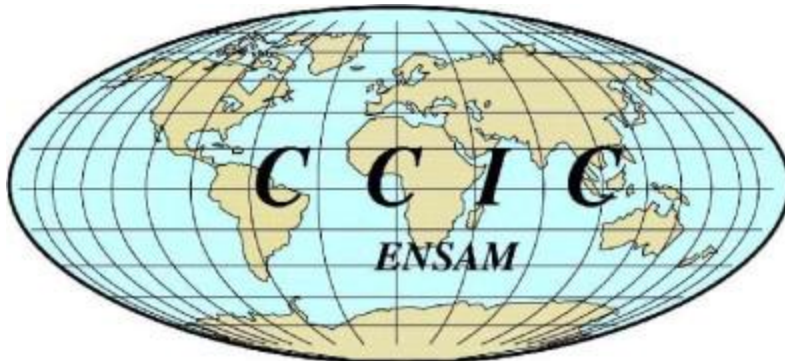


# Le bois est il l'ennemi de la forêt ?

*Bernard Thibaut CNRS*



Centre de Conférences Internationales de Cluny



*Cluny, 5 novembre 2013*

# Une étrange question

## Le regard d'un scientifique / Une question sociale

- Un regard d'écologue et de physicien
  - La forêt écosystème complexe
  - Les services écosystémiques de la forêt
  - La forêt française
  - Le, bois matériau sophistiqué
  - C'est le bois qui construit l'arbre
- Un regard de sociologue et d'ingénieur
  - Homo sapiens et la forêt
  - La prédation humaine du bois en forêt hier et aujourd'hui
  - La prédation durable de demain
- Du bon usage des bois
  - La déconstruction de l'arbre
  - La cascade des usages du bois
  - Diversité, traçabilité et circulation des bois
- Conclusion



# Les grands écosystèmes



Forêts



Milieus aquatiques



Prairies



Zones côtières



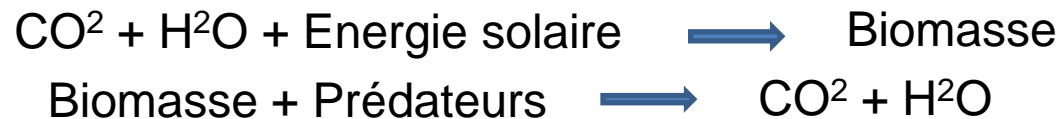
Milieu marin



Villes

# Les écosystèmes forestiers

- Un tiers des terres émergées
- Caractérisés par la dominance des arbres
- Un écosystème en « équilibre dynamique »
  - Quasi immobile à l'échelle de la décennie
  - En évolution lente à l'échelle du millénaire
  - En profondes révolutions à l'échelle du million d'années
- Coexistence de très nombreuses espèces vivantes
  - Mondes végétal, fongique, bactérien ou viral, animal (dont humain)
  - Qui se nourrissent les unes des autres
- Un bilan carbone quasi équilibré en forêt ancienne



# Les services écosystémiques de la forêt

- Services de régulation
  - Régulation hydraulique (inondation, qualité des eaux)
  - Régulation climatique (dont qualité de l'air)
  - Contrôle de l'érosion, maintien de la fertilité
  - Réservoir de biodiversité
- Support d'activités
  - Terres fertiles pour le développement de plantes
  - Habitats (fourmis, oiseaux ..., lieux de repos ou de culte ...)
  - Parcours (chasse, randonnée ...)
- Produits consommables
  - Bois, écorces, latex, résines, tannins ...
  - Fruits, viande, champignons ...

***Services utilisables par tous les êtres vivants de la forêt qui sont en compétition/synergie  
Ex le bois des arbres peut être habitat pour les oiseaux ou les fourmis, matériau pour les primates, aliment pour les champignons ou les termites, combustible pour les humains ...***



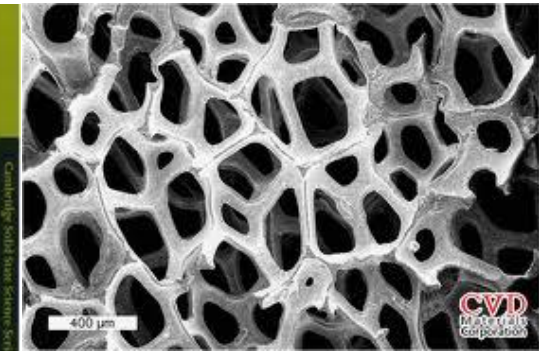
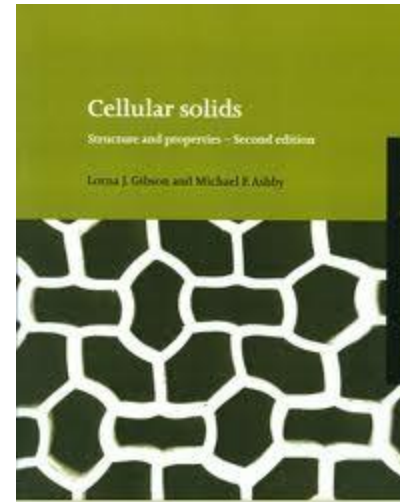
# La forêt française

- Un tiers de la superficie française: 24 millions d'hectares: dont 16 dans l'hexagone et 8 en Guyane
- Diversité des grands types: forêts de plaine et de montagne, forêts atlantique, méditerranéenne et tropicale
- Moitié privée (3/4 dans l'hexagone), moitié publique (100% en Guyane)
- Majorité de feuillus (3/4 pour 1/4 résineux)
- 1/4 taillis (pur ou sous futaie), 1/3 futaie régulière (1 ou 2 espèces), 40% futaie mélangée (surtout tropicale)

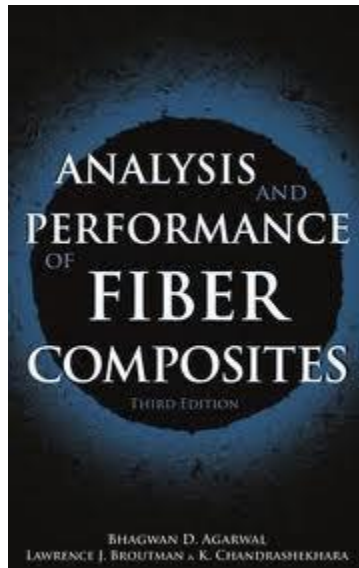


# Le bois: un matériau sophistiqué

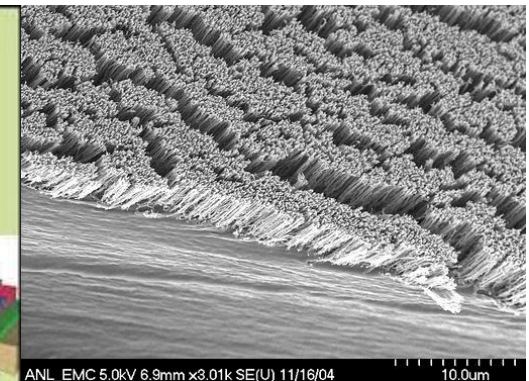
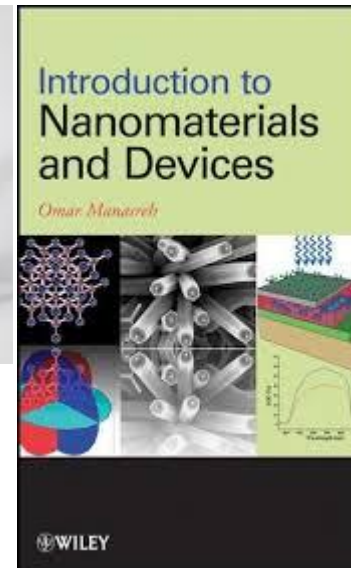
- *Un matériau cellulaire orienté*
- *Un composite à fibre*
- *Un solide nano-structuré*
- *Un solide dopé auto-protégé*



Mousse  
graphène/nickel



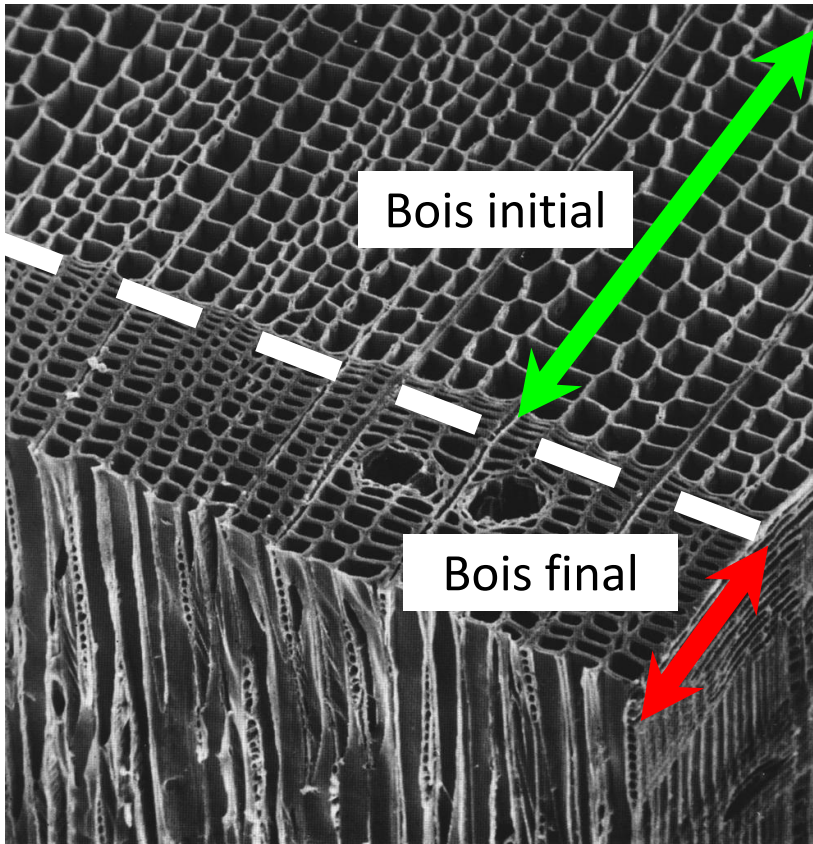
Roues en composite  
carbone/carbone



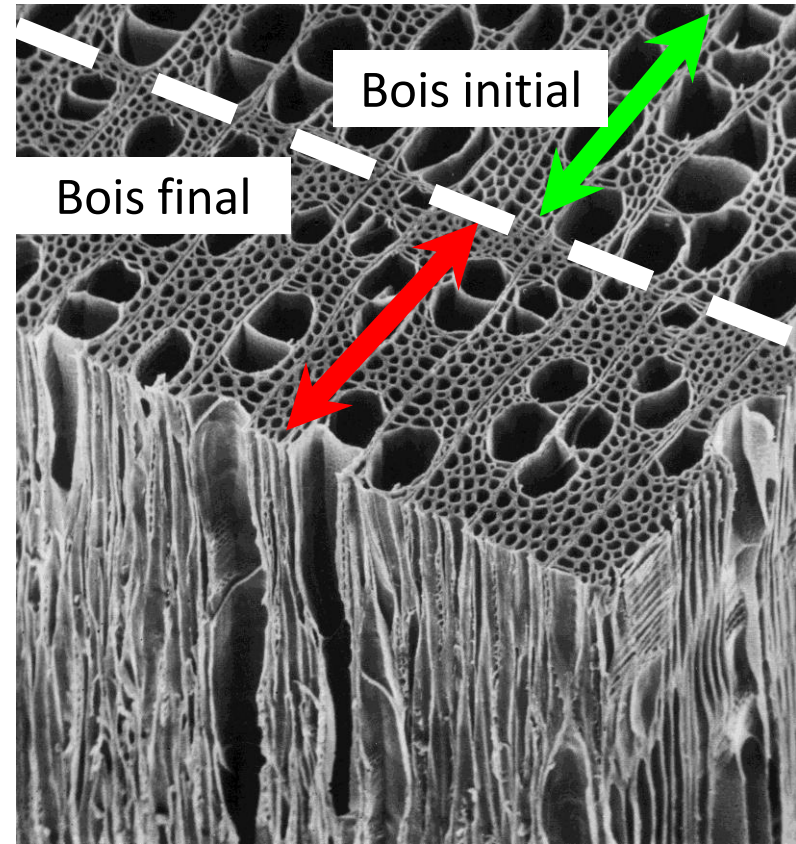
Nano tubes de carbone  
pour électrodes



# Le bois est un matériau poreux orienté



Bois de résineux

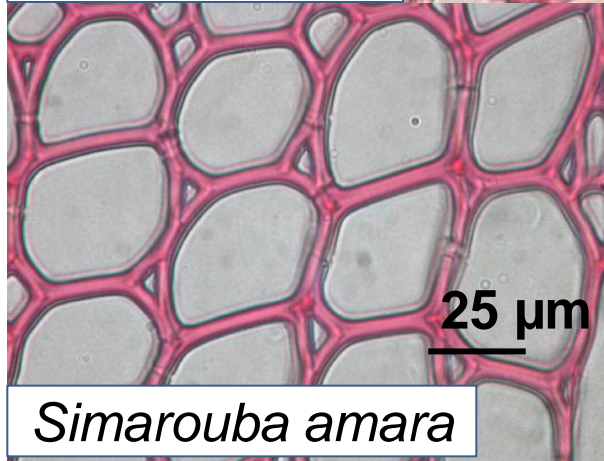
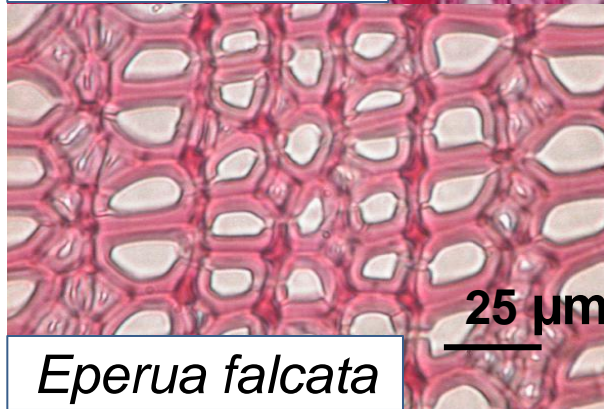
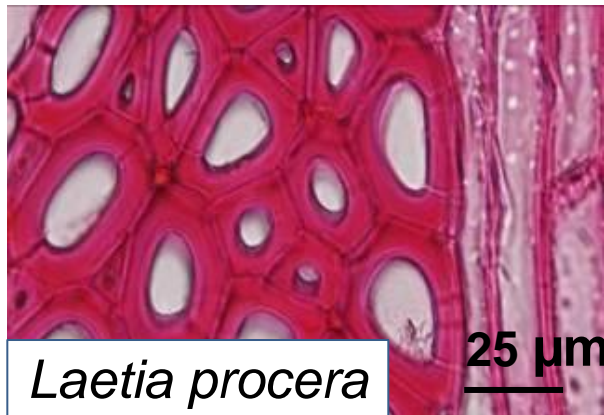


Bois de feuillu

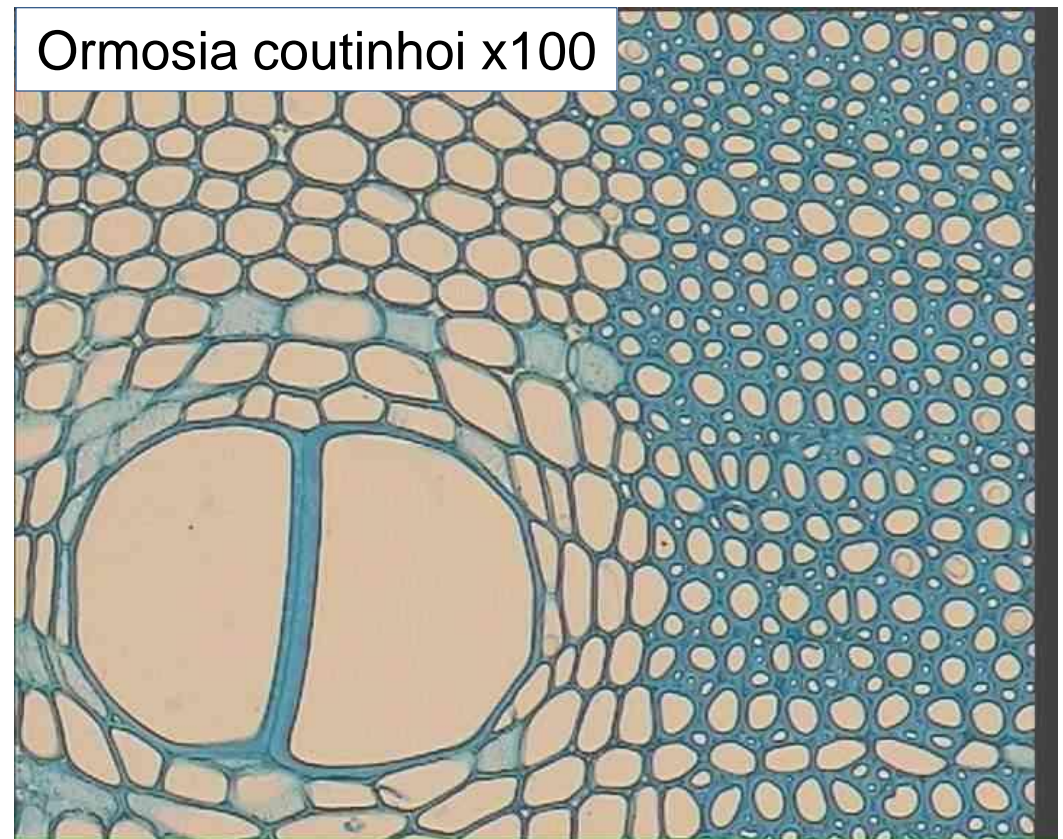
*Le bois est composé de nombreuses cellules de formes et de tailles différentes. Les fibres très allongées sont prépondérantes. Le bois ressemble à un nid d'abeille plus sophistiqué.*



Les différences de densité du bois viennent des variations d'épaisseur des parois des fibres



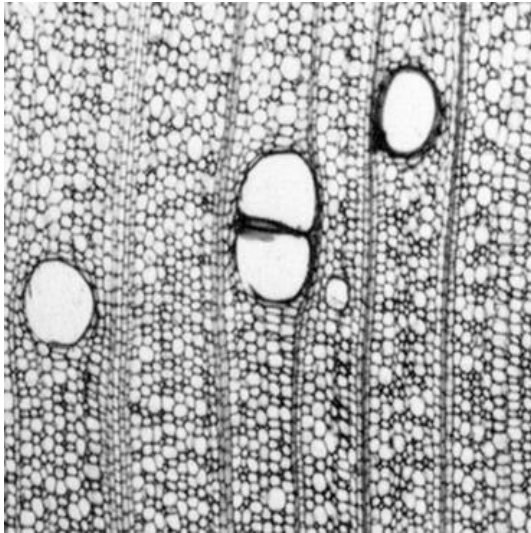
**Entre espèces**



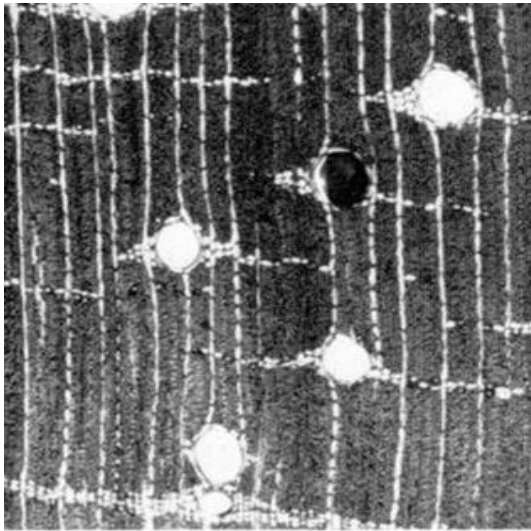
**A l'intérieur d'un arbre**

# La densité est la première clé des propriétés du bois

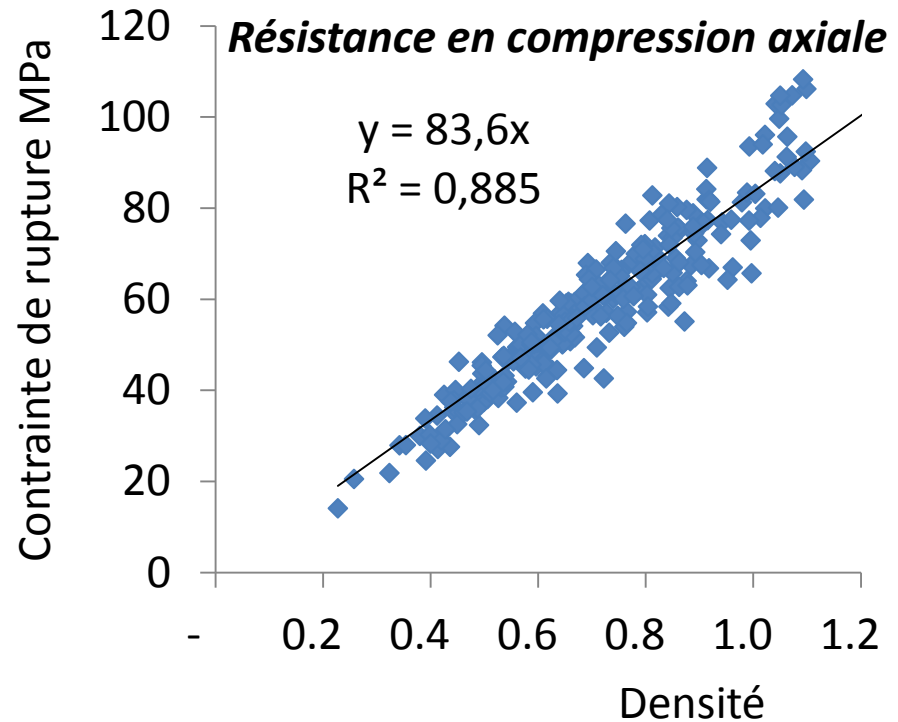
(La porosité du bois varie comme l'inverse de la densité  $P = 1 - 2 \cdot D/3$ )



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



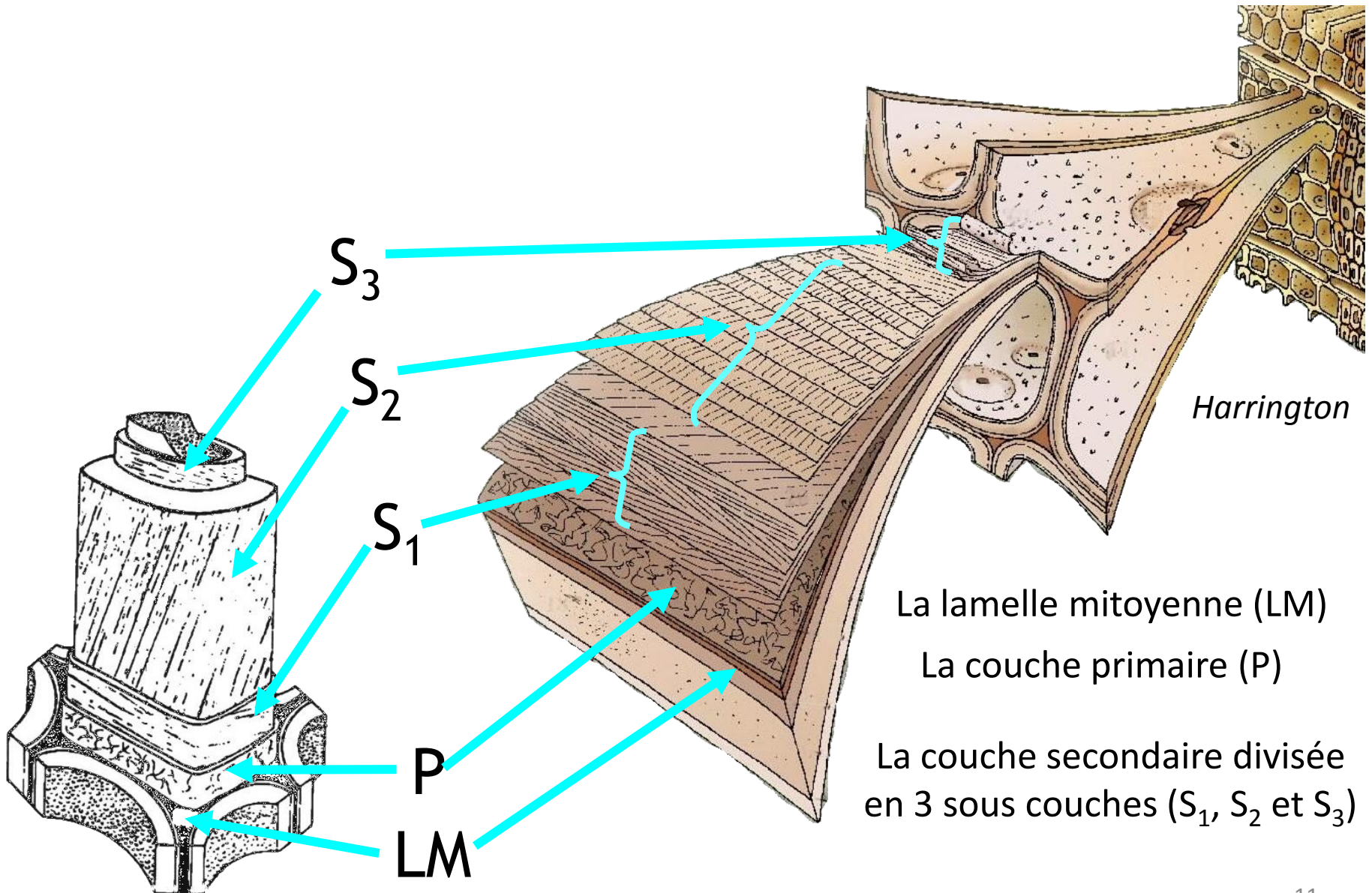
**Panacoco** Densité = 1,2  
Porosité = 20%



**La résistance mécanique du bois dans la direction du fil est proportionnelle à sa densité.**  
**La dureté de flanc varie comme le carré de la densité.**

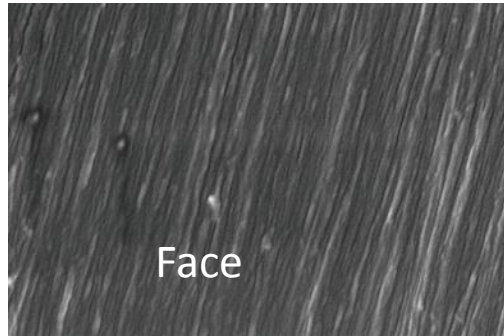


# La paroi des fibres est un multicouche



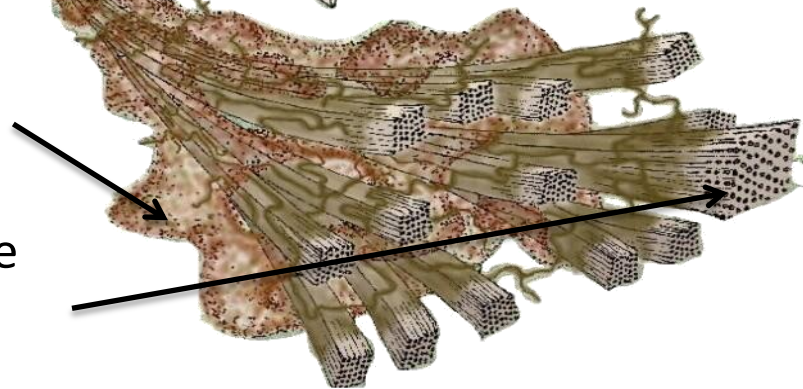


# Chaque couche est un composite à fibres

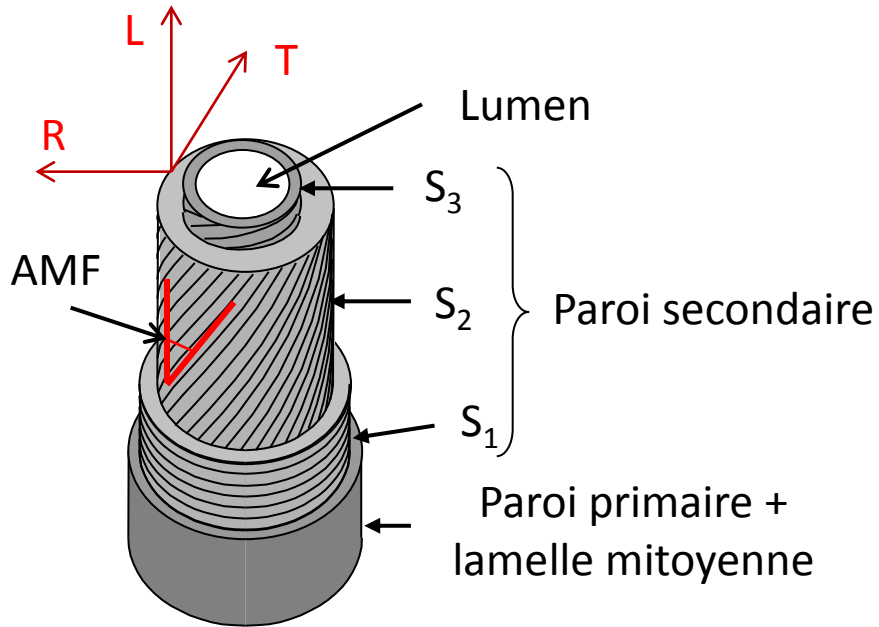


Enrobage de lignine et  
d'hémicelluloses

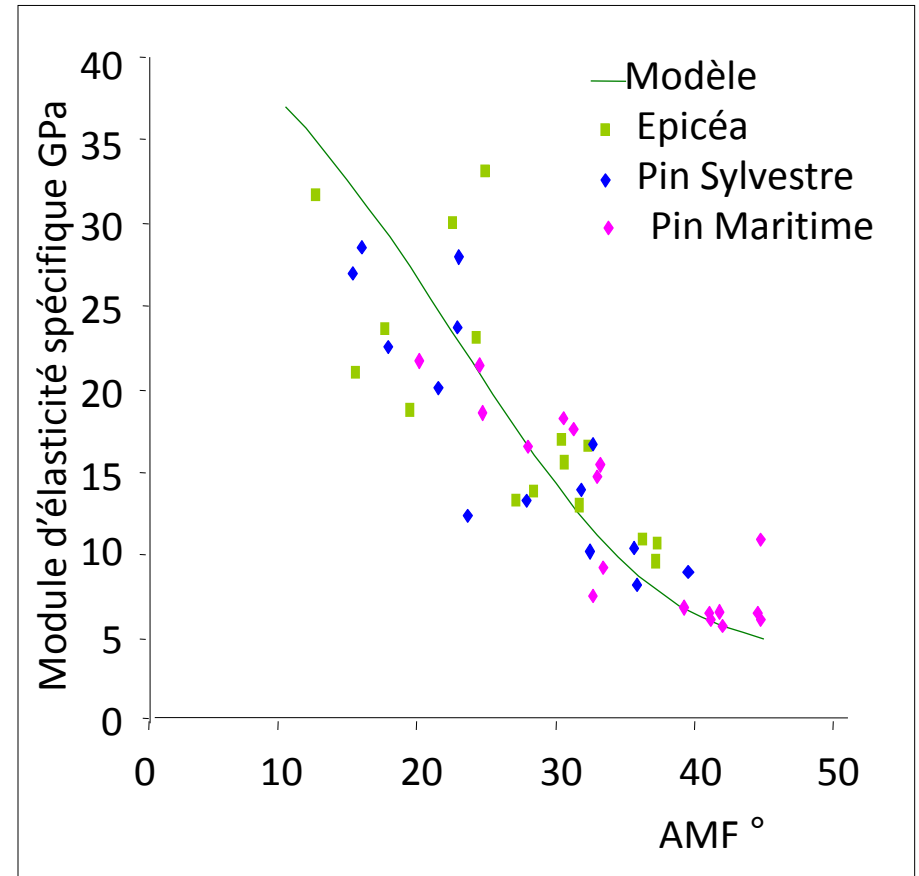
Paquets de nano-fibres de  
cellulose cristalline  
(agrégat de base 25nm)



# L'angle des nano-fibres de cellulose est la deuxième clé des propriétés mécaniques du bois

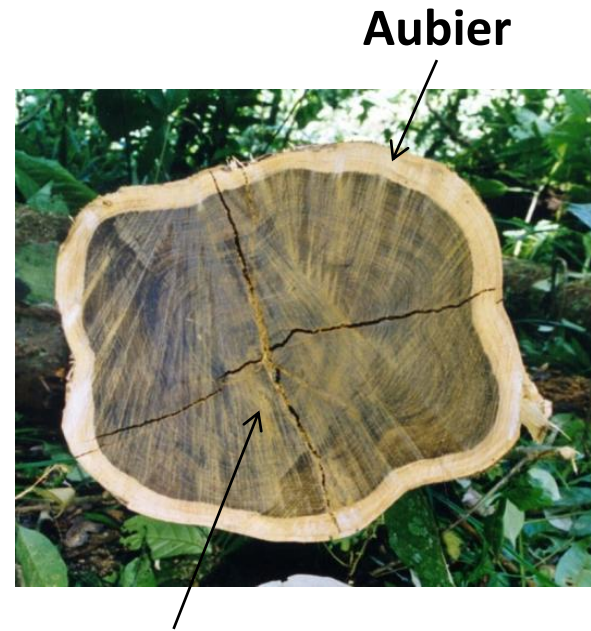
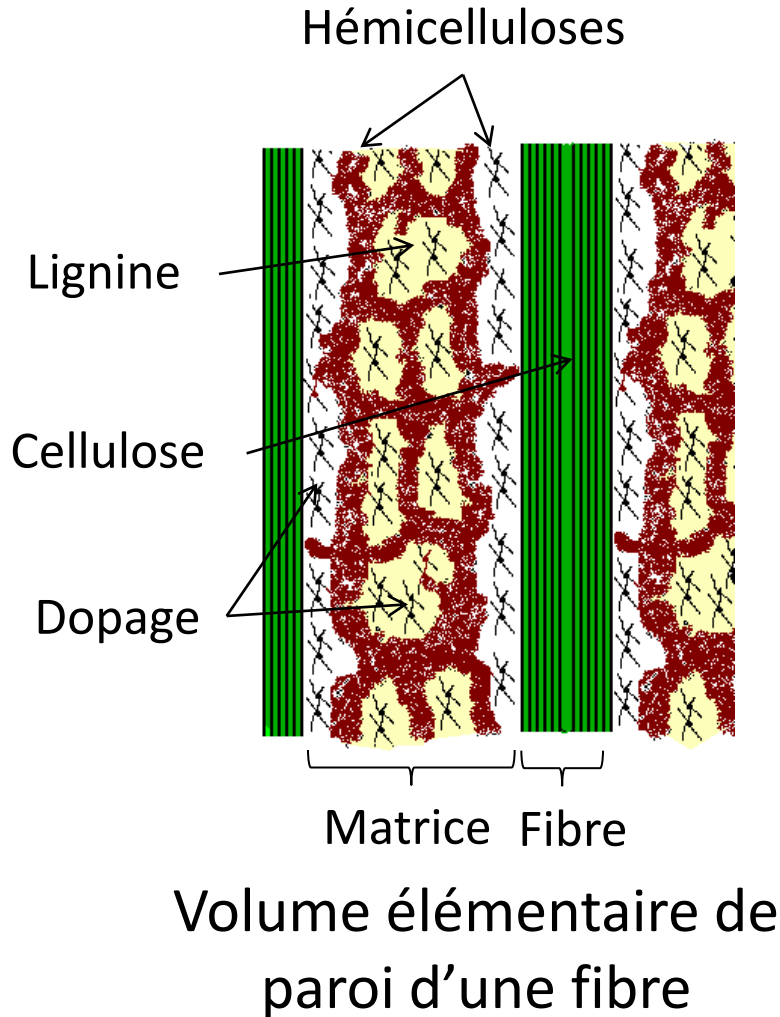


Organisation de la paroi de la fibre  
***La couche S<sub>2</sub> est la plus épaisse***



Module spécifique = Module d'élasticité/Densité

# Les extractibles imprègnent et dopent le bois de cœur



*Les petites molécules incrustées dans la paroi dopent le bois de cœur.*

*Elles sont une troisième clé du comportement acoustique du bois*



# *Les extractibles sont la clé des propriétés sensorielles du bois et de sa résistance aux agressions biologiques.*

- Couleur et odeur*
- Interaction avec les boissons*
- Résistance aux insectes, champignons et termites*
- Résistance aux bactéries*
- Résistance aux mollusques*



Tonneau



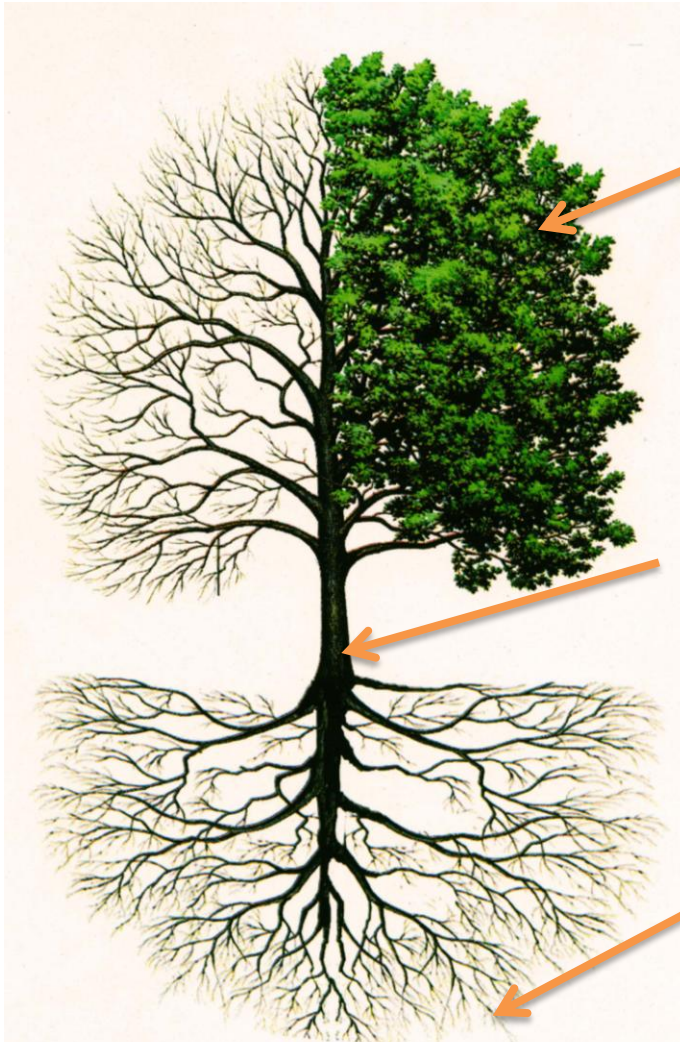
Termites



Tarets

Couleur des bois

# C'est le bois qui construit l'arbre



*Les feuilles produisent la biomasse à partir de l'eau, du CO<sup>2</sup> et de l'énergie solaire*

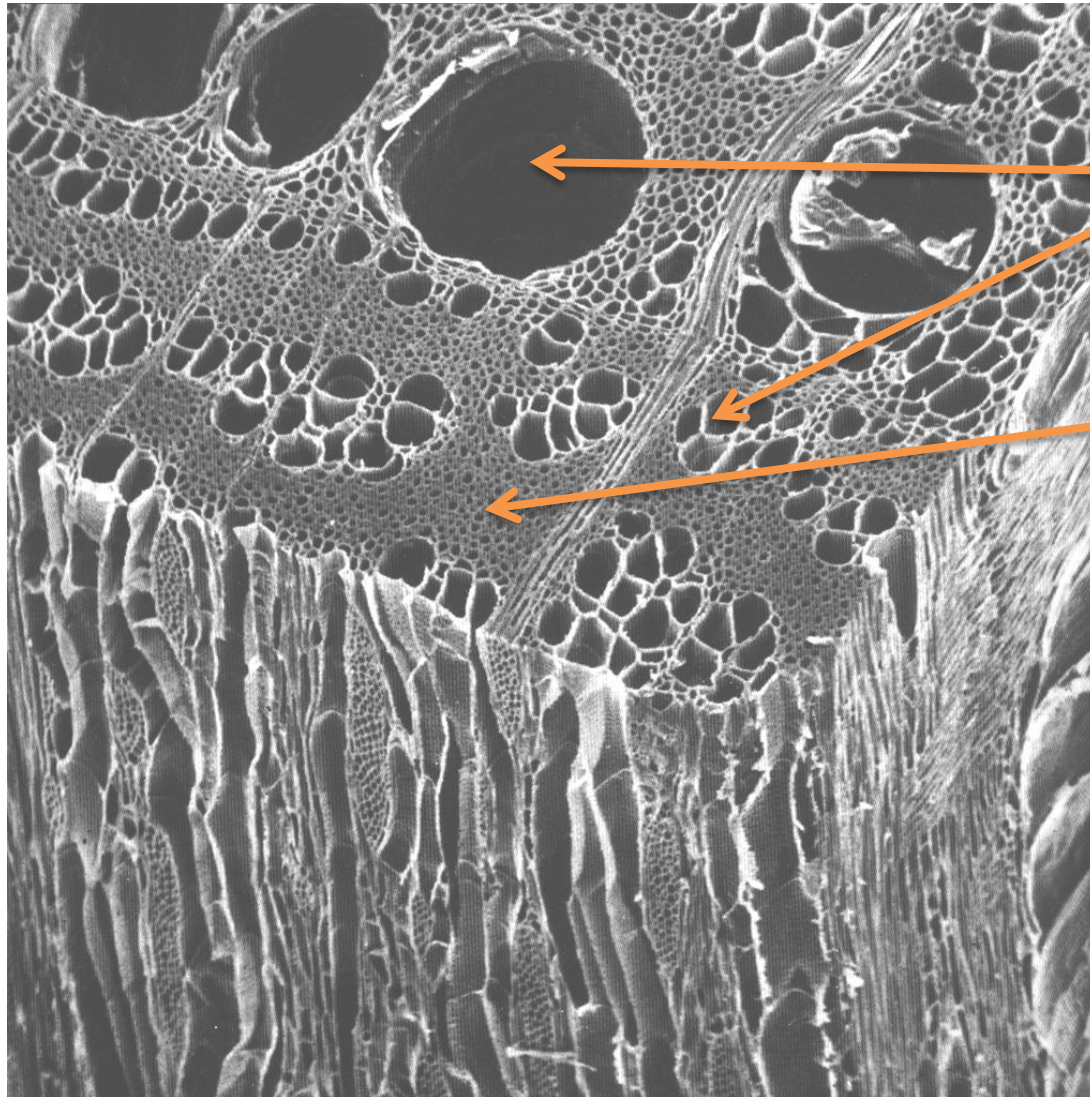
***Le compartiment bois est la structure qui connecte les feuilles et les racinelles***

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

La croissance du bois construit l'arbre et génère les forces nécessaires pour s'adapter à l'environnement



# Le bois a d'abord une fonction mécanique et hydraulique pour l'arbre



Les vaisseaux transportent la sève brute

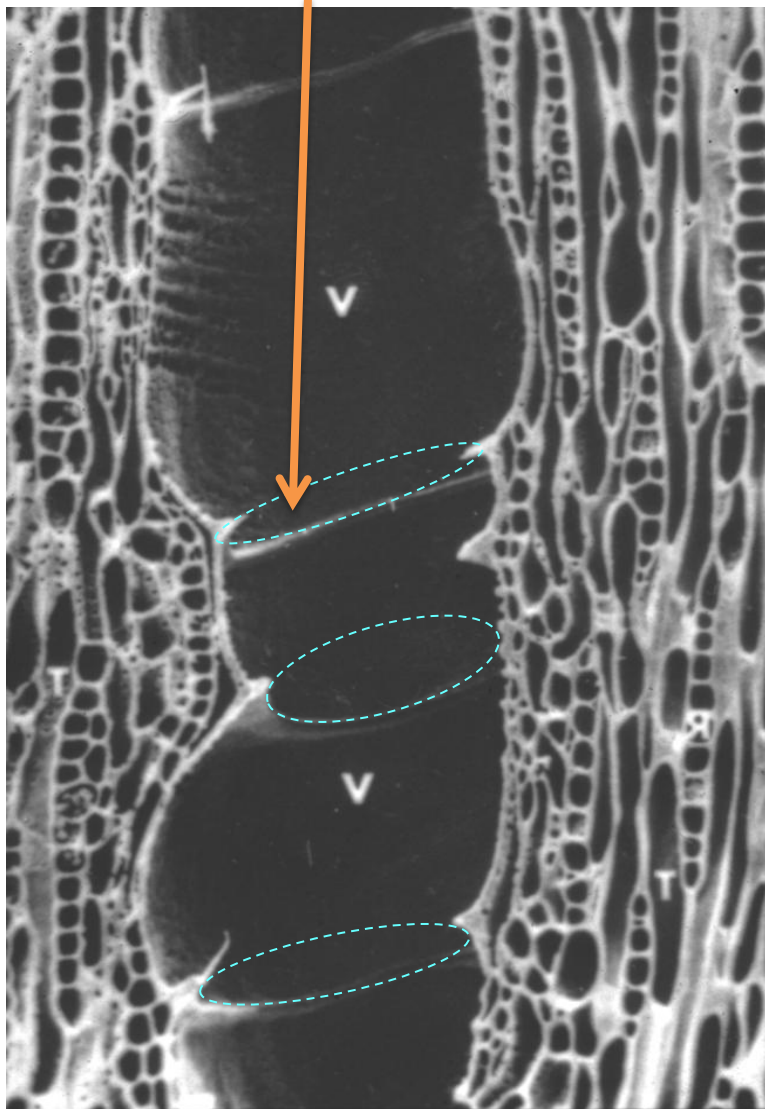
Les fibres assurent le soutien mécanique

Le bois est une réserve d'eau: en moyenne l'eau représente 70% de la masse de matière sèche du bois vert

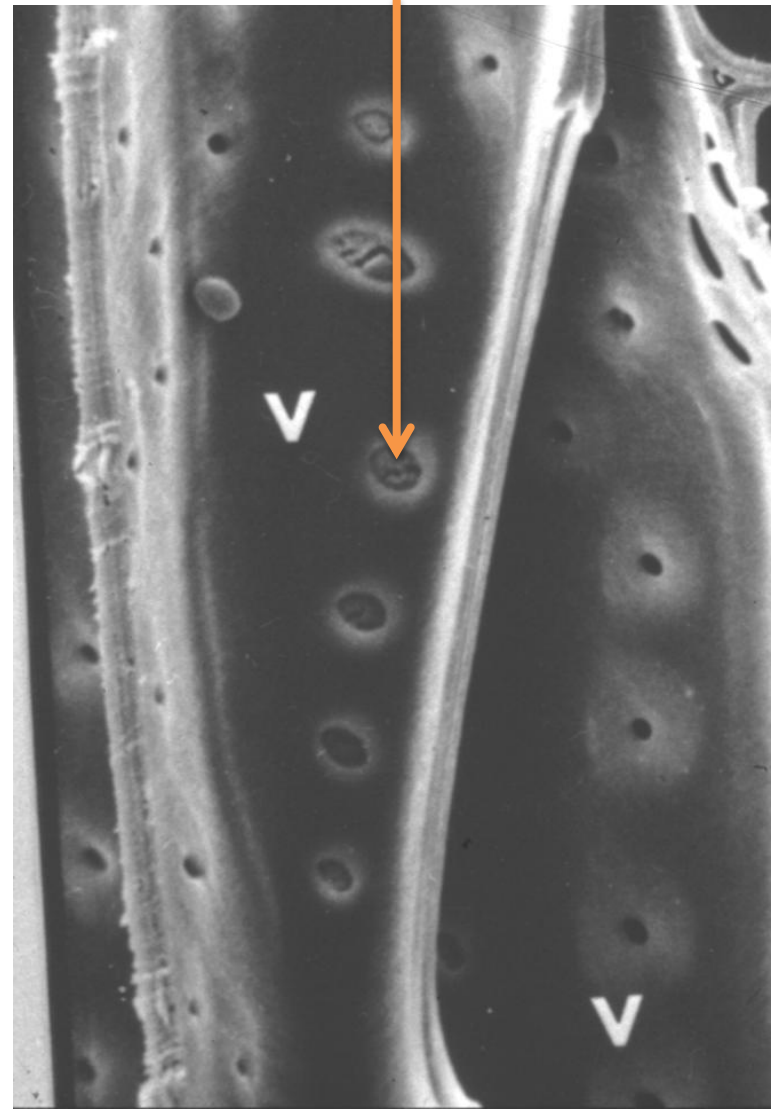


# Un circuit hydraulique performant

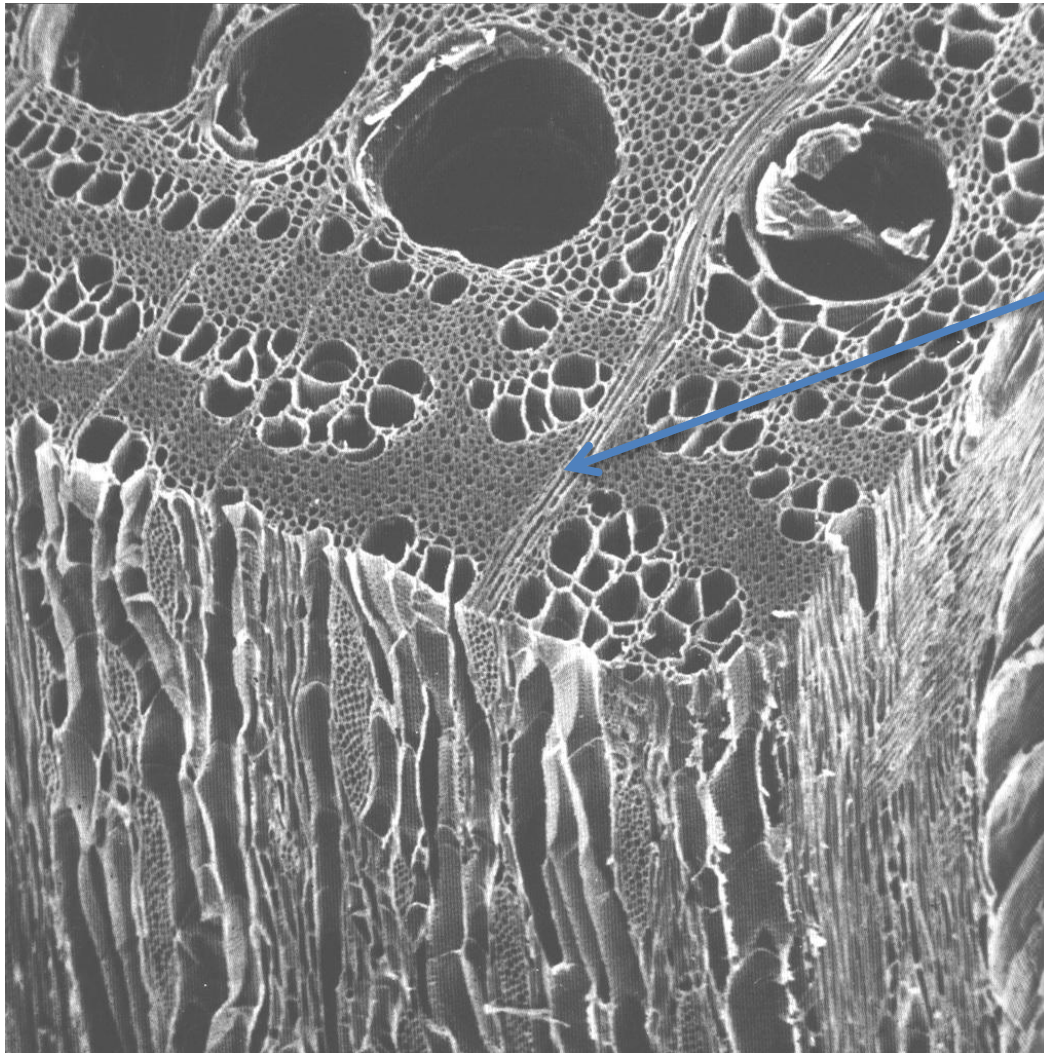
Perforation



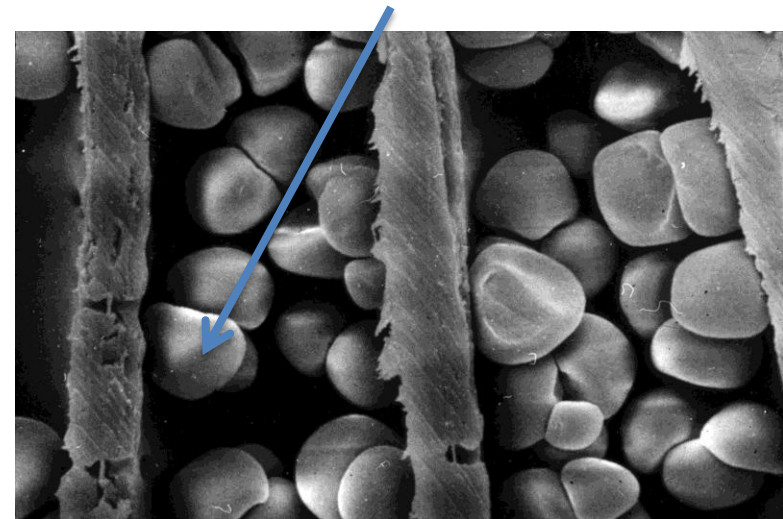
Ponctuation



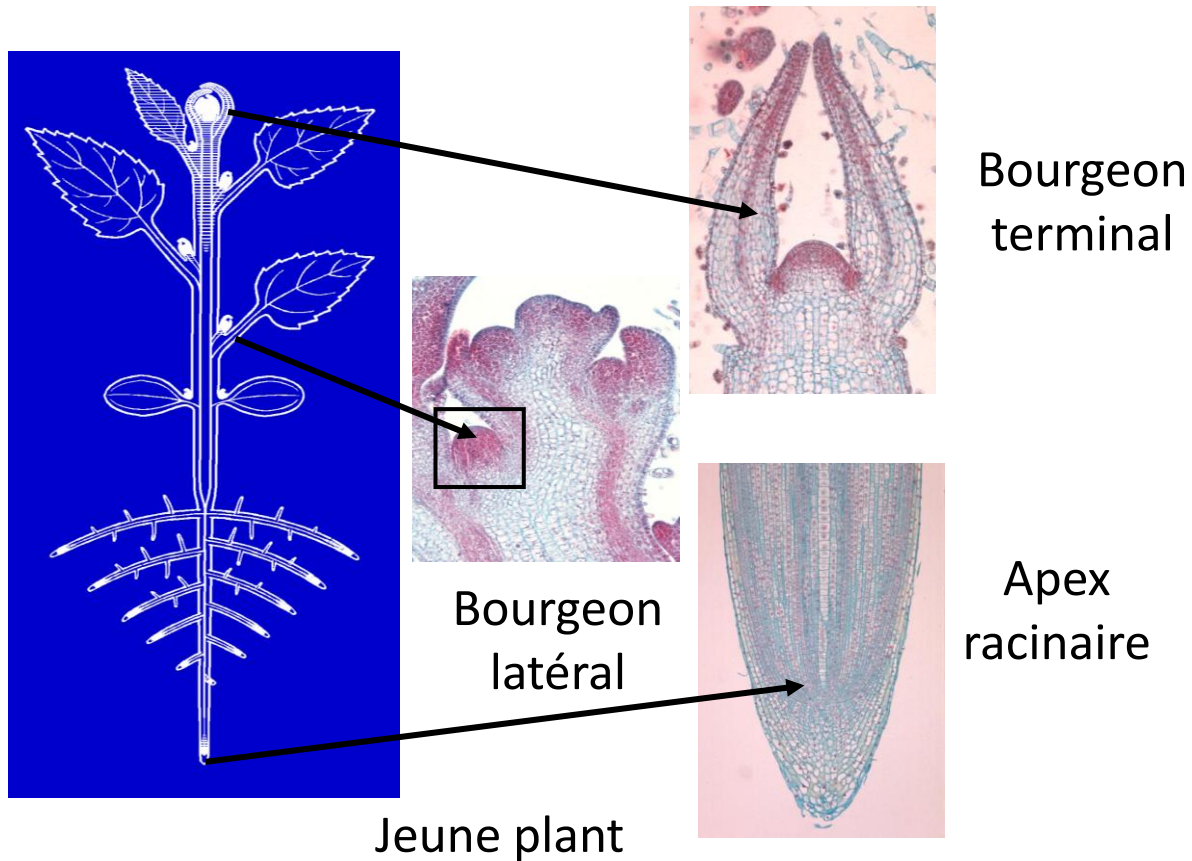
# Les cellules encore vivantes dans le bois permettent sa protection et le stockage d'aliments



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



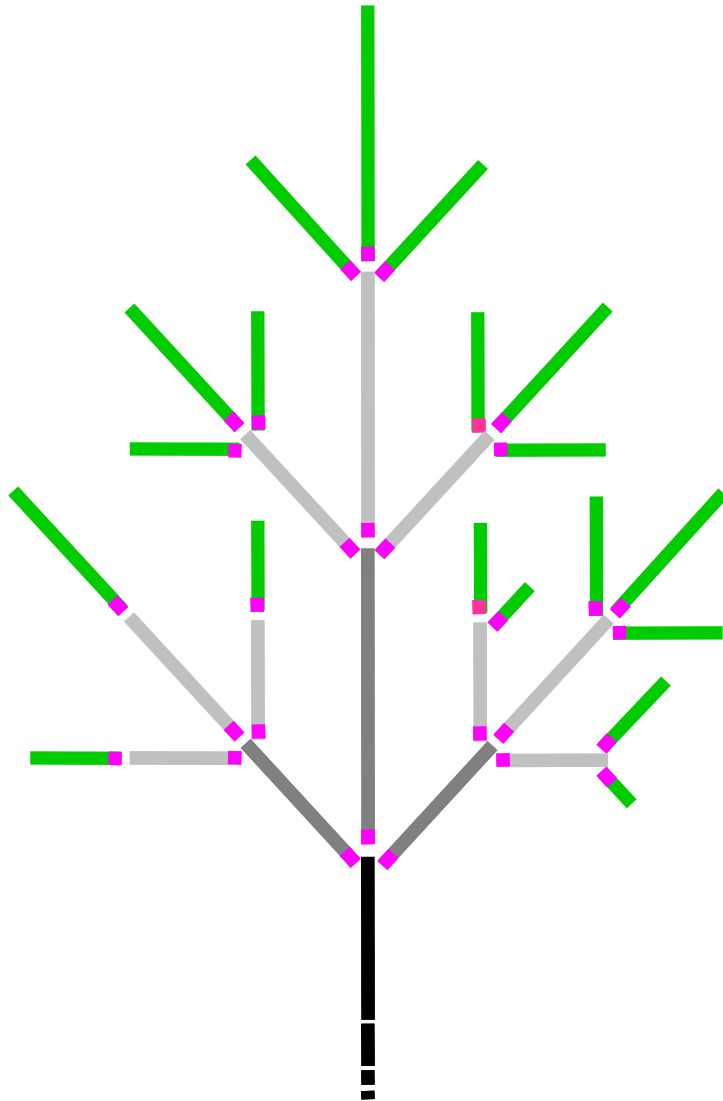
# La croissance primaire



*Création de nouveaux rameaux*  
*Elongation des axes existants*  
*Mort programmée des branches*

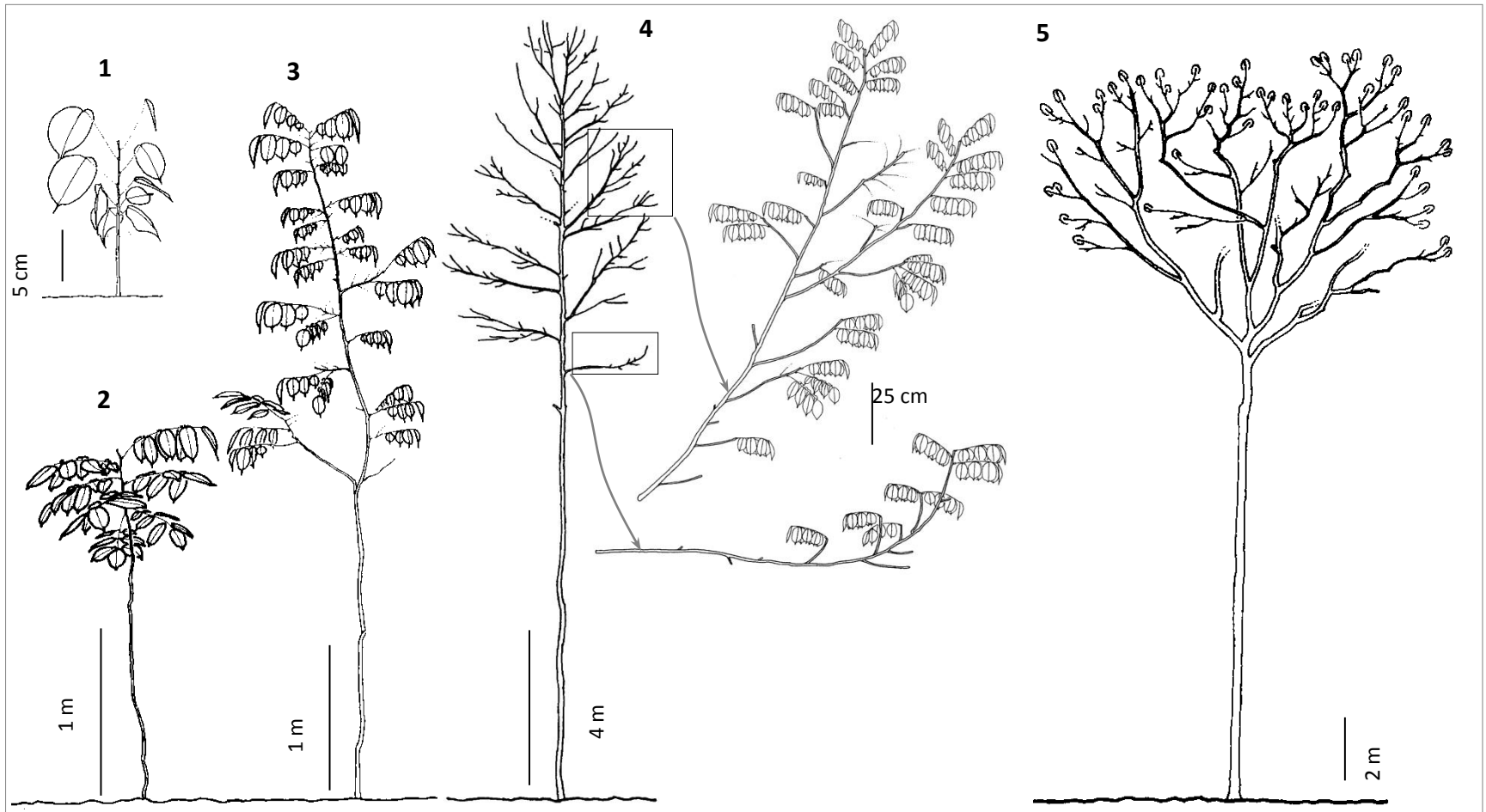


# Les unités de croissance



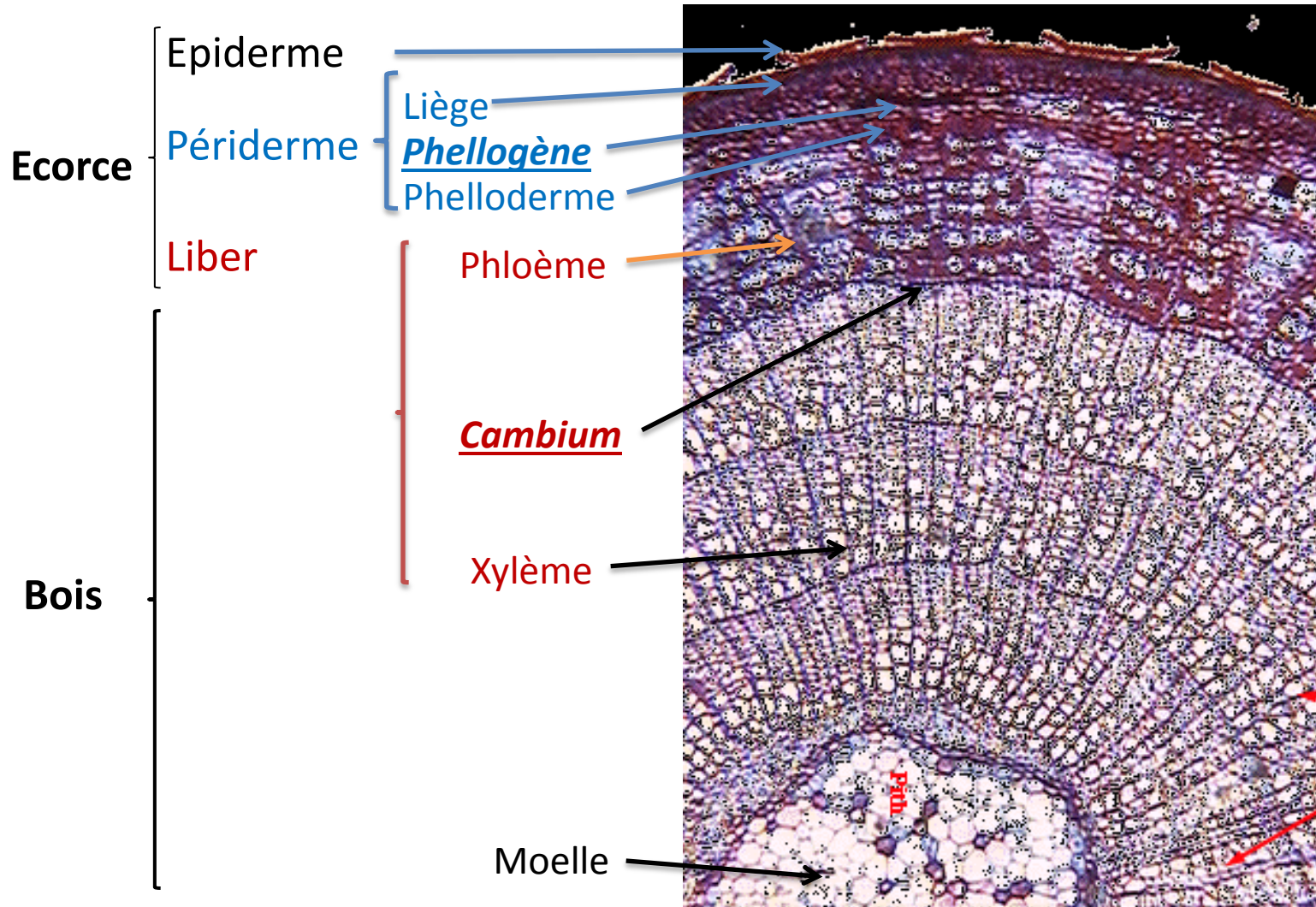
-  Année 4
-  Année 3
-  Année 2
-  Année 1
-  Bourgeon

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



***Le modèle architectural est un schéma de construction  
piloté par le génome***

# La croissance secondaire



**Cambium** → phloème et xylème: conduction, construction et régulation mécanique  
**Phellogène** → phelloderme et liège: protection et stockage



# Aubier, duramen et cernes annuels

Ecorce



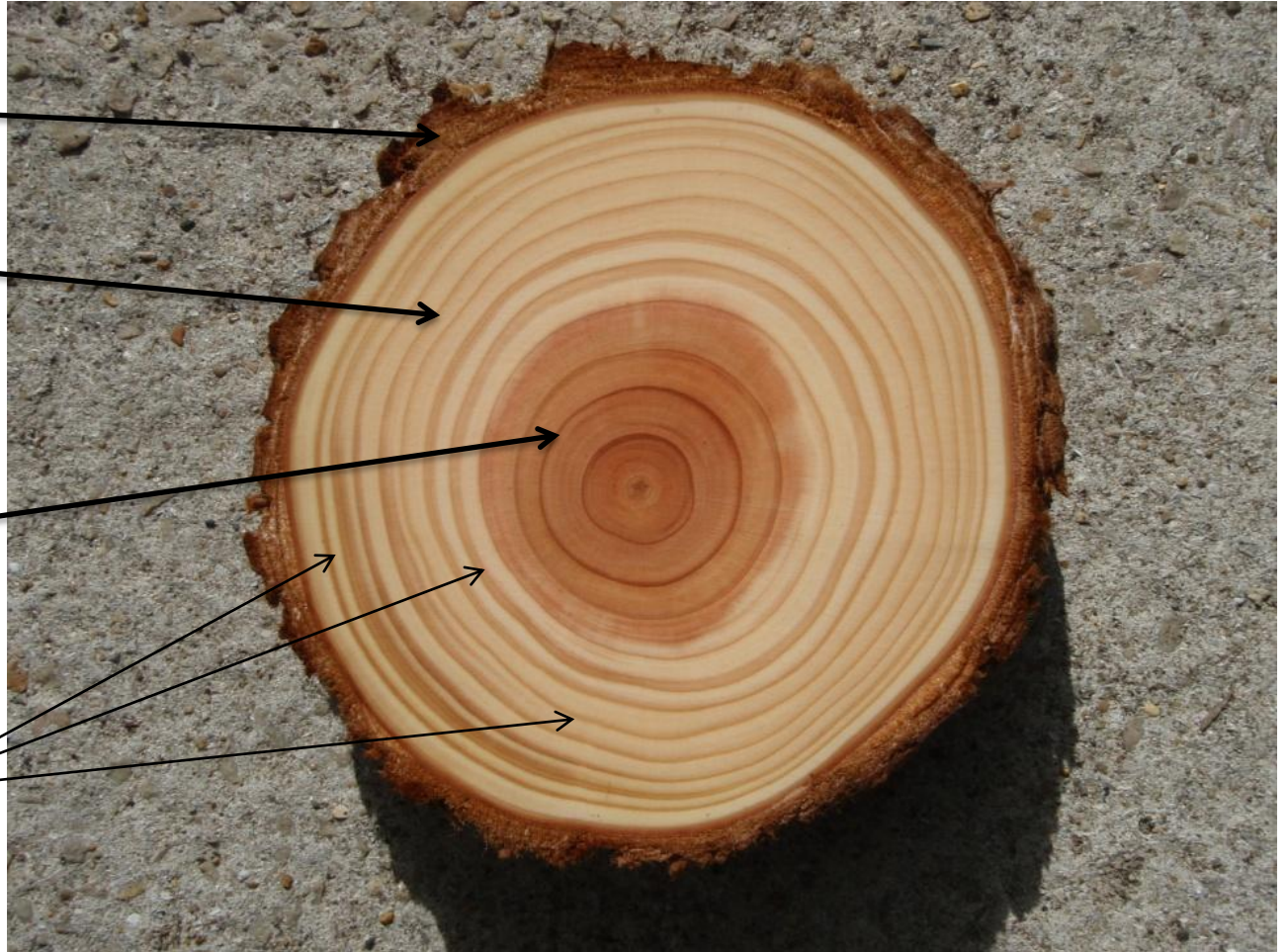
Aubier



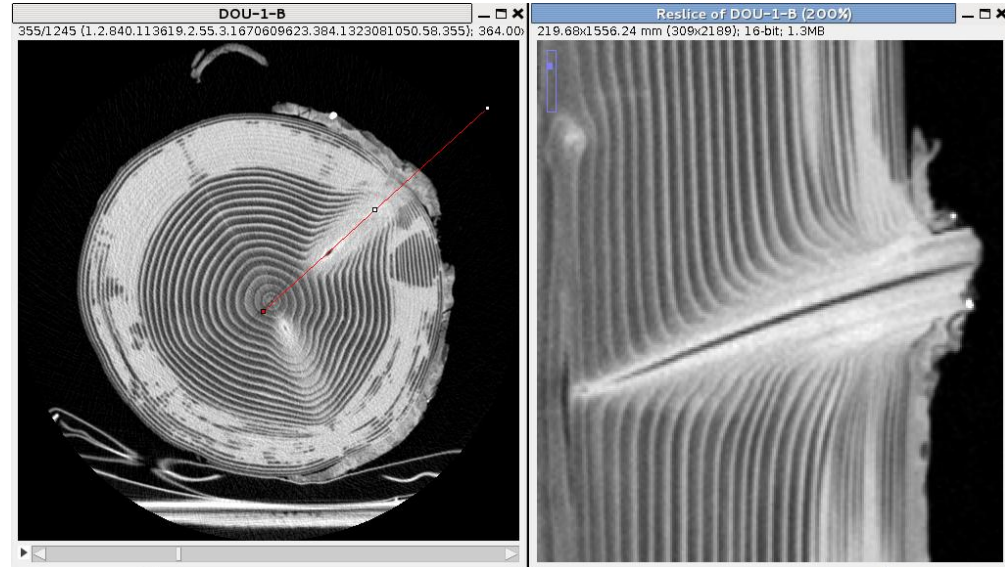
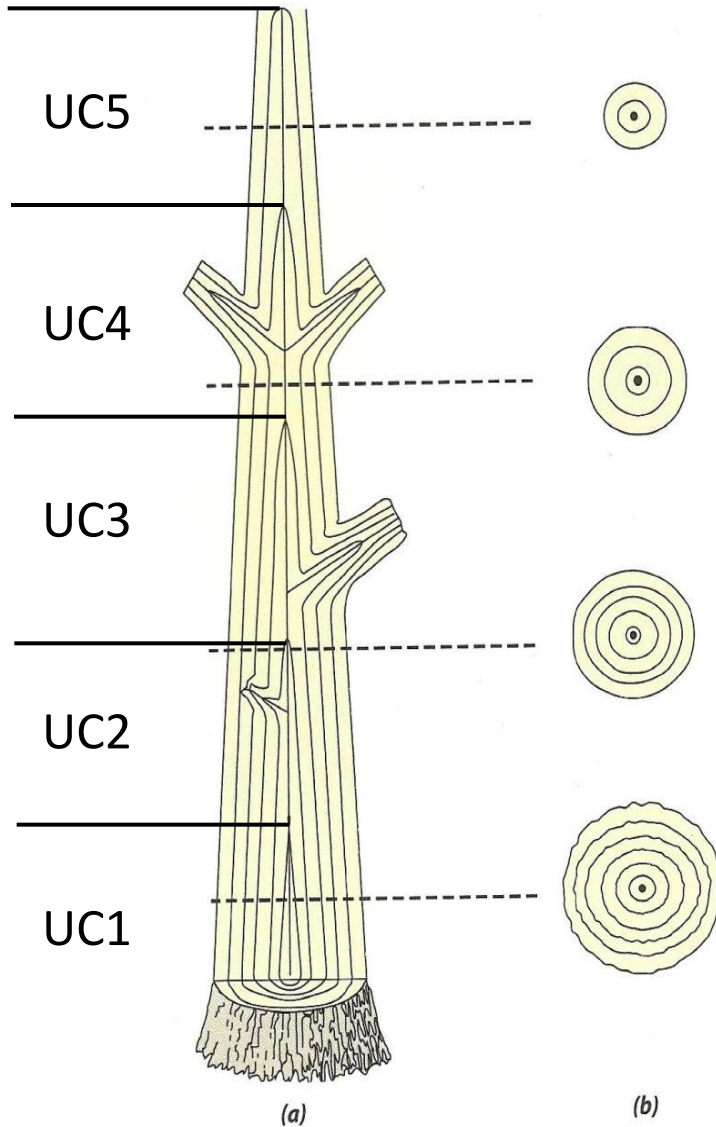
Duramen



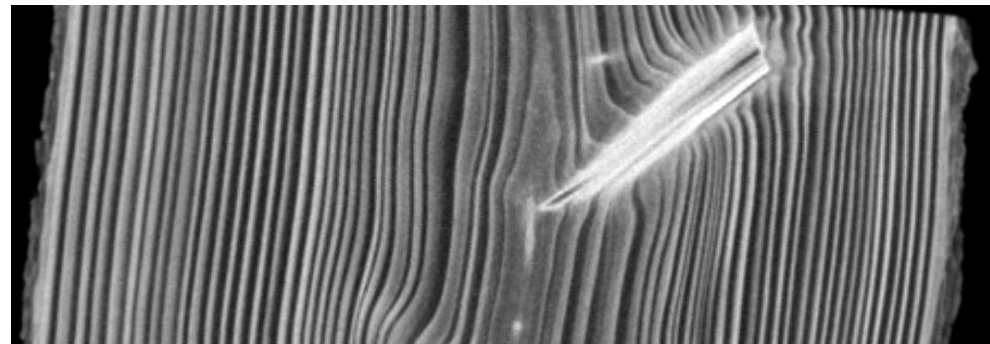
Cernes annuels



# Empilement 3D des cernes



Jonction de branche



Branche incluse

***Un moyen de lire l'histoire dans le bois de l'arbre***

# La croissance du bois construit l'arbre et génère les forces pour s'adapter à l'environnement

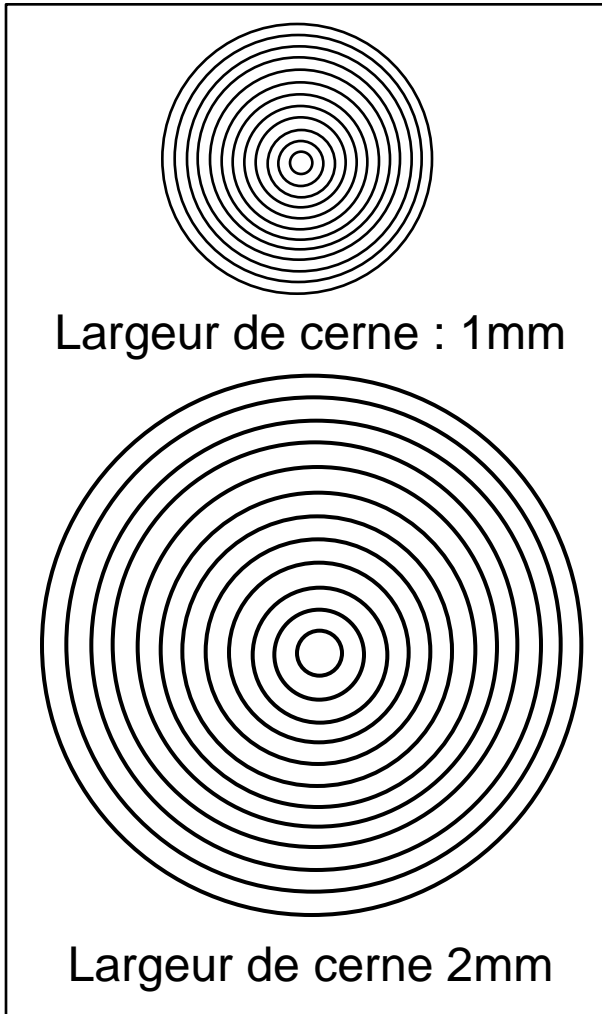
- Allongements et moment fléchissant
- Branchaison, force de trainée et amortissement dans le vent
- Vitesse de division du cambium et inertie
- Epaissement des parois, masse et résistance mécanique
- Orientation du composite à fibre et flexibilité
- Polymérisation de la matrice et création de forces
- Dissymétries, redressements et recherche de la lumière



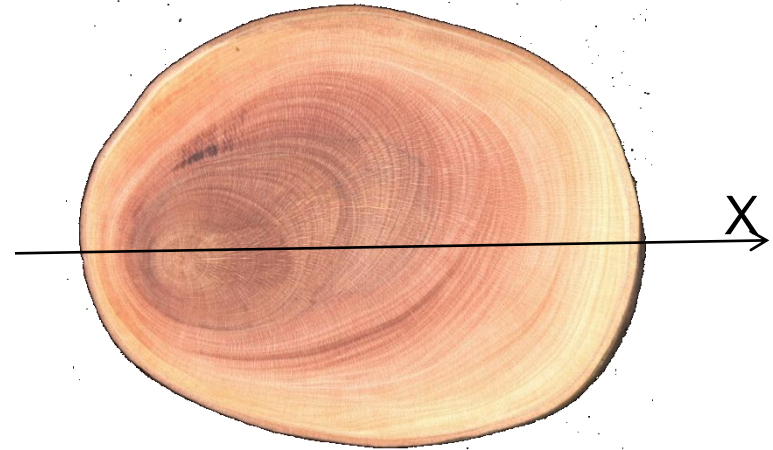
# Réguler le moment fléchissant par la croissance primaire



# Réguler l'inertie par la croissance secondaire



Moment d'inertie est 8 fois plus grand en croissance rapide



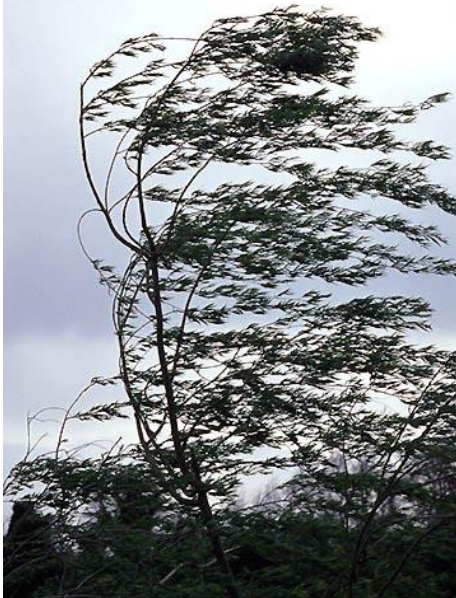
Inertie 2 fois plus grande en X



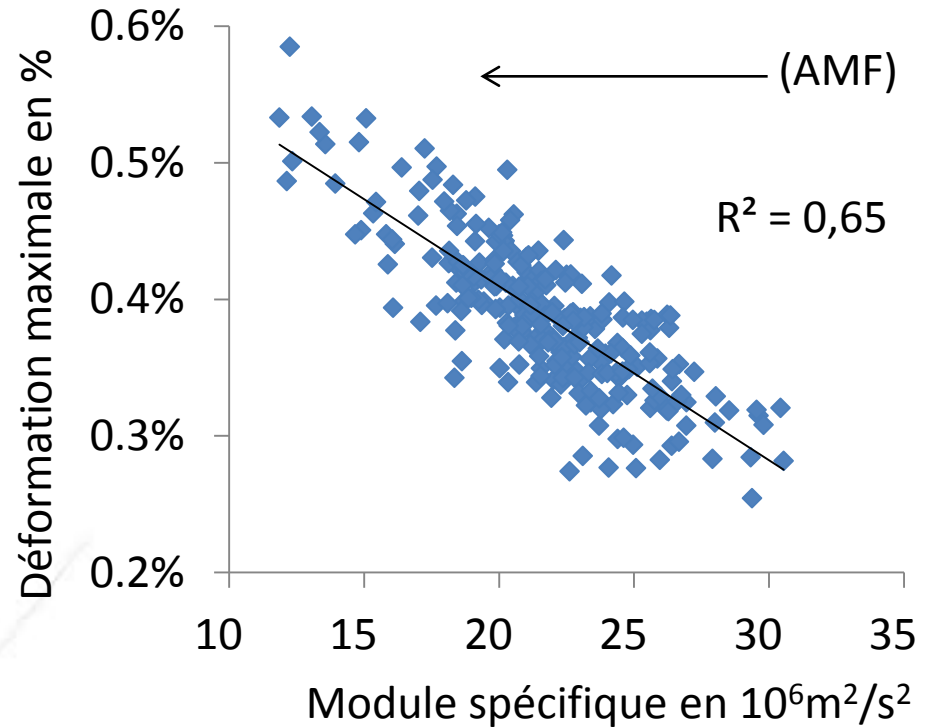
Une autre façon d'augmenter l'inertie à volume constant



# Réguler la flexibilité par l'orientation des nano-fibres de cellulose cristalline



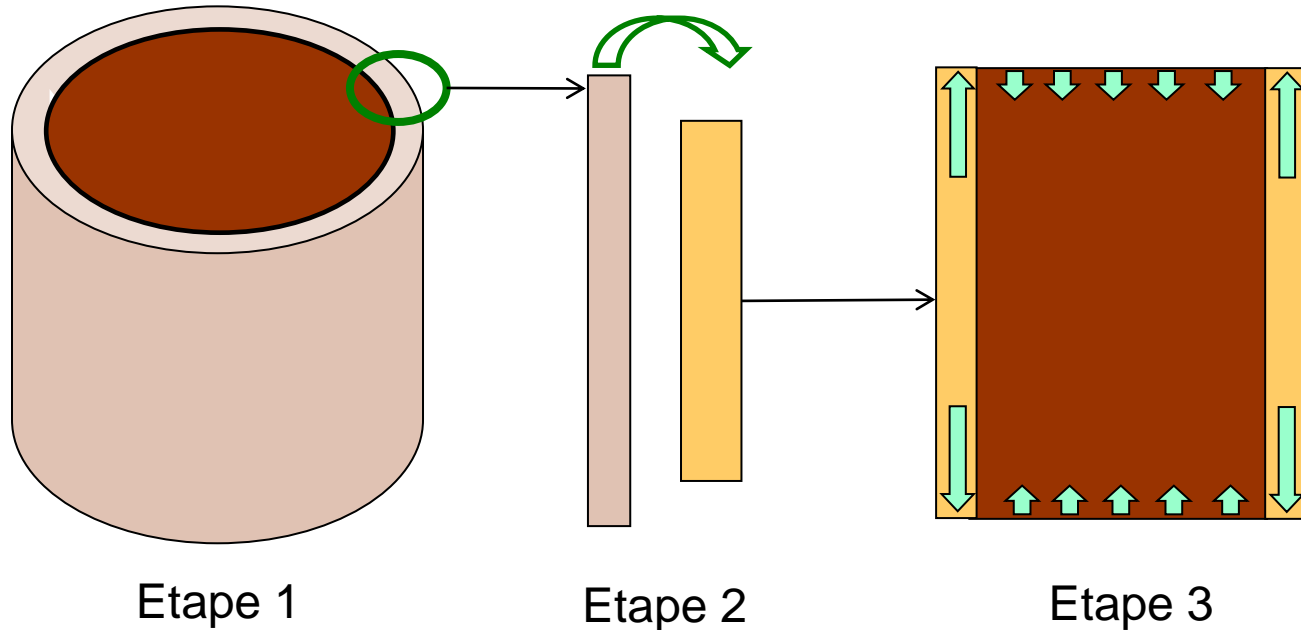
© Can Stock Photo - csp6094394



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

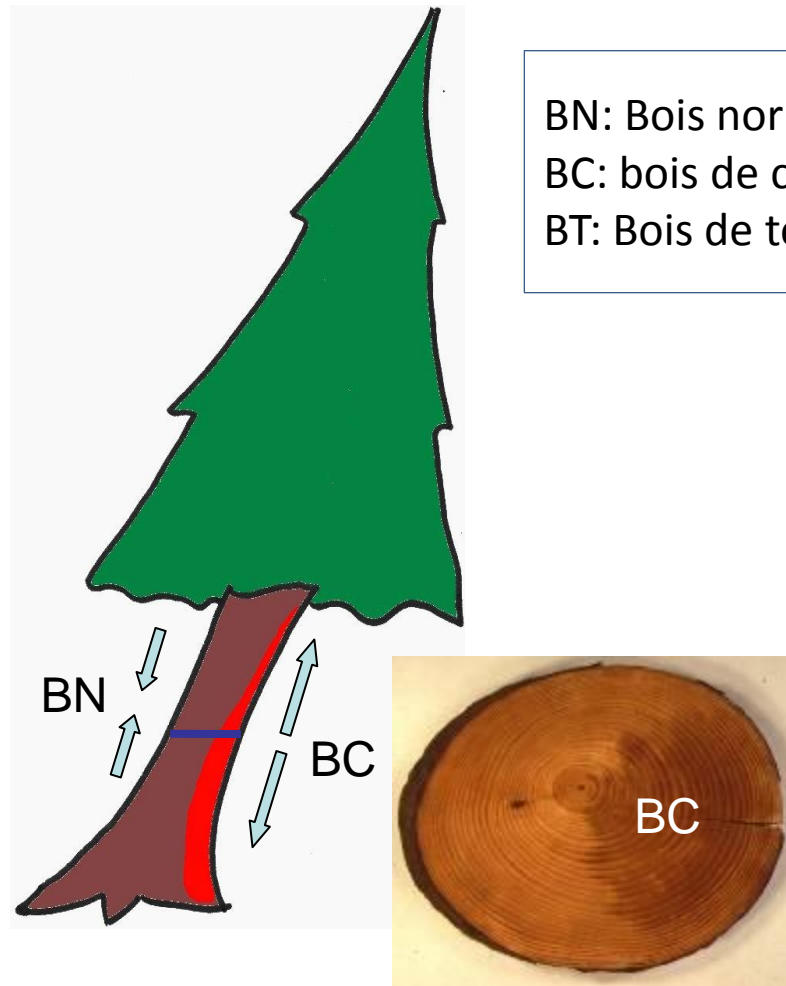


# La maturation des fibres génère des forces dans une tige de bois

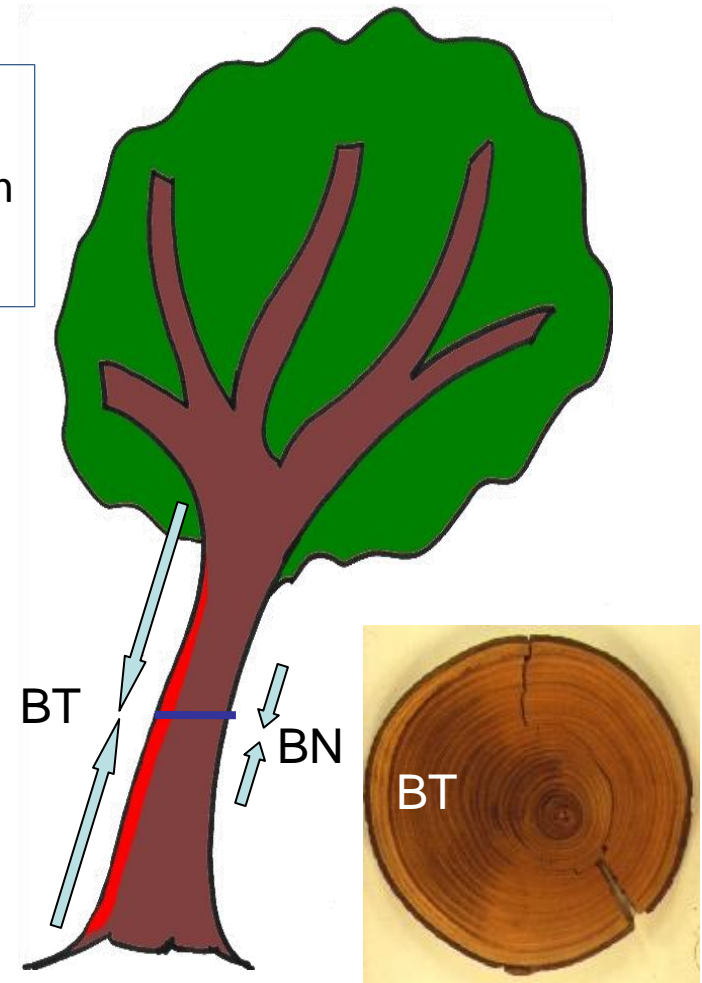


*Etape 1: Création d'une nouvelle couche de bois très molle (division cellulaire)*  
*Etape 2: Cette couche se rigidifie et tend à se rétracter axialement*  
*Etape 3: La déformation, bloquée par l'adhésion sur le bois ancien rigide, génère des forces de traction dans la couche rigidifiée qui sont compensées par une petite compression dans le bois ancien.*

# Les forces peuvent être très dissymétriques



Le bois de compression des résineux crée des forces de compression



Le bois de tension des feuillus crée des forces de tension

# Cela permet aux arbres de se redresser après la tempête



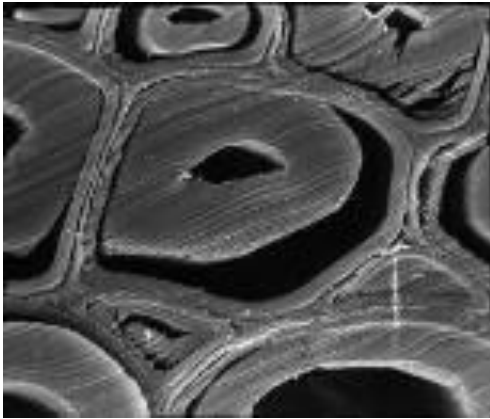
Erable sycomore en Bretagne



Bois canon en Guyane

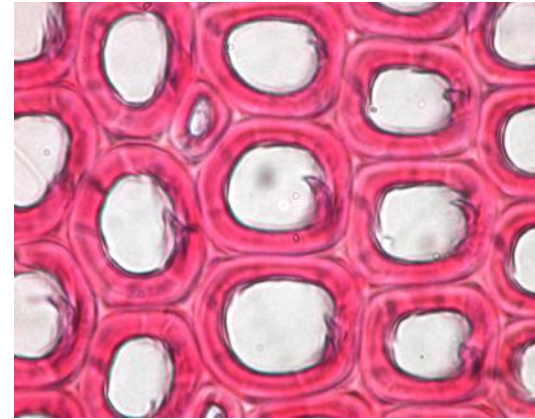


# La chimie de la paroi des fibres régule les forces de redressement



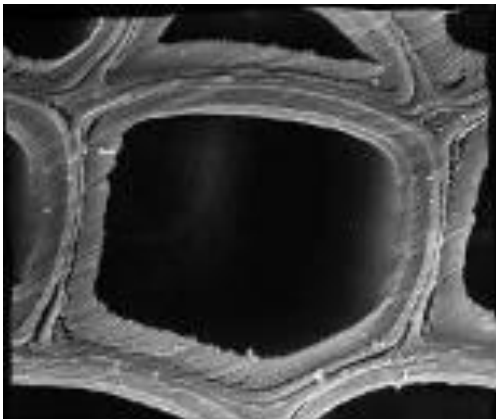
Traction de  
5 tonnes par  
cm<sup>2</sup> de bois

Bois de tension



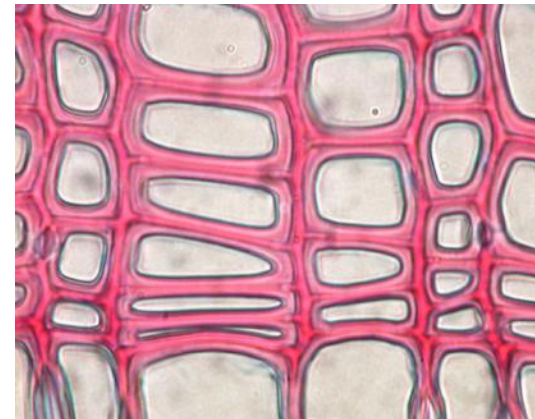
Compression  
de 1 tonne par  
cm<sup>2</sup> de bois

Bois de compression



Traction de  
1 tonne par  
cm<sup>2</sup> de bois

Bois normal



Traction de  
1 tonne par  
cm<sup>2</sup> de bois

Bois normal

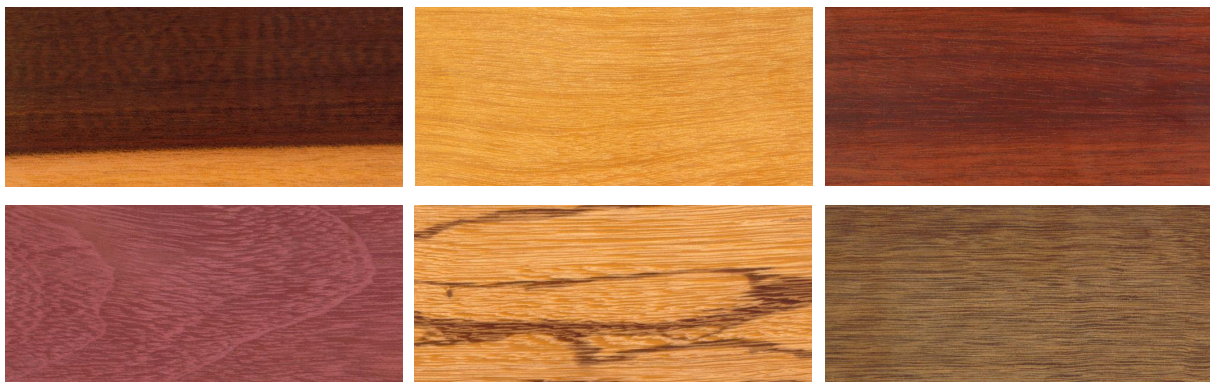
***Dans les bois de réaction une modification de la chimie des macromolécules conduit à changement radical de mise en précontrainte de la couche de bois.***

# Conclusion de la première partie

- La forêt c'est le bois
- Le bois de l'arbre est toujours un remarquable élément de structure
- La diversité des bois est à la fois le miroir de la biodiversité et le résultat de l'adaptation de chaque arbre à son histoire



***Une forêt:*** le bois de Huelgoat ...



Diversité des couleurs de bois de Guyane



Jonction  
cylindre/cylindre

# La forêt et les humains

## deux grands types d'attitude

- Les peuples de la forêt
  - Vivent dans la forêt
  - Sont partie de l'écosystème (animisme)
  - Ont des conflits d'espace dans la forêt, pas d'usages
- Les peuples des champs (et des villes)
  - Vivent à côté de la forêt
  - Se positionnent en dehors de l'écosystème (naturel/artificiel)
  - Dominent l'écosystème (exploitent ou protègent)
  - Ont des conflits d'usages sur la forêt, variable de régulation

La croissance démographique conduit à la saturation de l'espace  
→ conflit généralisé pour l'espace et pour les usages



# La prédation humaine du bois en forêt

- Une grande classe de matériaux de structure
  - Les plus légers
  - Un volume considérable et en croissance
  - Une multitude d'usages
- Une source d'énergie primaire directe
  - Combustible de choix: 50% de carbone + Oxygène et Hydrogène
- Une source de fibres
  - Fibres tirés des écorces (textiles et cordages)
  - Fibres tirées du bois stricto-sensu (pâte à papier, isolants)
- Une source de molécules
  - Tannins tirés des écorces et du bois (châtaignier)
  - Bases de parfumerie: huile essentielle de bois de rose
  - Colorants: bois de braise du Brésil

# Récolte de bois en forêt

- Production biologique de la forêt
  - Croissance des arbres et accroissement annuel
  - Mortalité des arbres sur pied
- Compétition avec les autres prédateurs
  - Micro-organismes
  - Insectes
- Possibilité écologique de récolte
  - Services de régulation
  - Reproduction de la forêt
- Méthodes de récolte
  - Récolte de bois mort
  - Abattage d'arbres

## ***La forêt française***

5 milliards de m<sup>3</sup> sur pied  
(la moitié en Guyane)  
3 à 4% de croissance annuelle  
(80 millions de m<sup>3</sup>/an dans  
l'hexagone )

## ***La récolte actuelle***

50 millions de m<sup>3</sup> /an  
(100 000 en Guyane)  
Environ 10 millions de m<sup>3</sup> /an  
Récoltés pour le bois de feu

## ***Les types de coupe***

Coupe rase dominante dans  
l'hexagone  
Cueillette d'arbres et petits  
abattis en Guyane

# Gestion forestière

- Sylviculture
  - Plantation ou régénération
  - Suivi de croissance (éclaircies)
  - Récolte (coupe à blanc, jardinage)
- Agroforesterie
  - Simultanée (arbres sur cultures)
  - Séquentielle (abattis)
- Prédation durable (sous contraintes)
  - Maintien des fonctions de la forêt
  - Maintien de la biodiversité
  - Maintien du stock de carbone
- Conflits d'usages
  - Chasse
  - Tourisme



# Du bon usage du bois

- La déconstruction de l'arbre
- La cascade des usages et le recyclage
- Le bon bois au bon endroit
- Diversité, traçabilité et circulation des bois



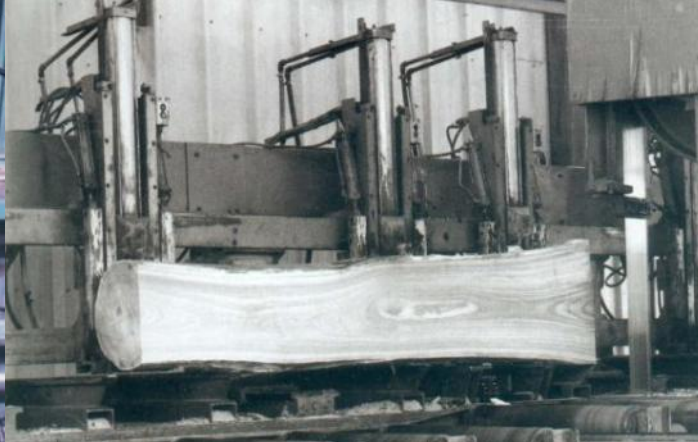
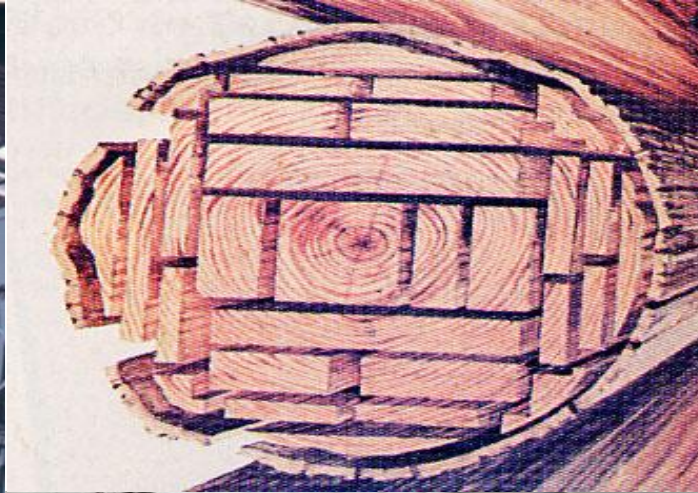
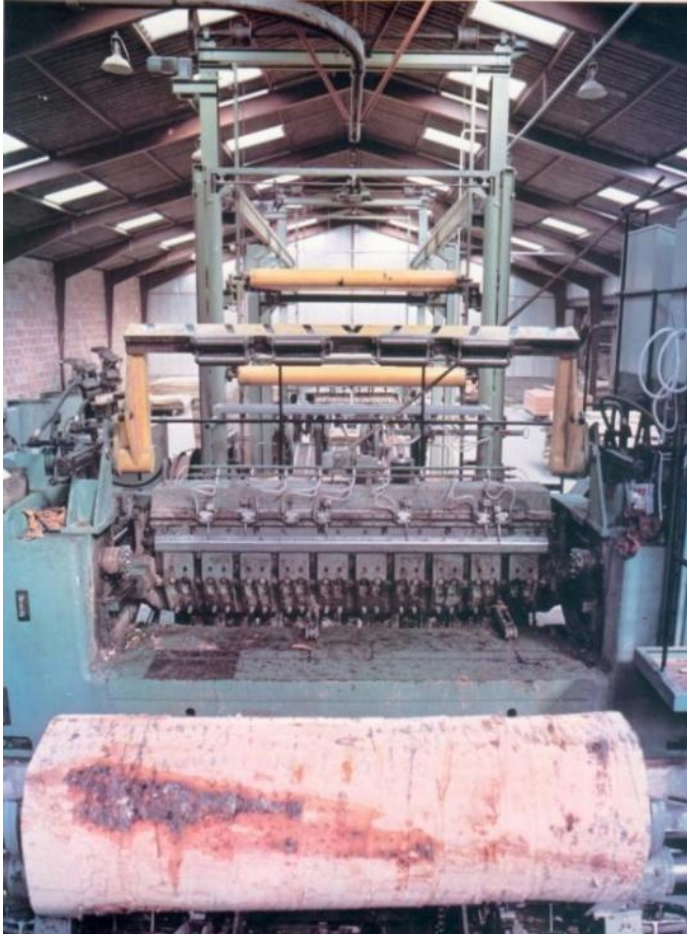
# La déconstruction de l'arbre

- Avant toute chose il est bon de connaître l'état mécanique de la structure à déconstruire
- 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





# Les étapes de la déconstruction



Tronçonnage: grumes et billons

Sciage: profilés bois

Déroutage et tranchage: feuilles de bois

Fragmentation: plaquettes

Défibrage: fibres

Déconstruction de la paroi: molécules



# Les produits de la déconstruction



Bois rond



Poutres



Planches



Placages



Copeaux



Fibres

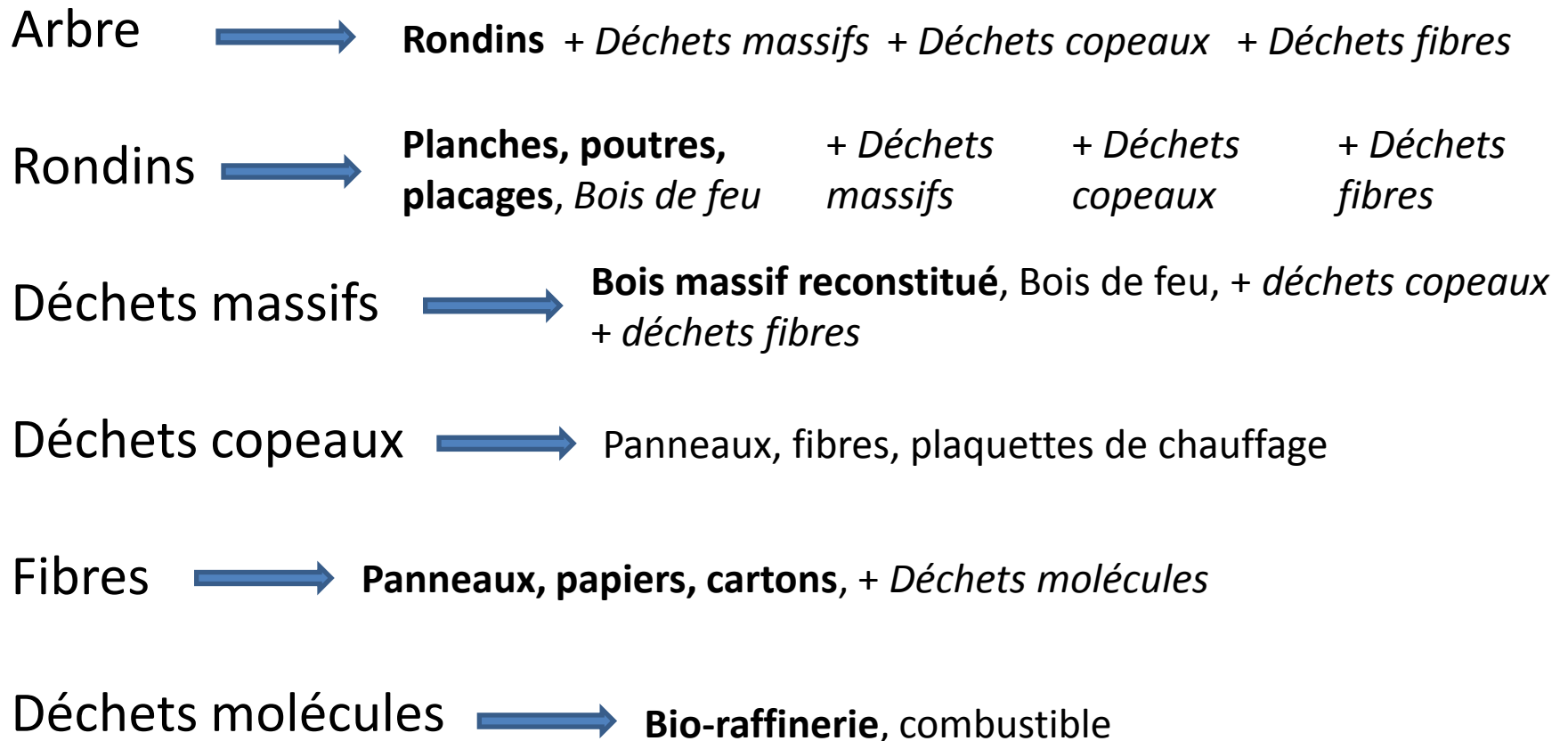


Nano-cellulose



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*

# Le bon bois au bon endroit

- Toutes les solutions « bois » des arbres sont éprouvées
- Toutes les pièces de bois ont des atouts, il faut savoir les utiliser
- Les jonctions sont performantes (voir les bois de marine)
- Il peut-être intéressant de séparer les portions avec jonction et sans nœuds
- Une pièce sans nœud peut être homogène ou composite
- Quelques facteurs clés déterminent les propriétés des bois sans nœuds: densité, anisotropie (angle des fibres), chimie de la matrice
- La densité augmente le poids, les résistances mécaniques et les retraits pourtant les bois légers sont plus intéressants en charpente (inertie)
- Un angle de fibre élevé augmente la flexibilité et diminue le retrait
- Un cocktail d'extractible peut diminuer le retrait, rendre le bois imputrescible et inattaquable et changer son comportement acoustique

Au total il y a une énorme diversité de pièces de bois pour une énorme diversité d'usages



# Usage direct du bois rond après tronçonnage



Fourche en micocoulier



Sculpture dans les monts d'Arrée



Fronde



Poteaux bois



Piquets



Porte  
manteau



# Bois rond pour la construction en Guyane





# Usages du bois de fente



Fente



Ganivelles



Gaulettes de Saül



Bardeaux de toiture



Tonneau en chêne



Panier en frêne



# Usages des sciages de bois pour la construction et le génie civil

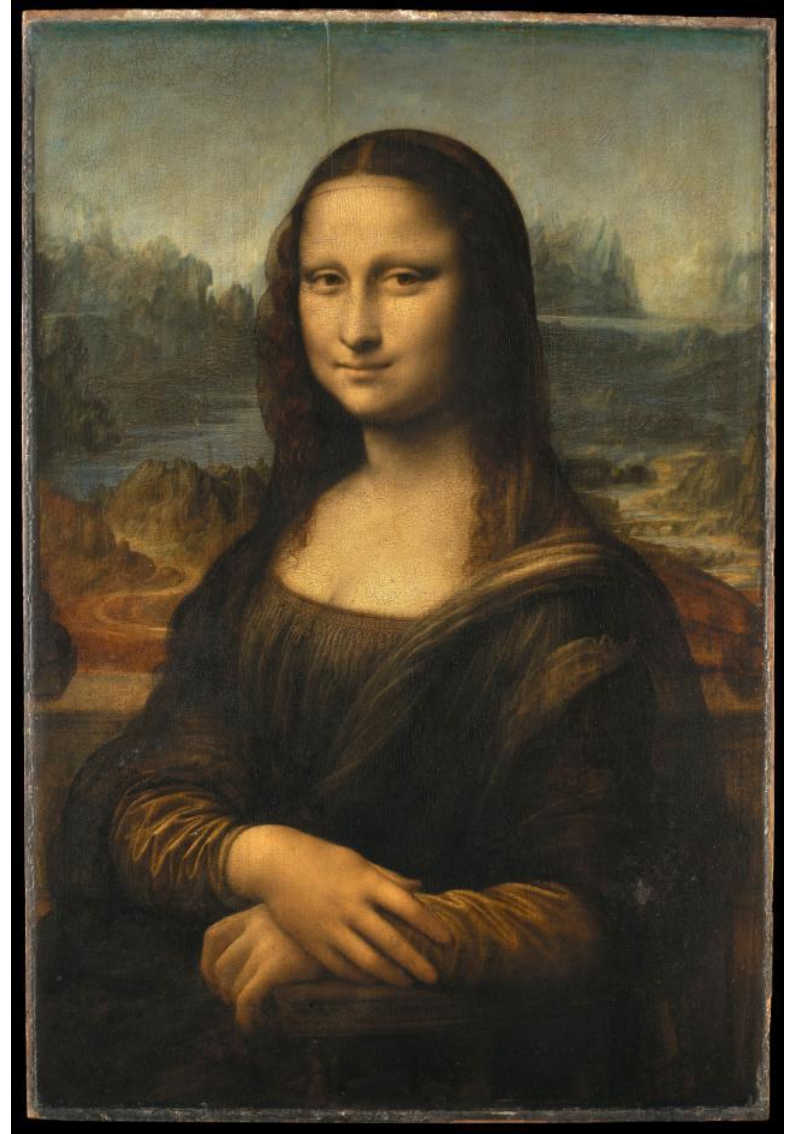


# Usages du bois pour le transport et l'emballage



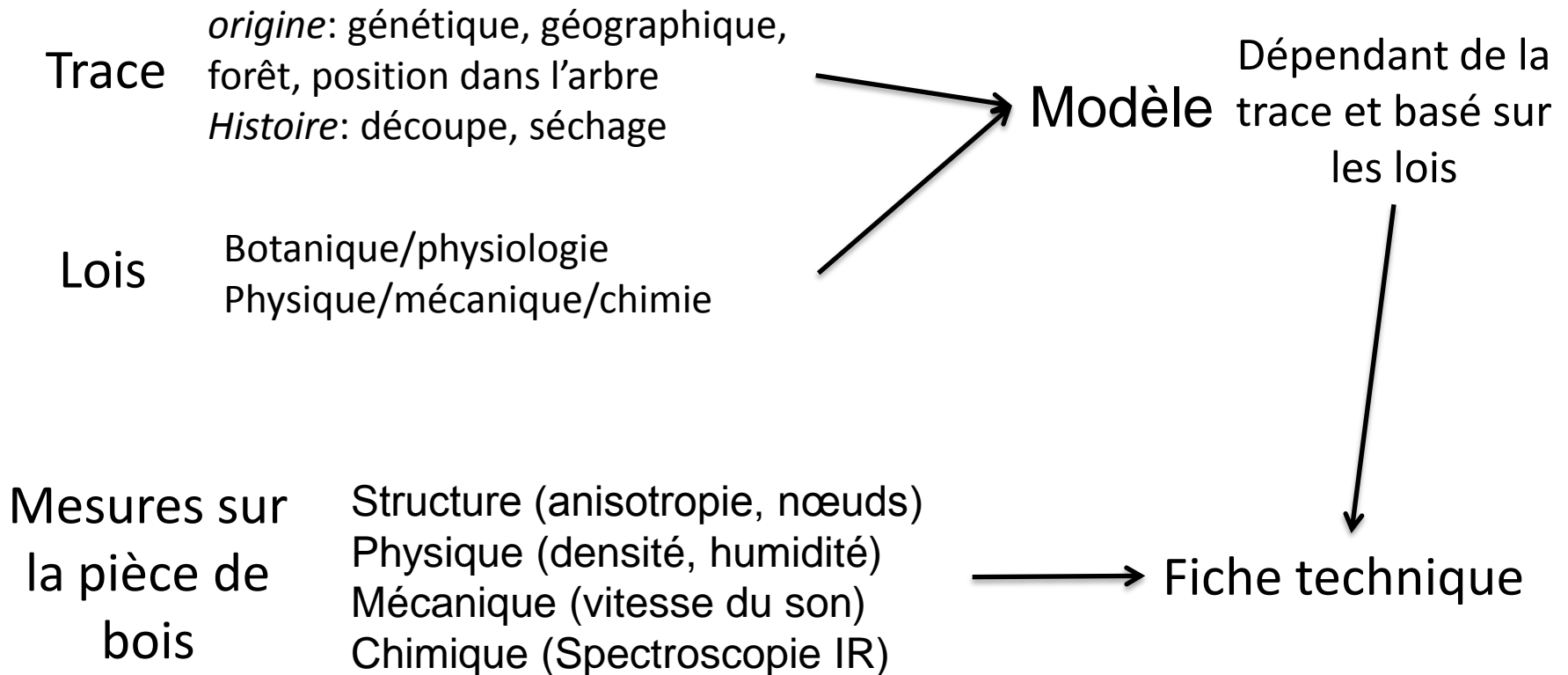


# Usages du bois pour la culture





# Une fiche technique pour une pièce de bois



La Traçabilité est fondamentale

# Conclusion

- La forêt c'est le bois, ils ne sont ni amis ni ennemis
- L'humain est un prédateur majeur de la forêt
- Il peut agir intelligemment ou cupidement (ami/ennemi)
- La croissance démographique ne laisse pas de choix: il faut préserver la forêt et ses fonctions, utiliser et valoriser tous les produits et services qu'elle peut offrir
- Le bois est le principal des consommables de la forêt et c'est un matériau extraordinaire
- On ne peut être qu'amoureux de la forêt et passionné du bois

Merci de votre attention

