

**Le Bois :**

**un matériau composite  
naturel anisotrope**

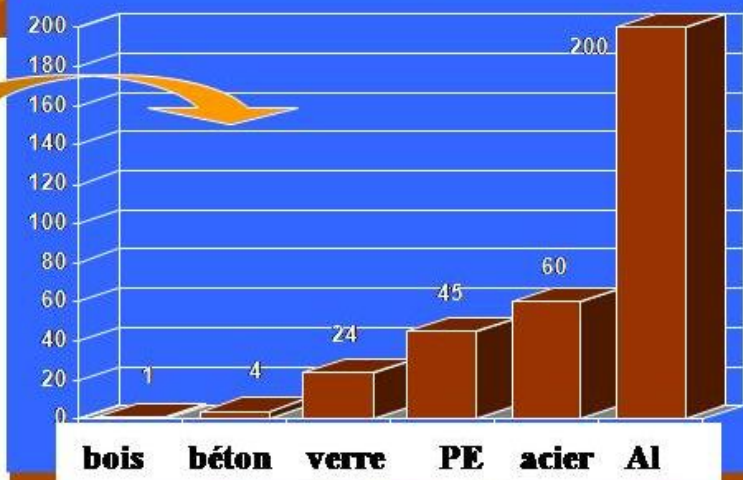
## Le bois: un matériau d'ingénierie d'origine naturelle

### AVANTAGES :

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

### 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 soutenues par des nervures. 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 flottabilité :** la densité du bois étant inférieure à celle de l'eau, la plupart des bois sont insubmersibles (sauf l'ébène).
- **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 lignivores 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).

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

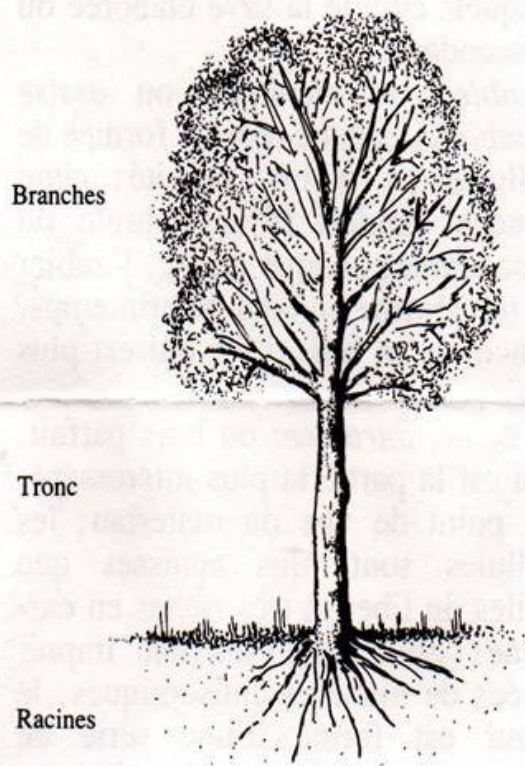


Fig. 1 L'arbre.

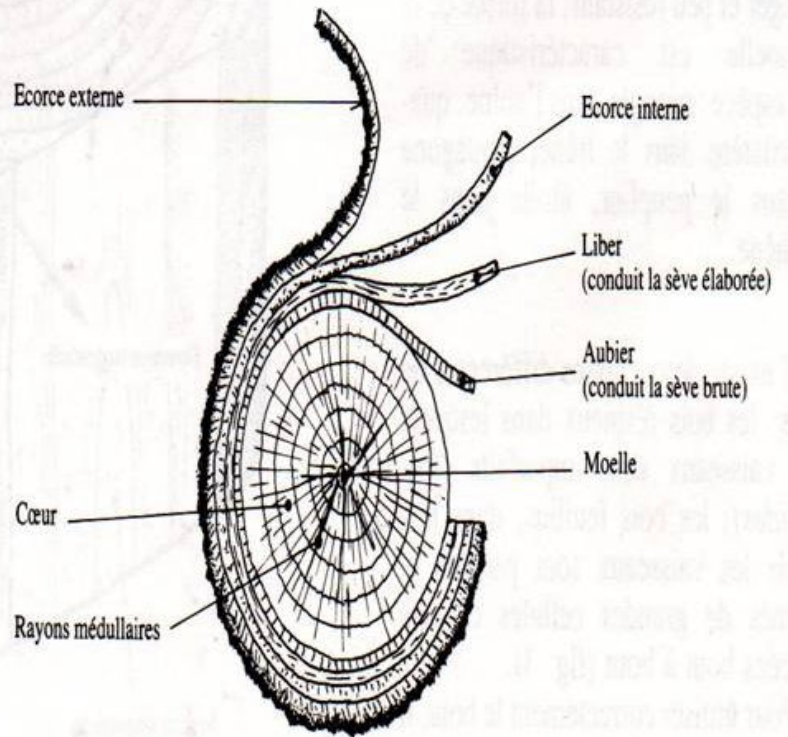
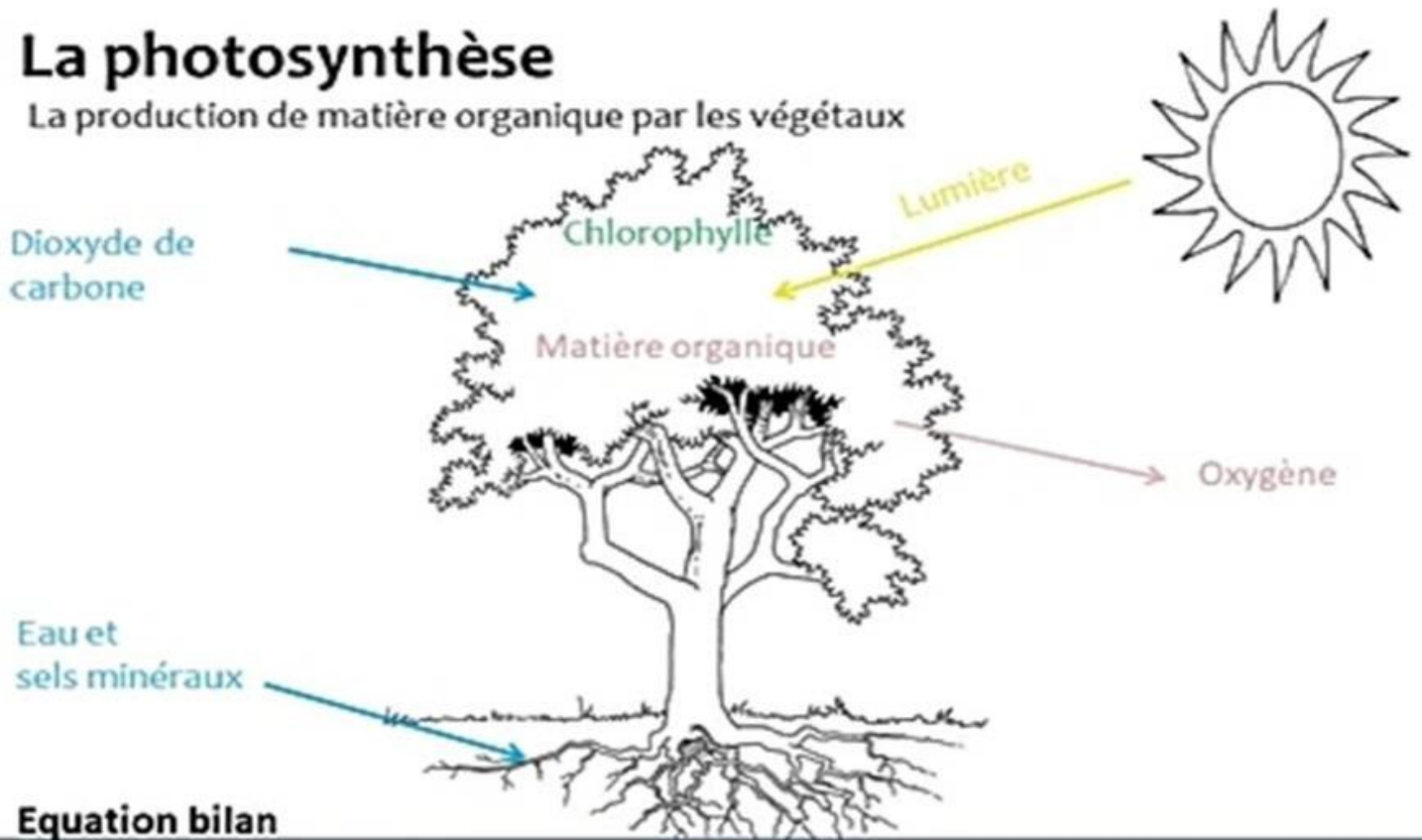


Fig. 2 Coupe transversale d'un tronc.

# La photosynthèse

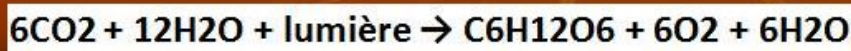
La production de matière organique par les végétaux



## Equation bilan



Gaëlle KROONEN - Professeur de sciences

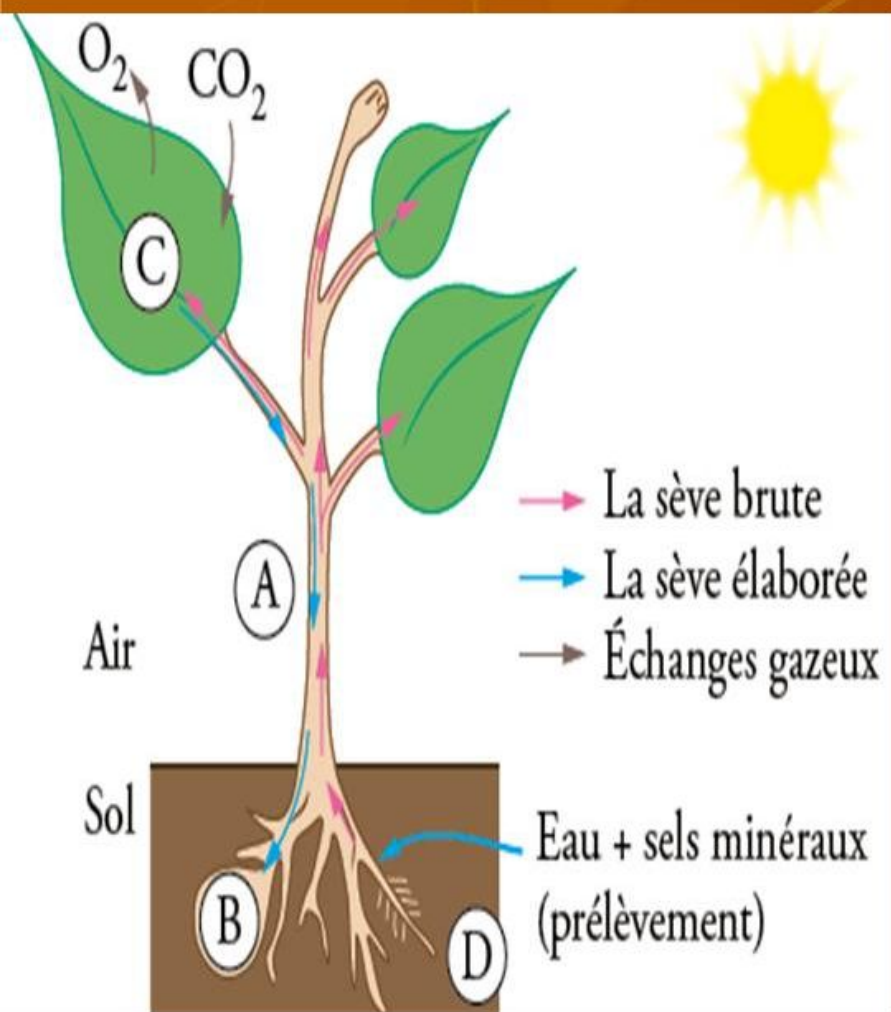


# Croissance : fabrication du bois par photosynthèse

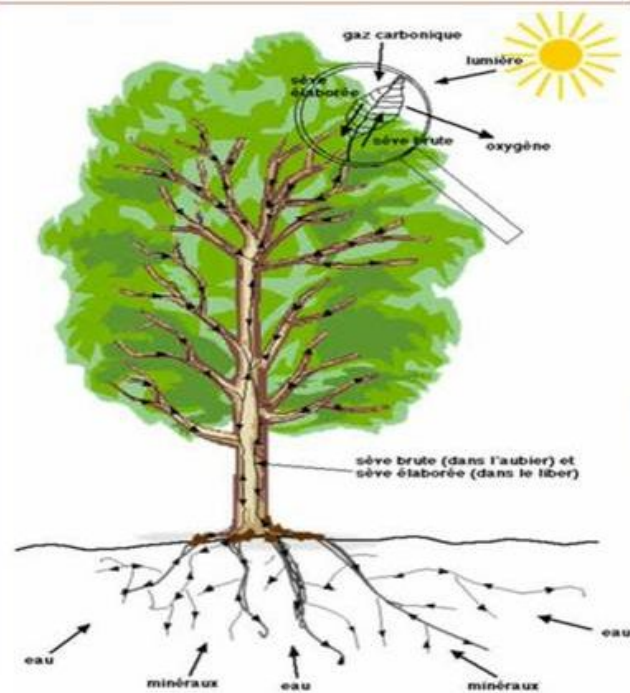
## Sèves brute et élaborée ?

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

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

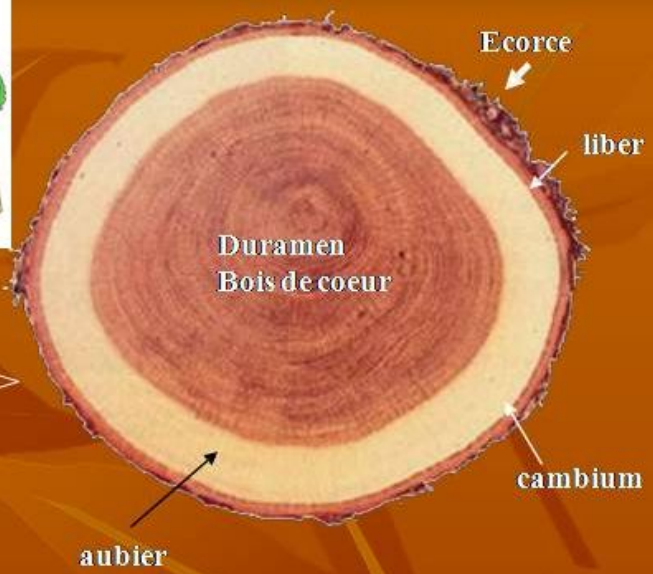


dioxyde de carbone + eau  
 ↓  
 sucres + oxygène



**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. Suivant les essences l'aubier doit être purgé (chêne, noyer...)

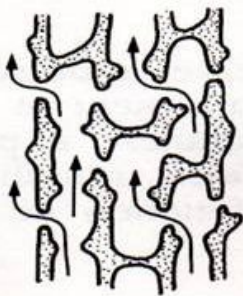
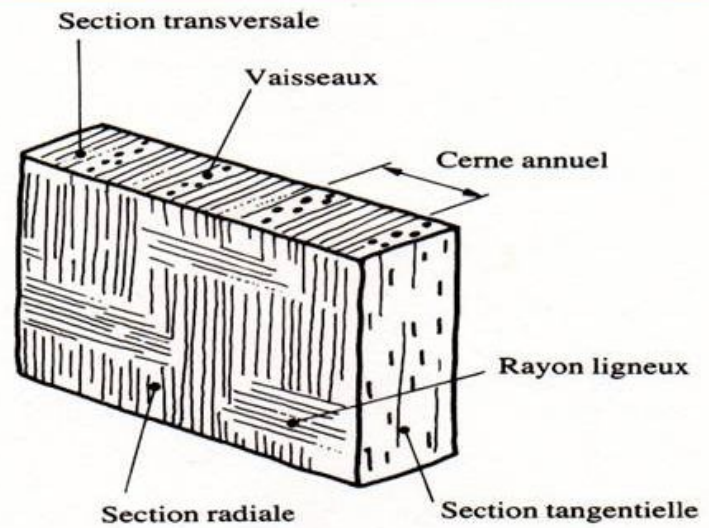
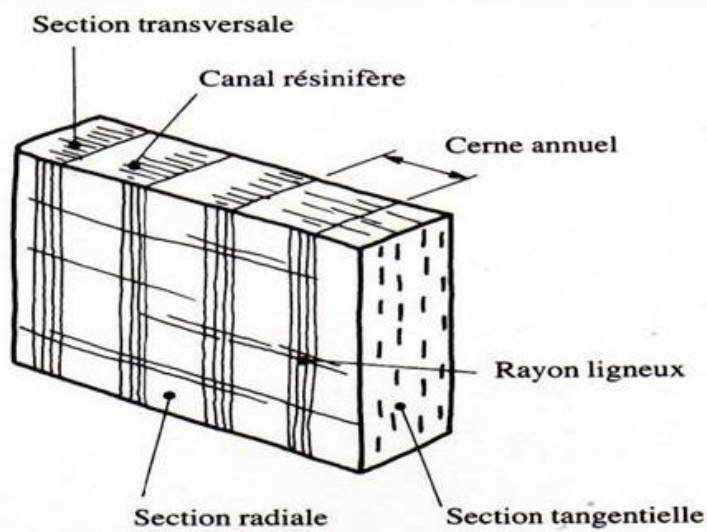


Coupe transversale de bois de chêne

- 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

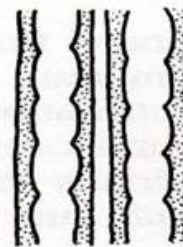


# Aspect cellulaire



Vaisseaux imparfaits  
ou trachéides

a) résineux



Vaisseaux parfaits

b) feuillu

Fig. 3 Bois résineux – bois feuillu.

# Le bois est un matériau anisotrope

Très résistant dans la direction longitudinale L.  
Peu résistant dans les directions radiale et tangentielle

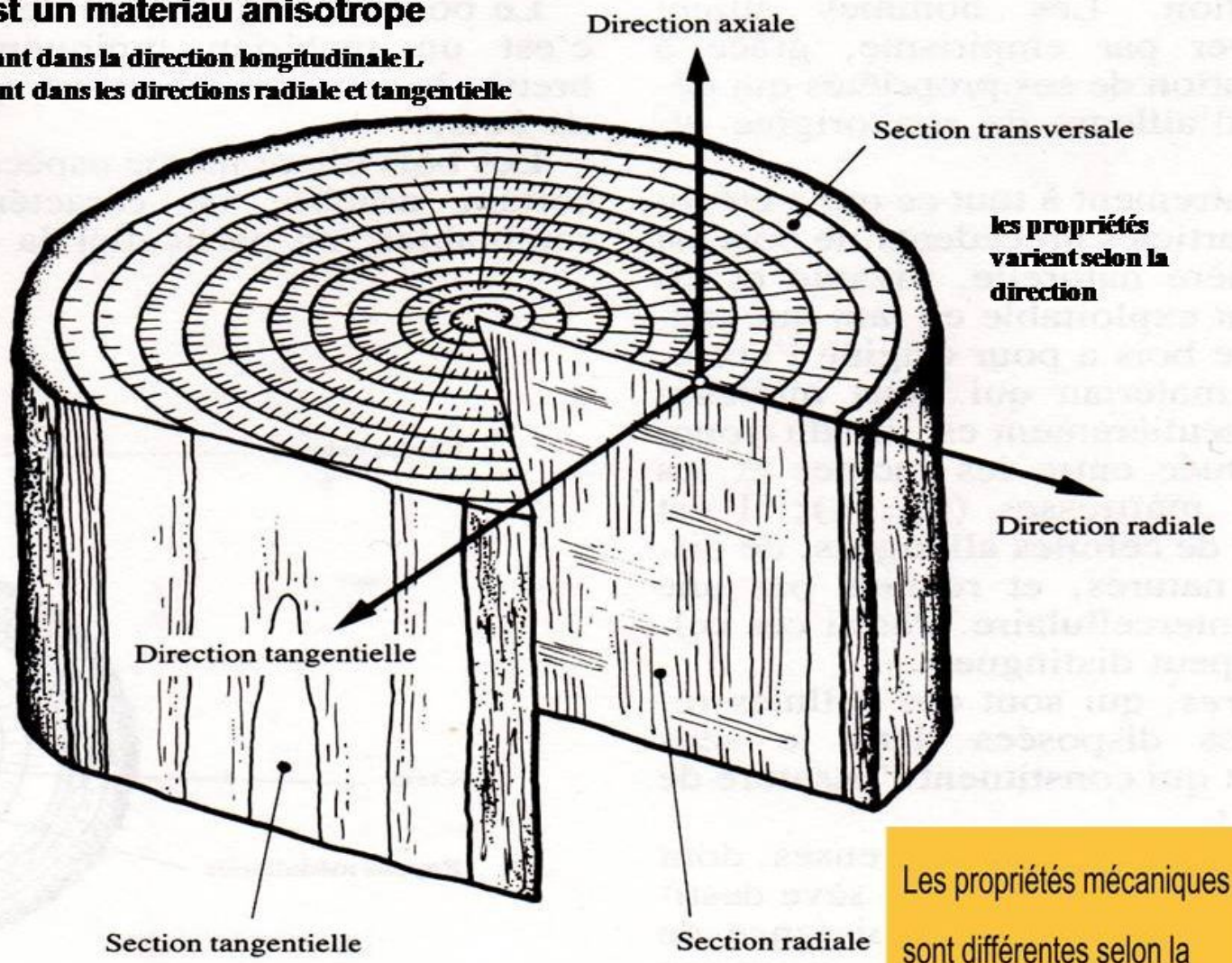
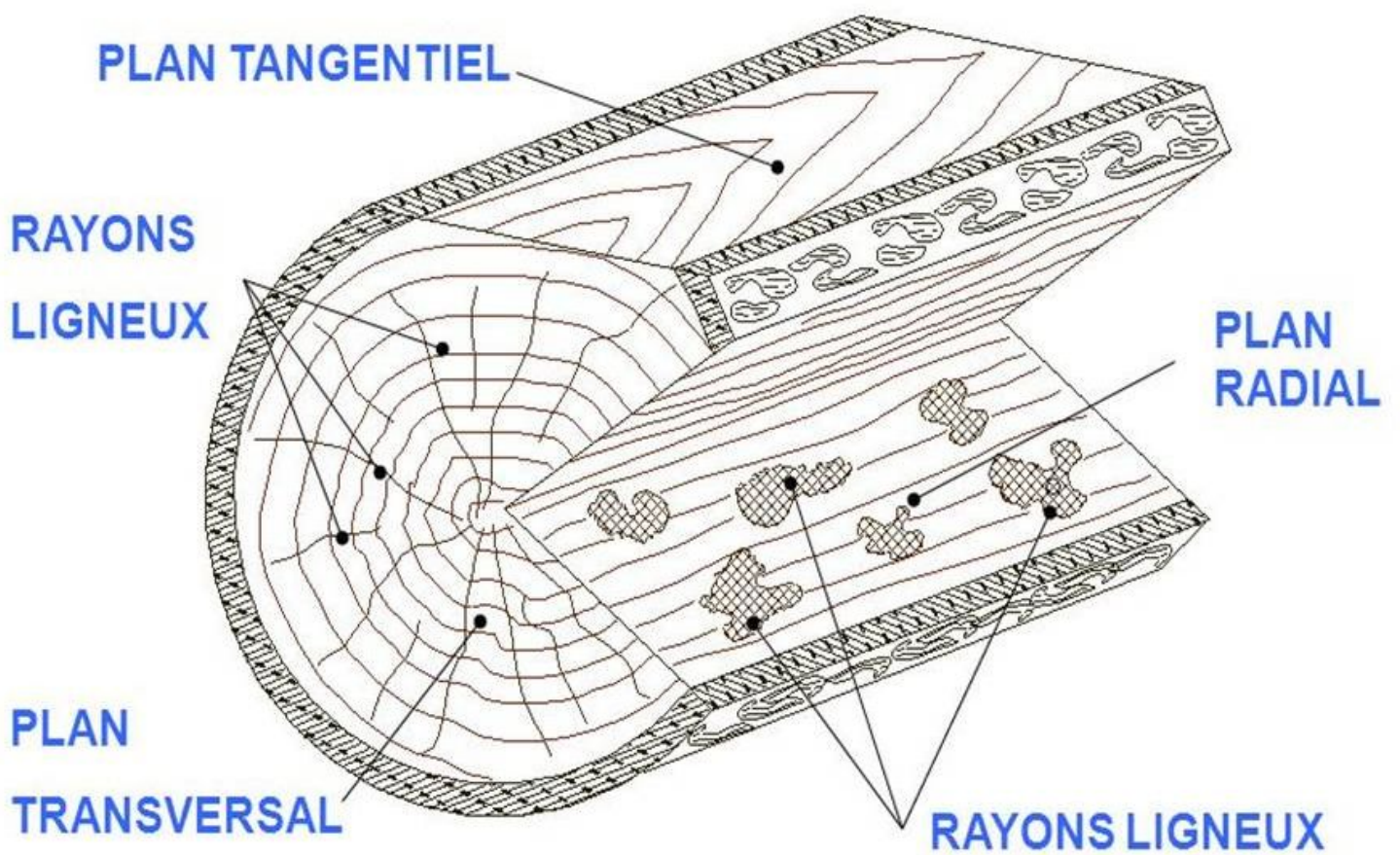


Fig. 4 Directions principales dans le bois.

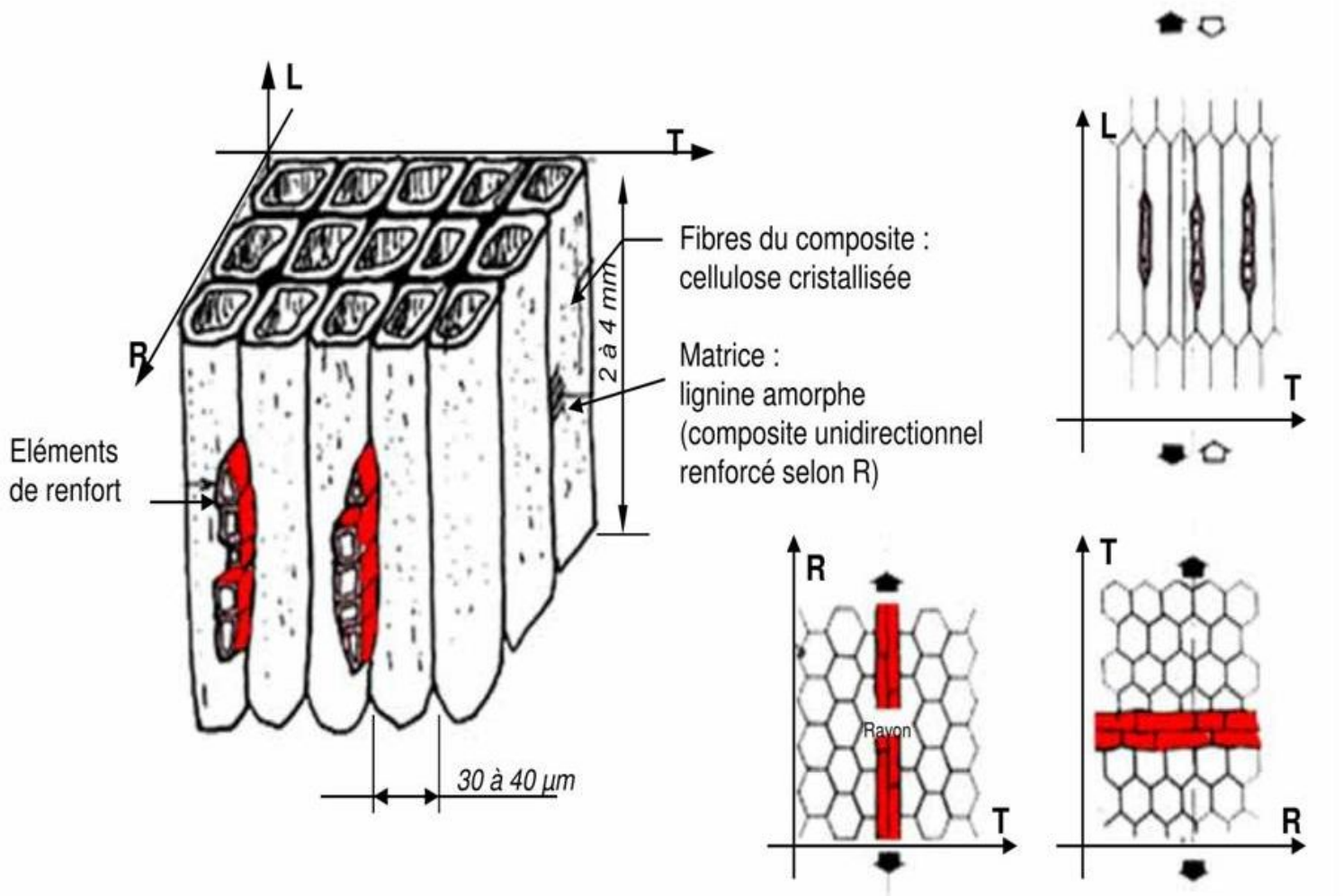
Les propriétés mécaniques sont différentes selon la direction considérée.

# STRUCTURE DU BOIS

## LES PLANS DE COUPE

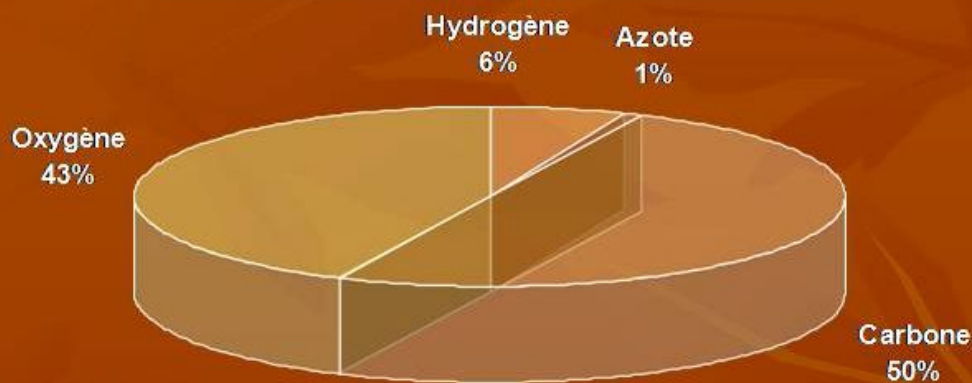


# Matériau composite naturel



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

## Composition atomique du bois



*Composition du bois*

***1tonne de bois produite par photosynthèse=***

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

## 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



- L'équation de base de la combustion!

# Le bois et l'eau

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

Au moment de l'abattage, le bois peut contenir plus d'eau que de matière bois, parfois deux fois plus dans certains peupliers. L'humidité est alors supérieure à 100 %.

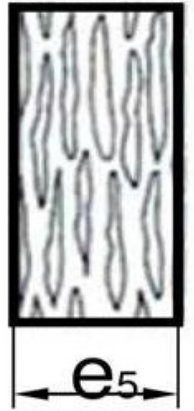
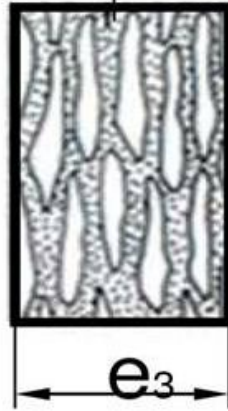
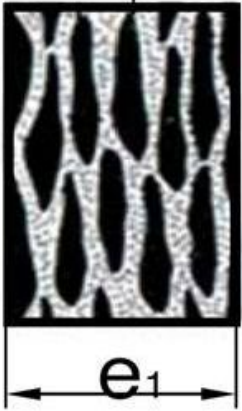
30 %

AUCUN RETRAIT

RETRAIT

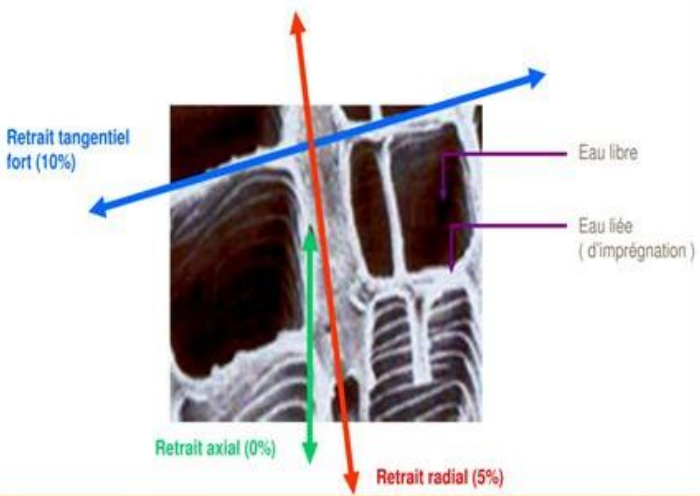
Eau libre

Eau liée

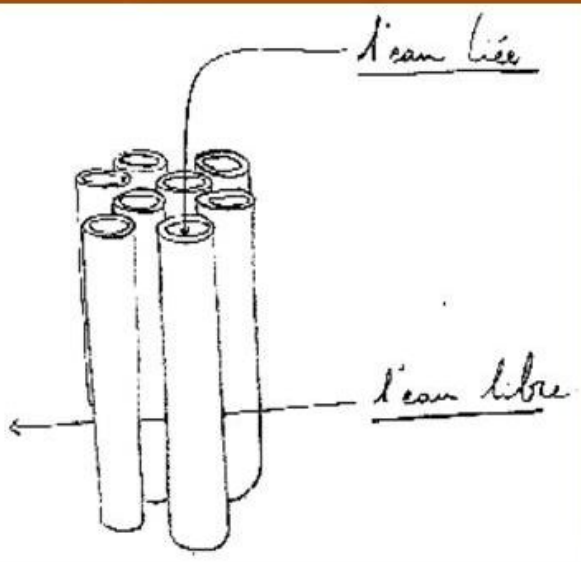
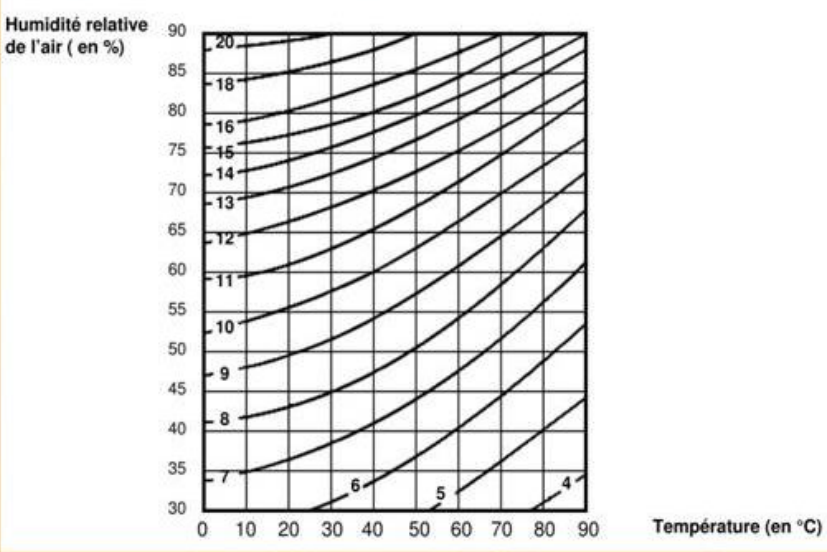


Épaisseurs :  $e_1 = e_2 > e_3 > e_4 > e_5$

# Le bois et l'eau



# Humidité de l'air / humidité du bois



Dans le bois il y a 3 sortes d'eau

- l'eau libre qui se trouve entre les tubes et qui s'évapore rapidement après l'abattage (15 jours) on dit que le bois est re-essuillé.
- l'eau liée, c'est celle qui nous intéresse. C'est son évacuation qui entraîne le retrait et donc les déformations.
- l'eau constitutionnelle qui est l'eau contenue à l'intérieur des molécules de cellulose. Cette eau n'a aucun lien avec les déformations du bois.

## Les retraits

Dans le sens des fibres (parallèles au tronc) le retrait est de 1% d'un bois vert à un bois anhydre

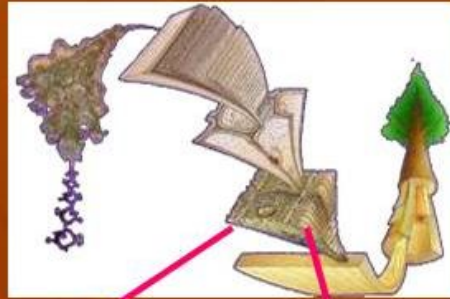
Dans le sens perpendiculaire aux fibres et aux cernes (1) le retrait est de 4%.

Dans le sens perpendiculaire aux fibres et parallèle aux cernes (2) le retrait est de 8%.



# Le matériau bois:

30000 espèces de végétaux ligneux donnant du bois



Résineux (*gymnospermes*)  
"Softwood"

Sapin  
Epicéa  
Pin maritime  
Pin sylvestre  
Mélèze ...

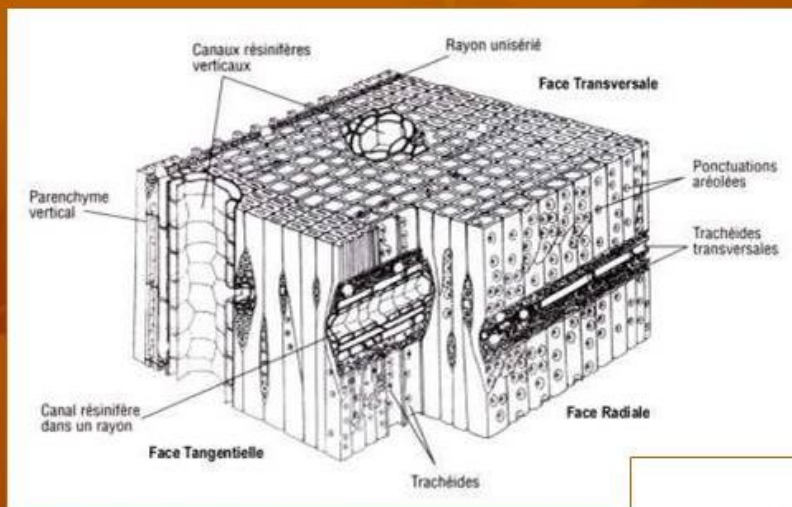


Feuillus (*angiospermes*)  
"Hardwood"

Chêne  
Hêtre  
Châtaignier  
Peuplier ...  
Bois tropicaux

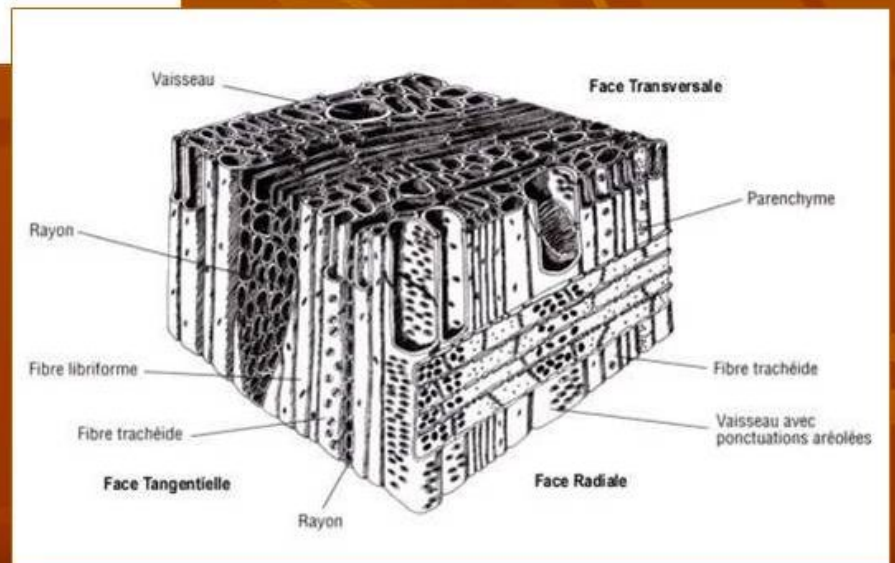


# Eléments du plan ligneux des bois



RESINEUX

FEUILLUS





Bois	Caractéristiques		
	Durabilité (résistance à la décomposition)	Résistance (Force)	Couleur
<b>Bois tendres</b>			
Pin	Passable	Faible	Blanc
Sapin	Faible	Moyenne	Blanc
Épinette	Faible	Moyenne	Blanc
Cèdre	Grande	Très faible	Brun
<b>Bois durs</b>			
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**

## DEFAUTS DU BOIS.

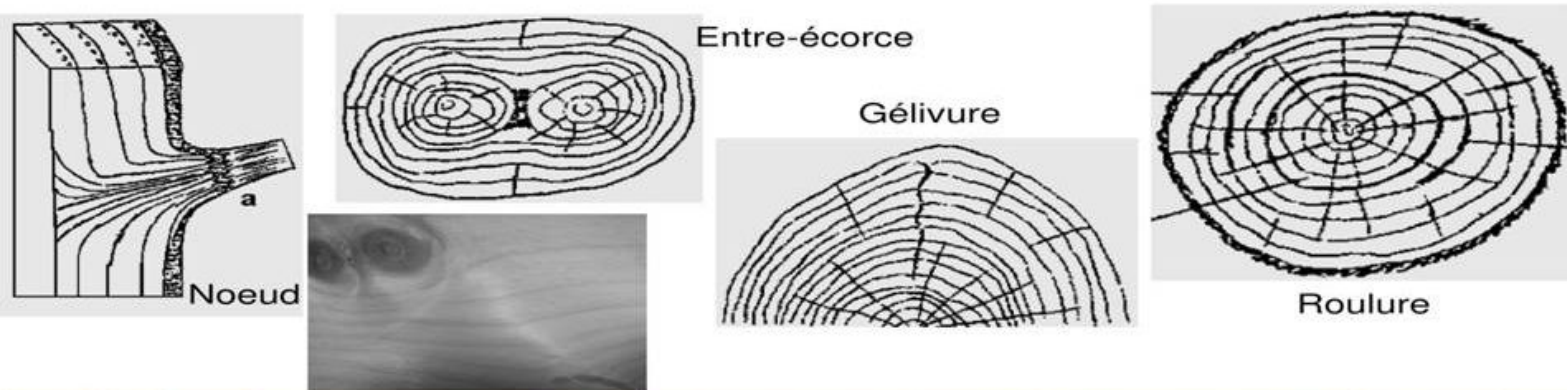
Anomalies de structure, on cite :

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.



Trois constituants principaux du bois communs à toutes les essences :

- la cellulose
- les lignines
- les hémicelluloses

Ce sont trois **macromolécules**

## La cellulose

Substance organique la plus produite par les êtres vivants

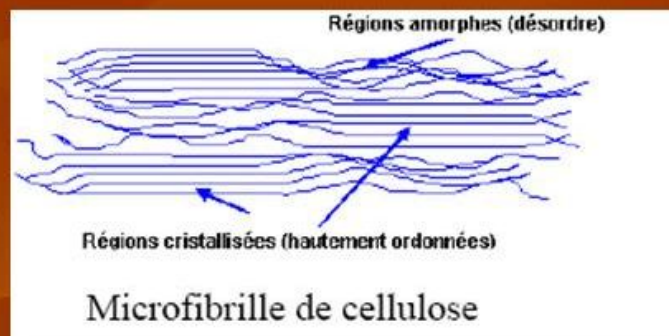


**Stockage de 40% du Carbone organique**

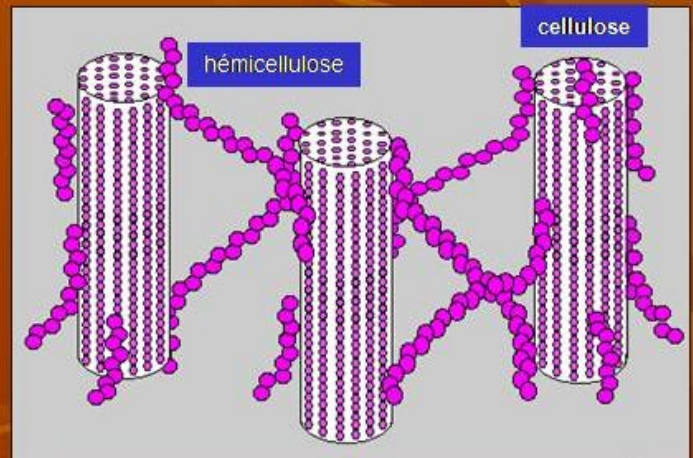
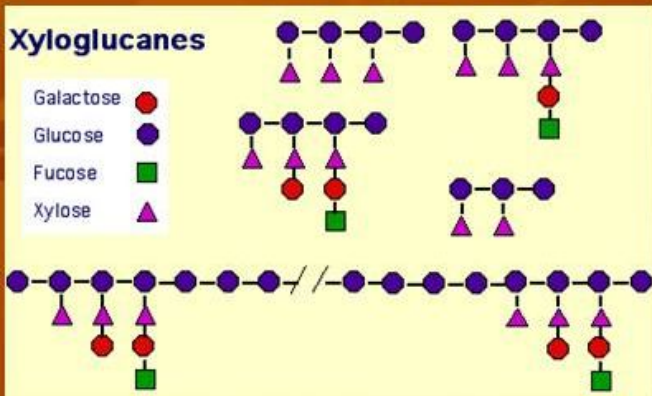
Nombreux produits d'importance industrielle : papier, coton, viscose,...

La cellulose est de nature fibreuse :

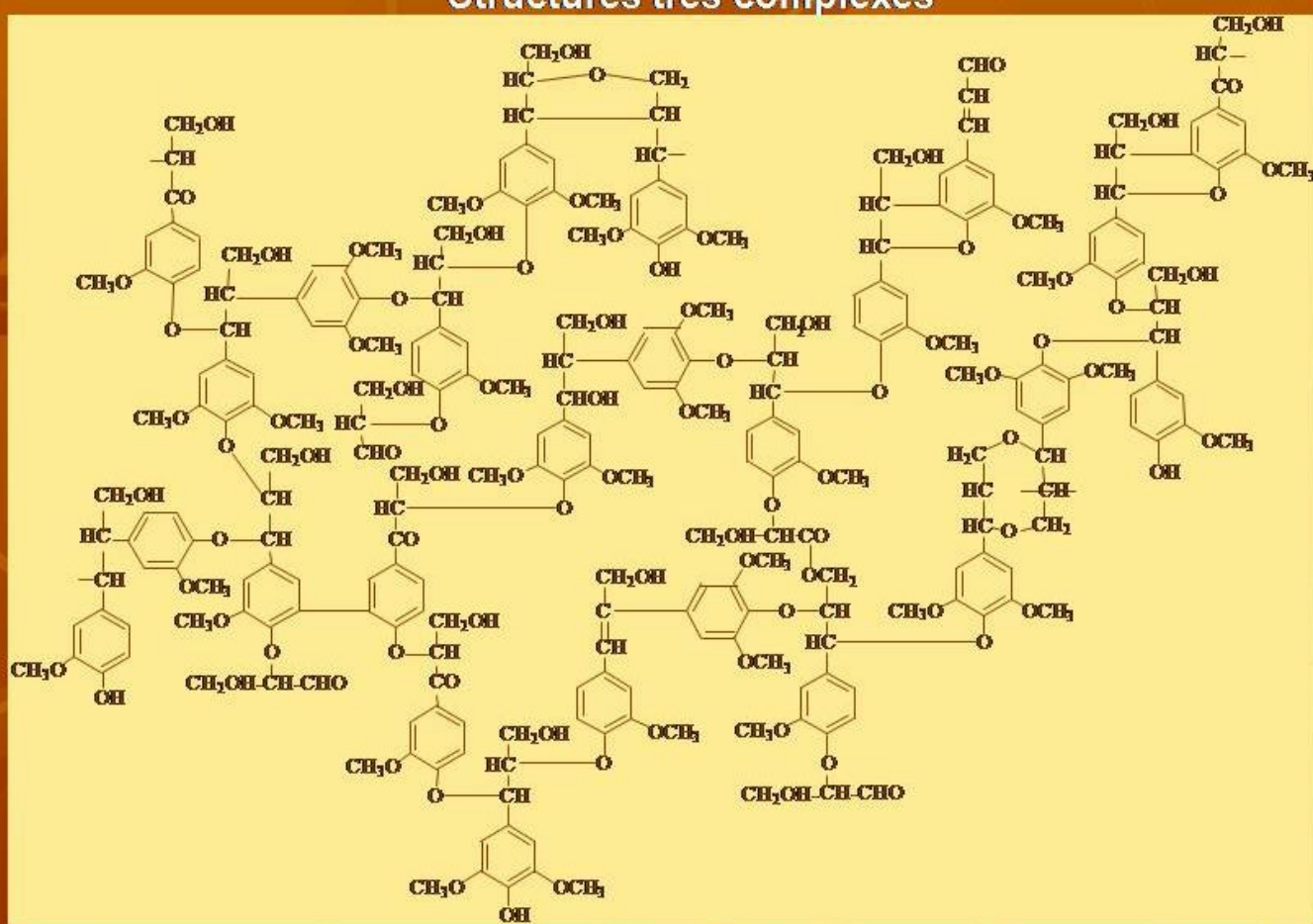
Une fibre : polymère à macromolécules orientées → forte anisotropie



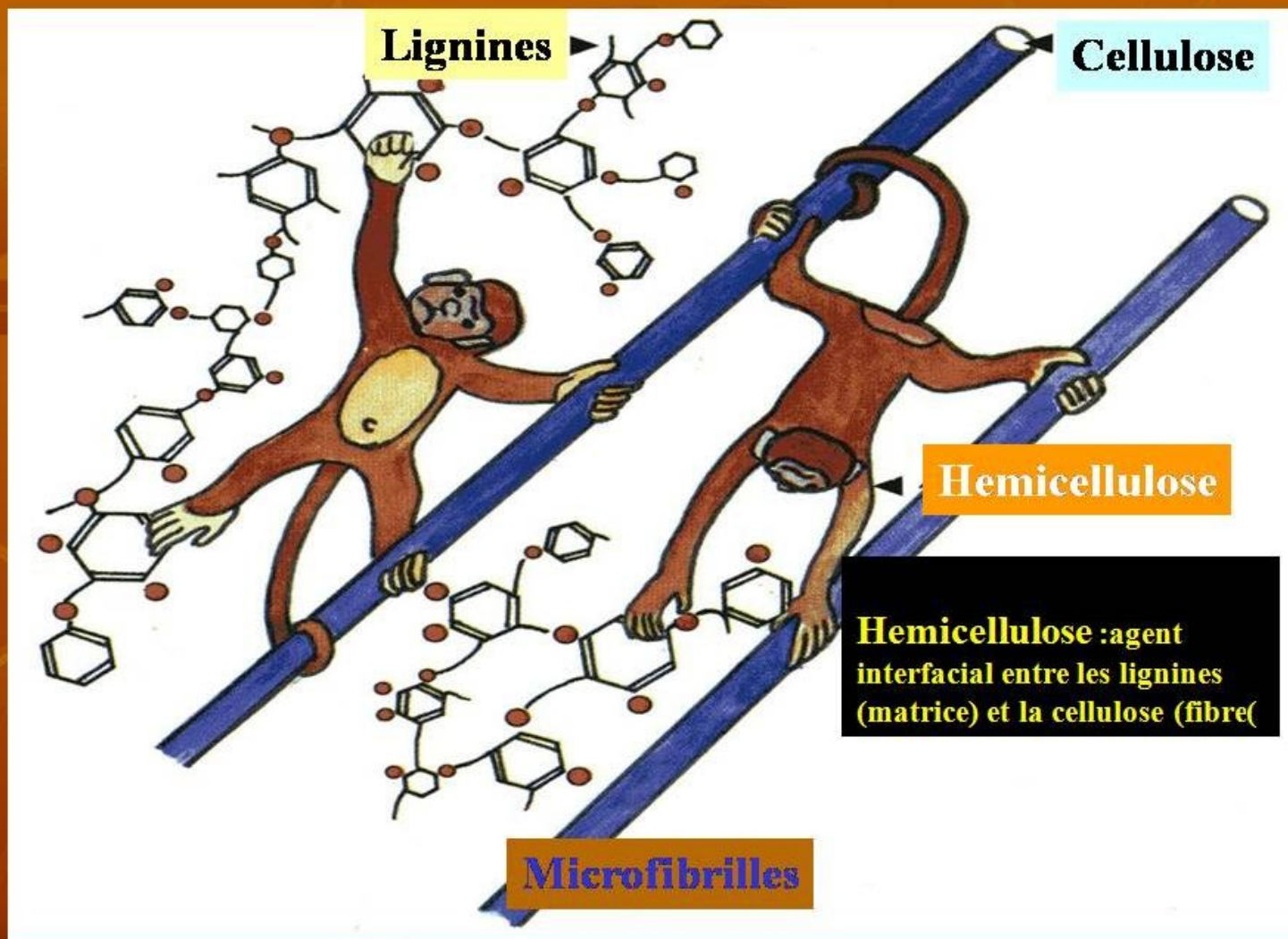
Les hémicelluloses : macromolécules **ramifiées** composées essentiellement de 5 sucres : le glucose, le mannose, le galactose, le xylose et l'arabinose et d'acides uroniques  
Structure complexe



# Les lignines : macromolécules polyphénoliques tridimensionnelles Structures très complexes



## 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,...

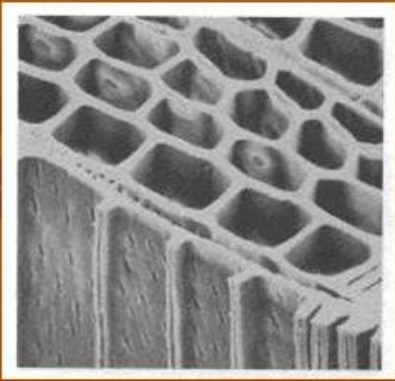
Composés solubles dans l'eau ou les solvants organiques

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



## Eléments constitutifs

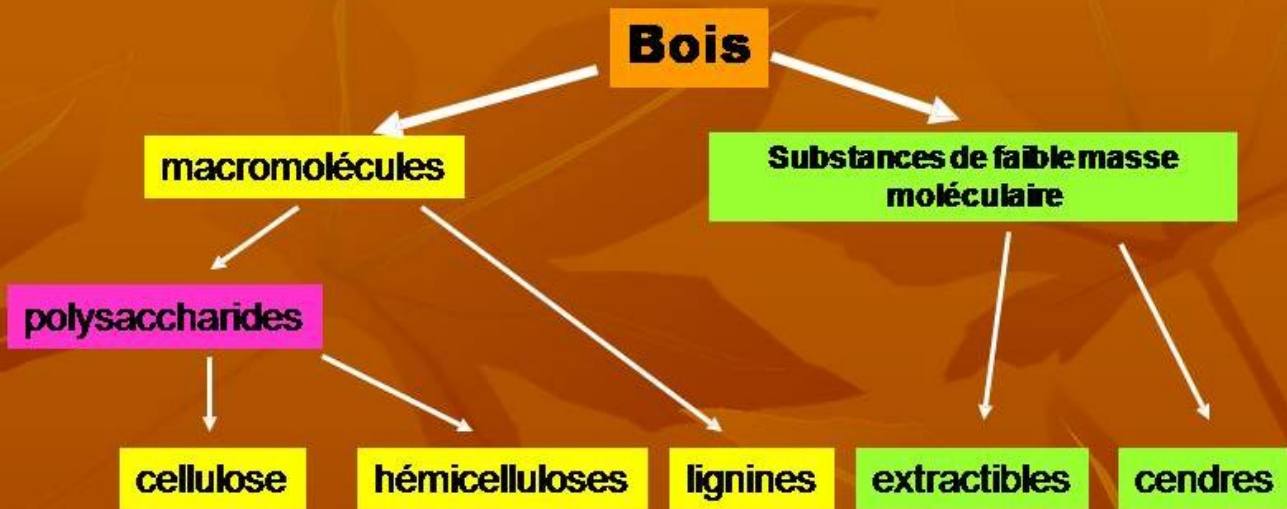


- ★ Cellulose
- ★ Hémicelluloses
- ★ Lignine
- ★ Extractibles
- ★ Matières minérales  
(K, Ca, Mg, Si)



Sève  
Réserves (amidon)

## Constituants chimiques du bois



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

## 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.

<b>Essence</b>	<b>Module d'élasticité</b>	<b>Compression</b>	<b>Traction</b>	<b>Flexion</b>	<b>Cisaillement</b>
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

Avec une conductibilité thermique ( $\lambda$ ) très faible, le bois est un bon isolant thermique.

	$\lambda$ (W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )
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.

## **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



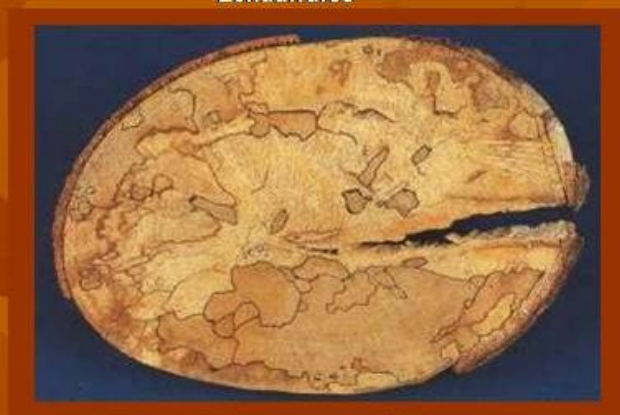
➡ Protection nécessaire pour accroître sa durée de vie

## Dégradations esthétiques

Piqures noires



Echauffures



Bleuissement



# Insectes

- les termites



- les capricornes



- les vrillettes



## Techniques de traitements

✓ Techniques de faibles coûts faciles à mettre en oeuvre  
- 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

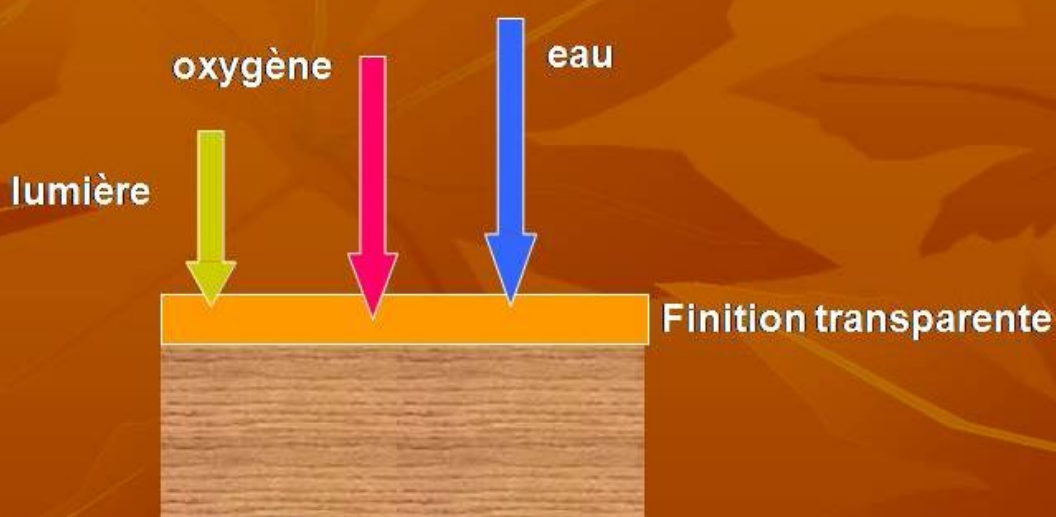
Modification de la structure chimique du matériau par traitement thermique pour des températures comprises entre 200 et 250°C lui conférant des propriétés nouvelles en particulier de stabilité dimensionnelle et de durabilité.



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 )



**Rôle de la finition :**

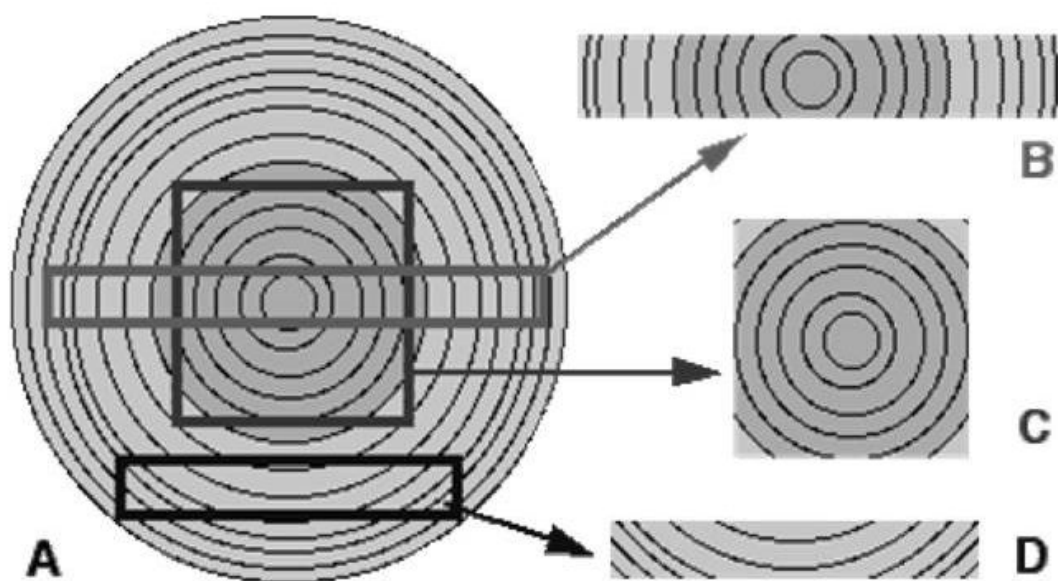
- En utilisation intérieure → barrière à lumière UV et oxygène
- En utilisation extérieure → barrière à lumière UV et oxygène mais surtout barrière à l'eau

## DECOUPE DU BOIS.

C'est l'opération qui consiste à scier sur leur longueur les billes de bois et ce après leur équarrissage.

Dans un tronc (A), la découpe symétrique du bois de coeur 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 coupes tangentielles (D) donnent des planches qui peuvent se voiler en séchant.

En fonction des qualités et des emplois souhaités plusieurs modes de débit sont pratiqués. Le plus fréquent et le plus économique est le débit en plot.





# 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 Vieillessement du bois.
  - Séchage et découpe du bois.