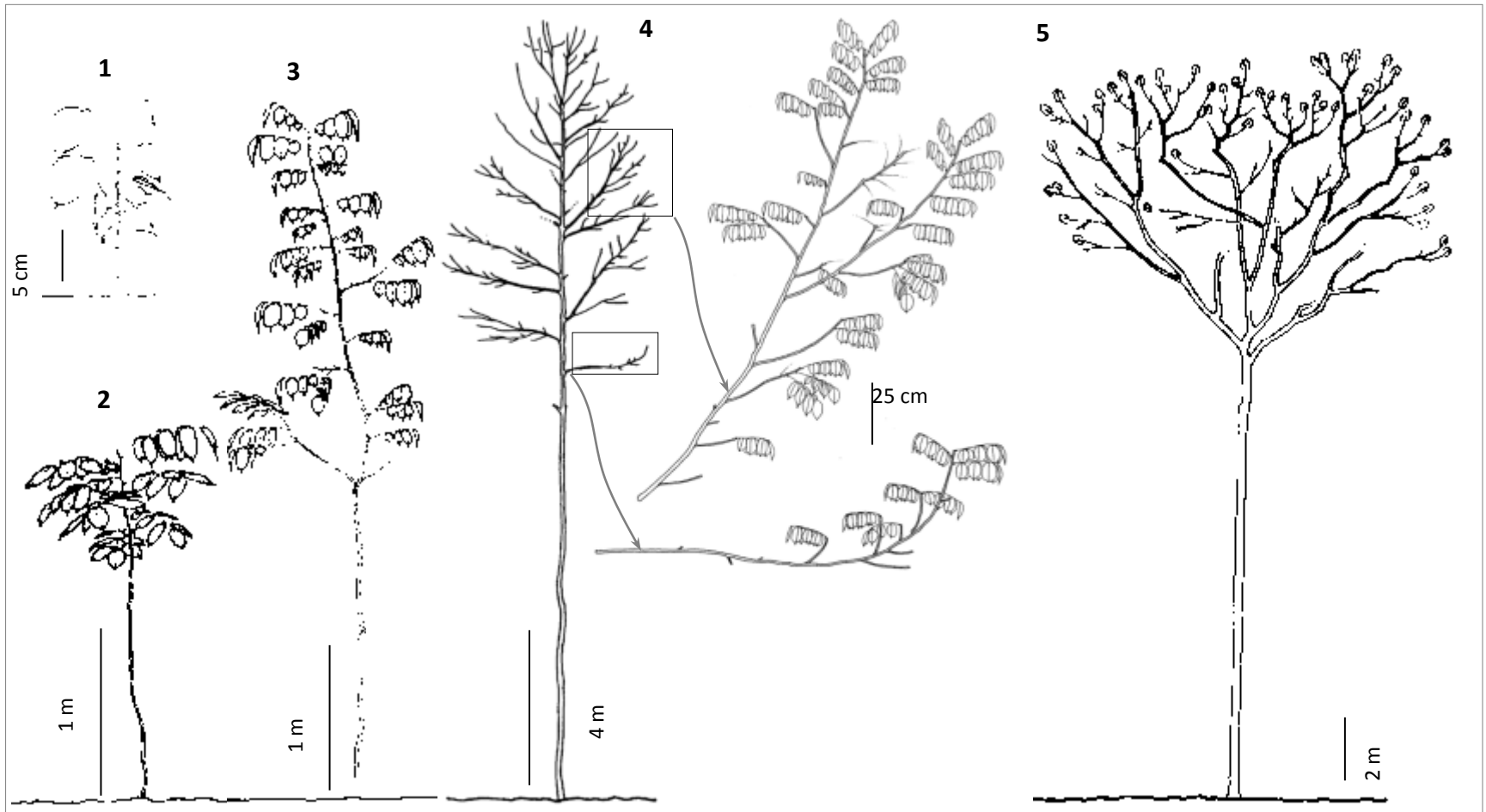


# La croissance secondaire



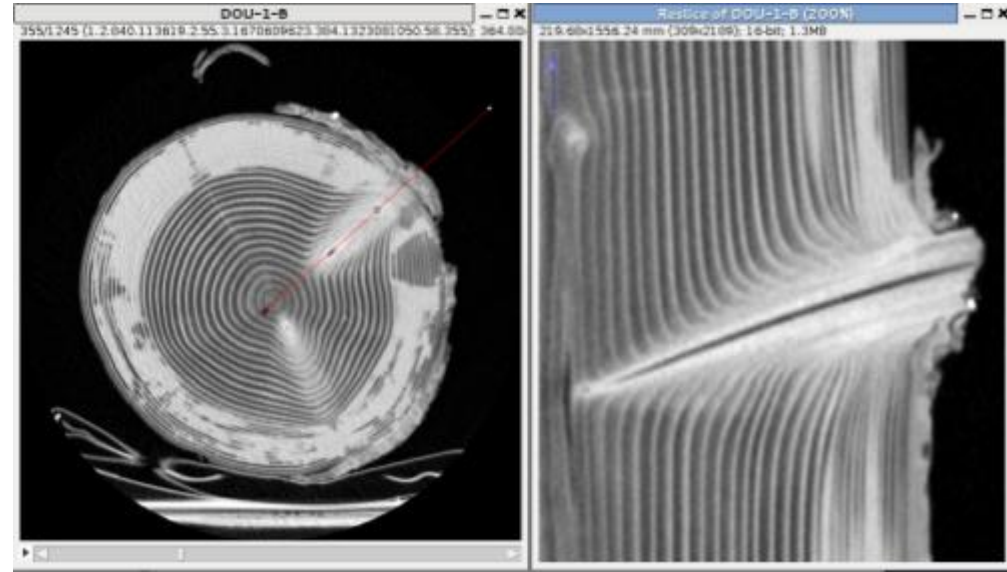
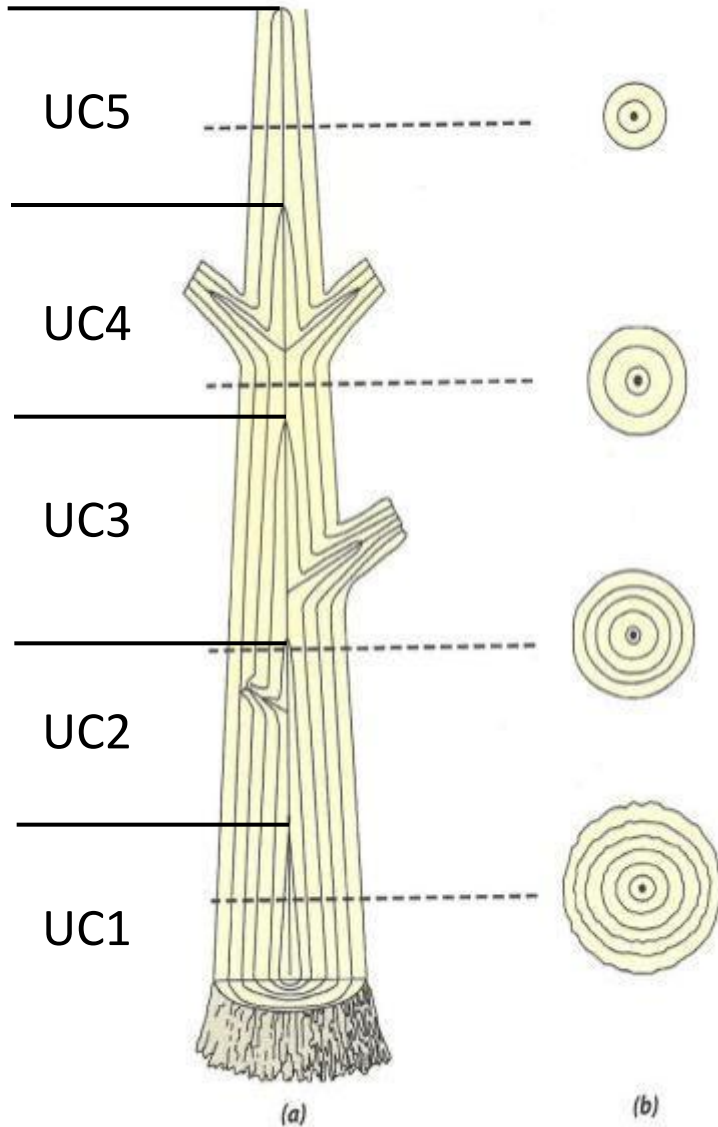
***Le cambium et le phellogène sont des méristèmes en constante division cellulaire.  
Le cambium produit le phloème et le xylème qui gèrent la conduction de la sève, la  
construction et la régulation mécanique de l'arbre  
Le phellogène produit le péricorde qui protège le bois de l'arbre par l'extérieur***

# Géométrie externe du compartiment bois: l'architecture de l'arbre

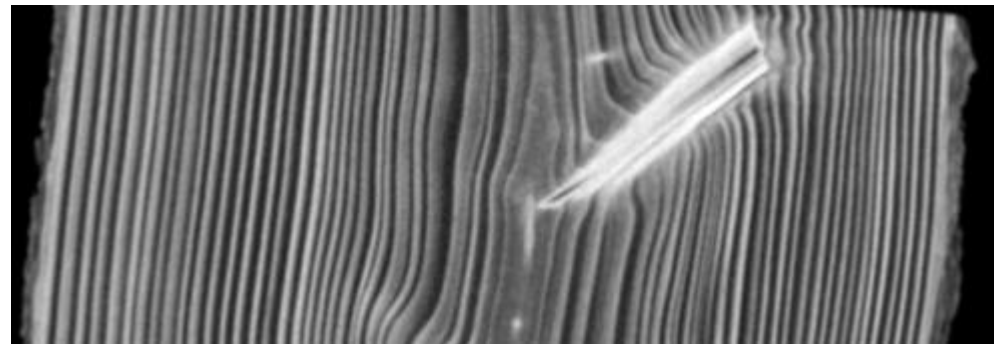


***Le modèle architectural est le schéma de construction propre à l'espèce,  
il est piloté par le génome***

# Géométrie interne: empilement 3D des cernes et nodosité



Jonction de branche



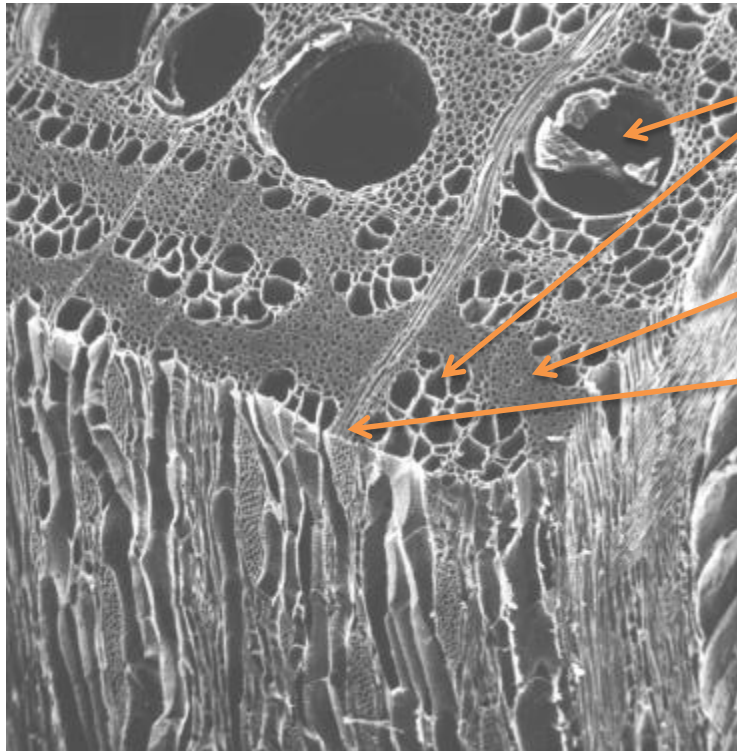
Branche incluse

La largeur des cernes dépend de l'histoire de l'arbre et de son environnement  
C'est un moyen de lire l'histoire dans le bois

Niveau microscopique



# Anatomie du xylème



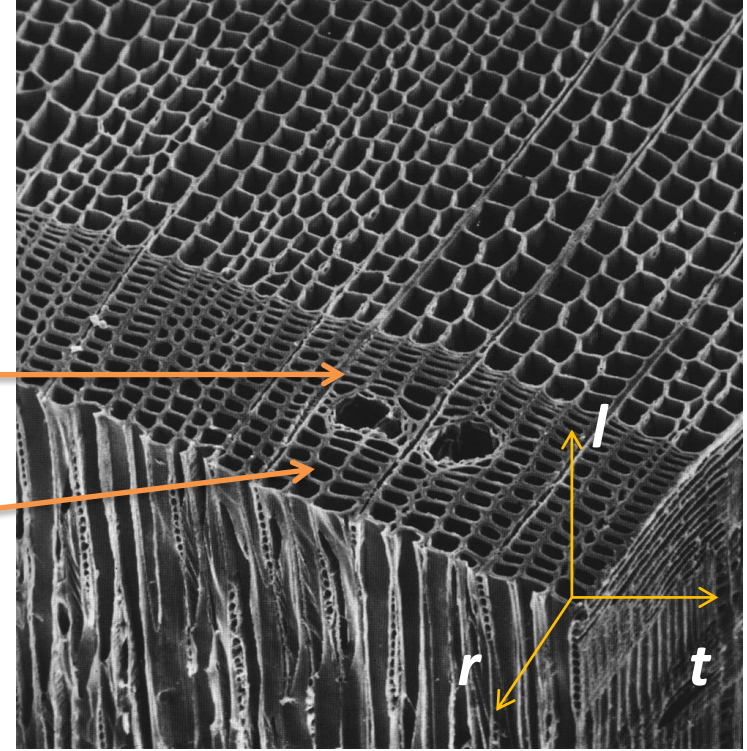
Feuillu

Vaisseaux

Fibres

Parenchyme radial

Trachéides

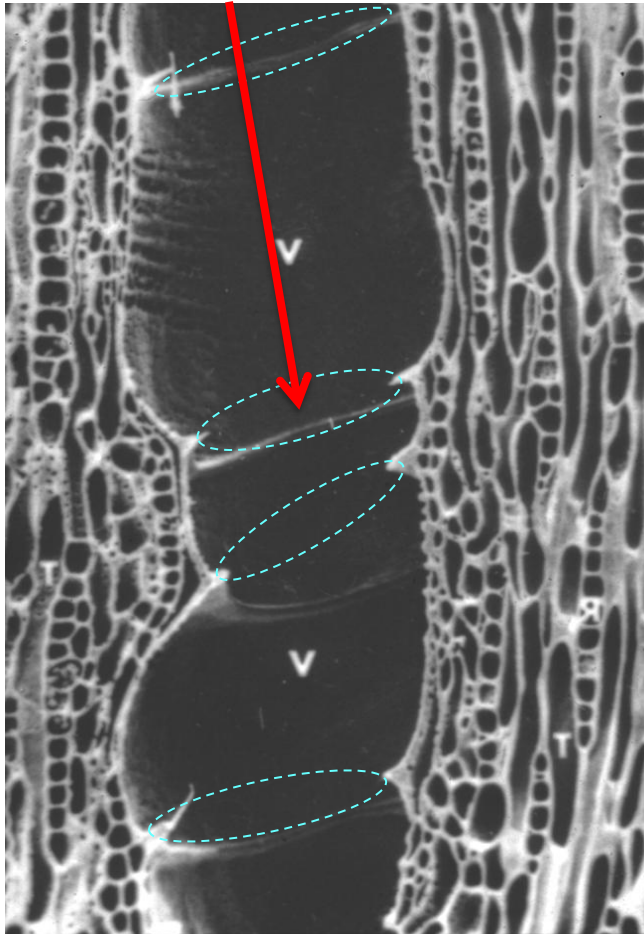


Résineux

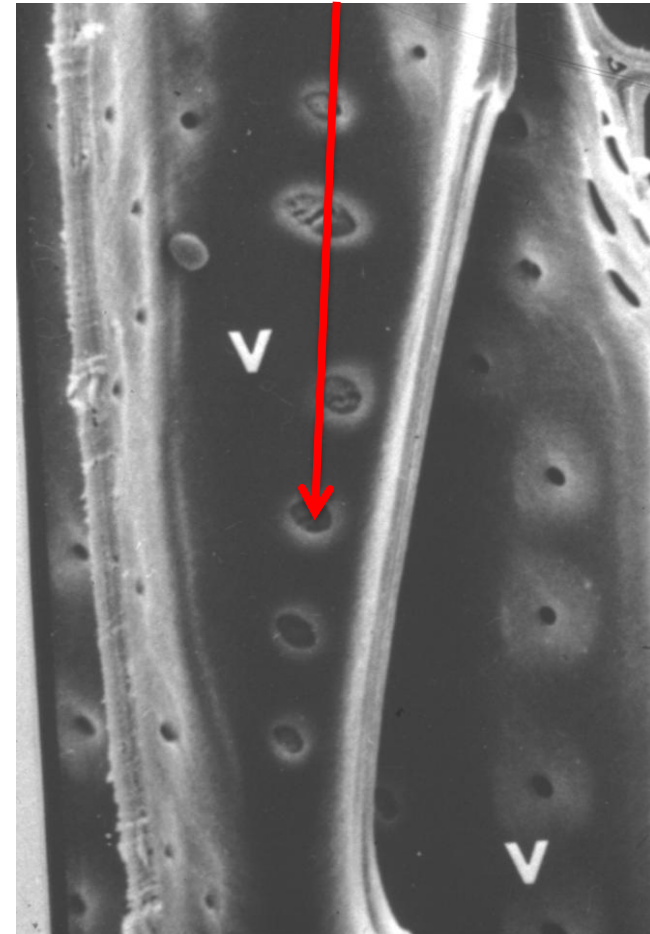
***Les fibres et trachéides ont un rôle mécanique de soutien***  
***Les vaisseaux et les trachéides ont un rôle de conduction hydraulique***  
***Les parenchymes ont un rôle de stockage de nutriments, de régulation hydraulique, de gestion des défenses et de régénération de cellules souches***

# Circulation des fluides dans le xylème cas d'un feuillu

Perforation

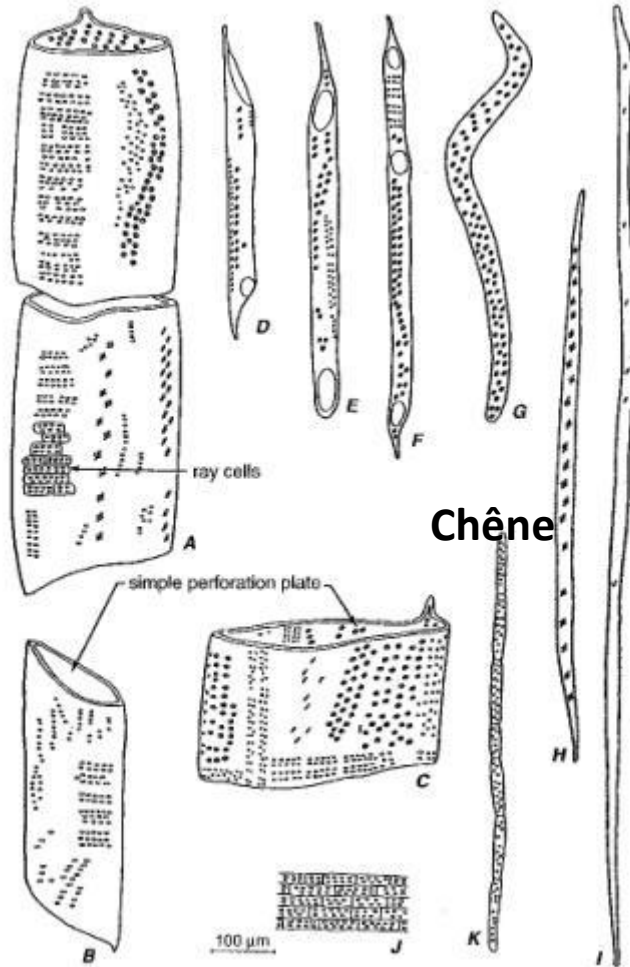


Ponctuation

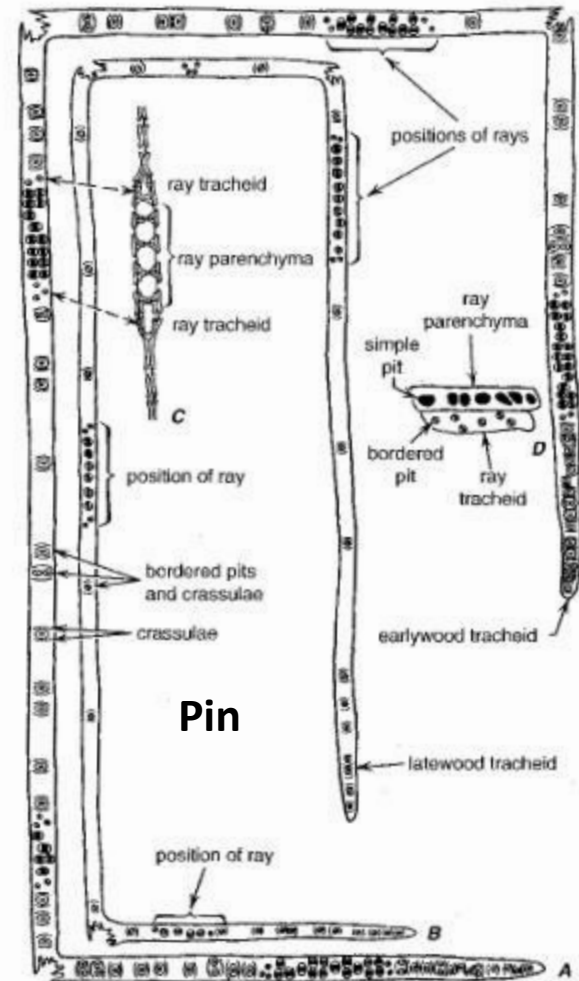




# Éléments cellulaires du xylème (d'après Esau)

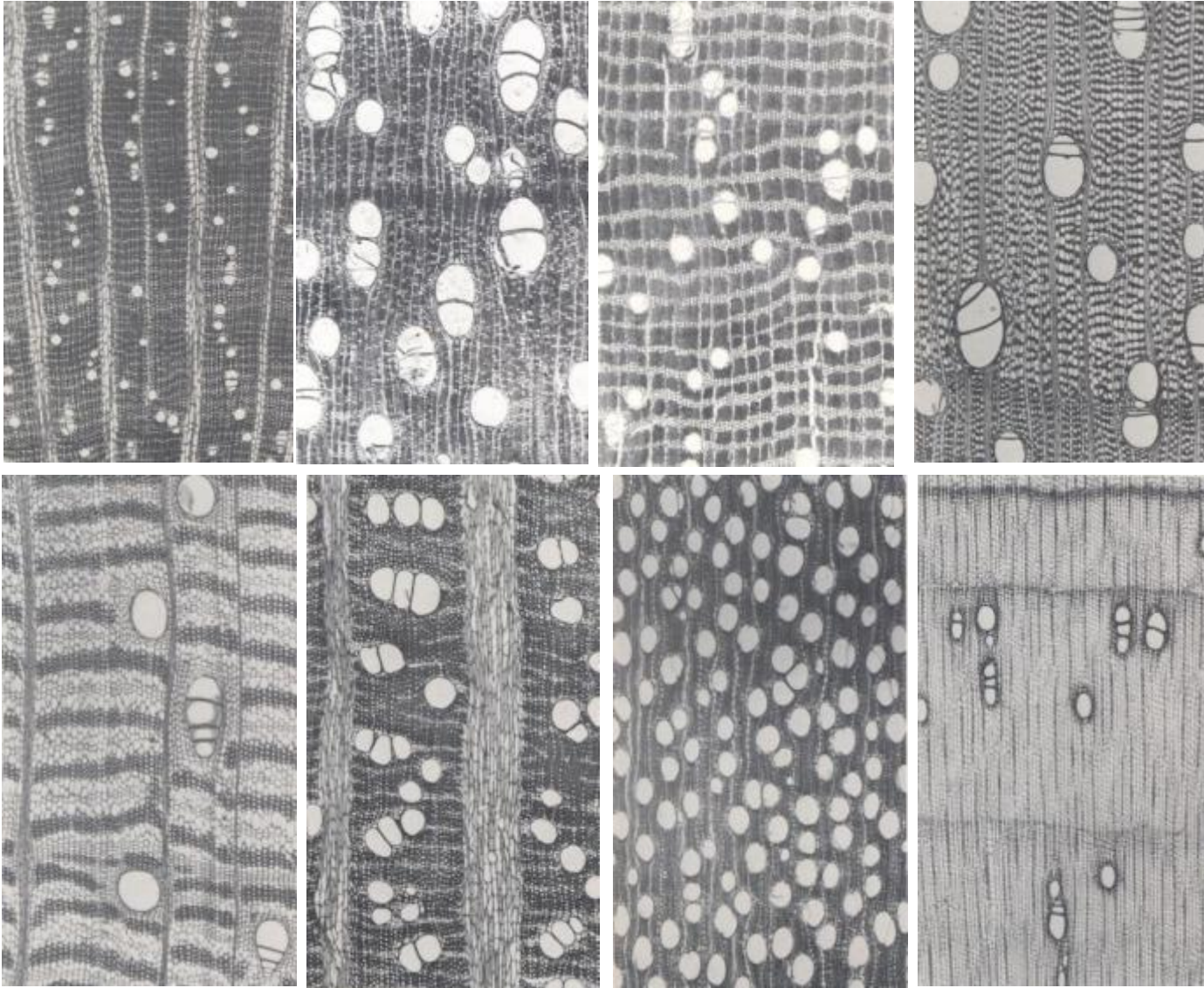


a – c : éléments de gros vaisseaux ; d-f : éléments de petits vaisseaux ; g : trachéide ; h : fibre-trachéide ; i : fibre, j :parenchyme radial ; k : parenchyme axial



a : Trachéide bois initial ; b : Trachéide bois final ; c : rayon face tangentielle, d : 2 cellules rayon face radiale

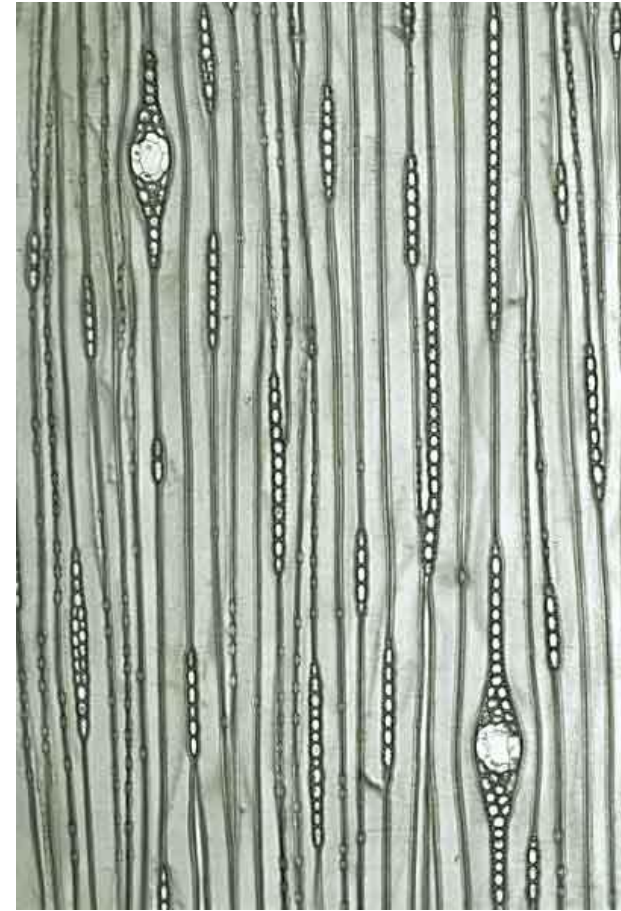
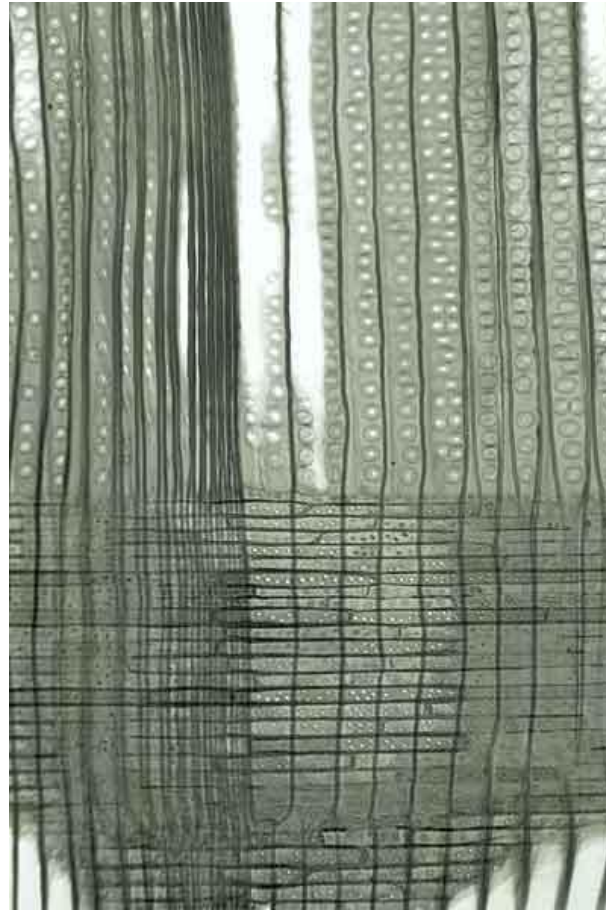
# Le plan ligneux, signature de l'espèce



***Le plan ligneux est le schéma d'organisation 3D des cellules et de leurs communications propre à l'espèce. Il est piloté par le génome***

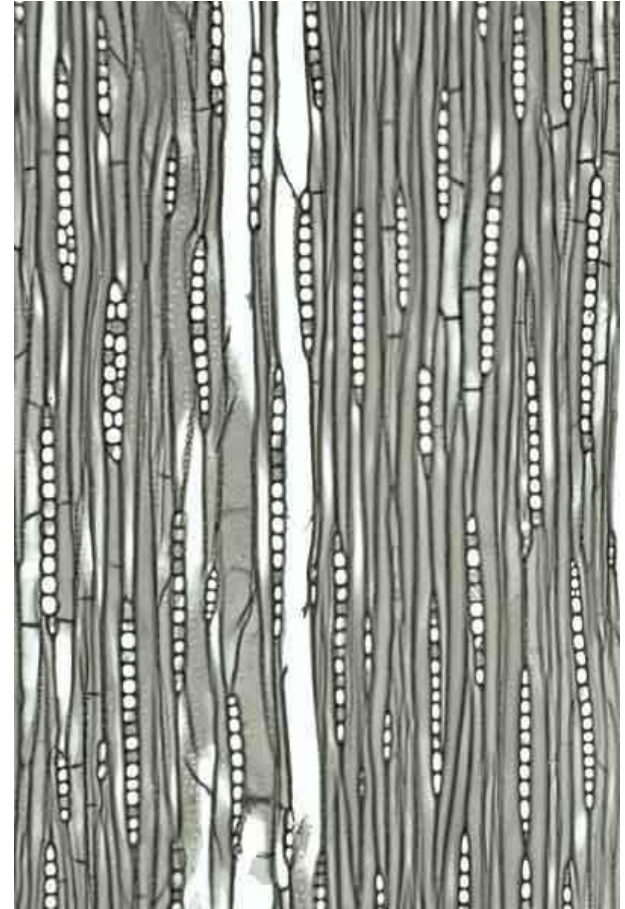
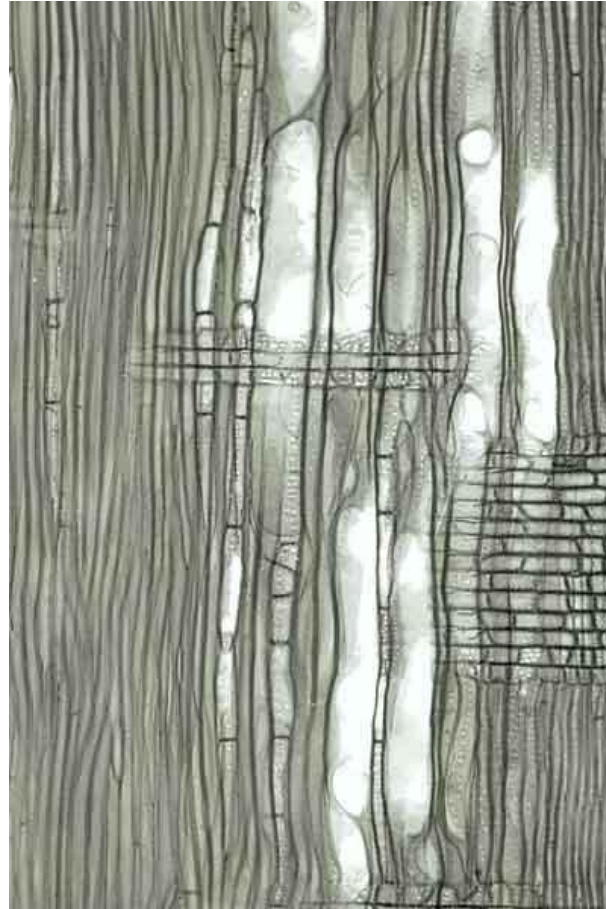
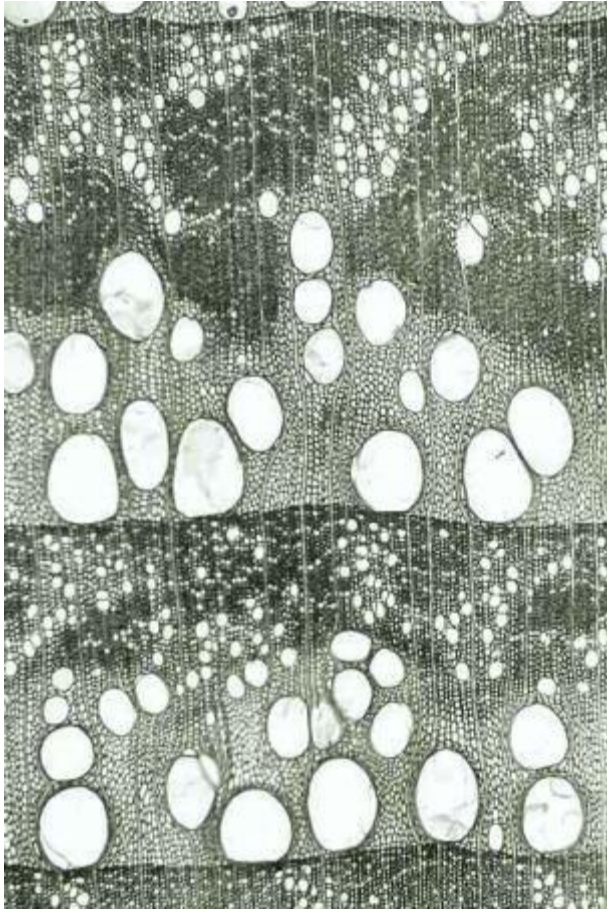


# Les plans d'observation anatomiques: Epicéa (conifère)



# Les plans d'observation anatomiques: Châtaignier

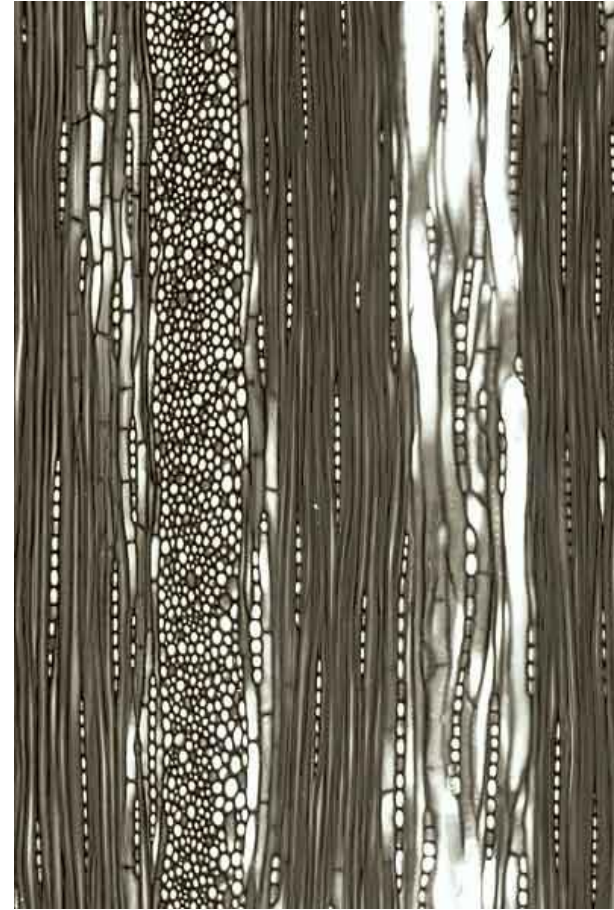
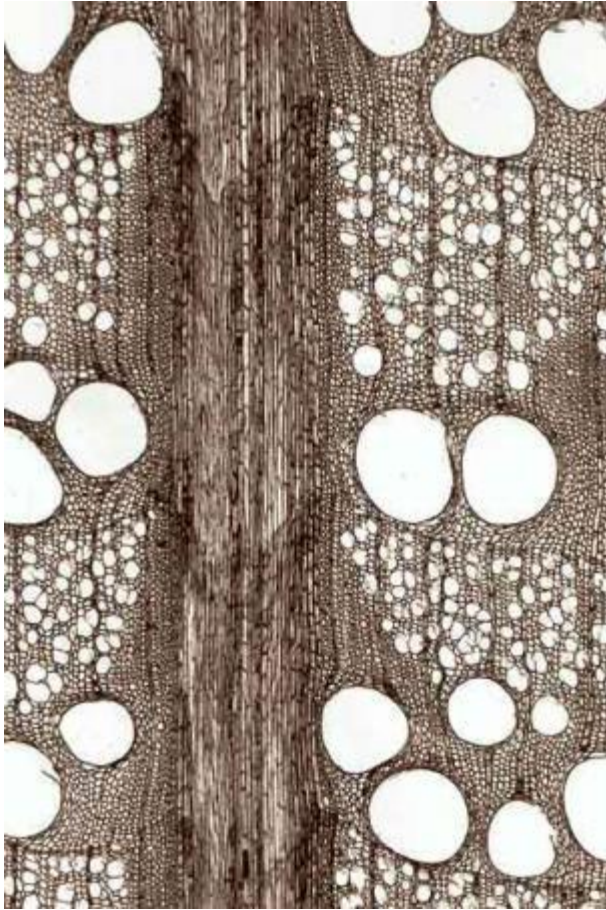
*(zone poreuse initiale)*





# Les plans d'observation anatomiques: Chêne

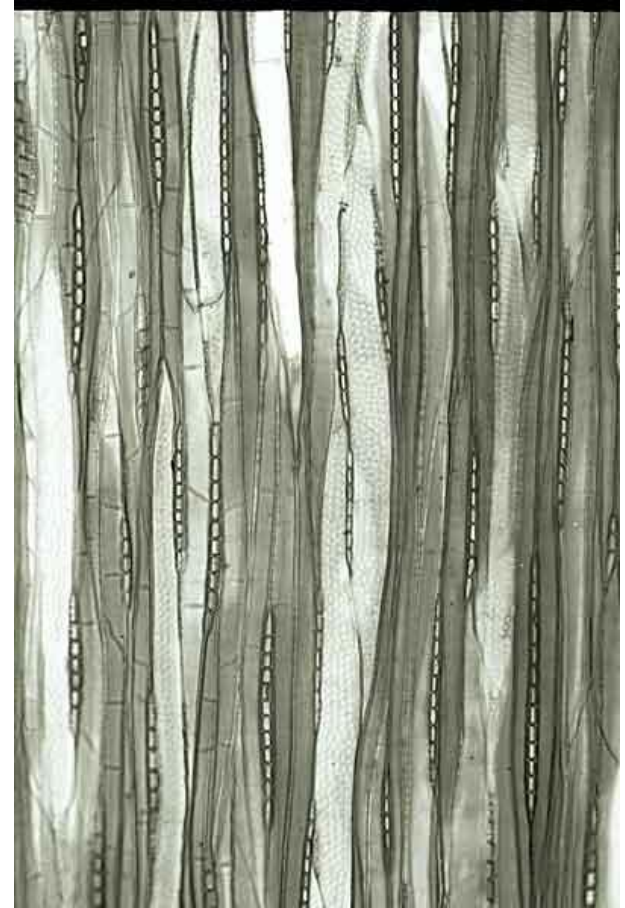
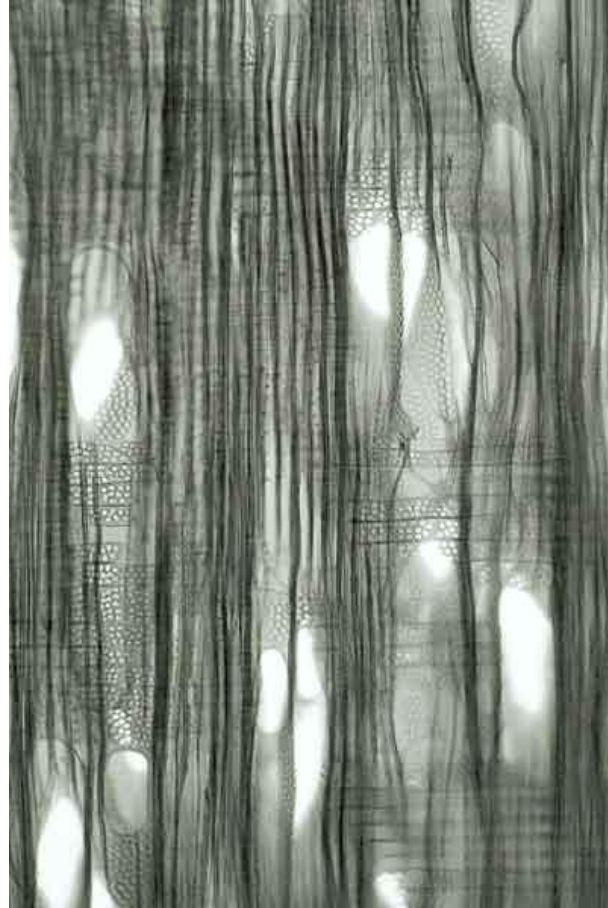
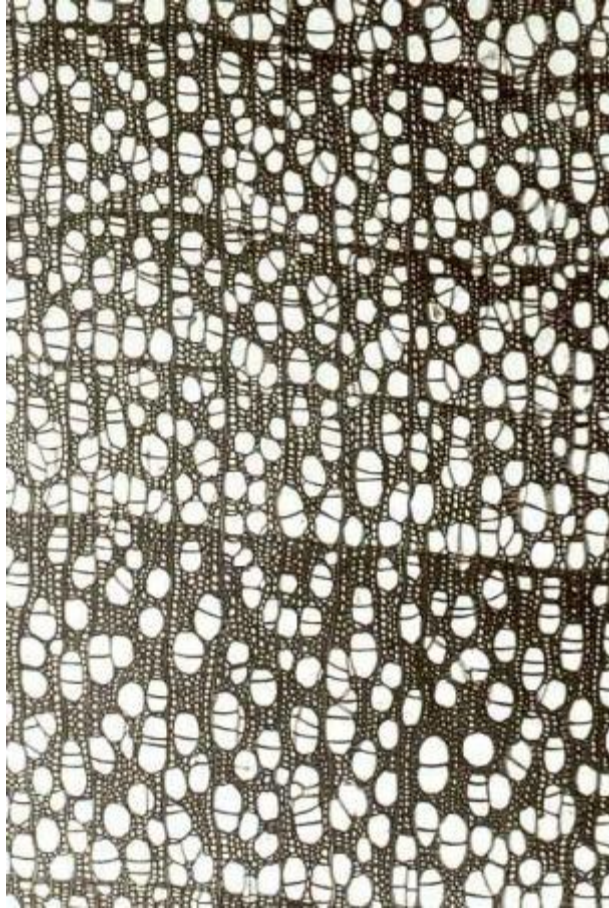
*(zone poreuse initiale, gros rayons)*





# Les plans d'observation anatomiques: Peuplier

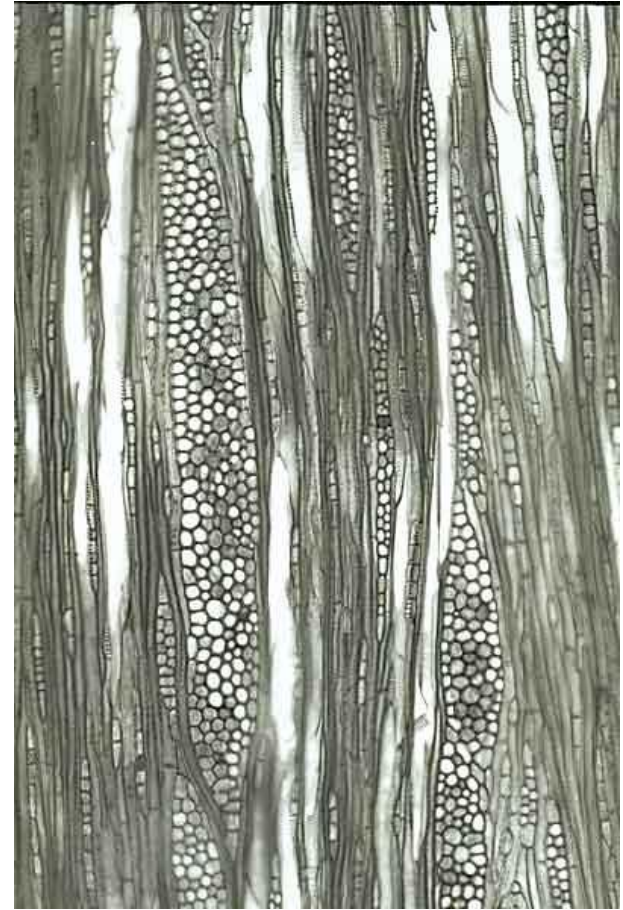
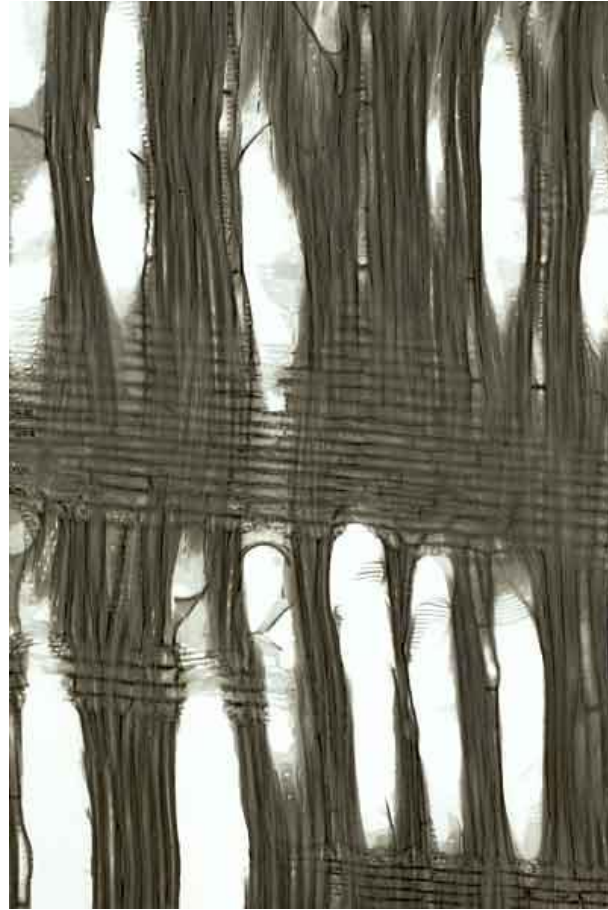
*(pores diffus)*



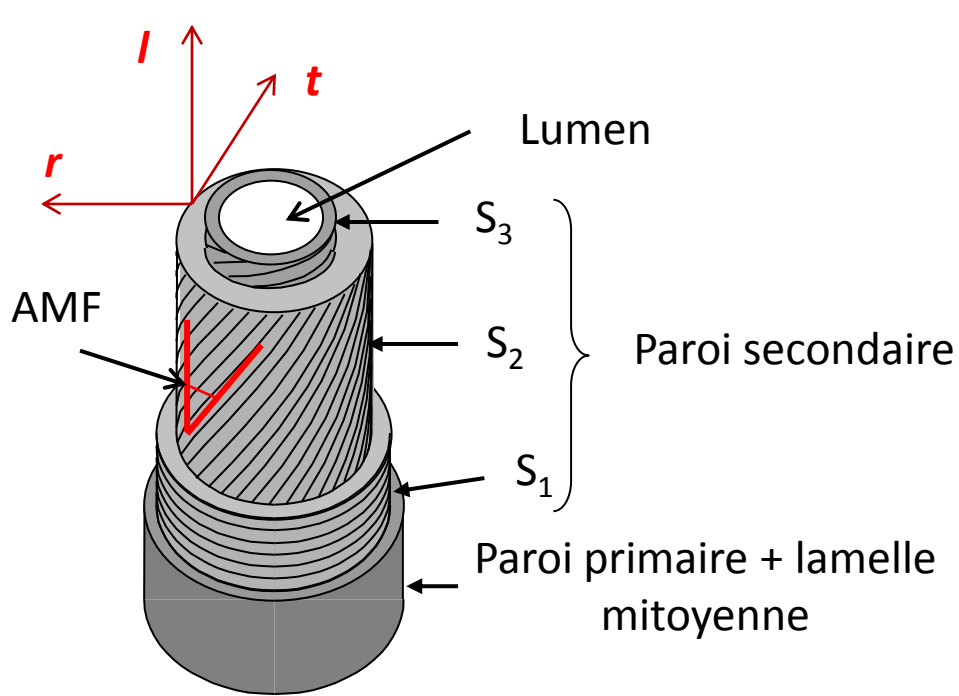


# Les plans d'observation anatomiques: Hêtre

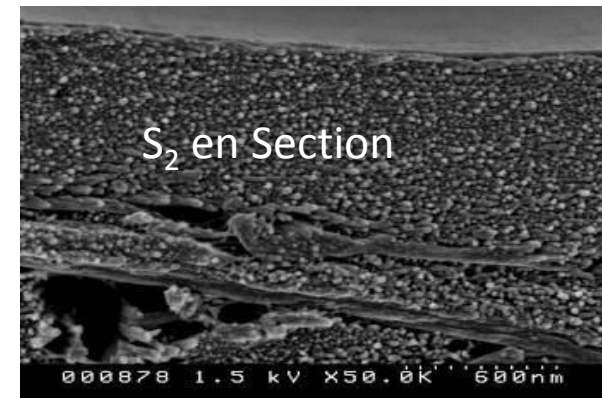
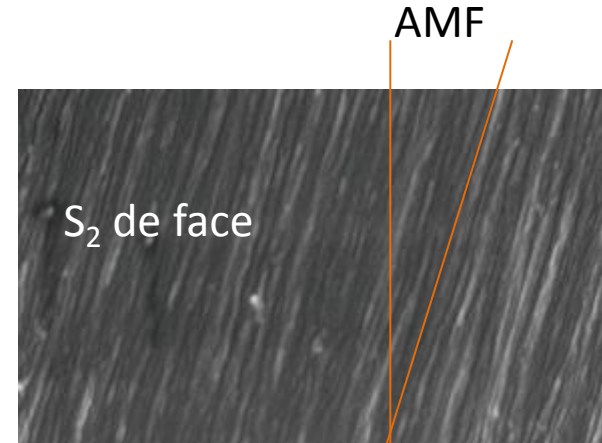
*(pores diffus, gros rayons)*



# Ultrastructure de la paroi d'une fibre

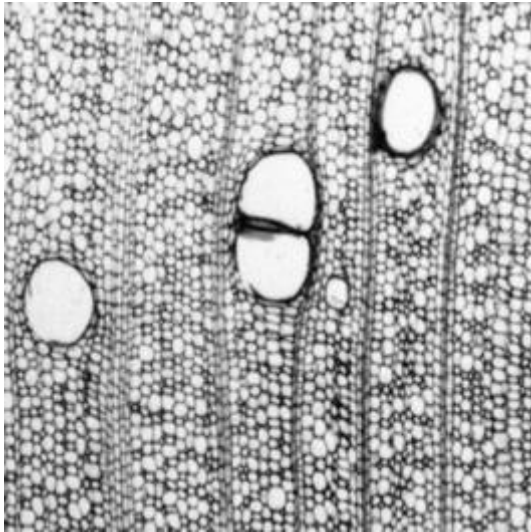


Organisation de la paroi de la fibre **La couche S<sub>2</sub> est la plus épaisse**

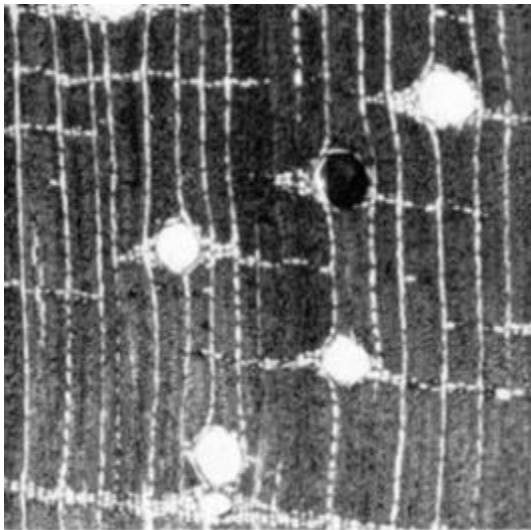


Chaque couche est un composite à fibres cristallines dans une matrice amorphe

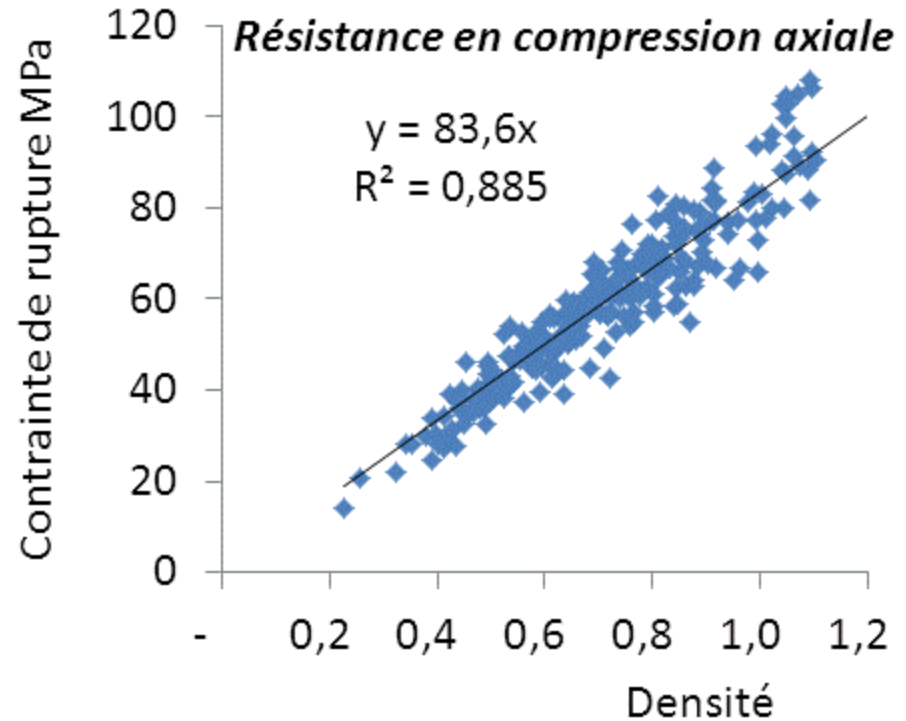
# La densité est la 1<sup>ère</sup> clé des propriétés mécaniques du xylème



**Balsa** Densité = 0,15  
Porosité = 90%



**Panacoco** Densité = 1,2  
Porosité = 20%

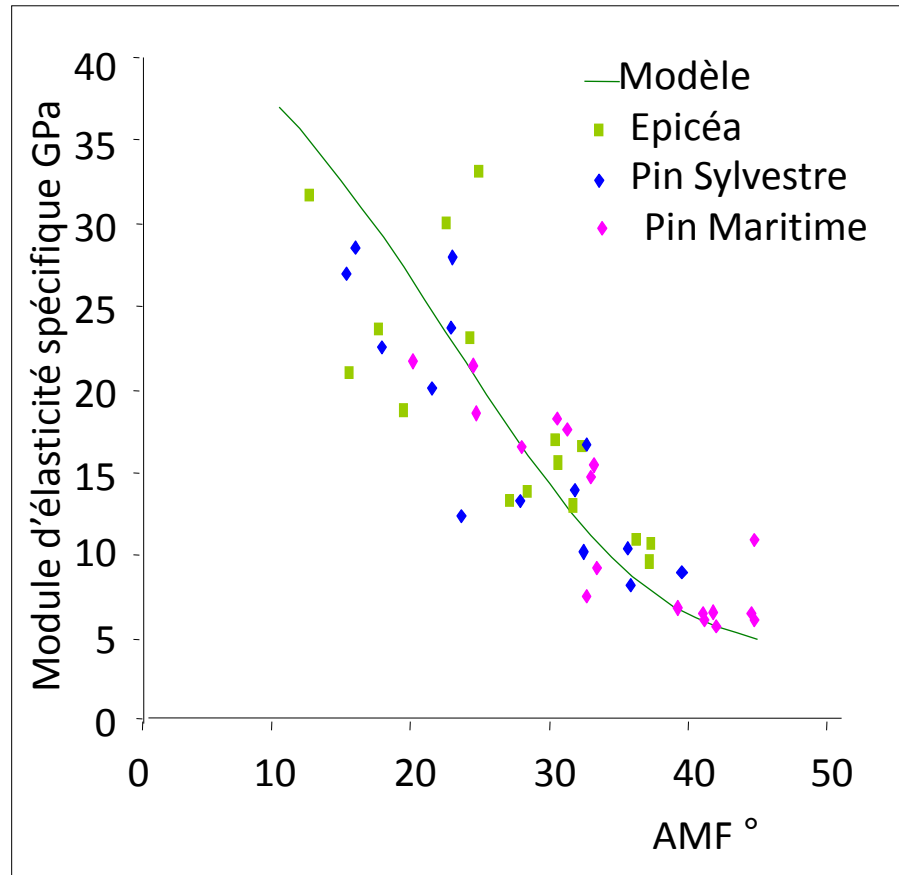
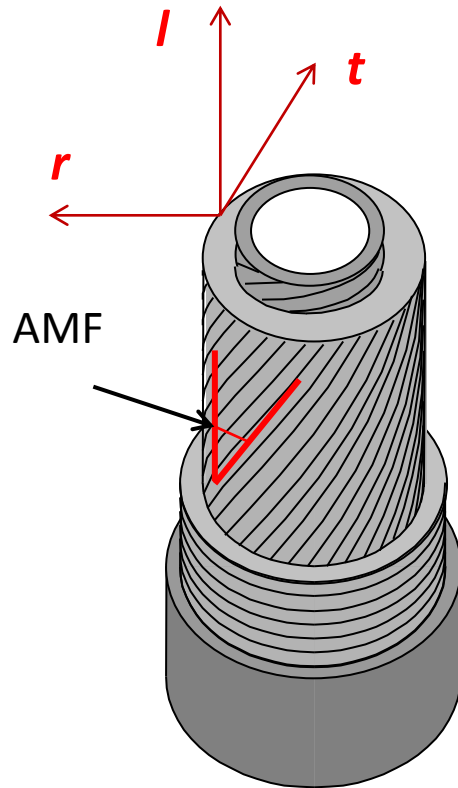


***La résistance mécanique du bois dans la direction du fil est proportionnelle à sa densité.***



# L'angle des nano-fibres de cellulose est la 2<sup>ème</sup> clé des propriétés mécaniques du xylème

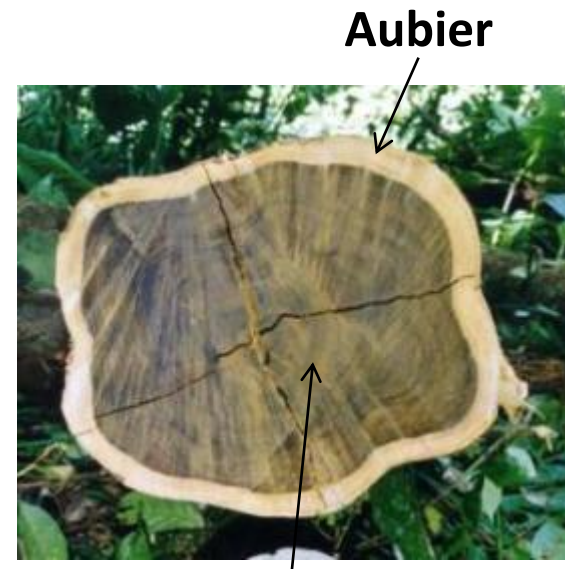
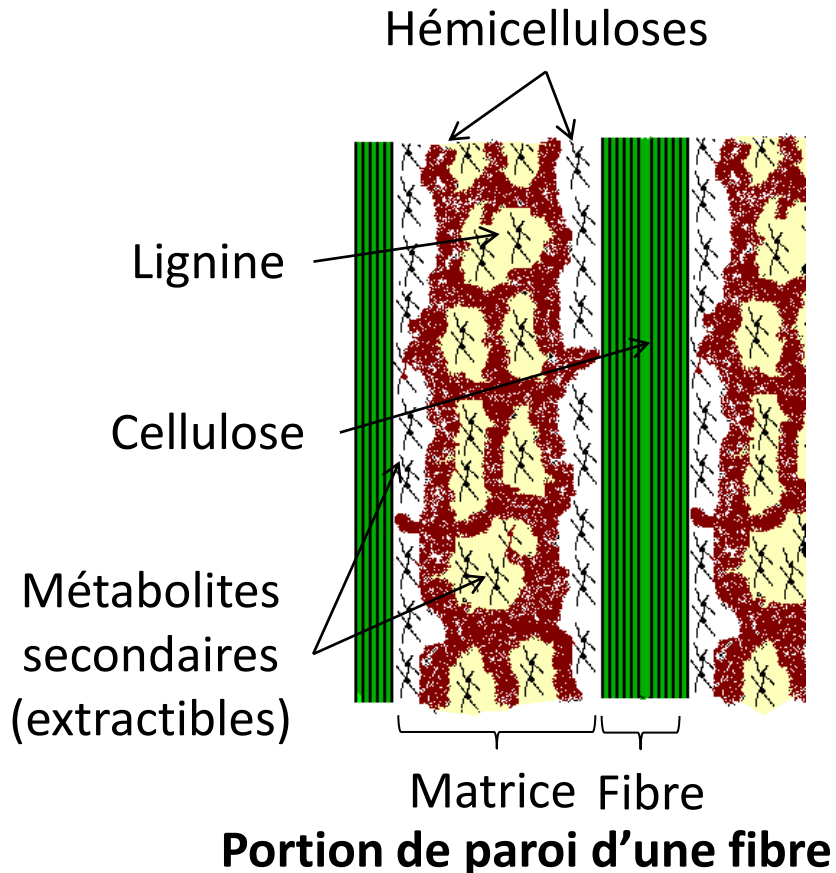
## Il est aussi régulé par l'environnement



Le module spécifique: (Module d'élasticité / (Densité)) est un bon indicateur de l'angle des micro fibrilles

# Niveau moléculaire

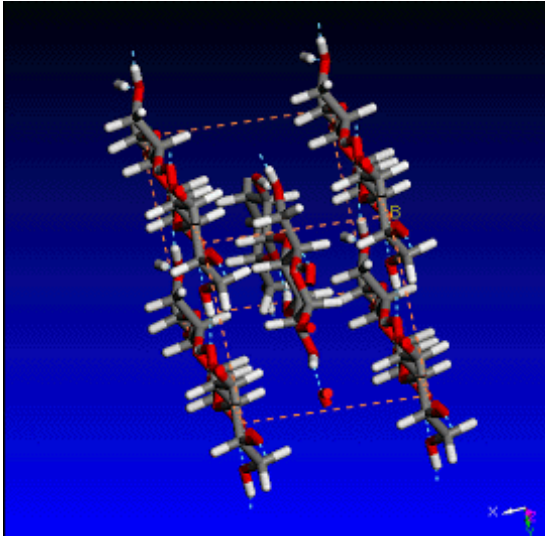
# Chimie de la paroi et duraminisation



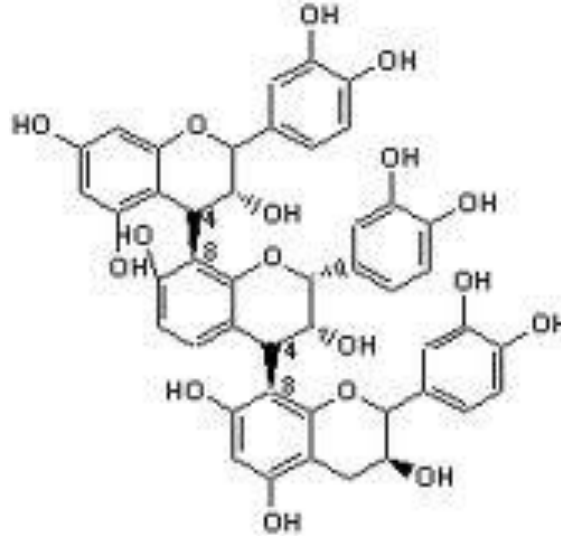
**Bois de cœur (duramen)**  
*Lors de la mort programmée des parenchymes, il y a synthèse de petites molécules qui protègent l'arbre par l'intérieur: les extractibles*



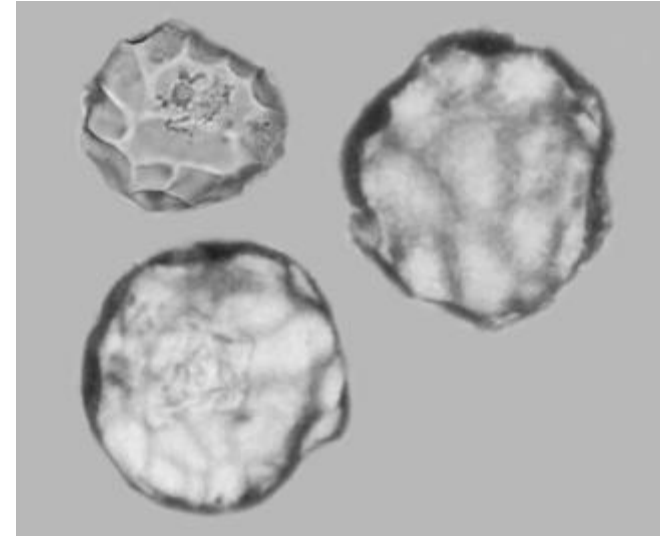
# Composition chimique de la paroi: macromolécules, métabolites et minéraux



Cristal de cellulose



Tanin

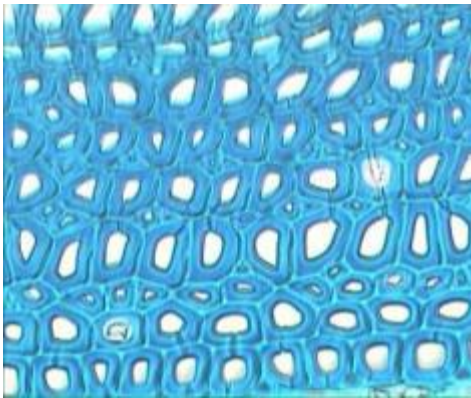


Cristaux de silice

La signature chimique, propre à l'espèce, traduit la stratégie de défense du xylème, elle est pilotée par le génome

# Les fonctions du xylème

# Mécanique, hydraulique, défense, stockage



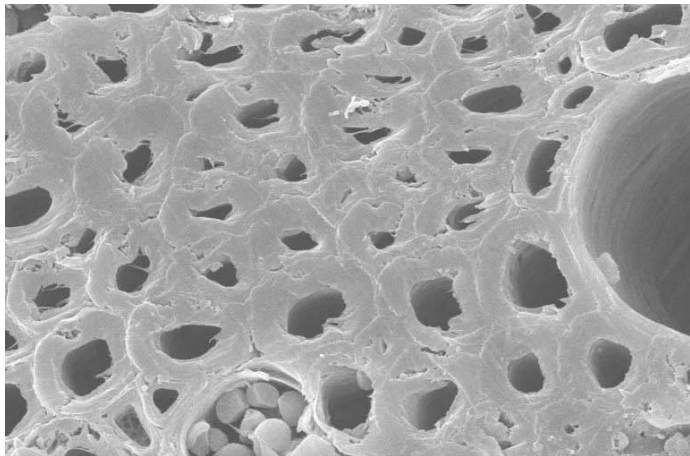
Système squelettique



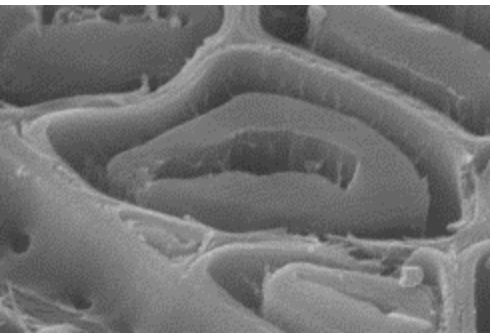
**Soutien**  
(gravité, vent...)

**Circulation**  
(eau, minéraux)

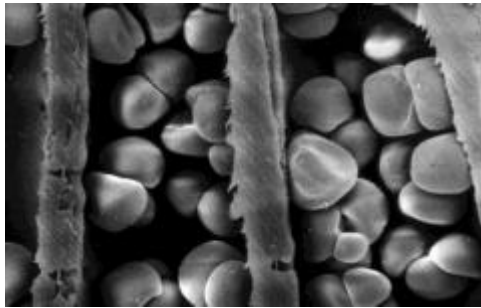
Système musculaire



Système vasculaire



Système de biosynthèses



**Contrôle de la posture**  
(redressements)

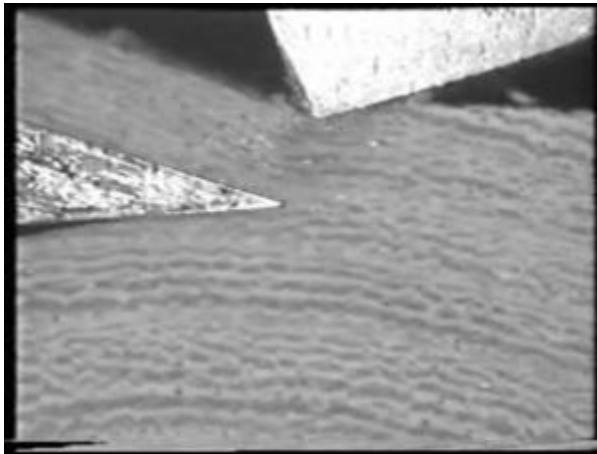
**Pérennité**  
(réserves, défenses) 28

# De l'arbre au bois d'oeuvre

# La déconstruction de l'arbre

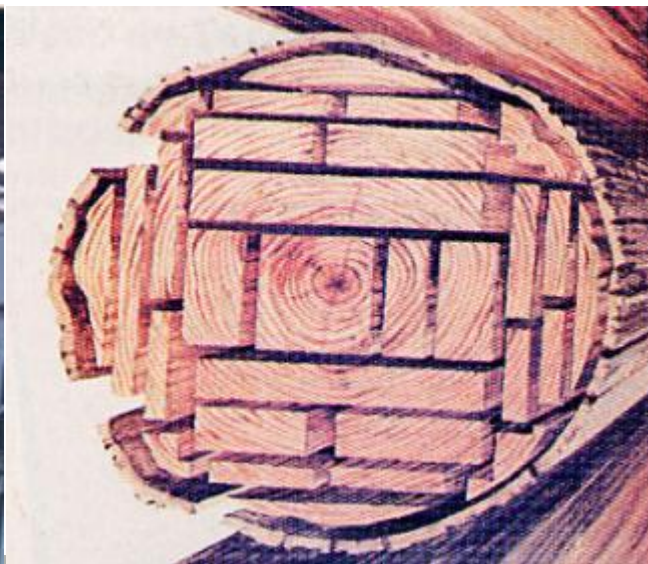
- La première étape est l'abattage de l'arbre et son tronçonnage en grumes et billons
- La deuxième étape est le débit en profilés
- La troisième étape est le séchage de ces éléments

**Le bois d'œuvre (matériau pour nous) commence sa vie après ces étapes de déconstruction de l'arbre, il ne concerne que le xylème des axes ligneux**





# Les étapes de la déconstruction du xylème



## Bois d'œuvre

### *Tronçonnage:*

grumes et billons

### *Fendage et sciage:*

profilés bois

### *Déroutage et tranchage:*

feuilles de bois

## Bois d'industrie

### *Fragmentation:*

plaquettes

### *Défibrage:*

fibres

### *Déconstruction de la*

*paroi:* molécules



On peut toujours utiliser les produits de déconstruction comme combustible



# Les produits de la déconstruction du xylème



Bois rond



Poutres



Planches



Placages



Copeaux



Fibres

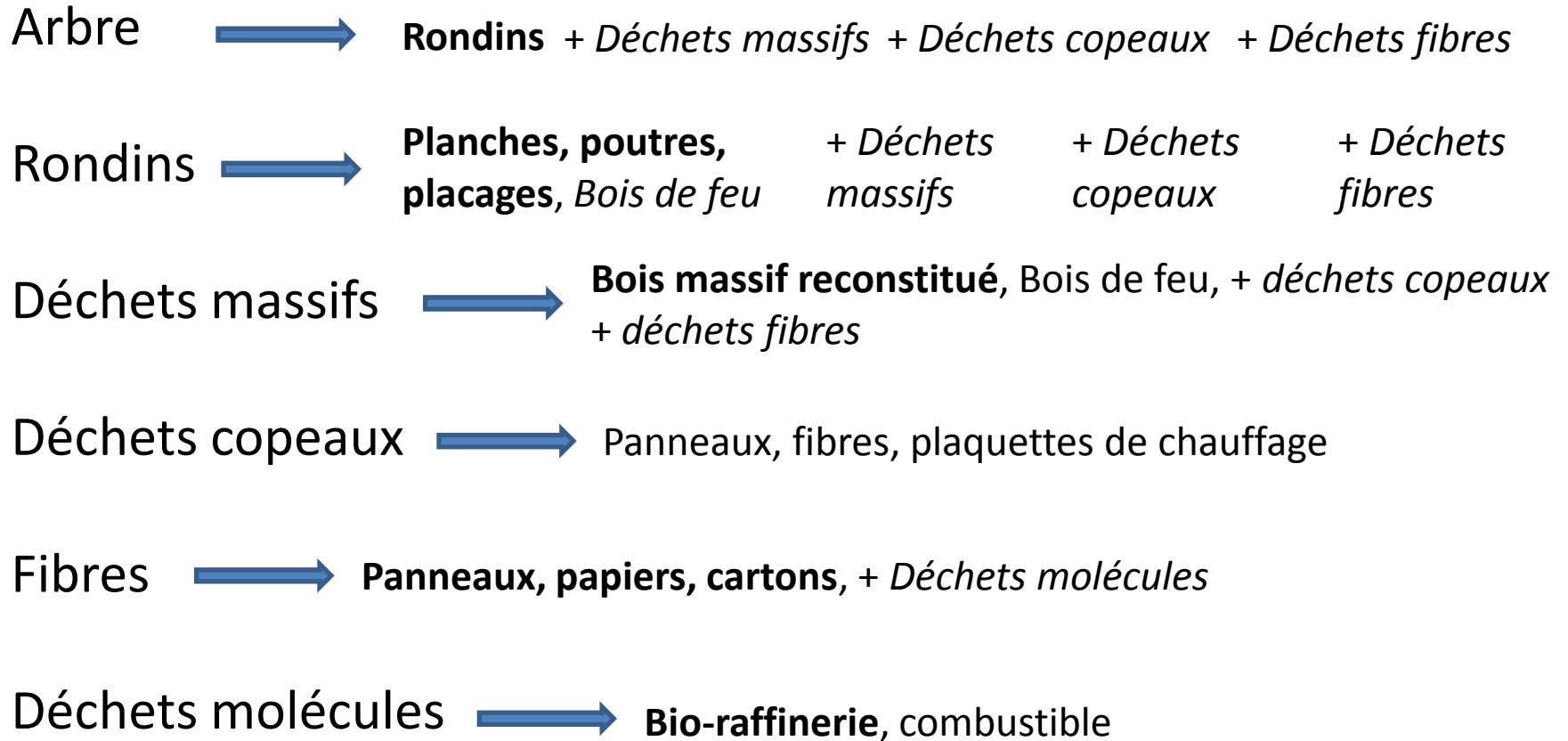


Nano-cellulose



Molécules pour la chimie

# La cascade des usages du bois



Utiliser toute la cascade maximise la valeur ajoutée, l'emploi, le stockage de carbone et l'économie d'énergie. Ajouter le recyclage dans l'usage améliore encore le résultat

# La diversité des usages du bois d'œuvre

# Usages par type de profilé

- Bois ronds avec jonctions
- Bois ronds
- Bois fendus
- Bois sciés
- Bois déroulés et tranchés

# Usages par thématiques

- Usage sous forme d'éléments de membrure (éléments de charpente, d'ossature ...)
- Usage sous forme d'éléments de surface (ou de peau)
- Usage « amortissant »: fonctions de stockage/restitution d'énergie
- Usage vibratoire: capacité de produire, entretenir et transmettre des vibrations
- Usage sensoriel et esthétique: relation directe avec nos cinq sens
- Usage historique: trace laissée par l'histoire dans le xylème des arbres
- Usage énergétique



# Usages de bois avec jonctions



Fourche en micocoulier



Sculpture dans les monts d'Arrée



Porte manteau



Fronde



Construction navale

# Usage des bois ronds





# Usages du bois de fente



Fente



Ganivelles



Gaulettes de Saül



Bardeaux de toiture



Tonneau en chêne



Panier en frêne

# Usages des sciages





# Usage des placages

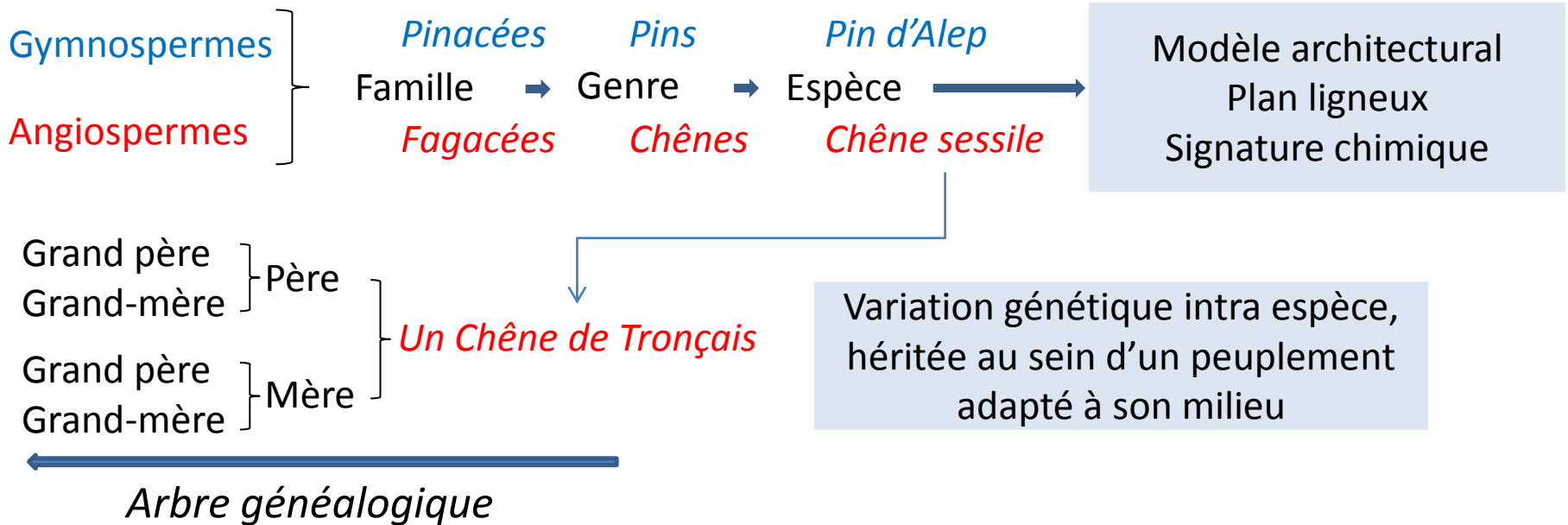


# Usages du bois pour la culture



# Diversité du bois d'oeuvre

# Origine génétique: le temps très long



*L'espèce botanique est la clé principale. Le génome pilote le modèle architectural, le plan ligneux et la signature chimique du bois de l'arbre*

*Un simple prélèvement à l'emporte pièce au pied du tronc permet de décrire l'ADN (cambium), le plan ligneux (xylème) et la signature chimique de l'écorce (phloème et phelloderme)*

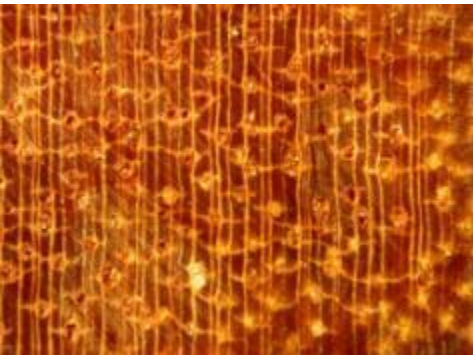
*Une date d'abattage et le point GPS de la zone de prélèvement donne l'origine de l'arbre  
 C'est une carte d'identité qui permet la traçabilité du bois extrait de l'arbre*



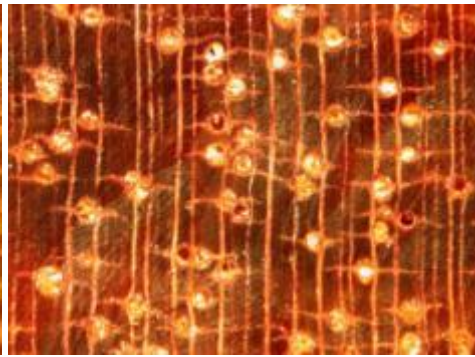
# La diversité de la forêt française

- 24 millions d'hectares au total
- 16 millions en France hexagonale, 8 millions en Guyane
- Une grande diversité: forêt tempérée, forêt méditerranéenne, forêt tropicale humide
- Un capital sur pied de 5 milliards de m<sup>3</sup>, moitié hexagone, moitié Guyane
- Une production biologique estimée à 85 millions de m<sup>3</sup> par an dans l'hexagone (3,5% du volume sur pied) et 60 en Guyane.
- 1600 espèces différentes en Guyane et 140 dans les forêts hexagonales

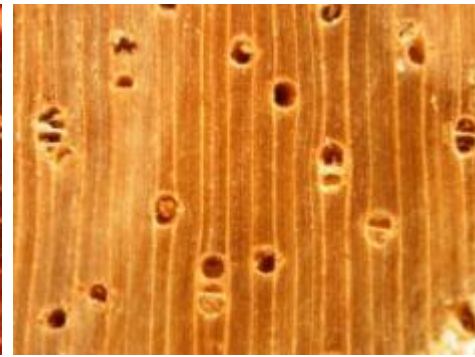
# Diversité des anatomies sur bois massif à la loupe



*Brosimum guyanensis*



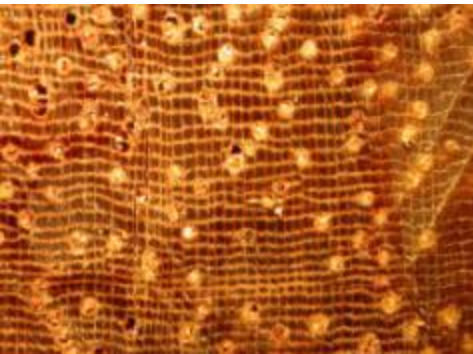
*Brosimum rubescens*



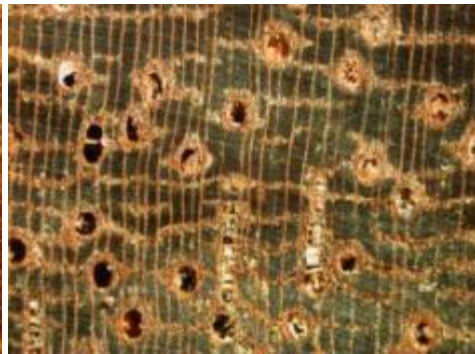
*Cecropia obtusa*



*Cordia alliodora*



*Dialium guianensis*



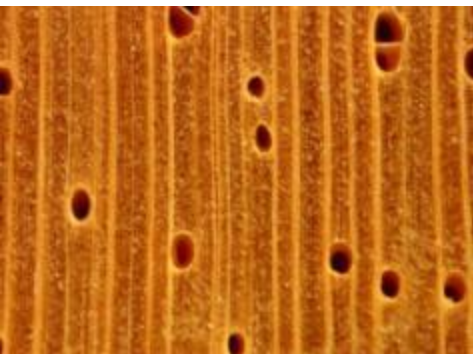
*Dicorynia guianensis*



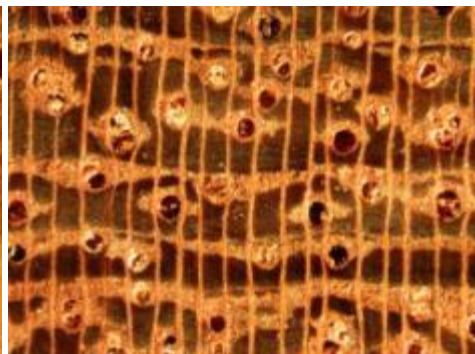
*Diplotropis purpurea*



*Erisma uncinatum*



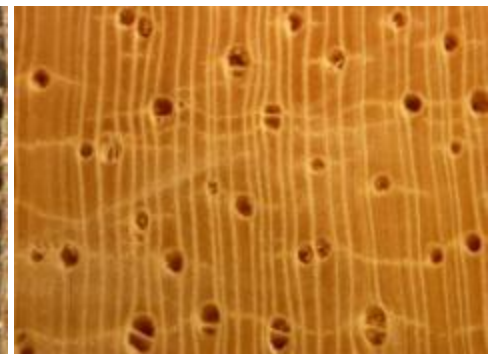
*Ochroma lagopus*



*Peltogyne venosa*



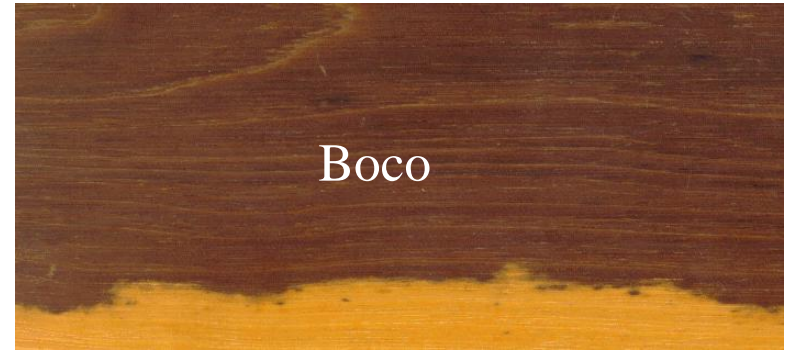
*Roupala sp.*



*Simarouba amara*



# Diversité des aspects du bois







Wapa



Courbaril



Bois serpent



Grignon

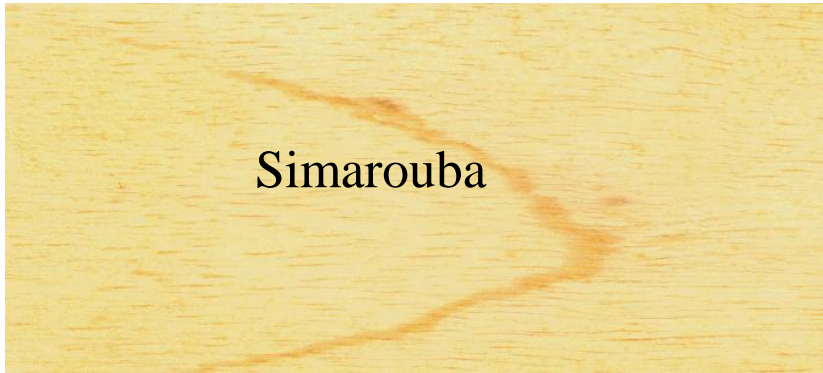


Amarante



Gonfolo





Simarouba



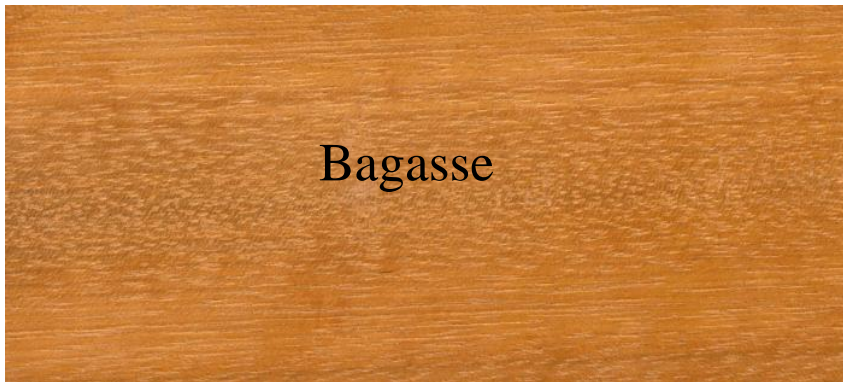
Panacoco



Ebène verte



Manil

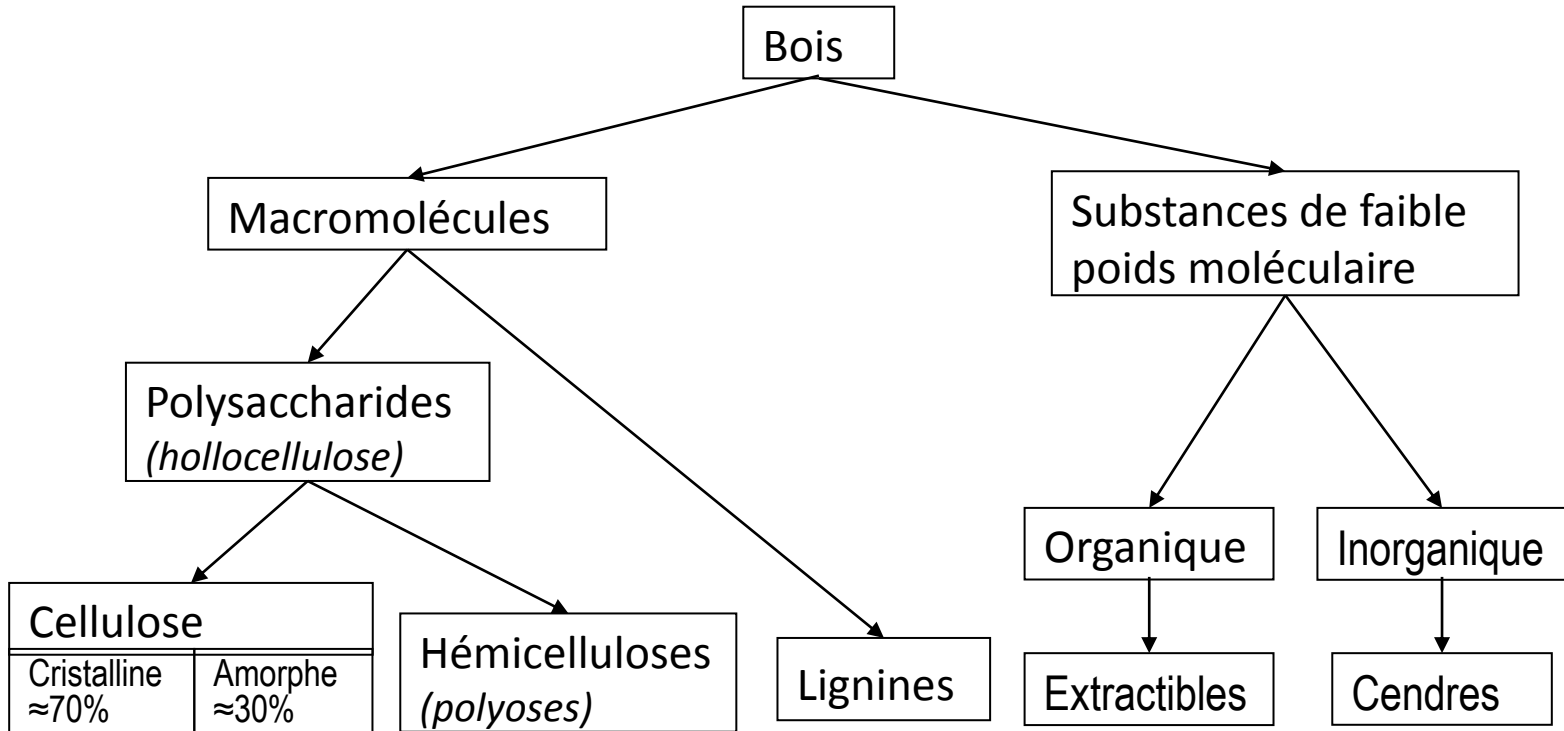





Bagasse



Wacapou

# Constituants chimiques du bois

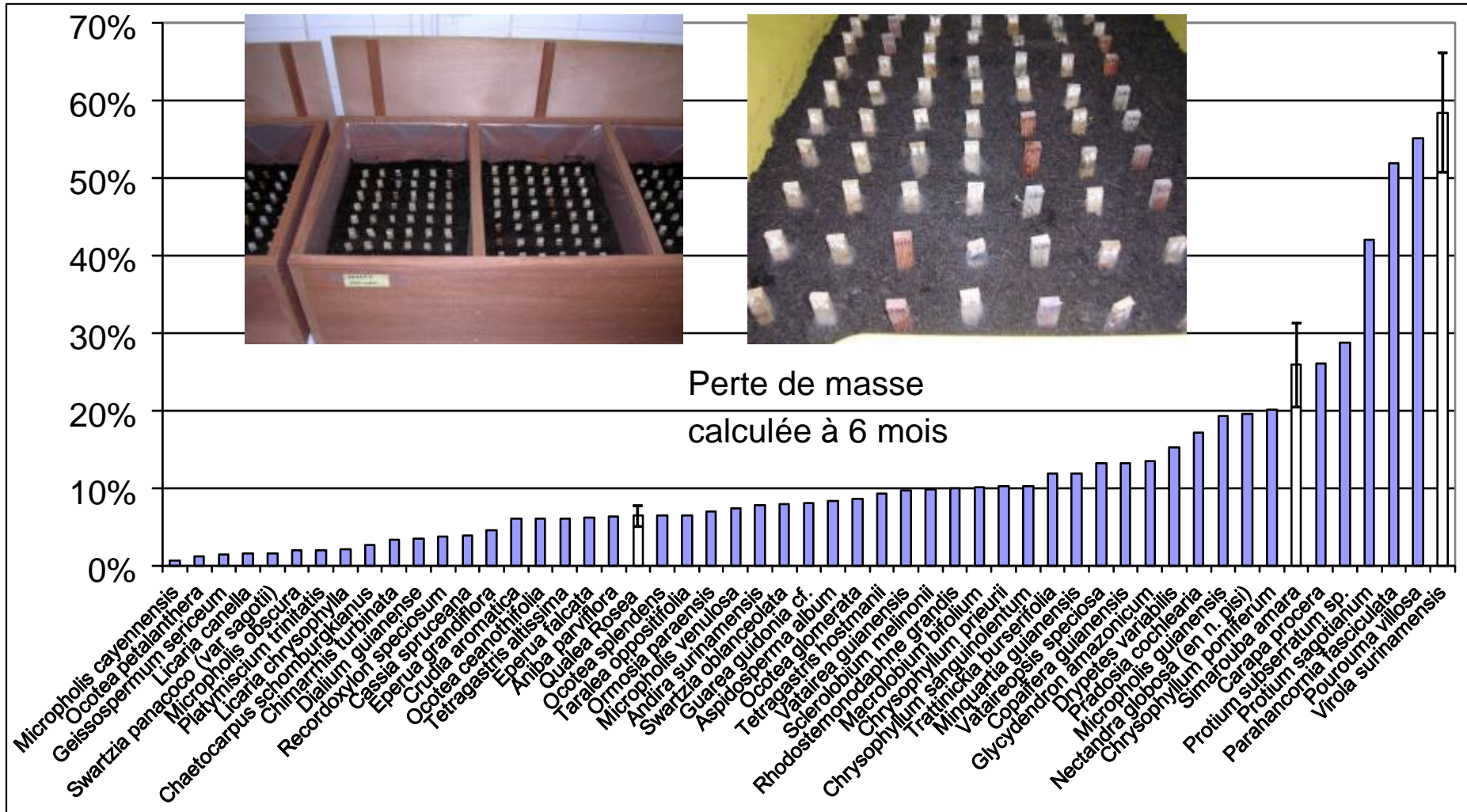


	≈ 50%	≈ 30%	≈ 20%	≈ ≤5%	≈ ≤2%
		≈ 20%	≈ 30%		
	≈45% ≈(25-65%)	<20% (10-30%)	≈30% ≈(14-45%)	≈7% (1-35%)	0-8%

# Diversité des extractibles

Molécules	Diversité
Alcaloïdes	12000
Monoterpènes	2500
Sequiterpènes	5000
Diterpènes	2500
Triterpènes	5000
Phénylpropanoïdes	2000
Flavonoïdes	4000
Carbohydrates	>200

# Variations inter-espèces de la résistance aux pourritures (*essais de type microcosme terrestre*)





# Diversité des propriétés dans 2 bases de données

	Arbres	Moyenne	Minimum	Maximum	Max/Min
Densité (Kg/dm <sup>3</sup> )	4028	0,71	0,13	1,33	10
Module spécifique (m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )	3106	21,5	7,19	36,7	5,1
Point saturation (%)	3948	28,0	14,0	51,0	3,6
Retrait vol. (%)	4026	12,4	4,3	25,0	5,8
Retrait rad. (%)	2994	7,9	2,6	16,5	6,3
Retrait tang. (%)	2992	4,5	1,0	11,7	12
Module d'élasticité (Gpa)	3106	15,1	2,7	38,4	14
Rupture flexion longi. (Mpa)	3515	58,5	6,0	136,0	23
Rupture comp. longi. (Mpa)	3528	113,4	11,5	270,6	24
Energie rupt. Pendule (J)	3170	26,5	2,0	105,0	53
Dureté Monnin (mm <sup>-1</sup> )	3531	4,8	0,1	30,5	305
Rupture trac. Perp. (Mpa)	3134	2,6	0,5	6,5	13
Rupture cisail. (Mpa)	2394	7,8	1,7	24,5	14

	Espèces	Moyenne	Minimum	Maximum	Max/Min
Infradensité (Kg/dm <sup>3</sup> )	448	0,65	0,21	1,12	5,3
Module spécifique (m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )	448	23,8	6,25	38,8	6,2
Saturation fibre (%)	448	29,3	13,0	42,9	3,3
<b>Dégradation</b> (%)	448	14,1	0,37	55,2	149
Retrait vol (%)	448	14,4	5,31	26,6	5
Module élasticité (Gpa)	448	19,0	2,68	37,4	14
<b>Amortissement</b> (%)	448	0,7	0,3	1,8	6

Merci de votre attention

