DK549260 BA_RP3045

CIRAD
Unité de recherche sur les bois tropicaux et méditerranéens

Patrick LANGBOUR

Le Matériau Bois

Structure et propriétés
Influence des paramètres naturels
sur les propriétés du bois

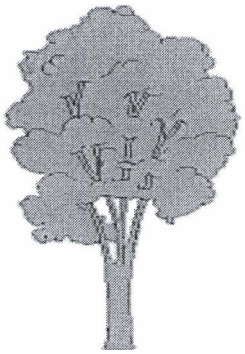
Ecole nationale Supérieure Polytechnique de Yaoundé
Département Génie Civil
Année 2004-2005

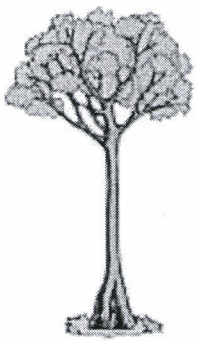
CIRAD-Dist
UNITÉ BIBLIOTHÈQUE
Baillarguet
000098517

Le matériau bois
Structure et propriétés

Le matériau bois / sa structure

Il existe une multitude d'essences (plusieurs milliers d'espèces). Elles ont leurs caractéristiques propres, leurs exigences, leurs milieux de vie.
Tous ces facteurs vont conditionner ultérieurement la qualité des bois.





Avant le bois / l'arbre…

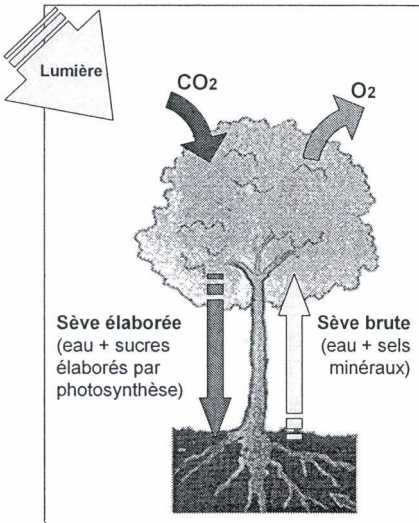
Avant même de devenir un matériau de construction, l'arbre joue différents rôles majeurs pour l'homme.

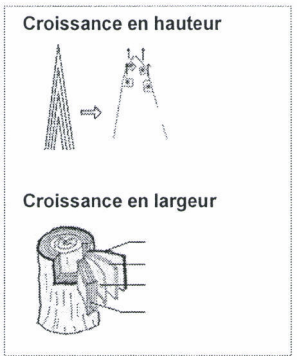
- L'arbre intervient dans les processus environnementaux. Stockage de CO_2 et production d'O_2
- L'arbre et plus encore les forêts, sont des dispositifs essentiels de la chaîne de développement du règne animal et humain.
- L'arbre peut être source de nourriture (fruits,…) source de médecine traditionnelle (écorce, feuille, latex,…)
- L'arbre est aussi un élément culturel important…

Avant le bois / l'arbre…

L'arbre est un individu unique.
Les qualités du matériau dépendent donc de l'essence de l'arbre, de son âge, de la qualité du sol, de l'altitude et de la latitude où il a poussé, des traitements qu'il a subi depuis son abattage.
On retiendra qu'il existe des différences significatives entre les différentes essences et que deux pièces de bois d'une même essence peuvent donc avoir des caractéristiques physiques ou visuelles fort dissemblables en fonction des conditions de croissance des arbres d'où elles proviennent.

Le matériau bois / sa structure

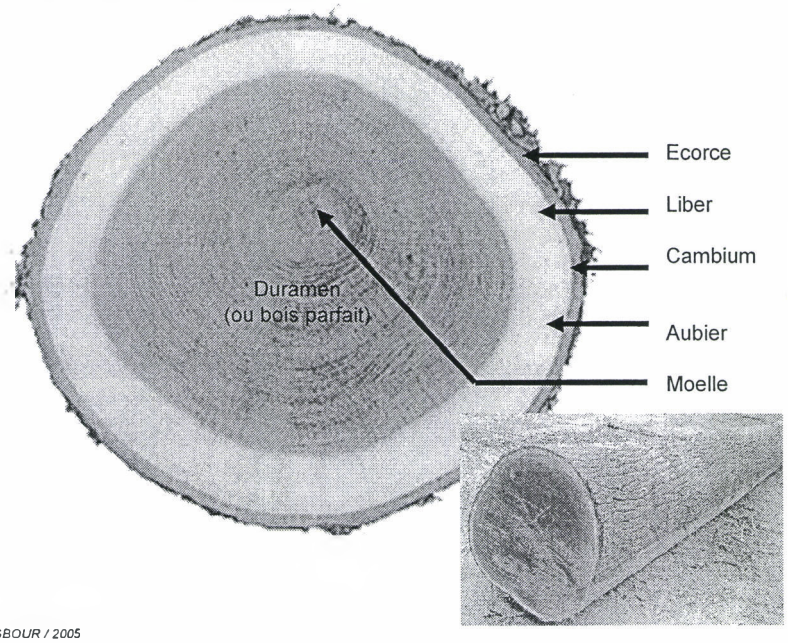




Le bois est un ensemble de tissus à parois lignifiées, résultant du fonctionnement, vers l'intérieur de l'assise génératrice cambiale.

P.LANGBOUR / 2005

Le matériau bois / sa structure



P.LANGBOUR / 2005

Le matériau bois / sa structure

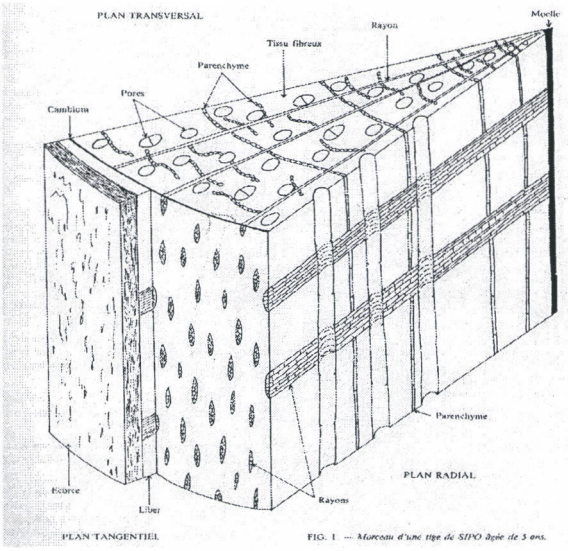


FIG. 1 — *Morceau d'une tige de SIPO âgée de 5 ans.*

Le matériau bois / sa structure

Fonctions du bois dans l'arbre:
3 fonctions importantes

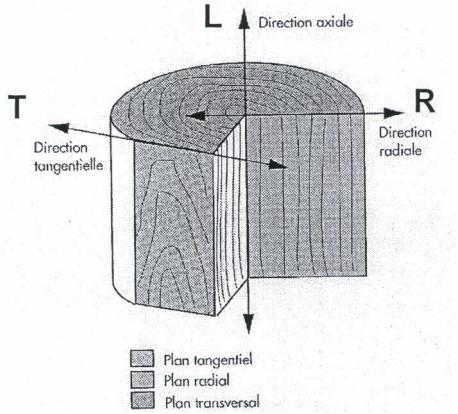
Fonction de soutien : support mécanique

Fonction de conduction de la sève
Dans l'aubier – anneau périphérique

Fonction de stockage de réserve -
Entreposage des substances nutritives
Essentiellement dans l'aubier

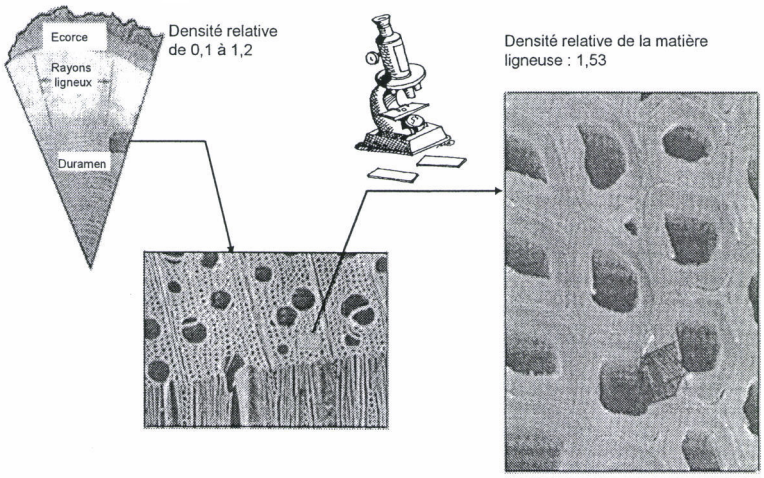
Le matériau bois / sa structure

Se repérer dans le bois : Les trois plans de référence

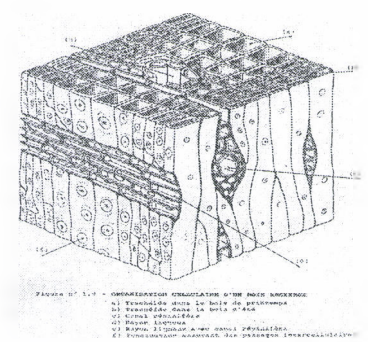


Plan tangentiel	-	bois sur dosse
Plan radial	–	bois sur quartier
Plan transversal	–	boit de bout

Le matériau bois / sa structure



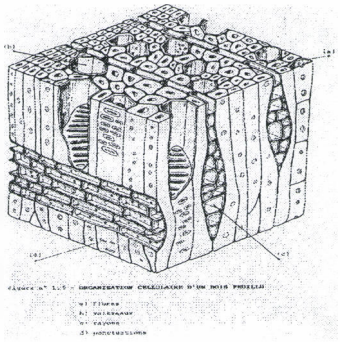
Le matériau bois / sa structure



RESINEUX

Des tissus de soutien et conduction (Trachéides Rayons ligneux)

Des tissus de réserve (canaux résinifères)



FEUILLUS

Des tissus de soutien (Fibres)

Des tissus de conduction (vaisseaux, rayons ligneux)

Des tissus de réserve (parenchyme)

P.LANGBOUR / 2005

11

Le matériau bois / sa structure

Le ***bois*** est la matière ligneuse et compacte qui compose les branches, le tronc et les racines des arbres et arbrisseaux.

Les bois feuillus comme les bois du Cameroun sont constitués d'un ensemble de tissus composés de fibres, de vaisseaux , de parenchymes.

Les fibres

Ce sont des cellules résistantes, disposées dans le sens axial, et qui constituent l'ossature de l'arbre.

Les vaisseaux

Ce sont des cellules creuses dont le rôle est de conduire la sève destinée à la vie et à la croissance de l'arbre. L'ensemble des vaisseaux forme le tissu vasculaire.

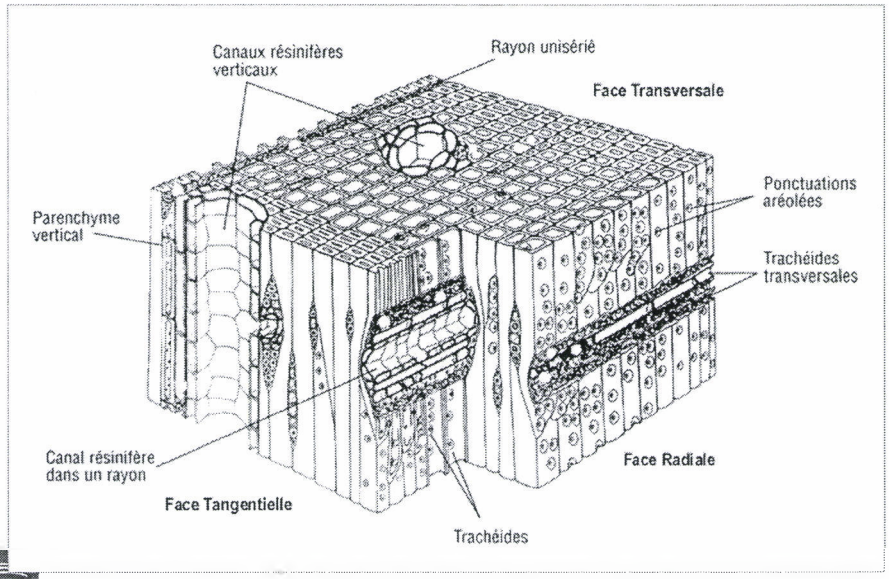
Les parenchymes ligneux

On les nomme également cellules de réserve. Elles accompagnent le tissu vasculaire ; ces cellules sont à parois épaissies et lignifiées.

P.LANGBOUR / 2005

12

Le matériau bois / sa structure

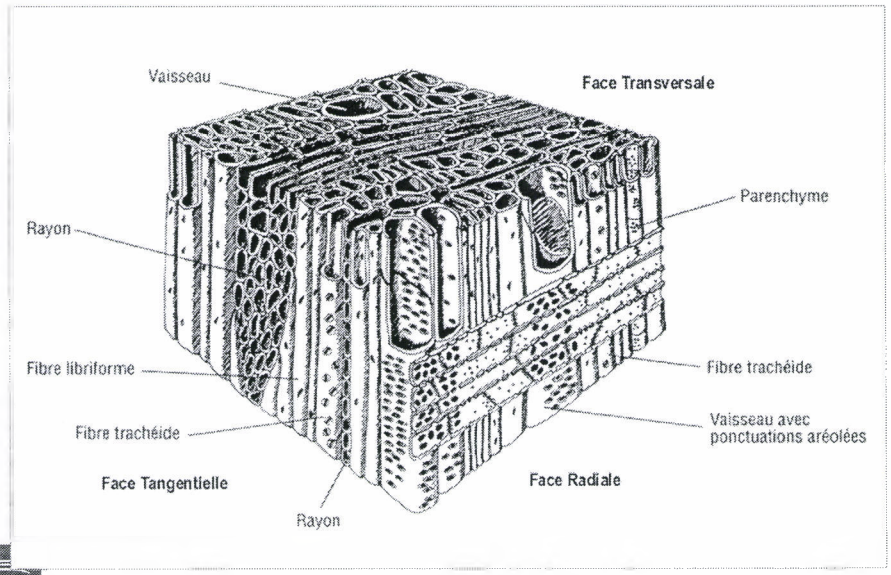


CIRAD

P.LANGBOUR / 2005

13

Le matériau bois / sa structure

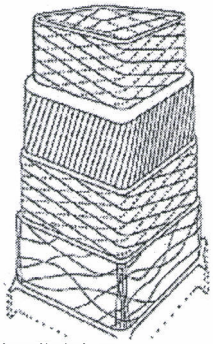


CIRAD

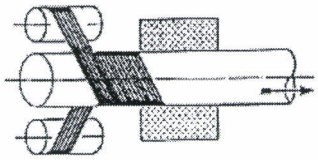
P.LANGBOUR / 2005

14

Le matériau bois / sa structure



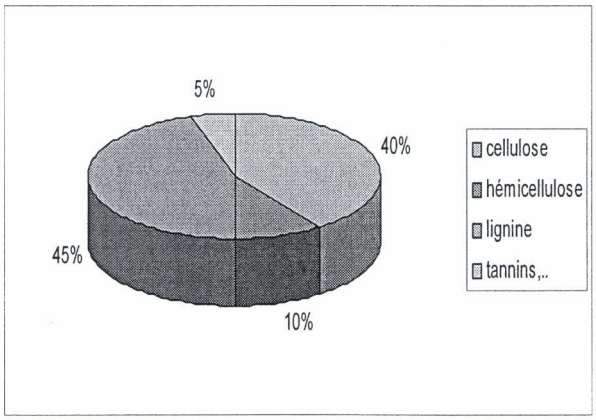
Analogie avec
Industrie des composites :
Fabrication de tuyaux par enroulement continu



La paroi cellulaire :
Une succession de nappes composites à fibres (lamelle moyenne – paroi primaire – paroi secondaire (couches S1,S2,....)

Le matériau bois / sa structure

Composition chimique au niveau cellulaire



Cellulose et hémicellulose

= hydrate de carbone

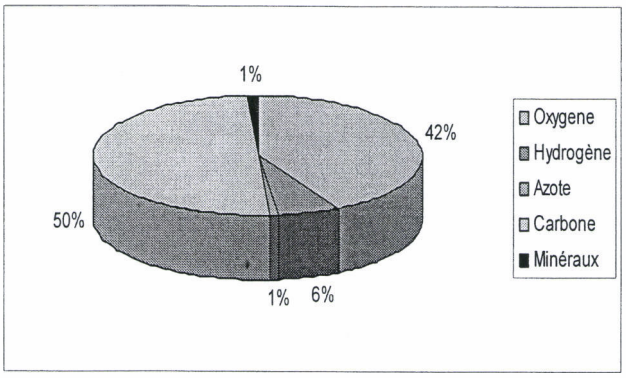
Lignine

= polymère complexe {phényl propane+...}

Tannins = polyphénols

Le matériau bois / sa structure

Composition chimique au niveau moléculaire



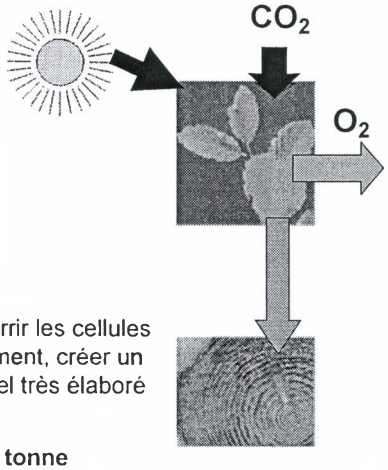
1 tonne de bois produite par photosynthèse =

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

Le matériau bois / sa structure

Bilan CO2 comparatif avec autres matériaux

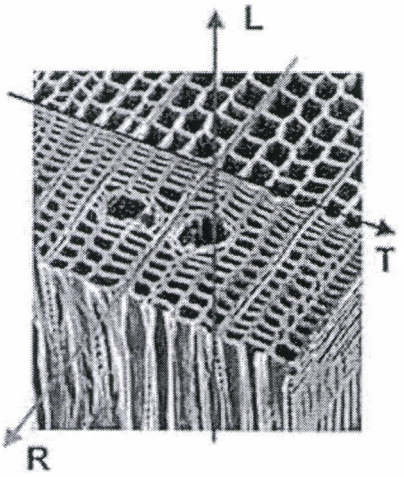
Matériau	1 m³	Effet CO_2
Fer	7000 kg	+ 5000 kg
Béton	2300 kg	+ 375 kg
Ciment	1600 kg	+ 2500 kg
Feuillus	700 kg	- 1000 kg



Sucre pour nourrir les cellules et pour, notamment, créer un polymère naturel très élaboré

Produire 1m³ de bois = Absorber 1 tonne de CO_2

Le matériau bois / sa structure



Le bois présente une structure hétérogène.
Le bois ne se comporte pas de la même manière selon les principales directions de référence.

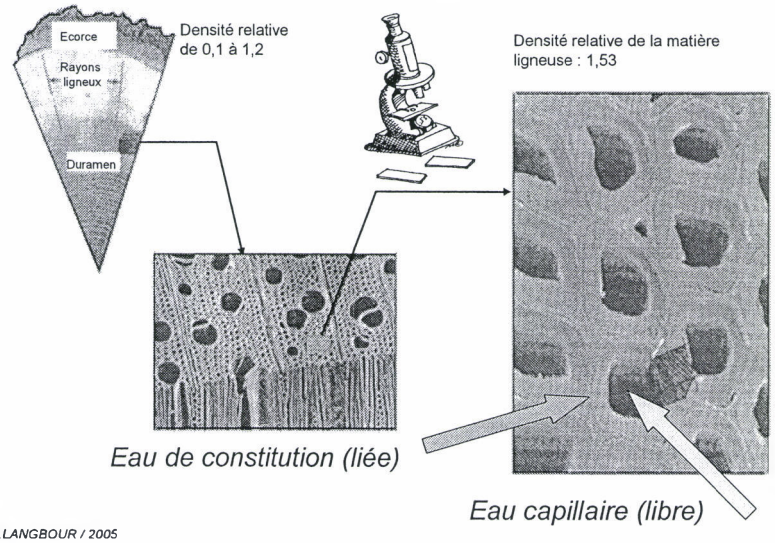
Le bois est un matériau hétérogène et anisotrope.

Le matériau bois / Propriétés

- Le bois contient de l'eau
- L'air humide et quelques propriétés
- Équilibre hygroscopique et humidité du bois
- Retraits
- Processus de séchage

Le matériau bois / Propriétés

Le bois contient de l'eau

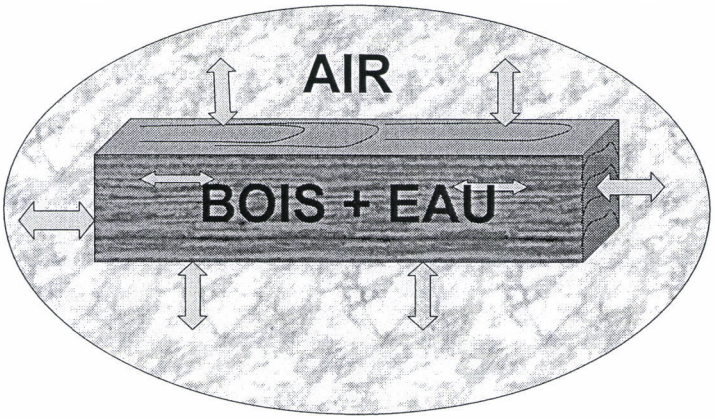


P.LANGBOUR / 2005

21

Le matériau bois / Propriétés

Le bois est un matériau hygroscopique.
Il est susceptible de perdre ou de reprendre de l'humidité en fonction de la température et surtout de l'humidité relative de l'air ambiant.



P.LANGBOUR / 2005

22

Le matériau bois / Propriétés

Au moment de l'abattage, le bois peut contenir plus d'eau que de matière-bois ; parfois deux fois plus dans certains espèces de bois tendres.

L'intérieur des cellules cellulaires d'un bois vert est rempli d'**eau libre**. Elle s'évacuera progressivement par évaporation, sans que le bois ne subisse de retrait ou de déformation : c'est la phase dite de "**ressuyage**".

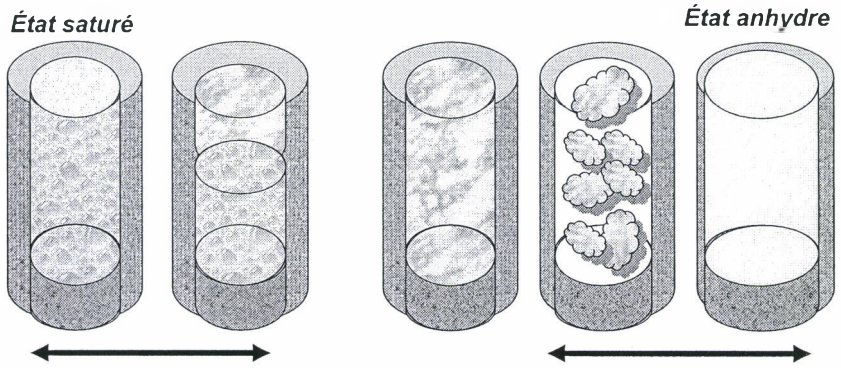
Lorsque l'eau libre a entièrement disparu (point de saturation), il ne reste que l'**eau liée** qui imprègne les membranes des cellules. Le départ de cette eau liée entraîne des phénomènes de retrait et de déformation.
Le **point de saturation** des fibres, en dessous duquel se manifeste le "jeu du bois", est de l'ordre de 20 à 30% pour les principales essences d'Afrique centrale.

CIRAD

P.LANGBOUR / 2005

23

Le matériau bois / Propriétés



H % Bois > PSF

Eau liquide

Forces capillaires

H % Bois = PSF

H % Bois < PSF

Eau vapeur liée à la structure cellulose , hémicellulose, ...

Besoin énergie pour libérer l'eau

CIRAD

P.LANGBOUR / 2005

24

Le matériau bois / Propriétés

Par définition : $$Humidité = \frac{Masse\ ..d'eau}{Masse\ ..anhydre}$$

Mh = masse humide de l'échantillon

Mo = masse anhydre de l'échantillon

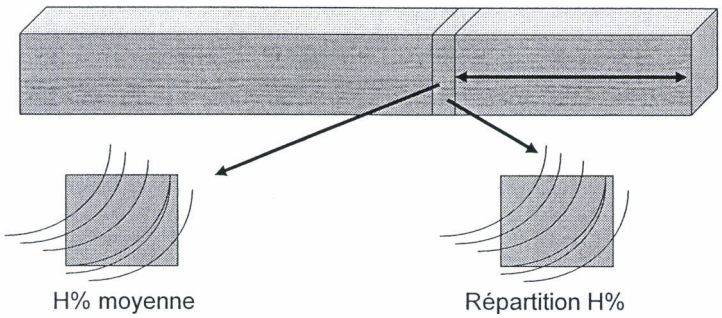
$$H\% = 100\,x\,\frac{Mh - Mo}{Mo}$$

- H% peut dépasser 100% ; si la masse d'eau > masse anhydre
- Variation spatiale de l'humidité dans un tronc d'arbre
- Zone aubier généralement plus humide que duramen
- H% bois tendres / bois denses

Le matériau bois / Propriétés

Humidité du bois / Différentes manières de mesurer

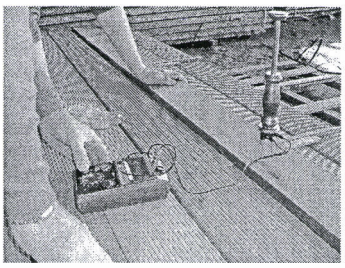
- Double pesée : avant et après séchage anhydre de l'échantillon dans étuve de dessiccation réglée sur 103 +/- 2°C
- On découpe une tranche (1 à 2 cm) dans le morceau à contrôler

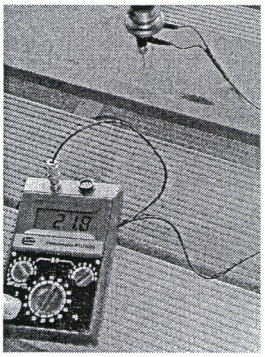


Le matériau bois / Propriétés

• Mesure par résistivité avec un humidimètre

On enfonce perpendiculairement au fil du bois 2 électrodes à la profondeur à laquelle on désire connaître l'humidité.
En indiquant sur l'appareil la classe de l'essence et la température du bois, on obtient instantanément la mesure de l'humidité.
Précision fiable pour H% comprise entre 5 et 30 %

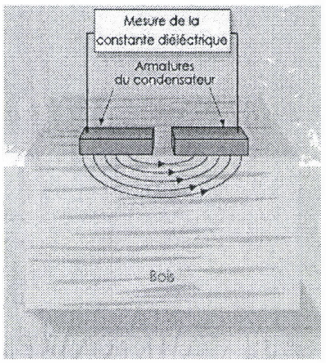




Le matériau bois / Propriétés

• Mesure avec un humidimètre par contact

C'est une mesure par constante diélectrique du bois. Après avoir choisi la classe de densité du bois, il suffit d 'appliquer les électrodes métalliques sur le bois.



Le matériau bois / Propriétés

- Avantages et inconvénients des méthodes.

Méthodes	Avantages	Inconvénients
Pesée	Précision du résultat	Lente (1 jour mini) Destructive
Humidimètres	Rapide Non destructive Mesure à distance possible	fiable pour des humidités comprises entre 5 et 30 %

Le matériau bois / Propriétés

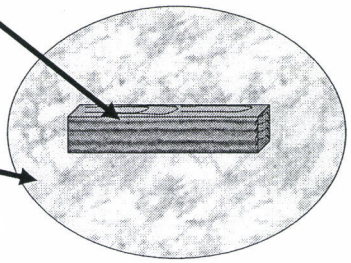
Humidité du bois : quelques termes

Humidité	***Qualification***
Au-delà du P.S.F	bois vert
Du PSF à 22/23%	Mi sec / ressuyé
De 22 à 18 %	Commercialement sec
De 17 à 13 %	Sec à l'air
Au dessous de 13 %	Sec
A 0%	Anhydre

Le matériau bois
Structure et propriétés
(suite)

Le matériau bois / Propriétés

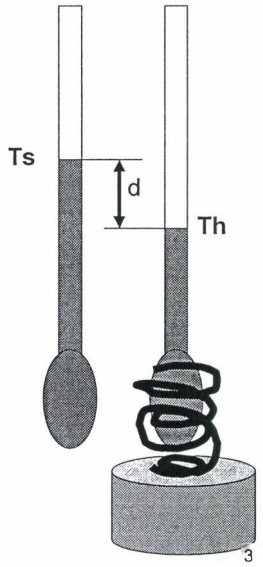
- Le bois contient de l'eau
- L'air est constitué d'air sec et de vapeur d'eau formée par évaporation d'eau liquide
- Différentes caractéristiques de l'air sont utilisées dans le phénomène de séchage du bois : Températures sèche, humide, de rosée, humidité relative,



Le matériau bois / Propriétés

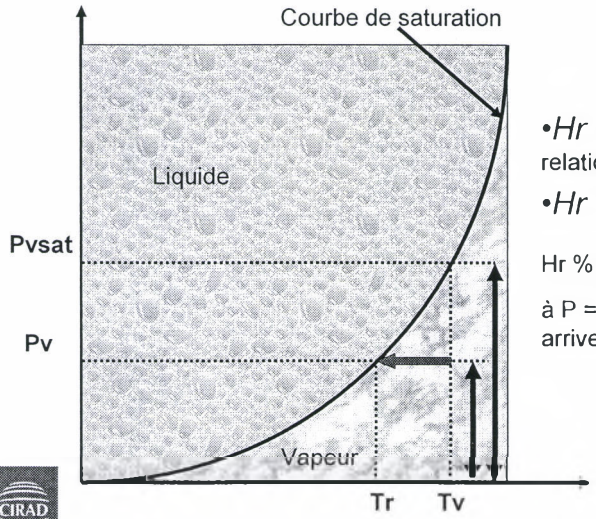
Quelques propriétés de l'air humide

- *Température sèche* : température au sens habituel du terme ; cette température est lue sur un thermomètre dont le bulbe est maintenu dans l'air.
- *Température humide* : température lue sur un thermomètre dont le bulbe est maintenu humide en le recouvrant d'une gaz imbibée d'eau liquide
- *Température de rosée* : en refroidissant de l'air humide, il existe une température pour laquelle la vapeur d'eau contenue dans l'air se condense et forme des gouttelettes d'eau. A cette température, la masse de vapeur d'eau associé à chaque Kg d'air sec deviendra plus faible.



Le matériau bois / Propriétés

Quelques propriétés de l'air humide



- *Hr air %* est définie par la relation
- *Hr % = 100 x Pv / Pvsat*

Hr % comprise [0 – 100%]

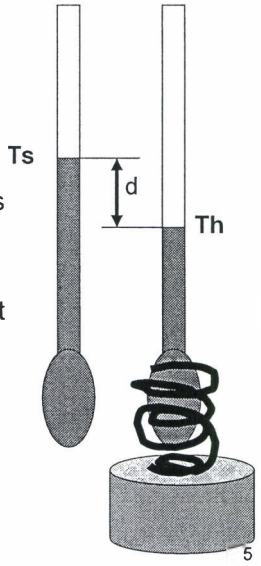
à P = cste si on refroidit l'air on arrive à Tr (condensation)

CIRAD-Dist
UNITÉ BIBLIOTHÈQUE
Baillarguet

Le matériau bois / Propriétés

- *L'évaporation de l'eau est un phénomène qui consomme de l'énergie*
- L'air en passant sur la gaz humide provoque l'évaporation de l'eau, entraîne un refroidissement.
- Si l'air est saturé d'humidité il ne provoque pas d'évaporation de l'eau . Ts - Th = 0

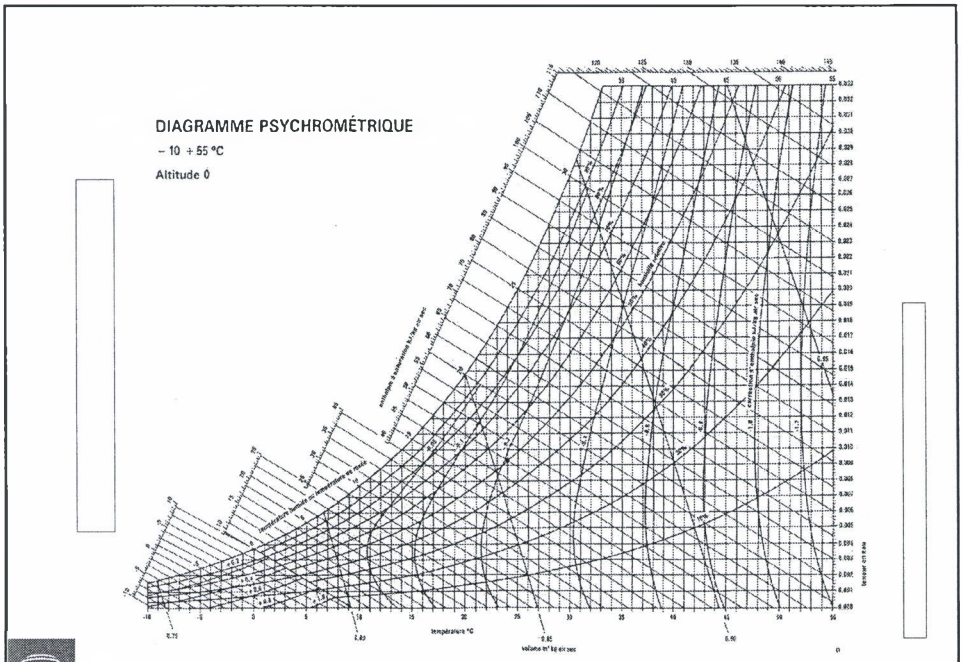
- Plus l'air est sec, plus l'écart entre Ts et Th est grand.
- à partir de Ts et Th
  on obtient *l'humidité relative de l'air* : Hair %
  (tables psychrométriques, calcul)



CIRAD

P.LANGBOUR / 2005

5



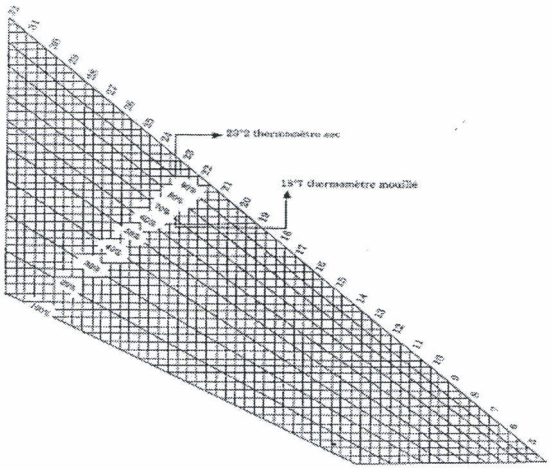
CIRAD

P.LANGBOUR / 2005

Le matériau bois / Propriétés

Annexe 1

ABAQUE DE CALCUL DES HUMIDITES RELATIVES
A L'AIDE DES TEMPERATURES DES THERMOMETRES SEC ET MOUILLE

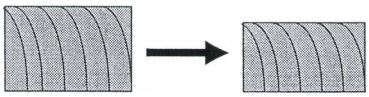


Le matériau bois / Propriétés

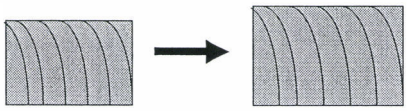
Le retrait et le gonflement du bois

Suivant le climat (température et humidité de l'air) dans lequel il se trouve l'humidité du bois évolue. Parallèlement les dimensions du morceau de bois changent :

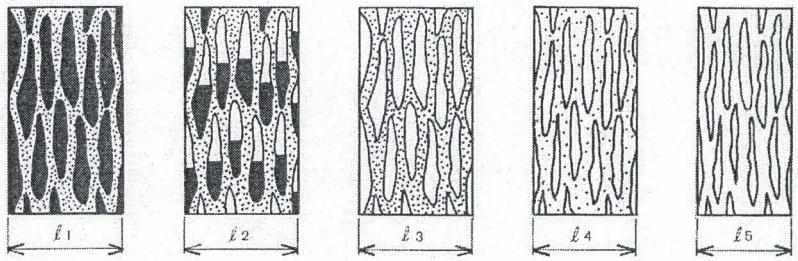
- si les dimensions diminuent : phénomène de retrait



- si elles augmentent : phénomène de gonflement



Le matériau bois / Propriétés

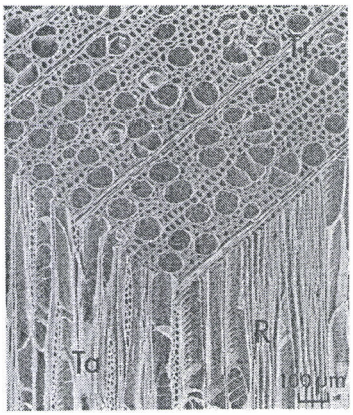


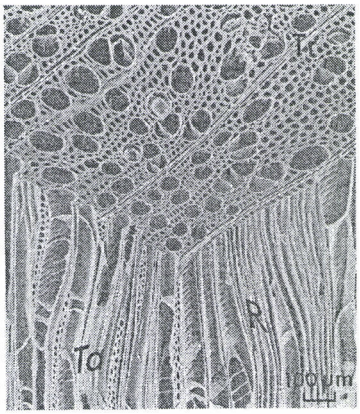
H % Bois > PSF *H % Bois = PSF* *H % Bois < PSF*

l1 = l2 *l3> > l4 > l5*

Pas de retrait *retrait*

Le matériau bois / Propriétés



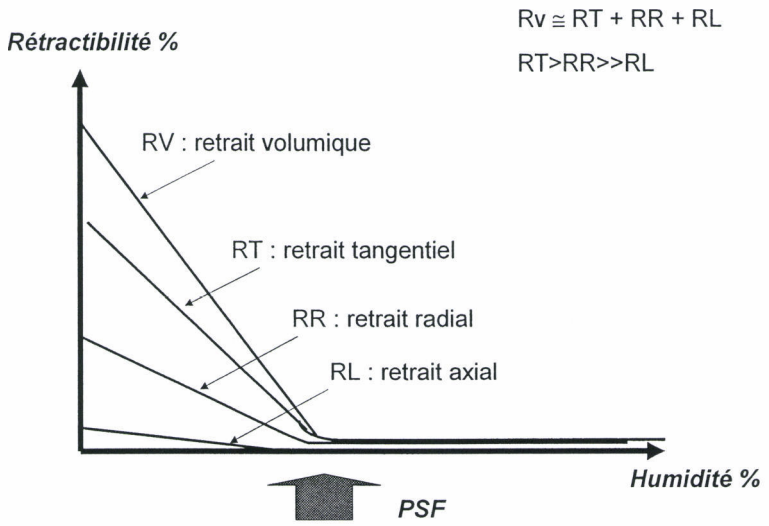


Le retrait et le gonflement sont des déformations géométriques de la structure du matériau. On observe des retraits et des gonflements différents suivant les principales directions e la structure R,T,L

Le matériau bois / Propriétés

Rv ≅ RT + RR + RL

RT>RR>>RL



Le matériau bois / Propriétés

Le retrait volumique total RV est donné par :

$$RV\% = 100.\frac{Vs - Vo}{Vs}$$

avec Vs = volume de l'échantillon saturé d'eau,

Vo = volume anhydre de l'échantillon obtenu par séchage à partir de l'état saturé.

Le matériau bois / Propriétés

De même, les retraits linéiques pour chaque direction principale sont donnés par :

$$Rd\% = 100.\frac{lds - ldo}{lds}$$

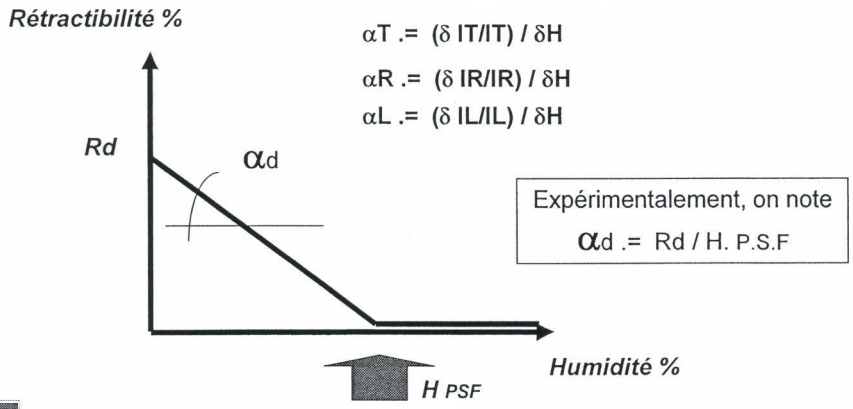
avec *lds* = dimension de l'échantillon saturé d'eau, suivant la direction d considérée L ,R, ou T

ldo = dimension de l'échantillon anhydre, suivant la direction d considérée L ,R, ou T

Rd = retrait total dans la direction L, R ou T

Le matériau bois / Propriétés

On définit également des coefficients de retrait (αd):
C'est la variation en % de la dimension suivant la direction considérée pour une variation de 1% d'humidité.



αT .= (δ IT/IT) / δH

αR .= (δ IR/IR) / δH

αL .= (δ IL/IL) / δH

Expérimentalement, on note
αd .= Rd / H. P.S.F

Le matériau bois / Propriétés

Quelques exemples de valeurs – bois camerounais

Essences	RV	RT	RR	P.S.F
Ayous	8,9	5,0	2,9	29
Azobé	16,1	10,3	7,3	28
Bete	10,5	7,4	4,6	28
Bubinga	13,7	7,9	5,5	24
Dibetou	9,8	5,8	3,7	27
Framiré	8,9	5,2	3,6	27
Iroko	9	5,4	3,5	23
Movingui	11,2	5,8	3,6	23
Padouk	8,2	5,0	3,2	21
Sapelli	11,6	7,2	5	29
Teck	*7,3*	*4,7*	*2,6*	*24*

Retrait axial RL relativement faible 0,1 à 0,4 % ; il atteint parfois 1 à 2 % dans certains bois (bois juvénile, bois de compression)

CIRAD

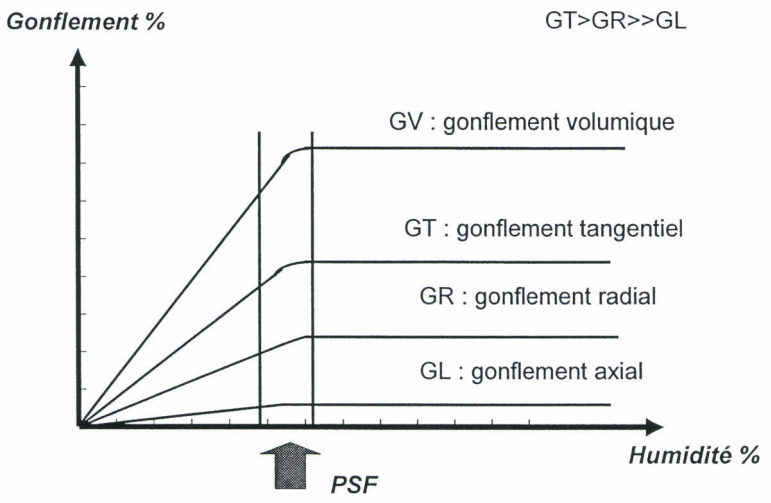
P.LANGBOUR / 2005

15

Le matériau bois / Propriétés

GV ≅ GT + GR + GL

GT>GR>>GL



CIRAD

P.LANGBOUR / 2005

16

Le matériau bois / Propriétés

Point de Saturation des Fibres (ou PSF)

Le PSF correspond au taux d'humidité du bois saturé en eau liée, taux en dessous duquel le bois va commencer à sécher en se contractant.
Le PSF varie de 20 à 40% suivant les essences tropicales, mais se situe le plus souvent aux environ de 30%.

Classes de Point de Saturation des Fibres (= PSF)

PSF < 25 % :	PSF faible
25 %< PSF < 35 % :	PSF moyen
PSF > 35 % :	PSF élevé

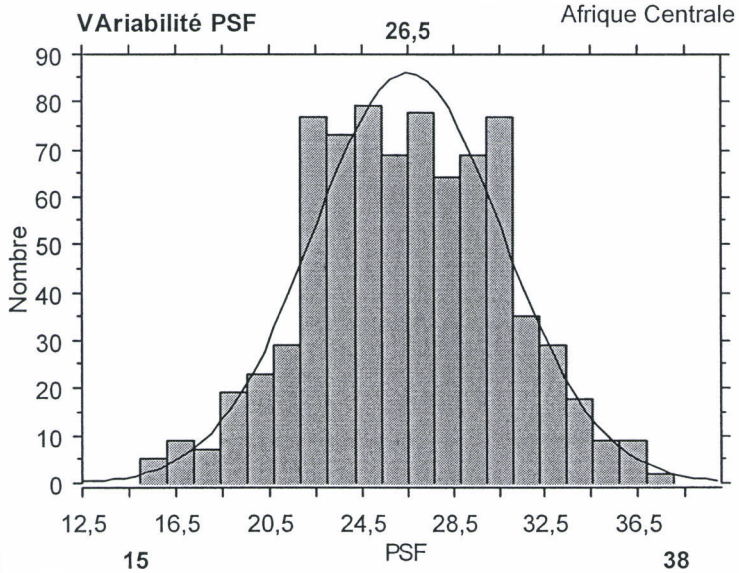
CIRAD

P.LANGBOUR / 2005

17

Le matériau bois / Propriétés

780 échantillons bois
Afrique Centrale



CIRAD

P.LANGBOUR / 2005

18

Le matériau bois / Propriétés

Mesure retrait volumique = la variation de volume d'une éprouvette normalisée (cube de 20 mm de côté) passant de l'état saturé à l'état anhydre (protocole d'essai défini dans la norme NF B 51-006 (septembre 1985)

RV = [(Vs-Vo)/Vs] x 100

3 classes de retrait volumique sont définies comme suit :

RV < 9 % : retrait faible

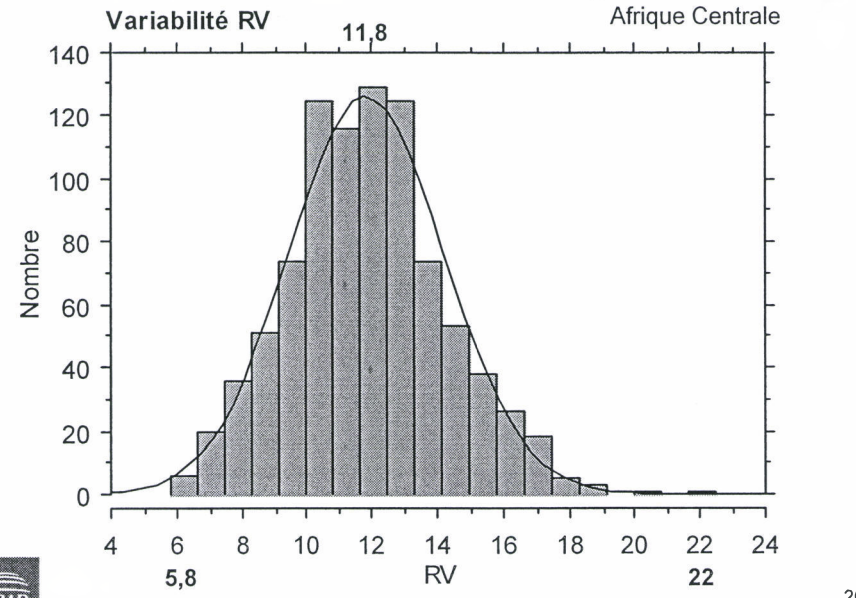
9 % < RV < 13 % : retrait moyen

RV > 13 % : retrait fort

P.LANGBOUR / 2005

19

Le matériau bois / Propriétés



P.LANGBOUR / 2005

20

Le matériau bois / Propriétés

Mesure retrait tangentiel et retrait radial

L'essai est réalisé sur des plaquettes de sections carrées de 40mm à 50mm de côté et 10mm d'épaisseur (parallèlement au fil du bois).
Le protocole d'essai est défini dans la norme NF B 51-006 (sept. 1985).

Classe de retraits linéaires transverses

RT< 6,5 % :	retrait faible
6,5 % < RT < 10 % :	retrait moyen
RT > 10 % :	retrait fort

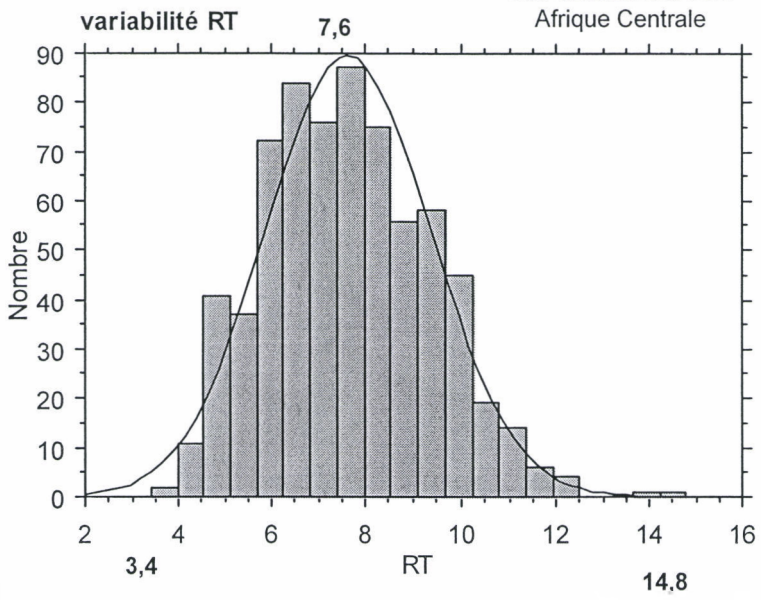
RR < 3,8 % :	retrait faible
3,8 % < RR < 6,5 % :	retrait moyen
RR > 6,5 % :	retrait fort

P LANGBOUR / 2005

21

Le matériau bois / Propriétés

690 échantillons bois
Afrique Centrale

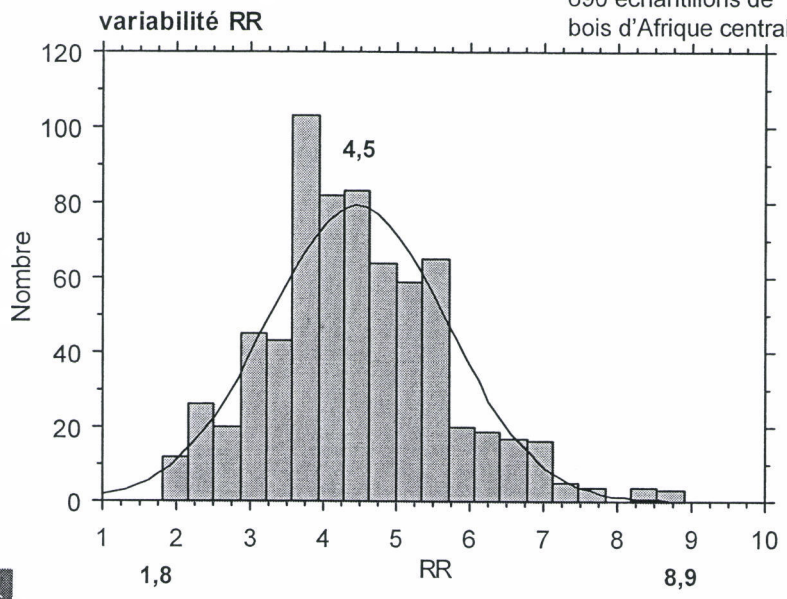


P LANGBOUR / 2005

22

Le matériau bois / Propriétés

690 échantillons de bois d'Afrique centrale

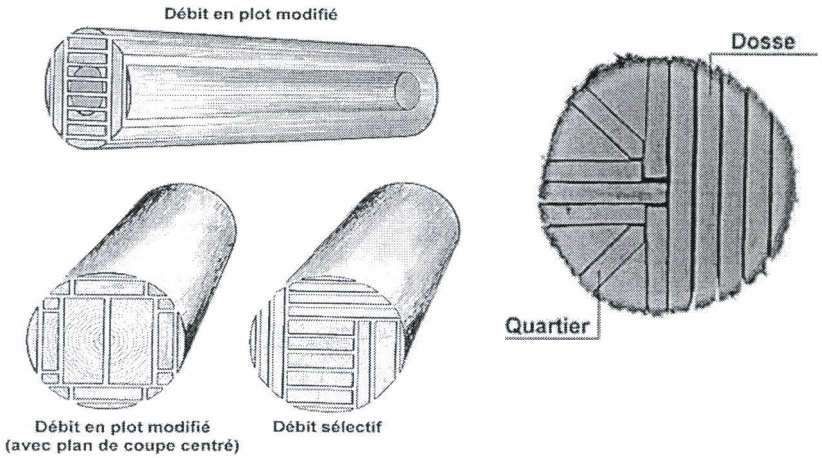


P.LANGBOUR / 2005

23

Le matériau bois / Propriétés

Sur le plan pratique – incidence des modes de débits sur les retraits

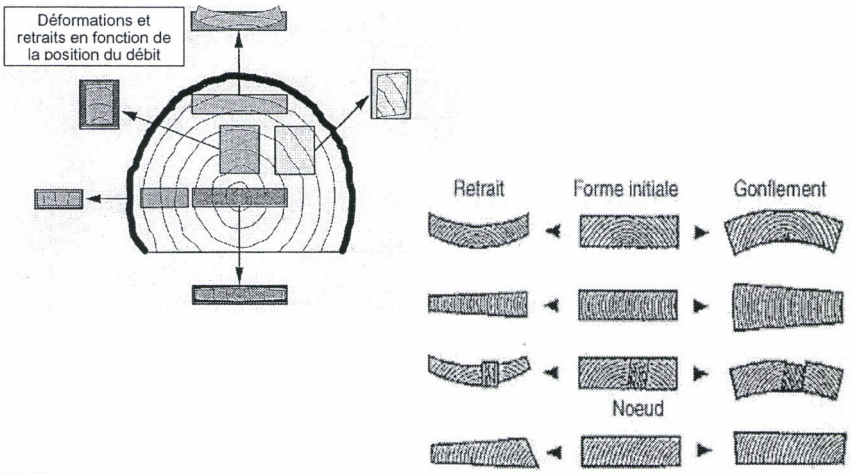


P.LANGBOUR / 2005

24

Le matériau bois / Propriétés

Sur le plan pratique – incidence des retraits



Le matériau bois / Propriétés

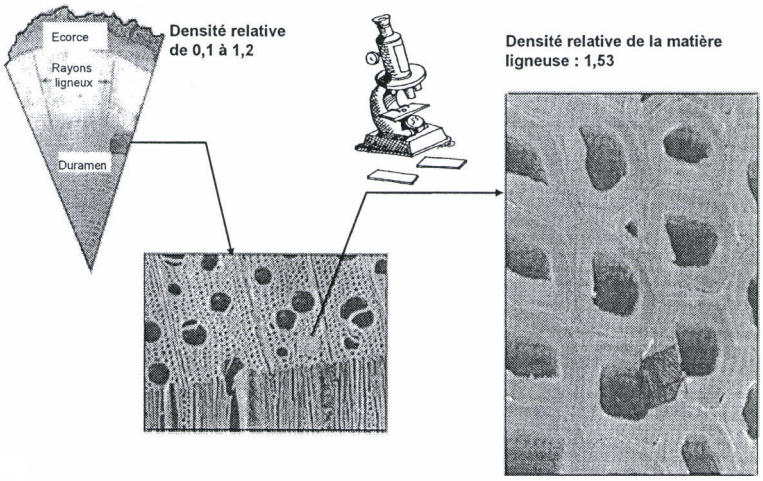
Incidence du phénomène retrait/ gonflement sur le plan pratique

-Variation dimensionnelle des sections /

- incidence sur calculs de structure
- à prendre en compte lors de l'achat de la matière première bois - dimensions et humidité(s) doivent figurer dans le cahier des charges
- vérification technique au niveau des assemblages boulonnées / vissés

Le matériau bois / Propriétés

Densité du Bois



CIRAD

P.LANGBOUR / 2005

27

Le matériau bois / Propriétés

Définition de la densité / masse volumique

La masse volumique est un paramètre physique qui indique la quantité massique de matière ligneuse contenue dans un volume de bois donné.

Elle est égale au rapport entre la masse d'un morceau de bois à une humidité donnée et son volume à cette même l'humidité.
La masse volumique s'exprime le plus souvent en g/cm3 ou en kg/m3.

En pratique, les professionnels du bois utilisent davantage la densité du bois comme grandeur de référence. Cette densité est le rapport entre la masse volumique du bois (ou de tout autre matériau) et la masse volumique de l'eau. La densité est une grandeur qui s'exprime sans unité.

CIRAD

P.LANGBOUR / 2005

28

Le matériau bois / Propriétés

Définition de la densité / masse volumique

Masse volumique

anhydre : ρo = Mo (masse anhydre) / Vo (volume anhydre)

à H% : ρH = MH / VH

On définit également l'infradensité : y = Mo/Vs (vol. saturé)

Relation entre ρH, ρo et y (calculs à faire)

P.LANGBOUR / 2005

29

Le matériau bois / Propriétés

Densité / masse volumique

La densité est une caractéristique technologique de base, la première à déterminer pour qualifier un bois ; cette propriété est reliée, plus ou moins étroitement, avec les principales propriétés physiques et mécaniques du bois ainsi qu'avec certaines caractéristiques de mise en œuvre.

Sachant la présence inévitable d'une certaine quantité d'eau dans le bois dans les conditions d'utilisation, il est important d'indiquer la densité d'un bois à un taux d'humidité donné.

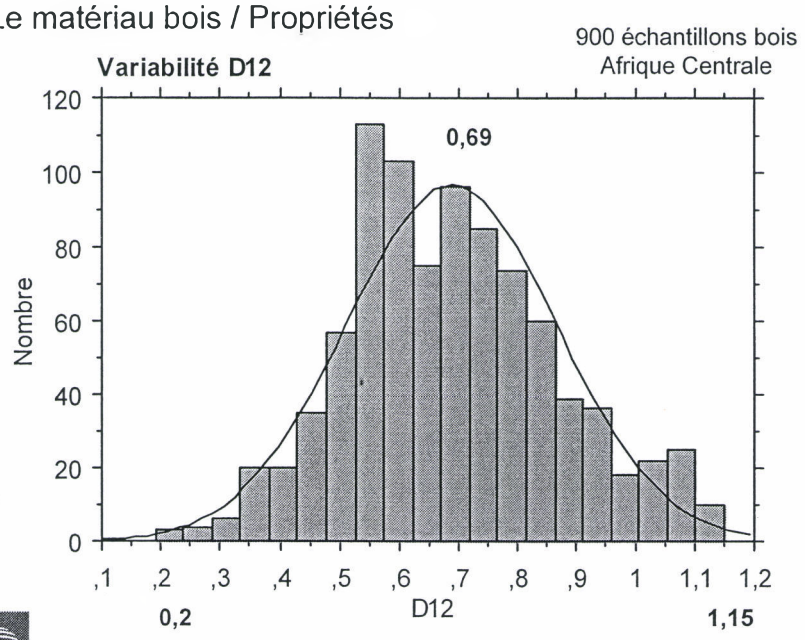
De façon pratique, on parle souvent de densité à une humidité de référence. En France, elle est de 12%, mais dans de nombreux pays elle est de 15%.
La densité des bois à 12% est très variable puisqu'elle varie de moins de 0,15 (Balsa) à plus de 1,3 (Boco, certains Palissandres).

P.LANGBOUR / 2005

30

CIRAD-Dist
UNITÉ BIBLIOTHÈQUE
Baillarguet

Le matériau bois / Propriétés



Le matériau bois / Propriétés

Densité / masse volumique

Le bois «matériau» est relativement léger en comparaison des autres matériaux de construction :

béton :	1,2 à 2,4
acier:	7,8
aluminium :	2,7
bois moyen :	0,7

Caractéristique importante en génie civil / poids des structures,...

Le matériau bois / Propriétés

5 classes de masse volumique (MV à H % = 12%) sont proposées pour la classification des bois tropicaux

MV < 500 kg/m3 :	bois très léger
500 kg/m3 < MV < 650 kg/m3 :	bois léger
650 kg/m3 < MV < 800 kg/m3 :	bois mi-lourd
800 kg/m3 < MV < 950 kg/m3 :	bois lourd
MV > 950 kg/m3 :	bois très lourd

Le matériau bois / Propriétés

Dureté Monnin

La dureté est une propriété particulièrement importante à connaître lorsqu'il est envisagé une utilisation des bois sous forme de parquet de planché ou tout autre emploi pour lequel le bois sera soumis au poinçonnement.

Cet essai permet de déterminer la résistance à la pénétration sur la face radiale du bois, d'un cylindre métallique de rayon donné, appliqué suivant une génératrice, sous un effort continu.

Il est réalisé sur des éprouvettes de section carrée de 20mm de côté et d'au minimum 100mm de longueur parallèlement au fil du bois.
Le protocole d'essai est défini dans la norme NF B 51-013. ("Détermination de la dureté Monnin" sept 85)

Le matériau bois / Propriétés

Dureté Monnin / Classes de dureté

D <1,5 :	bois très tendre
1,5 < D < 3 :	bois tendre
3 < D < 6 :	bois mi-dur
6 < D < 9 :	bois dur
D > 9 :	bois très dur

Le matériau bois / Propriétés

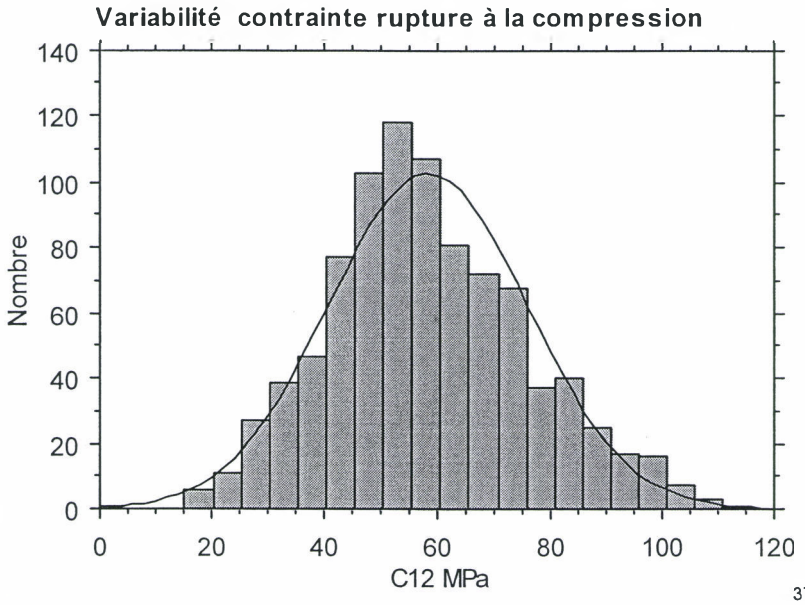
Contrainte de rupture en compression (en MPa)

Cette résistance correspond à la contrainte qu'il est nécessaire d'appliquer suivant la direction du fil du bois pour obtenir la rupture d'une éprouvette de dimension standard.

Classes de résistance en compression parallèle :

C12 < 45 MPa :	résistance faible
45 MPa < C12 < 75 MPa :	résistance moyenne
C12 > 75 MPa :	résistance élevée

Le matériau bois / Propriétés



37

P.LANGBOUR / 2005

Le matériau bois / Propriétés

Contrainte de rupture en flexion statique (en MPa)

La résistance en flexion statique correspond à la contrainte qu'il est nécessaire d'appliquer au milieu d'une éprouvette de dimension standard reposant sur deux appuis pour arriver à sa rupture.

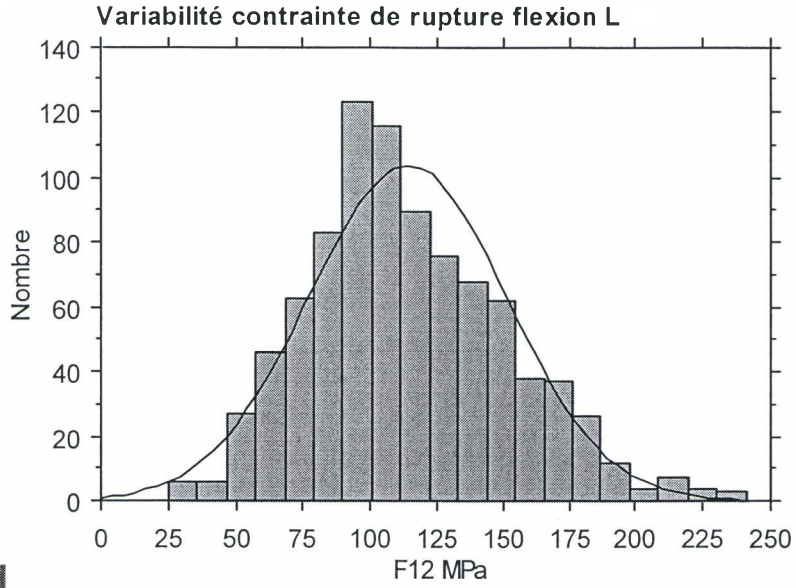
Classes de résistance en flexion statique :

F12 < 75 MPa :	contrainte faible
75 MPa < F12 < 125 MPa :	contrainte moyenne
F12 > 125 MPa :	contrainte élevée

38

P.LANGBOUR / 2005

Le matériau bois / Propriétés



Le matériau bois / Propriétés

Module d'élasticité longitudinal ou Module d'Young (en MPa)

Le module d'élasticité longitudinal est une propriété de première nécessité technologi-que pour les emplois en structure où les pièces de bois sont fréquemment sollicitées en flexion statique suivant leur plus grande direction, parallèlement aux fibres. Cette propriété caractérise la proportionnalité entre la charge et la déformation. Elle constitue un indicateur de la rigidité du bois.

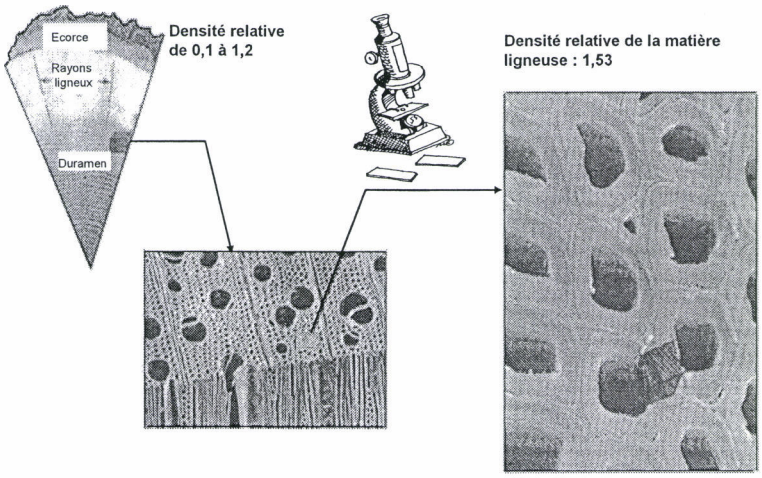
Classes de module d'élasticité longitudinal :

EL< 12 500 MPa :	module faible
12 500 MPa < EL < 18 500 MPa :	module moyen
EL> 18 500 MPa :	module élevé

Le matériau bois
Structure et propriétés
(suite)

Le matériau bois / Propriétés

Densité du Bois



Le matériau bois / Propriétés

Densité / masse volumique

La masse volumique est un paramètre physique qui indique la quantité massique de matière ligneuse contenue dans un volume de bois donné.

Elle est égale au rapport entre la masse d'un morceau de bois à une humidité donnée et son volume à cette même l'humidité.
La masse volumique s'exprime le plus souvent en g/cm3 ou en kg/m3.

En pratique, les professionnels du bois utilisent davantage la densité du bois comme grandeur de référence. Cette densité est le rapport entre la masse volumique du bois (ou de tout autre matériau) et la masse volumique de l'eau. La densité est une grandeur qui s'exprime sans unité.

Le matériau bois / Propriétés

Définition de la densité / masse volumique

Masse volumique

anhydre : ρo = Mo (masse anhydre) / Vo (volume anhydre)

à H% : ρH = MH / VH

On définit également l'infradensité : y = Mo/Vs (vol. saturé)

Relation entre ρH, ρo et y (calculs)

Le matériau bois / Propriétés

Densité / masse volumique

La densité est une caractéristique technologique de base, la première à déterminer pour qualifier un bois ; cette propriété est reliée, plus ou moins étroitement, avec les principales propriétés physiques et mécaniques du bois ainsi qu'avec certaines caractéristiques de mise en œuvre.

Sachant la présence inévitable d'une certaine quantité d'eau dans le bois dans les conditions d'utilisation, il est important d'indiquer la densité d'un bois à un taux d'humidité donné.

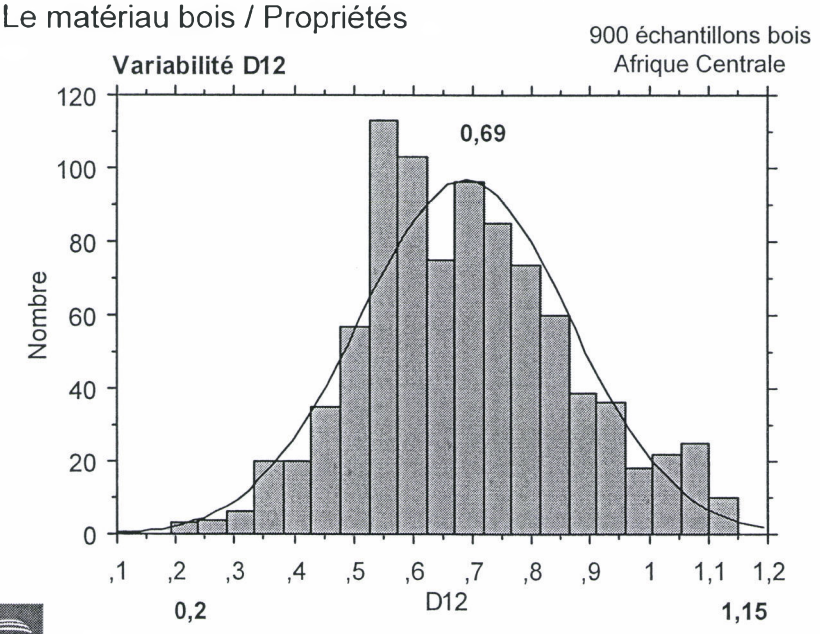
De façon pratique, on parle souvent de densité à une humidité de référence. En France, elle est de 12%, mais dans de nombreux pays elle est de 15%.
La densité des bois à 12% est très variable puisqu'elle varie de moins de 0,15 (Balsa) à plus de 1,3 (Boco, certains Palissandres).

CIRAD

P.LANGBOUR / 2005

5

Le matériau bois / Propriétés



CIRAD

P.LANGBOUR / 2005

6

Le matériau bois / Propriétés

5 classes de masse volumique (MV à H % = 12%) sont proposées pour la classification des bois tropicaux

MV < 500 kg/m3 :	bois très léger
500 kg/m3 < MV < 650 kg/m3 :	bois léger
650 kg/m3 < MV < 800 kg/m3 :	bois mi-lourd
800 kg/m3 < MV < 950 kg/m3 :	bois lourd
MV > 950 kg/m3 :	bois très lourd

Le matériau bois / Propriétés

Densité / masse volumique

Le bois «matériau» est relativement léger en comparaison des autres matériaux de construction :

béton :	1,2 à 2,4
acier:	7,8
aluminium :	2,7
bois moyen :	0,7

Caractéristique importante en génie civil / poids des structures,...

Le matériau bois / Propriétés

Par ailleurs, les données (caractéristiques mécaniques) accessibles proviennent généralement de données issues d'essais réalisées sur des éprouvettes de petites dimensions sans défauts ou singularités.

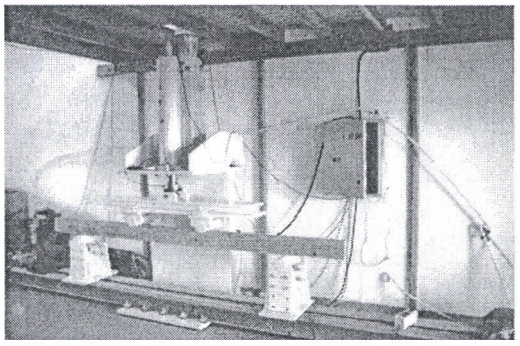
Les calculs de structures sont réalisés à partir de ces données et des règles de calcul CB 71 (en France) ; ces règles stipulent notamment l'application d'un coefficient de sécurité (2,75) et l'application de coefficients relatifs à la qualité du bois et son humidité.

Ces règles de calculs sont remplacées (ou en cours) par de nouvelles (Eurocode 5,...). Comme le béton en 1978 et l'acier en 1980, le bois abandonne la notion de contrainte admissible et de coefficient global de sécurité pour adopter le concept semi-probabiliste de la sécurité des structures, ou principe de calcul aux états limites

Ces nouvelles règles demandent la connaissance de caractéristiques du bois obtenues à partir d'essais réalisés sur des pièces en dimensions d'emplois.

Le matériau bois / Propriétés

En Europe, ces dernières années, plusieurs laboratoires et centres techniques ont réalisés de grandes campagnes d'essais (plusieurs milliers d'éprouvettes par essences) pour caractériser les principales essences utilisés dans la construction (résineux essentiellement et quelques feuillus...)

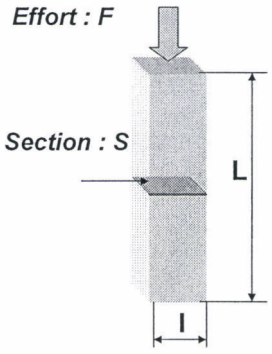


Actuellement, les bois d'Afrique centrale ne sont pas caractérisés en dimensions d'emplois

(travail de thèse actuellement)

Le matériau bois / Propriétés

Contrainte de rupture en compression (en MPa)



Éprouvette

de 60 x 20 X 20 mm³

L < 5 . l

Courbe expérimentale

Effort / Déplacement

Contrainte : Effort / Surface

Le matériau bois / Propriétés

Contrainte de rupture en compression (en MPa)

Cette résistance correspond à la contrainte qu'il est nécessaire d'appliquer suivant la direction du fil du bois pour obtenir la rupture d'une éprouvette de dimension définie.

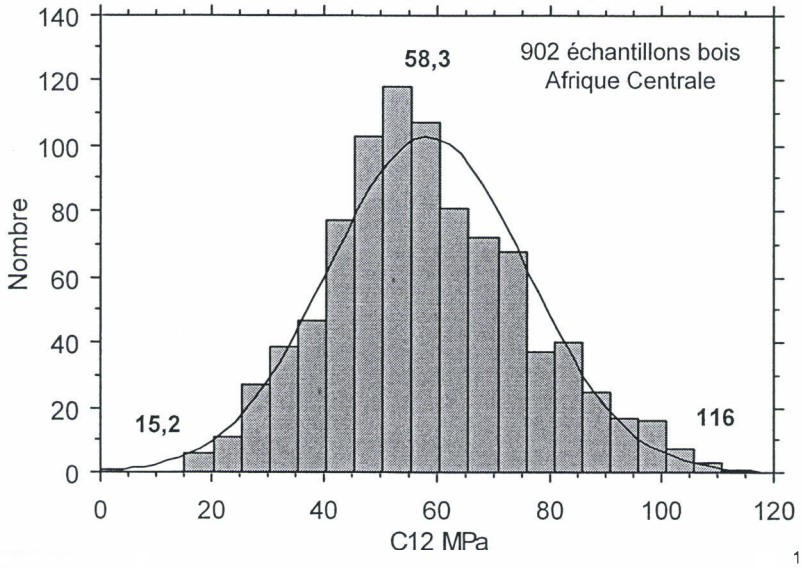
Classes de résistance en compression parallèle :

C12 < 45 MPa :	résistance faible
45 MPa < C12 < 75 MPa :	résistance moyenne
C12 > 75 MPa :	résistance élevée

CIRAD-Dist
UNITÉ BIBLIOTHÈQUE
Baillarguet

Le matériau bois / Propriétés

Variabilité contrainte rupture à la compression



19

P.LANGBOUR / 2005

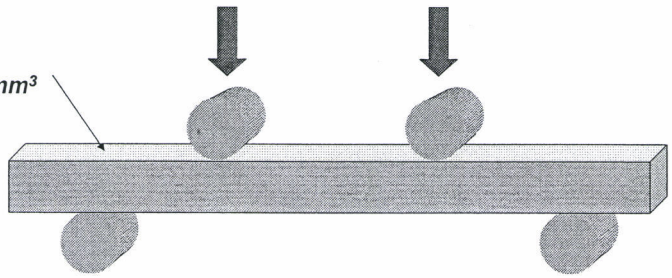
Le matériau bois / Propriétés

Contrainte de rupture en flexion statique (en MPa)

Essai de flexion 4 points

Éprouvette

360x20x20 mm³



20

P.LANGBOUR / 2005

Le matériau bois / Propriétés

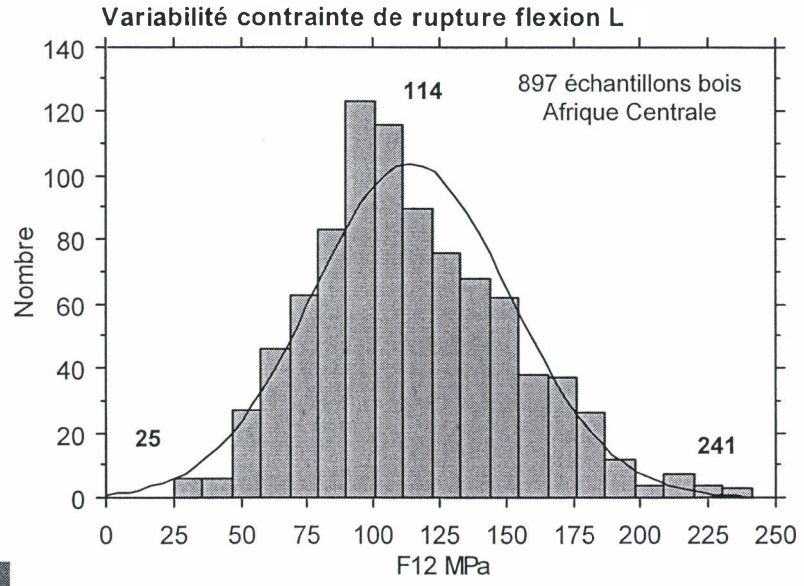
Contrainte de rupture en flexion statique (en MPa)

La résistance en flexion statique correspond à la contrainte qu'il est nécessaire d'appliquer au milieu d'une éprouvette de dimension standard reposant sur deux appuis pour arriver à sa rupture.

Classes de résistance en flexion statique :

F12 < 75 MPa :	contrainte faible
75 MPa < F12 < 125 MPa :	contrainte moyenne
F12 > 125 MPa :	contrainte élevée

Le matériau bois / Propriétés



Le matériau bois / Propriétés

Module d'élasticité longitudinal ou Module d'Young (en MPa)

Le module d'élasticité longitudinal est une propriété de première nécessité technologique pour les emplois en structure où les pièces de bois sont fréquemment sollicitées en flexion statique suivant leur plus grande direction, parallèlement aux fibres. Cette propriété caractérise la proportionnalité entre la charge et la déformation. Elle constitue un indicateur de la rigidité du bois.

Classes de module d'élasticité longitudinal :

EL< 12 500 MPa :	module faible
12 500 MPa < EL < 18 500 MPa :	module moyen
EL> 18 500 MPa :	module élevé

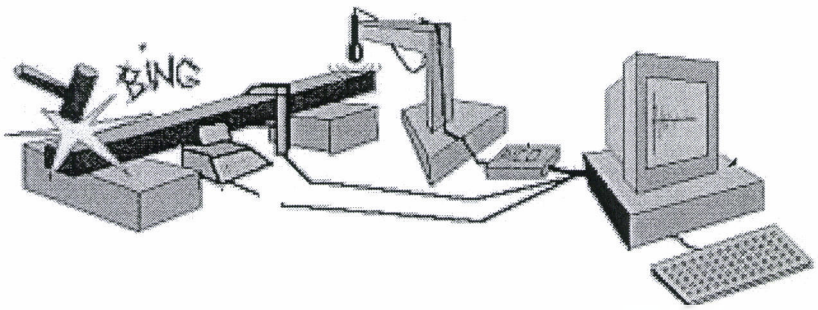
Le matériau bois / Propriétés

Méthode de mesure du module d'élasticité

- méthode statique

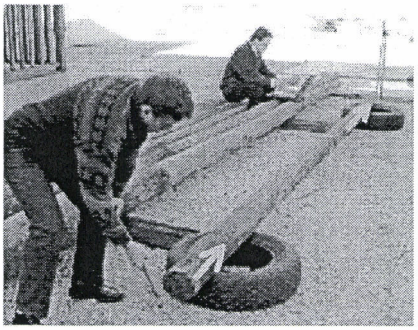
- méthode vibratoire

Principe physique (P.A.Bordonné, 1988)



Le matériau bois / Propriétés

Mesure en laboratoire



Sur le terrain

CIRAD

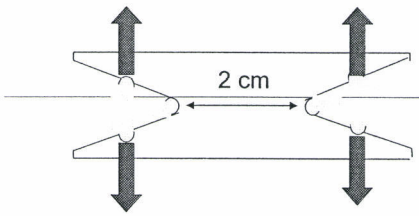
P.LANGBOUR / 2005

25

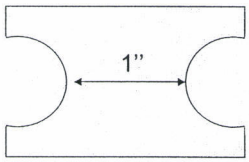
Le matériau bois
Structure et propriétés
(suite)

Le matériau bois / Propriétés

Traction transverse / perpendiculaire au fil

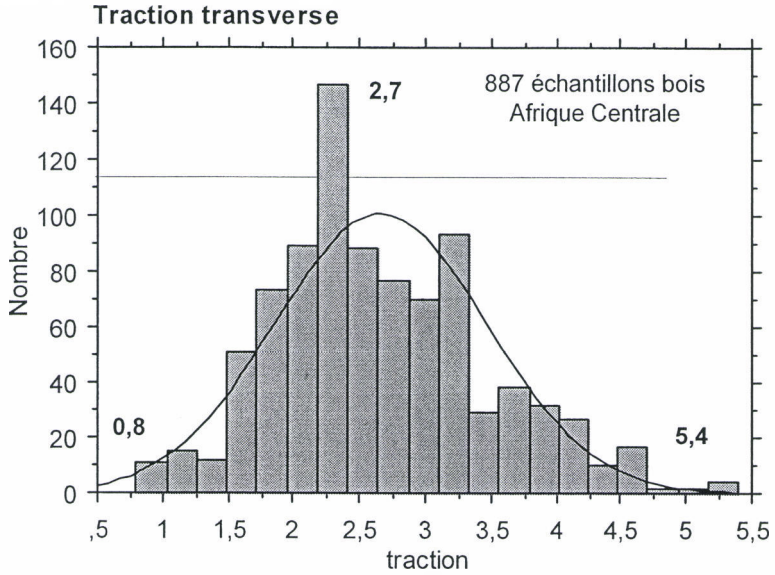


Éprouvette Afnor



Éprouvette ASTM

Le matériau bois / Propriétés

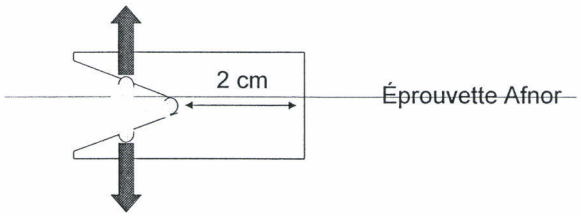


Le matériau bois / Propriétés

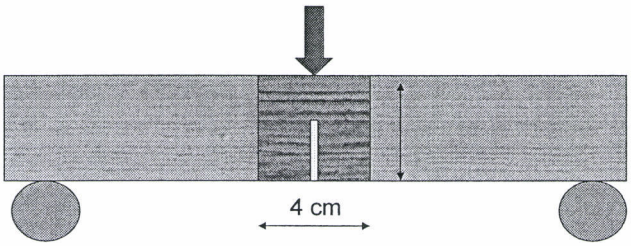
Traction transverse /	Classes de comparaison
de 1 à 2,5 :	faible
de 2,5 à 4,5 :	moyen
de 4,5 à 6,5	fort

Le matériau bois / Propriétés

Fendage / fissilité



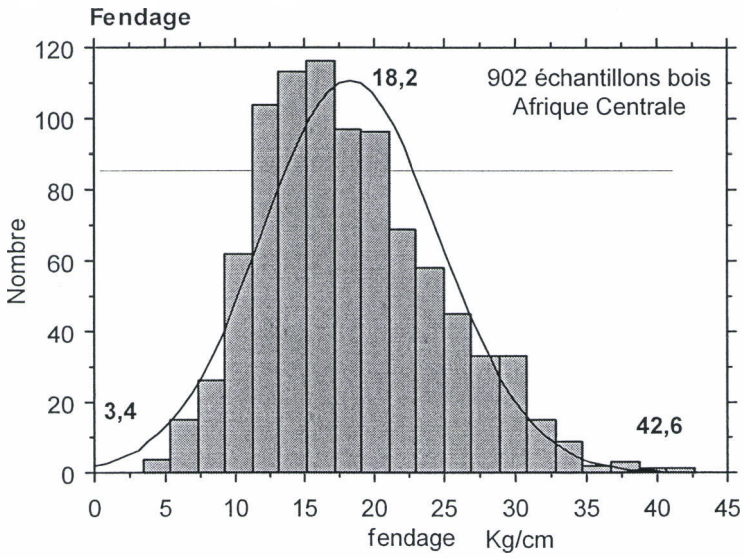
Éprouvette essai Gustafsson (1990)



5

P.LANGBOUR / 2005

Le matériau bois / Propriétés



6

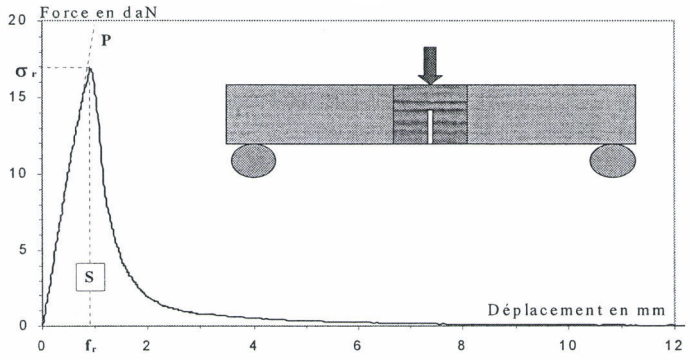
P.LANGBOUR / 2005

Le matériau bois / Propriétés

Fendage /	Classes de comparaison
<15 :	faible
15 à 30 :	moyen
> 30	fort

Le matériau bois / Propriétés

Essai Gustafsson / Tenacité = énergie mécanique nécessaire pour ouvrir une fissure préalablement existante



CIRAD-Dist
UNITÉ BIBLIOTHÈQUE
Baillarguet

Le matériau bois / Propriétés

Autres essais de qualification du matériau

Toujours effectué sur petits échantillons

Disparité des textes normatifs (EN, ASTM,…

Compte tenu des liaisons entre densité et caractéristiques

modélisation possible

- construit à partir d'un échantillonnage donné
- donne une bonne approximation des caractéristiques
- …

Le matériau bois / Propriétés

Exemple de modèle prédictif des caractéristiques du bois

Table 4–11a. Functions relating mechanical properties to specific gravity of clear, straight-grained wood (metric)

	Specific gravity–strength relationship			
	Green wood		Wood at 12% moisture content	
Property[a]	Softwoods	Hardwoods	Softwoods	Hardwoods
Static bending				
MOR (kPa)	$109{,}600\ G^{1.01}$	$118{,}700\ G^{1.16}$	$170{,}700\ G^{1.01}$	$171{,}300\ G^{0.13}$
MOE (MPa)	$16{,}100\ G^{0.76}$	$13{,}900\ G^{0.72}$	$20{,}500\ G^{0.84}$	$16{,}500\ G^{0.7}$
WML (kJ/m³)	$147\ G^{1.21}$	$229\ G^{1.52}$	$179\ G^{1.34}$	$219\ G^{1.54}$
Impact bending (N)	$353\ G^{1.35}$	$422\ G^{1.39}$	$346\ G^{1.39}$	$423\ G^{1.65}$
Compression parallel (kPa)	$49{,}700\ G^{0.94}$	$49{,}000\ G^{1.11}$	$93{,}700\ G^{2.97}$	$76{,}000\ G^{0.89}$
Compression perpendicular (kPa)	$8{,}800\ G^{0.53}$	$18{,}500\ G^{2.45}$	$16{,}500\ G^{1.57}$	$21{,}600\ G^{2.00}$
Shear parallel (kPa)	$11{,}000\ G^{0.73}$	$17{,}800\ G^{1.24}$	$16{,}600\ G^{0.85}$	$21{,}900\ G^{1.13}$
Tension perpendicular (kPa)	$3{,}600\ G^{0.76}$	$10{,}500\ G^{1.37}$	$6{,}000\ G^{1.11}$	$10{,}100\ G^{1.3}$
Side hardness (N)	$6{,}230\ G^{1.41}$	$16{,}550\ G^{2.31}$	$85{,}900\ G^{1.5}$	$15{,}300\ G^{2.00}$

Le matériau bois / Propriétés

Constantes élastiques des bois feuillus / modèle Guitard 1987

Unité MPa / (à partir de 43 feuillus)

EL	14 400 $(d/0,65)^{1,03}$
ER	1810 $(d/0,65)^{1,30}$
ET	1030 $(d/0,65)^{1,74}$
GTL	971 $(d/0,65)^{1,26}$
GLR	1260 $(d/0,65)^{1,14}$
GRT	366 $(d/0,65)^{1,74}$
ET / ν TR	2680 $(d/0,65)^{1,41}$
EL / ν LT	31200 $(d/0,65)^{1,09}$
ER / ν RL	37300 $(d/0,65)^{1,03}$

CIRAD

P.LANGBOUR / 2005

11

Le matériau bois / Propriétés

Conductivité phonique

La conductivité phonique est moyenne. Le bois est un matériau poreux ; pour du balsa, l'affaiblissement phonique est de 27 dB pour 20 mm d'épaisseur pour des sons de 1 000 Hz.
La vitesse de propagation du son dans le bois varie entre 2400 et 5000 m/s selon les essences et selon la direction des fibres.

Matériaux	Vitesse du son = m/s
Acier	5100
Béton	4000
Brique	3000
Plâtre	2400
Air	340
Bois // aux fibres _/ aux fibres	 5000 2400

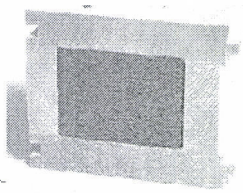
CIRAD

P.LANGBOUR / 2005

12

Le matériau bois / Propriétés

Conductivité thermique



La conductivité thermique du bois varie selon les essences, en fonction de leur densité.

La présence d'air dans les cellules du bois en fait un mauvais conducteur thermique. À titre d'exemple, la conductivité thermique d'un feuillu de densité = 0,65, est presque 10 fois inférieure à celle du béton.

Utilisé comme matériau de structure (poteau, charpente) le bois ne pose pas de problème de pont thermique. Mis en oeuvre sous forme de fibres, le bois devient même un isolant thermique.

Le matériau bois / Propriétés

Conductivité thermique

Valeur moyenne pour le bois :

λ = 0.12 W/m°C

Matériaux	Conductivité thermique = λ W/m°C
Air	0,026
Balsa	0,035
Panneaux de fibres minérales	0,035
Panneaux de particules	0,07
Contre-plaqué	0,15
Chêne	0,18 à 0,23
Brique creuse	0,45
Pierre	1,15 à 3,00
Béton	1,40 à 1,75
Acier	50
Aluminium	230

Le matériau bois / Propriétés

Quelle est la réaction du bois face au feu ?

Nous savons tous que le bois brûle. Il est un combustible et il s'enflamme assez facilement (il prend feu entre 275°c et 350°c). Contrairement à ce que nous pensons, **le bois souligne un très bon comportement face aux incendies**.

Le matériau bois / Propriétés

Il présente une faible conductivité thermique et une faible dilatation ; c'est un matériau relativement résistant à la chaleur (la transmission de la chaleur est 10 fois moindre que le béton et 250 fois moindre que l'acier). sous l'effet de la chaleur, une poutre métallique va se déformer assez rapidement et perdre ses qualités porteuses. Soumise au même conditions une poutre épaisse de bois va résister plus longtemps. En raison de ces facteurs, la résistance au feu d'un élément en bois, c'est à dire le temps pendant lequel la structure et les parois assurent leurs fonctions, est relativement bonne.

Le matériau bois / Propriétés

Le bois et le feux

Le bois résiste au feu mieux que d'autres matériaux

Le bois est certes combustible mais il est plus résistant à l'incendie que d'autres matériaux de construction. Lorsque les armatures du béton armé se déforment et font basculer la structure, le bois ne brûle que de 0,7 mm par minute (4,2 cm par heure) et la couche carbonisée forme une protection pour le cœur du bois.
Il ne se dilate que peu et la structure reste stable, même si l'incendie dure longtemps.

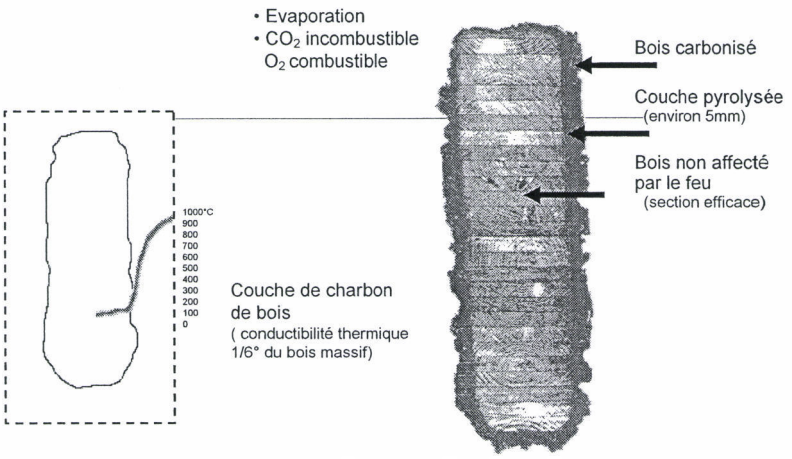
Enfin, les statistiques (Europe) montrent que le risque d'incendie n'est pas plus élevé pour les maisons en bois que pour les maisons « traditionnelles ».

CIRAD

P.LANGBOUR / 2005

17

Le matériau bois / Propriétés



On admet une vitesse de progression de la couche carbonisée de 0.7 mm/mn

CIRAD

P.LANGBOUR / 2005

18

Le matériau bois / Propriétés

Comportement au feu
trois notions essentielles sont utilisées pour apprécier le comportement au feu d'un matériau :

- le pouvoir calorifique
- la réaction au feu
- la résistance au feu

Le matériau bois / Propriétés

le pouvoir calorifique : quantité de chaleur dégagée par un kilo de bois au cours de sa combustion complète (de l'ordre de 4000 Kcal /kg à 12% d'humidité)

la réaction au feu : c'est l'aptitude du matériau, dans des conditions données, à participer par sa propre décomposition au feu auquel il est exposé.

5 classes : M0, M1, M2, M3, M4, (incombustible à facilement inflammable)
bois M3 ou M4 suivant épaisseur (18mm)
pour être classé M1 ou M2, un bois doit faire l'objet d'un traitement d'ignifugation
- dans la masse
- application d'un vernis ou d'une peinture formant un « écran »

Le matériau bois / Propriétés

La résistance au feu : c'est le temps pendant lequel un ouvrage conserve ses caractéristiques mécaniques et continue à remplir son rôle malgré l'action du feu. Un morceau de bois seul ne peut faire l'objet d'un classement en résistance au feu ; c'est l'ensemble de la structure au quel il est rattaché qui fait l'objet du classement.

les essais de résistance au feu se font sur des ouvrages dans lesquels le bois est utilisé : les éléments sont classés en 3 catégories :

- *stables au feu* : seul le critère de résistance mécanique est requis
- *pare flamme* : sont requis résistance mécanique + étanchéités aux flammes et aux gaz chauds et inflammables
- *coupe feu* : sont requis résistance mécaniques + étanchéités aux flammes et aux gaz chauds et inflammables + isolation thermique

Ses classements sont exprimés sous forme de durée 1/4h; 1/2h, 1h…

CIRAD

P.LANGBOUR / 2005

21

Le matériau bois / Propriétés

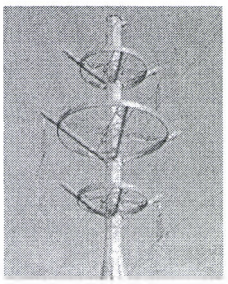
Conductivité électrique

La conductivité électrique est variable selon la teneur en eau, l'essence et la densité

Elle augmente avec l'humidité.

D'une manière générale, **le bois est un bon isolant électrique** et n'est pas ou très peu chargé électrostatique ment.

Pylone en bois support ligne haute tension



CIRAD

P.LANGBOUR / 2005

22

MATERIAU BOIS

Influence de paramètres naturels sur les propriétés du bois

Influence de l'humidité et de quelques singularités

- Fil du bois et pente du fil
- Bois juvénile
- Nœuds
- Bois de réaction
- Contraintes de croissance
- Autres irrégularités

- Singularités

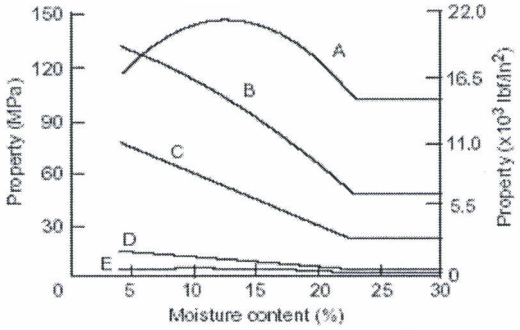
- Défauts

- Anomalies

P.LANGBOUR / 2005

3

Effet de l'humidité sur les propriétés du bois



A : traction axiale

B : flexion

C compression axiale

D : compression transverse

E : traction transverse

Les valeurs admissibles en traction et en flexion sont diminuées de 2 % par % d'humidité au-dessus de 12 %.

Pour les autres sollicitations mécaniques, cette correction est de 4% par % d'humidité.

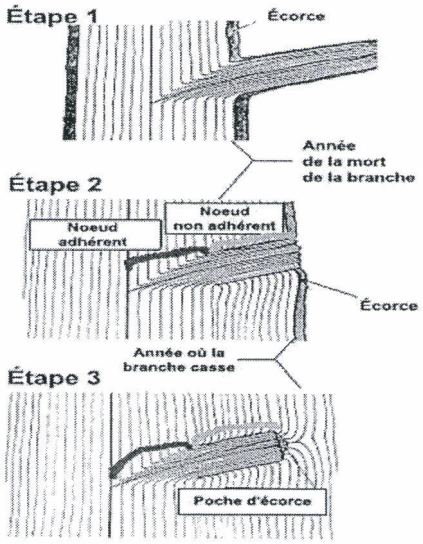
P.LANGBOUR / 2005

4

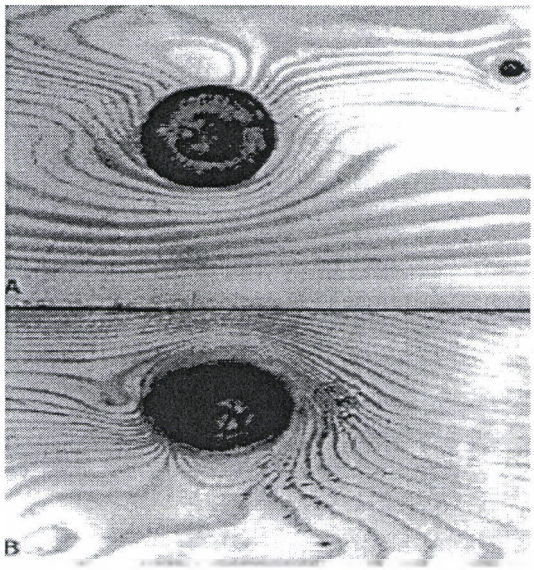
CIRAD-Dist
UNITÉ BIBLIOTHÈQUE
Baillarguet

Les noeuds

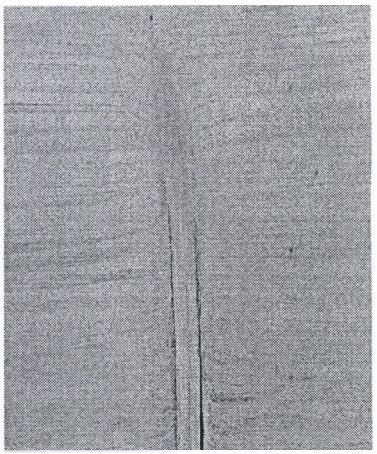
Formation des nœuds adhérents et non adhérents

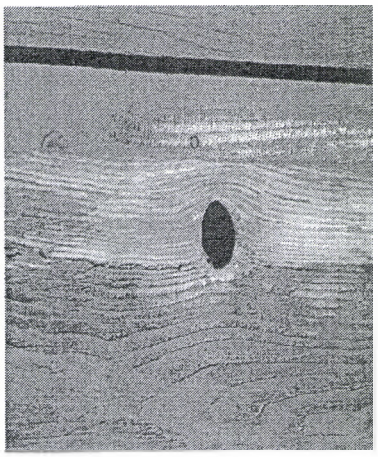


Les noeuds



Les noeuds



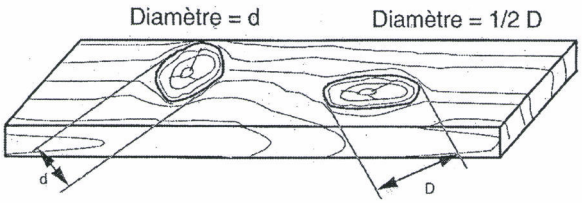


Les nœuds / critère de choix dans le processus de classement des bois

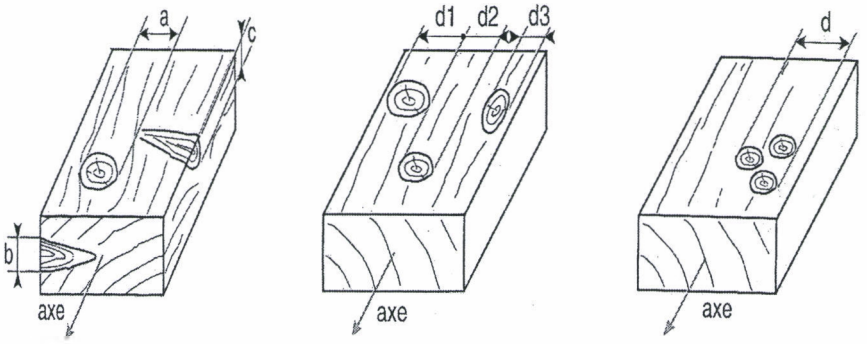
- classement visuel
- classement machine

Dans la détermination des choix, le nœud est la singularité la plus importante.
Elle est appréciée à la fois en diamètre et en nombre.
On distingue :

- le très petit nœud, égal ou inférieur à 5 mm de diamètre,
- le petit nœud : de 6 à 15 mm de diamètre,
- le nœud moyen : de 16 à 25 mm de diamètre,
- le très gros nœud : plus de 40 mm de diamètre



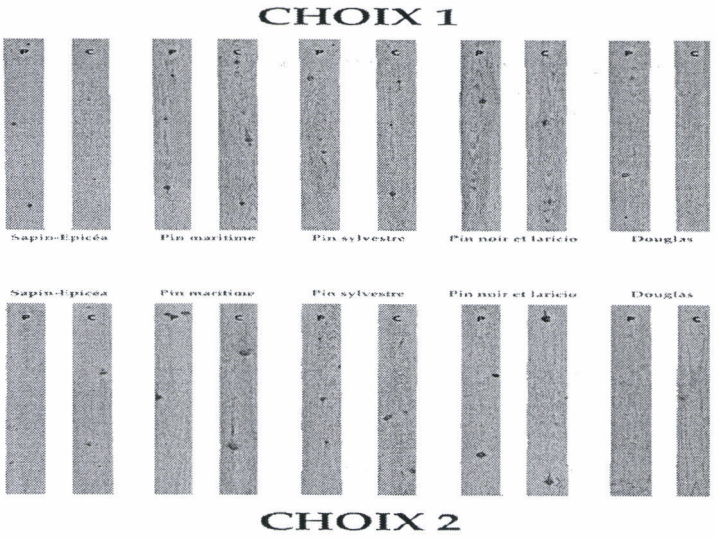
Les noeuds



P.LANGBOUR / 2005

9

Les nœuds / éléments de classement

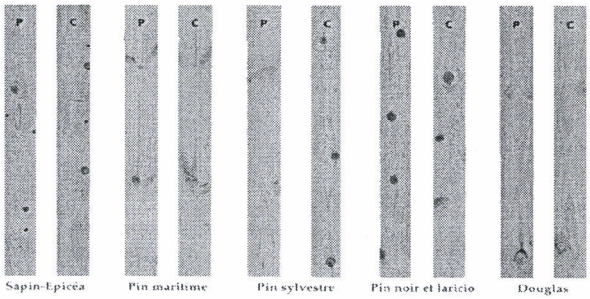


P.LANGBOUR / 2005

10

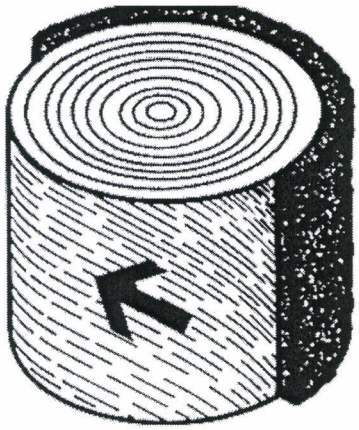
Les nœuds / éléments de classement

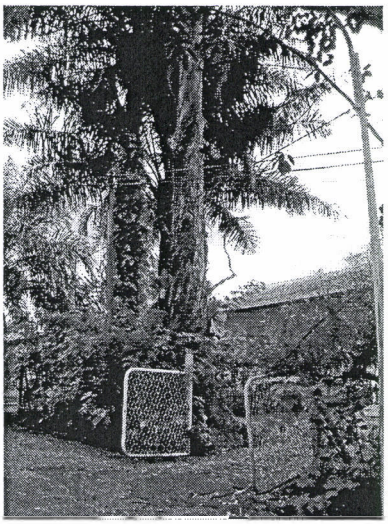
CHOIX 3A



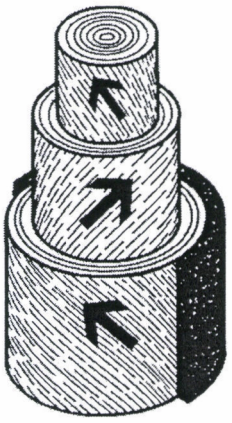
Fil du bois et pente du fil

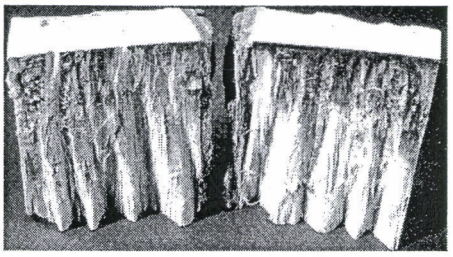
Fil spiralé





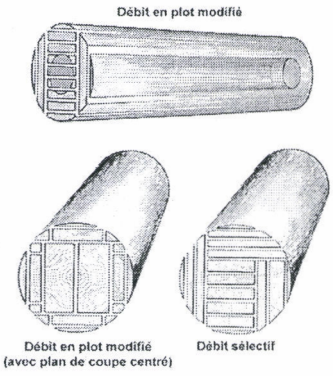
Contrefil

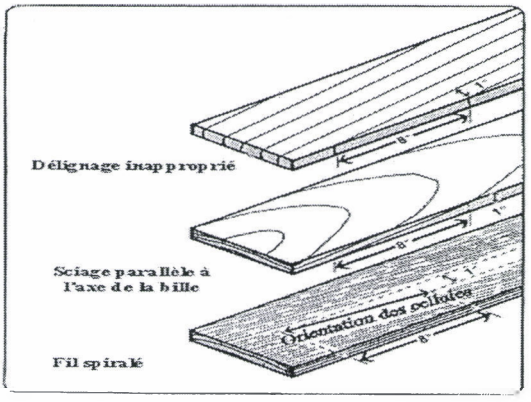




Quelques causes de fil croisé (ou pente du fil)

- Géométrie de l'arbre
- Mode de débit





Contrefil

Orientation du fil du bois

Très important pour le bois d'œuvre car si la pente du fil est forte:
- ces pièces sont plus faibles mécaniquement
- ces pièces gauchissent davantage au séchage
- le rabotage est difficile car on doit trancher le fil

Orientation du fil du bois

Formule de Hankisson

$$N = \frac{PQ}{P\sin^n\theta + Q\cos^n\theta}$$

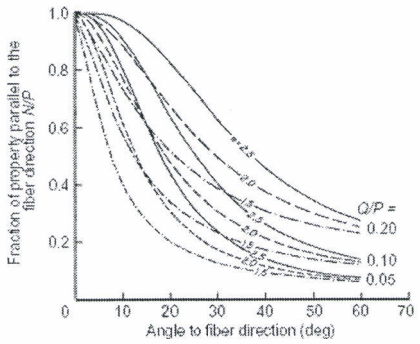
P : effort // au fil

Q : effort ⊥ au fil

n cte déterminée empiriquement

n=2 pour le module EL

n de 1,5 à 2 pour la traction, la flexion,…

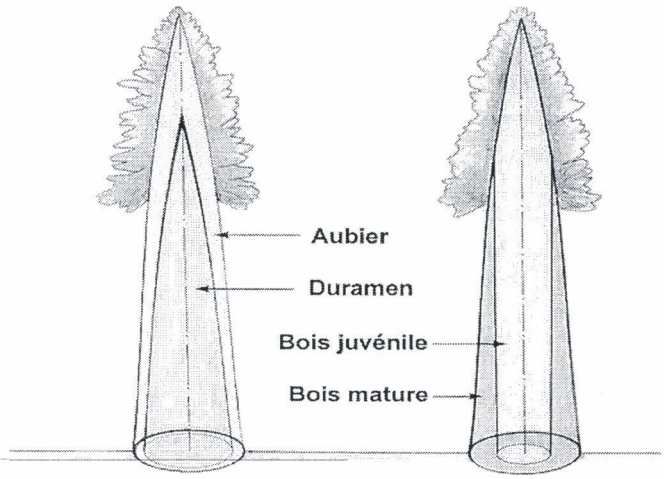


Bois juvénile et bois adulte

Le bois juvénile correspond, grossièrement, au bois produit sur quinze à vingt cernes autour de la moelle tout le long de l'arbre. Il s'agit d'un processus progressif de maturation des caractéristiques des cellules de la moelle vers l'écorce.
Les caractéristiques du bois juvénile sont différentes de celles du bois adulte en ce qui concerne l'anatomie, les propriétés physiques du bois, la composition chimique et la résistance mécanique.
La masse volumique globalement plus faible,
la différenciation entre le bois de printemps et le bois d'été moins nette,
le retrait longitudinal plus élevé,
la longueur et la largeur de fibres moins importantes
les teneurs en lignine et extraits plus fortes.

CIRAD
P.LANGBOUR / 2005
17

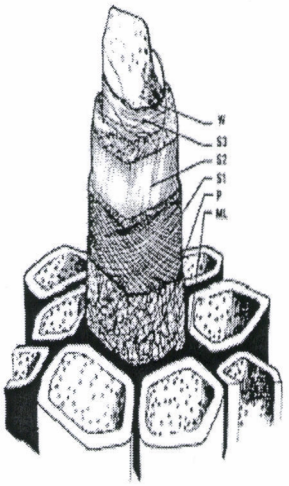
Bois juvénile

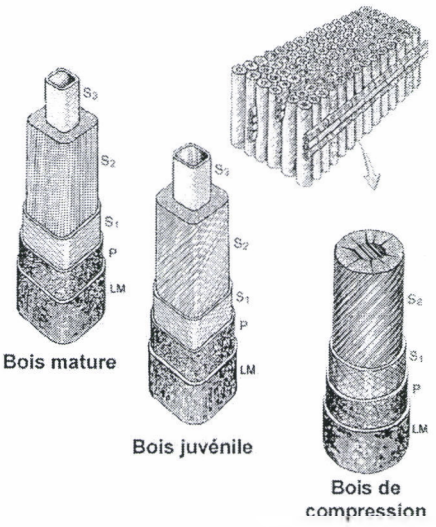


CIRAD
P.LANGBOUR / 2005
18

CIRAD-Dist
UNITÉ BIBLIOTHÈQUE
Baillarguet

Bois juvénile





CIRAD

P.LANGBOUR / 2005

19

Bois juvénile

Caractéristiques différentes

- masse volumique plus faible
- fibres plus courtes
- angle des microfibrilles plus fort
- teneur en cellulose plus faible

… que le bois adulte (ou mature)

CIRAD

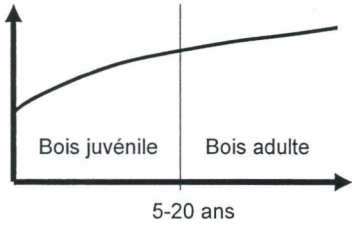
P.LANGBOUR / 2005

20

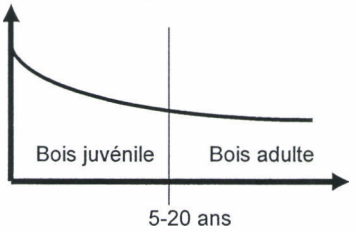
Bois juvénile

Résineux

Longueur des fibres



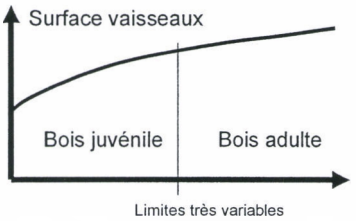
Retrait L, Angle microfib



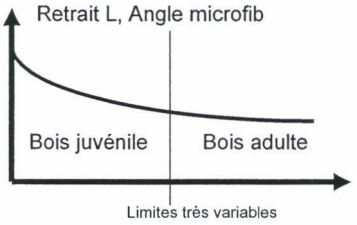
Feuillus

Longueur des fibres

Surface vaisseaux



Retrait L, Angle microfib



Bois de réaction

C'est un bois produit sous l'effet d'une contrainte mécanique.

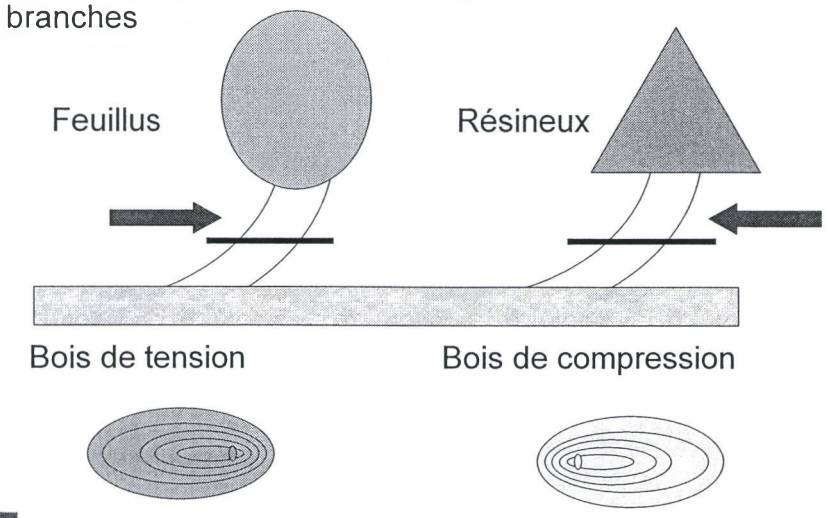
Chez les résineux :
- le bois de réaction est produit sous l'effet d'une contrainte de compression; on l'appelle bois de compression.

Chez les feuillus :
- le bois de réaction est produit sous l'effet d'une contrainte de tension; on l'appelle bois de tension.

Caractéristiques:

- branches et tiges courbées
- moelle excentrée
- retrait longitudinal beaucoup plus fort que pour le bois normal

Bois de réaction
Phénomène observé sur les tiges et les branches



Bois de réaction

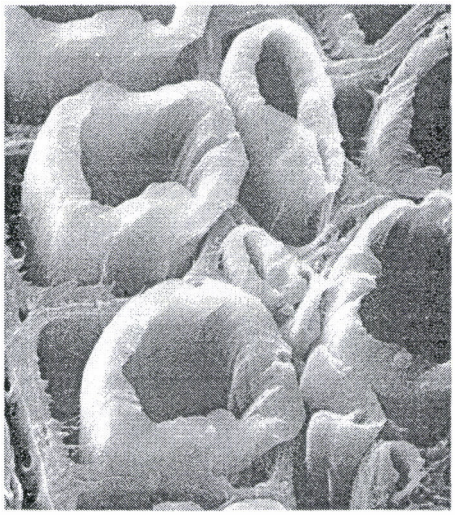
C'est un bois produit sous l'effet d'une contrainte mécanique.

Chez les résineux :
- le bois de réaction est produit sous l'effet d'une contrainte de compression; on l'appelle bois de compression.

Chez les feuillus :
- le bois de réaction est produit sous l'effet d'une contrainte de tension; on l'appelle bois de tension.

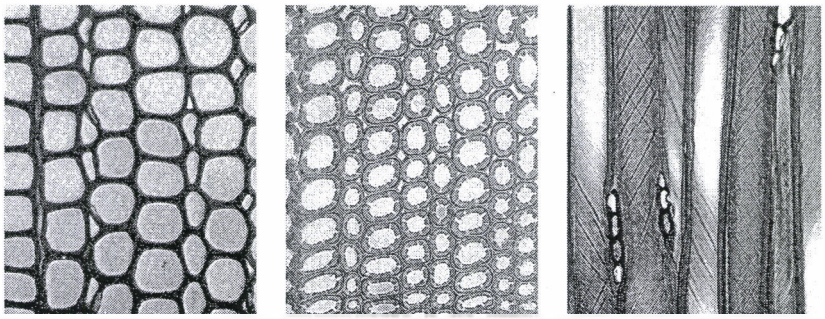
Caractéristiques:
- branches et tiges courbées
- moelle excentrée
- retrait longitudinal beaucoup plus fort que pour le bois normal

Bois de réaction



Bois de tension chez peuplier

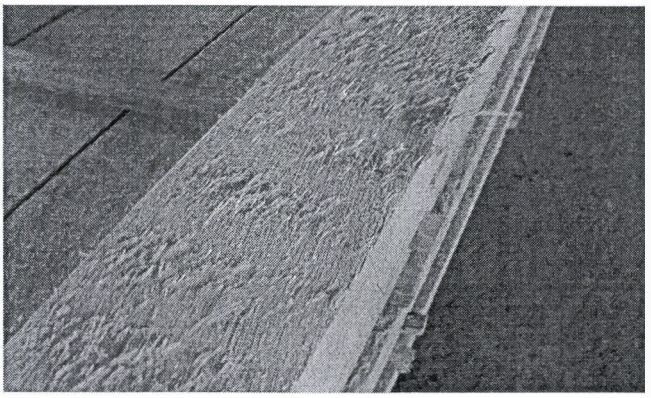
Bois de réaction



Bois normal – bois de compression chez un résineux

Bois de réaction

Phénomène de « peluchage » des fibres



Contraintes de croissance

Contraintes de tensions et de compressions liées à la maturation de la paroi des cellules nouvellement crées au niveau du cambium et qui viennent s'accumulées sur les « anciennes » cellules.

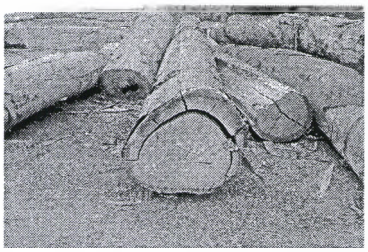
Phénomène utile pour la structure « arbre » qui génère des problèmes lors de la transformation de l'arbre (éclatement à l'abattage, déformation des débits,....)

Contraintes de croissance

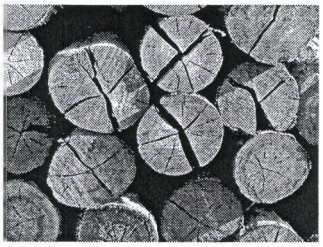
Phénomène probablement utile à l'arbre pour l'aider à tenir debout

Phénomènes qui génére des désordre sur le bois une fois l'abattage

- fente importante sur grume
- déformation des débits
- association avec bois de réaction
- la qualité des produits (sciages) destinés à la structure est affecté



Grumes d'okoumé



Grumes d'eucalyptus

CIRAD

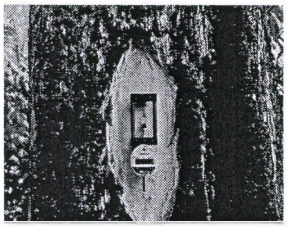
P LANGBOUR / 2005

29

Contraintes de croissance

Petite technique d'évaluation du problème sur des arbres sur pied

Méthode du trou : on installe des pointes et on mesure avant et après perçage d'un trou le déplacement relatif de ces pointes.



CIRAD

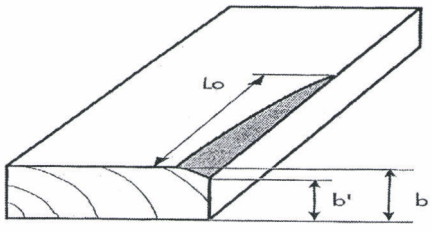
P LANGBOUR / 2005

30

Les flaches

Singularité liée au débit, la flache est la portion visible sur l'avivé de la surface de la grume d'où provient la pièce. Les flaches sont caractérisées par :

- leur longueur (Lo) qui est la plus grande distance entre les extrémités de la flache
- leur largeur, qui est la différence maximale (b-b') entre les dimensions en largeur des côtés



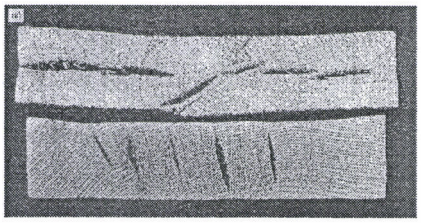
Les fentes

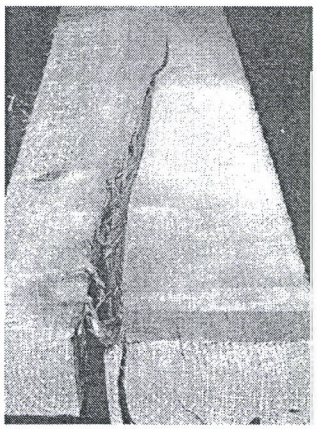
Il y a lieu de distinguer les fentes de cœur -ou en bout-, des gerces de séchage.

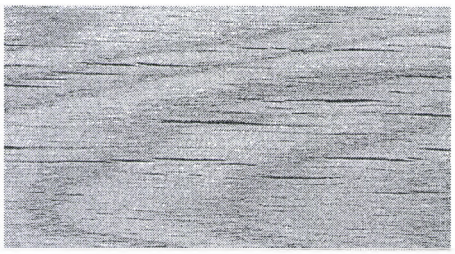
Les fentes de cœur ou en bout présentes sur une pièce de sciage peuvent être, soit superficielles, soit profondes.
Une fente est dite superficielle lorsque sa profondeur n'excède pas 5 mm pour les pièces de bois dont l'épaisseur ne dépasse pas 50 mm, 10 mm pour celles d'une épaisseur supérieure à 50 mm.

Les gerces ou fentes de retrait se produisent lors du séchage du bois. Elles se présentent comme des fentes étroites orientées souvent suivant le plan radial.
Elles s'apprécient en fonction de leur longueur et de leur profondeur.

Les fentes





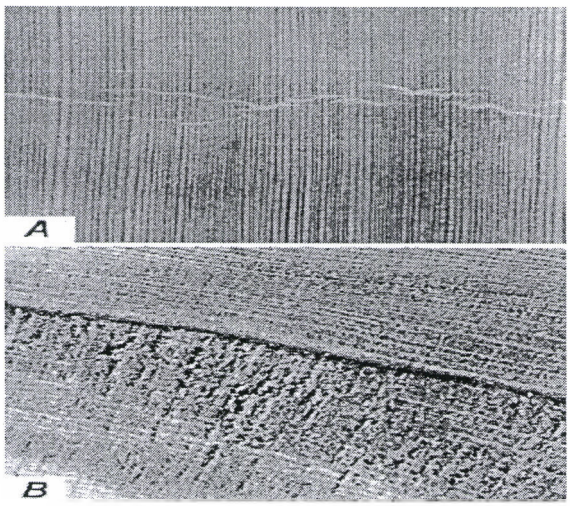


CIRAD

P.LANGBOUR / 2005

33

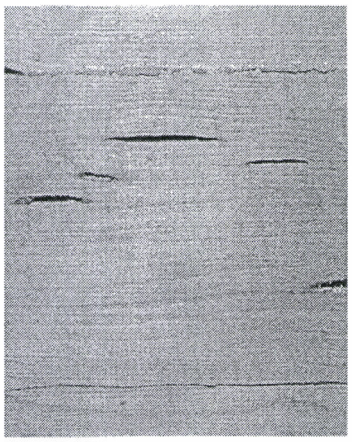
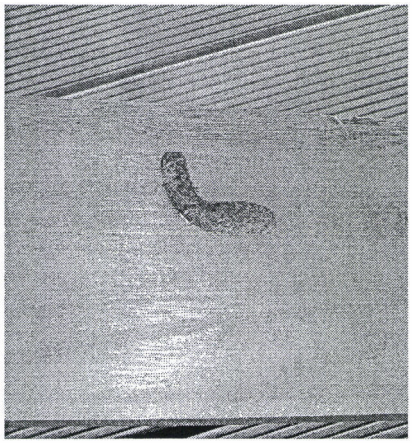
Coup de vent



CIRAD

P.LANGBOUR / 2005

34

CIRAD-Dist
UNITÉ BIBLIOTHÈQUE
Baillarguet

Poches de résines, de gommes , trous insectes