



Composition chimique du bois

Composition chimique
du bois

C3

MENAIL YOUNES 2019.2020

Université d'Annaba

Faculté des sciences de l'ingénieur
Département de Génie Mécanique



Composition chimique du bois

Sommaire

Constituants chimiques du bois

Cellulose

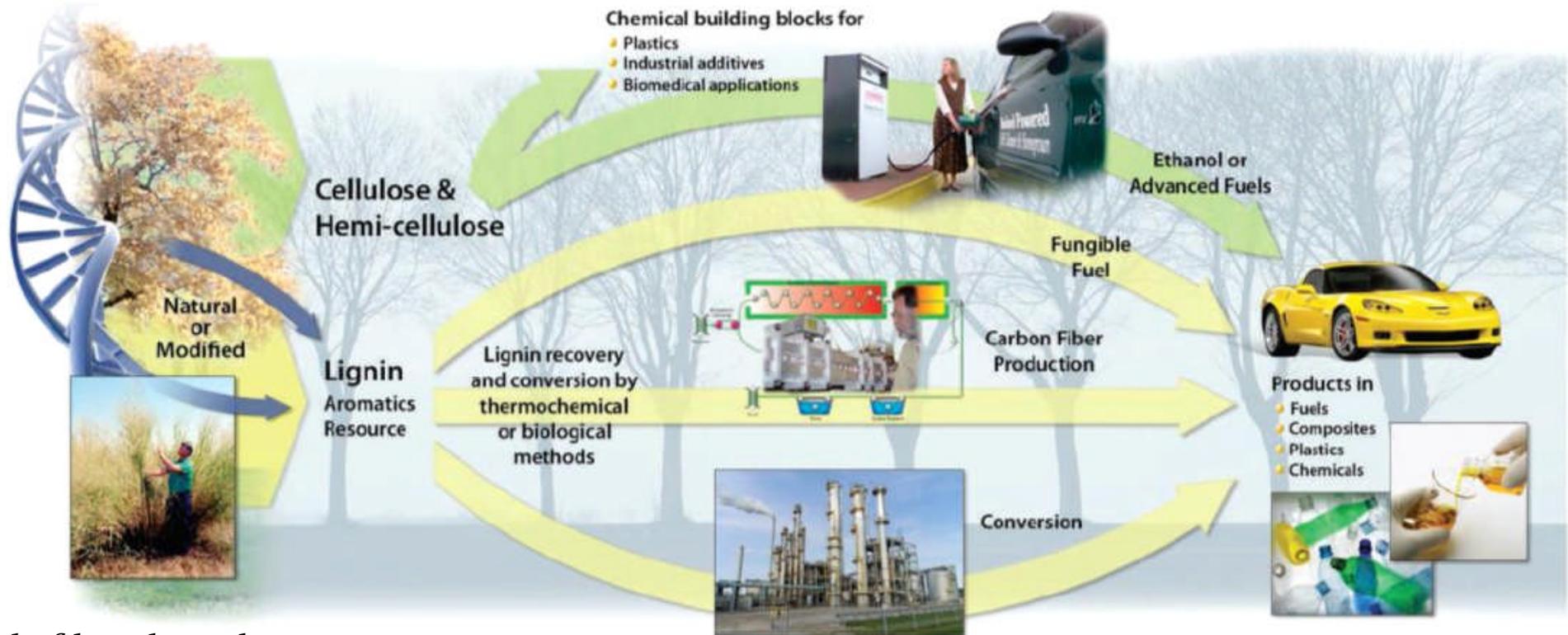
Hémicellulose

Lignine

Les extractibles

Les cendres

Utilisation du bois

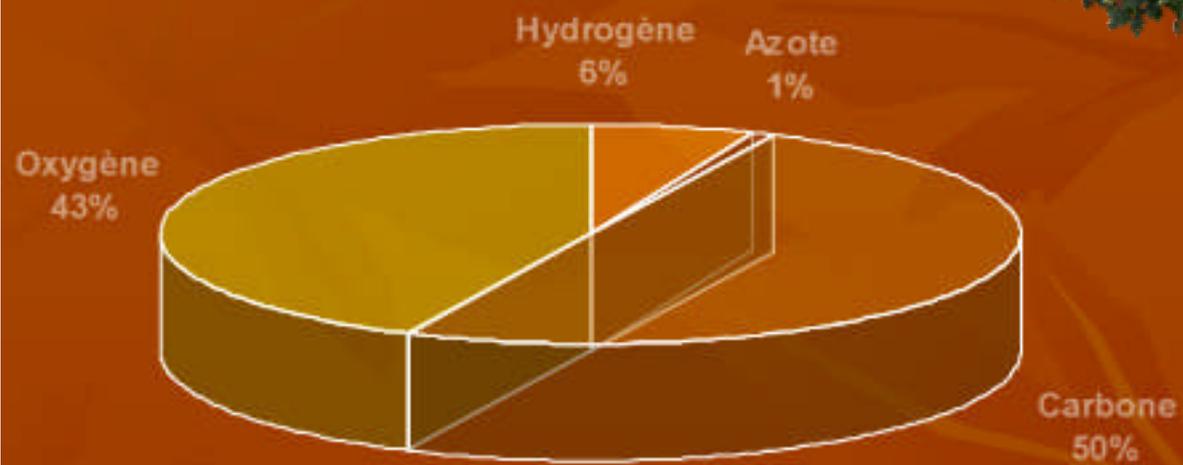


la fibre de carbone ;

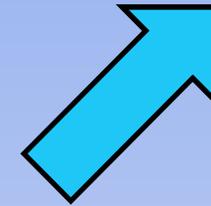
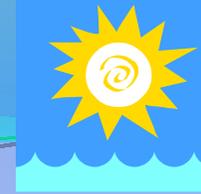
- > les polymères utilisés dans des plastiques, élastomères, mousses, membranes... ;
- > une variété de carburants et produits chimiques, tous déjà dérivés du pétrole

COMPOSITION DU BOIS

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



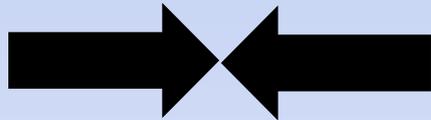
ROLE DE L'ARBRE



**1,6 tonne
de CO₂ absorbé**

**1,1 tonne
d'O₂ émis**

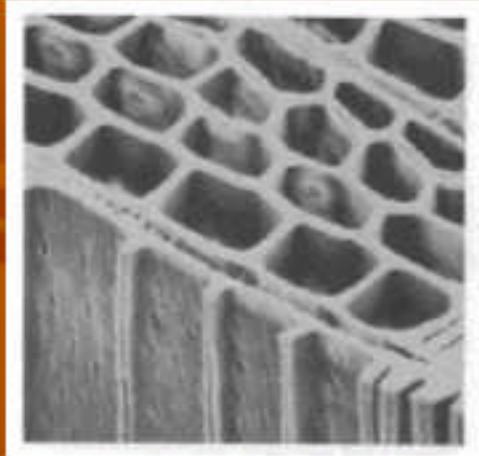
**0,5 tonne
de C fixé**



**1 tonne de bois
produite par
photosynthèse**



Éléments constitutifs

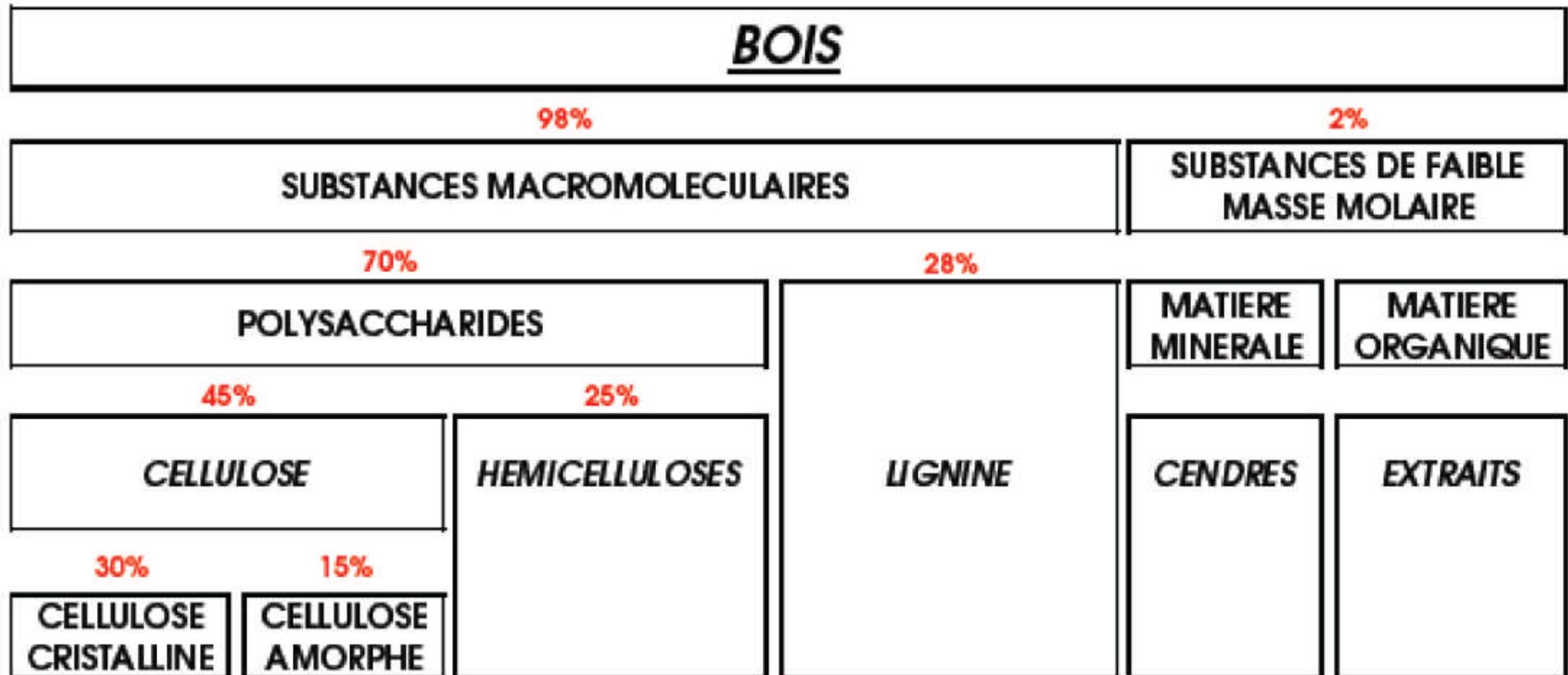


-  Cellulose
-  Hémicelluloses
-  Lignine
-  Extractibles
-  Matières minérales
(K, Ca, Mg, Si)



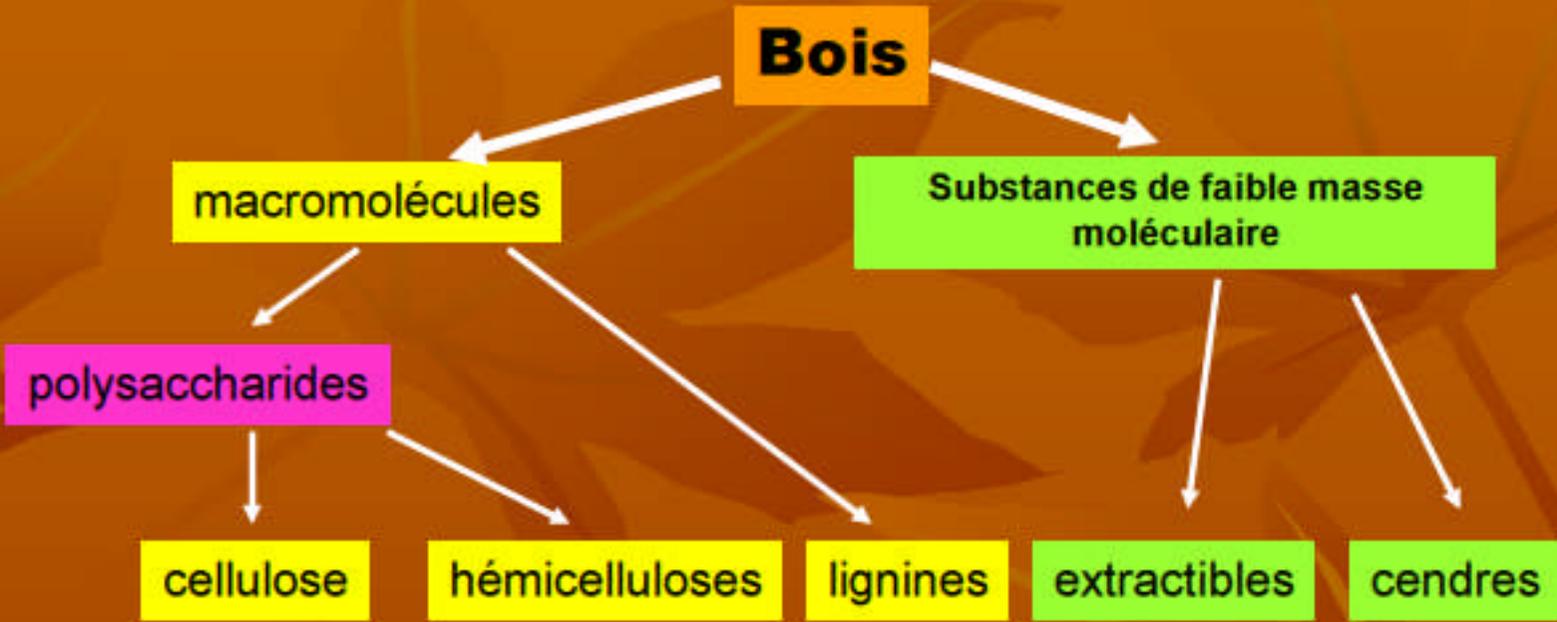
Sève
Réserves (amidon)

Composition du bois



Pourcentages approximatifs pour des bois des zones tempérées

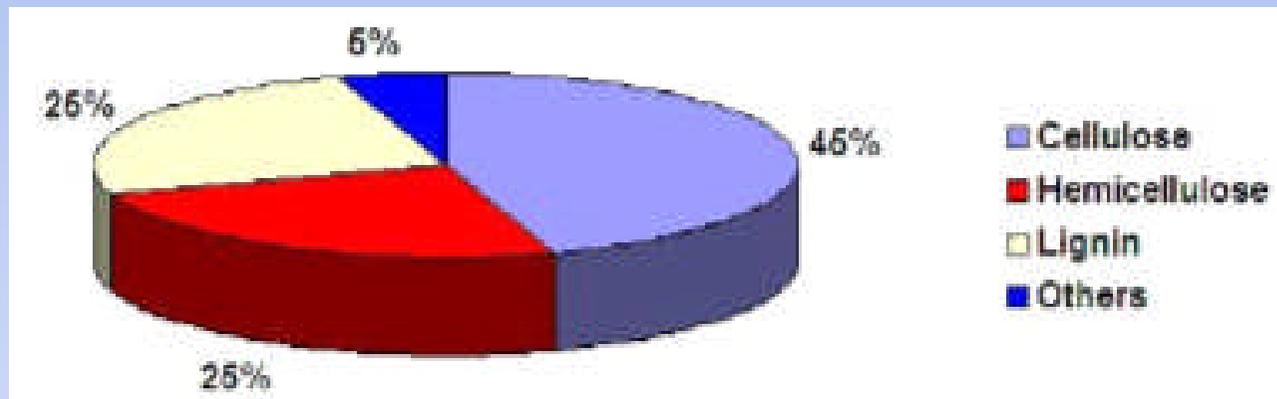
Constituants chimiques du bois



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

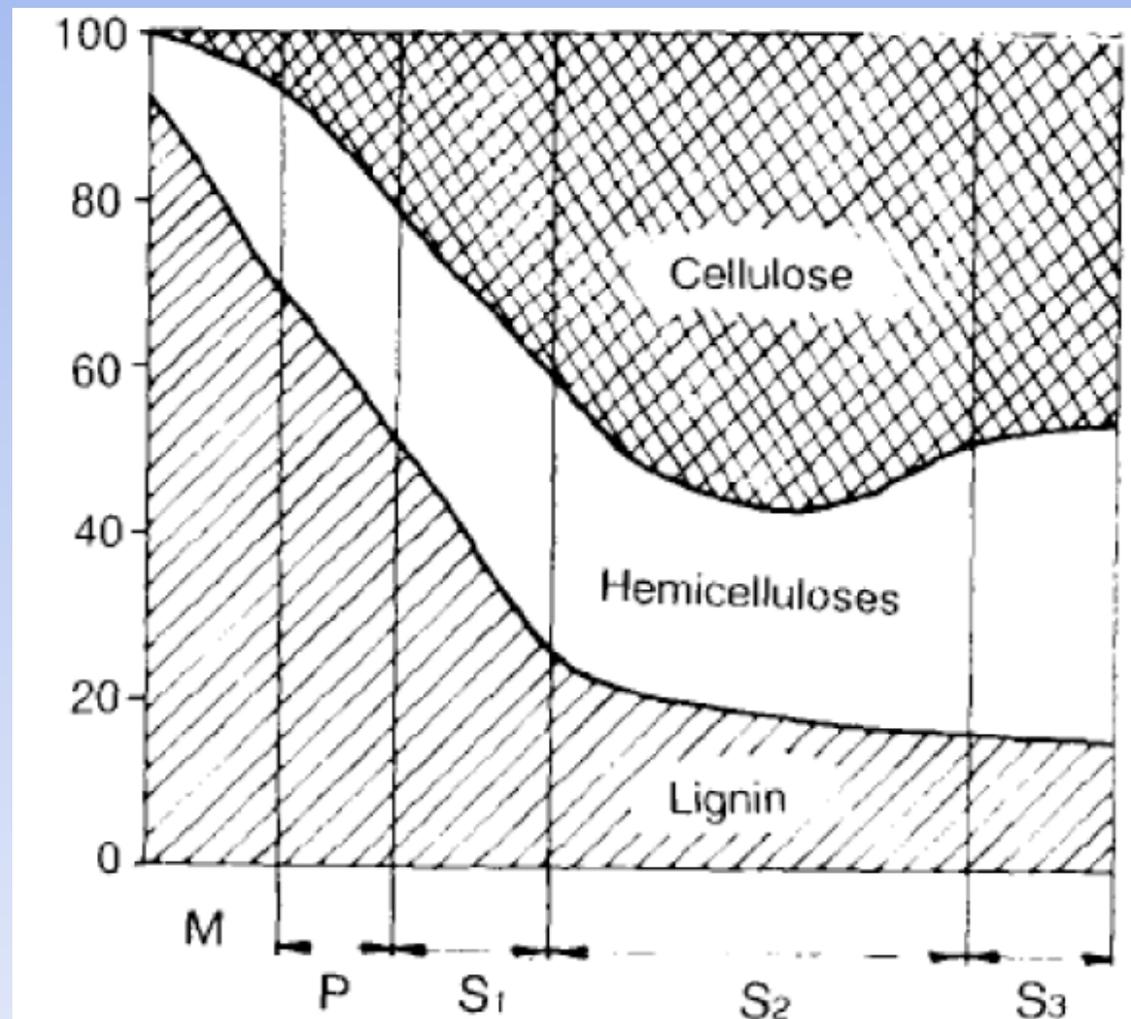
Biomasse lignocellulosique

La biomasse lignocellulosique, appelée parfois simplement biomasse, est constituée de trois composants majeurs: la cellulose (polysaccharide linéaire de glucose), les hémicelluloses (polysaccharides branchés de sucres à 5 et 6 atomes de carbone) et la lignine (un polymère complexe aromatique). En moyenne, la biomasse lignocellulosique (bois, paille) contient 45% de cellulose, 25% d'hémicelluloses et 25% de lignine



CONSTITUANTS CHIMIQUES DU BOIS

Distribution en pour cent de la cellulose, la lignine et l'hémicellulose à l'intérieur de la paroi cellulaire.



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

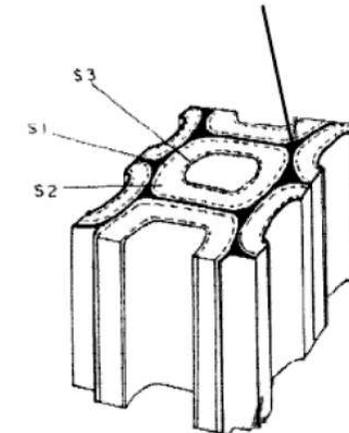
	Composition (%)	Nature polymérique	Degré de polymérisation	Monomère de base	Fonctionnement
Cellulose	45 - 50	Molécule linéaire semi-cristalline	5'000 - 10'000	Glucose	Fibre
Hémicellulose	20 - 25	Molécule ramifiée amorphe	150 - 200	Sucres Essentiellement non glucosés	Matrice
Lignine	20 - 30	Réticulé tridimensionnel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

<i>Parois</i>		<i>Celluloses</i>	<i>Hémicelluloses</i>	<i>Lignines</i>
<i>Lamelle moyenne</i>		5 %	10 %	85 %
<i>Paroi primaire</i>		10 %	15 %	75 %
<i>Paroi secondaire</i>	<i>S₁</i>	30 %	30 %	40 %
	<i>S₂</i>	50 %	30 %	20 %
	<i>S₃</i>	50 %	35 %	15 %

Lamelle moyenne: paroi primaire et couche intercellulaire



S₁: Couche 1 de la paroi secondaire
S₂: Couche 2 de la paroi secondaire
S₃: Couche 3 de la paroi secondaire

Composition typique de bois de résineux et feuillus

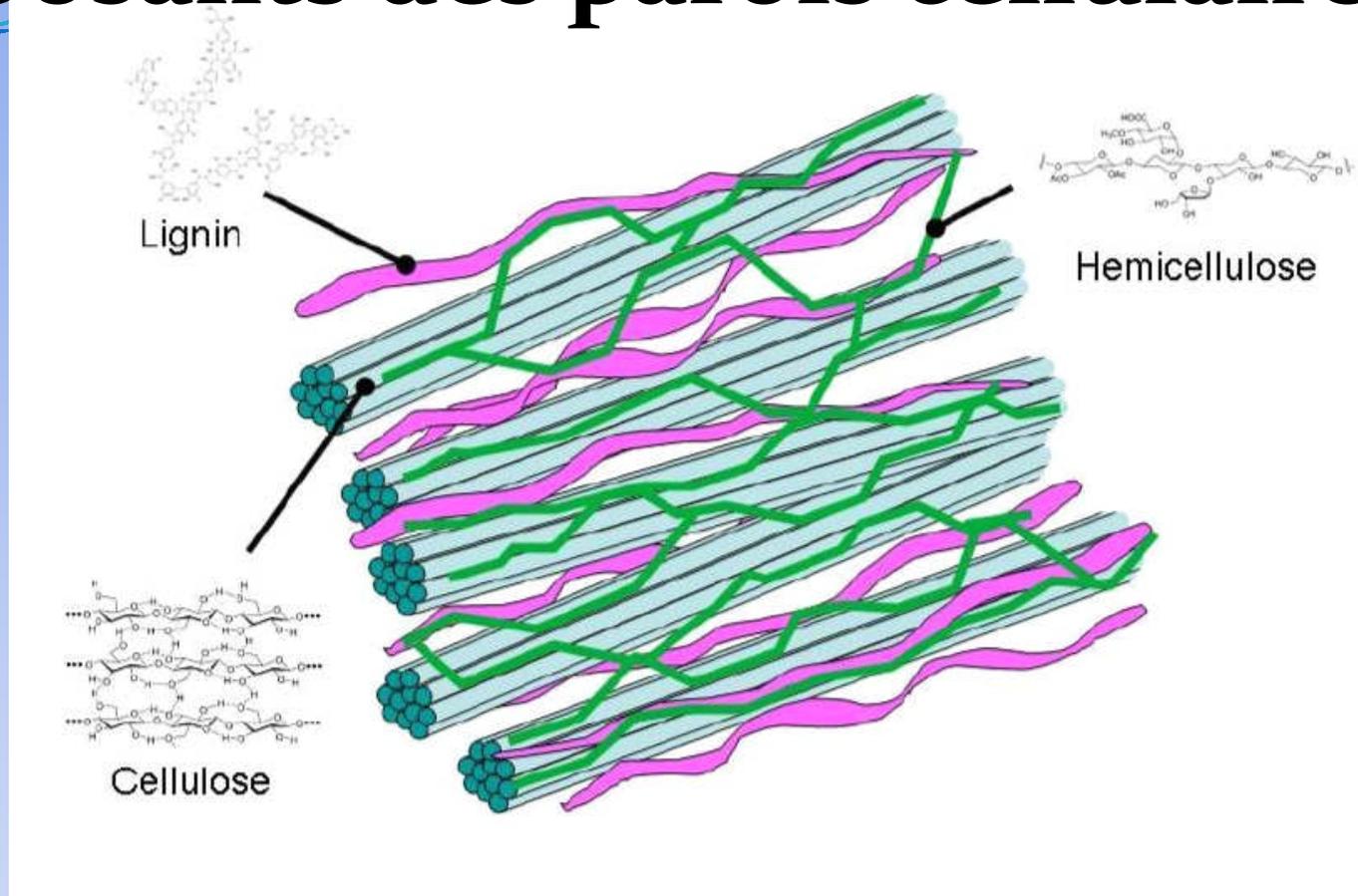
<i>Constituant</i>	<i>Composition massique (%)</i>		<i>Rôle</i>
	<i>Résineux</i>	<i>Feuillus</i>	
<i>Cellulose</i>	40-45	38-50	<i>Renfort</i>
<i>Hémicellulose</i>	7-15	19-26	<i>Matrice</i>
<i>lignine</i>	26-34	23-30	<i>Matrice</i>
<i>Extractibles</i>	4	4	<i>Lubrifiant</i>
<i>Cendres</i>	<1	<1	-

Composition chimique du bois

<i>Constituants</i>	<i>% (masse sèche)</i>
<i>Cellulose</i>	<i>47,1</i>
<i>Hémicelluloses</i>	<i>25,2</i>
<i>Lignine</i>	<i>25,6</i>
<i>Résine</i>	<i>2 à 4</i>
<i>Tannins et Gommés</i>	<i>1,3</i>
<i>Protéines</i>	<i>1,0</i>
<i>Cendres</i>	<i>0,3</i>

Composition chimique du bois pin maritime.

Composants des parois cellulaires du bois



Effet de la composition chimique des fibres végétales sur leurs propriétés

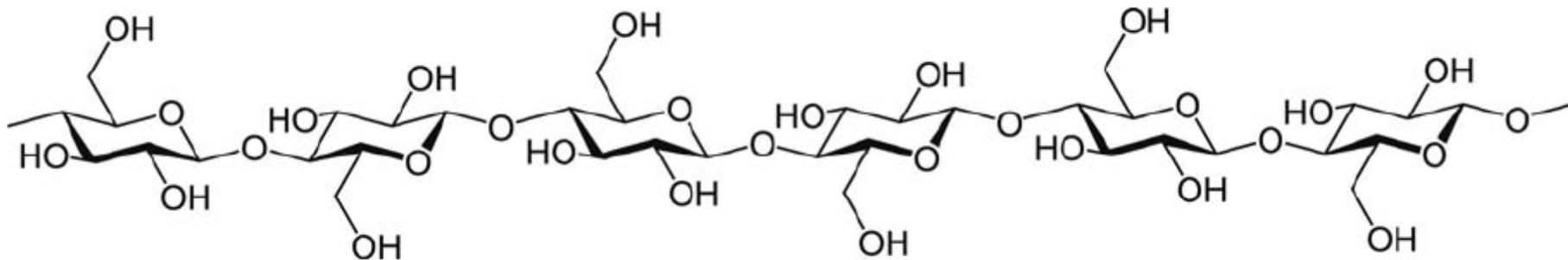
mécaniques

Les bonnes propriétés mécaniques des fibres cellulosiques proviennent des liaisons hydrogènes qui s'établissent le long et entre les chaînes cellulosiques, et de l'état de cristallinité de la cellulose. Les hémicelluloses, qui constituent un liant amorphe, jouent un rôle déterminant dans les propriétés plastiques de la fibre cellulosique, alors que la lignine a un rôle d'adhésif, de rigidifiant et de durcisseur dans la fibre lignocellulosique.

La cellulose

La cellulose est le constituant structural principal des parois cellulaires végétales. C'est un homopolymère, dont l'unité de base est le glucose, ou plus exactement un dimère du glucose, le cellobiose. Les unités sont liées entre elles par des liaisons $\beta(1-4)$ -glycosidiques. Le degré de polymérisation (en glucose) peut atteindre 15000 .

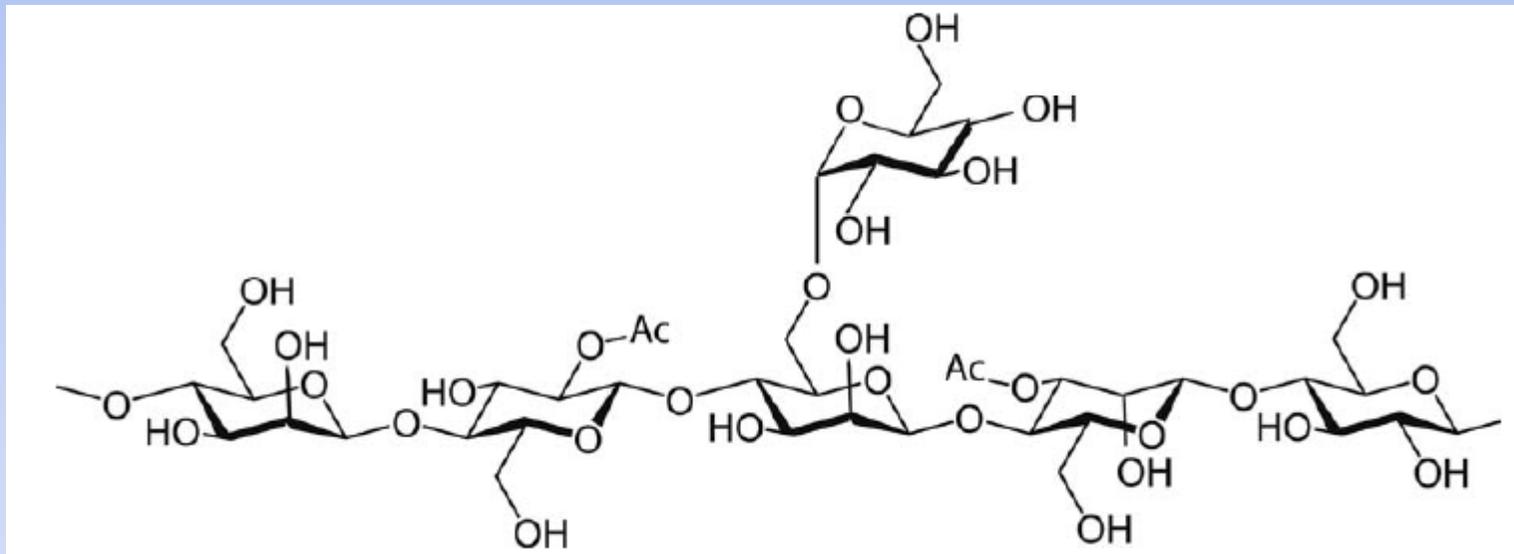
Dans le bois, les chaînes moléculaires de la cellulose s'associent entre elles par liaisons hydrogène intra et intermoléculaires et forment des faisceaux appelés microfibrilles. Ces microfibrilles présentent des zones cristallines et des zones. Le degré de cristallinité de la cellulose du bois est de l'ordre de 60 à 70 %.



Formule chimique de la cellulose

Les hémicelluloses

Dans le bois, les hémicelluloses sont intimement liées à la cellulose. Les hémicelluloses sont des polyoses, dont les unités sont des pentoses, hexoses, acides hexaoniques et désoxyoses. Elles diffèrent de la cellulose par des chaînes moléculaires beaucoup plus courtes et par des ramifications sur la chaîne principale. En général, les hémicelluloses ont une structure amorphe; leur teneur et leur composition varient en fonction des essences. On distingue différents types d'hémicelluloses : les xylanes, les mannanes, les glucanes, les galactanes et les pectines.

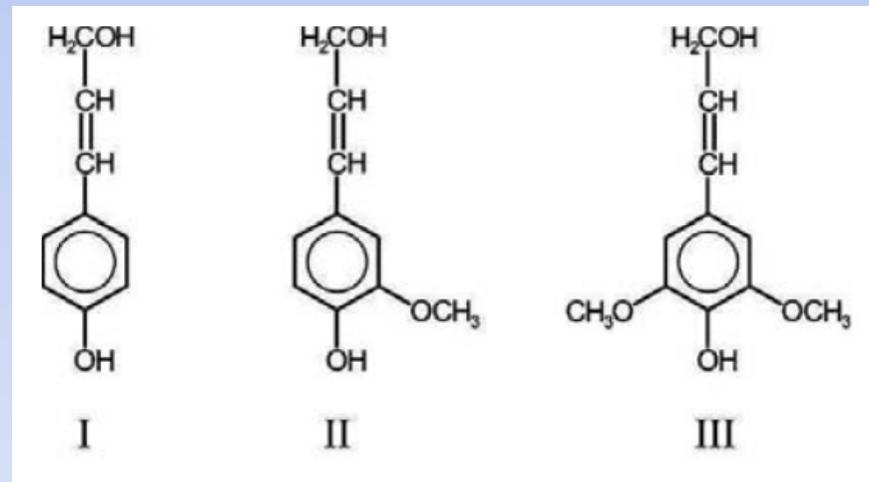


Structure chimique partielle d'un mannane de résineux (O-acetyl-galactoglucomannane)

La lignine

Après la cellulose, la lignine est la substance organique la plus abondante dans les plantes. Elle est chimiquement très différente de la cellulose et des hémicelluloses. C'est un polymère tridimensionnel, amorphe et de nature phénolique, qui assure la rigidité de la paroi cellulaire.

Dans le bois, la lignine est biosynthétisée à partir de trois alcools phénoliques : les alcools p-coumarylique, coniférylique et sinapylique. La polymérisation de ces trois alcools conduit respectivement à trois types d'unités dans la lignine : H pour parahydroxyphényle, G pour guaiacyle, S pour syringyle. Les lignines des résineux et des feuillus se différencient alors par leur teneur en unités G, S et H (essentiellement G chez les résineux, G-S chez les feuillus). La variabilité de la composition est plus grande chez les feuillus, la teneur en unités G-S varie entre 20 et 60 %. La Figure I.17 présente la structure schématisée d'une lignine de résineux.



Précurseur de la lignine: alcool p-coumarylique (I), alcool coniférylique (II), alcool sinapylique (III)
(Fengel et Wegener 2003)

Les extractibles

Les extractibles sont des molécules qui peuvent être extraites du bois par des solvants polaires (acétone, eau, éthanol) ou apolaires (toluène, cyclohexane, dichlorométhane). La teneur et la composition de ces extractibles varient fortement d'une essence à l'autre, les résineux en contenant généralement plus que les feuillus. Il existe trois types d'extractibles : les terpénoïdes (myrcène, limonène, α -pinène...), les polyphénols (tannins condensés et hydrolysables, flavonoides, tropolones, stilbènes, quinones...) et les composés aliphatiques (acides gras saturés et insaturés, triglycérides, alcaloïdes...).

Bien qu'ils ne représentent qu'un faible pourcentage, l'odeur, la couleur et la résistance aux agents de dégradation biologique, dépendent en grande partie de ces extraits.

Les cendres

Ce sont les résidus minéraux obtenus après combustion du bois à haute température. Ils représentent généralement moins de 1 % de la masse sèche du bois en zone tempérée, ce pourcentage étant souvent supérieur en zone tropicale

PROPRIETES PHYSIQUES

Densité

Essence	densité anhydre moyenne (g/cm ³)	Porosité (%)
Balsa	0.10	94
Epicéa	0.40	75
Hêtre	0.65	58
Amourette (acacia exotique)	1.30	17

PROPRIETES PHYSIQUES

Teneur en eau

M_0 : poids du bois sec

M_w : poids du bois humide

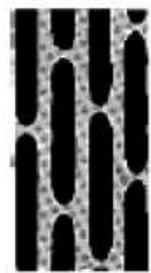
$$W(\text{teneur en eau}) = \frac{M_w - M_0}{M_0} \times 100$$

M_0 : poids du bois sec

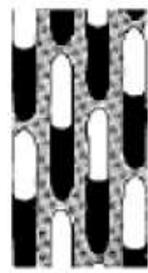
M_w : poids du bois humide

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



$0 < W < 30\%$



$W = 0\%$

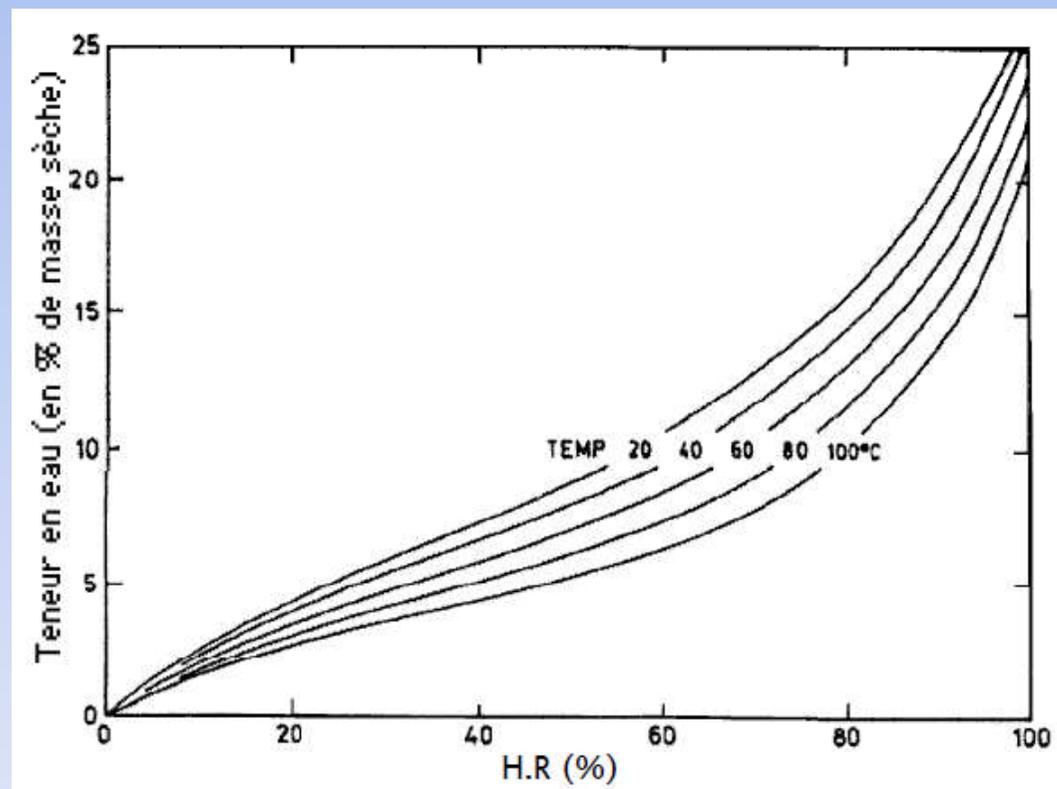
PROPRIETES PHYSIQUES

Isotherme d'adsorption

Isotherme d'adsorption du bois d'épicéa à 20, 40, 60, 80 et 100°C.

Courbe reliant la teneur en eau d'équilibre (EMC) et l'humidité relative de l'ambiance pour une température constante T

- ❑ Corrélation importante entre EMC et HR
- ❑ EMC diminue avec augmentation de la Température T



Isotherme d'adsorption du bois d'épicéa à 20, 40, 60, 80 et 100°C.

PROPRIETES PHYSIQUES

Propriétés Thermiques

Dilatation thermique (Anisotropie Forte)

Conductivité thermique (Anisotrope, Isolant)

$$\Delta l/l = \alpha \cdot \Delta T$$

$$\alpha_t = 25 \times 10^{-6} \text{ à } 50 \times 10^{-6}$$

$$\alpha_r = 15 \times 10^{-6} \text{ à } 35 \times 10^{-6}$$

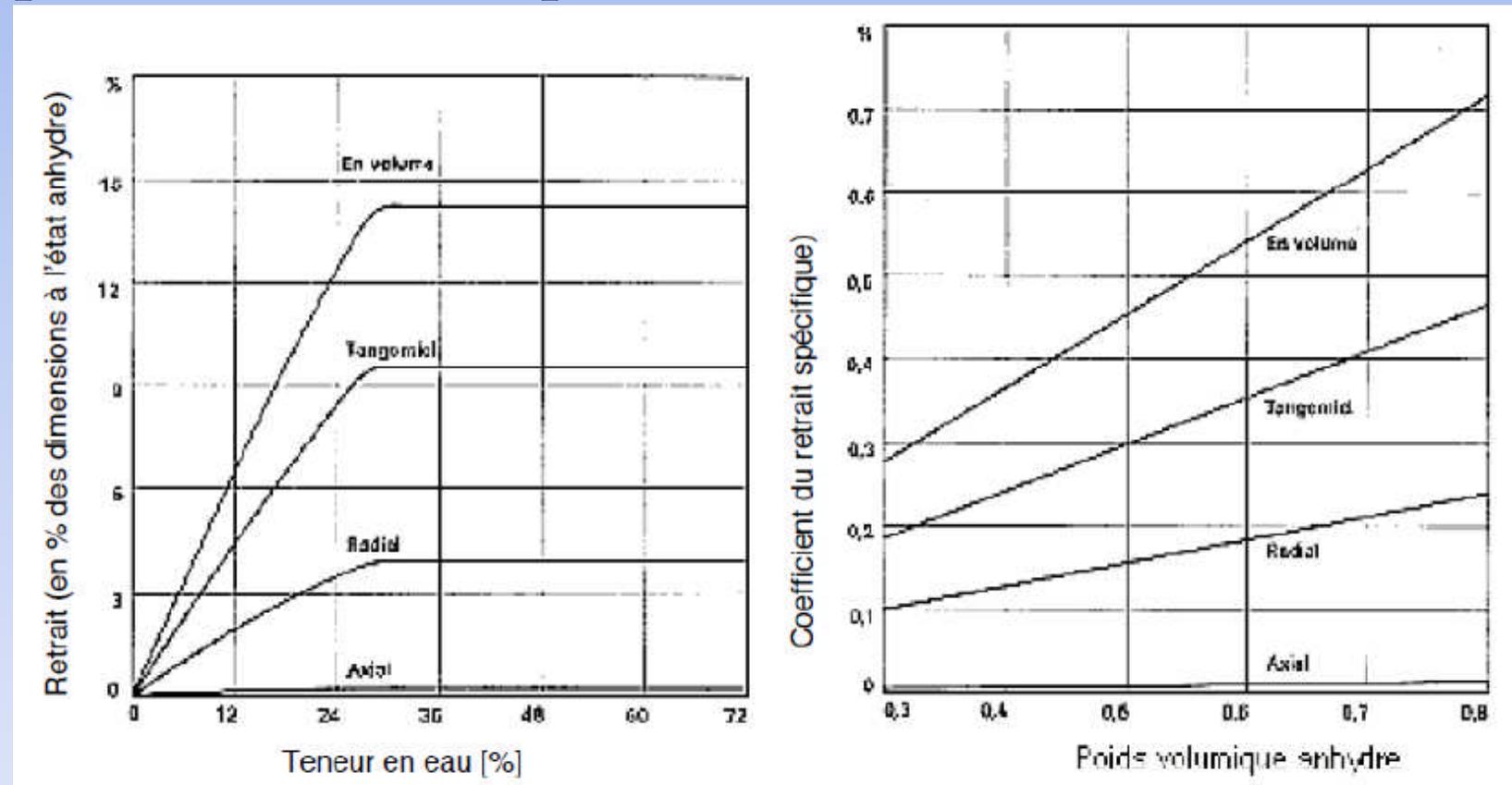
$$\alpha_l = 3 \times 10^{-6} \text{ à } 6 \times 10^{-6}$$

	Epicéa $\rho = 0.4 \text{ g/cm}^3$		Chêne $\rho = 0.65 \text{ g/cm}^3$	
Teneur en eau	sec à l'air (w = 15%)	humide (w = 35%)	sec à l'air (w = 15%)	humide (w = 35%)
$\lambda_{\text{transversale}}$ (W/m°C)	0.10	0.12	0.14	0.16
$\lambda_{\text{longitudinale}}$ (W/m°C)	0.22	0.25	0.30	0.34

PROPRIETES PHYSIQUES

Retrait-Gonflement

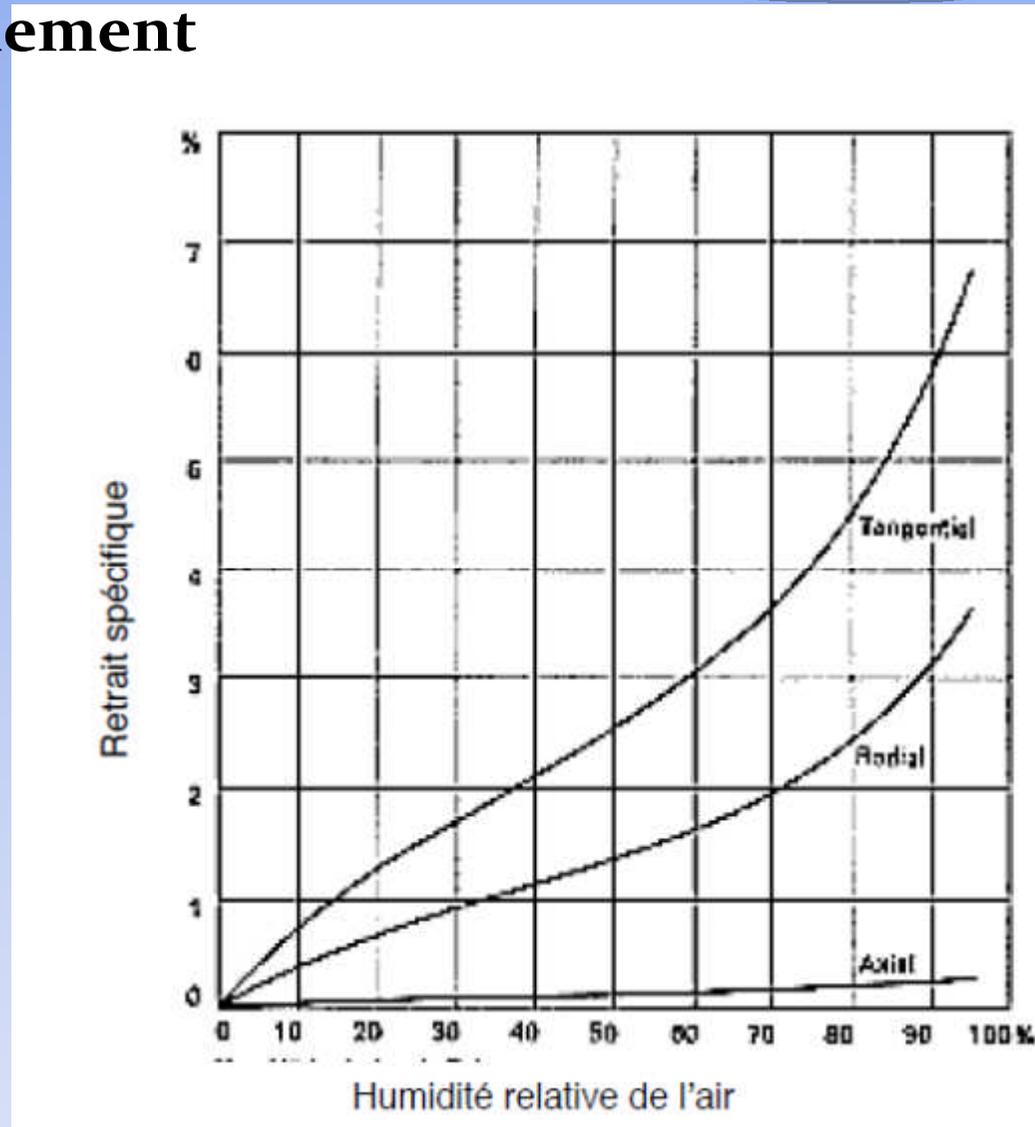
- ❑ Forte déformation
- ❑ Anisotropie
- ❑ Importance du PSF (point de saturation des fibres)



Retrait en fonction de la teneur en eau et de la densité.

PROPRIETES PHYSIQUES

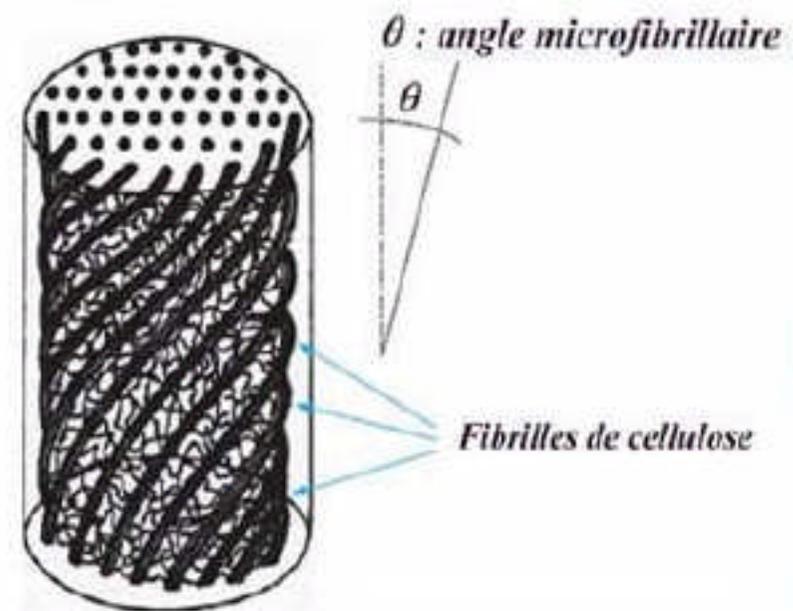
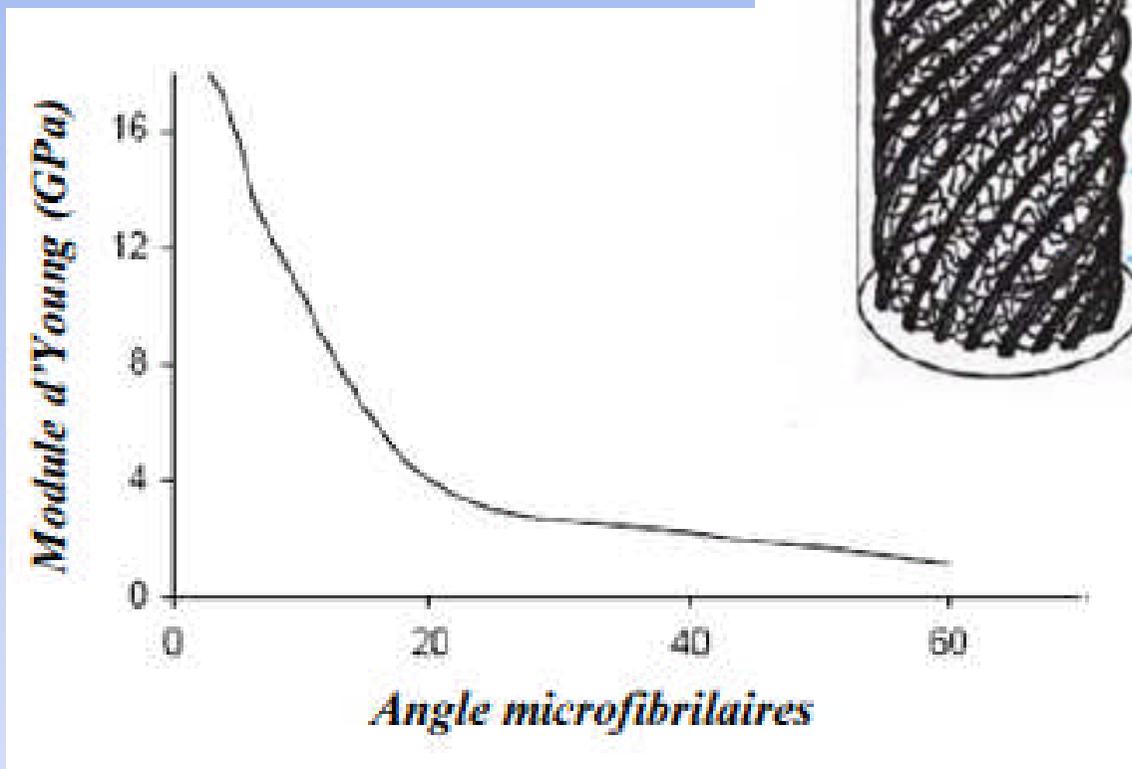
Retrait-Gonflement



Retrait en fonction de l'humidité relative de l'atmosphère pour l'épicéa.

PROPRIETES PHYSIQUES

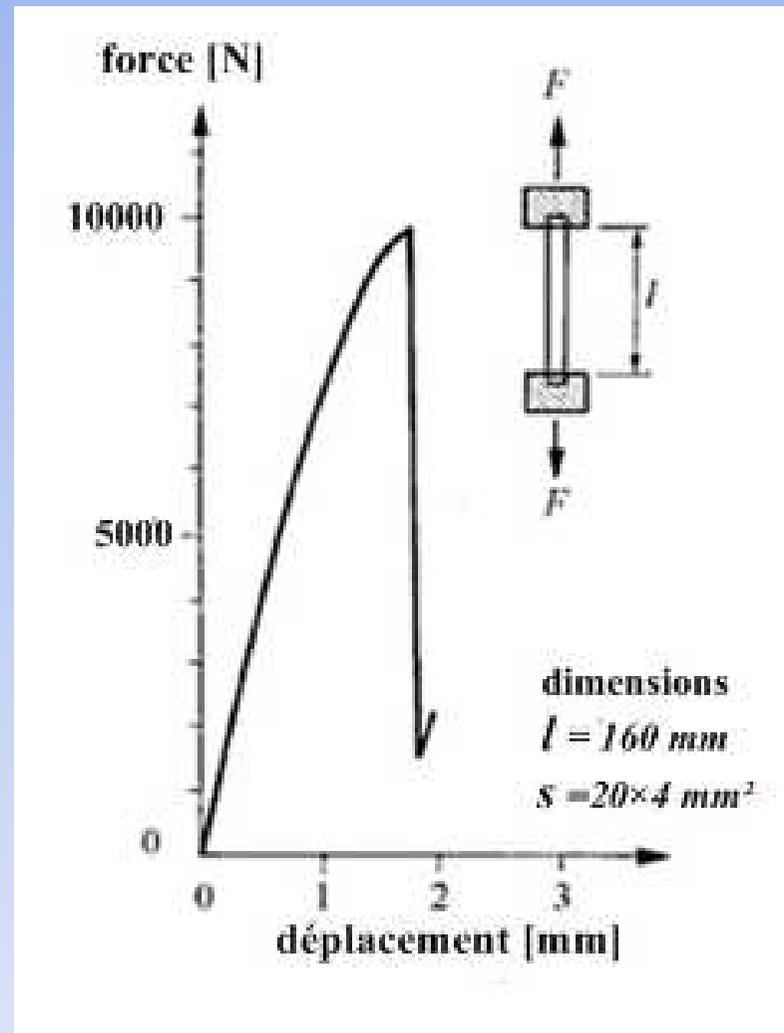
Variation du module d'Young



Il existe une corrélation négative entre l'angle microfibrillaire de la fibre et le module d'Young correspondant
Variation du module d'Young axial avec l'angle microfibrillaire de fibre simple

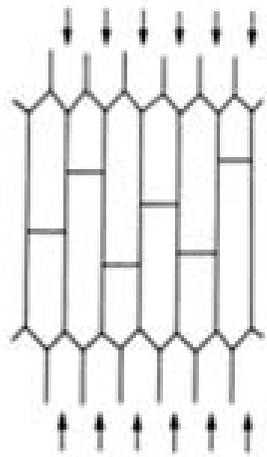
courbe force-déplacement

La courbe force-déplacement obtenue dans un essai en traction simple sur les éprouvettes normalisées suivant la direction L et en mode de force contrôlée.

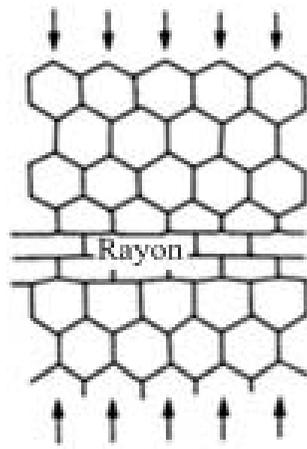


Courbe force-déplacement d'une éprouvette normalisée sous traction

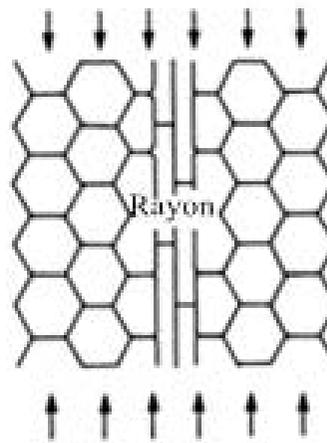
Compression du bois



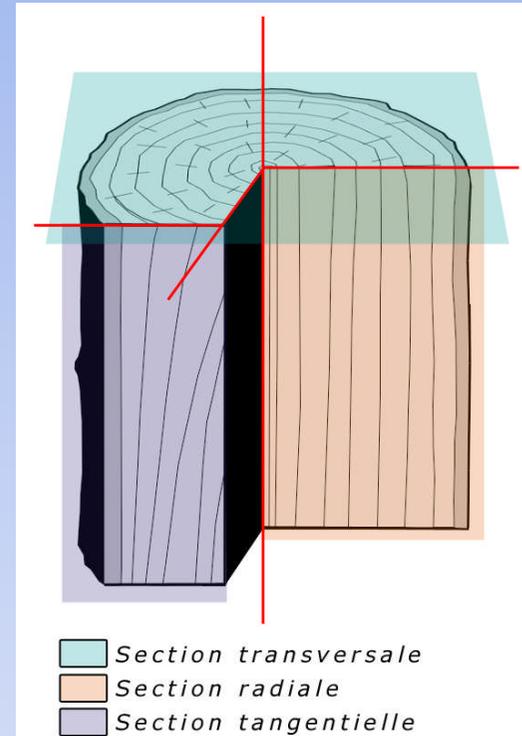
(a) compression axiale



(b) compression tangentielle



(c) compression radiale



PROPRIETES PHYSIQUES

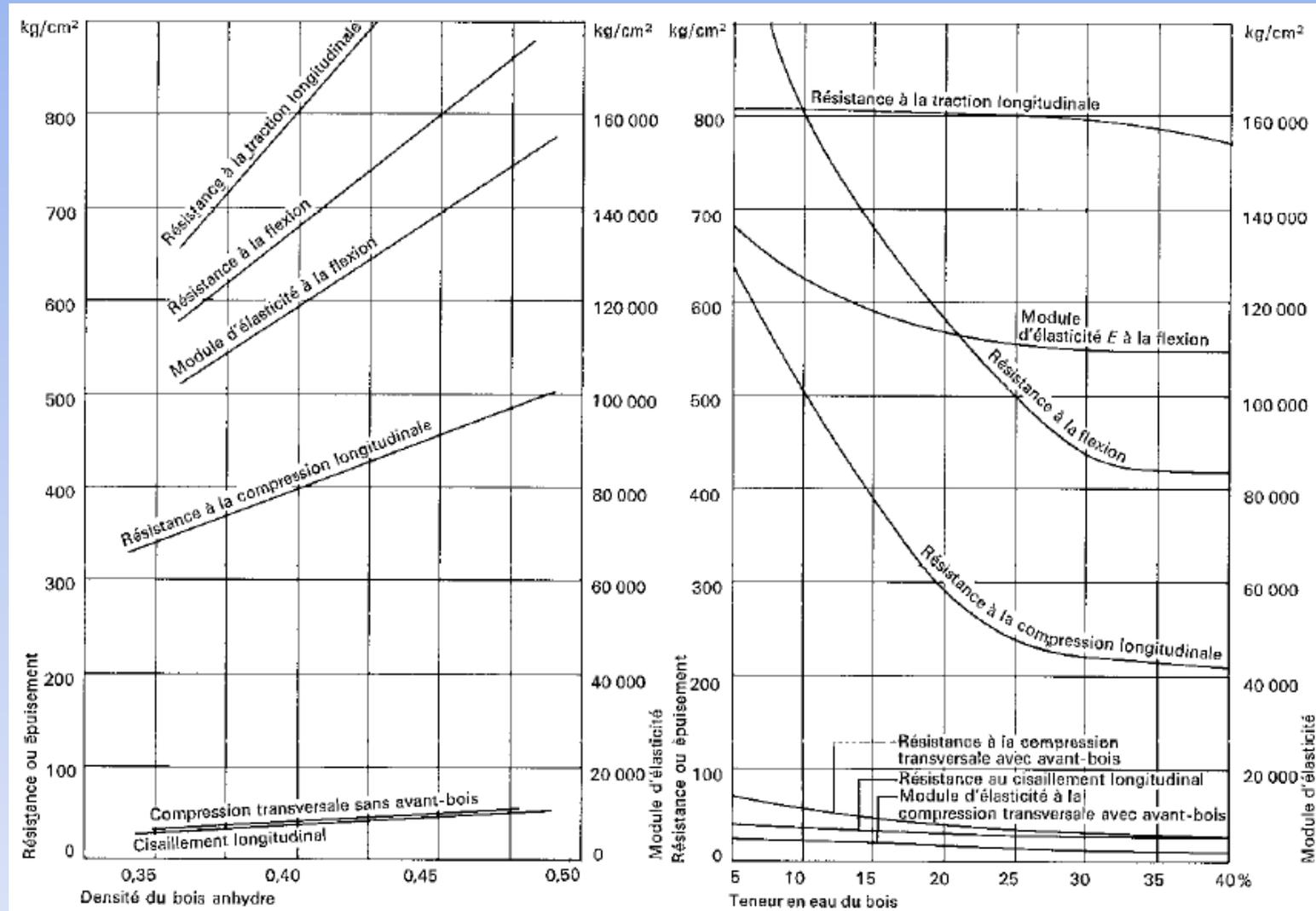
Retrait-Gonflement



Fissuration du bois lors du séchage

PROPRIETES MECANIQUES

Résistance et module d'élasticité



PROPRIETES MECANIKES : résumé

Résistance et module d'élasticité

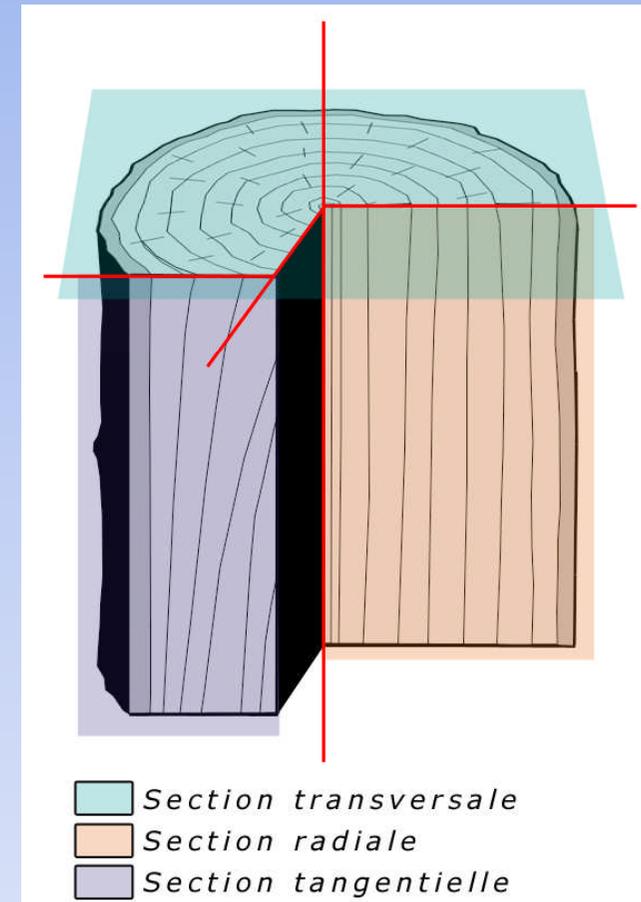
☐ Forte anisotropie

Longitudinal > Radial > Tangentiel

☐ Variation linéaire en fonction de la densité

☐ Forte sensibilité par rapport à l'humidité
(sauf de la résistance à la traction)

☐ Forte influence de l'angle des microfibrilles
par rapport à la direction L





FIN