

Premier chapitre

Le bois :

«Partie 2»

- Avantages et inconvénients.
- Types et propriétés de bois.
- Production de la matière organique (Photosynthèse).
 - Constitution du bois.
 - Structure du bois.
- Composition organique du bois.
 - Défauts du bois.
 - Le bois et l'eau.
- Causes de Vieillissement du bois.
 - Séchage et découpe du bois.

Le Bois :

**un matériau composite
naturel anisotrope**

Définition du bois

Le bois est un matériau naturel composé de cellules ligneuses vivantes.

Le bois est une matière organique. Parmi ces principaux constituants organiques nous pouvons citer la cellulose environ 50% et la lignine environ 20% Le bois est la matière ligneuse et compacte qui compose les branches, le tronc et les racines d'un arbre. Chimiquement le bois se compose presque toujours de 50% de carbone, 42% d'oxygène, 6% d'hydrogène, 1% d'azote et 1% d'éléments divers.

Le bois assure, chez la plante, le rôle de conduction de la sève brute des racines jusqu'aux feuilles et le rôle de soutien mécanique de l'arbre ou de l'arbuste.



peuplier



hêtre



noyer



+ érable



+ palmier



ajon parasol



cèdre du Liban



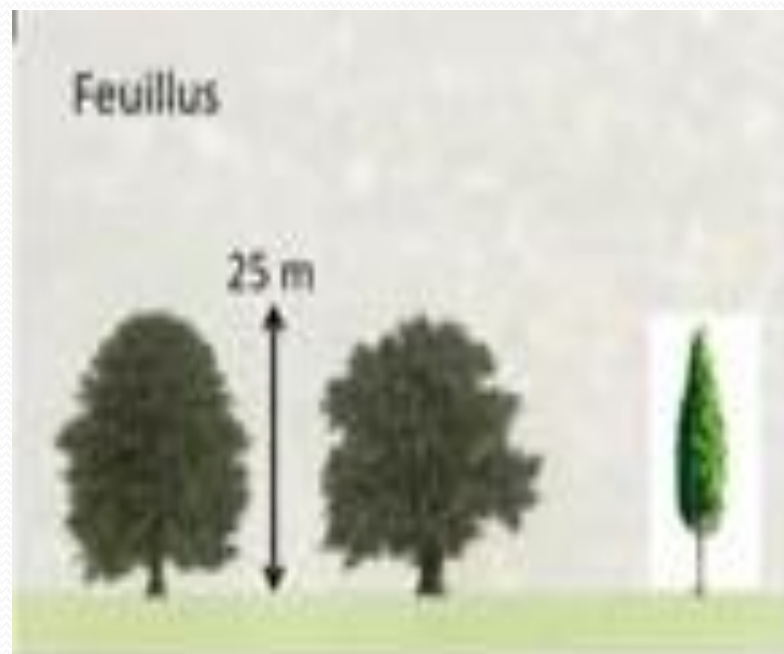
épicéa : épinette



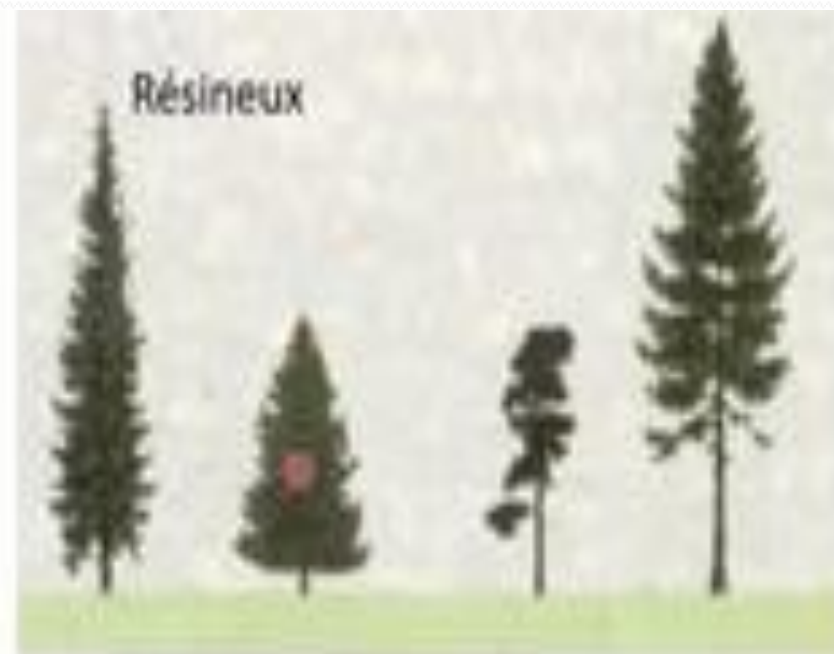
mélèze



+ sapin



Hêtre	Chêne	Peuplier
(100 à 150 ans)	(150 à 250 ans)	(25 ans)
(400 ans)	(500 à 1000 ans)	(200 ans)



Épicéa	Mélèze	pin	Douglas
(50 à 120 ans)	(50 à 80 ans)	Sylvestre	(50 à 80 ans)
(200 ans...)	(800 ans)	(80 à 100 ans)	(600 ans)
		(300 ans)	

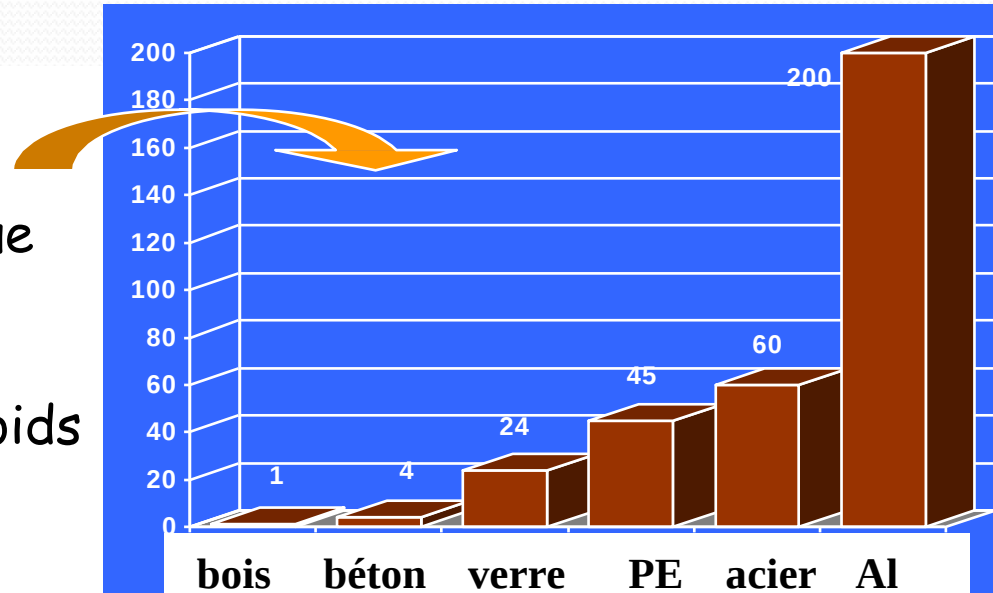
Le bois: un matériau d'ingénierie d'origine naturelle

AVANTAGES :

- Facilité de mise en œuvre
- Matériau à faible coût énergétique
- Isolant thermique
- Esthétique
- Propriétés mécaniques élevées/poids
- Renouvelable

INCONVENIENTS :

- sensible à l'humidité
- instable dimensionnellement
- sensible aux attaques biologiques
- instabilité de l'aspect de surface
- anisotrope
- hétérogène



Energie nécessaire à la fabrication d'une tonne de matériau (en mégajoules)

Conséquences :

Le bois est concurrencé par d'autres matériaux.

Le bois doit être traité ou modifié.

- Le bois est le seul matériau naturel renouvelable :
- il est largement utilisé dans les domaines du bâtiment, de l'ameublement, de la papeterie. Il existe différents types de bois présentant des propriétés communes et spécifiques.

• 1. Les différents types de bois

• a. Les feuillus

- Les feuillus sont caractérisés par des feuilles larges et plates. Le plus souvent, leurs feuilles sont caduques, c'est-à-dire que ces arbres perdent leurs feuilles en automne pour mieux résister en hiver. Ils ne fabriquent pas de résine.

- *Exemples* : le bouleau, le chêne, le hêtre, le merisier, le châtaignier, ...

• b. Les résineux (ou conifères)

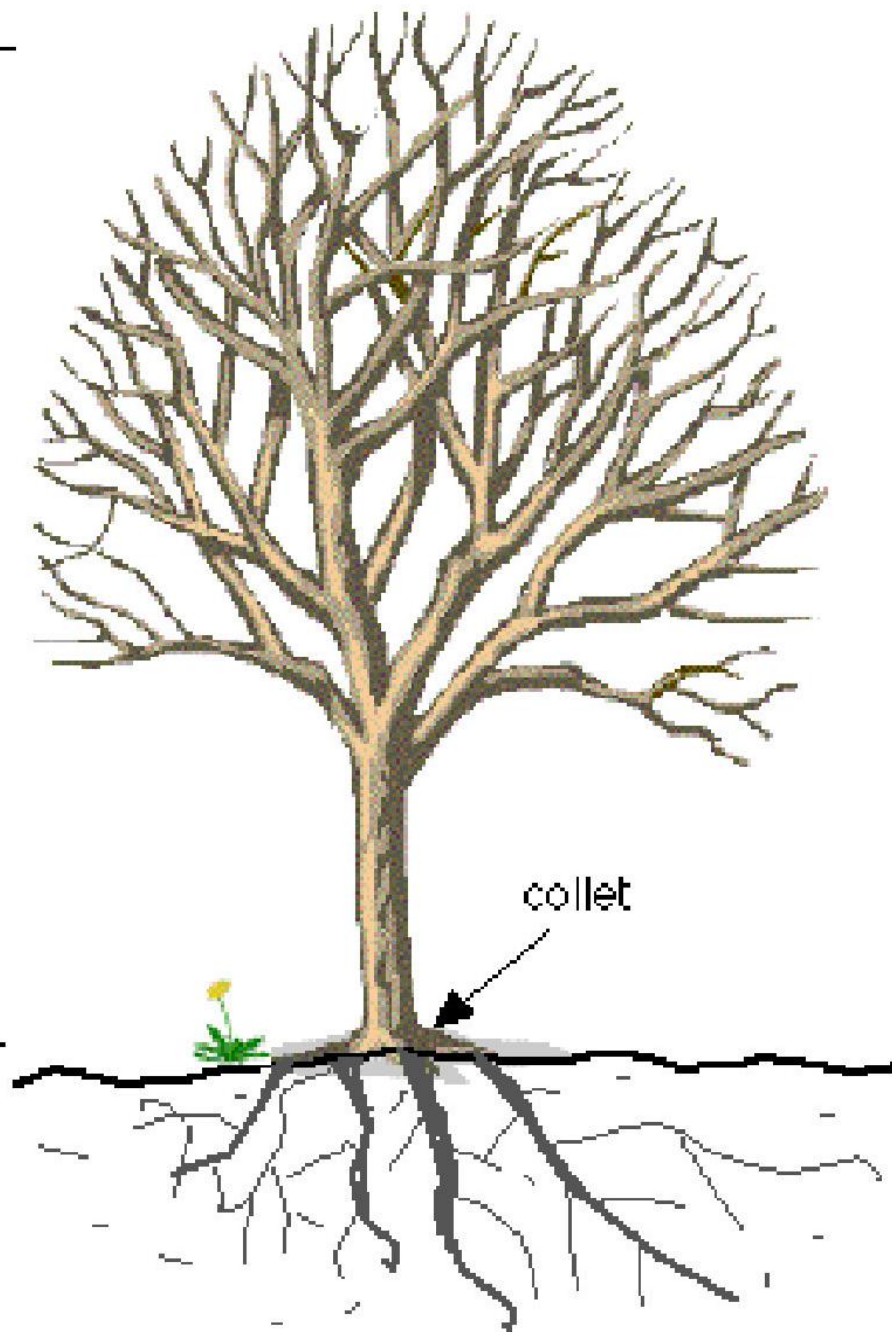
- Les résineux, ou conifères, sont caractérisés par des feuilles en aiguilles, persistantes l'hiver (sauf chez le mélèze). La plupart des résineux possèdent des cellules sécrétrices de résine dans leur écorce, leur bois ou leurs feuilles.

- *Exemples* : le pin maritime, l'épicéa, le pin sylvestre, le douglas, ...

Les propriétés du bois :

- **Sa résistance** : c'est la capacité du bois à résister à des forces mécaniques (compression, traction, flexion). Cette propriété dépend de l'essence, des conditions de croissance du bois, de la présence ou non de nœuds.
- **Sa combustibilité** : c'est la propriété du bois à brûler en dégageant de la chaleur. Cette propriété dépend de l'essence du bois.
- **Sa capacité d'isolation thermique** : le bois est un faible conducteur thermique.
- **Sa richesse en cellulose** : avec la lignine, la cellulose est un des composants majeurs du bois. Elle constitue la matière première essentielle pour la fabrication du papier.
- **La durabilité naturelle** : c'est la capacité du bois à résister aux agressions des agents atmosphériques (soleil, pluie, humidité, froid, ...), aux champignons et aux insectes xylophages (tels que les termites) qui font vieillir le bois plus vite et le fragilise. Les bois les plus durables sont les bois denses, riches en tanins (ex. : chêne, châtaignier, ...) et exempts d'amidon et de glucose, nourriture habituelle des insectes xylophages.
- **La coloration du bois** : elle est différente pour chaque essence, car elle dépend de la composition de la fibre du bois. Elle peut varier au sein d'un même bloc de bois et sous l'influence de facteurs externes (soleil, humidité, ...). Le bois est généralement plus sombre au centre (bois parfait ou duramen) qu'à la périphérie (bois imparfait ou aubier).

silhouette



cime ou houppier

tronc

racines

Le bois est une matière ligneuse élaborée par un organisme vivant au milieu d'un écosystème. L'ensoleillement, la nature du terrain, l'altitude, la température ambiante, la pollution atmosphérique... interviennent directement sur la croissance des arbres

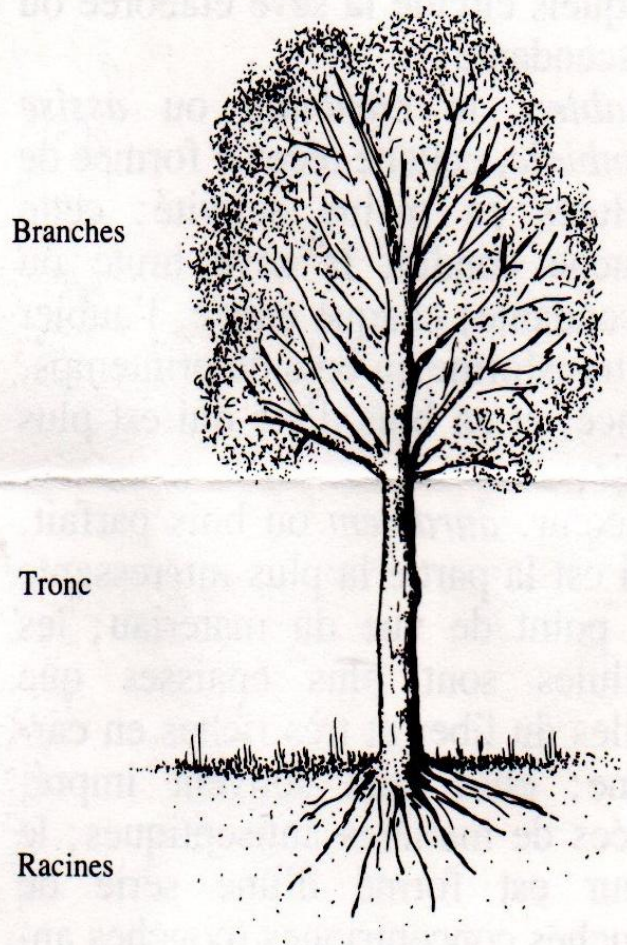


Fig. 1 L'arbre.

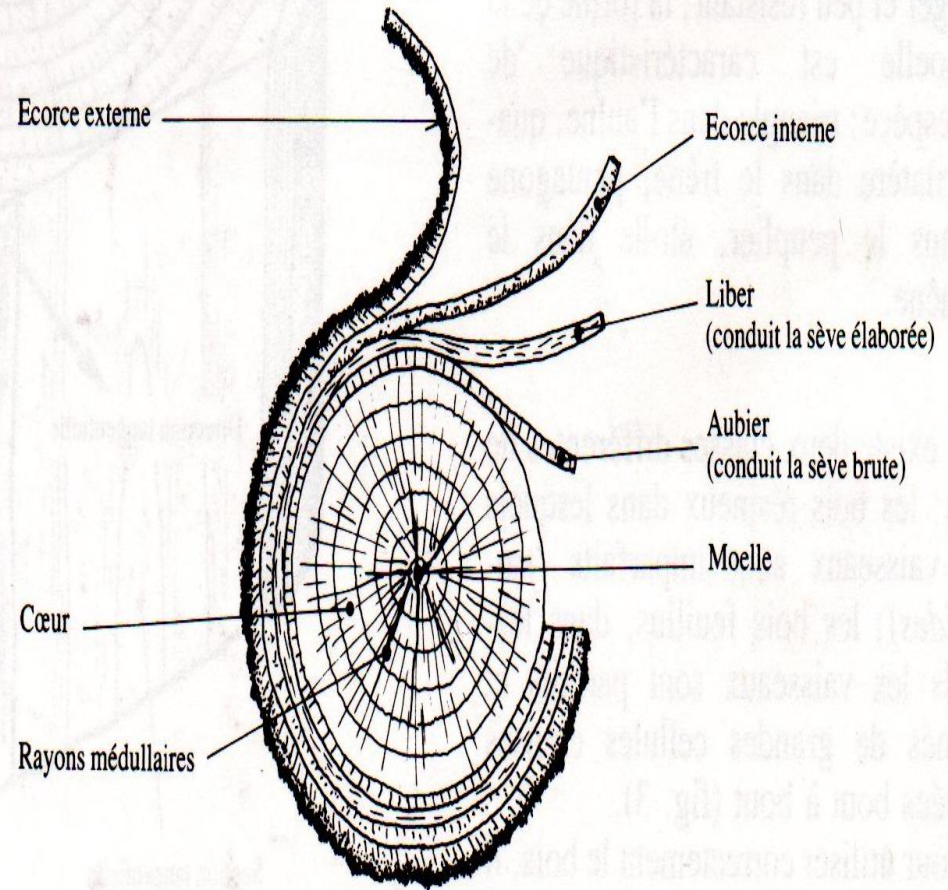
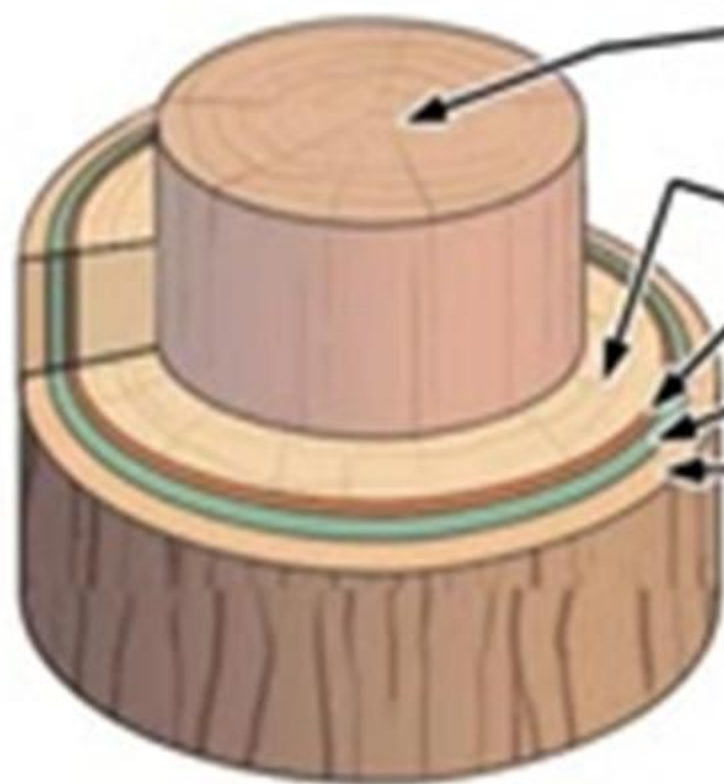


Fig. 2 Coupe transversale d'un tronc.

Coupe transversale dans un tronc ou une branche



Duramen (parfois coloré), bois dit « parfait » (terme général): rôle de soutien mécanique. C'est la zone ayant les meilleures caractéristiques de durabilité

Aubier (bois fonctionnel) : épais de quelques cm, constitué de cellules vivantes récemment formées. Sensible aux champignons et insectes mais facilement imprégnable. La sève ascendante y circule.

Cambium : tissu très fin (quelques microns) permettant la croissance en épaisseur. Vers l'intérieur, il produit l'aubier. Vers l'extérieur, il produit le liber

Liber (=écorce interne) : par où circule la sève descendante.

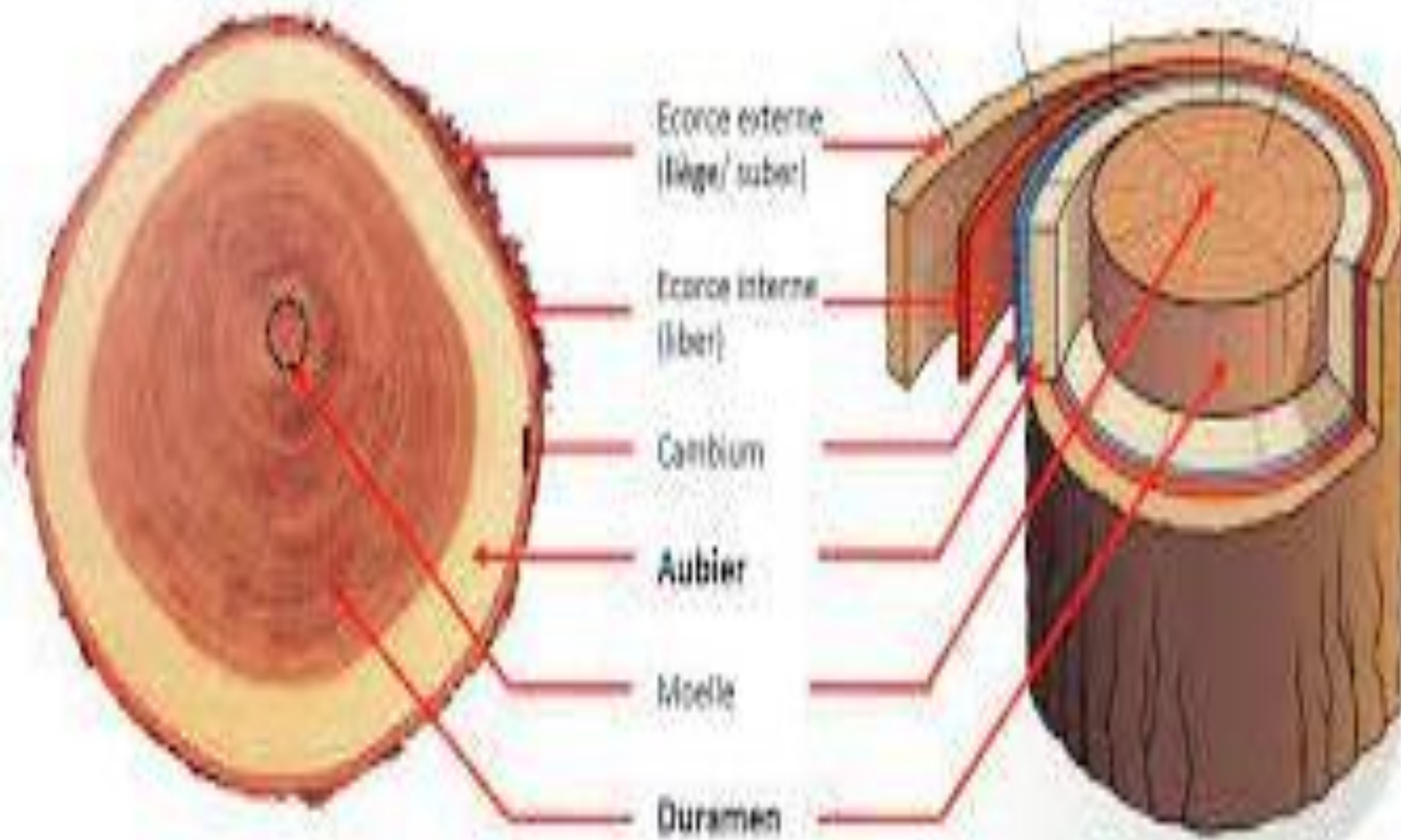
Ecorce (=écorce externe) : bois mort protégeant l'intérieur

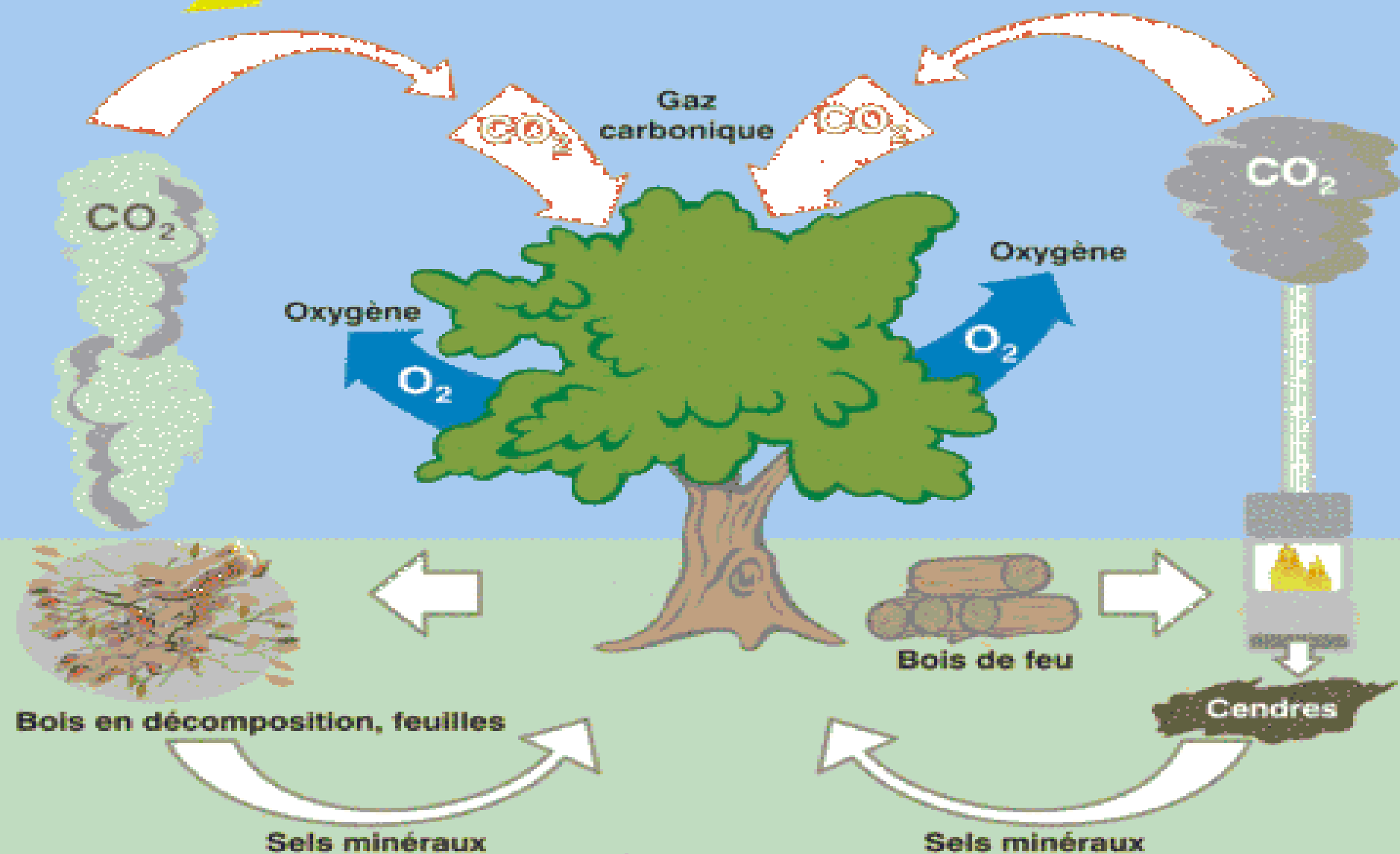
© IEDG Bismail - <https://www.wikipedia.fr/wiki/Bois>



Sur certains arbres, les différentes zones sont clairement visibles. Sur d'autres comme l'épicéa, elles le sont moins.

Coupe transversale

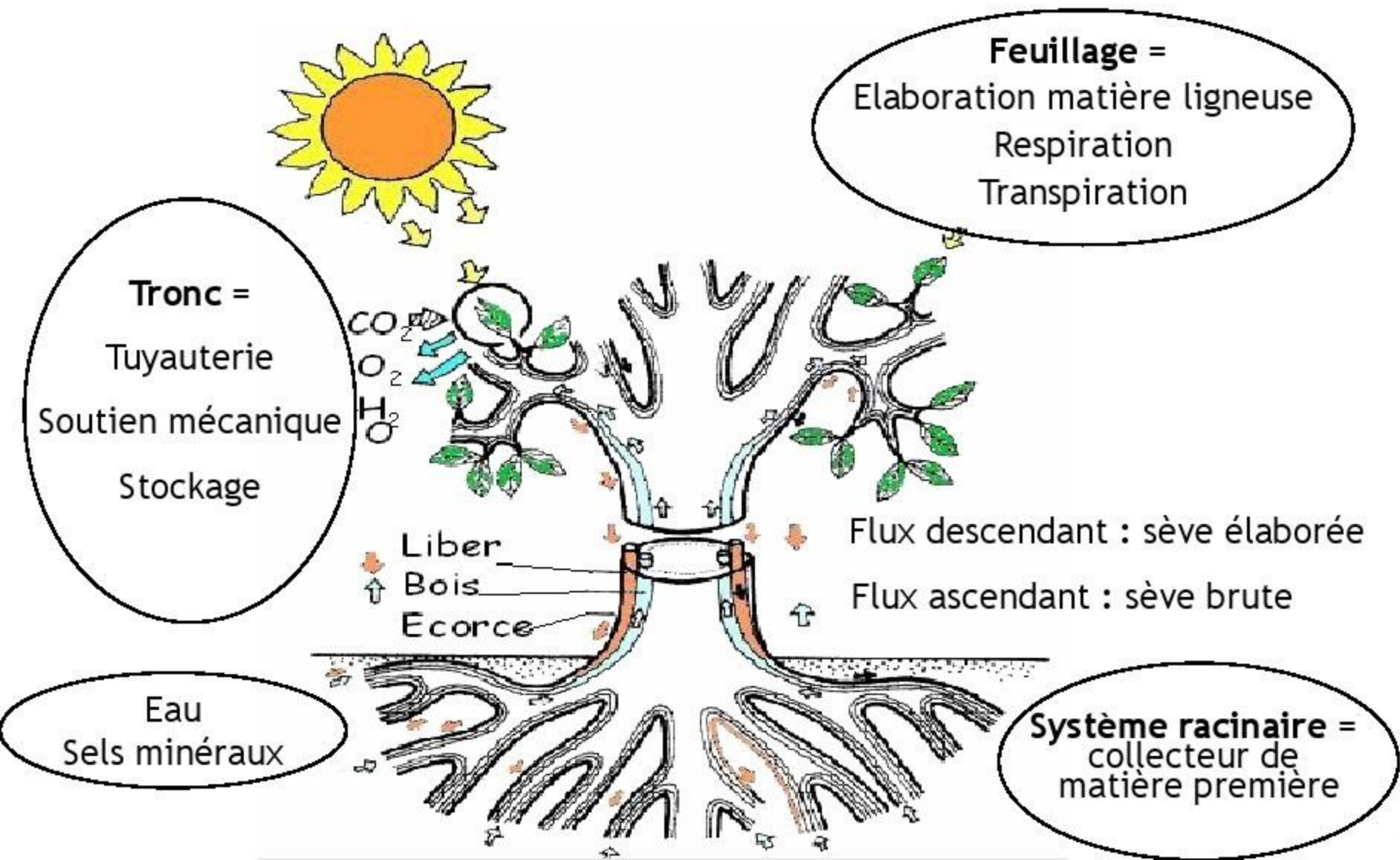




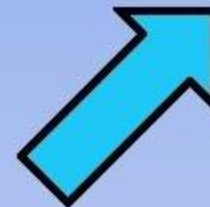


De l'arbre au bois

L'arbre usine à bois



ROLE DE L'ARBRE



**1,6 tonne
de CO₂ absorbé**

**1,1 tonne
d'O₂ émis**

**0,5 tonne
de C fixé**

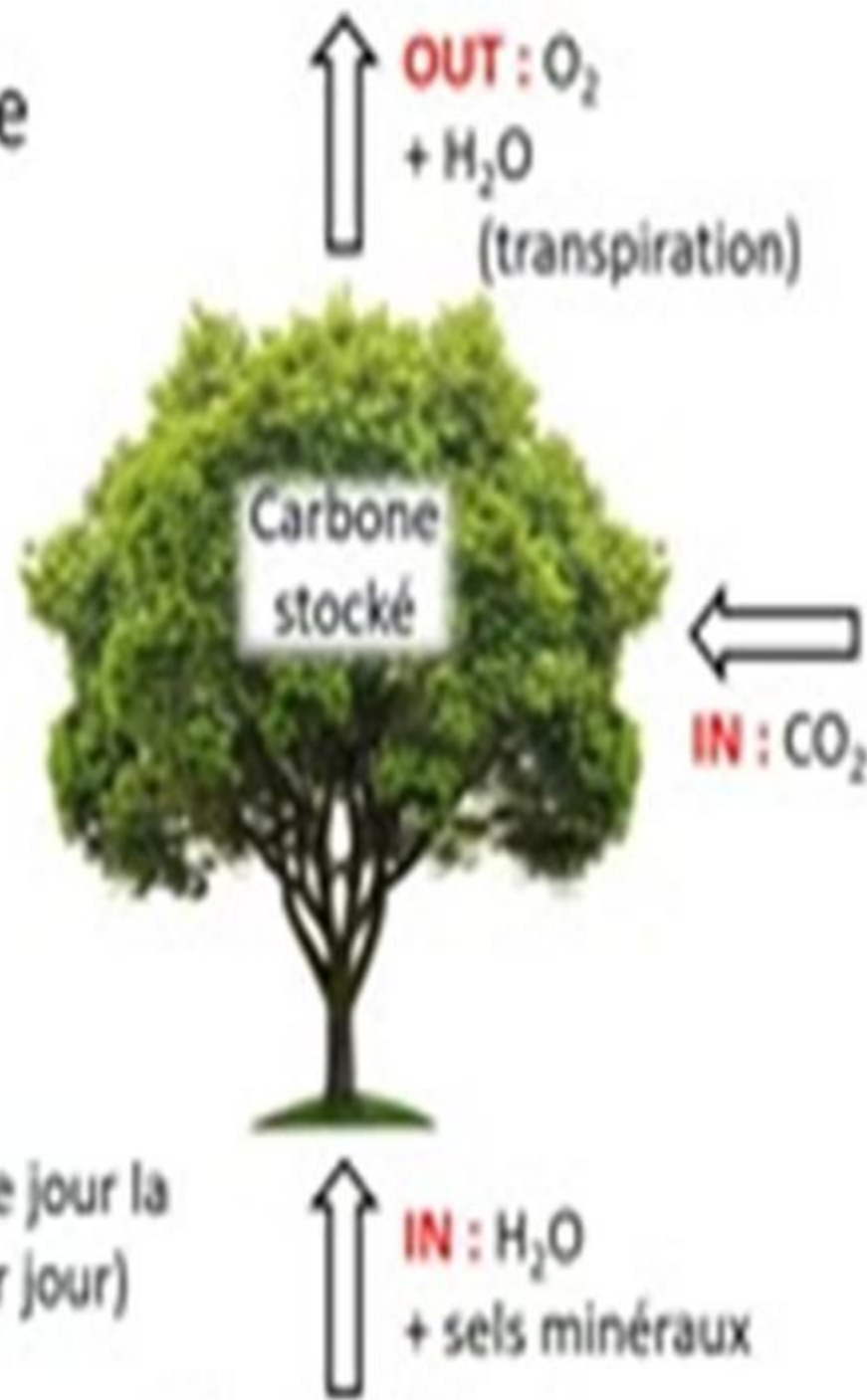


**1 tonne de bois
produite par
photosynthèse**



Le bois compense l'effet de serre

- Pour pousser, l'arbre stocke le carbone provenant du CO_2 de l'air (photosynthèse)
- Cette fonction est capitale pour l'environnement : les océans et les forêts sont les deux "stockeurs" principaux de carbone provenant du CO_2
- Un hêtre de 25 m de hauteur libère chaque jour la quantité d' O_2 que respirent 3 personnes (par jour)



La photosynthèse

La production de matière organique par les végétaux

Dioxyde de carbone

Chlorophylle

Lumière

Matière organique

Oxygène

Eau et sels minéraux

Equation bilan

Eau et sels minéraux

+

Dioxyde de carbone

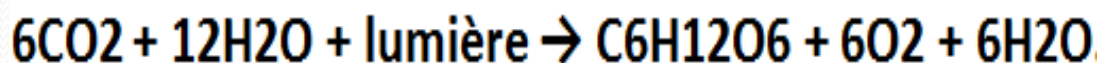
Lumière

Chlorophylle

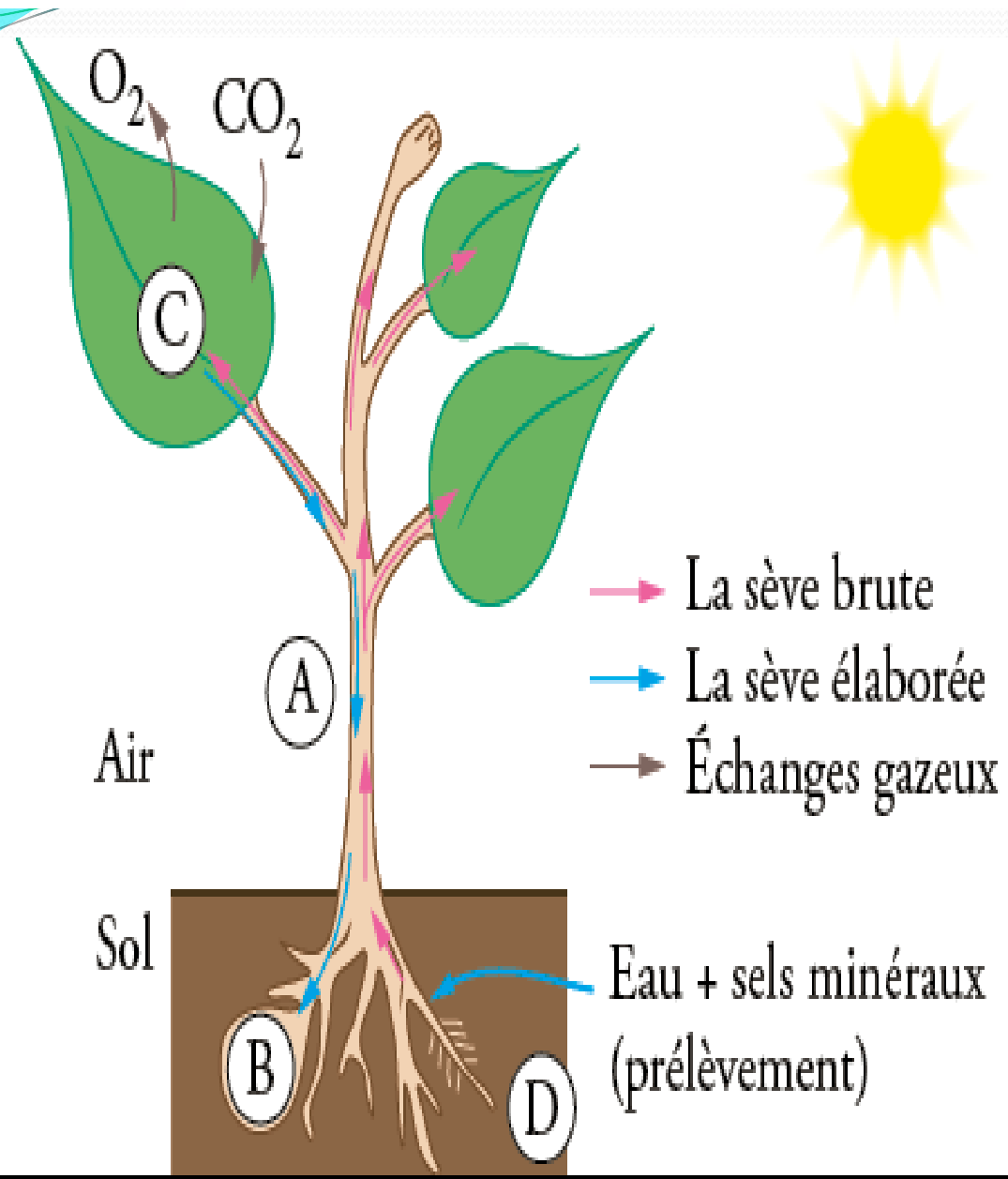
Matière organique

+

Oxygène



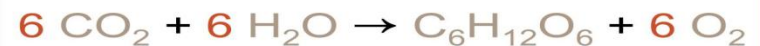
Croissance : fabrication du bois par photosynthèse



Sèves brute et élaborée ?

La sève brute (eau + sels minéraux) **MONTE** dans l'aubier.

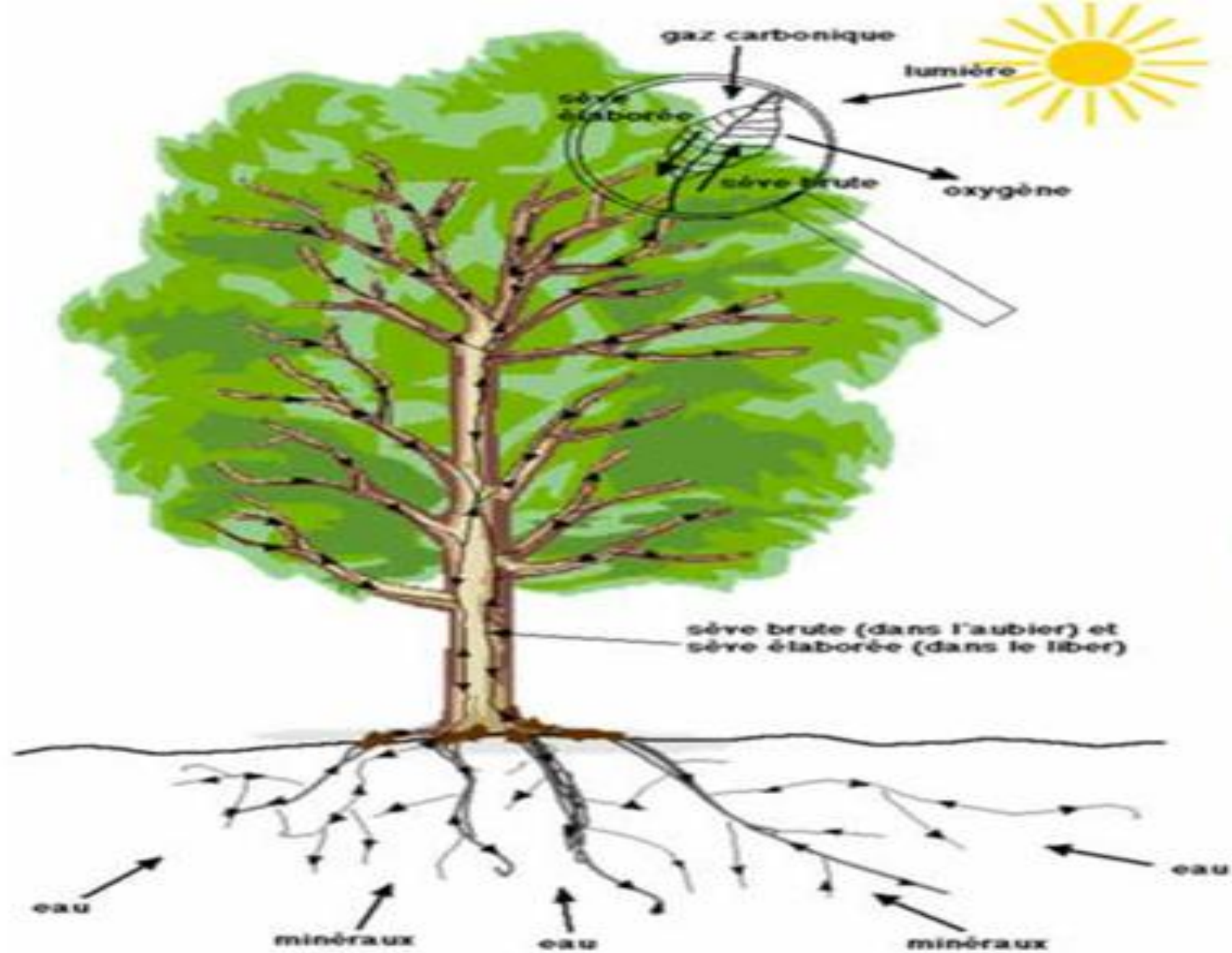
La sève élaborée (eau + sucres photosynthétisés) **DESCEND** dans le liber.



dioxyde de carbone + eau

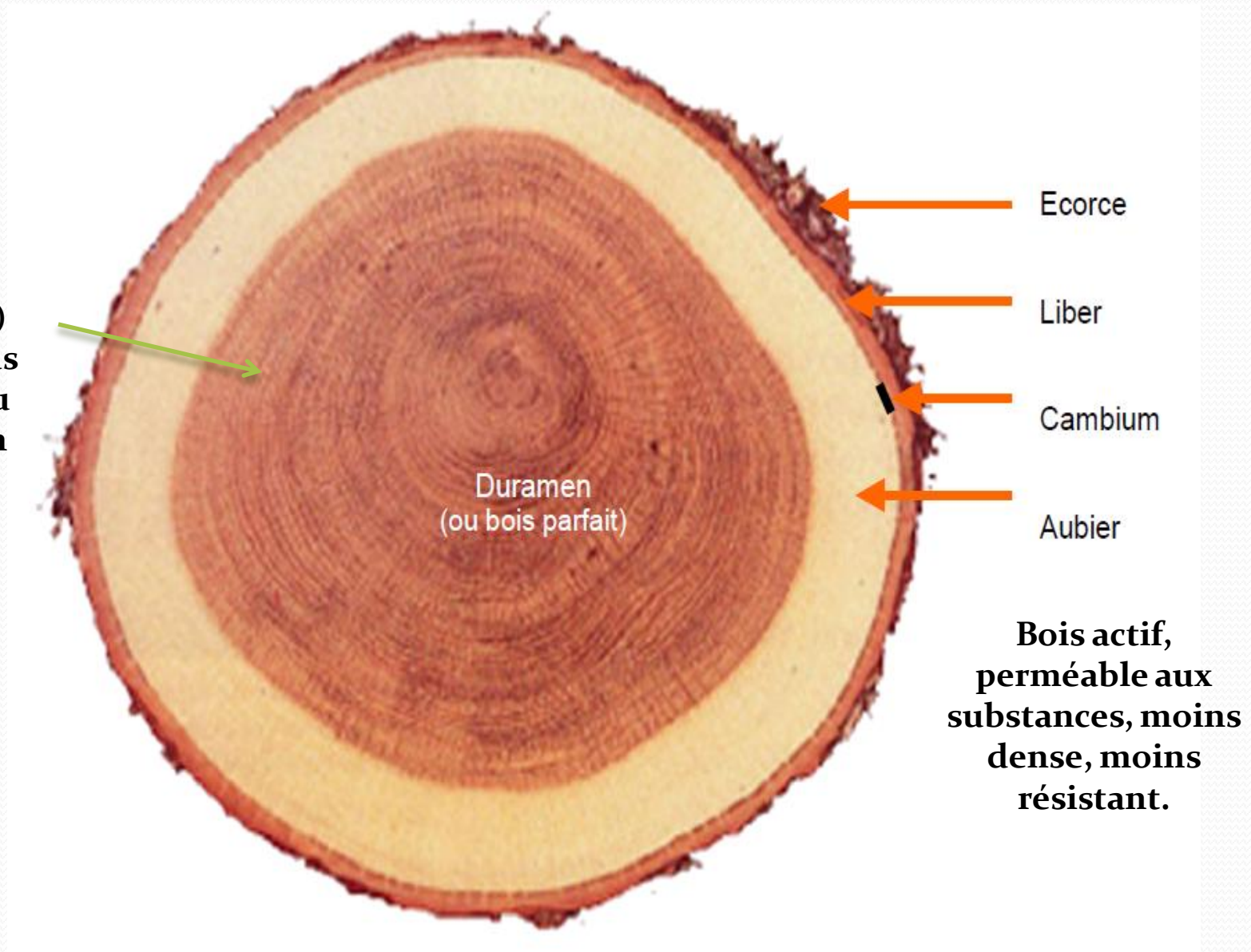


sucres + oxygène



Le bois est un tissu végétal, formé de cellules, canalisant la sève brute.

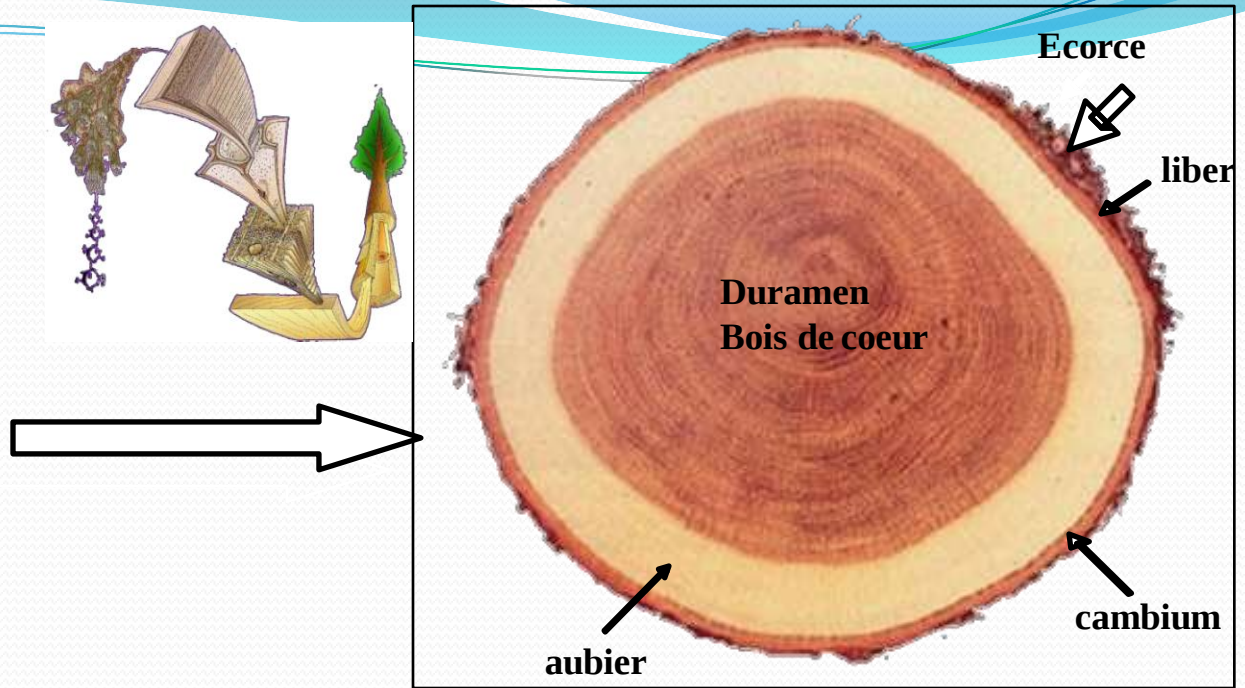
**bois parfait
(bois de cœur)
tissu mort, plus
foncé, placé au
centre du plan
ligneux
transversal.**



Le matériau bois

La constitution du bois

Un tronc d'arbre est constitué d'écorce, d'aubier et de duramen (ou bois parfait). Entre l'aubier et l'écorce se trouvent le liber et le cambium qui sont les couches responsables de la croissance, l'un crée l'écorce et l'autre le bois. L'aubier est la partie vivante du tronc, c'est en lui que circulent les fluides de l'arbre. Les cellules ligneuses de l'aubier meurent et le bois se transforme en duramen qui sert de tuteur à la plante, c'est la partie la plus résistante du bois.



Coupe transversale de bois de chêne

Écorce : isoler et protéger le bois des agressions extérieures

Cambium où se créent les nouvelles cellules du bois → accroissement de l'arbre

Bois : conduction de l'eau des racines vers les feuilles + support de l'arbre

aubier ou bois de printemps : permet la conduction de la sève
emmagasine les substances de réserve

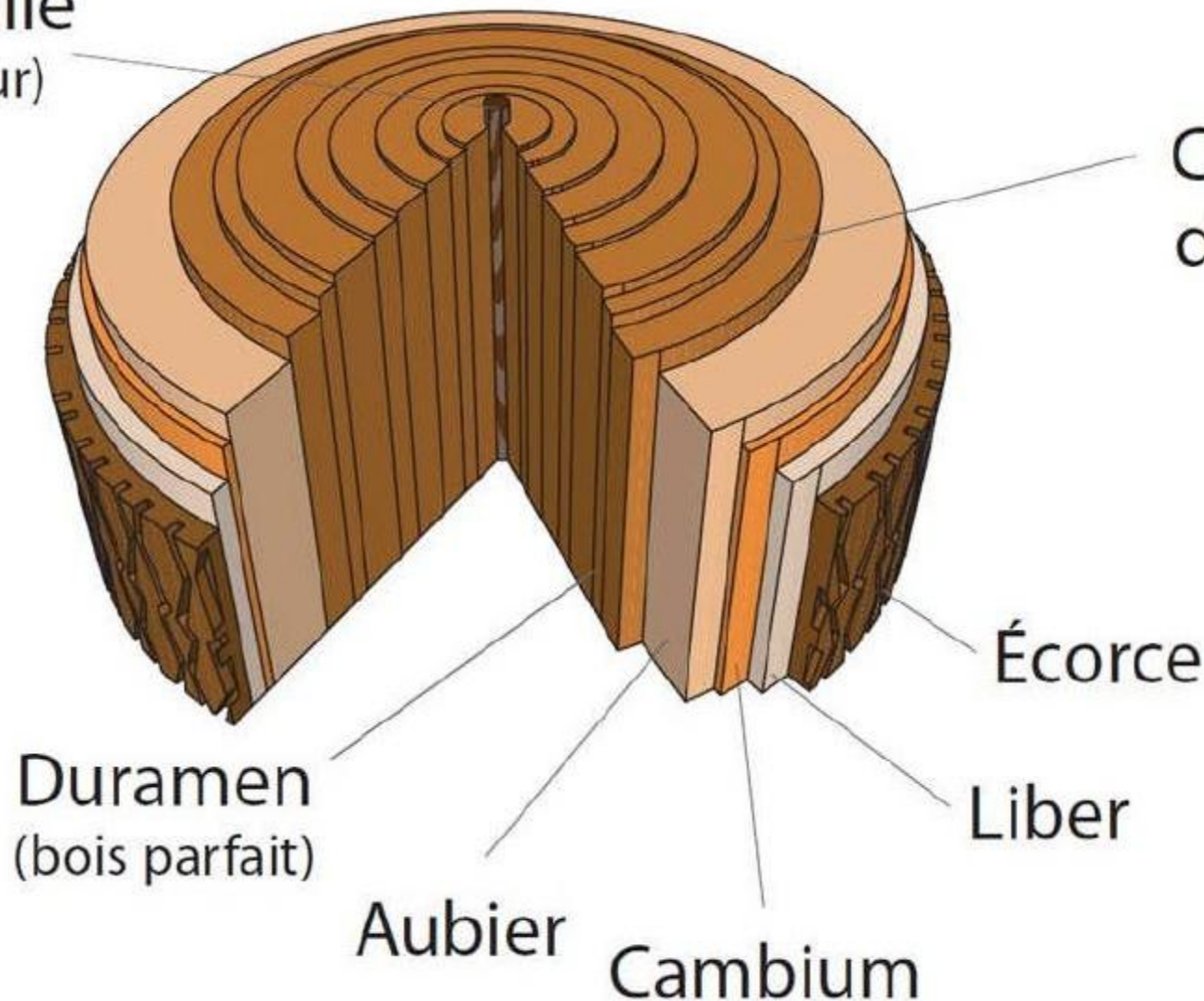
duramen ou bois de cœur : se forme à partir de l'aubier
fonction de support de l'arbre

Différentes couches:

Écorce; Liber; Cambium; Aubier; Duramen ; Moelle.

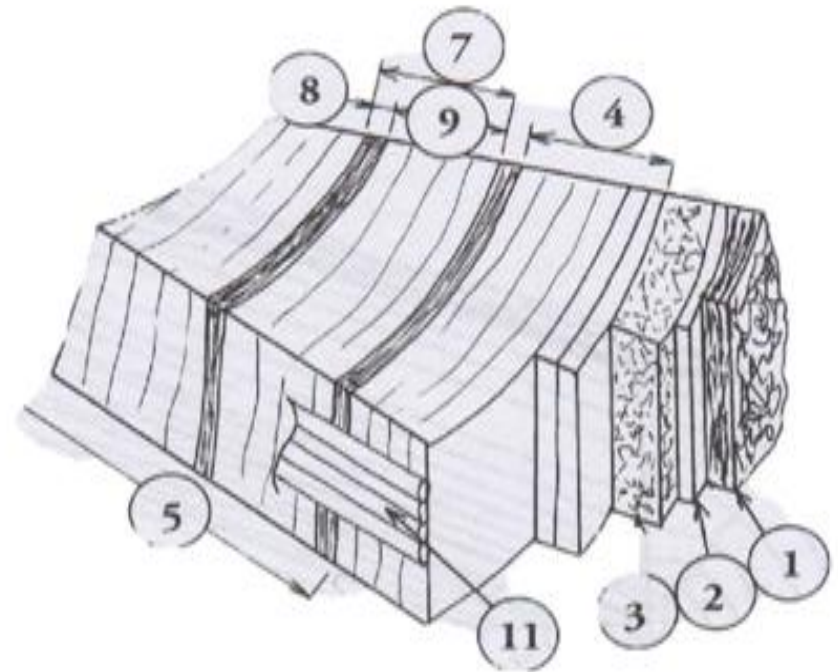
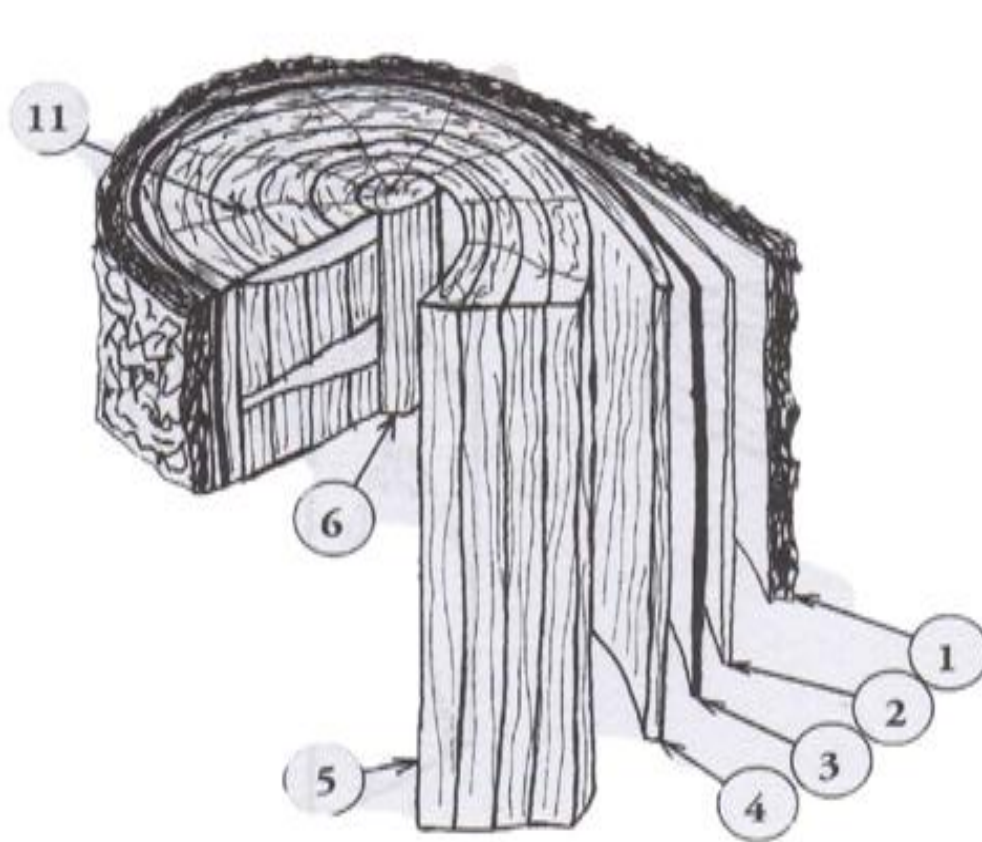
Moelle
(cœur)

Cernes
de croissance



Anatomie de l'arbre

Si l'on observe la coupe transversale de l'arbre on découvre:



1 - L'écorce

2 - Le liber

3 - Le cambium

4 - L'aubier

5 - Le duramen ou bois parfait

6 - La moelle ou cœur

7 - Les cernes annuels

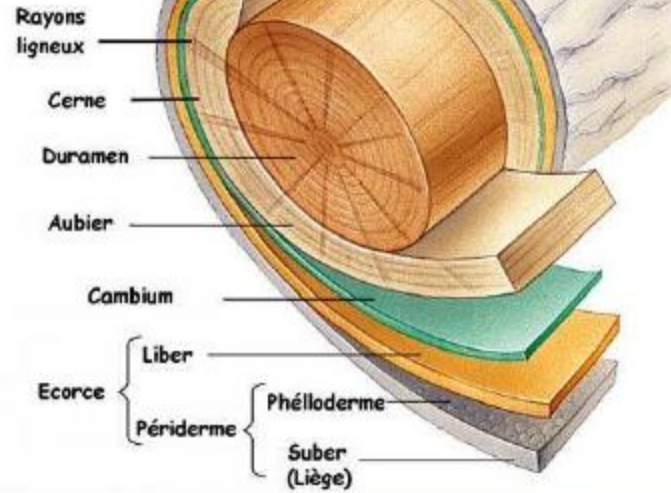
8 - Le bois de printemps

9 - Le bois d'été

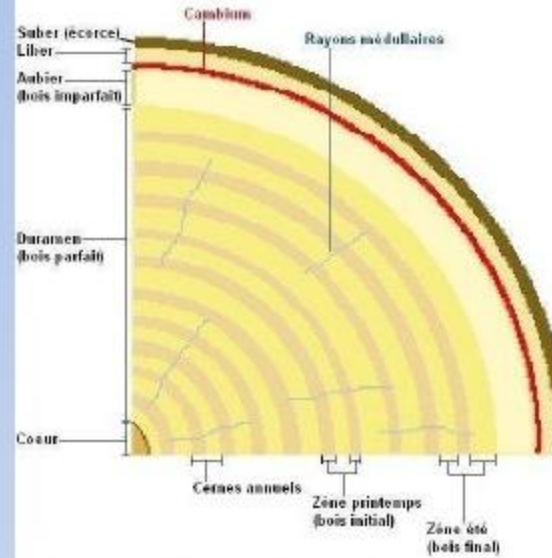
10 - Les vaisseaux

11 - Les rayons médullaires

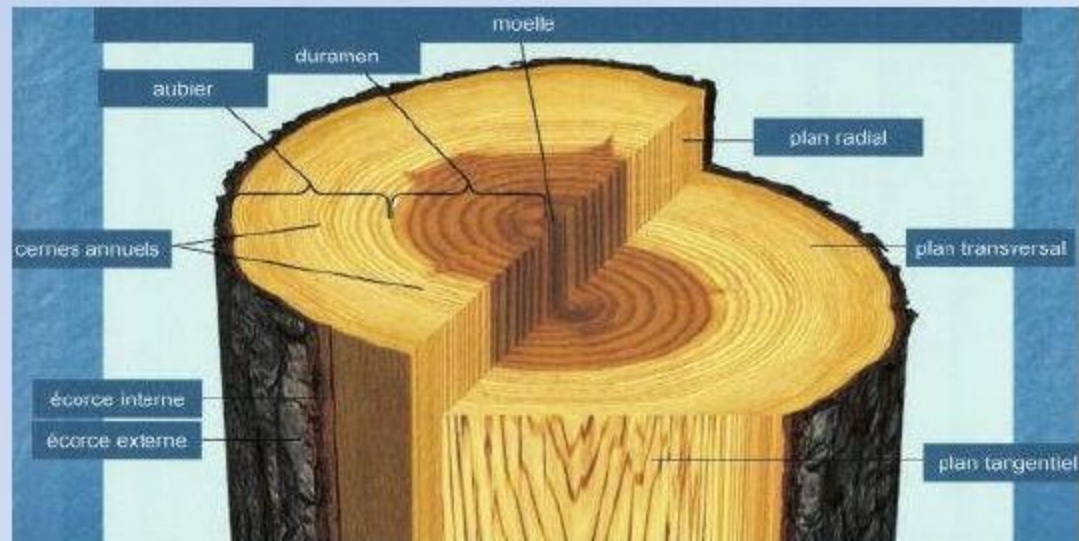
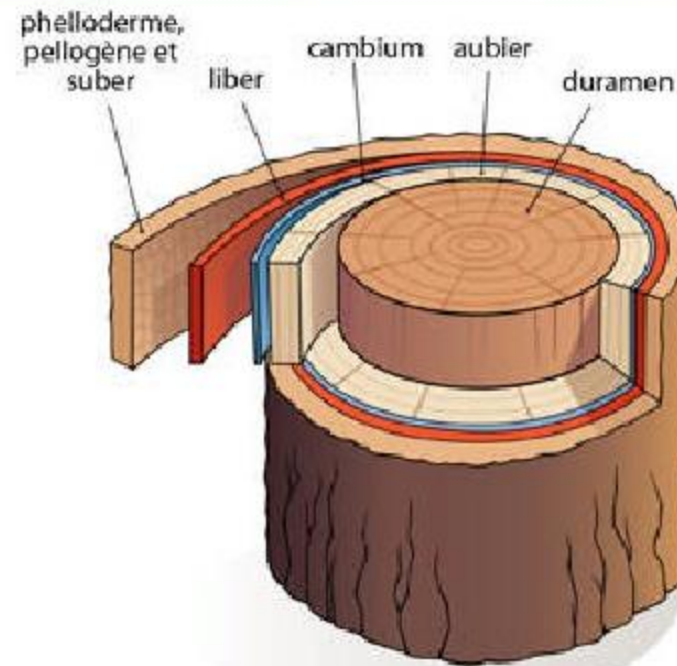
Différentes couches:



Anatomie du bois

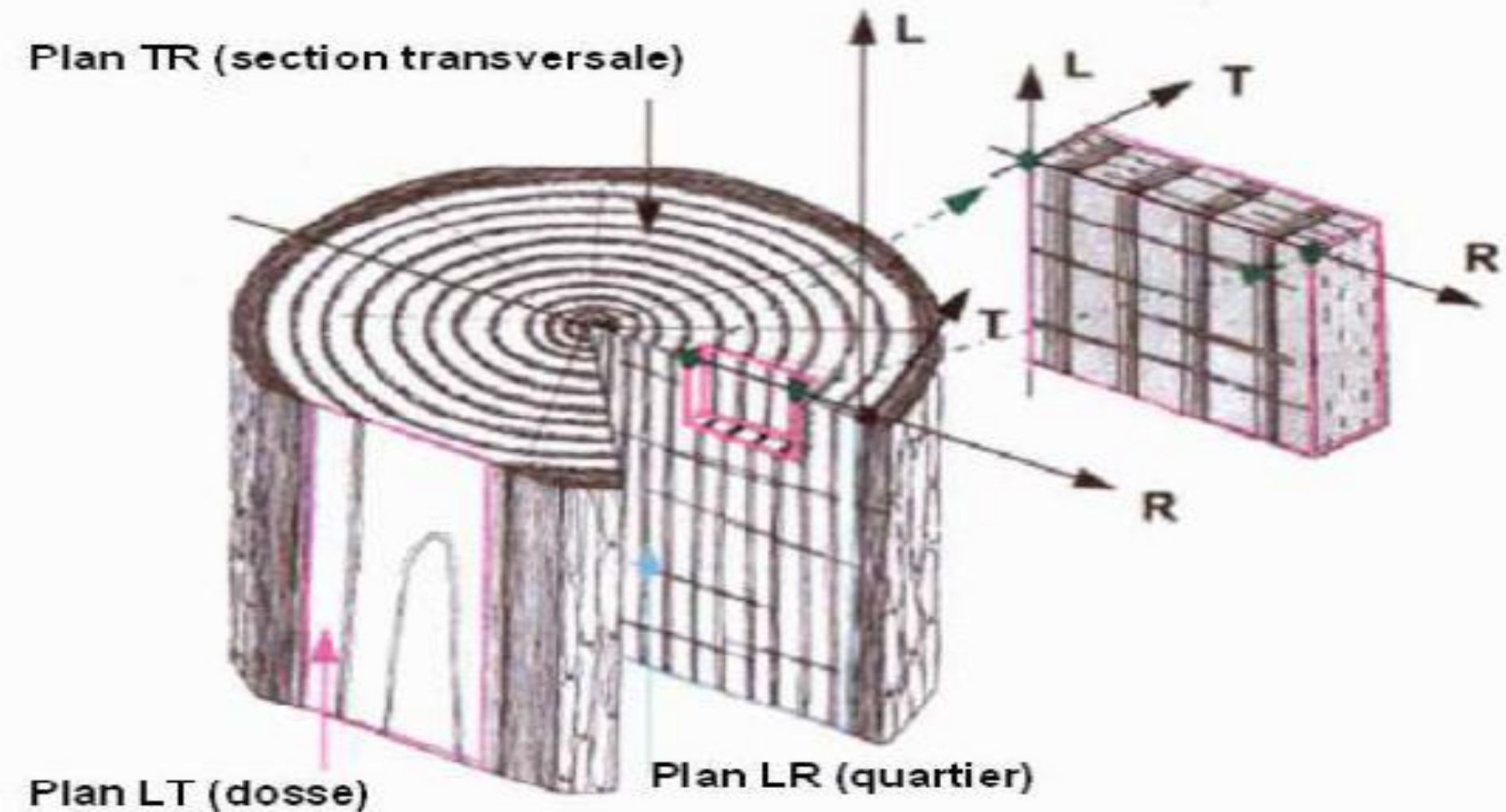


Coupe schématique transversale d'un tronc

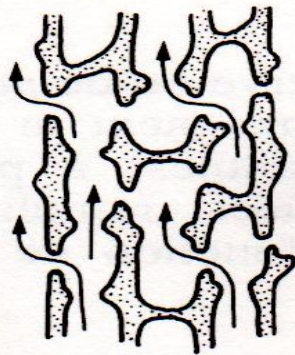
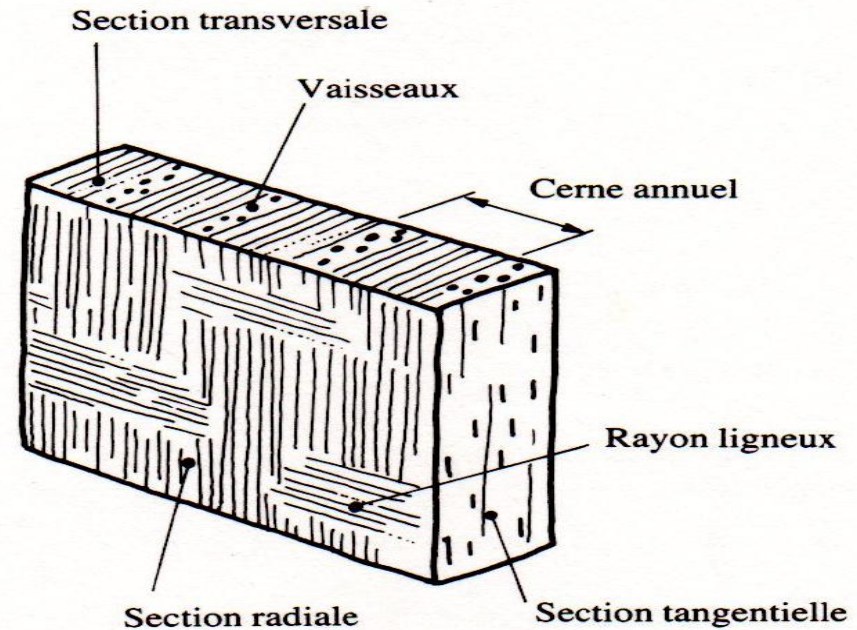
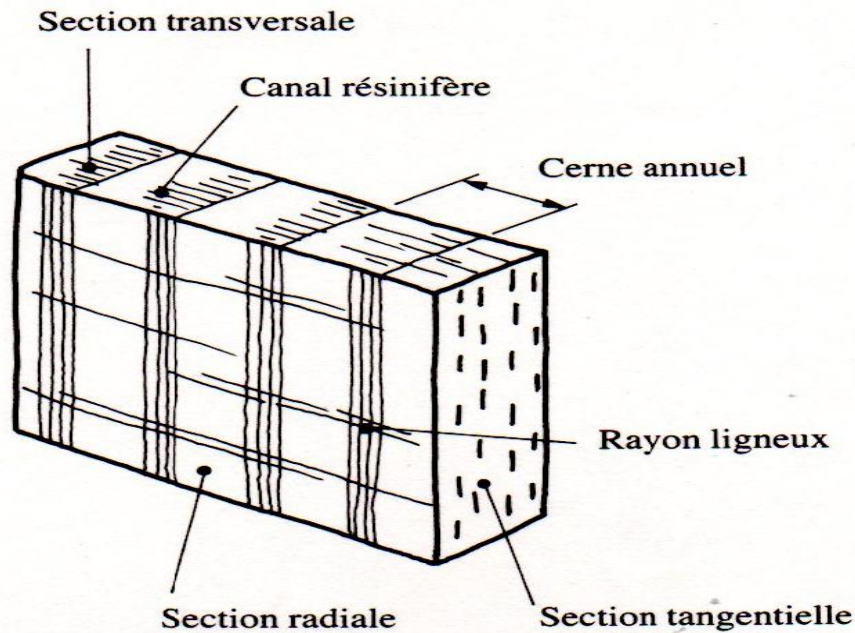


Le bois est un matériau hétérogène, constitué de fibres, ce qui explique son caractère anisotrope. Il a donc une direction privilégiée de résistance maximale.

Ses propriétés mécaniques et physiques varient selon le plan de coupe considéré : axial, radial ou tangentiel .

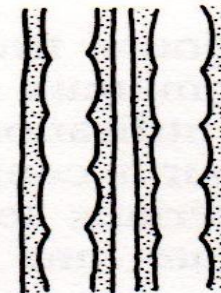


Aspect cellulaire



Vaisseaux imparfaits
ou trachéides

a) résineux



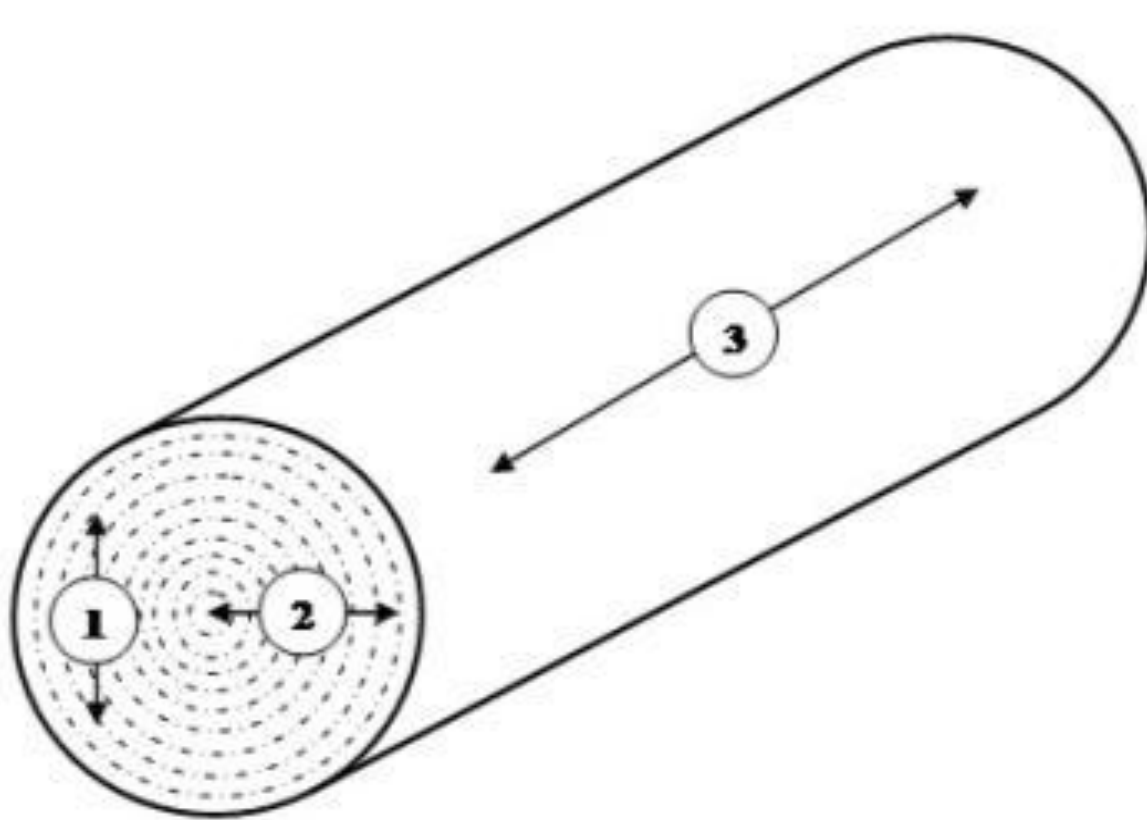
Vaisseaux parfaits

b) feuillu

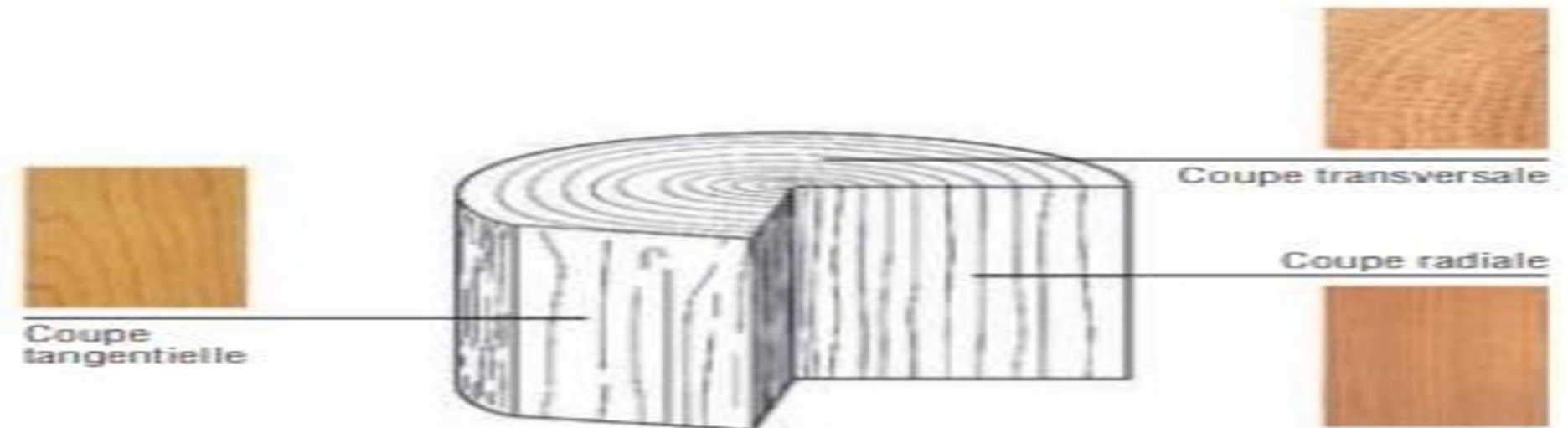
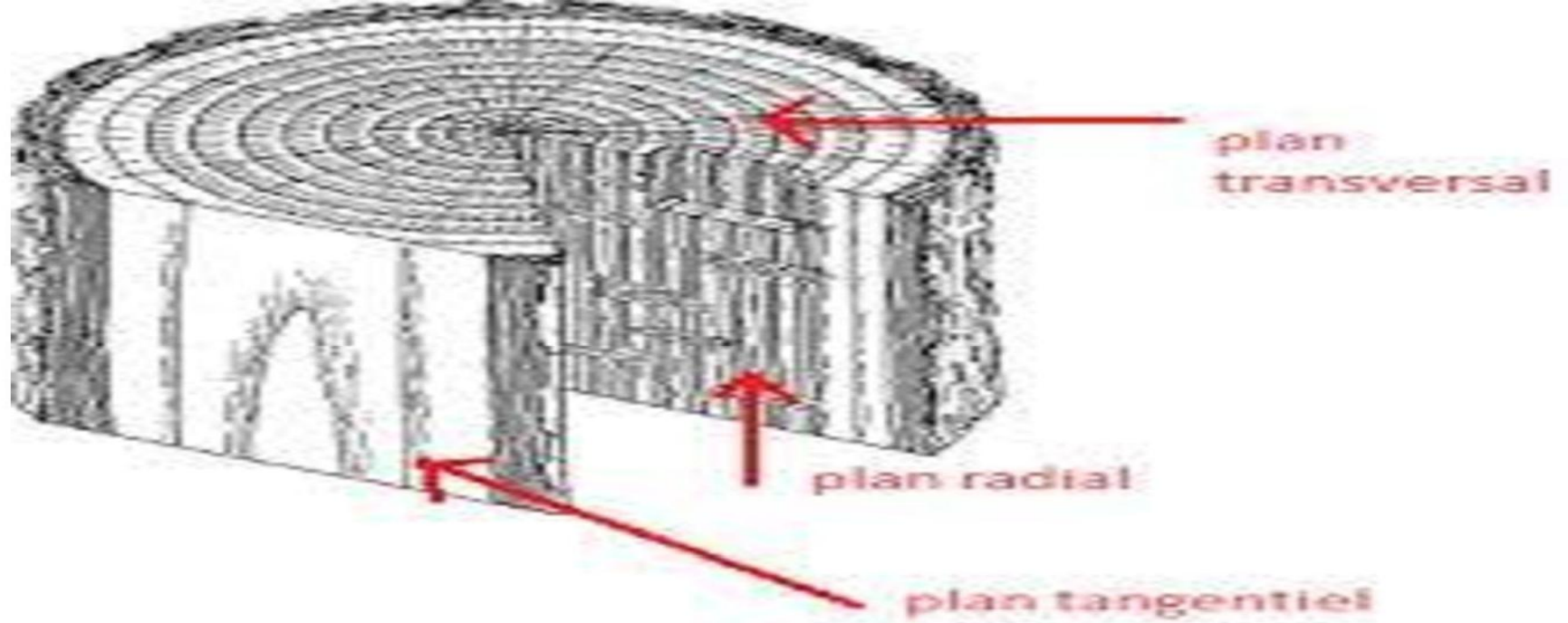
Fig. 3 Bois résineux – bois feuillu.

Anisotropie

Les propriétés mécaniques et physiques du bois varient selon le plan de coupe considéré :



Direction tangentielle aux cernes (1)
Direction radiale aux cernes (2)
Direction longitudinale aux cernes (3)

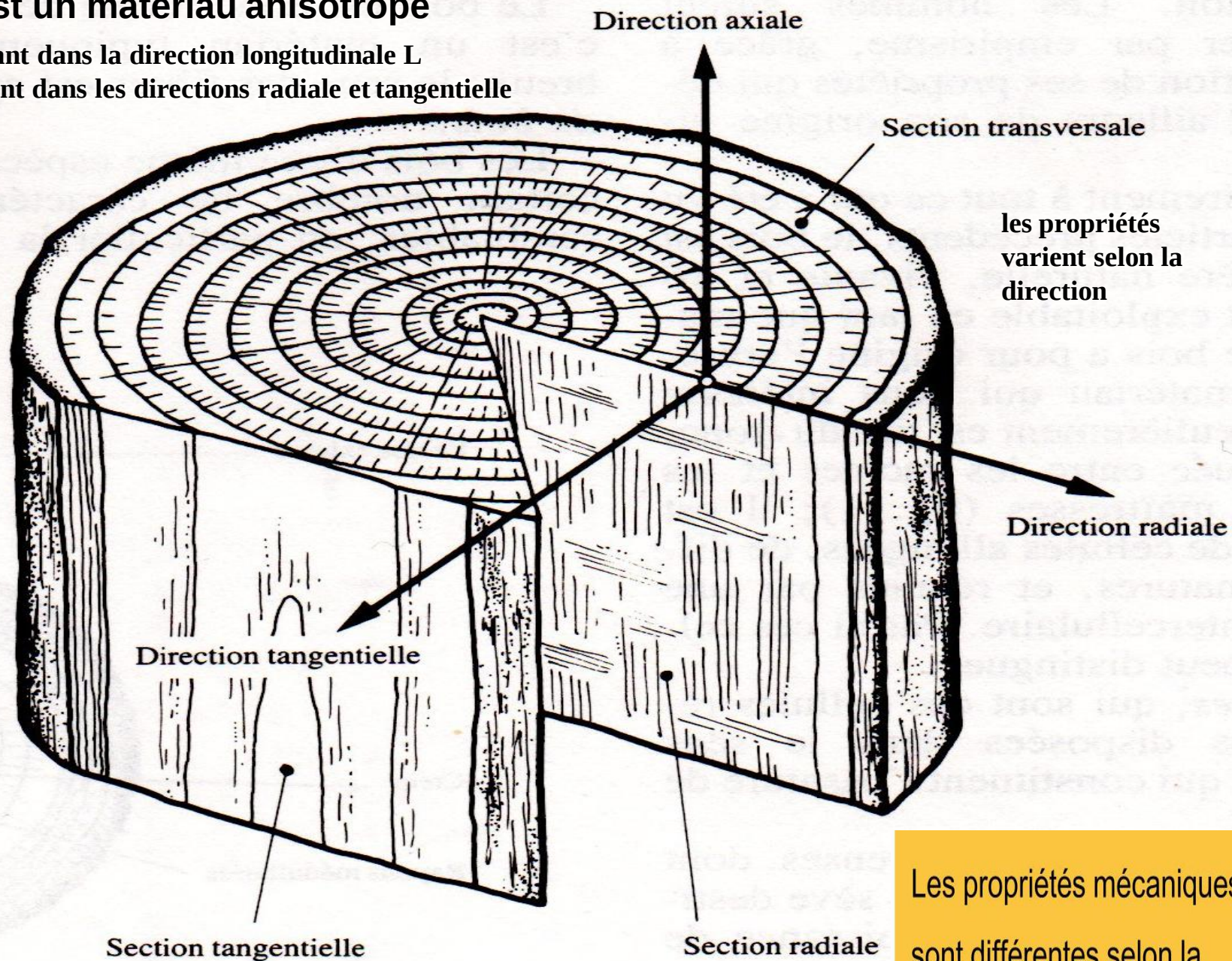


Les trois plans d'observation du bois

Le bois est un matériau anisotrope

Très résistant dans la direction longitudinale L

Peu résistant dans les directions radiale et tangentielle

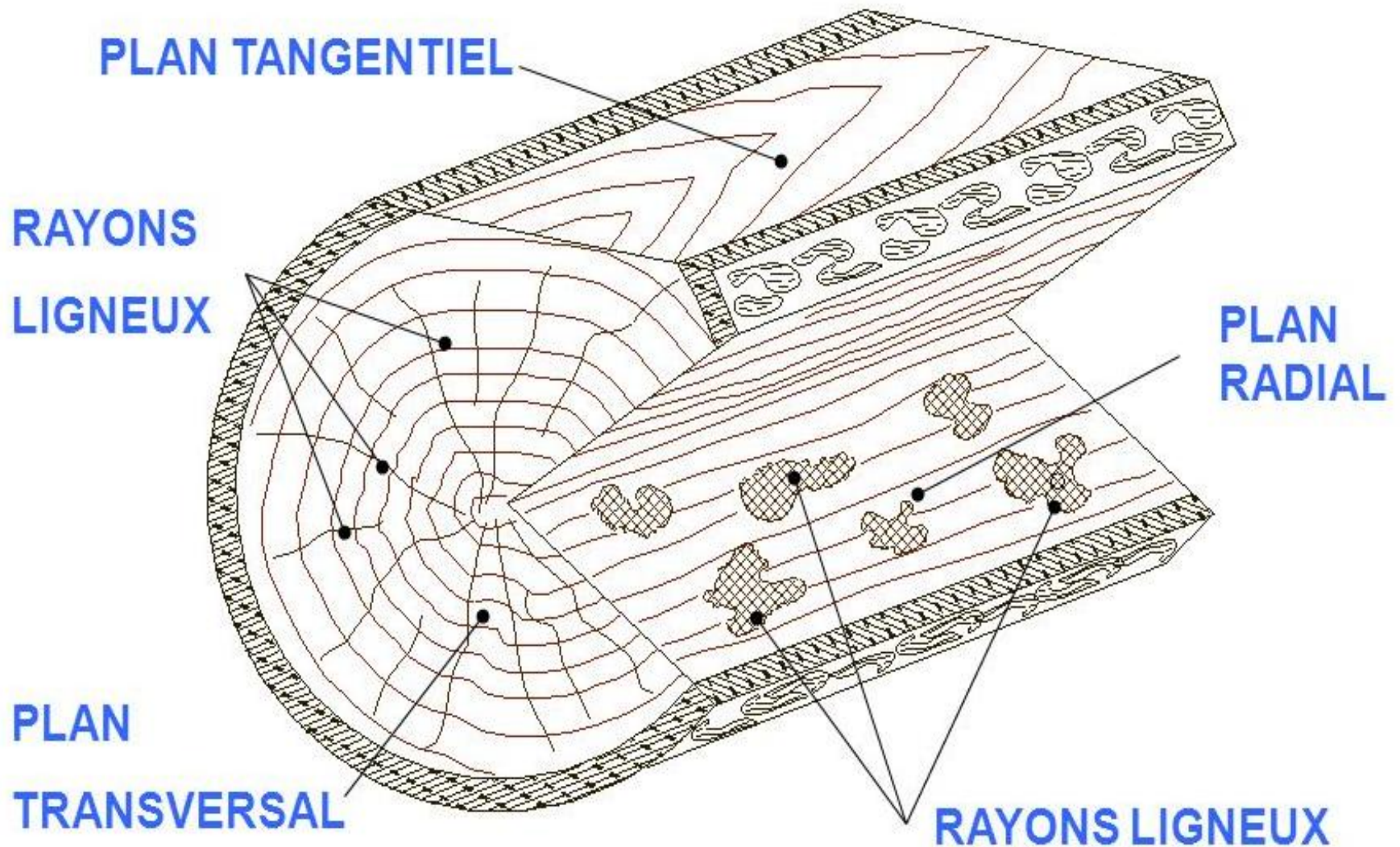


Les propriétés mécaniques sont différentes selon la direction considérée.

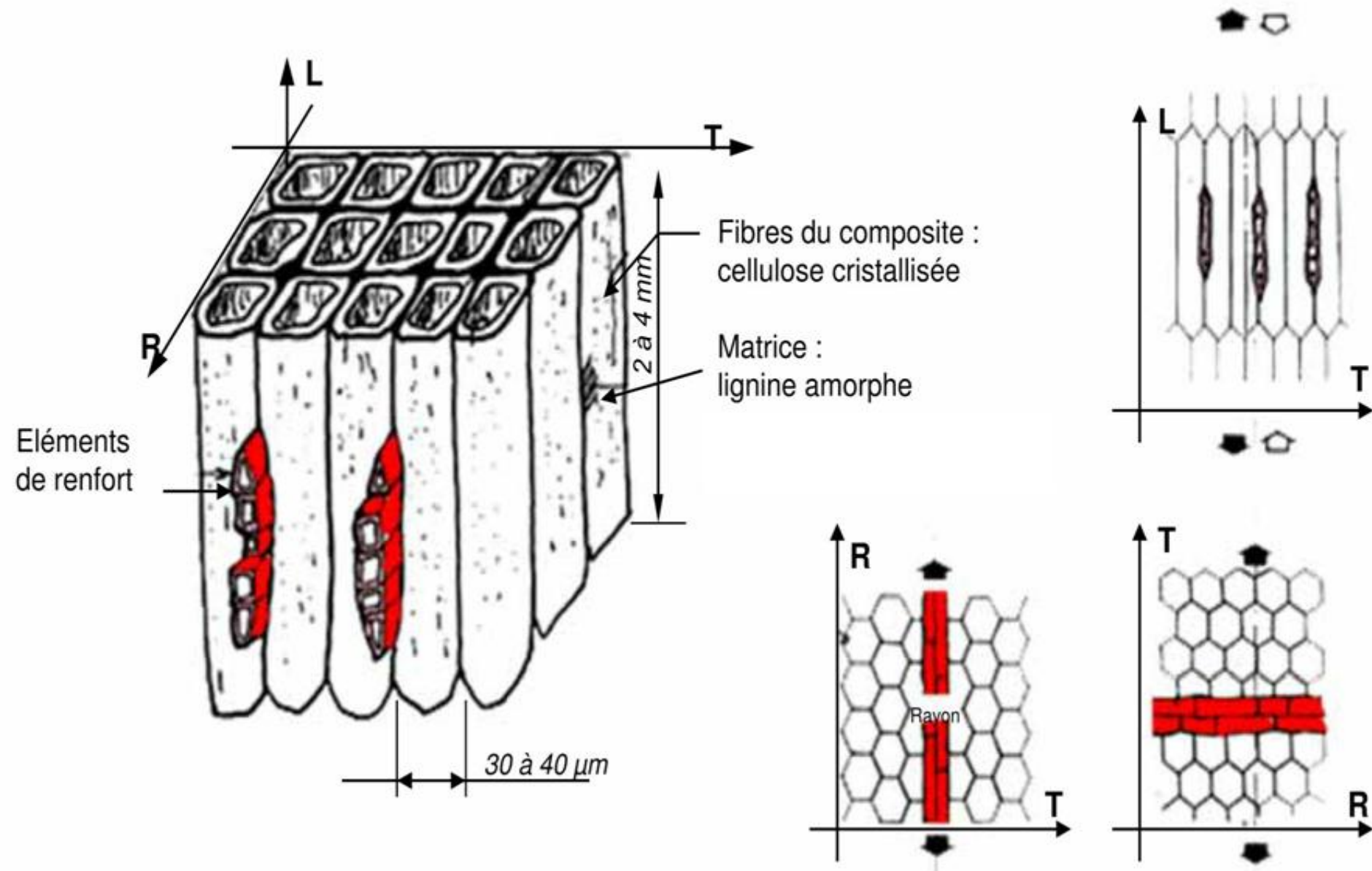
Fig. 4 Directions principales dans le bois.

STRUCTURE DU BOIS

LES PLANS DE COUPE

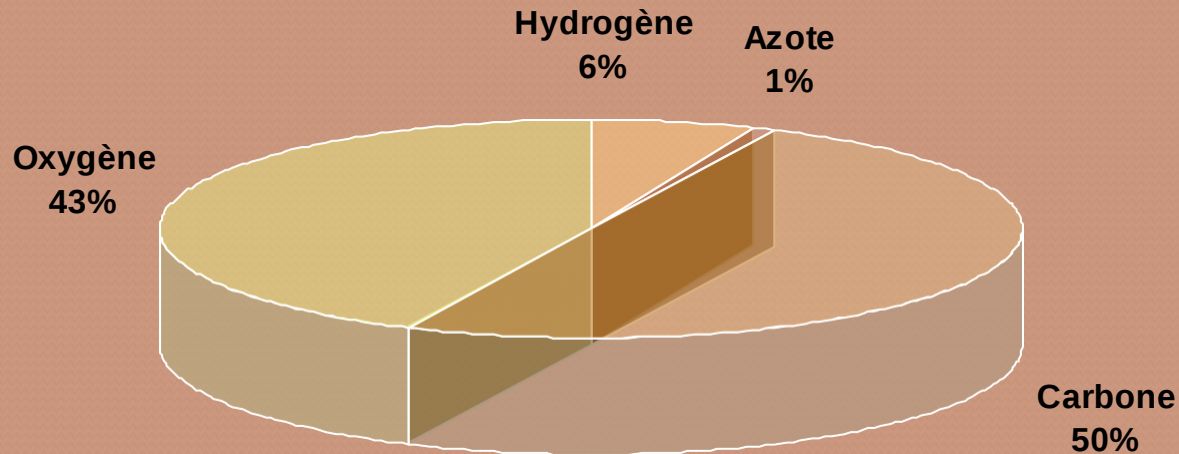


Matériau composite naturel



Le bois : un matériau organique de la forme $C_xH_yO_zN_w$

Composition atomique du bois



Composition du bois

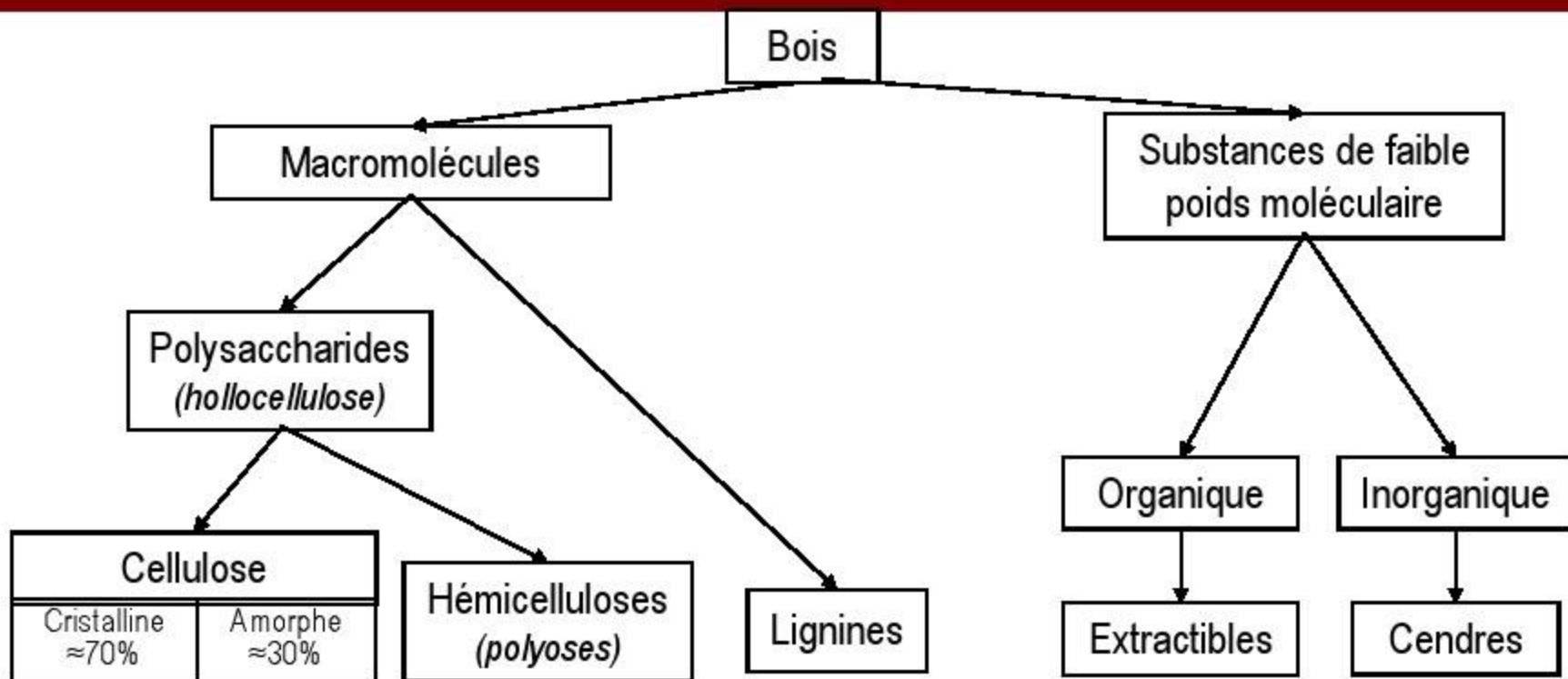
1 tonne de bois produite par photosynthèse =

- ➔ 1,6 tonne de CO_2 absorbé
- ➔ 1,1 tonne d' O_2 émis
- ➔ 0,5 tonne de C fixé



De l'arbre au bois

Composition chimique



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

Composition du bois

BOIS

98%

2%

SUBSTANCES MACROMOLECULAIRES

SUBSTANCES DE FAIBLE
MASSE MOLAIRE

70%

28%

POLYSACCHARIDES

MATIERE
MINERALE

MATIERE
ORGANIQUE

45%

25%

CELLULOSE

HEMICELLULOSES

LIGNINE

CENDRES

EXTRAITS

30%

15%

CELLULOSE
CRISTALLINE

CELLULOSE
AMORPHE

**Pourcentages approximatifs pour
des bois des zones tempérées**

Composition organique du bois

Le bois se compose principalement de matières organiques, d'eau et de substances minérales. Après plusieurs étapes et transformations du bois, la composition va se modifier en cellulose, en lignine et en d'autres substances minérales, qui forment les cendres (graisses, minéraux, composés carbonés).

Constituants du bois	%
Cellulose	de 40 à 50 %
Lignine	de 20 à 30 %
Hémi-cellulose	de 15 à 25 %
Matières organiques et minérales	de 0,5 à 2 %

Bilan Combustion du bois

- $\text{C H}_{1,44} \text{O}_{0,66} + 1,03\text{O}_2 = \text{CO}_2 + 0,72 \text{H}_2\text{O}$
- L'équation de base de la combustion!

L'eau dans le bois

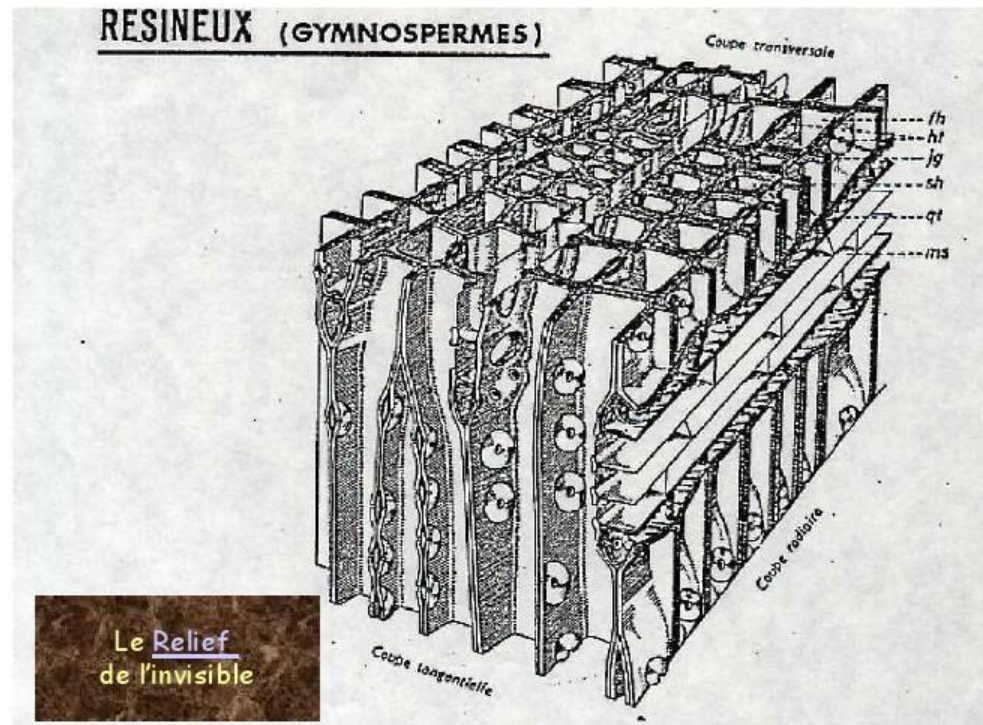
L'eau dans le bois

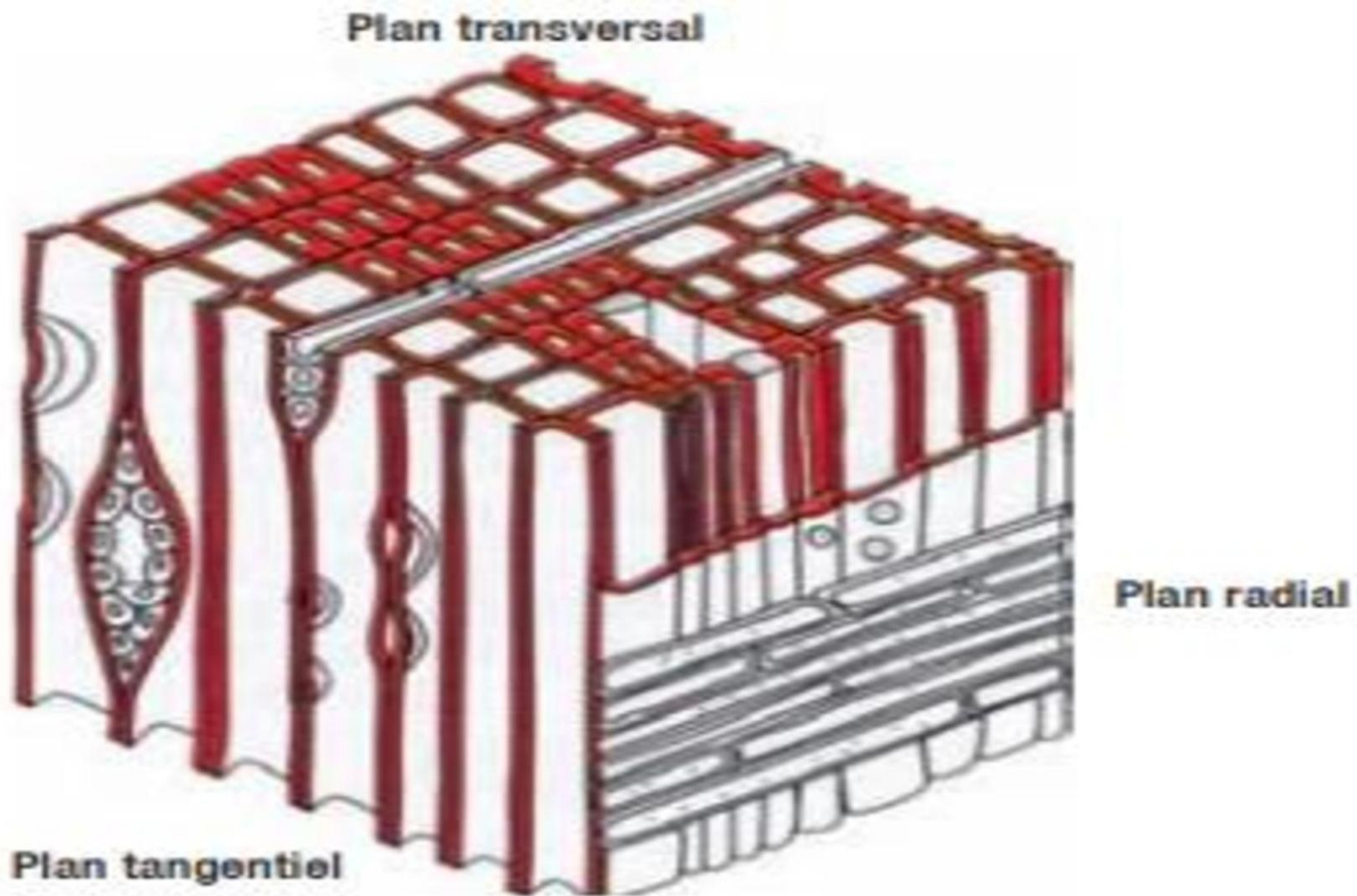
Rappel:

L'hygroscopicité

Structure anatomique de la tige

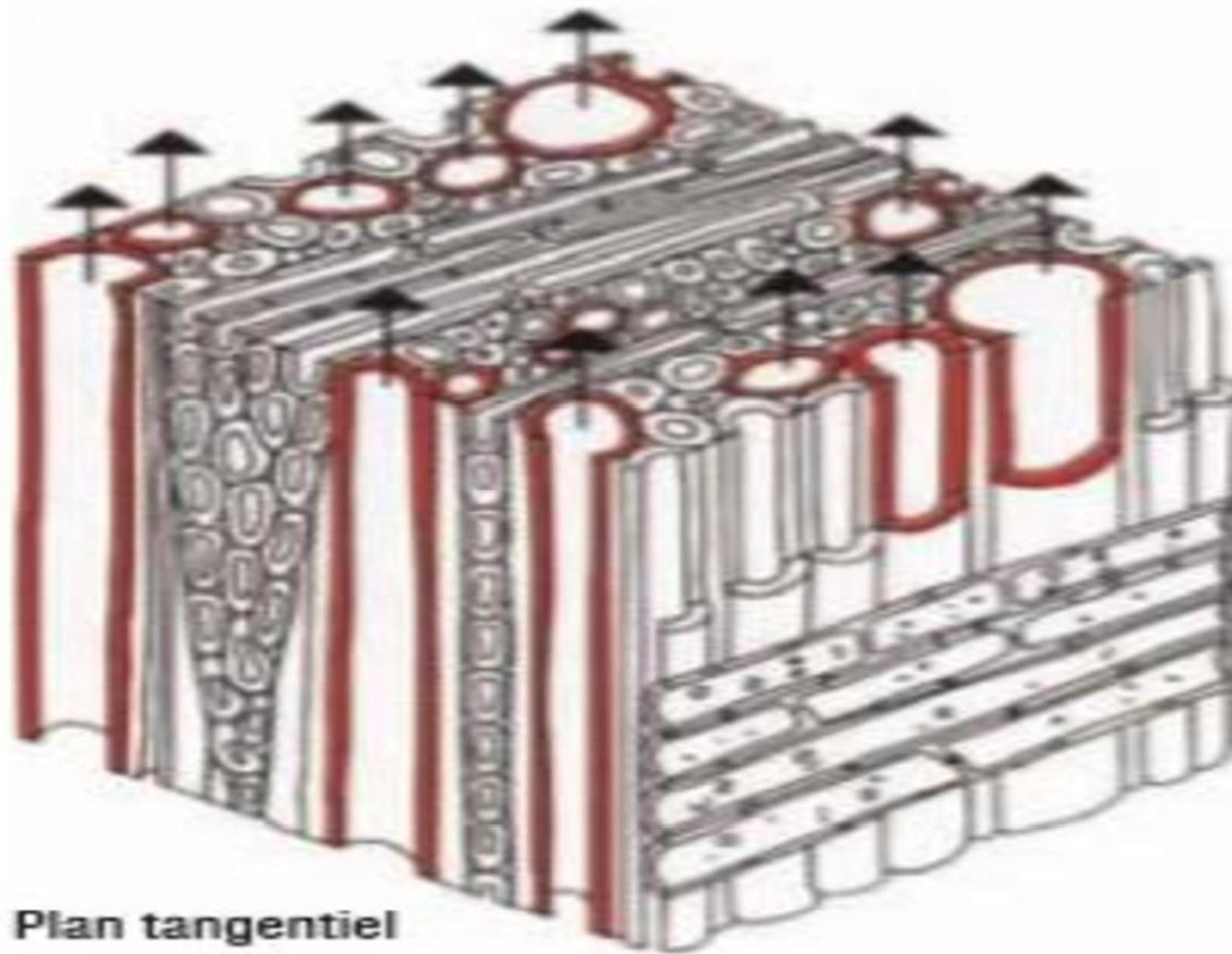
L'examen de la structure anatomique d'un bois nous permet de voir que le bois est formé de nombreux petits vaisseaux appelés « Trachéides »





Trachéides verticales dans un résineux

Plan transversal



Plan radial

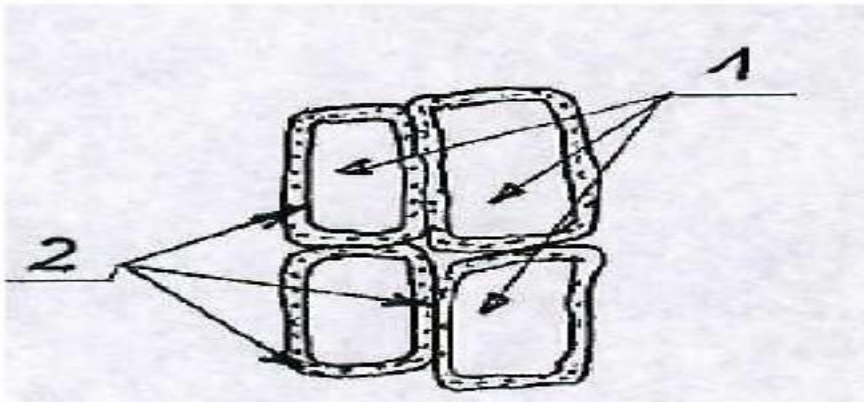
Plan tangentiel

Vaisseaux

L'eau dans le bois

L'eau dans le bois

Le bois est un matériau hygroscopique, il contient de l'eau sous trois formes:



En observant la structure anatomique du bois, on constate que schématiquement, le bois est formé de « tubes creux, accolés, les uns aux autres.

L'eau libre occupe le creux des tubes, et l'eau d'imbibition, la paroi de ces tubes.

1- L'eau libre:

C'est l'eau qui remplit les vaisseaux et les espaces qui peuvent exister à l'intérieur des cellules.

2- L'eau d'imbibition:

C'est l'eau contenue dans les parois des cellules.

L'eau de constitution:

C'est l'eau qui intervient dans la composition chimique de la matière.

Nota: L'eau de constitution étant liée à l'existence de la matière, le professionnel, n'est pas concerné par cet aspect du problème. Quand l'eau de constitution disparaît, on obtient du charbon de bois.

Les 3 eaux du bois

Le bois sur pied est constitué en majorité :

- D'**eau libre**, contenue à l'intérieur des pores (= trachéides pour les résineux et vaisseaux pour les feuillus)
- D'**eau liée**. On peut l'extraire par séchage sans altérer les propriétés intrinsèques du bois
- D'**eau de constitution**, chimiquement liée et appartenant à la matière organique elle-même.

On appelle MASSE ANHYDRE (M_0) la masse d'un bois dont on a extrait l'entièreté de l'eau libre et de l'eau liée.

L'eau dans le bois

L'eau dans le bois

Lors du séchage:

Le point de saturation.

C'est l'eau libre qui disparaît la première. Un bois a atteint son point de saturation, lorsqu'il a perdu toute son eau libre et qu'il ne reste plus que l'eau d'imprégnation.

Le point de saturation correspond à un degré d'humidité du bois d'environ de 28% à 30% suivant les essences.

Si le séchage se poursuit

État anhydre.

C'est l'eau d'imprégnation qui s'évacue.

Un bois anhydre, est un bois qui a perdu toute son eau d'imprégnation.

L'état anhydre correspond à un degré d'humidité du bois de 0% par définition.

L'eau dans le bois

L'eau dans le bois

Degré d'humidité des bois

On appelle « degré d'humidité » des bois , le rapport de la masse d'eau contenue dans un échantillon de bois, à la masse anhydre de ce même échantillon.

Comment mesurer le degré d'humidité des bois?

Méthode par pesée:

Cette méthode consiste à peser un échantillon, puis le sécher dans une étuve , entre 100 et 110 c°, jusqu'à ce qu'il atteigne un poids constant.

On applique, ensuite, la formule ci-dessous.

$$H\% = \frac{M_h - M_a}{M_a} \times 100$$

H% → Degré d'humidité du bois.

Mh → Masse de l'échantillon humide.

Ma → Masse de l'échantillon anhydre.

Le rapport est multiplié par 100 pour être exprimé en pourcentage.

Exemple:

On pèse un échantillon de bois, sa masse est de 22grs. On sèche cet échantillon dans une étuve, après quelques heures sa masse reste constante à 15 grs.

On obtient:

$$H\% = (22-15) / 15 \times 100 = 46\%$$

Mesure de l'humidité :

La teneur en eau ou l'humidité est la quantité d'eau que renferme le bois, exprimée en % de son poids à l'état sec (anhydre).

$$\frac{(Masse_{humide} - Masse_{anhydre}) \times 100}{Masse_{anhydre}}$$

Remarque : La teneur en eau est mesurée par un humidimètre. Cet appareil mesure la résistivité du bois soit entre 2 électrodes ou soit par ultrasons. Il existe d'autres techniques de mesure.

Densité :

La densité est le rapport de la masse volumique du bois à celle de l'eau. Le bois est un matériau hygroscopique qui peut changer de poids et de volume en fonction des pertes et des gains d'humidité. Il est donc important de préciser la teneur en humidité de l'échantillon au moment de la mesure de la masse et du volume. La densité de référence est calculée avec un pourcentage de 12% d'humidité.

Teneur en eau w du bois

(Synonymes : humidité du bois, taux hygroscopique,...)

$$w = \frac{\text{Masse humide} - \text{Masse anhydre } M_0}{\text{Masse anhydre } M_0} [\%]$$

$w=30\% \Rightarrow$ masse d'eau = 0,3 x masse de bois sec

$w=100\% \Rightarrow$ masse d'eau = masse de bois sec

$w=200\% \Rightarrow$ masse d'eau = 2 x masse de bois sec



Au moment de l'abattage :

- La plupart des feuillus : $w=80\ldots 100\%$
- Résineux : $w=100\ldots 150\%$
- Peuplier : w jusqu'à 200%
- Balsa : w jusqu'à 500%

Etapes de séchage (naturel ou forcé) du bois après abattage :

- Perte de l'eau libre, (on atteint $w=30\%$ pour quasiment toutes les essences). L'évacuation n'a pratiquement aucune incidence ni sur les propriétés mécaniques ni sur le volume
- Ensuite, perte de l'eau liée ($w=30\ldots 15\ldots 0\%$), jusqu'à une stabilisation à un w d'équilibre hygroscopique qui dépend de l'humidité de l'air et de la T° , mais peu du type de bois. Ici, grandes variations de volume (retrait ou gonflement)!

PROPRIETES PHYSIQUES

Teneur en eau

M_0 : poids du bois sec

M_w : poids du bois humide

$$W(\text{teneur en eau}) = \frac{M_w - M_0}{M_0} \times 100$$

M_0 : poids du bois sec

M_w : poids du bois humide

Du point de vue de l'utilisation, on appelle :

bois anhydre

$$W = 0$$

bois desséché

$$0 < W < 13\%$$

bois sec à l'air

$$13 < W < 18\%$$

bois commercialement sec

$$18 < W < 23\%$$

bois mi-sec

$$23 < W < 30\%$$

bois vert

$$W > 30\%$$



saturation
complète



$W > 30\%$



saturation des
fibres



$0 < W < 30\%$



$W = 0\%$

L'eau dans le bois

L'eau dans le bois

Degré d'humidité des bois

Comment mesurer le degré d'humidité des bois?

Méthode par appareils électriques:

Ces appareils sont basés:

Sur la mesure directe de la résistance électrique du bois.

Cette résistance varie considérablement en fonction de son humidité.

Les appareils couramment utilisés mesurent la résistance électrique, entre les points de deux électrodes, enfoncées dans le bois. Toutefois leur précision est de plus ou moins 1%.

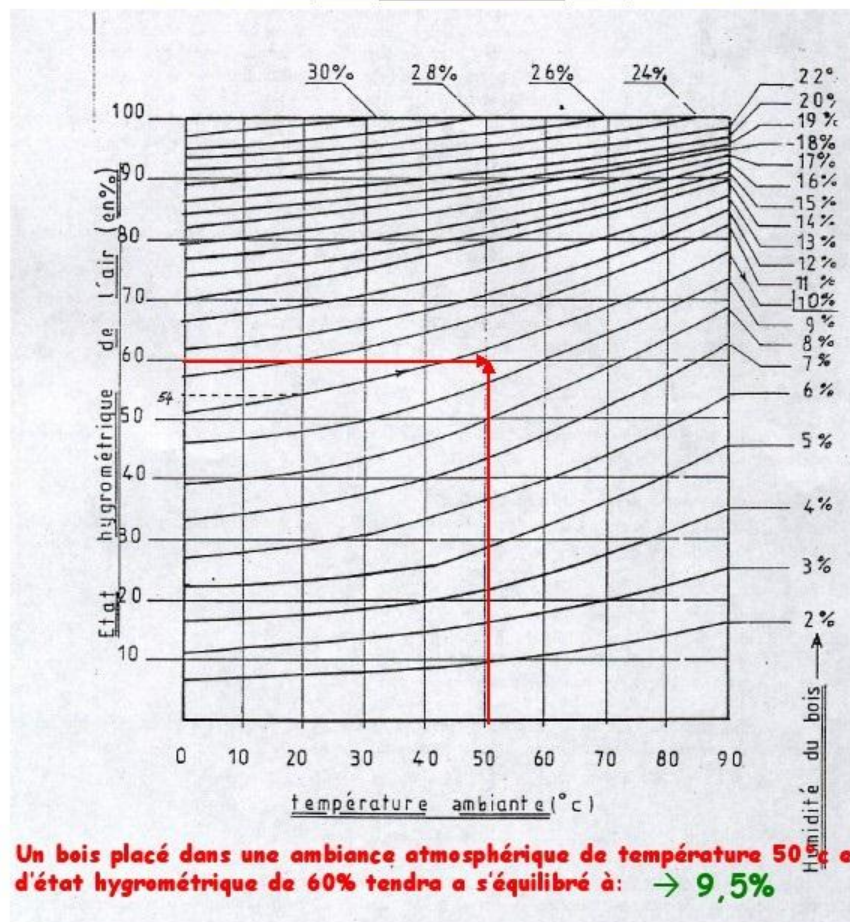
L'eau dans le bois

L'eau dans le bois

Équilibre hygroscopique du bois

Un bois placé dans un air de température, et d'état hygrométrique constant, tend à prendre, au bout d'un temps plus ou moins long un degré d'humidité bien déterminé. Si les conditions hygrométriques de l'air ambiant changent, l'humidité du bois tendra vers une nouvelle valeur.

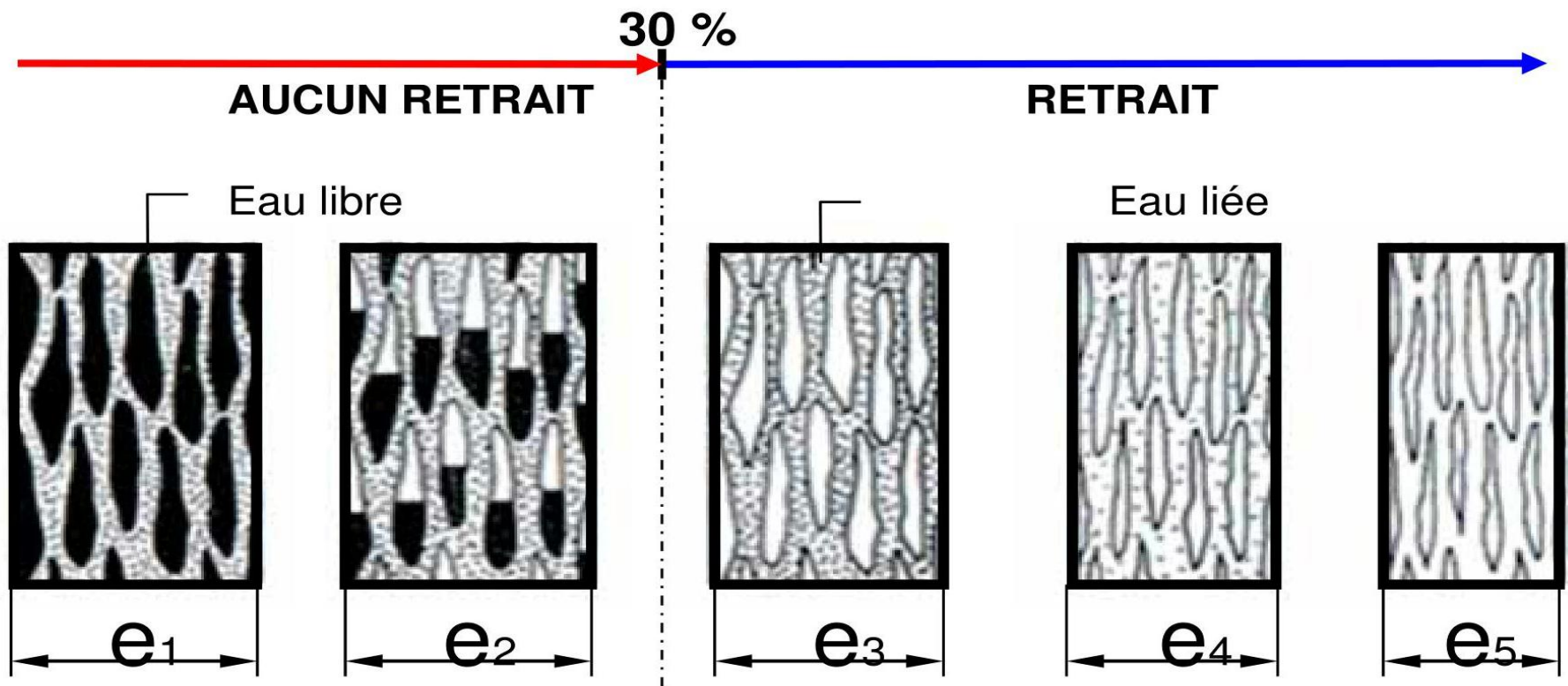
Ce degré d'humidité qu'atteint le bois dans les conditions précitées est appelé :



Un bois placé dans une ambiance atmosphérique de température 50°C et d'état hygrométrique de 60% tendra à s'équilibrer à : **→ 9,5%**

Le bois et l'eau

$$\text{Humidité du bois} = \frac{(\text{Masse humide} - \text{Masse anhydre}) \times 100}{\text{Masse anhydre}}$$



Épaisseurs : $e_1 = e_2 > e_3 > e_4 > e_5$

Combustion du bois

Réaction chimique d'oxydation de la matière organique avec dégagement de chaleur.

C'est l'oxygène contenu dans l'air (air comburant), apporté en quantité adaptée à chaque étape de la combustion (air primaire et air secondaire), qui permet d'obtenir une combustion dite « complète », en opposition à la combustion dite « incomplète » à l'origine d'émissions de monoxyde de carbone (CO) et de suies.

La combustion complète du bois produit :

- des gaz, essentiellement du dioxyde de carbone (CO_2) et de la vapeur d'eau (H_2O) ;
- des résidus solides (cendres et poussières, essentiellement minéraux).

Un combustible est une matière qui, en présence d'oxygène et d'énergie, peut se combiner à l'oxygène (qui sert de comburant) dans une réaction chimique générant de la chaleur : la combustion. La plupart des matériaux d'origine organique, sont des combustibles. Par exemple, le bois, le charbon, le pétrole.

Combustibilité et inflammabilité

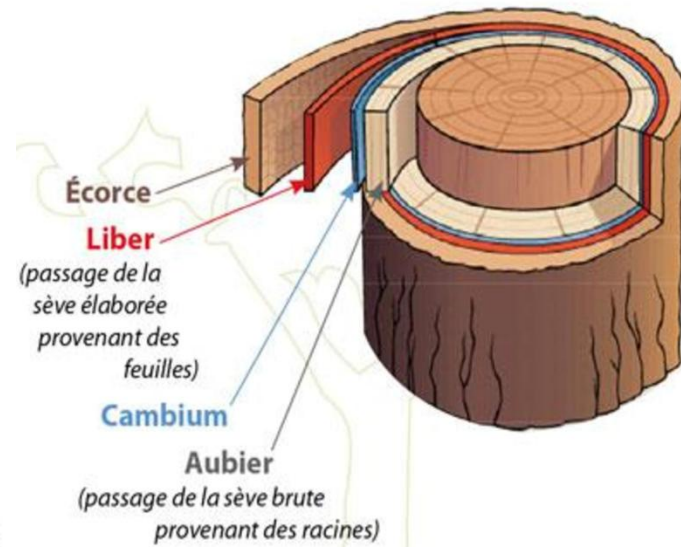
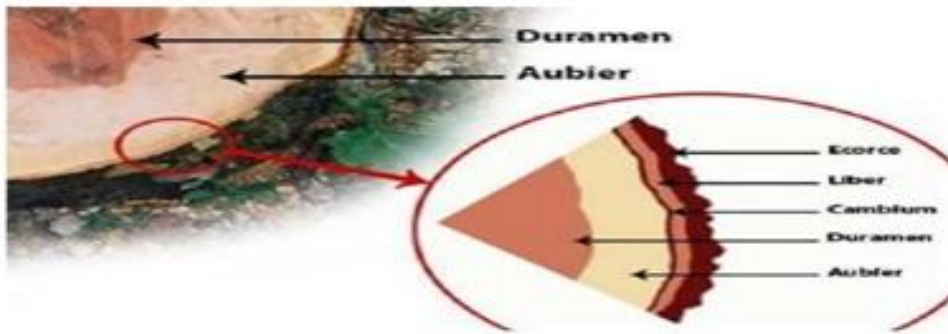
Un matériau **combustible** est quelque chose qui peut brûler (brûler) dans l'air. Les matériaux **inflammables** sont des matériaux combustibles qui s'enflamment facilement à température ambiante. En d'autres termes, un matériau combustible s'enflamme avec un certain effort et un matériau inflammable s'enflamme immédiatement lorsqu'il est exposé à une flamme.

	Combustibilité	Inflammabilité	Exemples
M0	Incombustible	Ininflammable	pierre, brique, ciment, tuiles, plomb, acier, ardoise, céramique, plâtre, béton, verre, laine de roche
M1	Combustible	Ininflammable	matériaux composites, PVC, dalles minérales de faux-plafonds, polyester, coton
M2	Combustible	Difficilement inflammable	moquette murale
M3	Combustible	Moyennement inflammable	Bois, revêtement sol caoutchouc, laine
M4	Combustible	Facilement inflammable	papier, tapis fibres mélangées

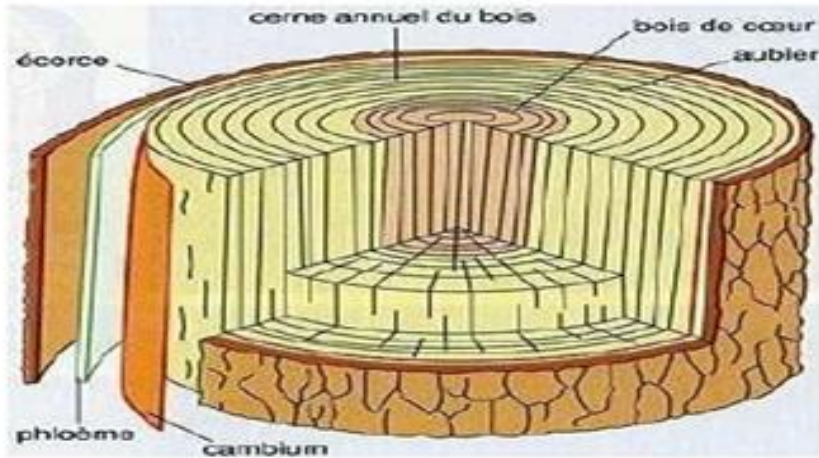
La structure du bois.

Observation de la structure.

Observation à l'œil nu.



Le bois = l'aubier + duramen (=bois de cœur)



liber = phloème

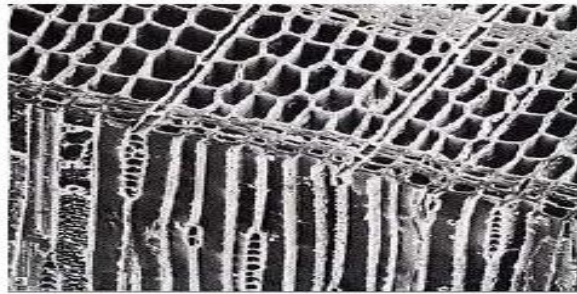
Une coupe de tronc met en évidence des **cernes** de croissance. Chaque cerne correspond à la production de bois pendant un an. Le bois est un tissu caractéristique de la **croissance en diamètre** du tronc.

Dans les pays tempérés, cette croissance annuelle se fait en deux étapes :

- Mise en place du bois de printemps. (=bois initial)
- Mise en place du bois d'été. (= bois final)

Observation au microscope.

Le bois initial permet une croissance rapide d'un bois qui a pour fonction la conduction de la sève brute. On y trouve donc de larges vaisseaux aux parois minces permettant cette circulation. Ce sont les vaisseaux de **xylème**. Le xylème est l'autre nom du bois. Le bois final produit un bois plus dense qui a un rôle de soutien. Les vaisseaux y sont plus étroits à paroi épaisse.

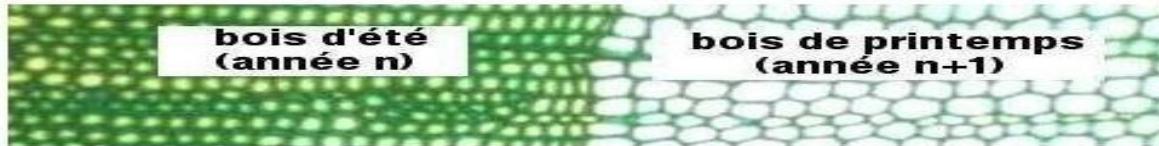


Chez les **conifères** (résineux), le bois initial est facilement reconnaissable du bois final.

Bois initial de printemps

Bois final d'été

En microscopie électronique

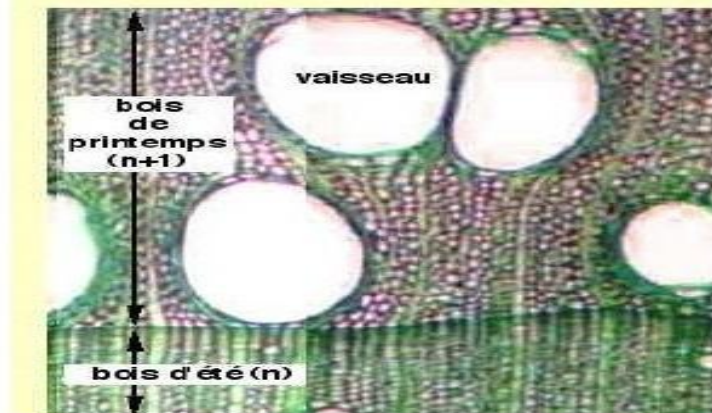


bois d'été
(année n)

bois de printemps
(année n+1)

En microscopie
optique

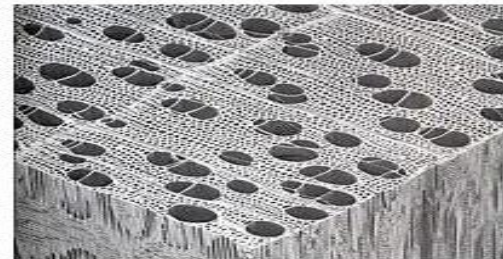
Chez les **feuillus**, les vaisseaux larges sont parfois regroupés.



bois de
printemps
(n+1)

bois d'été (n)

En MO



En ME

Mise en place du bois.

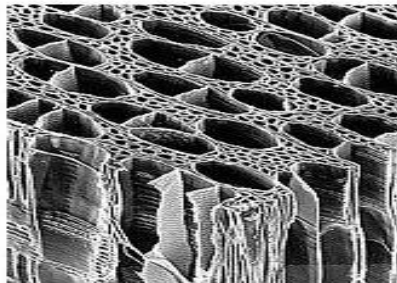
Chez les végétaux, les zones de divisions cellulaires sont appelées **méristèmes**. Le méristème permettant la croissance en diamètre du tronc est le **cambium**.

L'activité du cambium fait apparaître :

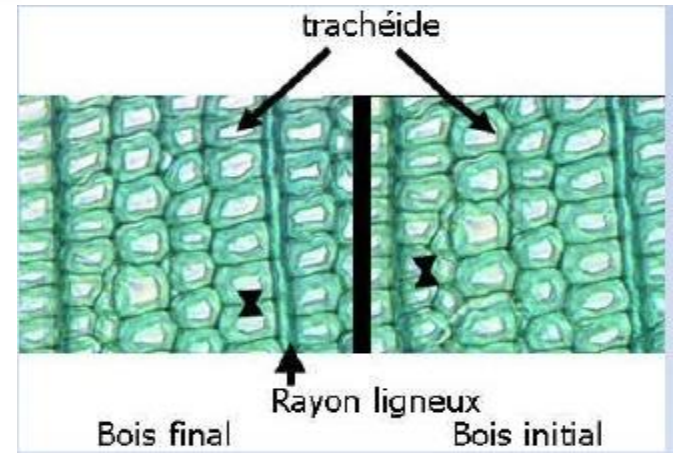
- vers l'intérieur, les **vaisseaux de xylème** (le bois).
- Vers l'extérieur, le **phloème** (=liber)



Le bois ou xylème est formé par la paroi des cellules végétales.

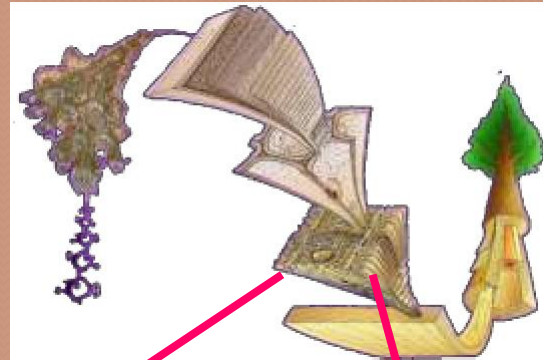


Bois, vu en ME,
coupe transversale (en haut)
et longitudinale (en bas)



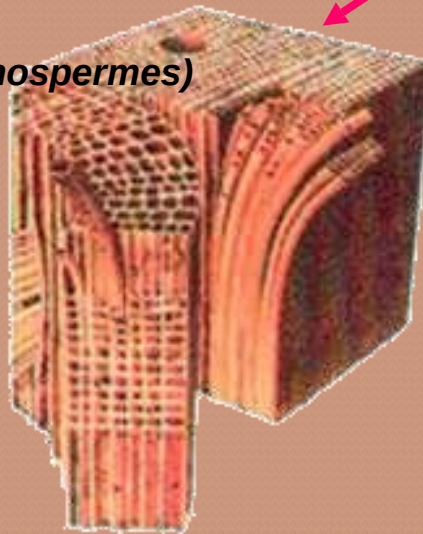
Le matériau bois :

30000 espèces de végétaux ligneux donnant du bois



Résineux (*gymnospermes*)
"Softwood"

Sapin
Epicéa
Pin maritime
Pin sylvestre
Mélèze ...

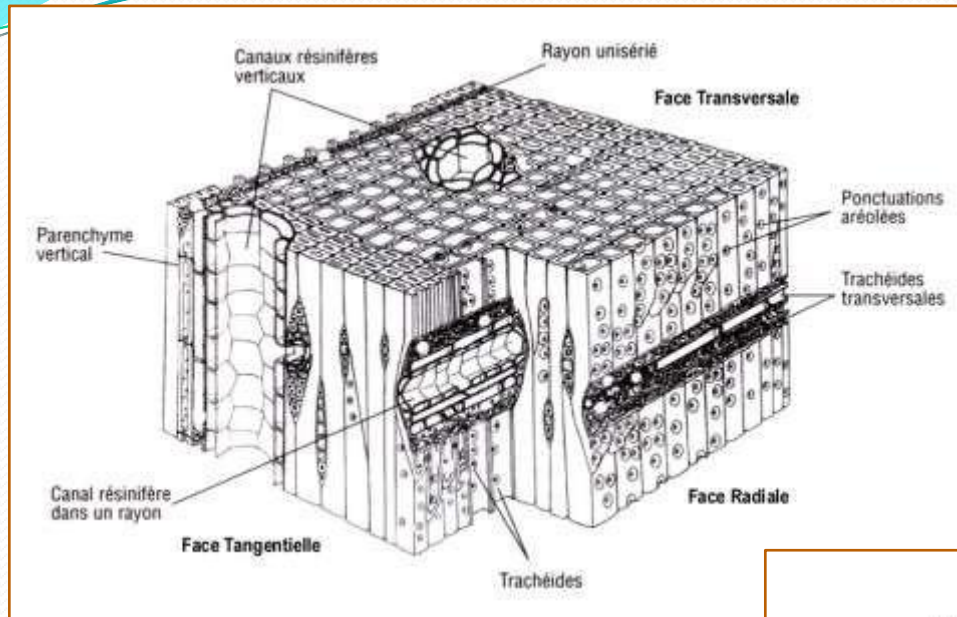


Feuillus (*angiospermes*)
"Hardwood"

Chêne
Hêtre
Châtaignier
Peuplier ...
Bois tropicaux

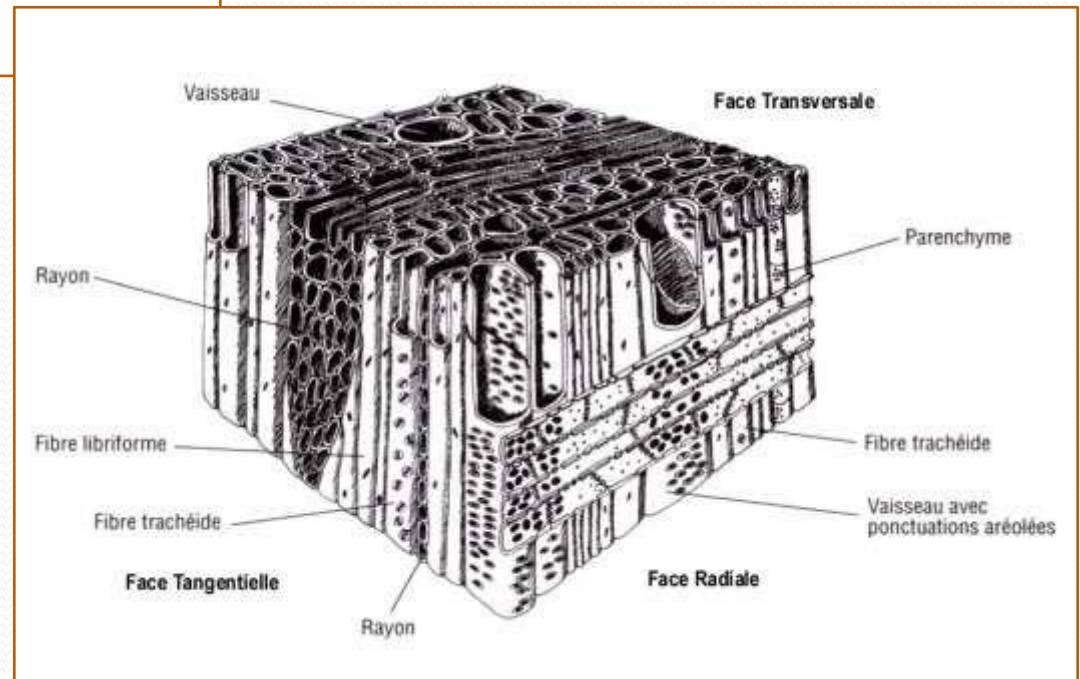


Eléments du plan ligneux des bois



RESINEUX

FEUILLUS





Bois	Caractéristiques		
	Durabilité (résistance à la décomposition)	Résistance (Force)	Couleur
Bois tendres			
Pin	Passable	Faible	Blanc
Sapin	Faible	Moyenne	Blanc
Épinette	Faible	Moyenne	Blanc
Cèdre	Grande	Très faible	Brun
Bois durs			
Érable	Faible	Très forte	Brun pâle
Chêne	Grande	Très forte	Brun pâle
Frêne	Moyenne	Moyenne	Blanc
Hêtre	Grande	Forte	Blanc

**Les constituants
du bois à l'échelle
moléculaire**

DEFAULTS DU BOIS.

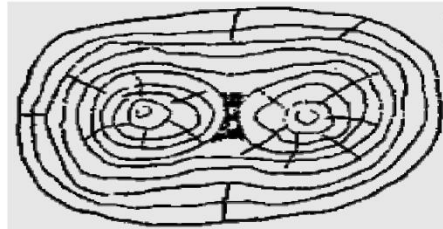
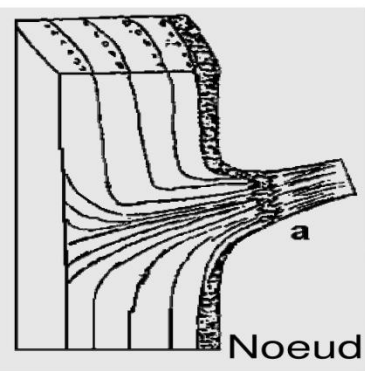
Anomalies de structure, on cite :

noeud : se situe à la jonction du tronc et d'une branche,

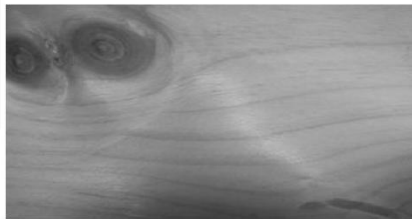
l'entre écorce : présence de l'écorce dans la masse du bois,

gélivures et gerçures : fentes longitudinales orientées sur un plan radial provoquées par l'alternance de la gelée et la dessiccation,

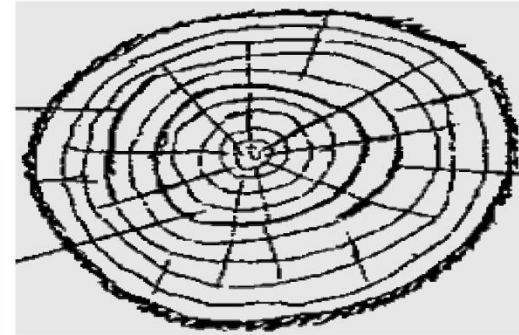
roulures : fentes circulaires constituées par le décollement de deux couches annuelles.



Entre-écorce



Gélivure

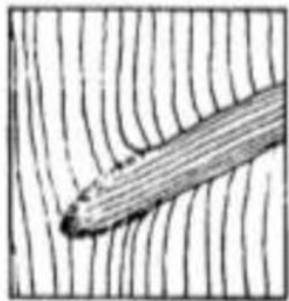


Roulure

Trois constituants principaux du bois communs à toutes les essences:

- la cellulose
- les lignines
- les hémicelluloses

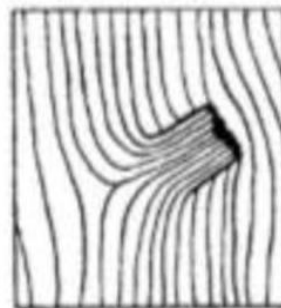
Ce sont trois macromolécules



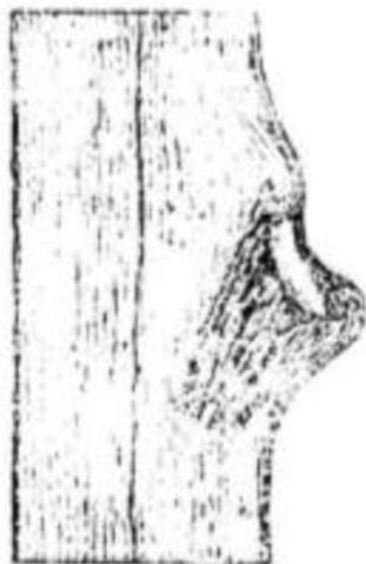
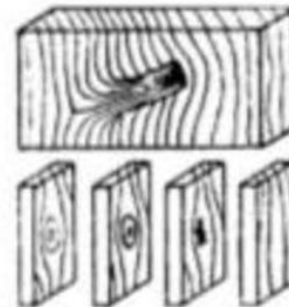
Nœud Plat



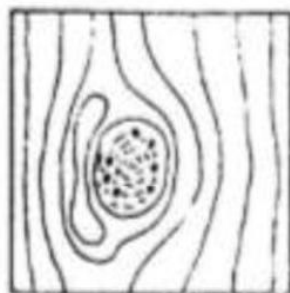
Nœud Cheville



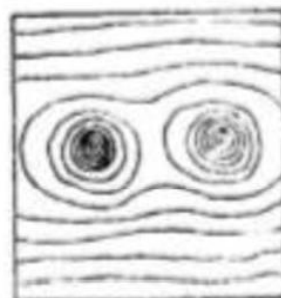
Nœud Recouvert



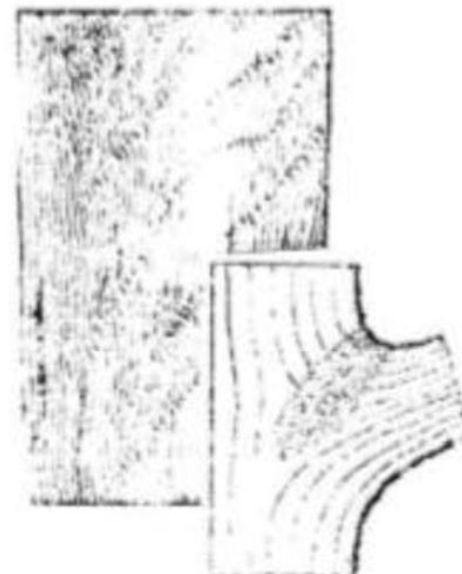
Nœud Gouttière



Petits Nœuds



Nœuds Circulaires



Fibres Ondulées

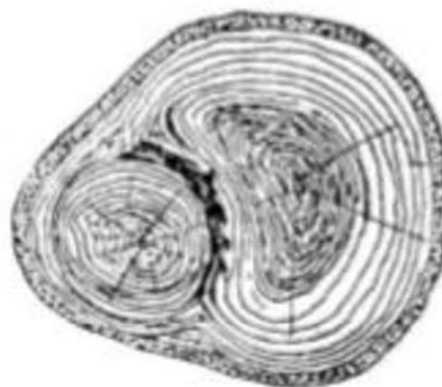
Défauts dus à une particularité de la structure



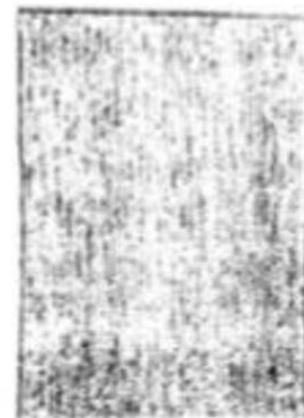
Lunure



Fibres Torses



Entre Écorce



Contre-fil



Cœur Excentré

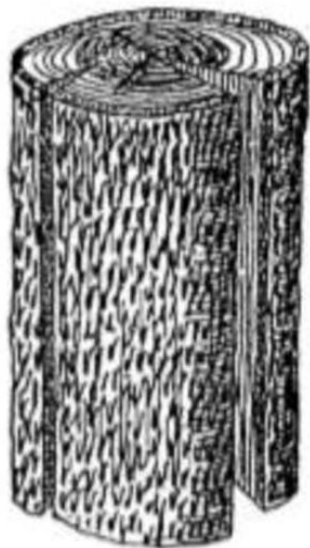


Loupe



Chaudron

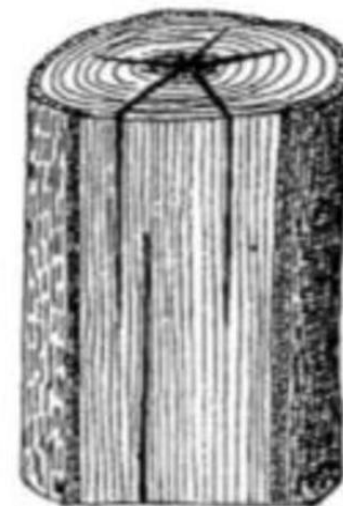
Défauts dus à une anomalie de croissance.



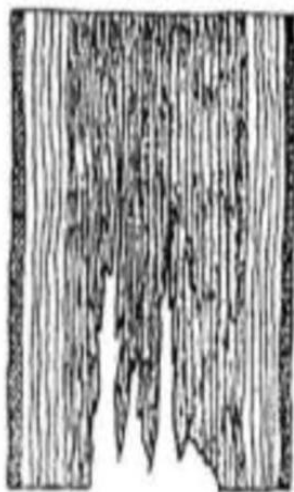
Gélivure



Roulure



Cadranure



Arrachement à l'abattage



Chancre



Cicatrisations



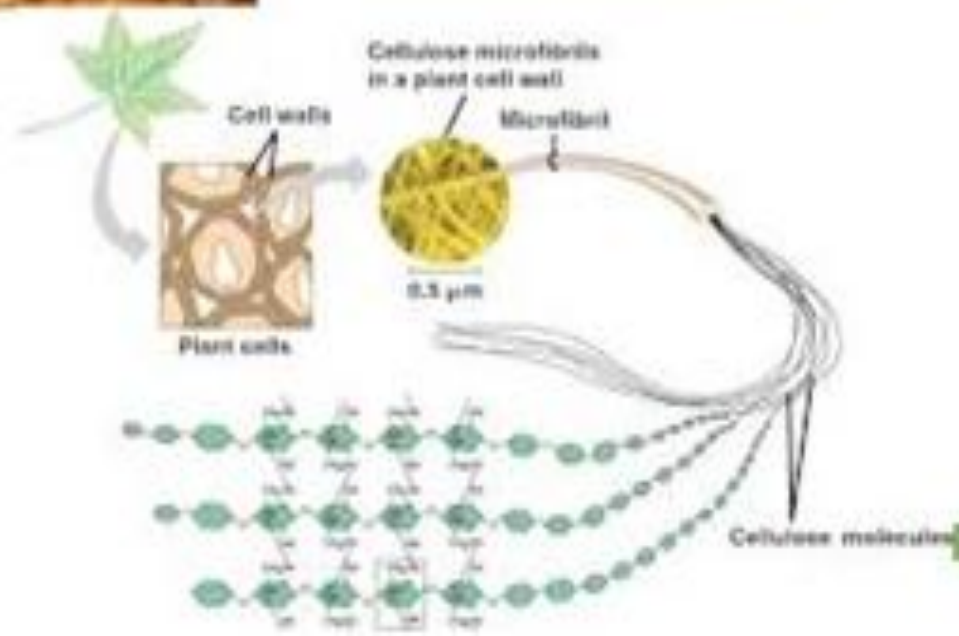
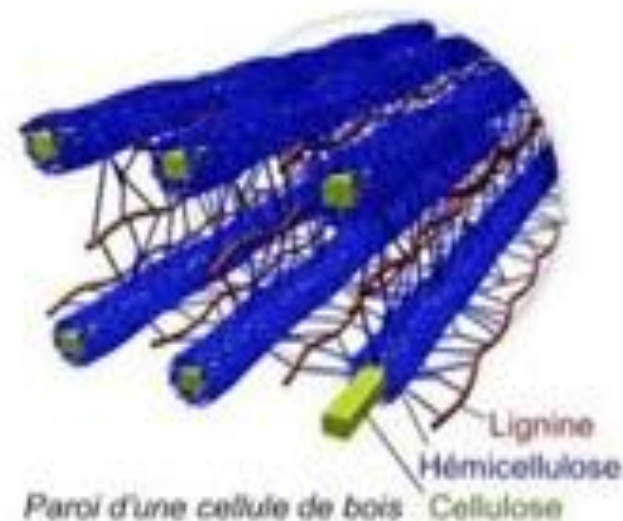
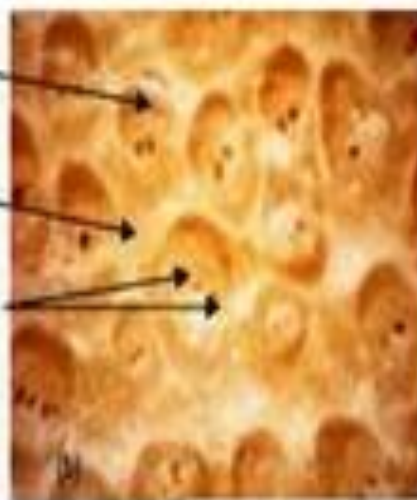
Gélivure



Blessure

Défauts dus à un élément externe.

- le bois et les textiles naturels sont des composites à base d'une matrice en lignine et hémicellulose et de renforts en fibre de cellulose³,



La cellulose

Substance organique la plus produite par les êtres vivants

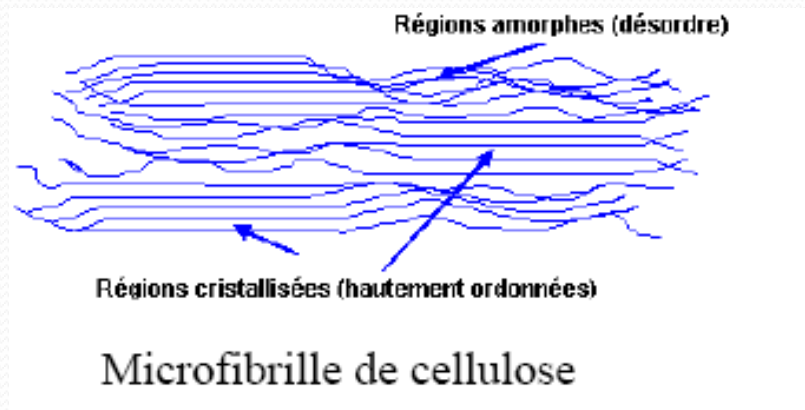


Stockage de 40% du Carbone organique

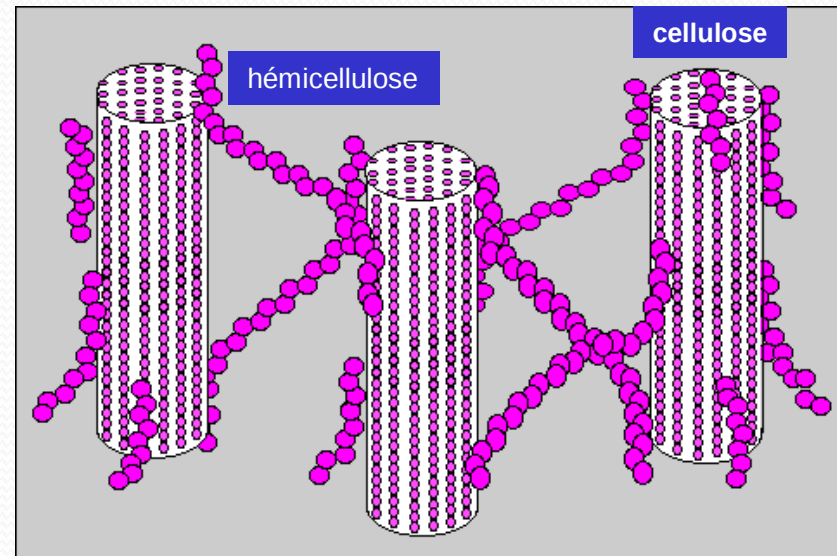
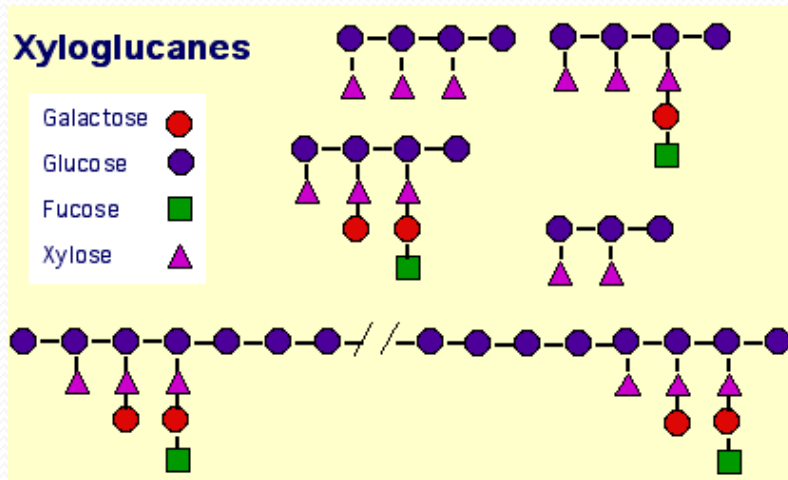
Nombreux produits d'importance industrielle : papier, coton, viscose,...

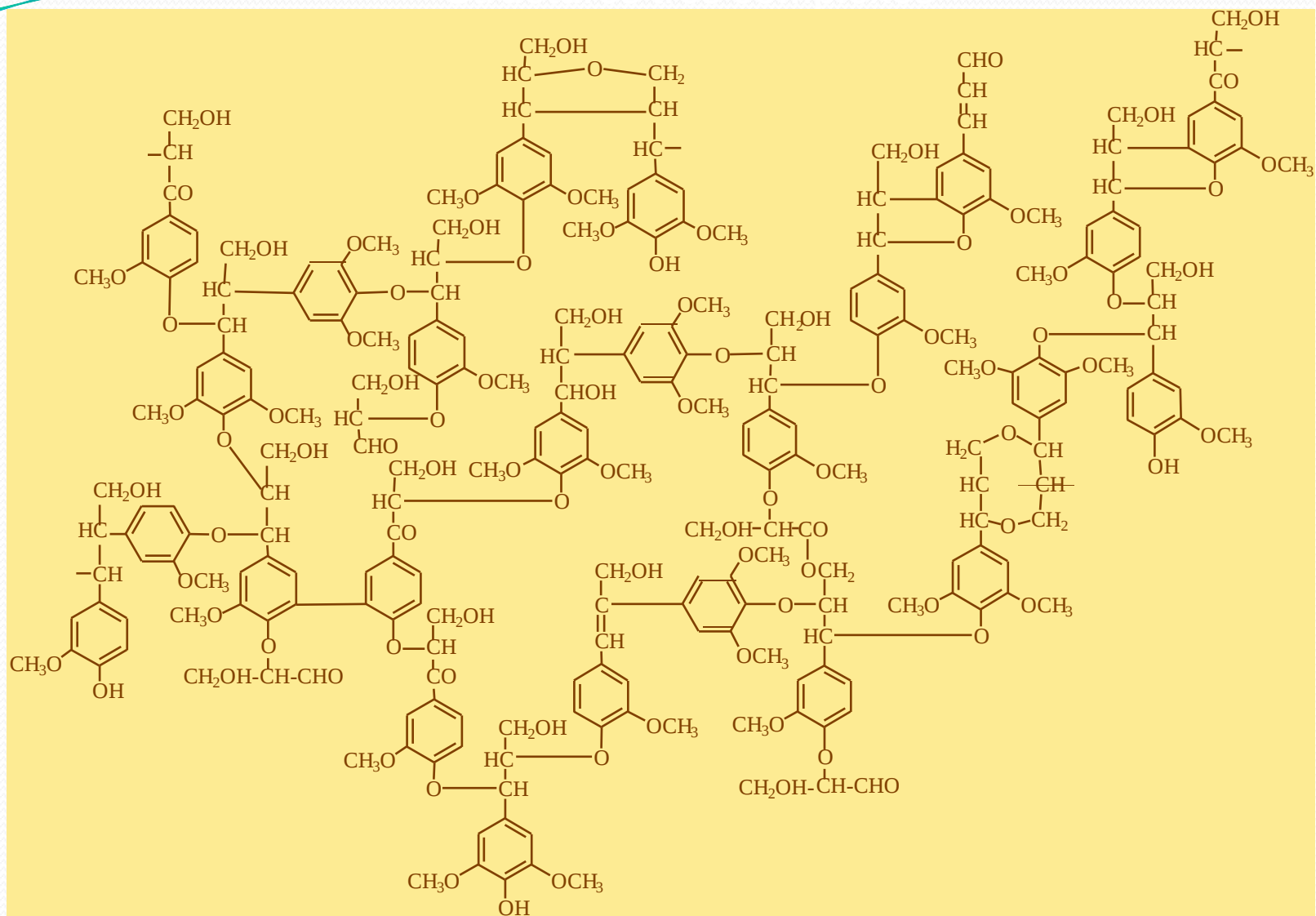
La cellulose est de nature fibreuse :

Une fibre : polymère à macromolécules orientées ➡ forte anisotropie

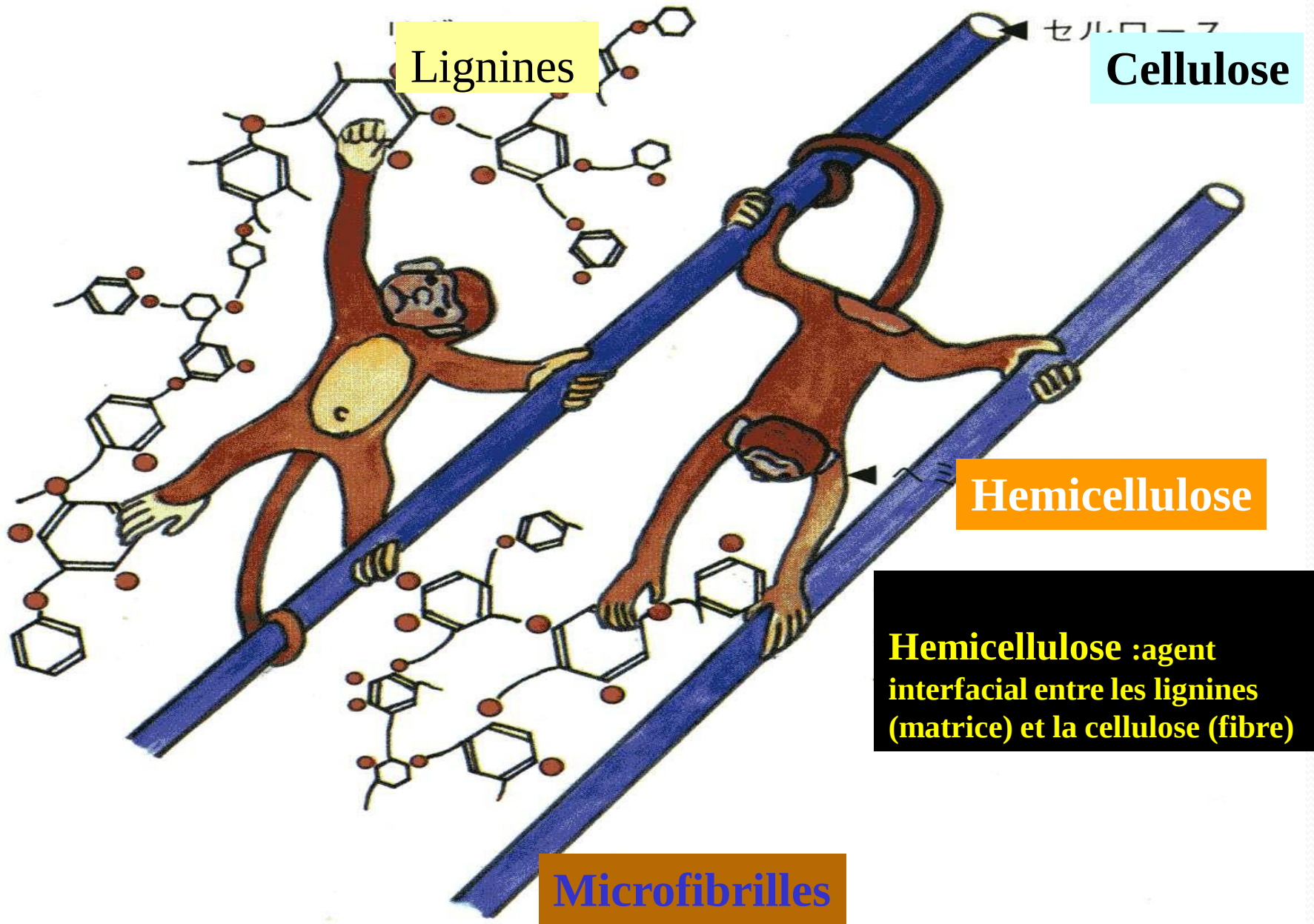


Les hémicelluloses : macromolécules ramifiées composées essentiellement de 5 sucres : le glucose, le mannose, le galactose, le xylose et l'arabinose et d'acides uroniques
Structure complexe





Le bois : un composite fibreux naturel



Les substances extractibles du bois :

Molécules de faible masse moléculaire dont la nature et la teneur donnent les propriétés spécifiques d'un bois: couleur, odeur, durabilité biologique, pérennité de la couleur,...

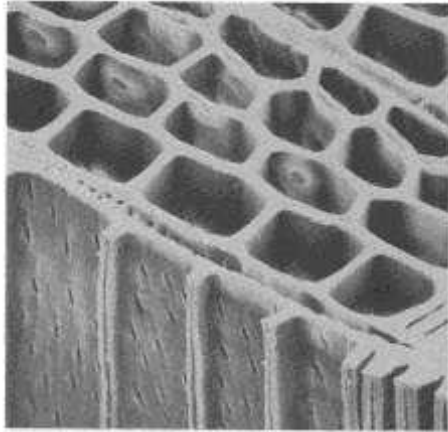
Composés solubles dans l'eau ou les solvants organiques

Ce terme de substances extractibles recouvre une grande variété de composés organiques et minéraux dont la nature chimique et la teneur varient fortement entre les espèces, les genres et les familles d'arbres.

- Les sucres
- Les composés phénoliques
- Les lipides



Éléments constitutifs



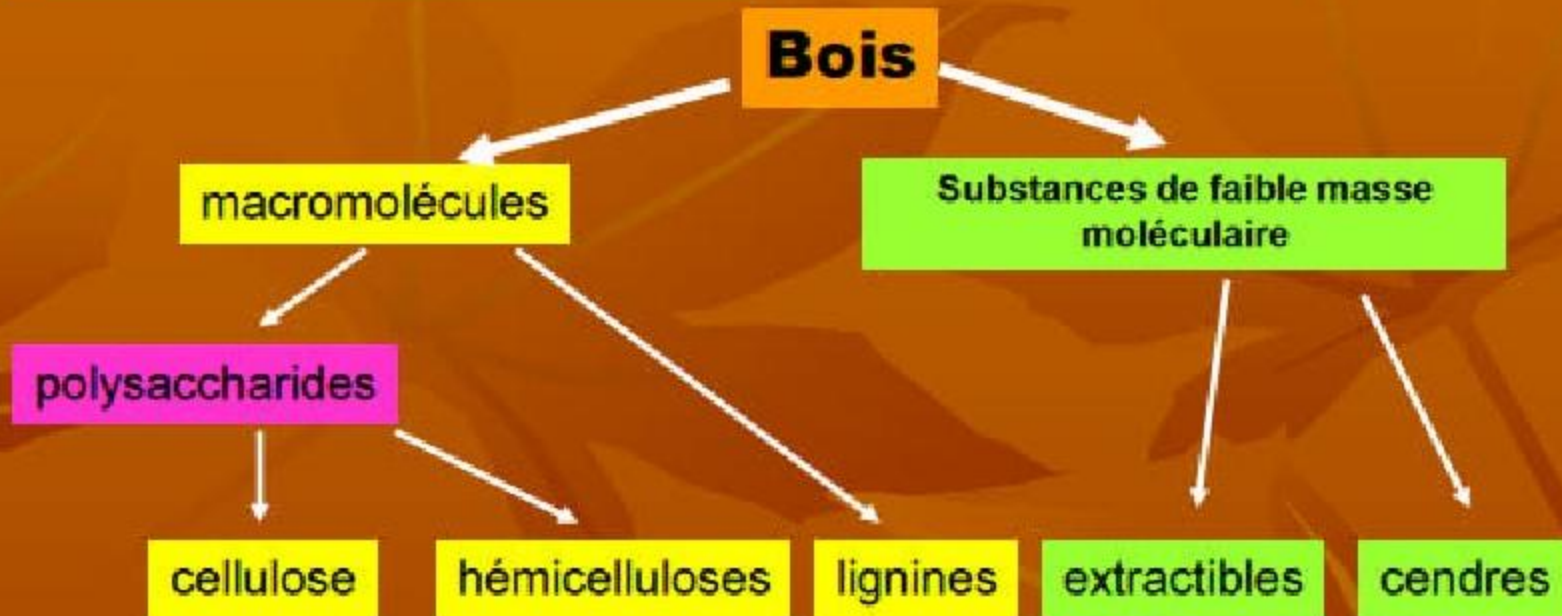
- ✦ Cellulose
- ✦ Hémicelluloses
- ✦ Lignine
- ✦ Extractibles
- ✦ Matières minérales
(K, Ca, Mg, Si)



Sève
Réserves (amidon)

Aubier

Constituants chimiques du bois



feuillus	~ 45 %	~ 30 %	~ 20 %	~ 7 %	~ 1 %
résineux	~ 50 %	~ 20 %	~ 30 %	< 5 %	~ 2 %

CONSTITUANTS CHIMIQUES DU BOIS

La paroi de la cellule est un multicouche. Chaque couche est un milieu composite constitué de filaments (microfibrilles de cellulose) très minces renforcés par une matrice de lignine et d'hémicellulose

	Composition (%)	Nature polymérique	Degré de polymérisation	Monomère de base	Fonctionnement
Cellulose	45 - 50	Molécule linéaire semi-cristalline	5'000 - 10'000	Glucose	Fibre
Hémicellulose	20 - 25	Molécule ramifiée amorphe	150 - 200	Sucres Essentiellement non glucosés	Matrice
Lignine	20 - 30	Réticulé tridimensionnel amorphe	?	Phénolpropane	Matrice
Extractif	0 - 10	Molécule polymérique	-	Polyphénole	Élément de protection

Composition du bois

Précise les proportions des trois constituants du bois dans les différentes couches de la paroi cellulaire

Composition typique de bois de résineux et feuillus

<i>Constituant</i>	<i>Composition massique (%)</i>		<i>Rôle</i>
	<i>Résineux</i>	<i>Feuillus</i>	
<i>Cellulose</i>	<i>40-45</i>	<i>38-50</i>	<i>Renfort</i>
<i>Hémicellulose</i>	<i>7-15</i>	<i>19-26</i>	<i>Matrice</i>
<i>lignine</i>	<i>26-34</i>	<i>23-30</i>	<i>Matrice</i>
<i>Extractibles</i>	<i>4</i>	<i>4</i>	<i>Lubrifiant</i>
<i>Cendres</i>	<i><1</i>	<i><1</i>	<i>-</i>

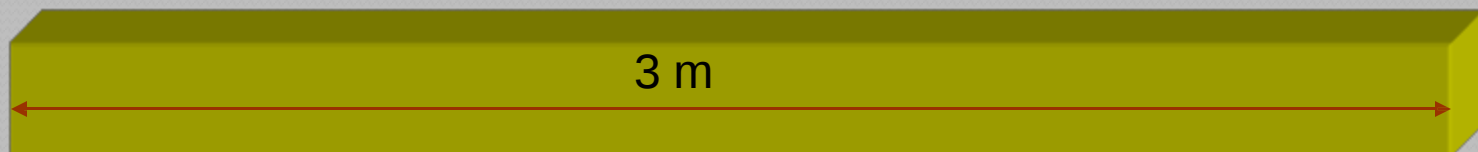
Les propriétés du bois dans la construction



- matériau :
 - ▢ isolant
 - ▢ résistant aux atmosphères agressives
 - ▢ adapté aux zones sismiques
 - ▢ permettant une construction sèche et légère
 - ▢ de confort et de santé

Le rapport *performances mécaniques / densité*
est à l'avantage du bois par rapport à ses concurrents

Une poutre de 3 m de portée :



capable de supporter 20 tonnes, pèse :

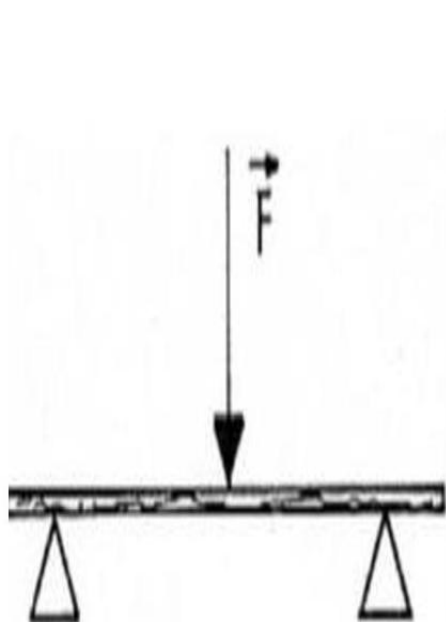
- 60 kg en épicéa
- 80 kg en acier
- 300 kg en béton armé

Caractéristiques mécaniques de quelques essences.

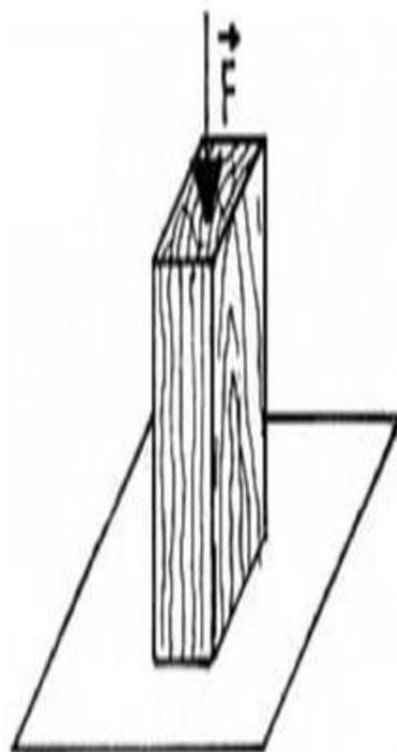
Ces valeurs moyennes (en MPa) sont obtenues par essais en laboratoire sur des échantillons de bois. Ces essais sont effectués dans le sens longitudinal du bois.

Essence	Module d'élasticité	Compression	Traction	Flexion	Cisaillement
Épicéa	11 000	43	90	66	6,7
Pins	12 000	47	104	87	10,0
Mélèze	13 800	55	107	99	9,0
Hêtre	16 000	62	135	105	10,0
Chêne	13 000	54	90	91	11,0

Bois	Caractéristiques		
	Durabilité (résistance à la décomposition)	Résistance (Force)	Couleur
Bois tendres			
Pin	Passable	Faible	Blanc
Sapin	Faible	Moyenne	Blanc
Épinette	Faible	Moyenne	Blanc
Cèdre	Grande	Très faible	Brun
Bois durs			
Érable	Faible	Très forte	Brun pâle
Chêne	Grande	Très forte	Brun pâle
Frêne	Moyenne	Moyenne	Blanc
Hêtre	Grande	Forte	Blanc



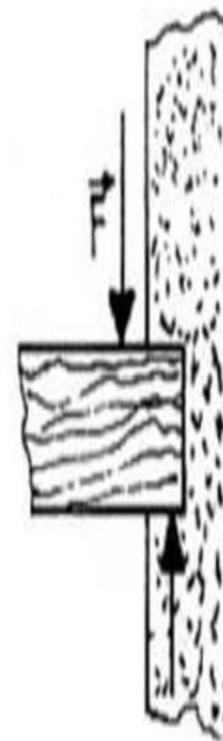
FLEXION



COMPRESSION



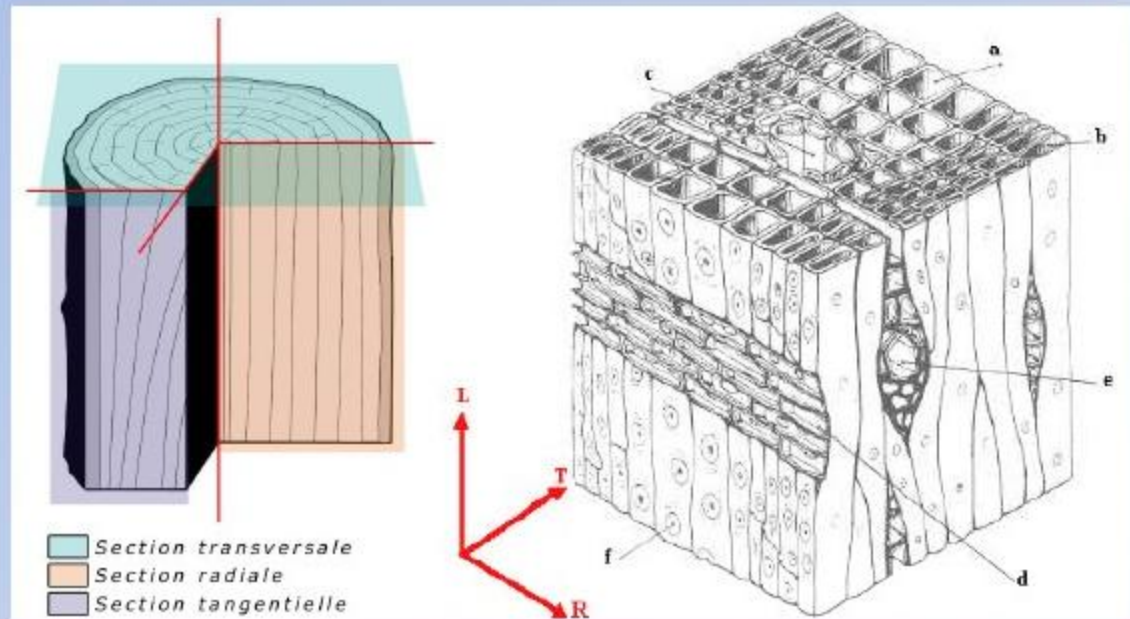
TRACTION



CISAILLEMENT

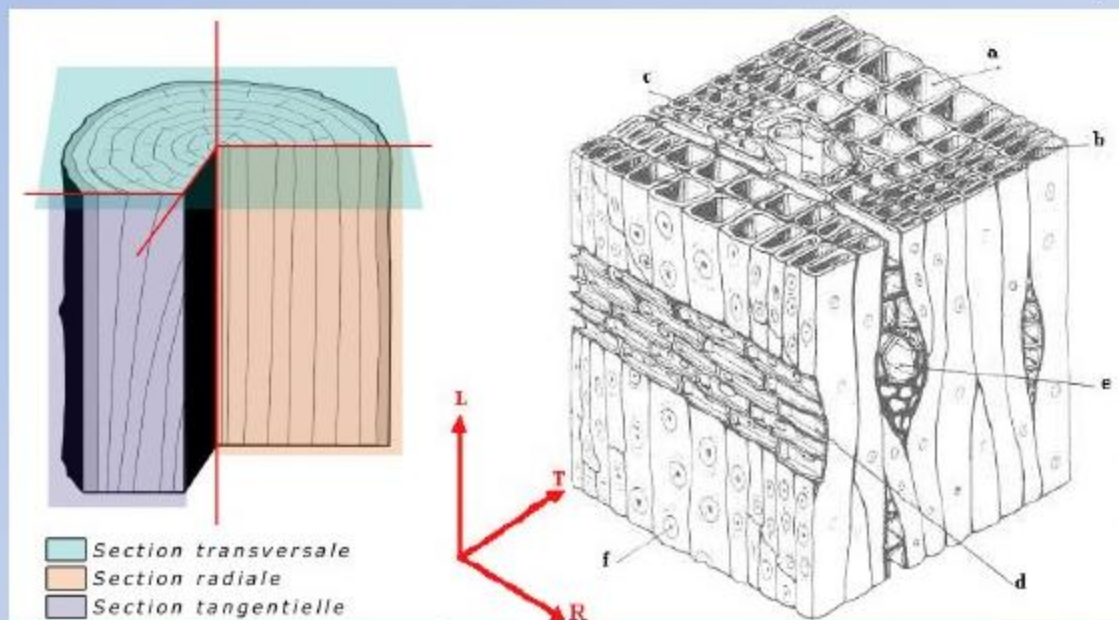
Les différentes sollicitations.

RETRAIT



RETRAIT	Échantillon longitudinale	Échantillon radiale	Échantillon tangentielle
Mesure état humide	4.253	4.675	4.052
Mesure état sec	4.245	4.346	3.413
ΔL [mm]	-0.008	-0.329	-0.639
$\Delta L/L$ [%]	0.01	0.41	0.80

GONFLEMENT



GONFLEMENT	Échantillon longitudinale	Échantillon radiale	Échantillon tangentielle
Mesure état sec	1.208	1.875	1.03
Mesure état humide	1.412	2.091	1.404
ΔL [mm]	0.204	0.216	0.374
$\Delta L/L$ [%]	0.26	0.27	0.47

Avec une conductibilité thermique (λ) très faible,
le bois est un bon isolant thermique

	$\lambda(\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1})$
Aluminium	230
Acier	52
Granite	3.5
Béton	1.75
Plâtre	0.5
Chêne	0.23
Sapin, épicéa	0.12
Liège	0.10
Balsa	0.054
Laine minérale	0.040

Valeur moyenne pour le bois :

$$\lambda = 0.12 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Comparaison avec d'autres matériaux de construction courants.

DENSITE



Essence		Masse sec [g]	masse volumique à l'état sec [kg.m ⁻³]	densité à sec
Résineux	Sapin	154.49	411.973	0.412
		154.47	411.920	0.412
		154.17	411.120	0.411
	Pin	205.55	548.133	0.548
		205.92	549.120	0.549
		205.12	546.987	0.547
Feuillus	Hêtre	224.82	599.520	0.600
		224.04	597.440	0.597
		223.54	596.107	0.596
	Chêne	209.11	557.627	0.558
		214.10	570.941	0.571
		211.59	564.240	0.564

- Les **bois très légers** (densité 0,4 à 0,5) : le peuplier, le saule, le tilleul,
- Les **bois légers** (densité 0,5 à 0,65) : l'aulne, le bouleau et le tremble,
- Les **bois demi-lourds** (densité 0,65 à 0,8) : le charme, le châtaignier, le chêne, l'érable, le frêne, le hêtre, le merisier, le noyer, l'orme, le platane, le poirier,
- Les **bois lourds** (densité 0,8 à 0,95) : le buis, le chêne vert, le cornouiller, le sorbier,...

Classification des différents bois et de leur principale utilisation :

BOIS BLANCS	
Peuplier, tilleul, bouleau, tremble Platane, érable, aulne	Emballages, tournage, allumettes, papier Ebénisterie, menuiserie
RESINEUX	
Sapin, pin, épicéa, mélèze, pitchpin	Menuiserie, charpente, parquets, papier
BOIS DURS	
Chêne, hêtre Charme, châtaigner Orme, acacia, noyer	Menuiserie, bois courbés, contre-plaqué Tournage, ébénisterie Charronnage, pieux, barreaux
BOIS FINS	
Cerisier, merisier, noyer Poirier, pommier Cormier, buis, olivier	Ebénisterie, sculpture Instruments de dessin Rabots, varlopes, instruments de mesure
BOIS EXOTIQUES	
Acajou, ébène, palissandre Okoumé, bois de rose, satiné Teck	Ebénisterie, menuiserie de luxe Menuiserie Construction navale

Inconvénients liés au caractère naturel du bois

- **sensibilité aux agents biologiques**
- **sensibilité aux agents physicochimiques et climatiques**



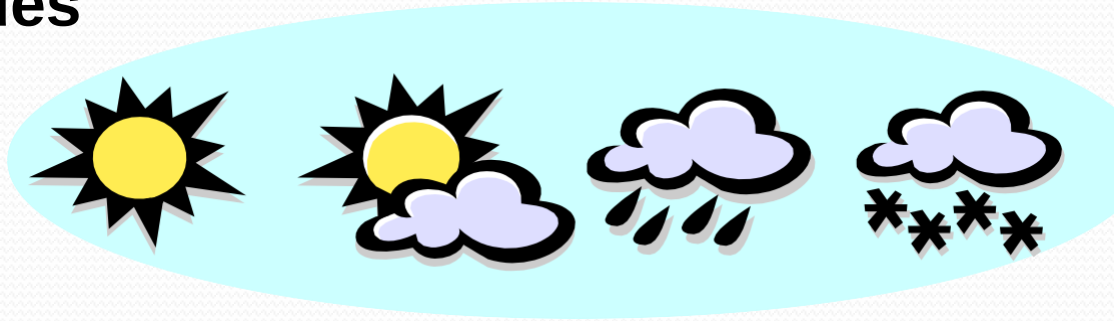
**Le bois : un matériau
biodégradable**



Causes de Vieillesse du Bois

Agents physico-chimiques

- humidité
- rayonnement U.V.
- température
- agents chimiques



Agents biologiques

- champignons
- bactéries
- insectes



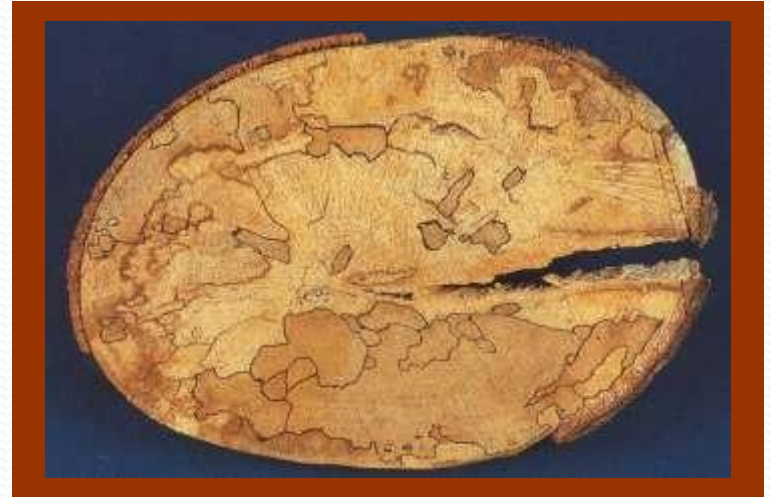
➡ **Protection nécessaire pour accroître sa durée de vie**

Dégradations esthétiques

Piqures noires



Echauffures



Bleuissement



Insectes

- les termites



- les capricornes



- les vrillettes



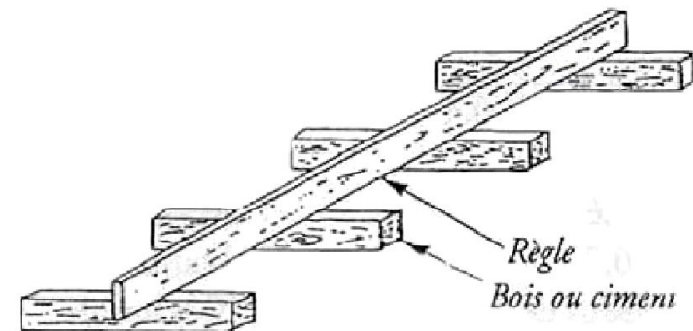
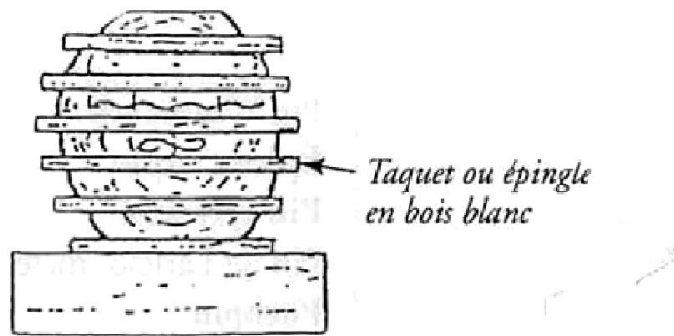
Le séchage et le stockage du bois

Les conditions d'un bon séchage sont primordiales, qu'il soit artificiel ou naturel.

Ses buts sont:

- d'éliminer la sève et l'eau,
- d'éliminer les déformations, les altérations et les attaques d'insectes,
- de faciliter l'usinage et le taillage.

Séchage naturel



Le séchage artificiel

Il a l'avantage de faire sécher le bois beaucoup plus rapidement que naturellement. Il existe plusieurs principes de séchage artificiel :

- les séchoirs traditionnels (à moyenne et à haute température).
- les séchoirs par déshumidification.

Techniques de traitements

- séchage

✓ Techniques industrielles
- trempage



SECHAGE DU BOIS.

Le bois est débité puis mis à sécher à l'air libre de nombreuses années afin que son eau soit éliminée et que les planches utilisées ne se déforment pas.



Bois traités thermiquement

PRINCIPE

Modification de la structure chimique du matériau par traitement thermique pour des températures comprises entre 200 et 250°C lui conférant des propriétés nouvelles en particulier de stabilité dimensionnelle et de durabilité.



Traitement qui ne nécessite pas l'addition de composés chimiques



Pour augmenter la durabilité de l'aspect d'un ouvrage en bois, on applique un revêtement de surface (finition) transparent (polymère)

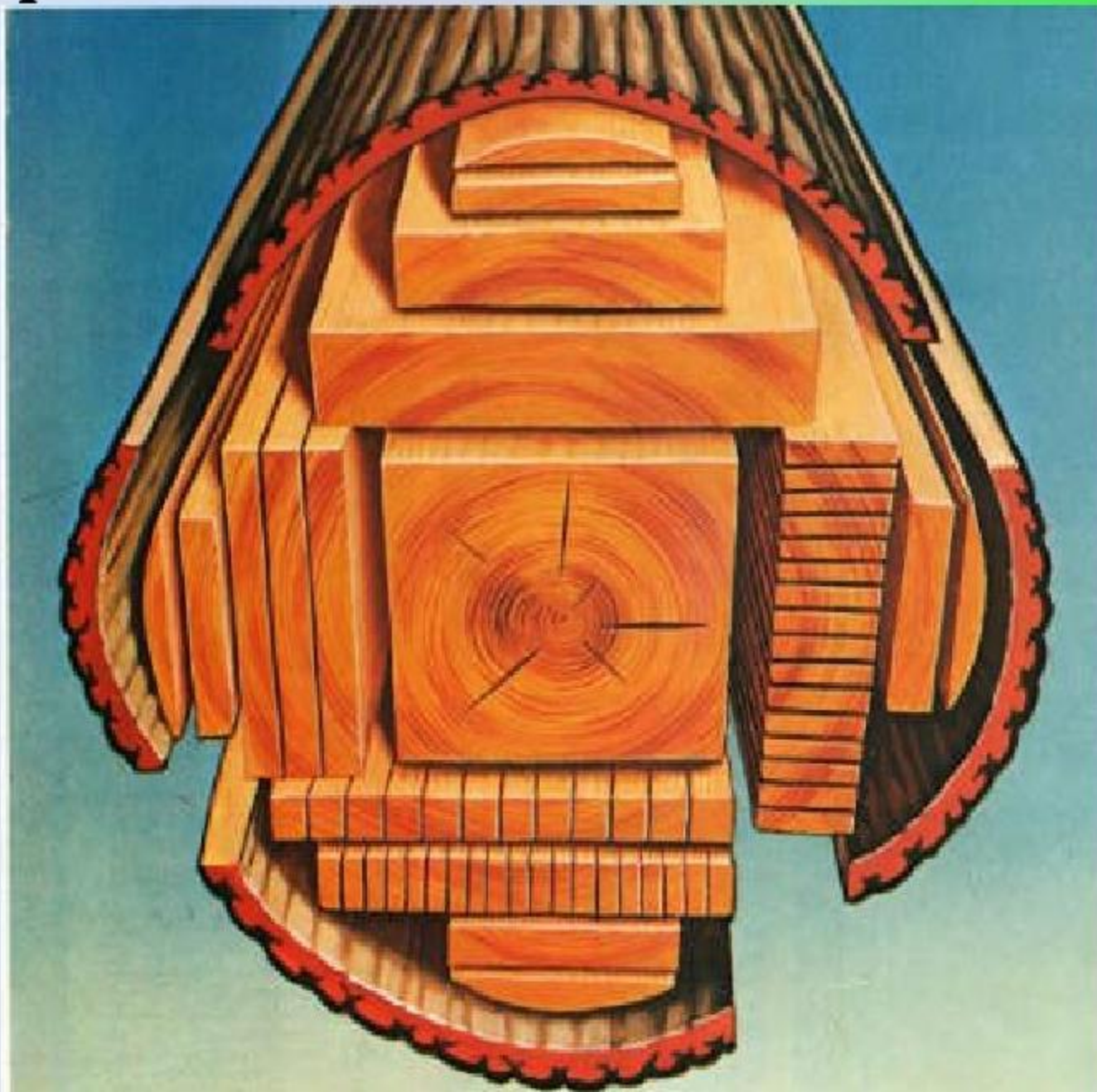


Finition transparente

Rôle de la finition :

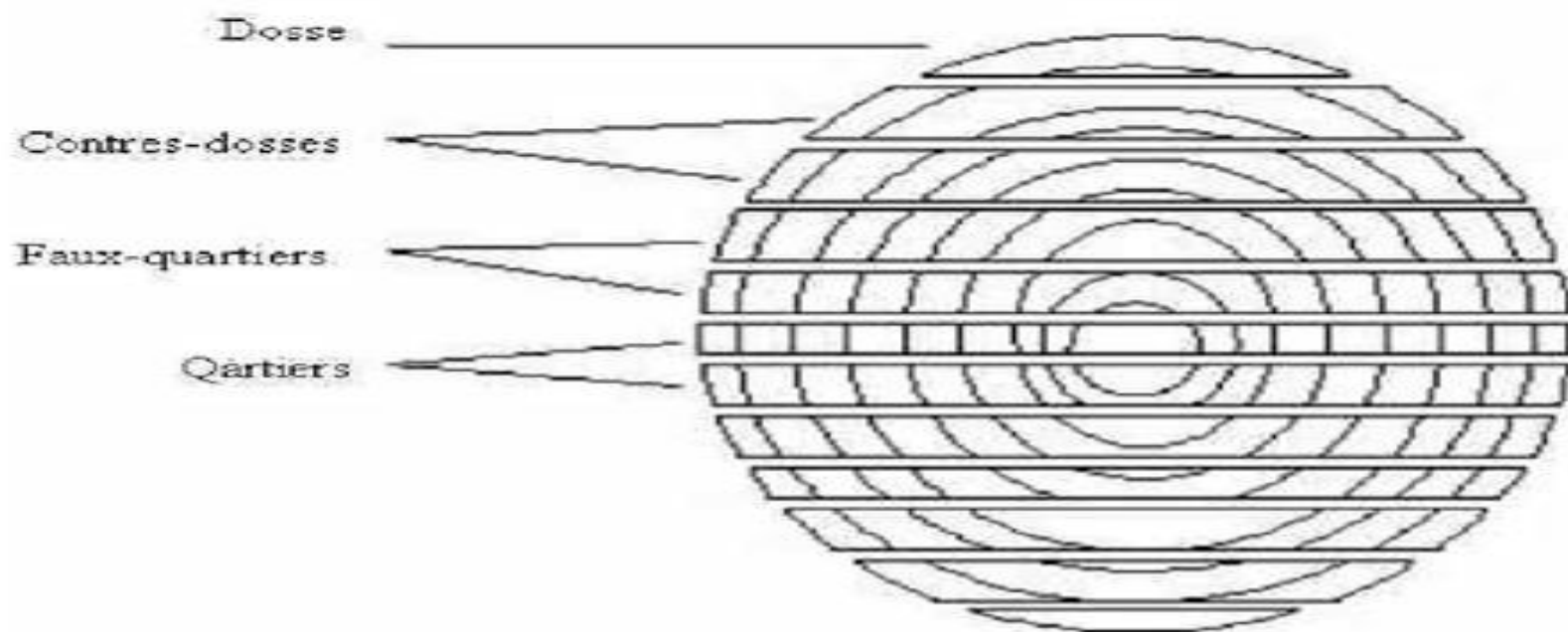
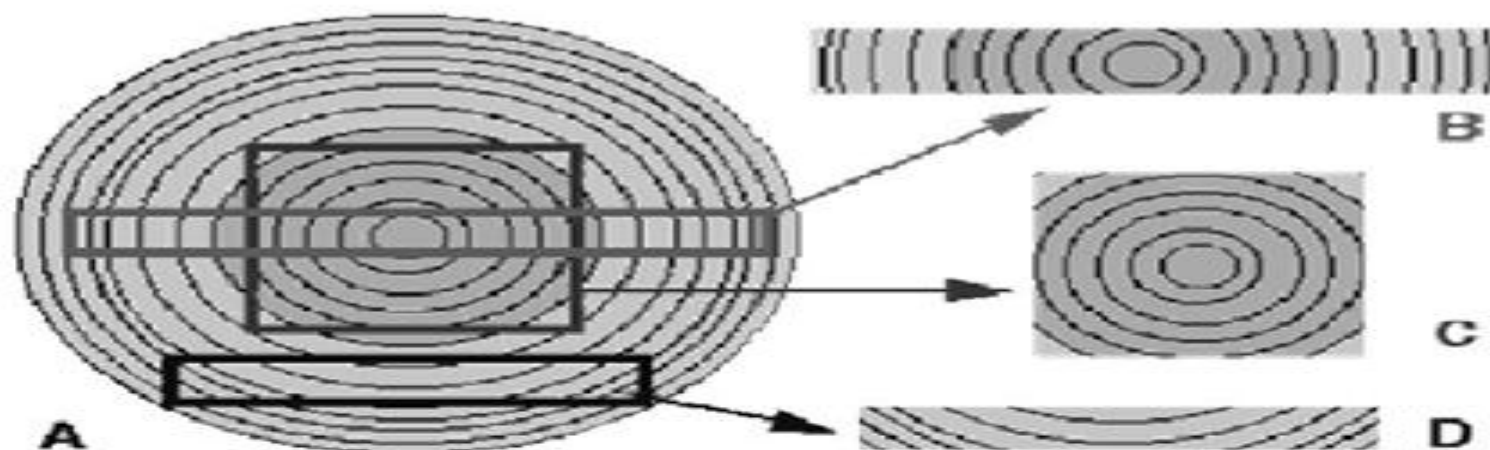
En utilisation intérieure → barrière à lumière UV et oxygène
En utilisation extérieure → barrière à lumière UV et oxygène
mais surtout barrière à l'eau

Découpe du bois

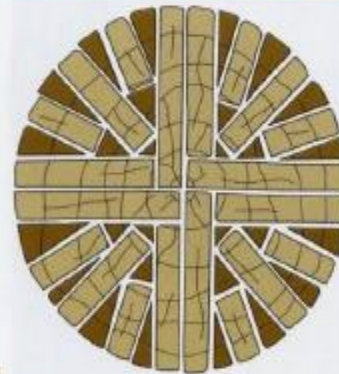
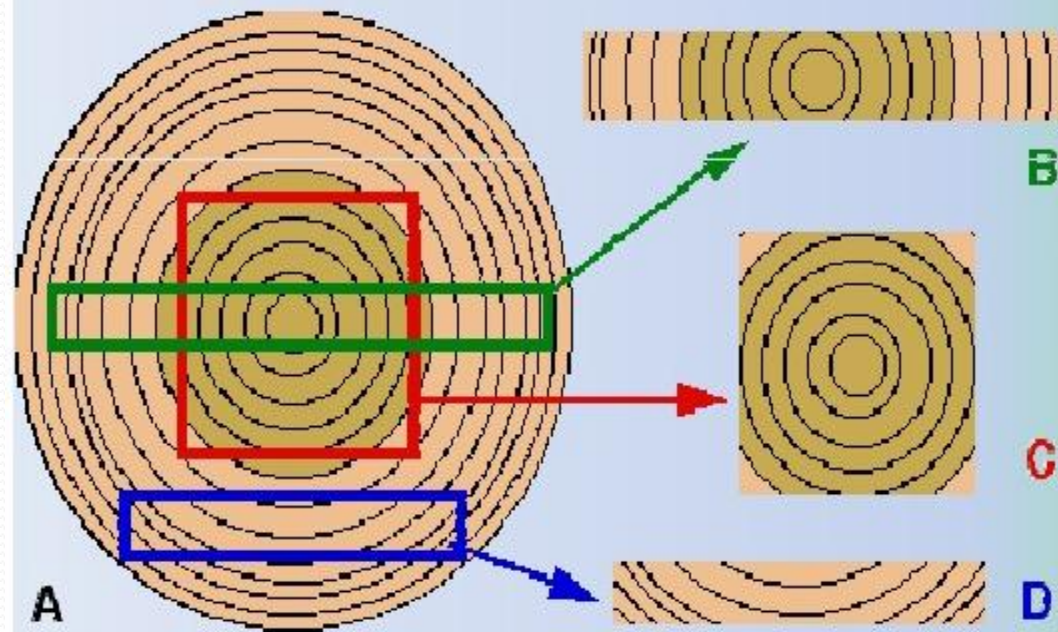


DECOUPE DU BOIS

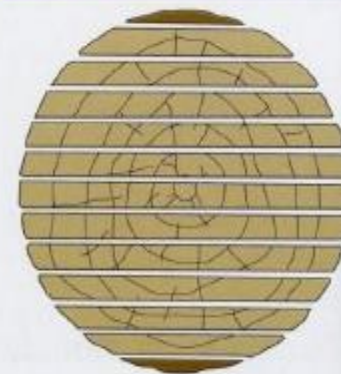
C'est l'opération qui consiste à scier
Dans un tronc (A)



Différentes techniques de découpe du bois



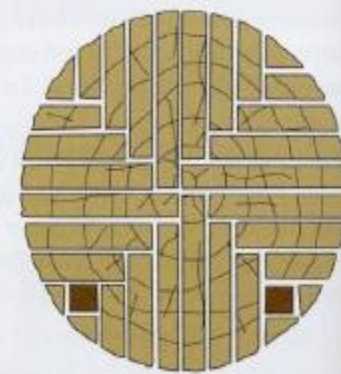
Débit théorique



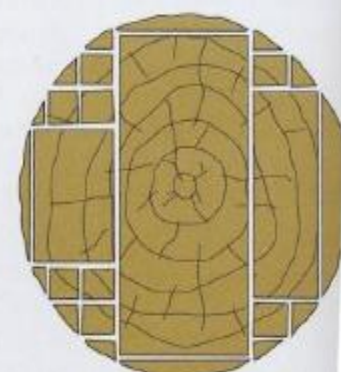
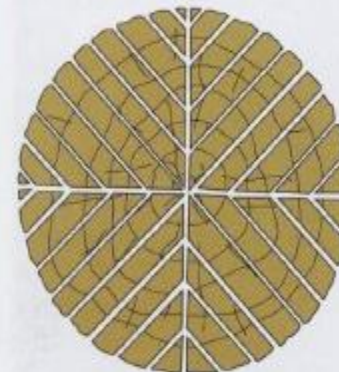
Débit sur boule



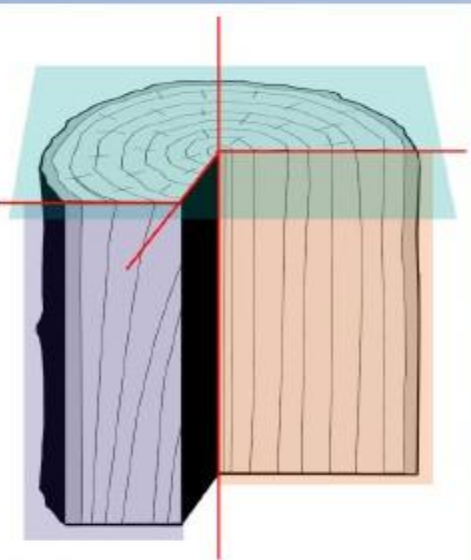
Débit sur dosse



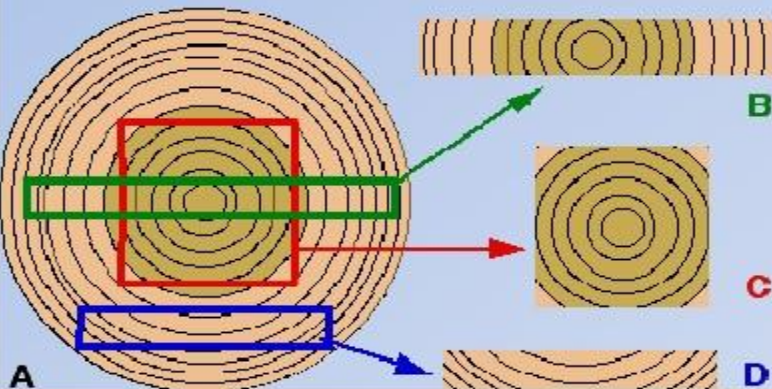
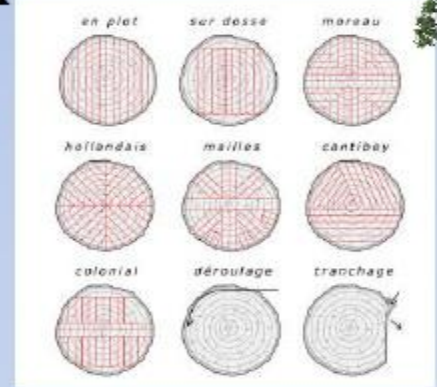
Débit sur faux quartier



Structure macroscopique du bois en coupe: axial, radial et tangentielle



Section transversale
Section radiale
Section tangentielle



Coupe en
Quartier



Coupe sur
Dosse

Découpe schématique dans un tronc.

Dans un tronc (A), la découpe symétrique du bois de cœur permet la fabrication de poutres (C) ou de poteaux très résistants. Pour la fabrication de planches, la découpe radiale (B) permet la meilleure résistance. Par contre les découpes tangentielles (D) donnent des planches qui peuvent se voiler en séchant.

- Bois massif
- Bois lamellé collé
- Panneaux de contreplaqué
- Panneaux de latté
- Panneaux de copeaux
- Panneaux de particules (aggloméré)
- Panneaux de fibres
- Papier



Lamellé collé



Panneau de latté



Panneau de copeaux



Aggloméré



Panneau de fibres

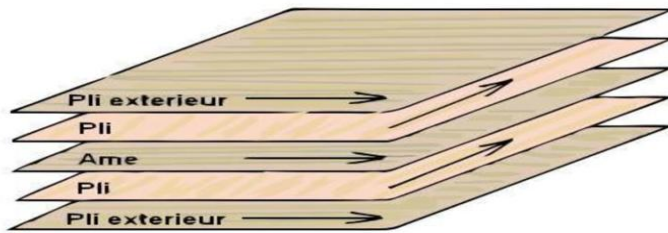


Contreplaqué

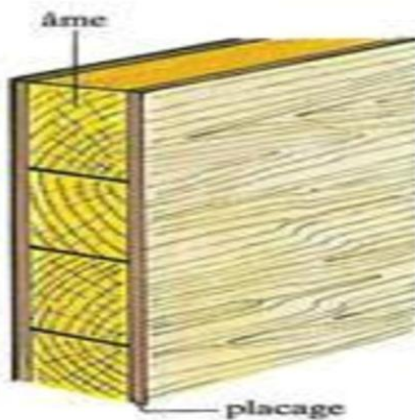
Bois modifiés

1. Le contreplaqué

La fabrication du contre-plaqué consiste à dérouler à l'aide d'une grande machine des troncs d'arbres et à obtenir de minces feuilles de bois appelées plis. Les couches de bois sont ensuite collées les unes sur les autres en contrariant les fils du bois. Les couches de bois sont collées en nombre impair. Le pli intérieur constitue l'âme. Les procédés de collage, la découverte de colles nouvelles ont permis une association idéale des bois. Le bois le plus utilisé pour la fabrication du contre plaqué sont l'okoumé, le peuplier. Il existe en épaisseur de 3 à 7 mm. On le désigne par le bois constituant les plis extérieurs, par exemple contreplaqué peuplier 5mm.



2. le panneau



Le panneau fort ou panneau latté est constitué par une âme formée de lamelles de sapin collées les unes contre les autres. Les deux faces sont constituées par un pli collé à contre fil.



3. L'aggloméré de copeaux (novopan) et l'aggloméré de fibres (pavatex)

Les copeaux de bois ou les fibres végétales sont agglomérés par des colles. Ils sont classés par densité, cette caractéristique commande les propriétés physiques et mécaniques des panneaux :

- tendre : 230 à 400 kg le m²
- dur : 480 à 850 kg le m²
- extra dur : plus de 950 kg le m²



On peut placer dans cette catégorie un panneau de fibres appelé **Medium Density Fiberboard** ou **MDF**.

4. Le lamifié (formica)

Ils sont constitués à partir de matières cellulosiques de bois ou de matières plastiques. Ils sont appréciés pour leur coloris et leur résistance à l'usure, aux rayures et à la chaleur. La finition existe en mat ou en brillant. Leur grande dureté fait que les outils s'abîment rapidement.



L'âge d'abattage

Pour être abattu, un arbre doit atteindre sa pleine maturité afin d'en tirer un profit maximum de bois. L'âge d'abattage des arbres varie donc selon chaque essence.

Âge d'abattage	Essences
20 à 25 ans	Peuplier
40 ans	Bouleau, douglas
50 ans	Érable, mélèze, noyer, cerisier
70 à 80 ans	Tilleul, frêne
100 à 120 ans	Orme, châtaignier, hêtre
120 à 150 ans	Chêne