



# Enseignement supérieur Sensibilisation Construction Bois

avec le soutien du  
**CODIFAB**  
comité professionnel de développement  
des industries françaises de l'ameublement et du bois

FCBA - Pôle Industries bois et construction

Novembre 2019



## 1<sup>ère</sup> partie : Matériau bois - construction

- Le bois, éco-matériau
- Ressource forestière
- Constitution du bois
- Singularités du bois
- Propriétés physiques
- Propriétés mécaniques
- Durabilité du bois



## 2<sup>ème</sup> partie: Construction bois

- Systèmes constructifs bois
- Contexte normatif et réglementaire en construction
- Produits de construction bois
- Principes de calcul des structures bois
- Assemblages des structures bois
- Constructions bois en situation d'incendie
- Catalogue construction bois





# 1<sup>ère</sup> partie : Matériau bois - construction



# Le bois, éco-matériau

# Le bois, éco-matériau

## Matière première issue de ressources durablement renouvelables

- Les forêts contribuent au maintien de la biodiversité ainsi qu'à la lutte contre la désertification et contre le réchauffement climatique.
- La production du bois par les arbres fonctionne comme une « pompe à CO<sub>2</sub> »
- La transformation du bois en matériau de construction consomme peu d'énergie.

## Matériau de construction présentant des qualités techniques et performances durables dans le temps

- Excellent rapport performance mécanique/masse
- Bon isolant thermique
- Usinage aisé et souplesse d'utilisation qui facilitent la réalisation de formes complexes
- Compétitivité des systèmes constructifs à base de bois liée à l'association industrialisation/ingénierie

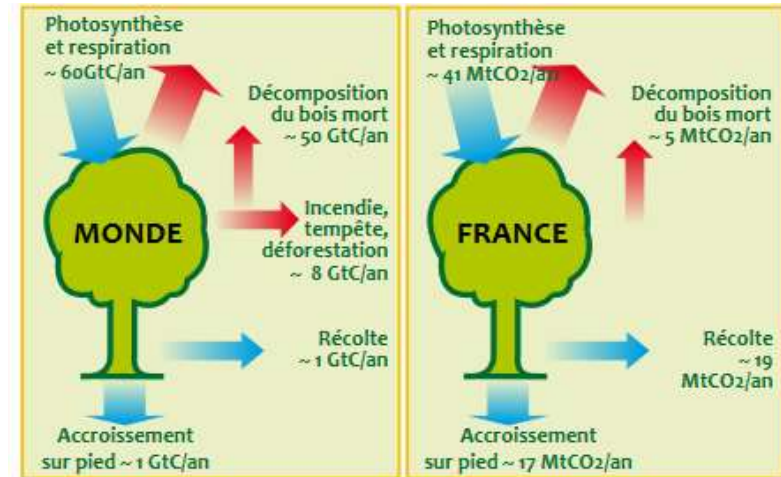
# Le bois, éco-matériau

**Captation :** Par la photosynthèse, la forêt capte le CO<sub>2</sub> atmosphérique et le transforme en C.

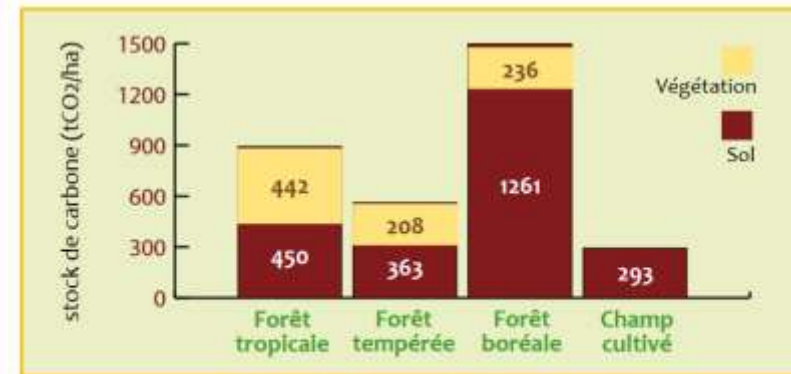
**Stockage :** La forêt et les produits de la forêt stockent le C ainsi capté.

**Substitution :** L'utilisation du bois construction et du bois énergie génère moins d'émissions de CO<sub>2</sub> fossile que les produits/combustibles traditionnels qu'ils peuvent remplacer

1 tonne (t) de C = 3,66 t de CO<sub>2</sub> (C = 12, O =16, CO<sub>2</sub> = 44)  
1m<sup>3</sup> de bois = 1 tonne de CO<sub>2</sub>



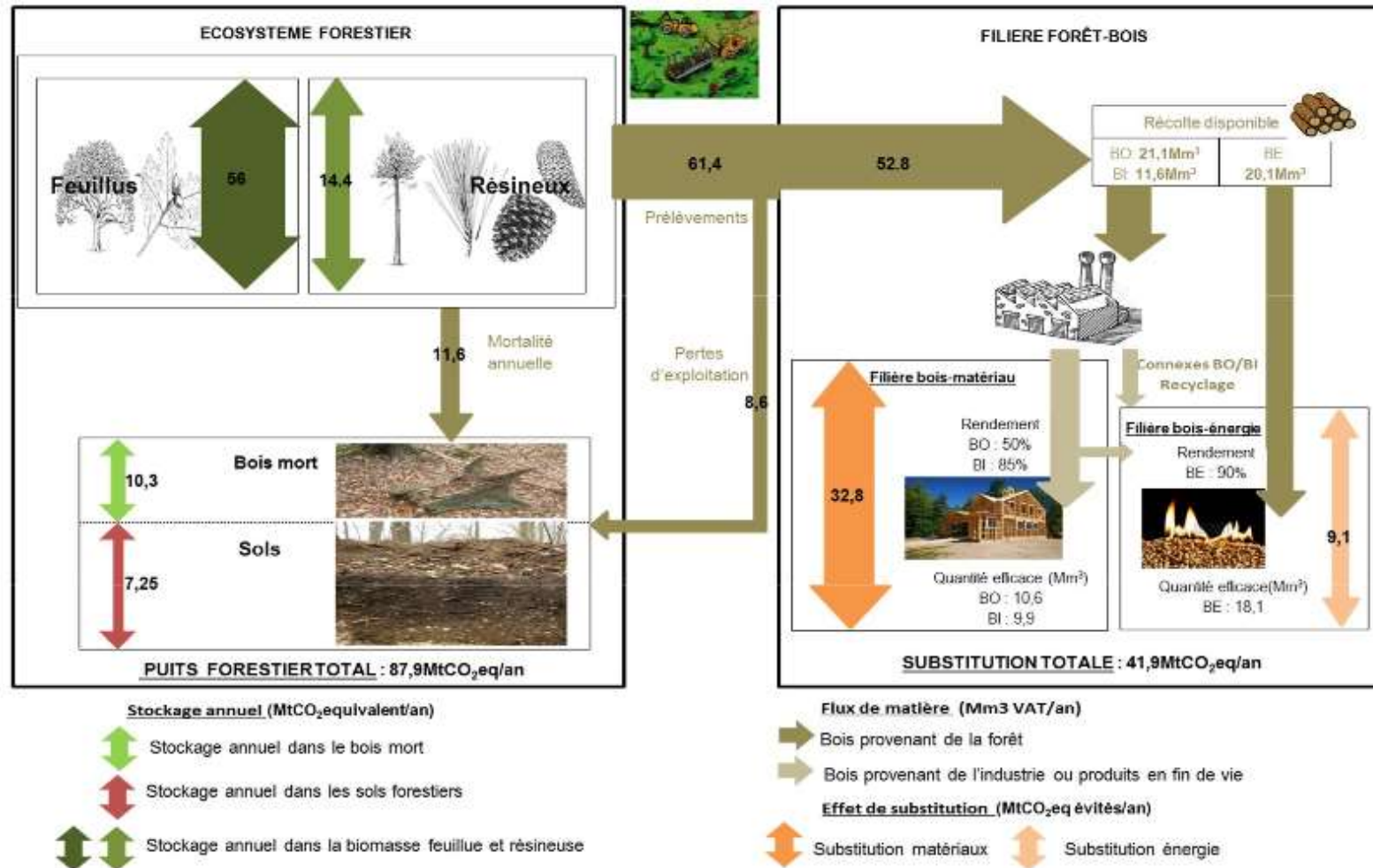
Sources: GIEC, CITEPA



Source Watson et al, Land use, Land use change and forestry, IPCC Special Report



# Le bois, éco-matériau



\* La variation de stock de carbone dans les produits bois a été estimée à 0 et -0,1 MtCO<sub>2</sub>eq/an pour BO et BI respectivement et n'apparaît donc pas dans les flux de CO<sub>2</sub> de la filière en 2013

Figure 1.1 – Flux de matière et de CO<sub>2</sub> aux différents stades de la filière forêt-bois française en 2013

(VAT = Volume aérien total, BO = Bois d'œuvre, BI = Bois d'industrie, BE = Bois énergie)



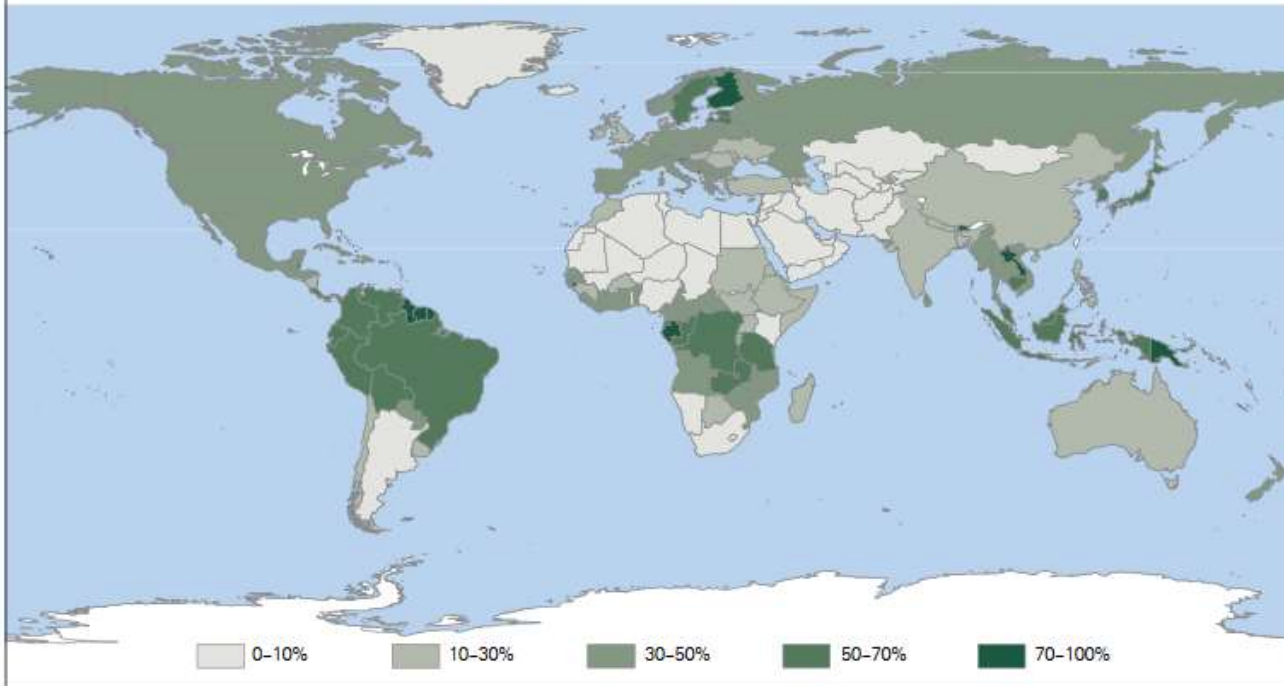


# La ressource forestière

# Ressource forestière

## La ressource forestière mondiale

FIGURE 3 Pourcentage de superficie forestière par rapport à la superficie terrestre totale en 2015



Source : Food and Agriculture Organisation (FAO) - 2015

Répartition par continent des superficies forestières mondiales (en millions d'hectares)

	Surface	en %
Afrique	621	16%
Amérique du Nord et Centrale	751	19%
Amérique du Sud	840	21%
Asie - Océanie	768	19%
Europe (hors pays de l'ex-URSS)	181	5%
Ex-URSS	835	20%
<b>Total</b>	<b>3 995</b>	<b>100%</b>

Production de produits forestiers

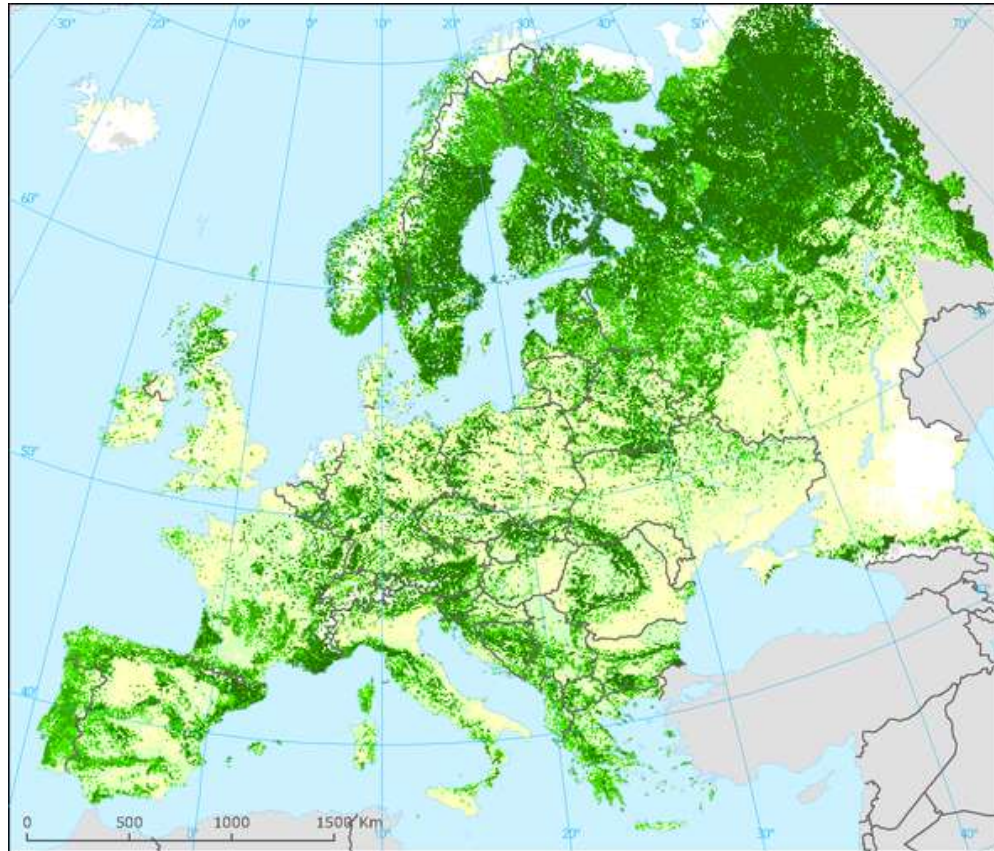
	Bois de feu Charbon de bois Mm <sup>3</sup> sous écorce	Récolte bois ronds Mm <sup>3</sup> sous écorce (2)	Production sciages Mm <sup>3</sup> sous écorce
Afrique	678	72	10
Amérique du Nord et Centrale	154	521	135
Amérique du Sud	169	231	30
Asie - Océanie	731	478	146
Europe (hors pays de l'ex-URSS)	120	384	116
Ex-URSS	37	220	47
<b>Total</b>	<b>1 889</b>	<b>1 906</b>	<b>485</b>

La FAO applique un seuil de couvert arboré de 10 % pour définir toutes les forêts  
 (1) La FAO prend en compte le volume de la tige jusqu'au bourgeon terminal (découpe 0)  
 (2) Récolte pour usage industriel hors énergie

Sources : Forest Resource Assessment e-FRA 2019  
 FAO e-ForestStat 2019

# Ressource forestière

## La ressource forestière européenne



Source : [www.eea.europa.eu](http://www.eea.europa.eu)

Surfaces des forêts 2016 ; volumes 2015 ; récolte de bois ronds et production de sciages 2017

	Surface totale M d'ha	Surface forêts M d'ha	Volume forêts Mm <sup>3</sup> (1)	Récolte bois ronds Mm <sup>3</sup> (2)	Production sciages Mm <sup>3</sup> sous écorce
Allemagne	35,7	11,4	3 663	43,6	23,2
Autriche	8,4	3,9	1 155	12,7	9,6
Belgique	3,0	0,7	188	4,5	1,7
Bulgarie	11,1	3,8	699	3,2	0,8
Chypre	0,9	0,2	11	0,0	0,0
Croatie	5,7	1,9	415	3,4	1,6
Danemark	4,3	0,6	120	1,8	0,4
Espagne	50,5	18,5	1 212	14,6	2,4
Estonie	4,5	2,2	476	6,8	1,7
Finlande	33,8	22,2	2 320	55,3	11,7
France	54,9	17,1	2 935	25,3	8,1
Grèce	13,2	4,1	193	0,4	0,1
Hongrie	9,3	2,1	377	3,0	0,5
Irlande	7,0	0,8	117	2,7	1,0
Italie	30,1	9,4	1 385	2,1	1,5
Lettonie	6,4	3,4	665	10,7	3,9
Lituanie	6,5	2,2	515	4,8	1,3
Luxembourg	0,3	0,1	26	0,3	0,1
Malte	0,0	0,0	0	0,0	0,0
Pays-Bas	4,2	0,4	81	0,8	0,2
Pologne	31,3	9,5	2 540	40,1	5,2
Portugal	9,2	3,2	0	12,5	0,8
République Tchèque	7,9	2,7	791	17,0	4,3
Roumanie	23,8	6,9	1 930	10,7	5,6
Royaume-Uni	24,4	3,2	652	8,8	3,8
Slovaquie	4,9	1,9	532	8,8	1,7
Slovénie	2,0	1,2	432	3,5	0,8
Suède	45,0	28,1	2 989	68,5	18,4
<b>Total europe des 27</b>	<b>435,0</b>	<b>161,5</b>	<b>26 419</b>	<b>365,9</b>	<b>110,5</b>
Norvège	32,4	12,1	1 157	10,5	2,7
Suisse	4,1	1,3	442	2,8	1,2

La FAO applique un seuil de couvert arboré de 10 % pour définir toutes les forêts

(1) La FAO prend en compte le volume de la tige jusqu'au bourgeon terminal (découpe o)

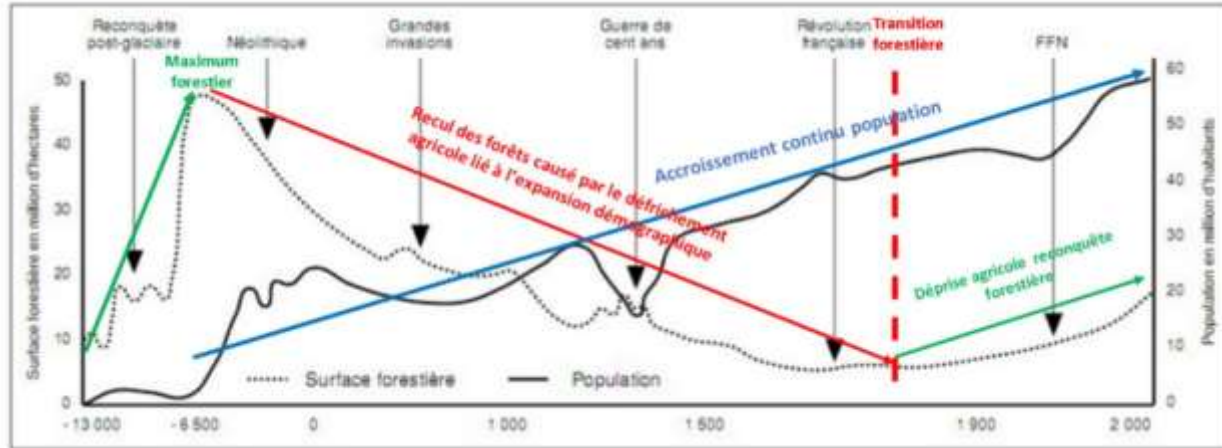
(2) Récolte pour usage industriel hors énergie Sources : Forest Resource Assessment e-FRA 2019

FAO e-Forest Stat 2019



# Ressource forestière

## La ressource forestière en France

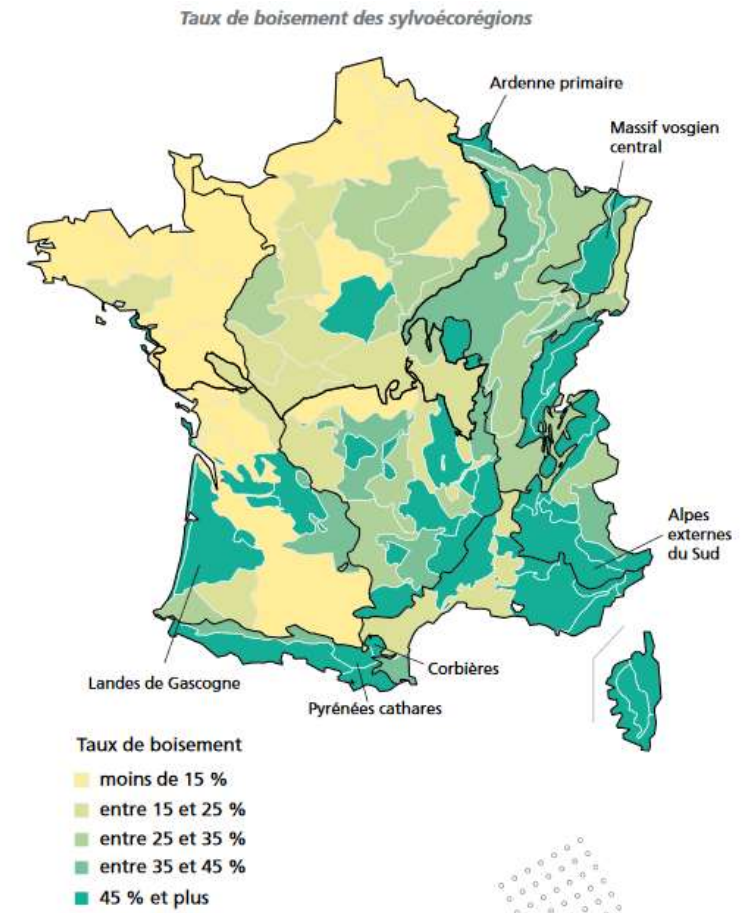


Source : D'après Gandant, in Escurat, (1995a)

vers 1800 : 7 millions d'hectares de forêts en France  
Transition forestière : replantations sur les parcelles récemment coupées et plantations sur des territoires non encore dédiés à la forêt (ex forêt des landes : 1 million d'hectares plantés de pin maritime).

2018 : 16,9 millions d'hectares soit 31 % du territoire de France métropolitaine.

(2<sup>ème</sup> occupation du sol la plus importante après l'agriculture qui couvre plus de la moitié du territoire)

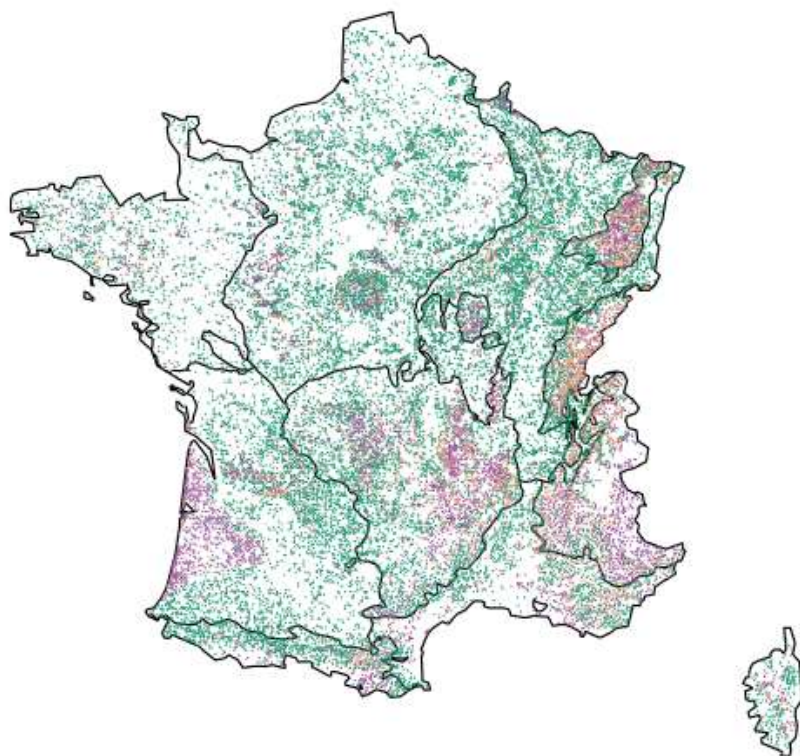


Source : Inventaire Forestier National 2018

# Ressource forestière

## La ressource forestière en France

Répartition de la composition des peuplements en France métropolitaine

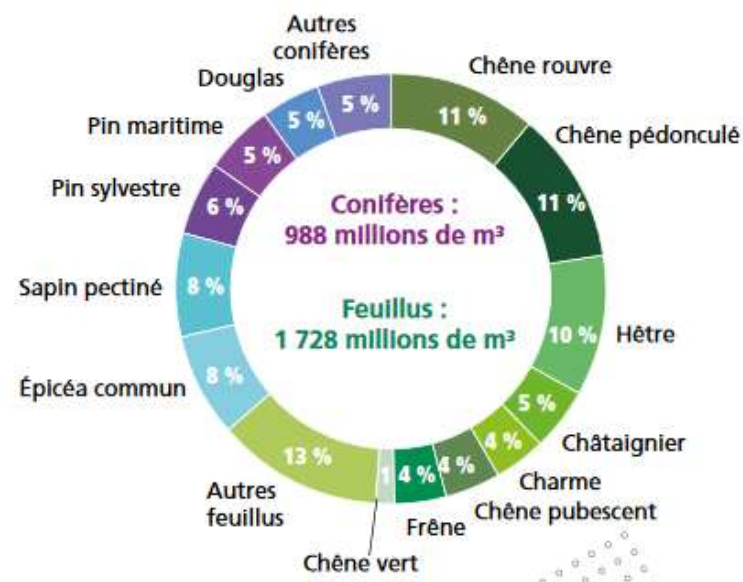


75% forêt privée

- ◆ Peuplement de feuillus : 67 %
- ◆ Peuplement de conifères : 21 %
- ◆ Peuplement mixte : 12 %

Source : Inventaire Forestier National 2018

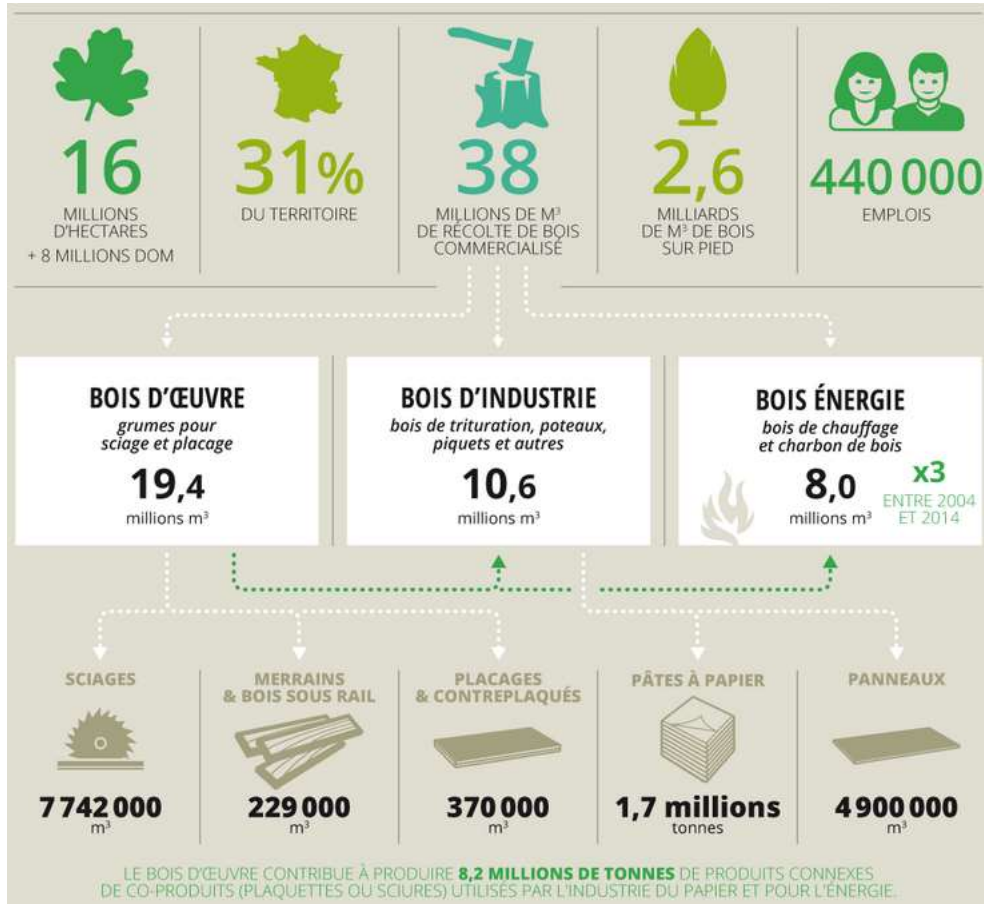
Répartition du volume de bois vivant sur pied par essence



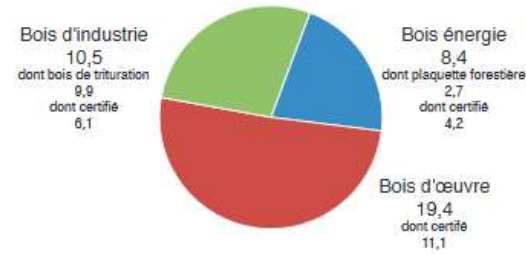
Source : Inventaire Forestier National 2018

# Ressource forestière

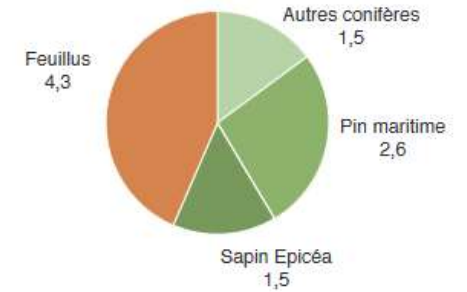
## La filière bois forêt en France



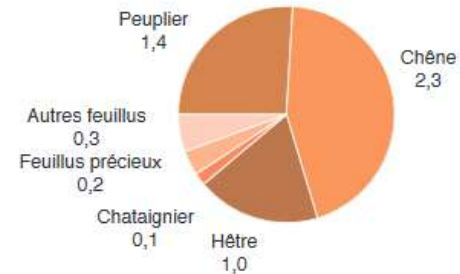
Récolte totale : 38,3 Mm<sup>3</sup>\*



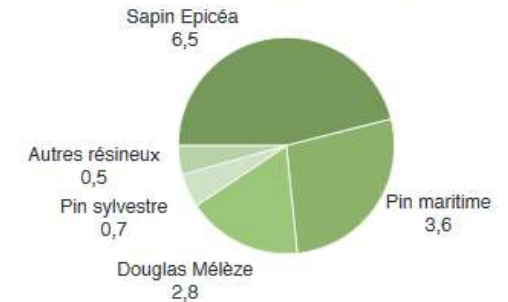
Bois de trituration : 9,9 Mm<sup>3</sup>



Bois d'œuvre feuillus : 5,3 Mm<sup>3</sup>



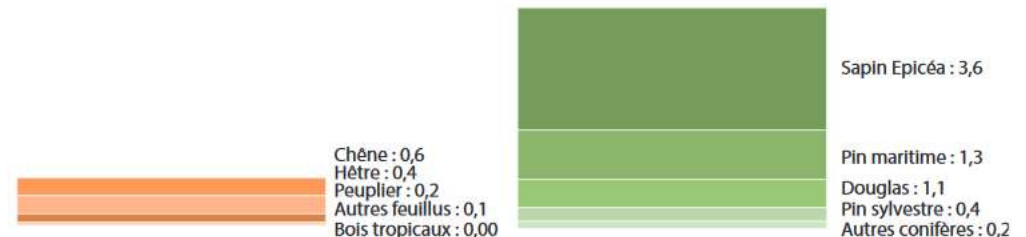
Bois d'œuvre résineux : 14,1 Mm<sup>3</sup>



Production des scieries en 2017 (hors bois sous rail et merrains) total : 8 Mm<sup>3</sup>

Sciages feuillus 1,4 Mm<sup>3</sup>

Sciages résineux 6,6 Mm<sup>3</sup>



Sources : Agreste - e-DISAR 2019 - Enquête annuelle de branche exploitation forestière et scierie 2016



# Ressource forestière

## Gestion durable des forêts



### Forest Stewardship Council

(Conseil de Soutien de la Forêt)

Créé par des associations et des ONG en 1992 dans le but de prévenir la destruction des forêts tropicales

(196 Mha de forêts certifiées FSC dans le monde, 0,034 Mha en France)



### Programme of the Endorsement of Forest Certification

(Programme de Reconnaissance des Certifications Forestières)

Créé en 1999 par les professionnels du bois et de la forêt pour la ressource européenne et élargi en 2004

(303 Mha certifiés PEFC dans le monde, 5,8 Mha en France)

### Les deux labels ont en commun :

- une **démarche volontaire** du producteur forestier
- des principes de la **gestion durable** des forêts : respect des ressources, multifonctionnalité, gestion à long terme,...
- l'intégration d'une **progression dans le temps** vers cette gestion durable, vu qu'une forêt ne se transforme pas du jour au lendemain
- un système de **contrôle externe** et une participation des milieux concernés par la forêt dans le processus de certification

L'attribution du label **FSC** se base sur un **engagement et une pratique déjà concrétisés** par des choix de gestion forestière et par un plan de gestion.

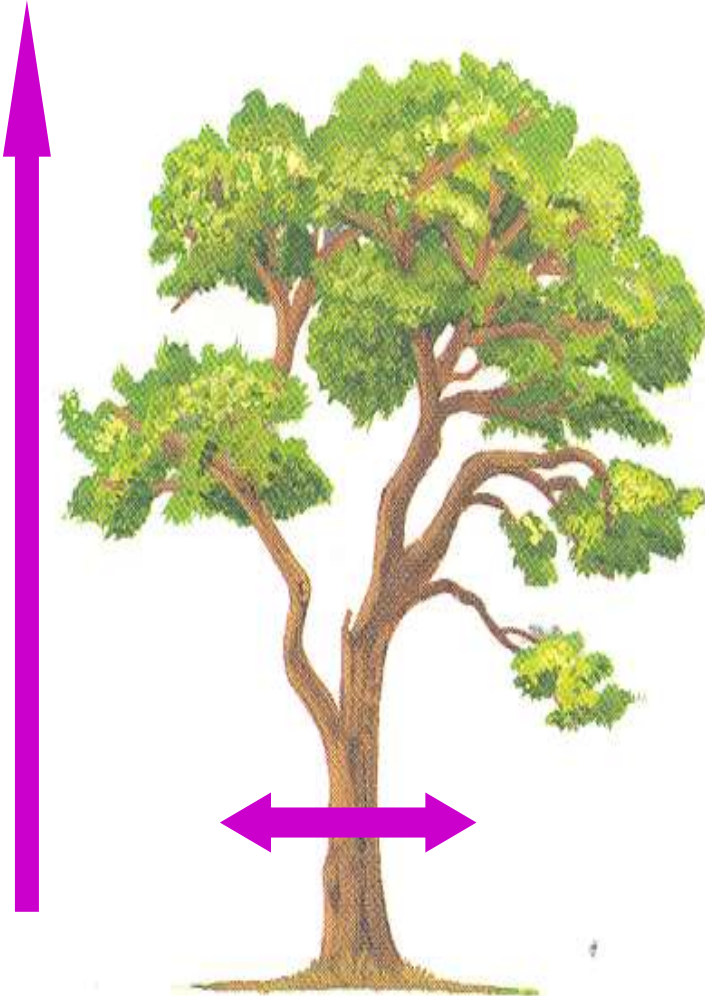
Le label **PEFC** est accordé sur la base d'un **engagement incluant le contrôle**.



# Constitution du bois

# Constitution du bois

## Formation et croissance du bois



**Accroissement :**  
*en hauteur*  
*en diamètre.*

**Bois = ensemble de tissus de consistance  
± dure formant la masse principale du  
corps de l'arbre.**

**Matériau hétérogène mais organisé**



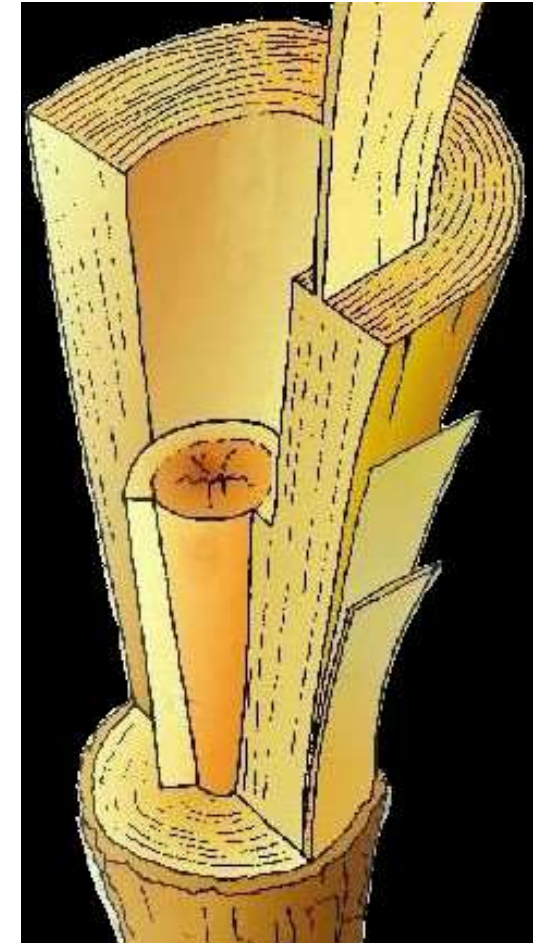
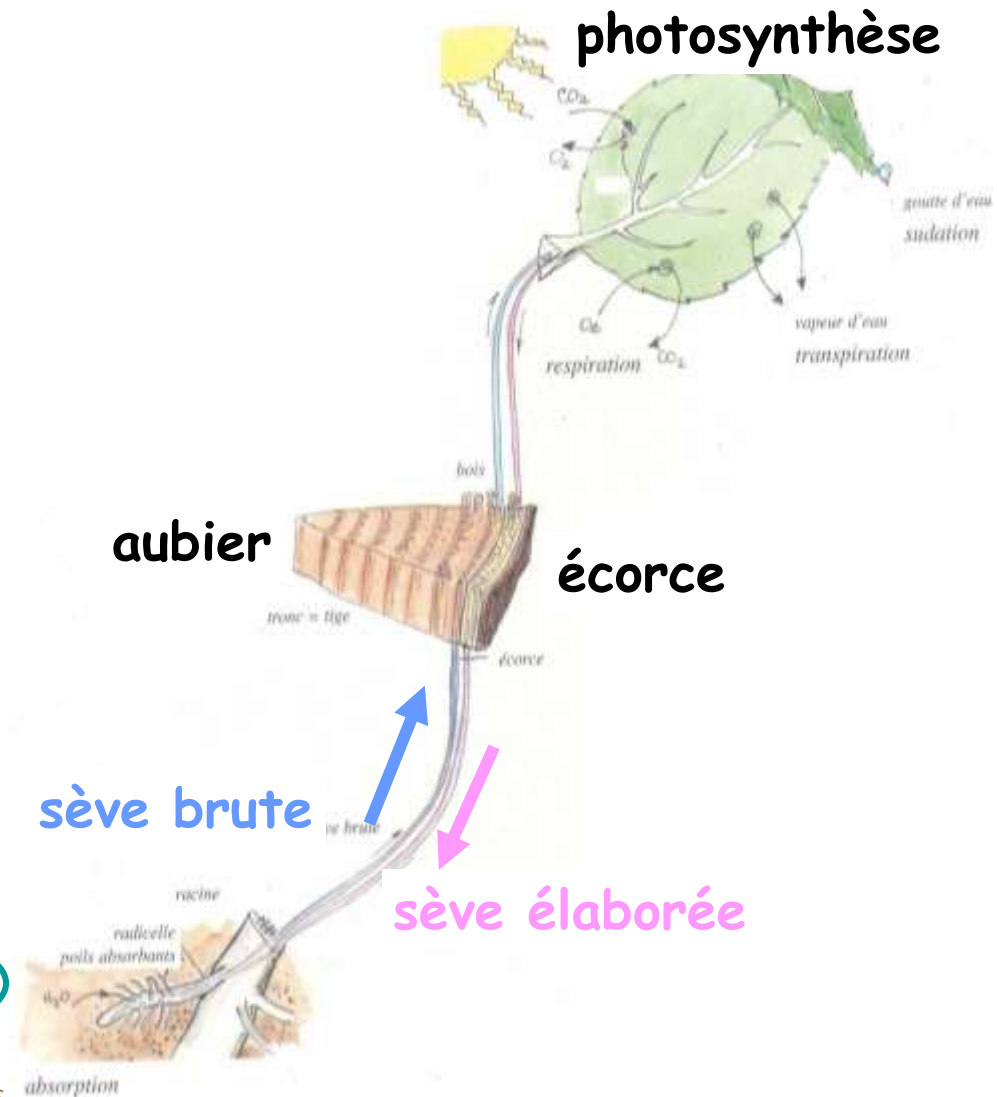
# Constitution du bois

## Formation et croissance du bois

Gaz carbonique  
Lumière

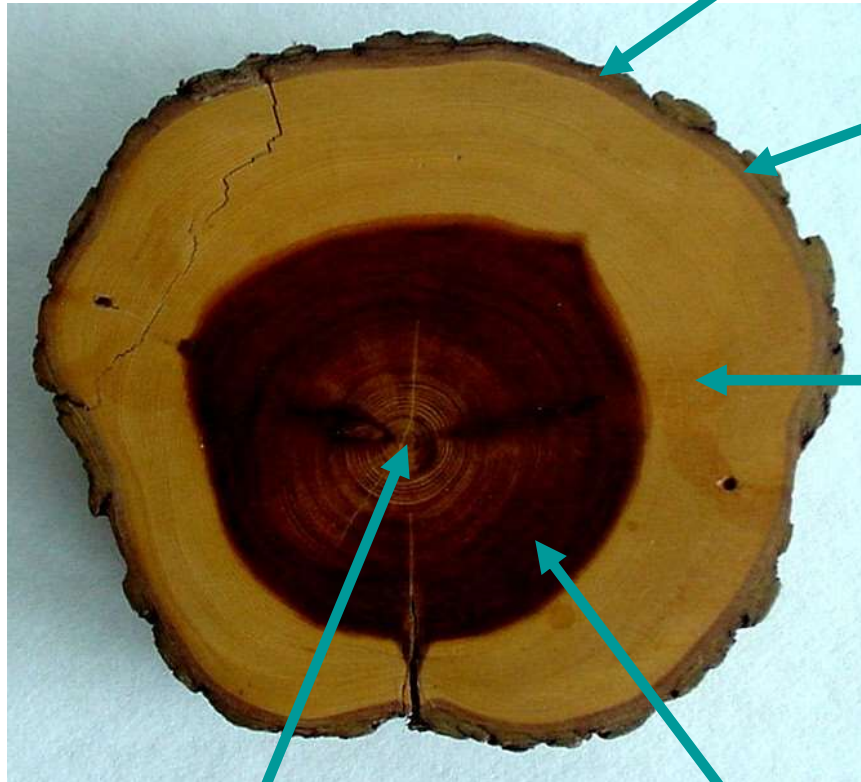
matière  
BOIS

Eau et sels  
minéraux



# Constitution du bois

## Formation et croissance du bois



**liber (écorce)** = transport sève élaborée

**cambium** = naissance des cellules

**aubier** = croissance des cellules / bois vivant / clair / élaboration et mise en réserve de substances / transport sève brute / peu dense / perméable

**moelle** =  
tige initiale

**duramen** = bois mort / foncé / soutien / dense / imperméable

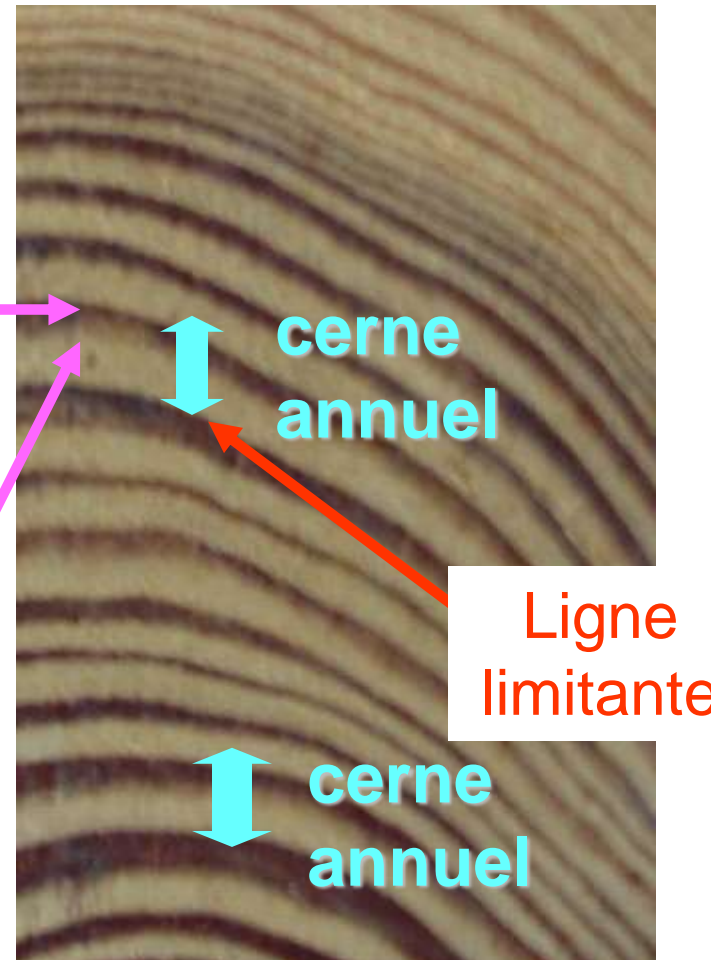
# Constitution du bois

## Formation et croissance du bois

**bois final** (tissus dense /  
cellules à parois épaisses et  
petites sections)  
**= bois d'été**

**bois initial** (tissus lâche /  
cellules à parois minces et  
fortes sections) **= bois de  
printemps**

extérieur de l'arbre



intérieur de l'arbre



# Constitution du bois

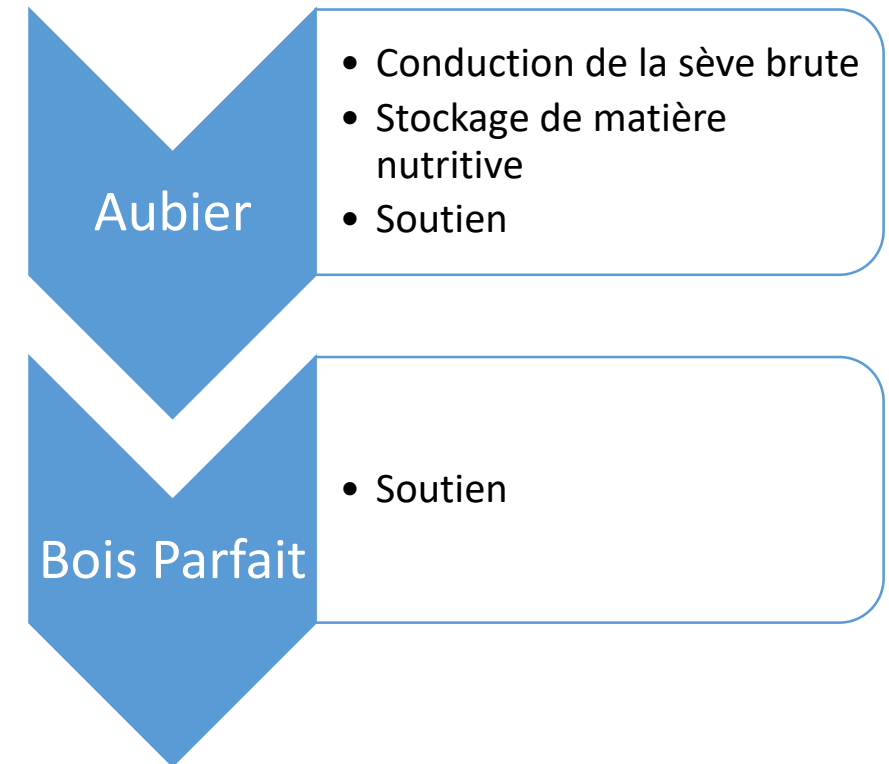
## Différenciation aubier/bois parfait

### DURAMINISATION :

Modification physiologique au cours de laquelle le bois parfait se charge de résines et de tannins.

**Le bois duraminisé devient ainsi :**

- **plus résistant aux attaques biologiques**
- **moins (ou pas) imprégnable par des produits de préservation**



# Constitution du bois

## Différenciation aubier/bois parfait

**Lorsque on abat l'arbre, ces deux zones n'ont pas les mêmes propriétés :**

- L'**AUBIER** est gorgé de sève et de matières nutritives (amidon, sucres, matières grasses) :

**Il attire toujours des prédateurs biologiques (insectes, champignons).**

- Le **BOIS PARFAIT** est plus dur, plus dense, ne contient pas tant de nutriments et même parfois des substances peu attractives voire répulsives (tanins, résines).

**Il attire moins les prédateurs, parfois même résiste à leurs attaques : on dit alors que le bois est durable.**



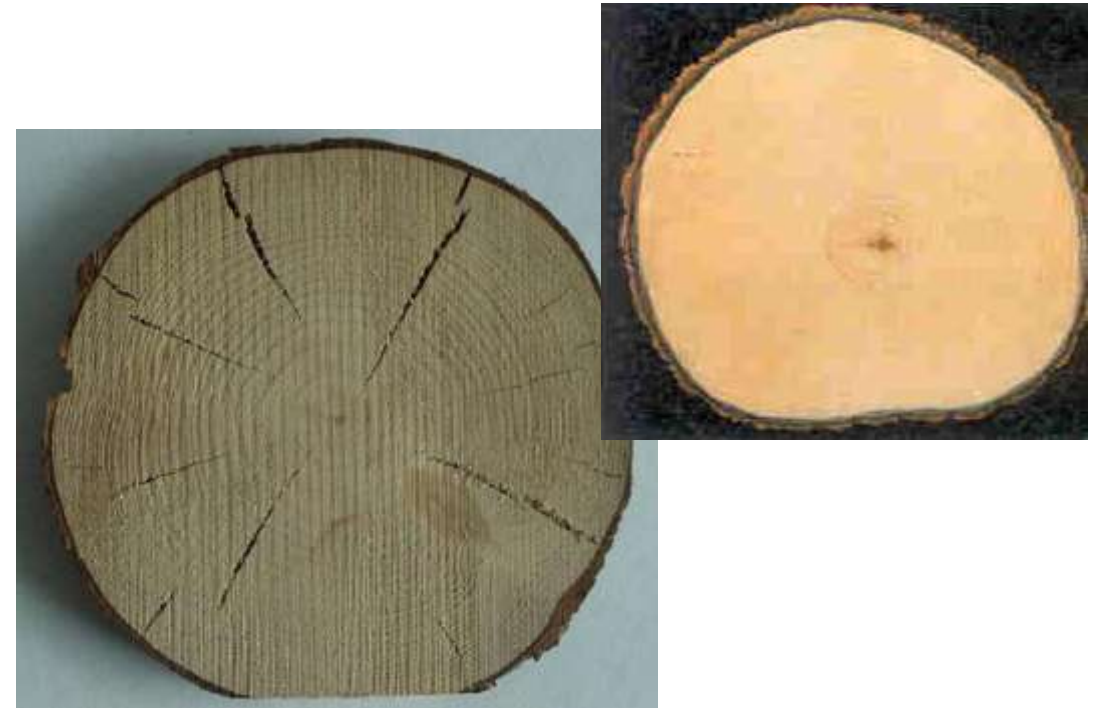
# Constitution du bois

## Différenciation aubier/bois parfait



Duramen différencié :  
une certaine durabilité

Pins, mélèze, douglas, chêne, châtaignier...



Duramen non différencié :  
bois non durables

Sapin, épicéa, hêtre, peuplier...

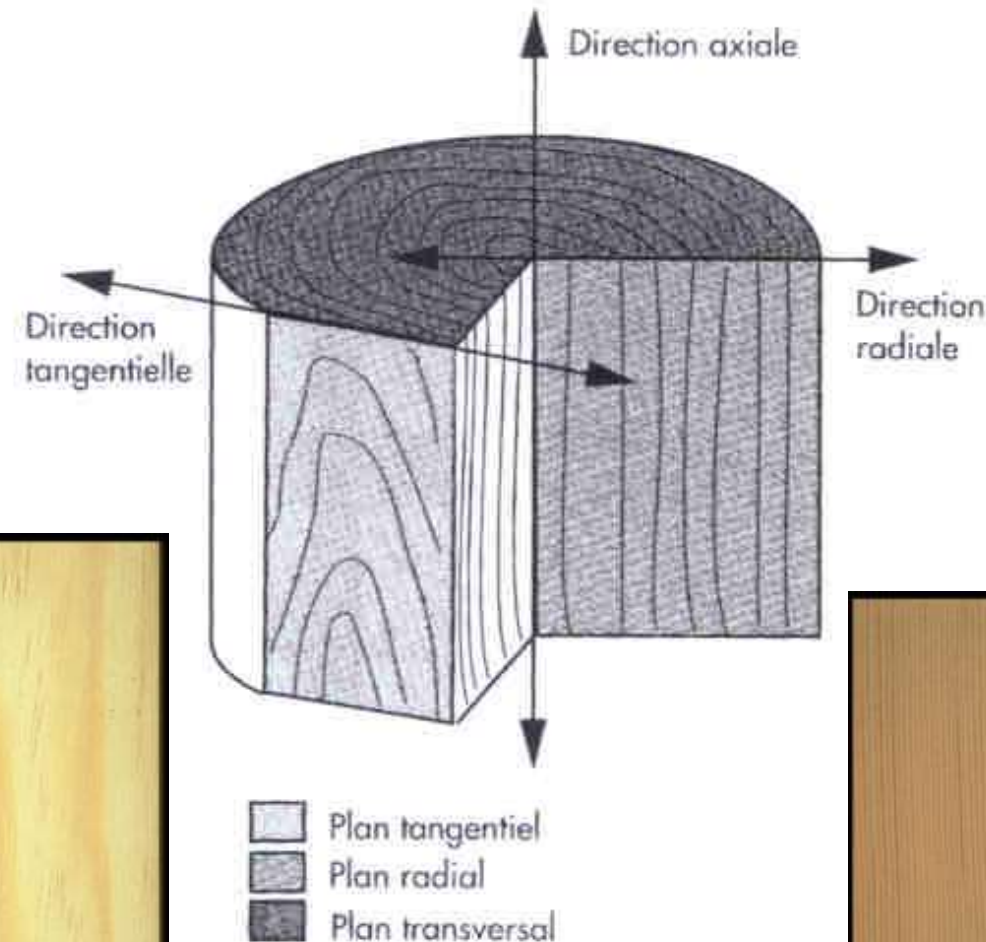


# Constitution du bois

## Anisotropie du bois :

### Les 3 plans d'observation

Le plan ligneux: ensemble des caractères de structures du bois tenant à la nature, à la forme et au groupement des cellules constitutives. Ces caractères sont constants pour une essence déterminée.



# Constitution du bois

## Les deux grands groupes d'arbre Résineux (Conifères)



- Gymnospermes (graine nue)
- Feuilles en aiguilles
- Résine
- Régions tempérées

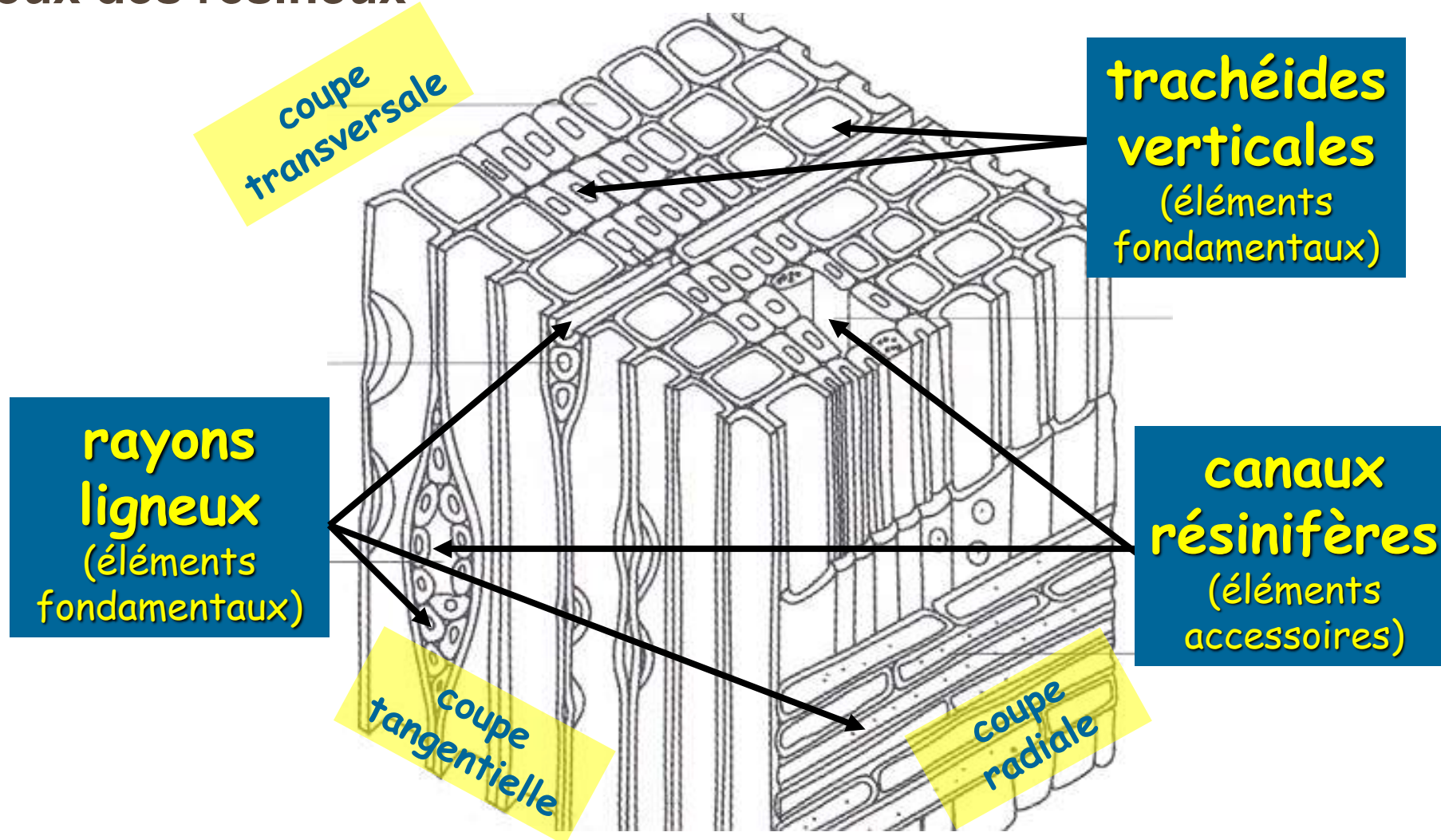
## Feuillus



- Angiospermes (graine dans un récipient)
- Feuilles larges, caduques
- Régions tempérées (massifs)
- Régions tropicales (forêts)

# Constitution du bois

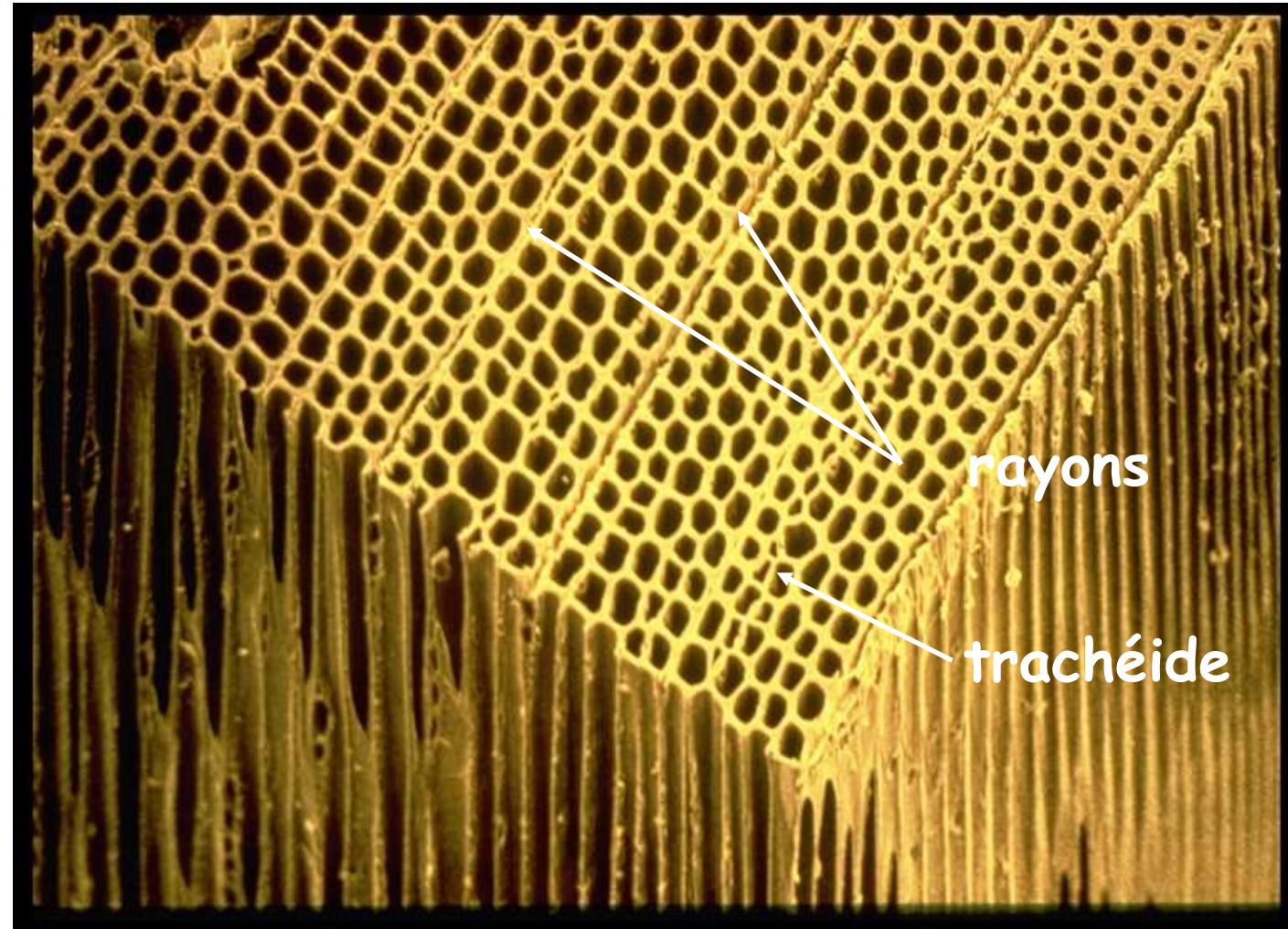
## Plan ligneux des résineux





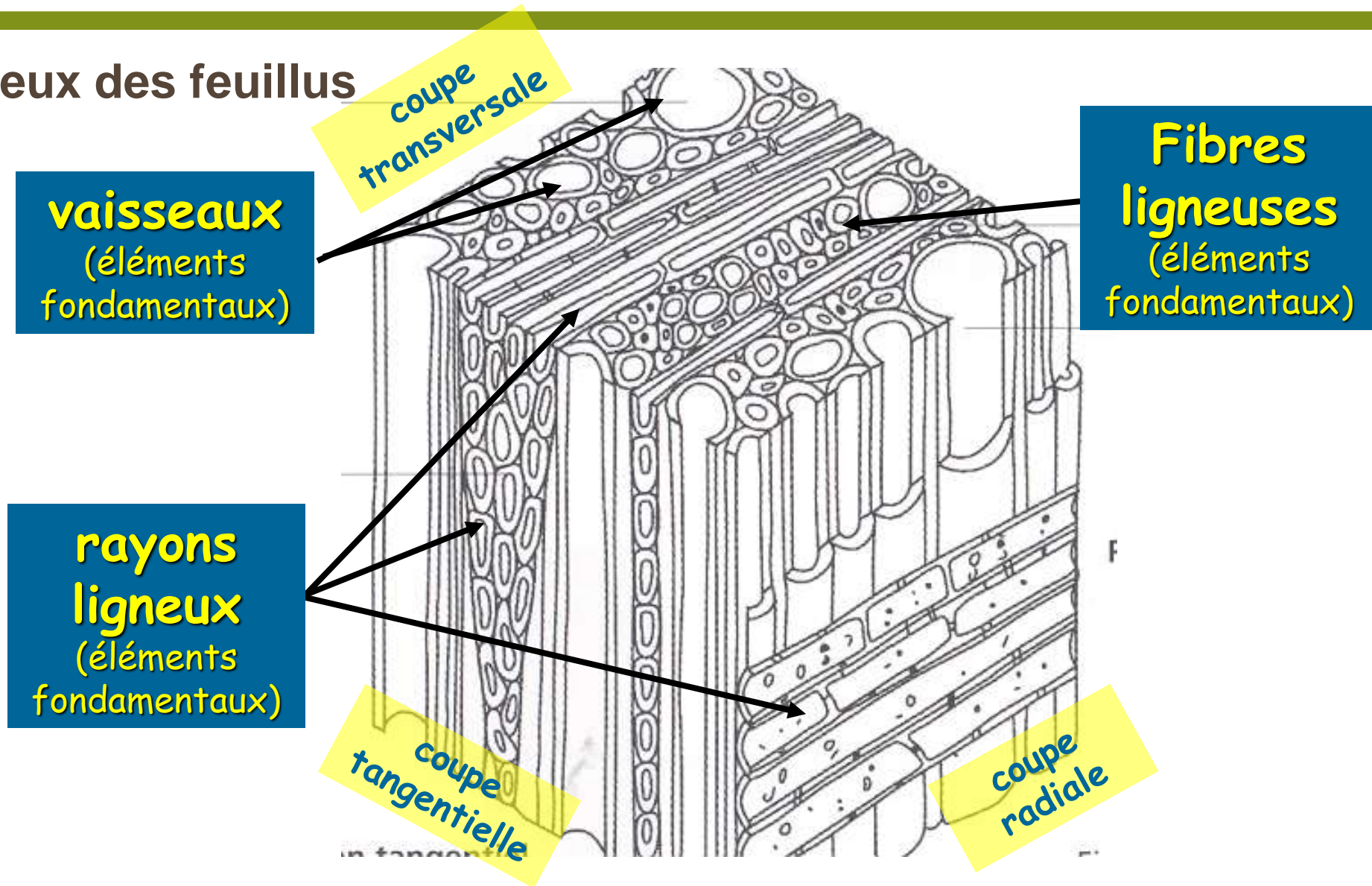
# Constitution du bois

Coupe transversale  
de **pin maritime**



# Constitution du bois

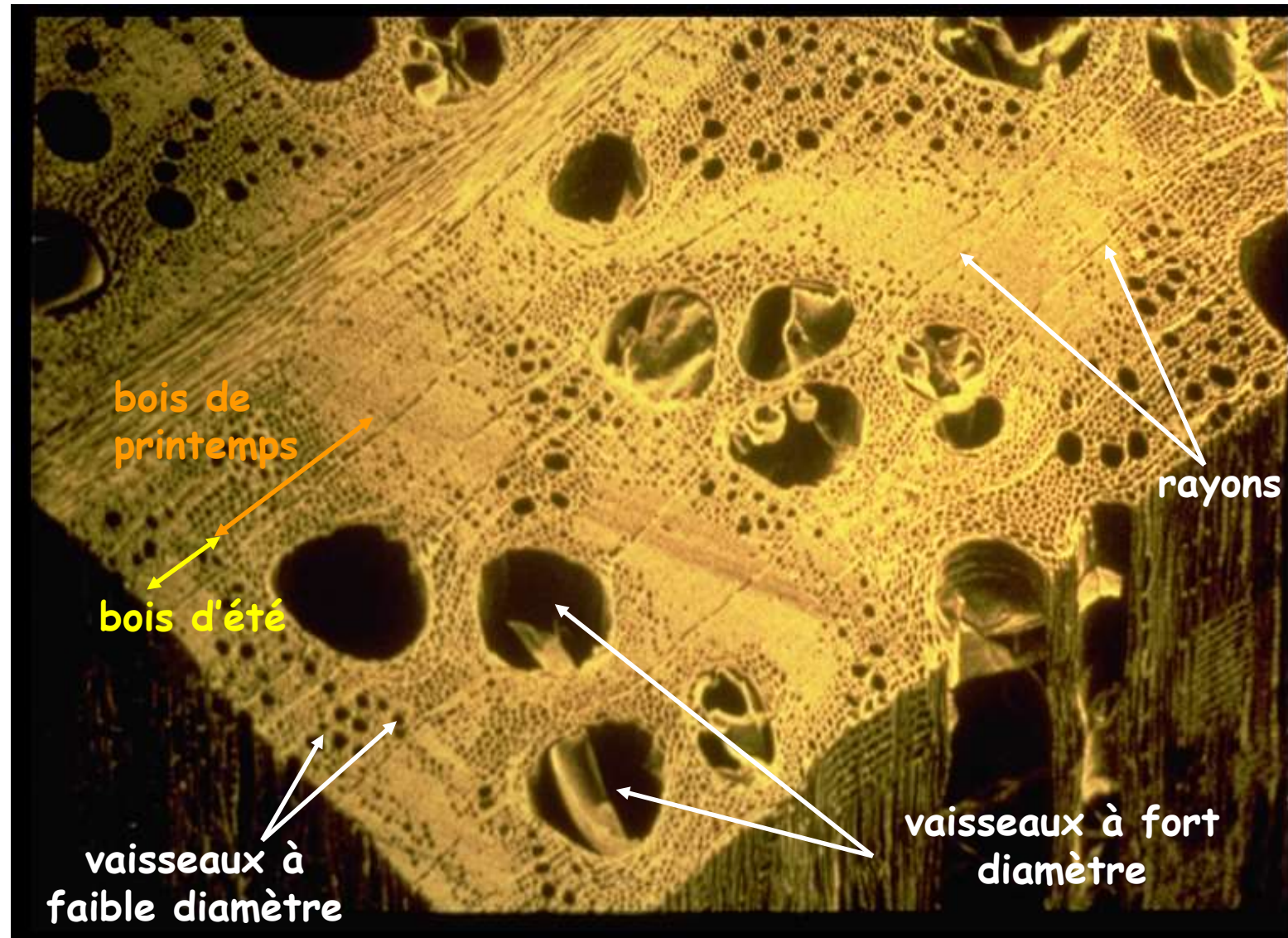
## Plan ligneux des feuillus





# Constitution du bois

## Coupe transversale de **chêne**



Les feuillus, plus complexes, sont apparus bien après les conifères.



# Constitution du bois

## Composition chimique élémentaire :

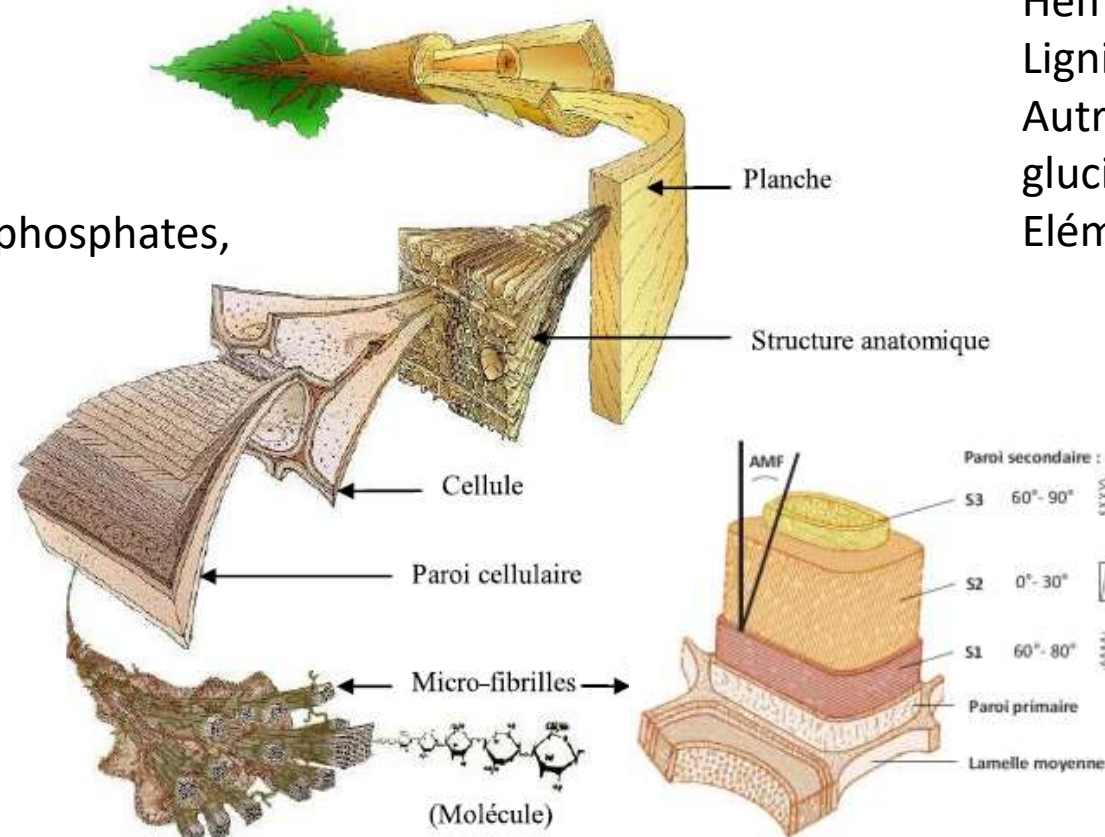
50 % de carbone

43 % d'oxygène

6 % d'hydrogène

0.5 % d'azote

0.5-1.5 % de cendres (silice, phosphates, potassium, calcium)



Structure multi-échelle du bois, d'après Harrington (1999)

## Composition des parois cellulaires :

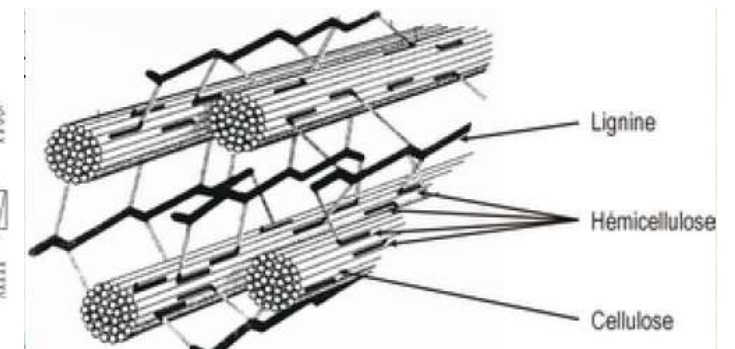
Cellulose : 40-50% (fibre)

Hémicellulose : 25-40% (interface)

Lignine : 20-35% (matrice)

Autres substances organiques (extractibles: glucides, résines, tannins,...)

Éléments minéraux





# Singularités du bois

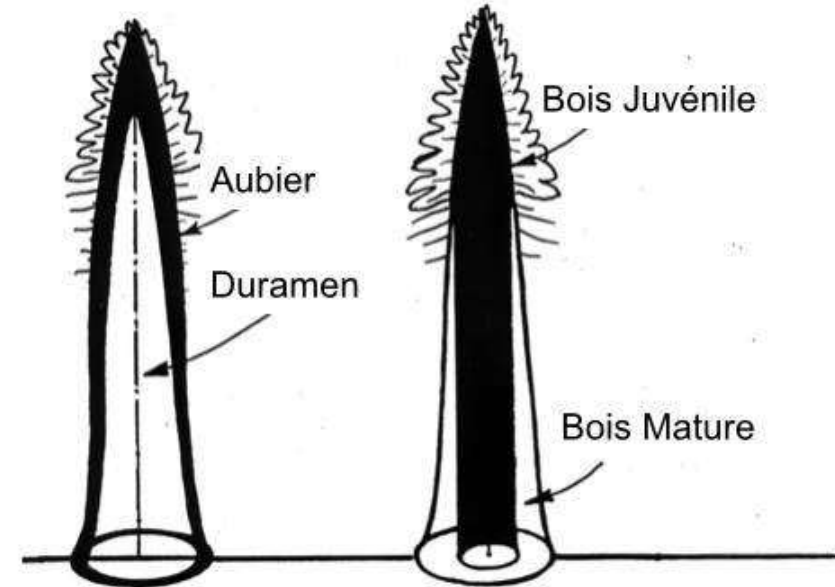
# Singularités du bois

## Bois juvénile :

Bois formé au cours des premières années d'existence du cambium= premiers cernes d'accroissement (~ 5 à 20) en partant de la moelle.

Caractéristiques différentes du bois mature :

- Parois cellulaires relativement minces
- Masse volumique, résistance et rigidité plus faibles
- Retrait longitudinal plus important



# Singularités du bois

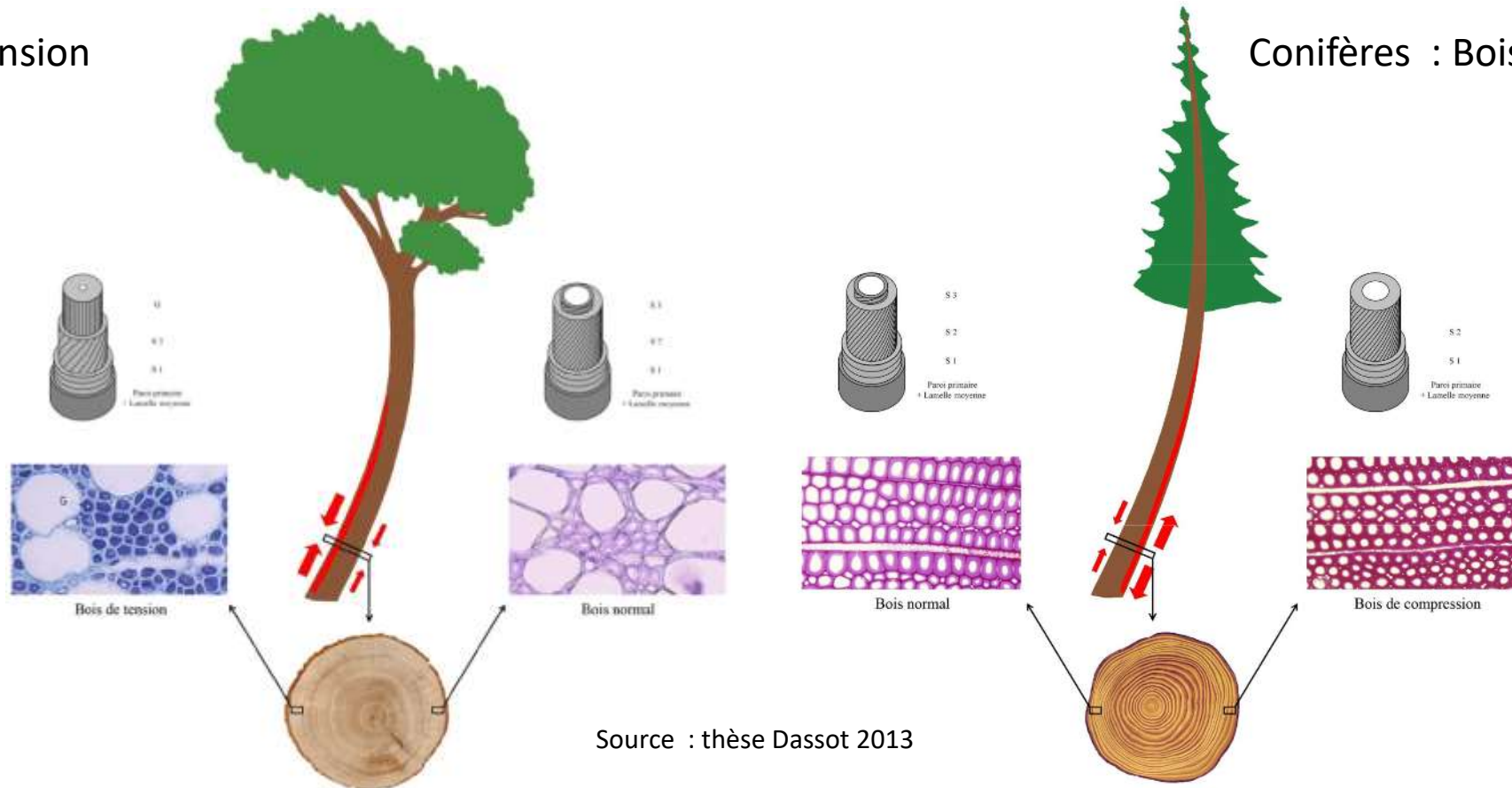
**Bois de réaction** : « Anomalie » de croissance liée à la réaction de l'arbre soumis à des efforts extérieurs (vent, gravité) pour maîtriser sa posture

feuillus : Bois de tension

Conifères : Bois de compression

- Couche gélatineuse (G) non lignifiée
- Inclinaison des fibrilles
- Retrait longitudinal important

- Cernes d'accroissement plus larges et proportion plus élevée de bois final
- Densité plus élevée
- Inclinaison des fibrilles
- Retrait longitudinal important



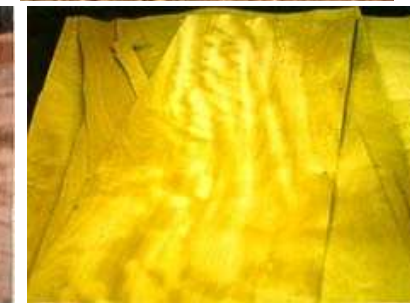


# Singularités du bois

## Singularités du fil :

Fil du bois = orientation des fibres longitudinales

- **Fil tors:** les fibres ont la même inclinaison, en torsade autour de l'axe longitudinal
- **Contrefil :** alternance dans l'orientation des fibres d'un cerne à l'autre
- **Fil ondulé :** légère sinuosité des fibres qui restent parallèles entre elles
- **Fil enchevêtré :** contrefil et ondulation des fibres (bois moiré)
- **Bois madré :** fibres sinueuses et enchevêtrées



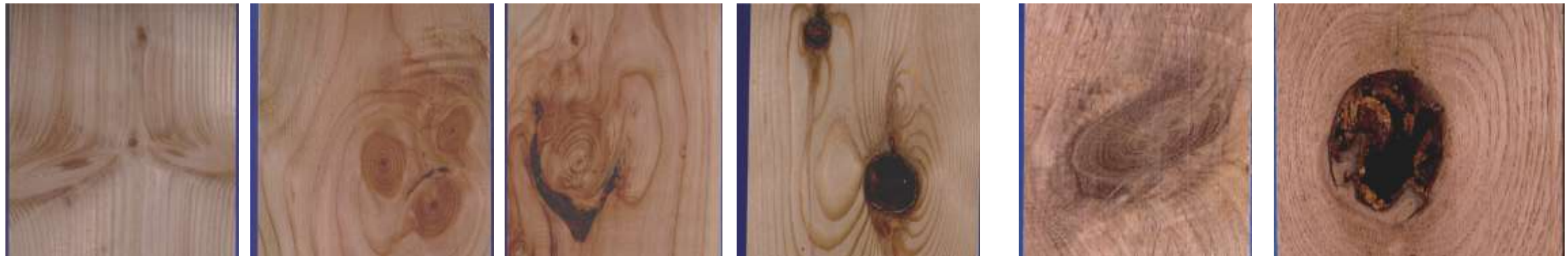
# Singularités du bois

**Nœuds** = parties de branche englobées dans le bois

- hétérogénéité de matériaux
- déviations de fil
- gradients locaux de propriétés physiques et mécaniques



Nœud adhérent / Nœud non adhérent  
Source : Raven (2010)



Nœud moustache

Nœuds groupés

Nœud à entre écorce

Nœud sautant

Nœud ovale

Nœud pourri



# Propriétés physiques

# Propriétés physiques

## Masse volumique (ou densité associée)

Constitue la caractéristique du bois la plus importante, corrélée aux propriétés mécaniques.

Varie en fonction de l'essence de bois, des conditions de croissance et de la teneur en eau.

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V_0}, \quad \rho_H = \frac{m_H}{V_H} = \rho_0 \frac{1 + 0,01H}{1 + 0,01\beta_v H}$$

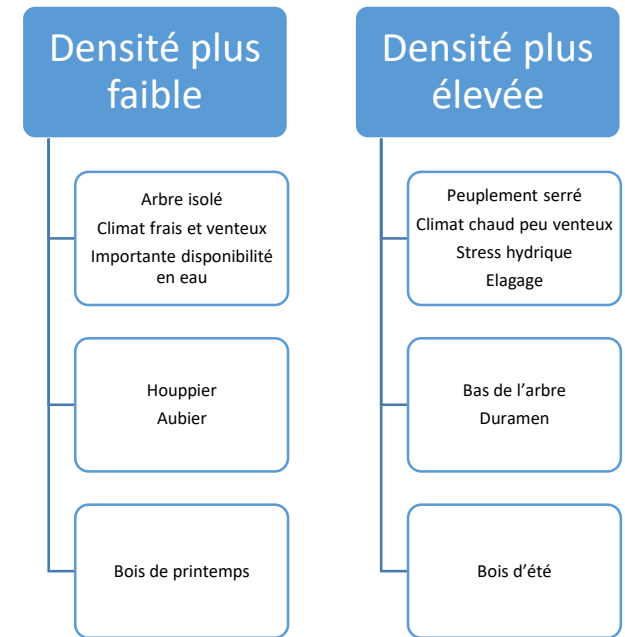
H : taux d'humidité du bois

$\beta_v$ , coefficient de retrait/gonflement volumique du bois

$$\text{Porosité : } C(\%) = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho_C}\right) \times 100$$

$\rho_0$ , Masse volumique du bois à l'état anhydre (H=0%)

$\rho_C$ , Masse volumique de la matière ligneuse  $\rho_C \approx 1530 \text{ kg/m}^3$





# Propriétés physiques

**Taux d'humidité dans le bois :**  $H\% = \frac{M_h - M_0}{M_0}$

$M_h$  : Masse humide

$M_0$  : Masse anhydre (H=0%)

$M_h - M_0$  : Masse d'eau contenue dans le bois

L'eau dans le bois :

**Eau libre** : eau dans les vides cellulaires

**Eau de saturation = eau liée** : eau imprégnée dans les parois cellulaires fixée par les hydroxyles (OH-), libérée par évaporation

**Eau de constitution**: eau contenue dans la matière ligneuse, libérée par destruction de la cellulose (par modification chimique biologique ou thermique)

Taux d'humidité des bois sur pieds : Peuplier : 250 à 200 %,  
Chêne : 90 à 100 %, Sapin : 160 à 140 %, Hêtre : 90 à 100 %

L'humidité du bois diminue rapidement à l'abattage : 25% à 35%

Bois « commercialement sec » : 20%

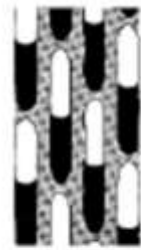
Etats caractéristiques :

Point de Saturation des Fibres PSF (H~30%) : Parois des cellules saturées d'eau

Etat anhydre (H=0%) : ni eau libre, ni eau de saturation, obtenu par dessiccation à 103°C



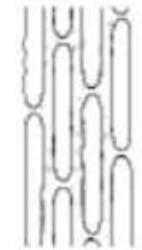
saturation  
complète



W > 30%



saturation des  
fibres



0 < W < 30%



W = 0%

# Propriétés physiques

## Variations dimensionnelles

Liées aux variations hygroscopiques (sorption/désorption des fibres)

Le gonflement des parois des cellules correspond au volume d'eau absorbé jusqu'au PSF.

La variation de volume est proportionnelle à la variation d'humidité :  $\frac{\Delta V}{V} = \frac{\beta_v}{100} \Delta H$

Pour une direction considérée :  $\frac{\Delta l}{l} = \frac{\beta}{100} \Delta H$

$l$  : dimension de l'élément selon la direction considérée

$\beta$ , coefficient de retrait/gonflement selon la direction considérée

$\Delta H$  : variation d'humidité entre 0% et PSF

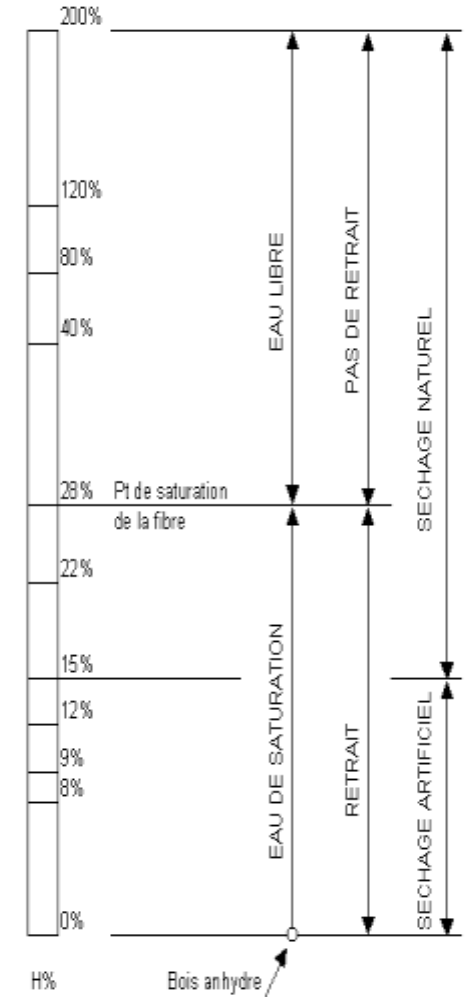
Compte tenu de l'anisotropie du matériau, les coefficients de retrait/gonflement diffèrent très fortement suivant les 3 directions principales (longitudinale, radiale, tangentielle) :

$$\beta_t > \beta_r \gg \beta_l$$

$$\beta_v \sim \beta_t + \beta_r + \beta_l$$

Essence	$\beta_t$	$\beta_r$	$\beta_l$	MV anhydre
Epicéa	0,31	0,17	0,01 à 0,02	420 kg/m <sup>3</sup>
Mélèze	0,32	0,16	0,01 à 0,02	490 kg/m <sup>3</sup>
Pin maritime	0,30	0,15	0,01 à 0,02	500 kg/m <sup>3</sup>
Chêne	0,20	0,32	0,01 à 0,02	650 kg/m <sup>3</sup>
Hêtre	0,41	0,21	0,01 à 0,02	680 kg/m <sup>3</sup>
Robinier	0,33	0,24	0,01 à 0,02	720 kg/m <sup>3</sup>
Azobé	0,40	0,31	0,01 à 0,02	990 kg/m <sup>3</sup>
Doussié	0,20	0,12	0,01 à 0,02	770 kg/m <sup>3</sup>
Sipo	0,24	0,20	0,01 à 0,02	570 kg/m <sup>3</sup>

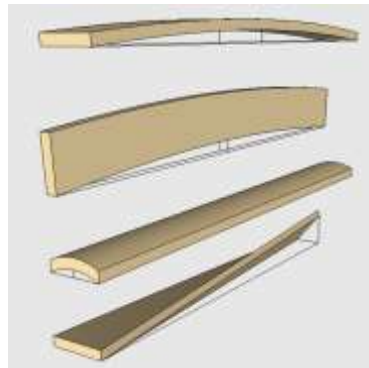
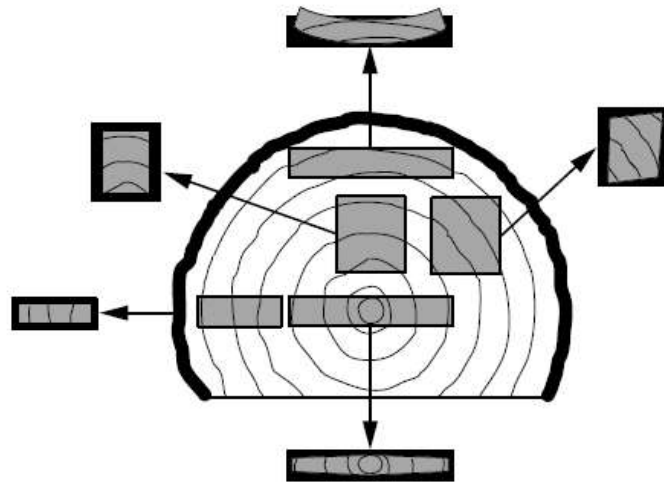
### HUMIDITE ET RETRAIT



# Propriétés physiques

## Variations dimensionnelles et déformations

Les déformations des pièces de bois varient selon l'endroit de la grume dont elles proviennent.



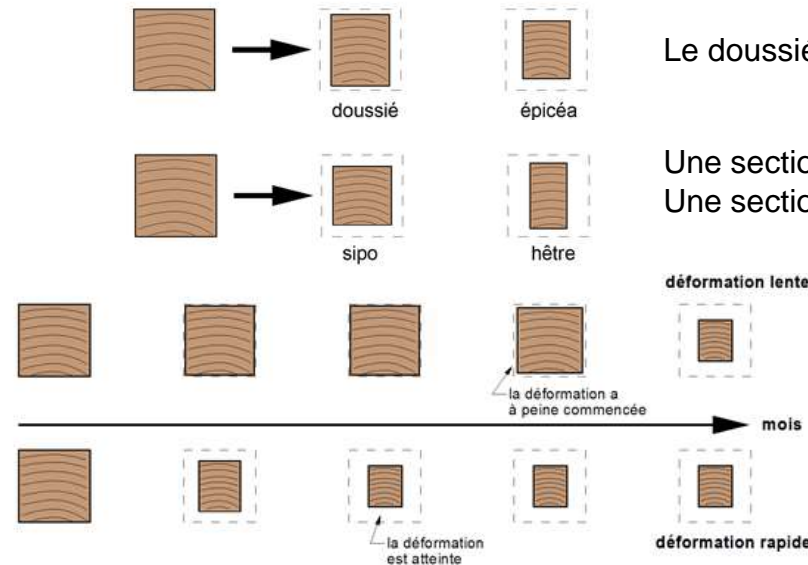
Flèche de face

Flèche de rive / de chant

Tuilage

Gauchissement

Les essences de bois ne se déforment pas tous de la même manière, ni à la même vitesse.



Le doussié se rétracte moins que l'épicéa.

Une section carrée de sipho reste sensiblement carrée.  
Une section carrée de hêtre devient rectangulaire.

Ex : l'azobé est peu stable (coef. de retrait élevés) mais a un séchage très lent

Le retrait tangentiel > Retrait radial → les cernes périphériques se contractent beaucoup plus que la partie centrale, ce qui provoque des contraintes internes élevées pouvant générer l'apparition des fentes.

Les transferts d'humidité sont plus rapides dans le sens longitudinal que dans le sens transversal. Les contraintes internes de séchage sont donc maximales aux extrémités des pièces.





# Propriétés physiques

## Equilibre hygroscopique

Le bois tend toujours à se mettre en équilibre avec l'ambiance dans laquelle il se trouve, jusqu'à se stabiliser à un taux d'humidité appelé "humidité d'équilibre" ou "équilibre hygroscopique du bois".

Cet équilibre ne dépend que de l'ambiance où est placé le bois, et sera donc le même pour tous les bois placés dans cette même ambiance.

**L'équilibre hygroscopique est déterminée par deux critères :**

- l'humidité relative de l'air
- la température ambiante

$$EH = \frac{18}{W} \left[ \frac{k_1 k_2 HR}{1 + k_1 k_2 HR} + \frac{k_2 HR}{1 - k_2 HR} \right] \quad \text{suivant Simpson (1973)}$$

EH, équilibre hygroscopique du bois ;

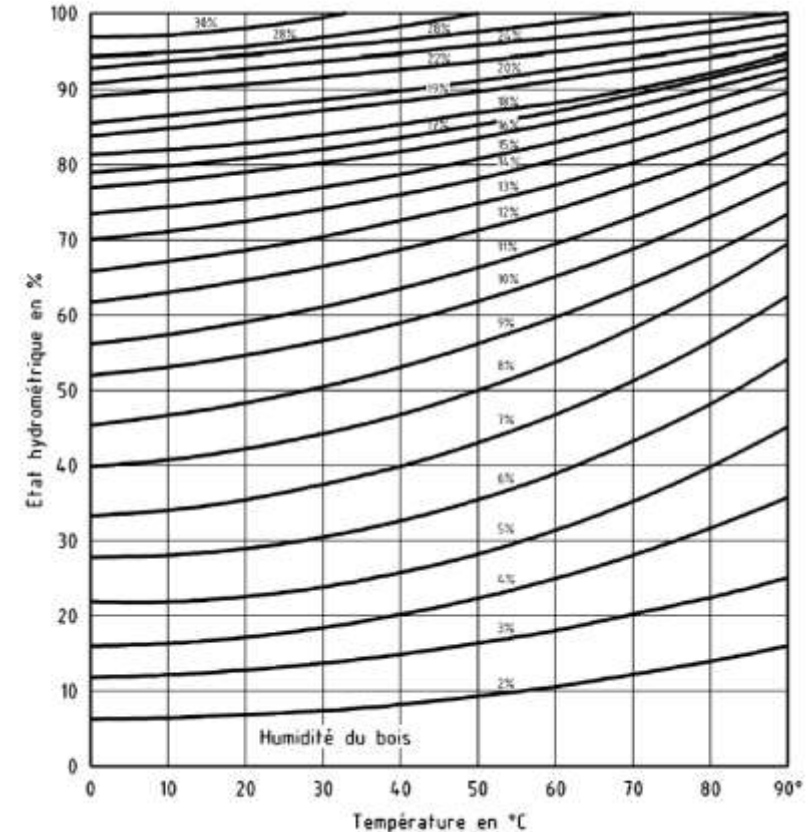
HR, humidité relative de l'air ;

$k_1$ ,  $k_2$ , W, coefficients de calage en fonction de la température sèche T, exprimée en degrés Celsius :

$$k_1 = 4,737 + 0,04773 T - 0,00050012 T^2$$

$$k_2 = 0,7059 + 0,001659 T - 0,000005638 T^2$$

$$W = 223,4 + 0,6942 T + 0,01853 T^2$$



Courbe d'équilibre hygroscopique des bois mis en œuvre (extrait Annexe Nationale EC5)

# Propriétés physiques

## Equilibre hygroscopique

Humidité conseillée à la mise en œuvre, aussi proche que possible de l'humidité d'équilibre en œuvre

Fermettes	18 à 22 %
Emploi extérieur	14 à 18 %
Lamellé-collé	12 %
Emploi intérieur	10 à 12%

Le retrait / gonflement (Ordre de grandeur pour du résineux)

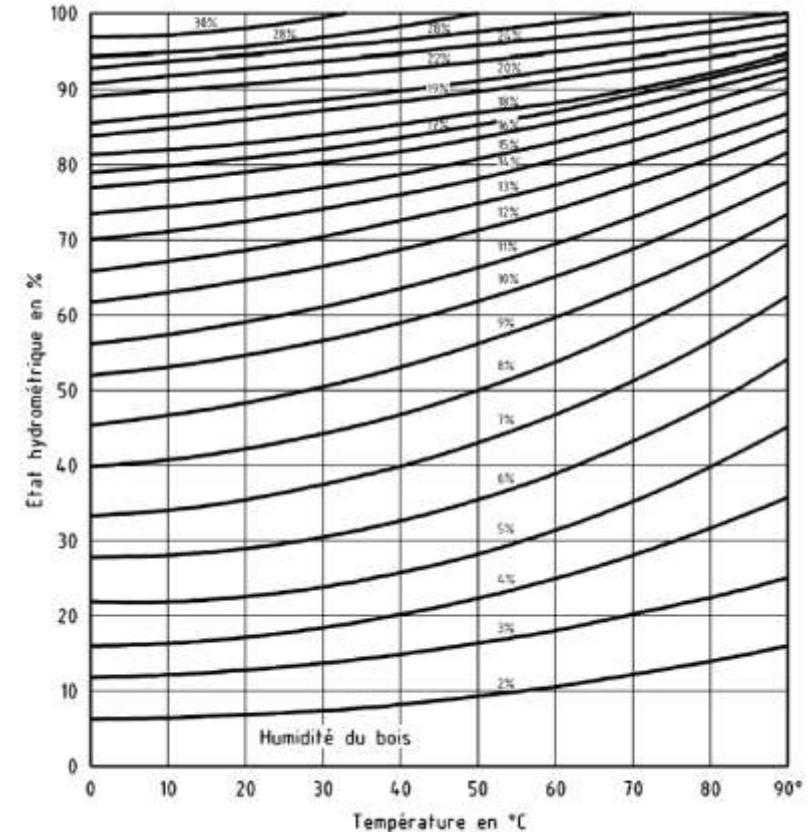
- Longitudinal : 0,02 % / HR% (négligé)
- Perpendiculaire : 0,25 % / HR%



Application numérique

Bois massif, 220x80 mm<sup>2</sup>, dHR=20% : dh = 11 mm

Lamellé collé, 1000x140 mm<sup>2</sup>, dHR=5% : dh = 12,5 mm



Courbe d'équilibre hygroscopique des bois mis en œuvre (extrait Annexe Nationale EC5)

# Propriétés physiques

## Propriétés thermiques

Essences	$\rho_n$ kg/m <sup>3</sup>	$\lambda$ W/m.°K	$C_p$ J/Kg.°K	$\mu$	
				humide	sec
Feuillus très lourds	>1000	0,29	1600	50	200
Feuillus lourds	>865 ≤1000	0,23	1600	50	200
Feuillus mi-lourds	>650 ≤865	0,18	1600	50	200
Feuillus légers	>500 ≤650	0,15	1600	50	200
Feuillus très légers	>230 ≤500	0,13	1600	20	50
Résineux très lourd	>700	0,23	1600	20	50
Résineux lourds	>600 ≤700	0,18	1600	20	50
Résineux mi-lourds	>500 ≤600	0,15	1600	20	50
Résineux légers	≤500	0,13	1600	20	50

Masse volumique moyenne :  $\rho_n$  (kg/m<sup>3</sup>)

Conductivité thermique :  $\lambda$  (W/m.°K)

Capacité thermique massique :  $C_p$  (J/Kg.°K)

Coefficient de résistance à la vapeur d'eau :  $\mu$  (humide et sec)

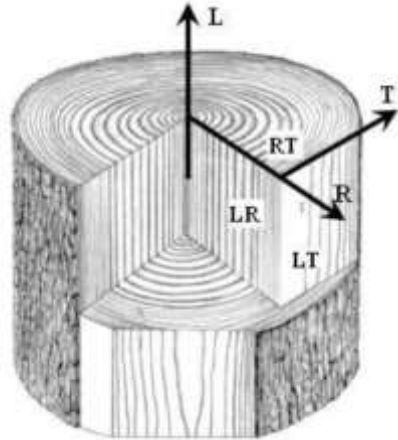




# Propriétés mécaniques

# Propriétés mécaniques

**Matériau orthotrope** : 3 directions principales, 3 plans de symétrie



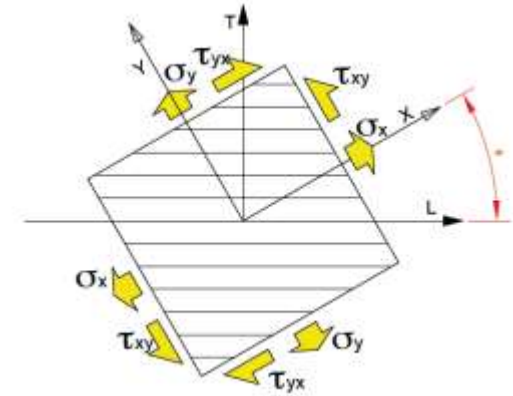
Modules d'élasticité :  $E_L \gg E_R > E_T$   
 Modules de cisaillement :  $G_{LR} \gg G_{LT} > G_{RT}$

Orientation des contraintes

$$\begin{bmatrix} \sigma_l \\ \sigma_t \\ \tau_{lt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c^2 & s^2 & -2.c.s \\ s^2 & c^2 & 2.c.s \\ c.s & -c.s & c^2 - s^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sigma_x \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_x \cdot \cos^2 \alpha \\ \sigma_x \cdot \sin^2 \alpha \\ \sigma_x \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_L \\ \varepsilon_R \\ \varepsilon_T \\ \gamma_{RT} \\ \gamma_{LT} \\ \gamma_{LR} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_L} & -\frac{\nu_{RL}}{E_R} & -\frac{\nu_{TL}}{E_T} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{LR}}{E_L} & \frac{1}{E_R} & -\frac{\nu_{TR}}{E_T} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{LT}}{E_L} & -\frac{\nu_{RT}}{E_R} & \frac{1}{E_T} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{RT}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{LT}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{LR}} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \sigma_L \\ \sigma_R \\ \sigma_T \\ \tau_{RT} \\ \tau_{LT} \\ \tau_{LR} \end{bmatrix}$$

		« Résineux standard »	« Feuillu standard »
$\rho_{12\%}$	kg/m <sup>3</sup>	450	650
El	MPa	13100	14400
Er	MPa	1000	1810
Et	MPa	636	1030
G <sub>lr</sub>	MPa	861	1260
G <sub>lt</sub>	MPa	745	971
G <sub>rt</sub>	MPa	83,6	366
ν <sub>rt</sub>		0,51	0,67
ν <sub>tl</sub>		0,02	0,033
ν <sub>lr</sub>		0,39	0,39
ν <sub>lt</sub>		0,43	0,46
ν <sub>tr</sub>		0,31	0,38
ν <sub>rl</sub>		0,03	0,048

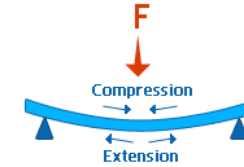
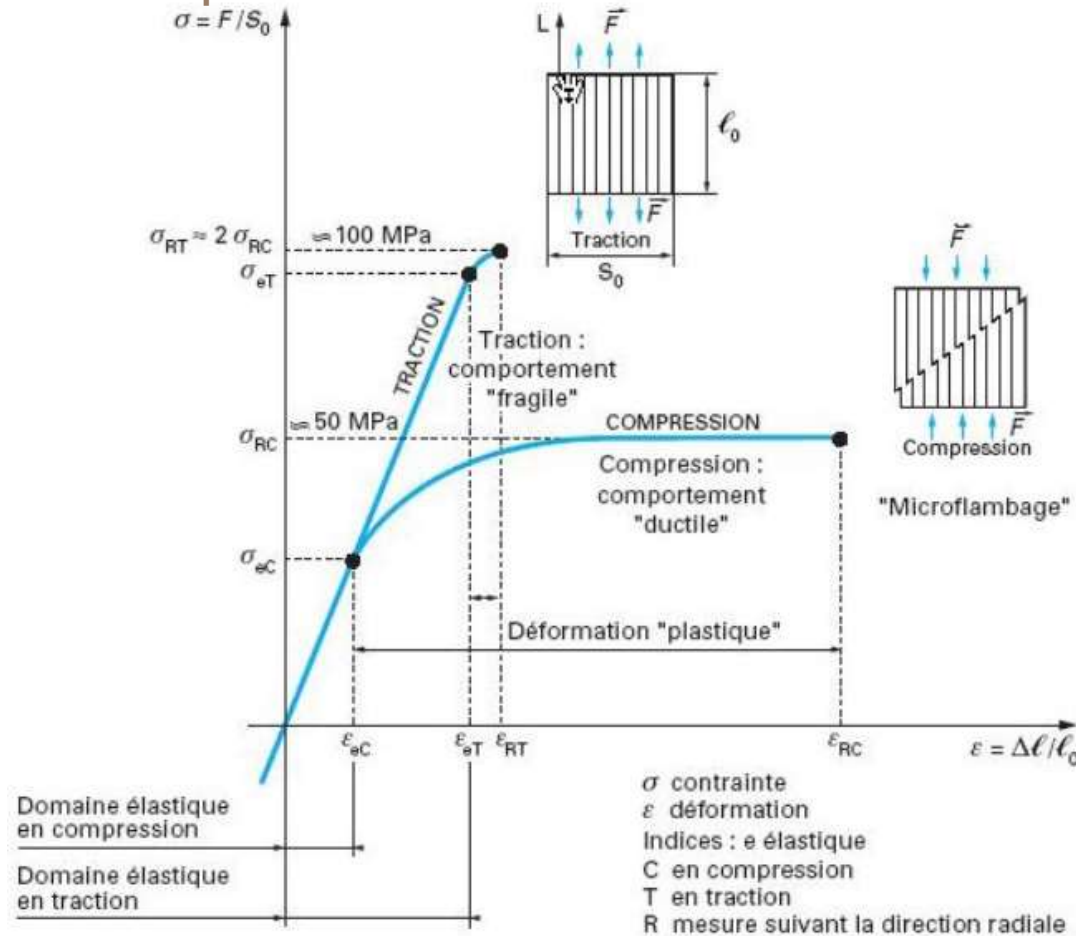


d'après Guitard (1987)

# Propriétés mécaniques

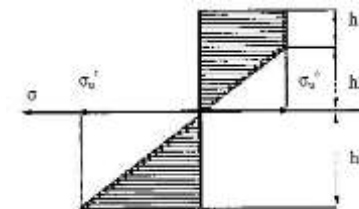
## Comportement à la rupture

- Fragile en traction
- Ductile en compression

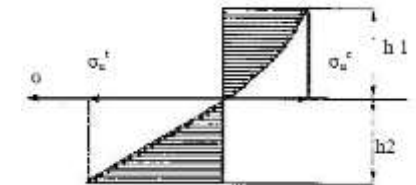


En flexion, l'association des comportements spécifiques en traction et en compression conduit à une distribution dissymétrique des contraintes.

La rupture s'amorcera sur la fibre externe en traction, la déformation ultime en traction étant plus faible que la déformation ultime en compression.



Modèle de distribution de contraintes trapézoïdales



Modèle de distribution de contraintes paraboliques



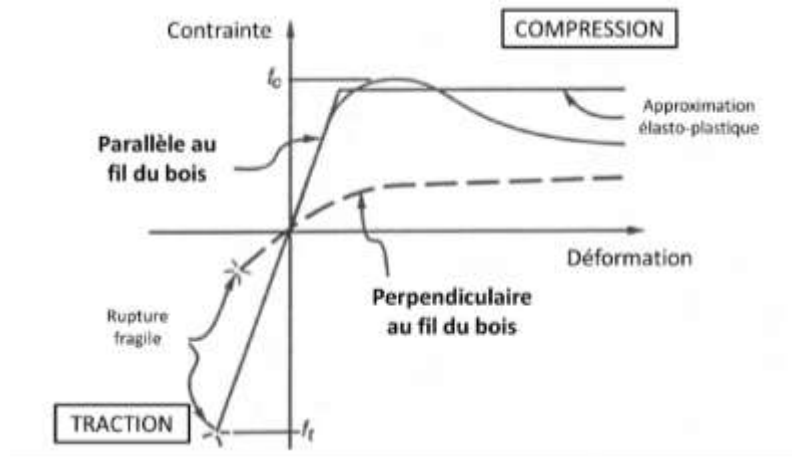
Création d'une contrainte de flexion « fictive équivalente » de flexion avec hypothèse de symétrie



# Propriétés mécaniques

## Comportement à la rupture

Influence de l'orientation des contraintes



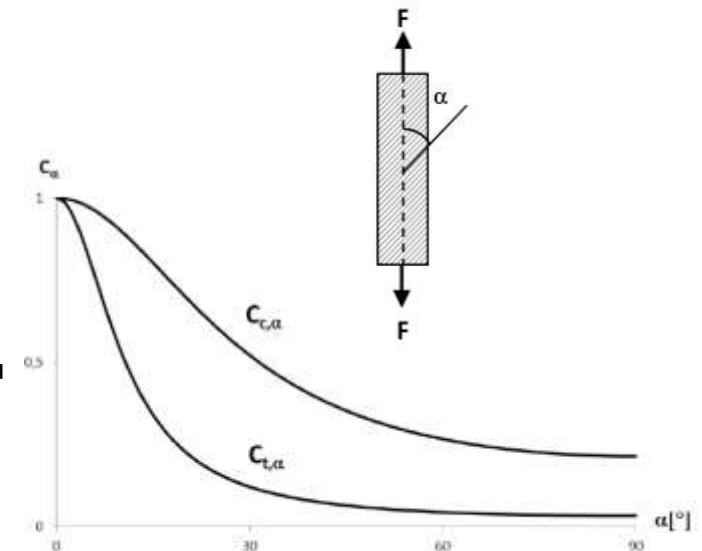
Les propriétés de rigidité et de résistance sont beaucoup plus élevées suivant l'axe longitudinal que suivant ses composantes orthogonales.

$$R_\alpha = \frac{R_0 R_{90}}{R_0 \sin^2 \alpha + R_{90} \cos^2 \alpha}$$

$R_\alpha$ : propriété de résistance à un angle  $\alpha$  par rapport au fil du bois

$R_0$ : propriété de résistance dans la direction du fil du bois

$R_{90}$ : propriété de résistance dans la direction perpendiculaire au fil du bois



### Critère d'endommagement

$$\left(\frac{\sigma_l}{f_l}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_t}{f_t}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{lt}}{f_v}\right)^2 \leq 1 \quad \text{Norris (1962)}$$

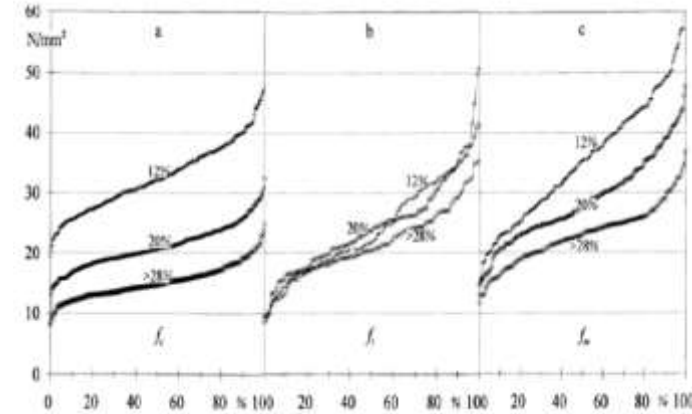
# Propriétés mécaniques

## Influence de l'humidité

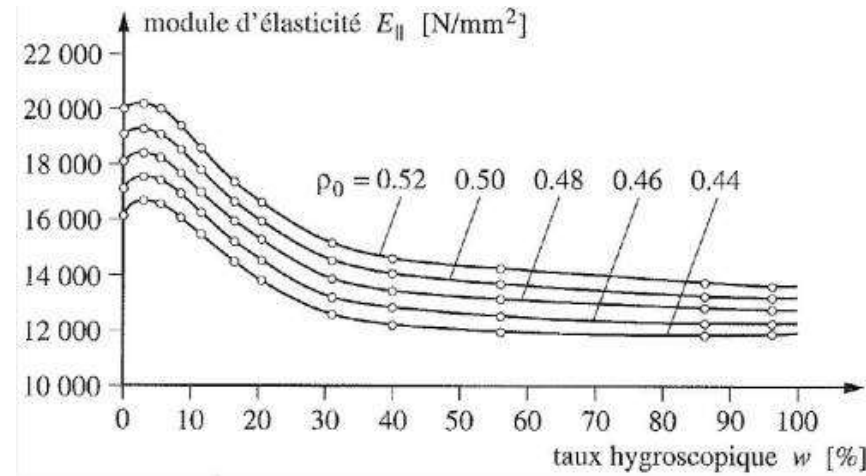
Les propriétés mécaniques du bois dépendent de son taux d'humidité

Une relation linéaire peut être considérée entre les variations du taux d'humidité et des propriétés mécaniques pour  $8\% < H < 20\%$

Propriété mécanique	Variation (%) pour $\Delta H = 1\%$
Compression parallèle au fil	5
Compression perpendiculaire au fil	5
Flexion parallèle au fil	4
Traction parallèle au fil	2,5
Traction perpendiculaire au fil	2
Module d'élasticité parallèle au fil	1,5



Evolution des résistances en fonction de l'humidité  
Source : STEP d'après Hoffmeyer (1978)



Evolution du module d'élasticité longitudinal en fonction de l'humidité  
d'après Komllman et Côté (1984)

# Propriétés mécaniques

## Effets différés

Influence de la durée de chargement sur les propriétés de résistance.

Sous un chargement de longue durée (~10 ans), la rupture intervient à un niveau de contrainte correspondant à 60% de sa résistance initiale.

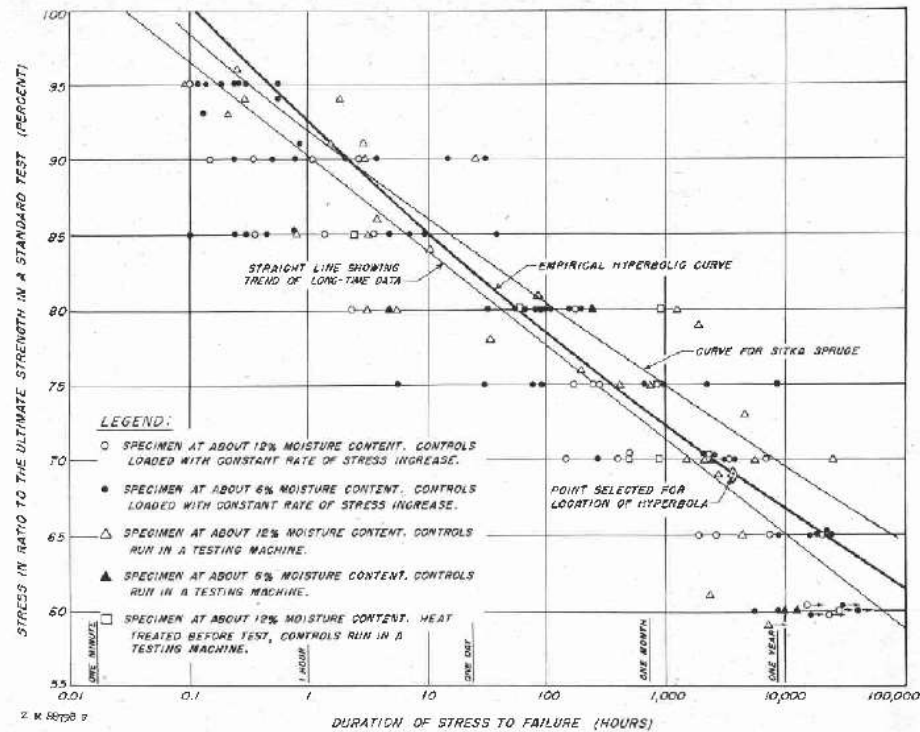
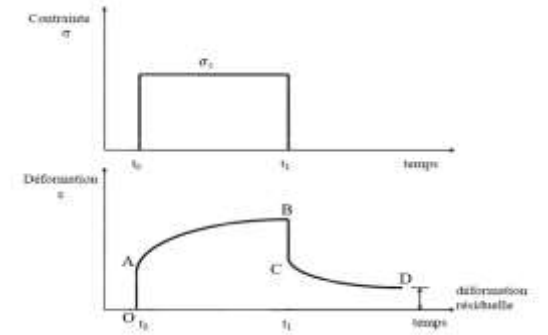


Figure 1.—Relation of duration of constant stress to level of stress in long-time loading of Douglas-Fir bending specimens.

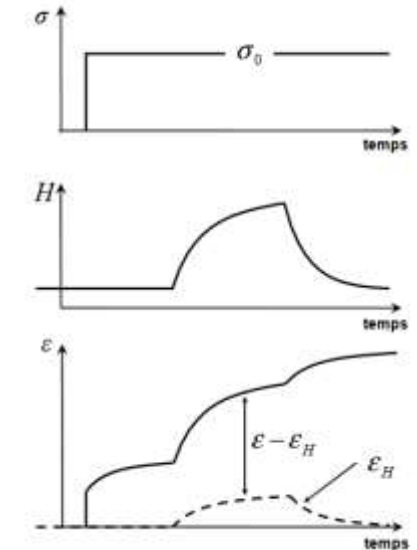
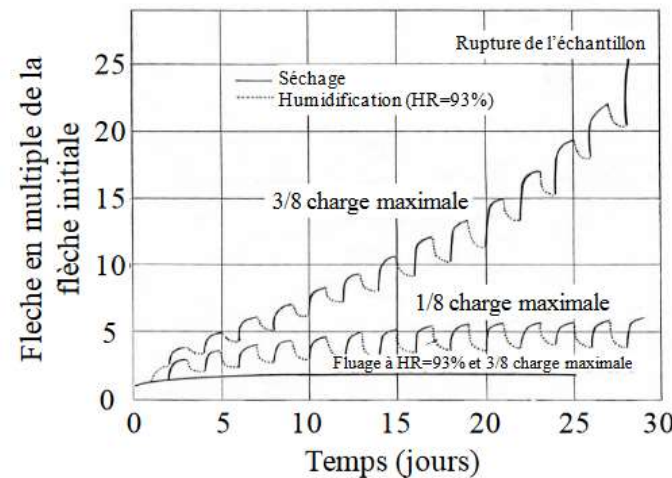
Evolution du niveau de résistance en fonction du temps « courbe de Madison » (1951)

Augmentation de la déformation dans le temps sous une contrainte constante (fluage)



Influence du taux d'humidité sur les effets de durée de chargement :

- Diminution de la résistance
- Augmentation du fluage





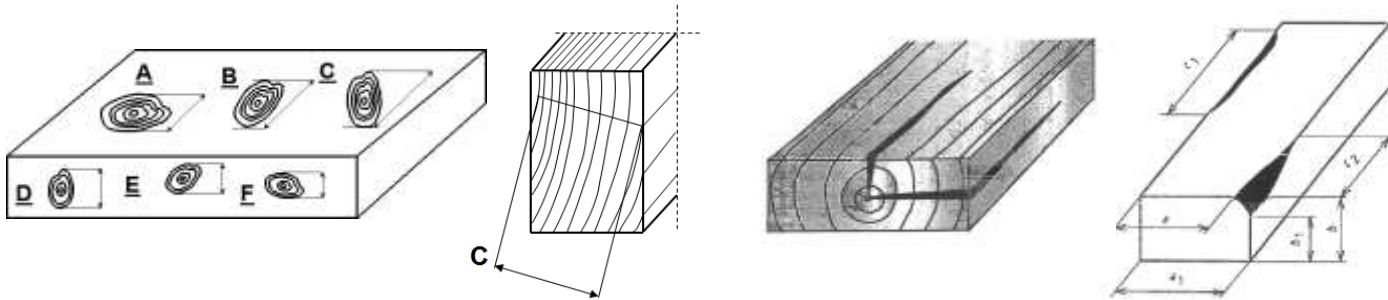
# Propriétés mécaniques

**Classement structural** : trier le bois en lots homogènes de même classe de résistance en vue d'optimiser leur utilisation en construction et permettre le dimensionnement des ouvrages

Pour réaliser ce classement, deux méthodes existent :

## Classement visuel

Détermination de la classe visuelle par la mesure des singularités (suivant la norme NF B 52-001 pour les bois français)



Chaque pays possède ses propres normes de classement structural définies en fonction des caractéristiques de sa ressource forestière.

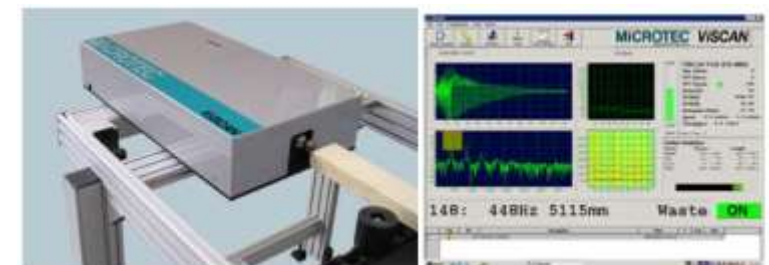
Les correspondances entre les classes visuelles les classes mécaniques de la EN 338 et sont indiquées dans la norme EN 1912

Essence	Classe visuelle			Classe mécanique
	NF B 52-001	DIN 4074	INSTA 142	
Sapin /Epicéa	ST-I	S13	T3	C 30
Pins	ST-II	S10	T2	C 24
Douglas Peuplier	ST-III		T1	C18
Chêne	1			D35
	2			D30

## Classement par machine

Différentes technologies :

- machine de flexion.
- propagation d'ondes (vibration, ultra-son)
- visée optique
- radiation (rayons X, micro-ondes, ...).



# Propriétés mécaniques

## Classes de résistance selon la norme EN 338

	Classe	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	D18	D24	D27	D30	D35	D40	D45	D50	D55	D60	D65	D70	D75	D80	
<b>Propriétés de résistance en N/mm<sup>2</sup></b>																												
Flexion	$f_{m,0,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50	18	24	27	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	
Traction axiale	$f_{t,0,k}$	7,2	8,5	10	11,5	13	14,5	16,5	19	22,5	26	30	33,5	11	14	16	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	
Traction transversale	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	
Compression axiale	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	24	25	27	29	30	18	21	22	24	25	27	29	30	32	33	35	36	37	38	
Compression transversale	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,5	2,7	2,7	2,8	2,9	3,0	4,8	4,9	5,1	5,3	5,4	5,5	5,8	6,2	6,6	10,5	11,3	12,0	12,8	13,5	
Cisaillement	$f_{v,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,5	3,7	3,8	3,9	4,1	4,2	4,4	4,5	4,7	4,8	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
<b>Propriétés de rigidité en kN/mm<sup>2</sup></b>																												
Module d'élasticité moyen en flexion axiale	$E_{m,0,mean}$	7,0	8,0	9,0	9,5	10,0	11,0	11,5	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	9,5	10,0	10,5	11,0	12,0	13,0	13,5	14,0	15,5	17,0	18,5	20,0	22,0	24,0	
Module d'élasticité caractéristique à 5% d'exclusion en flexion axiale	$E_{m,0,k}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,1	10,7	8,0	8,4	8,8	9,2	10,1	10,9	11,3	11,8	13,0	14,3	15,5	16,8	18,5	20,2	
Module d'élasticité transversal moyen	$E_{m,90,mean}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53	0,64	0,67	0,70	0,73	0,80	0,87	0,90	0,93	1,03	1,13	1,23	1,33	1,47	1,60	
Module de cisaillement moyen	$G_{mean}$	0,44	0,50	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00	0,59	0,63	0,66	0,69	0,75	0,81	0,84	0,88	0,97	1,06	1,16	1,25	1,38	1,50	
<b>Masse volumique en kg/m<sup>3</sup></b>																												
Masse volumique caractéristique à 5% d'exclusion	$\rho_k$	290	310	320	330	340	350	360	360	390	400	410	430	475	485	510	530	540	550	580	620	660	700	750	800	850	900	
Masse volumique moyenne	$\rho_{mean}$	350	370	380	400	410	420	430	460	470	480	490	520	570	580	610	640	650	660	700	740	790	840	900	960	1020	1080	

Résineux (Conifères)

Feuillus (Deciduous)

**Valeurs caractéristiques suivant EN 384** : valeur représentative d'une propriété de matériau employée pour la conception, qui est basée sur des valeurs à 5 % d'exclusion (propriétés de résistance et masse volumique, par exemple) ou des valeurs moyennes (module d'élasticité, par exemple)



# Durabilité du bois



# Durabilité du bois

## Agents de dégradation - les insectes à larves xylophages

### Capricorne des maisons

Insecte parfait L = 10 à 20 mm

Larve L = 20 à 25 mm

Cycle Biologique : 3 à 5 ans

Bois attaqués : aubier des essences résineuses



### Petite vrillette

Insecte parfait L = 2,5 à 5 mm

Larve L = 5 à 7 mm

Cycle Biologique : 1 à 4 ans

Bois attaqués : aubier des essences résineuses et feuillues, cœur si dégradé par les champignons



### Grosse vrillette

Insecte parfait L = 6 à 11 mm

Larve L = 5 à 7 mm

Cycle Biologique : 3 à 10 ans

Bois attaqués : surtout feuillus dégradés par les champignons



### Lyctus

Insecte parfait L = 2 à 7 mm

Larve L = 5 mm

Cycle Biologique : 1 à 2 ans

Bois attaqués : aubier des essences feuillues





# Durabilité du bois

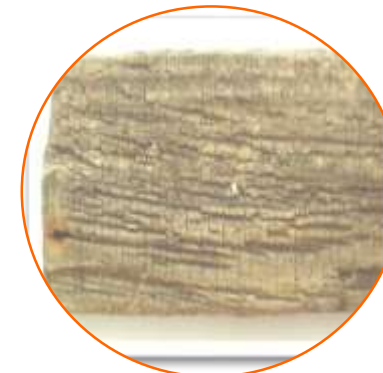
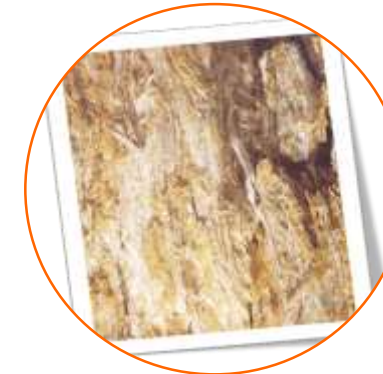
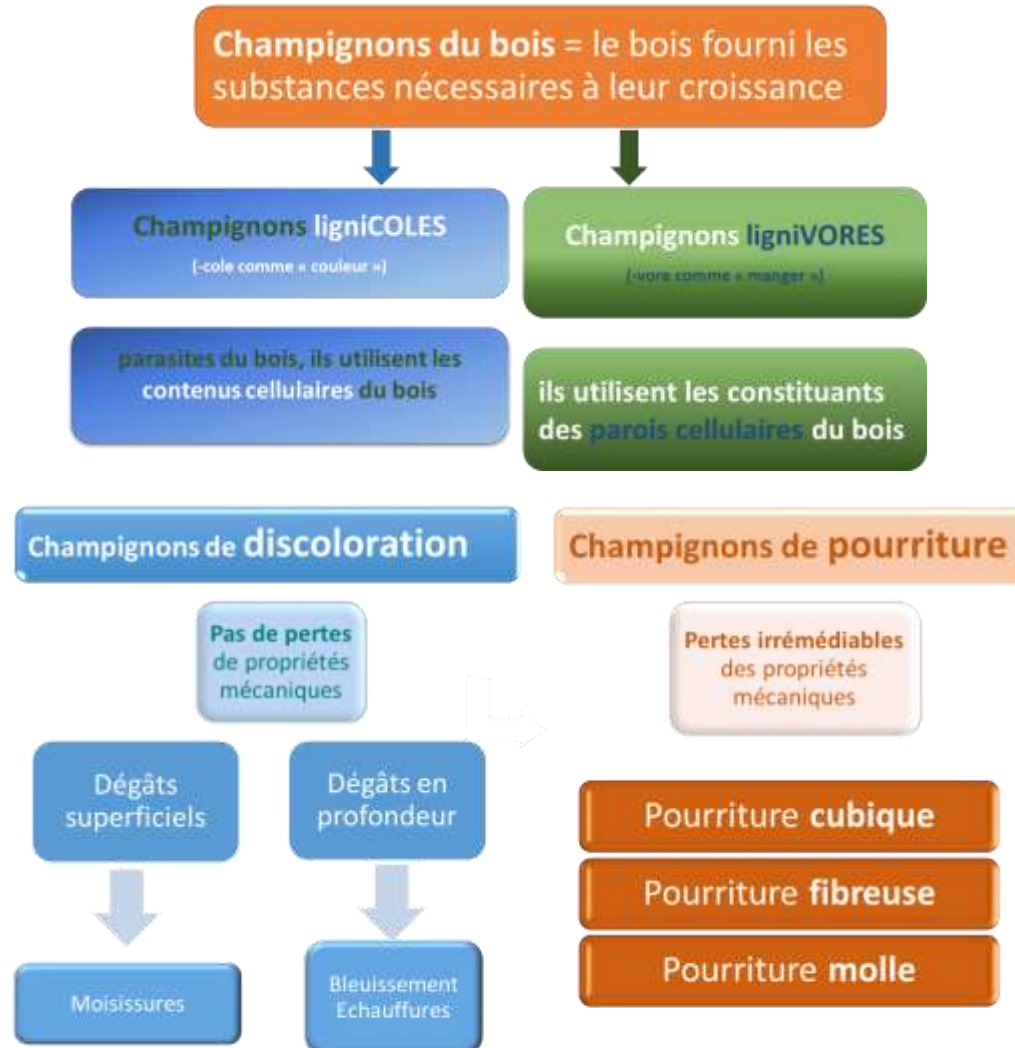
## Agents de dégradation - les termites

- Les termites sont des insectes sociaux : ils vivent au sein de sociétés hiérarchisées et organisées en castes. *ouvriers, larves, nymphes, soldats, reproducteurs primaires et secondaires...*  
Le fonctionnement des termitières ressemble un peu à celui des fourmilières ou des ruches
- Les termites mangent du bois :
  - Les ouvriers consomment le bois, dont la cellulose est dégradée par des symbiotes ou des bactéries présents dans l'intestin du termite
  - Les autres castes sont nourries par les ouvriers qui régurgitent leur nourriture (trophallaxie buccale)
  - La plupart des matériaux contenant de la cellulose peuvent être mangés : bois, papier, carton, tissu...
  - Tous les matériaux tendres peuvent être dégradés : isolants, polystyrène, PVC, placoplâtre, ...



# Durabilité du bois

## Agents de dégradation - les champignons



### Pourriture cubique

- Attaque les **résineux** en priorité
- Dégradation de la **cellulose**
- Humidité requise de l'ordre de **25 à 50%**

exemple : La méréule

### Pourriture fibreuse

- Souvent sur les **feuillus**
- Dégradation simultanée de la **lignine** et de la **cellulose**
- Humidité requise **> 40%**

### Pourriture molle

- Attaque **feuillus et résineux**
- Dégradation de la **cellulose**
  - souvent **petits cubes réguliers** superficiels
  - humidité requise très élevée, de l'ordre de **60%**

# Durabilité du bois

**Durabilité naturelle** : définie par la norme EN 350 en fonction des différents type d'agents de dégradation pour les principales essences de bois

**Durabilité naturelle vis-à-vis des insectes à larves xylophages :**

- D = durable
- S = sensible



**Durabilité naturelle vis-à-vis des termites :**

- D = durable
- M = moyennement durable
- S = sensible



**Durabilité naturelle vis-à-vis des champignons lignivores :**

- 1 = très durable
- 2 = durable
- 3 = moyennement durable
- 4 = faiblement durable
- 5 = non durable



Essence	Durabilité naturelle du cœur du bois			
	champignon	capricorne	vrillette	termite
sapin	4	S	S	S
épicéa	4 (4-5)	S	S	S
pin sylvestre	3-4	D	D	S
mélèze eu	3-4	D	D	S
douglas eu	3-4 (3-5)	D	D	S
chêne rouvre	2-4 (1-2)		D	M
châtaignier	2 (1)		D	M
robinier	1-2		D	D

Classe de durabilité (DC) vis-à-vis des champignons		Quelques bois courants
1	Très durable	bilinga, doussié, ipé, maçaranduba, moabi, padouk, teck (1-3)
1-2	Très durable à durable	iroko, merbau, robinier
2	Durable	azobé (2v), yellow balau (bangkirai), bossé, châtaignier, chêne rouvre, red cedar, wengé
2-3	Durable à moyennement durable	sipo
3	Moyennement durable	kotibé (3v), movingui, niangon, noyer, sapelli
3-4	Moyennement à faiblement durable	douglas européen, mélèze européen, pin maritime, pin sylvestre
4	Faiblement durable	épicéa, limba, okoumé, orme, sapin
5	Non durable	aulne, bouleau, charme, hêtre, lenga, obéché (samba), peuplier, white méranti

**Attention** : Les critères de durabilité concernent le bois parfait. **L'aubier n'est jamais durable.**



# Durabilité du bois

## Classes d'emploi : définies par la norme EN 335

### CLASSE D'EMPLOI 1

Bois en intérieur, protégé des intempéries et non exposé à l'humidification.  
En général l'humidité d'équilibre des bois est comprise entre 6 et 12%.



Bois toujours en intérieur sec  
(lambris, porte intérieure, parquet, charpente dans le volume chauffé,...)

### CLASSE D'EMPLOI 2

Bois en intérieur ou sous abri, protégé des intempéries, avec une humidité ambiante élevée occasionnelle pouvant conduire à une humidification non persistante (type condensation).  
Le séchage des bois est très rapide. En général, l'humidité d'équilibre moyenne des bois est comprise entre 12 et 20 %.



Bois en intérieur ou sous abri avec humidification très ponctuelle (charpente, ossature, bardage ou menuiserie abrités sous auvent)

### CLASSE D'EMPLOI 3.1 (parfois encore appelée « 3a »)

Bois en extérieur mais sans contact avec le sol, soumis à une humidification fréquente sur des périodes courtes (quelques jours).  
Le séchage des bois est complet avant une nouvelle période d'humidification.



Bois sans contact avec sol extérieur.  
Bois soumis à humidification fréquente sur périodes courtes (quelques jours).  
Séchage des bois complet avant nouvelle période d'humidification.  
Bois exposé aux intempéries directes, conception permettant évacuation eau rapide (bardages s'ils sont en climat modéré et en conditions peu exposées et relativement drainantes\*, fenêtres et portes extérieures si elles sont en climat sec ou modéré).



# Durabilité du bois

## Classes d'emploi : définies par la norme EN 335

### **CLASSE D'EMPLOI 3.2** (parfois encore appelée « 3b »)

Bois sans contact avec le sol en extérieur mais soumis à une humidification très fréquente sur des périodes longues (quelques semaines).

Le séchage des bois est complet avant une nouvelle période d'humidification.



Bois sans contact avec le sol extérieur.  
Bois soumis à humidification très fréquente sur périodes significatives. (quelques semaines)  
Séchage des bois complet avant nouvelle période d'humidification.

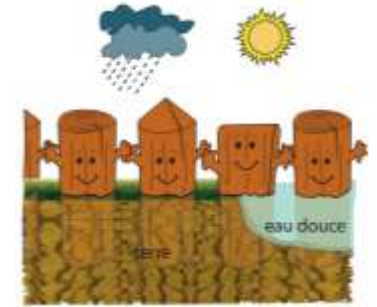
Bois exposé aux intempéries directes, conception ne permettant pas une évacuation d'eau rapide (*bardages, menuiseries extérieures, éléments structurels... en conditions relativement exposées et moyennement drainantes, fenêtres et portes extérieures si elles sont en climat humide*)

### **CLASSE D'EMPLOI 4**

Bois est soit en contact avec le sol ou un support sujet à humidification récurrente (remontées capillaires, supports sujets à stagnations d'eau,...).

Soit en contact avec l'eau douce en immersion partielle (lac, rivière, bassins...).

Soit exposé aux intempéries avec une conception induisant une stagnation importante (face supérieure horizontale) ou un piégeage de l'eau (assemblages).



Hors sol

ou

en contact direct avec l'eau ou le sol

Bois en extérieur en contact récurrent avec le sol et/ou l'eau, voire immergé en eau douce (*Piquets ou poteaux plantés en terre, solivage de terrasse, revêtements de berges...*)

### **CLASSE D'EMPLOI 5**

Bois immergé ou partiellement immergé dans l'eau salée (milieu marin et eau saumâtre naturelle) et soumis à attaques d'organismes marins invertébrés.



Bois en immersion dans l'eau de mer (présence possible de mollusques et crustacés agents de dégradation : térébrants marins)

# Durabilité du bois

## Durabilité conférée : traitement des bois par produit de préservation

Le procédé de traitement vise à conférer au bois une durabilité adaptée à la classe d'emploi visée en faisant pénétrer dans le bois un produit de préservation.

Les solutions de traitement du bois (type / classe d'emploi) dépendent de son imprégnabilité.

Parmi les bois les plus courants :

- Les bois parfaits durables (robinier, chêne, châtaignier, et dans une moindre mesure mélèze, douglas,...) ne sont jamais imprégnables
- Sapin, épicéa : non imprégnables
- Aubier de tous les pins : bien imprégnables

Essences de bois utilisables	Classe d'emploi	Type de traitement	Pénétration
Toutes essences de bois	1 - 2	Badigeonnage Pulvérisation / aspersion Trempage	Superficiel (0 à 3 mm)
Toutes essences de bois	3.1	Trempage Autoclave	Superficiel (1 à 3 mm)
Bois imprégnables de préférence	3.2	Autoclave	Semi-profond (6 mm et plus autour des coupes)
Bois imprégnables uniquement	4 - 5	Autoclave	En profondeur (toute la masse du bois imprégnable et/ou tout l'aubier)

Essence	Imprégnabilité		Largeur aubier
	bois parfait	aubier	
sapin	2-3	2v	x
épicéa	3-4	3v	x
pin sylvestre	3-4	1	s-m
mélèze eu	4	2v	s
douglas eu	4	2-3	s
chêne rouvre	4	1	s
châtaignier	4	2	s
robinier	4	1	vs

Imprégnabilité définie par la norme EN 350

### Imprégnabilité :

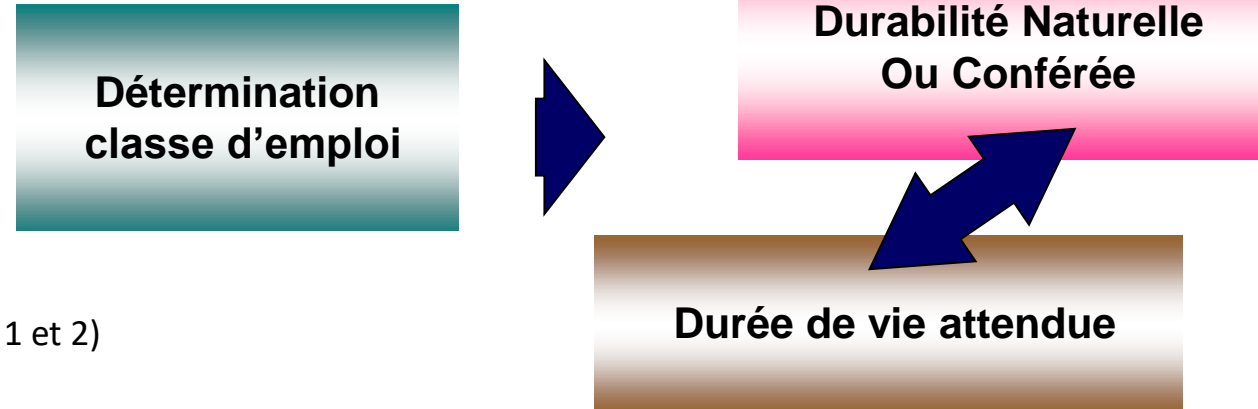
- 1 = Imprégnable.
- 2 = Moyennement imprégnable
- 3 = Faiblement imprégnable
- 4 = Non imprégnable
- v = variable

### Largeur d'aubier :

- vs = très faible
- s = faible
- m = moyen
- b = large
- x = pas de différenciation nette

# Durabilité du bois

## Maîtrise de la durabilité des ouvrages bois : Fascicule de documentation FD P-20 651



### Détermination de la classe d'emploi :

Ouvrages intérieurs ou protégés (classes d'emploi 1 et 2)

→ pas de difficultés

Ouvrages en semi ou pleine exposition (à partir de la classe 3.1)

### → 3 paramètres influant :

- **Conception**
- **Climat** (pluviosité)
- **Massivité** de la pièce de bois

Massivité	Conception	Exposition partielle			Pleine Exposition		
		Conditions climatiques			Conditions climatiques		
		Sec	Modéré	Humide	Sec	Modéré	Humide
Faible	Drainante	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1
	Moyenne	3.1	3.1	3.2	3.1	3.2	3.2
	Piégeante	3.1	3.2	3.2	3.2	4	4
Moyenne	Drainante	3.1	3.1	3.2	3.1	3.1	3.2
	Moyenne	3.1	3.1	3.2	3.2	3.2	3.2
	Piégeante	3.1	3.2	4	3.1	4	4
Forte	Drainante	3.1	3.1	3.2	3.1	3.2	3.2
	Moyenne	3.1	3.2	3.2	3.2	3.2	4
	Drainante	3.2	3.2	4	4	4	4

# Durabilité du bois

## Maîtrise de la durabilité des ouvrages bois : FD P-20 651

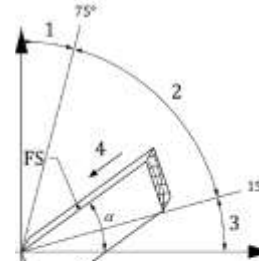
### Détermination de la classe d'emploi :

#### Paramètre 1 : Conception

- Objectif : Analyse, pièce de bois par pièce de bois, des possibilités d'évacuation de l'eau
  - Parties courantes
  - Points singuliers
- 3 Niveaux de conception :
  - **Drainante** : éléments verticaux sans piégeage d'eau (parties courantes et points singuliers)
  - **Moyenne** : éléments horizontaux sans piégeage d'eau (parties courantes et points singuliers)
  - **Piégeante** : rétention d'eau potentielles au niveau de points singuliers (assemblages, bois de bout exposés...)

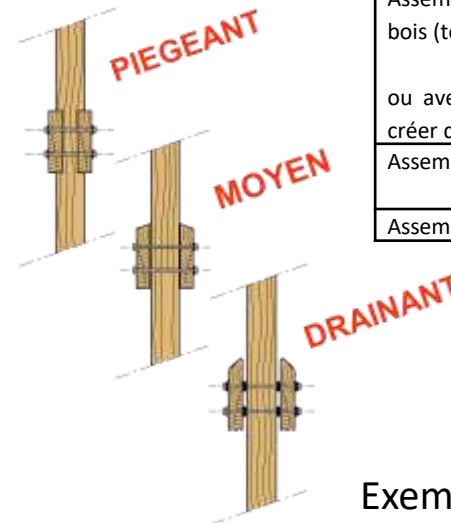
Les DTU doivent établir le lien entre les pratiques courantes et ces 3 types de conceptions.

Ecoulement de l'eau sur les faces supérieure et latérale



Inclinaison axe longitudinal / horizontale	Face Supérieure		Face Latérale	
	Pente face supérieure /axe longitudinal	Conception	Hauteur (retombée)	Conception
$\alpha > 75^\circ$		Drainante		Drainante
$75^\circ \leq \alpha < 15^\circ$	$\beta \geq 15^\circ$	Drainante	x < 22 cm	Drainante
	$\beta < 15^\circ$	Moyenne		
$\alpha \leq 15^\circ$	$\beta \geq 15^\circ$	Drainante	x > 22 cm	Moyenne
	$\beta < 15^\circ$	Piégeante		

Assemblages exposés



Type d'assemblage	Conception
Assemblage comportant des encastremets de parties bois (tenon/mortaise, entaille...) ou avec des formes d'usinage (ex : chapelle) pouvant créer des piégeages d'eau	Piégeante
Assemblages avec contacts surfaciques entre éléments	Moyenne
Assemblages avec désolidarisation des éléments	Drainante

Exemple DTU 31.1 charpente



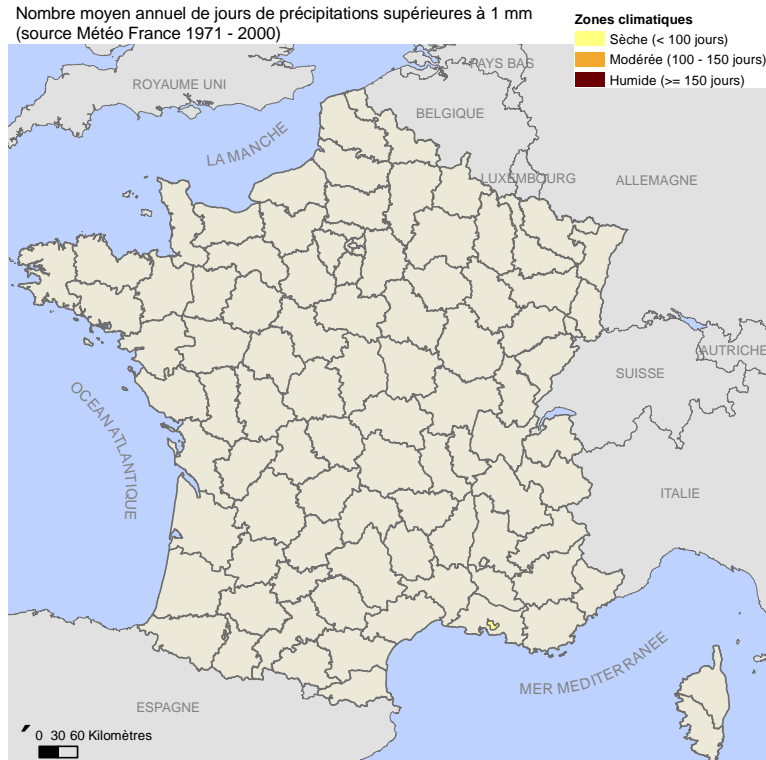
# Durabilité du bois

## Maîtrise de la durabilité des ouvrages bois : FD P-20 651

### Détermination de la classe d'emploi :

#### Paramètre 2 : Climat

##### Influence de la pluviosité



#### Paramètre 3 : Massivité de la pièce de bois

Plus la pièce de bois est fine, plus elle désorbe rapidement. Ce paramètre comprend également la limitation d'apparition de fentes (pièges à eau) dans le temps.

Massivité	Bois massif, BMA	BLC avec lamelles > 35 mm BMR	BLC avec lamelles 35 mm maxi
Faible	$e \leq 28 \text{ mm}$	Sans objet	$e \leq 28 \text{ mm}$
Moyenne	$28 \text{ mm} < e \leq 75 \text{ mm}$	$28 < e \leq 150$	$28 < e \leq 210$
Forte	$e > 75 \text{ mm}$	$e > 150 \text{ mm}$	$e > 210 \text{ mm}$

# Durabilité du bois

## Maîtrise de la durabilité des ouvrages bois : FD P-20 651

### Détermination de solutions de durabilité en fonction de la durée de vie:

N : longévité incertaine et dans tous les cas inférieurs à 10 ans (solutions à ne pas prescrire)  
 L1 : Longévité comprise environ entre 10 et 50 ans dans l'utilisation initialement prévue  
 L2 : Longévité comprise environ entre 50 et 100 ans dans l'utilisation initialement prévue ;  
 L3 : Longévité supérieure à 100 ans.

### Durabilité naturelle

Essences de bois purgées d'aubier (2)			Durabilité fongique et classe d'emploi					Résistance aux insectes à larves xylophages	Résistance aux termites (3)
Nom standard	Espèce botanique	Code	1	2	3.1	3.2	4		
Châtaignier	Castanea sativa	CTST	L3	L3	L3	L2	L1(1)	Oui	Non
Chêne (rouvre et/ou pédonculé)	Quercus petraea Quercus robur	QCXE	L3	L3	L3	L2	L1(1)	Oui	Non
Hêtre(*)	Fagus sylvatica	FASY	L3	L2	N	N	N	Non	Non
Peuplier blanc(*)	Populus alba L	POAL	L3	L2	L1	N	N	Non	Non
Robinier (faux Acacia)	Robinia pseudoacacia L	ROPS	L3	L3	L3	L2	L1	Oui	Oui
Douglas	Pseudotsuga menziesii	PSMN	L3	L3	L2	L1	N	Oui	Non
Epicéa (*)	Picea abies	PCAB	L3	L2	L1	N	N	Non	Non
Mélèze d'Europe	Larix decidua	LADC	L3	L3	L2	L1	N	Oui	Non
Pin maritime	Pinus pinaster	PNPN	L3	L3	L2	L1	N	Oui	Non
Pin sylvestre	Pinus sylvestris	PNSY	L3	L3	L1	L1	N	Oui	Non
Western Red Cedar	Thuja plicata	THPL	L3	L3	L2	L1	N	Oui	Non
Sapin blanc(*)	Abies alba	ABAL	L3	L2	L1	N	N	Non	Non

### Durabilité conférée

Classe d'emploi Essences de bois avec aubier	1	2	3a	3b	4	Résistance aux insectes à larves xylophages -2
	Durabilité fongique					
Essences traitées pour utilisation en classe 2 (3)		L1				Oui
Essences traitées pour utilisation en classe 3a (3)			L1(1)			Oui
Pin sylvestre traité classe 4					L1	Oui
Pin sylvestre traité classe 3b				L1		Oui
Pin maritime traité classe 4					L1	Oui
Pin maritime traité classe 3b				L1		Oui
Mélèze traité classe 3b				L1		Oui
Douglas traité classe 3b				L1		Oui
Pin noir d'Autriche et Laricio traité classe 4					L1	Oui
Chêne (rouvre- pédonculé) traité classe 4					L1	Oui
Hêtre traité classe 4					L1	Oui



## 2<sup>ème</sup> partie: Construction bois



# Systemes constructifs bois

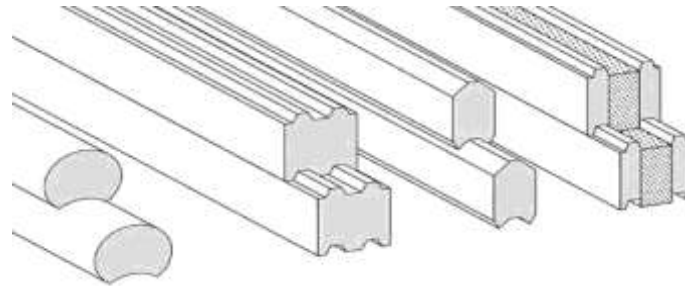
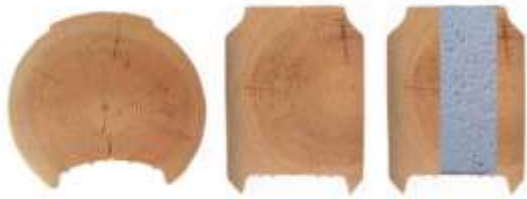


# Systemes constructifs bois

## Bois empilé

Pièces de bois de grande longueur (fuste, rondins ou madriers, massifs ou reconstitués, calibrés ou non) empilées horizontalement les unes sur les autres pour former des parois verticales assurant les fonctions portante, séparative, isolante.

Référentiel : Règles Professionnelles Afcobois 1998  
(non validées par la C2P)



- Assemblage à mi-bois
- Insertion de tiges et connecteurs métalliques



Tassements verticaux significatifs  
(précautions nécessaires)

# Systemes constructifs bois

## Poteaux-poutres

Référentiel : DTU 31.1 (Produits / MO)

Systeme compose d'elements lineaire en bois massif ou recompose (BMA, BMR, BLC, LVL) de forte section espaces de plusieurs metres, formant la structure (squelette) de la construction.





# Systemes constructifs bois

## Poutres treillis, portiques et arcs

Pour les constructions necessitant de grande portee



Référentiel : DTU 31.1 (Produits / MO)



# Systemes constructifs bois

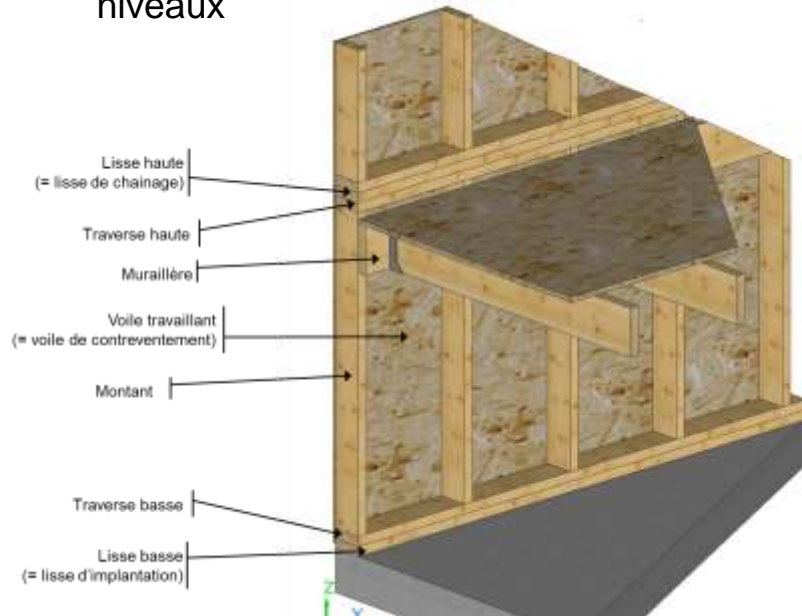
## Ossature bois

Référentiel : DTU 31.2 (Produits / MO)

Parois composées d'une ossature constituée de montants verticaux, faiblement espacés (60 cm), de traverses horizontales basse et haute assemblées à chaque extrémité de montants et de voile travaillant, fixé sur l'ossature, d'un seul côté ou des deux, pour rigidifier les parois dans leur plan.

On distingue deux techniques constructives d'ossature :

1. la technique plate-forme où les montants d'ossature ont une hauteur limitée à la hauteur du niveau et le plancher haut sert de support au niveau suivant,
2. la technique balloon-frame où les parois sont filantes sur au moins deux niveaux





# Systemes constructifs bois

## Ossature bois

Les cavités de la paroi formées par l'ossature principales et secondaires sont remplies de matériaux isolants.

Côté extérieur, un écran rigide ou film pare-pluie protège contre le passage de l'eau liquide mais est perméable à la vapeur d'eau.

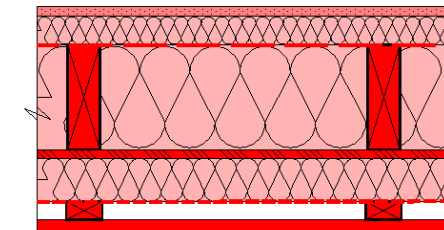
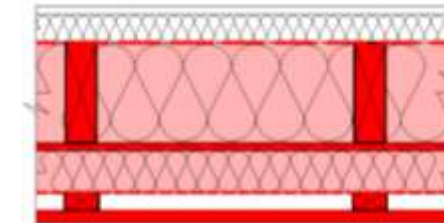
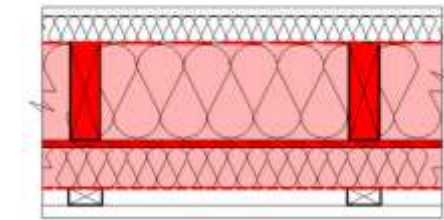
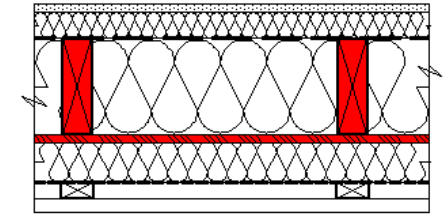
Côté intérieur, le pare-vapeur assure également la fonction étanchéité à l'air.

Niveaux de préfabrication:

- Sur site (= pas de préfabrication)
- Petit panneau ouvert : **1,2 m x 2,5 m (Manu portables)**
- Grand panneau ouvert ou fermé : **Jusqu'à 12 m (voir plus : longueur de façade) => Engin de levage nécessaire**
  - Intégration du pare-pluie
  - Intégration de l'isolant et pare-vapeur
  - Intégration des menuiseries extérieures
  - Intégration du revêtement extérieur
  - Intégration du revêtement intérieur



Référentiel : DTU 31.2 (Produits / MO)



# Systemes constructifs bois

## Panneaux massifs lamellé-croisé (CLT)

Référentiel : Atec/DTA

Parois de murs, planchers et toitures.





# Systemes constructifs bois

## Planchers traditionnels

Référentiel : DTU 31.1 (Produits / MO)

Plancher intermédiaire



Plancher bas sur vide sanitaire



# Systemes constructifs bois

## Planchers caissons prefabriques

Referentiel : DTU 31.2 (Produits / MO) ou ATEC



Source : Guillet Production



source Metsäwood



# Systemes constructifs bois

## Planchers mixtes bois/beton

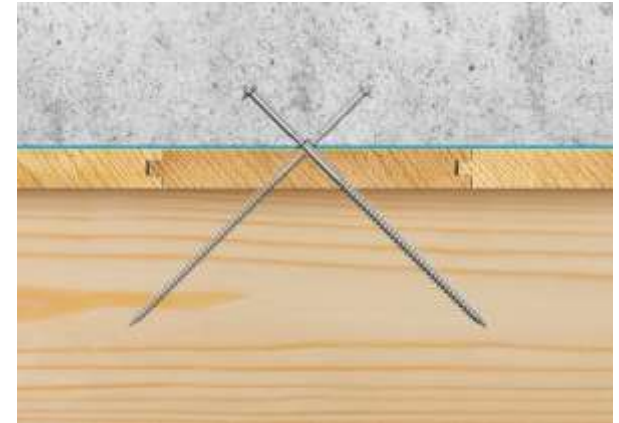
Référentiel : ATEC



Source : Cosylva



Source : CBS/CBT



Source : SFS INTEC



# Systemes constructifs bois

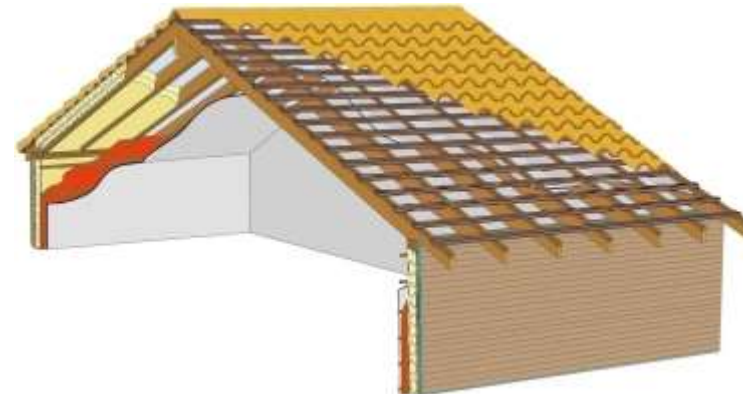
## Charpentes traditionnelles

Référentiel : DTU 31.1 (Produits / MO)

Fermes / pannes / chevrons



Chevrons porteurs



# Systemes constructifs bois

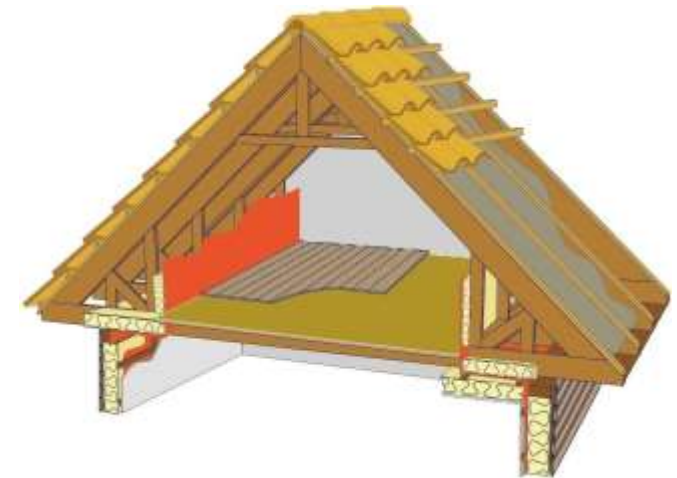
## Charpentes industrialisees assemblees par connecteurs

Refe-rentiel : DTU 31.3 (Produits / MO)

Combles perdus



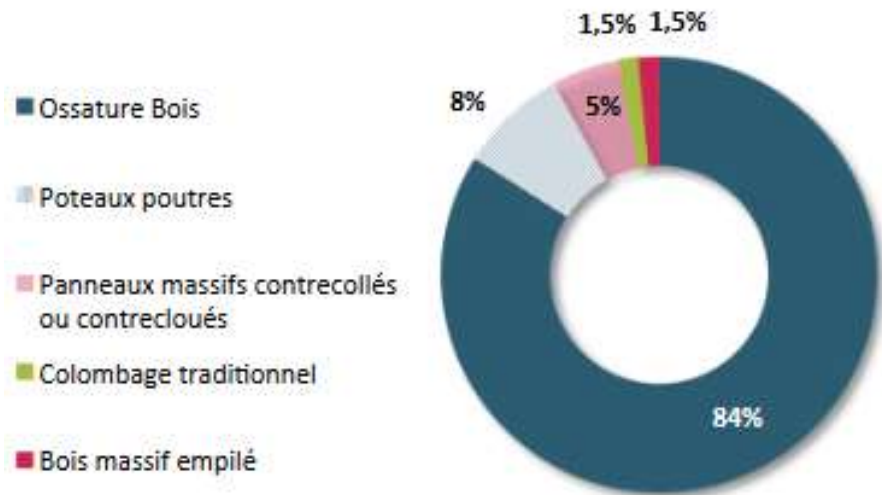
Combles amenegeables



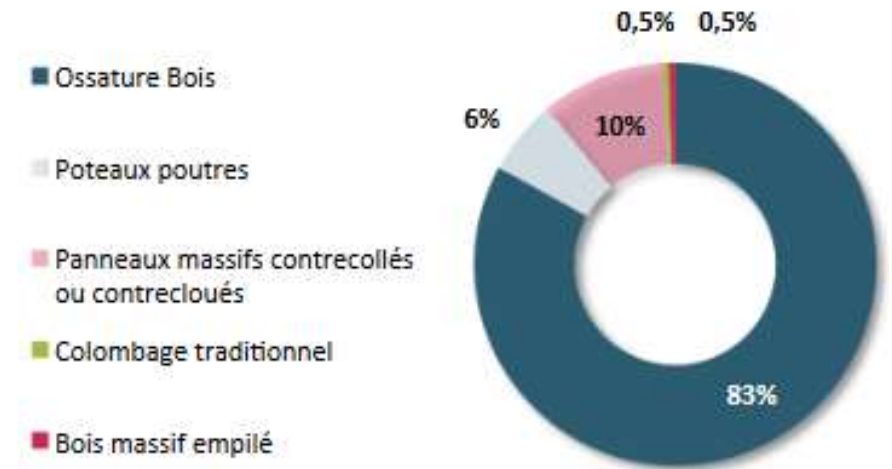


# Quelques chiffres de la construction bois en France

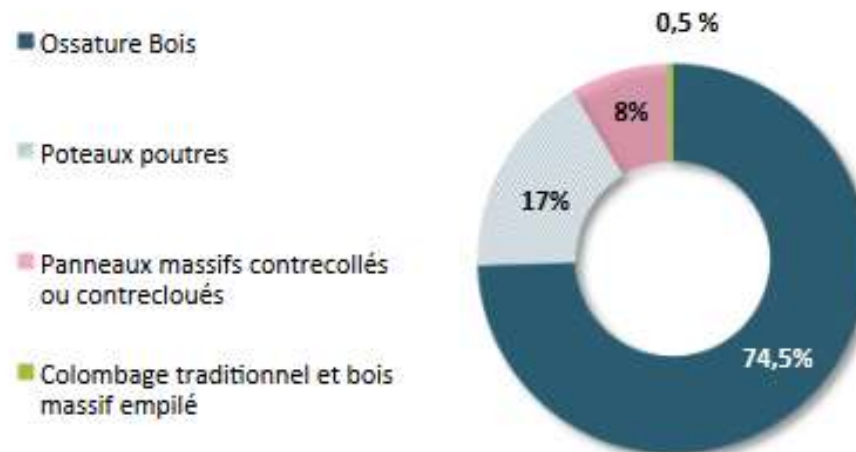
## Répartition des systèmes constructifs



Maison individuelle



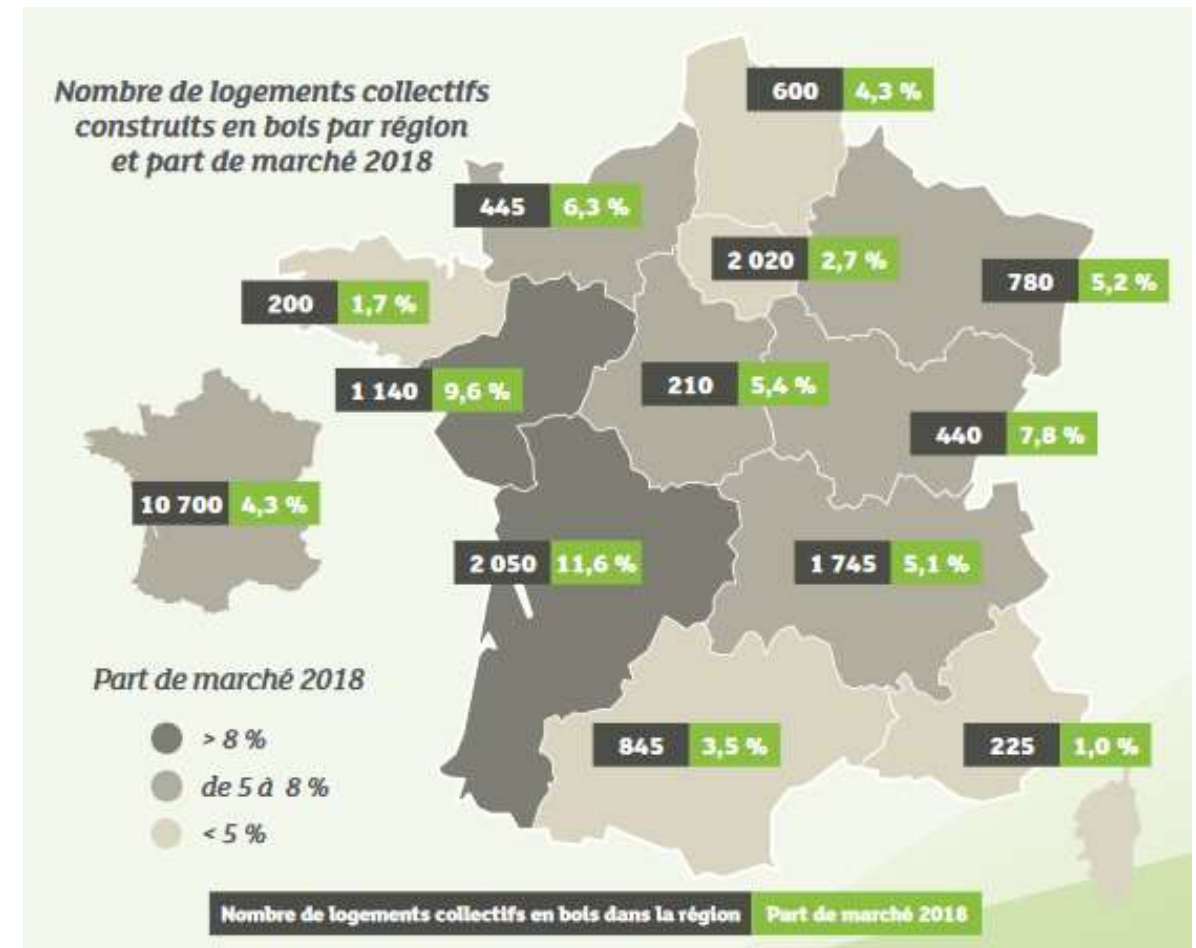
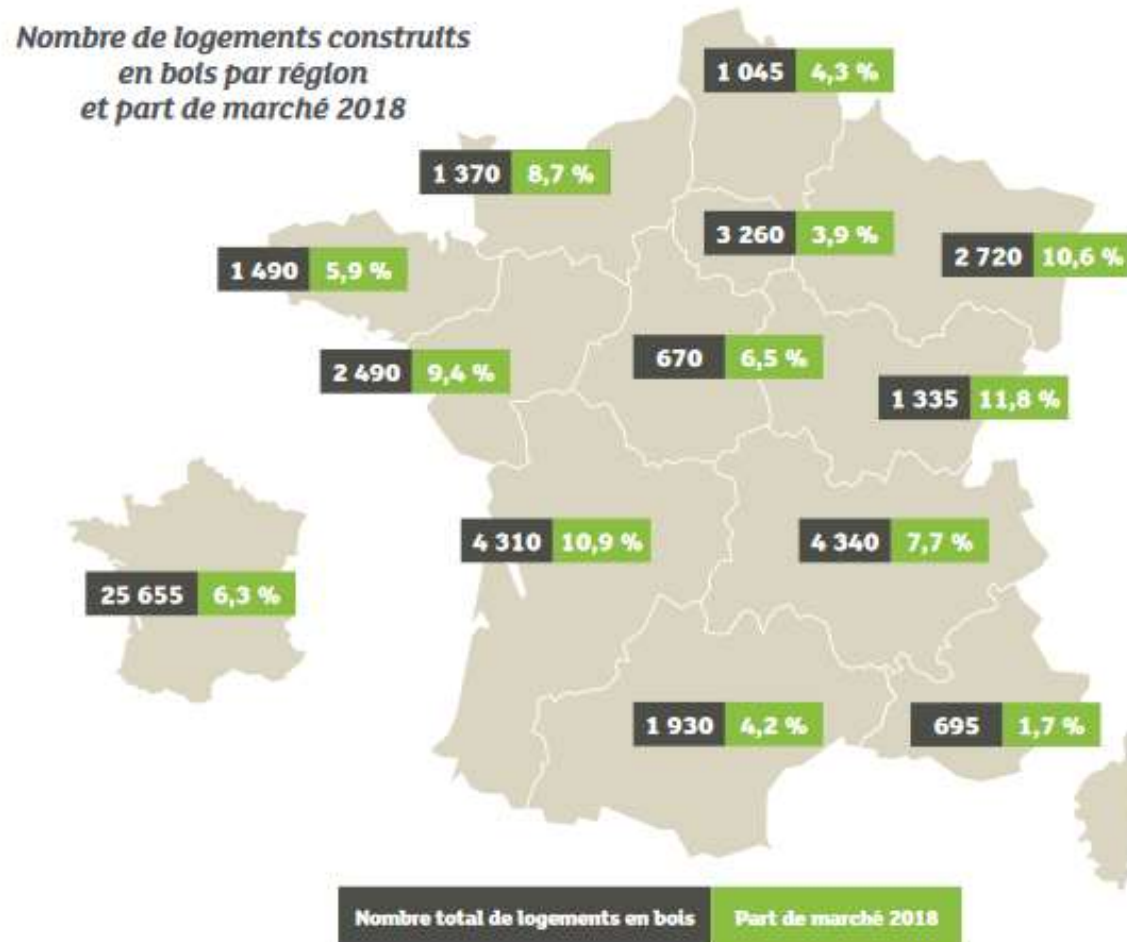
Bâtiments collectifs



Bâtiments tertiaires

# Quelques chiffres de la construction bois en France

## Part de la construction bois dans le marché des logements



Source : Enquête nationale de la construction bois – Juin 2019

# Quelques chiffres de la construction bois en France

## Part de la construction bois dans le marché de la construction neuve

MARCHÉ DU LOGEMENT						
FRANCE	2016		2018		EVOLUTION DES RÉALISATIONS ENTRE 2016 ET 2018	PRÉVISIONS 2019 (SOLDE D'OPINIONS)
	NOMBRE DE RÉALISATIONS EN BOIS	PART DE MARCHÉ	NOMBRE DE RÉALISATIONS EN BOIS	PART DE MARCHÉ		
Maison individuelle totale	12 435	8,7 %	14 955	9,4 %	↗ ↗	↗
<i>dont secteur diffus</i>	9 680	9,1 %	10 855	9,2 %	↗ ↗	↗
<i>dont secteur groupé</i>	2 755	7,6 %	4 100	10,3 %	↗ ↗	↗
Logement collectif	8 960*	4,0 %	10 700*	4,3 %	↗ ↗	↗ ↗
<b>TOTAL LOGEMENT</b>	<b>21 395</b>	<b>5,9 %</b>	<b>25 655</b>	<b>6,3 %</b>	↗ ↗	↗
Extension-surélévation	9 930	27,8 %	10 840	27,5 %	↗	↗ ↗

\* Ce nombre peut intégrer du logement intermédiaire ou collectif horizontal. Le nombre de réalisations mixte bois-béton ou bois-métal est prépondérant.

MARCHÉ DES BÂTIMENTS NON RÉSIDENTIELS						
FRANCE	2016		2018		EVOLUTION DES SURFACES CONSTRUITES ENTRE 2016 ET 2018	PRÉVISIONS 2019 (SOLDE D'OPINIONS)
	SURFACES RÉALISÉES EN STRUCTURE BOIS (M <sup>2</sup> )	PART DE MARCHÉ	SURFACES RÉALISÉES EN STRUCTURE BOIS (M <sup>2</sup> )	PART DE MARCHÉ		
Bâtiments tertiaires privés et publics <sup>(1)</sup>	1 048 500	10,7 %	1 145 000	10,5 %	↗	↗
Bâtiments agricoles	1 600 000	25,8 %	1 561 500	25,2 %	↘	↗
Bâtiments industriels et artisanaux	545 000	17,0 %	717 000	18,8 %	↗ ↗	↗
<b>TOTAL NON RÉSIDENTIELS</b>	<b>3 193 500</b>	<b>16,7 %</b>	<b>3 423 500</b>	<b>16,3 %</b>	↗ ↗	↗

(1) Les bâtiments tertiaires privés et publics regroupent les commerces et les bureaux d'une part, et les bâtiments publics (mairie, école, salle polyvalente...) d'autre part.

Source : Enquête nationale de la construction bois – Juin 2019



# Bâtiments de grande hauteur



Temple Tōdai-ji Nara, Japon : 48 m  
750 (dernière reconstruction en 1692)

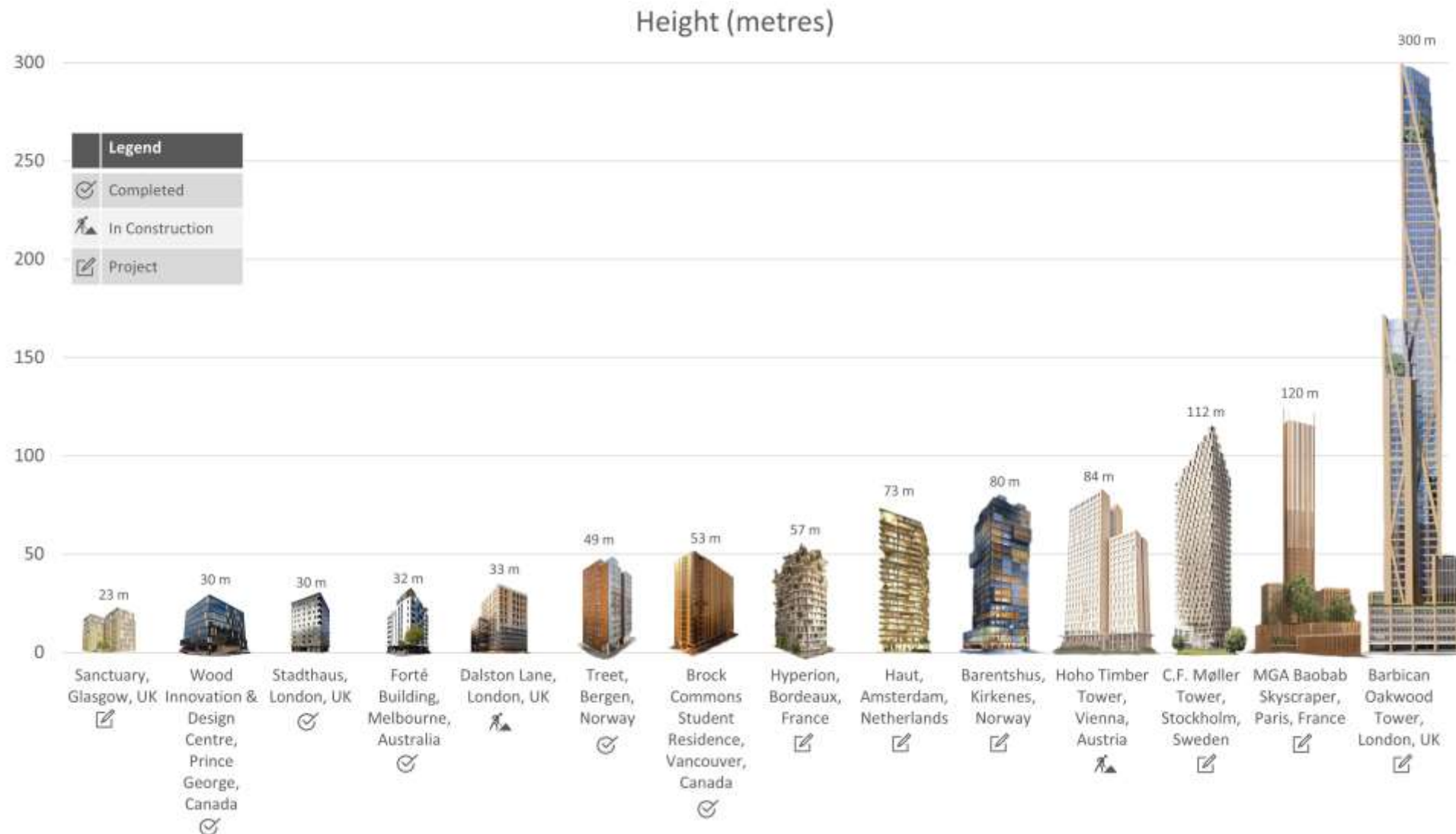


Stavkirke de Heddal : 26 m  
1250



Monastère Sapanta-Peri, Roumanie : 78 m  
1390 (reconstruit au 20<sup>ème</sup> siècle)

# Bâtiments de grande hauteur



source : <http://cti-timber.org/content/glimpse-future-mass-timber-projects>



# Bâtiments de grande hauteur



**Stadthaus/Murray Grove:**

**Lieu: Londres, Angleterre**

**Hauteur: R+8**

**Système constructif: CLT  
(escalier et ascenseur  
inclus)**

**Livraison: 2009**



**UBC Brock Commons**

**Lieu: Vancouver, Canada**

**Hauteur: R+17 (53 m)**

**Système constructif: Noyau béton  
et structure bois en CLT et  
poteau-poutre**

**Livraison: 2017**



**Treet**

**Lieu: Bergen, Norvège**

**Hauteur: R+14 (49 m)**

**Système constructif: CLT, poteau-  
poutre, modules 3D**

**Livraison: 2017**

<https://www.youtube.com/watch?v=3jl0U36x3D4>



**Mjøstårnet**

**Lieu: Brumunddal, Norvège**

**Hauteur: R+17 (85 m)**

**Système constructif: poteau-  
poutre, CLT , béton**

**Livraison: 2019**



# Bâtiments de grande hauteur



## Sensations

Lieu: Strasbourg, France

Hauteur: R+11

Système constructif: CLT  
(escalier et ascenseur inclus)

Livraison: 2019



## Hoho:

Lieu: Vienne, Autriche

Hauteur: R+23 (84 m)

Système constructif:  
Noyau béton et structure  
bois en CLT et poteau-  
poutre

Livraison: 2019



## Tours Hyperion:

Lieu: Bordeaux, France

Hauteur: R+16 (55 m) – R+9

Système constructif:  
Noyau béton et structure  
bois en CLT et poteau-  
poutre

Livraison : prévue 2021



## Projet Tour Oakwood

Lieu: Londres, Angleterre

Hauteur: R+30 (300 m)

20??



# Contexte normatif et réglementaire en construction

# Contexte normatif et réglementaire en construction

## STATUT NORMATIF

- ❖ Application non strictement obligatoire
- ❖ Incidences financières (voire pénales si problème grave) en cas de défaillances et de non application constatée
- ❖ Exigé dans certains marchés de travaux

## STATUT REGLEMENTAIRE

- ❖ D'application obligatoire
- ❖ Pénal si non respect constaté



# Contexte normatif et réglementaire en construction

## REGLE GENERALE

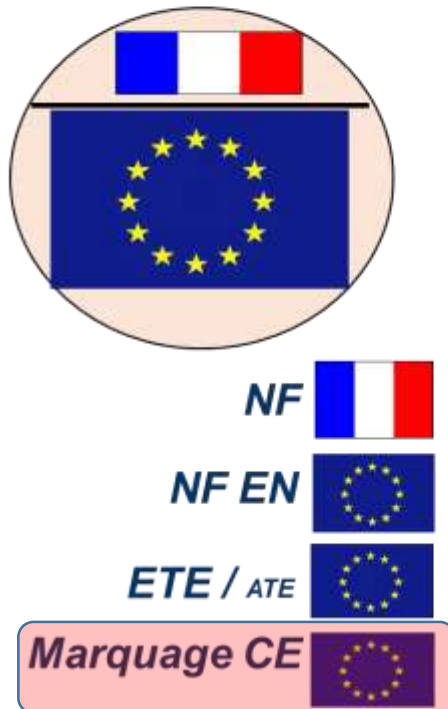
⇒ La prescription d'un produit ou d'un composant n'est envisageable que si une réponse existe dans chacun des 3 référentiels suivant :



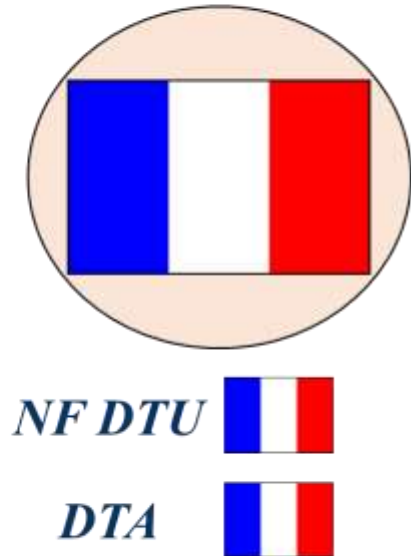
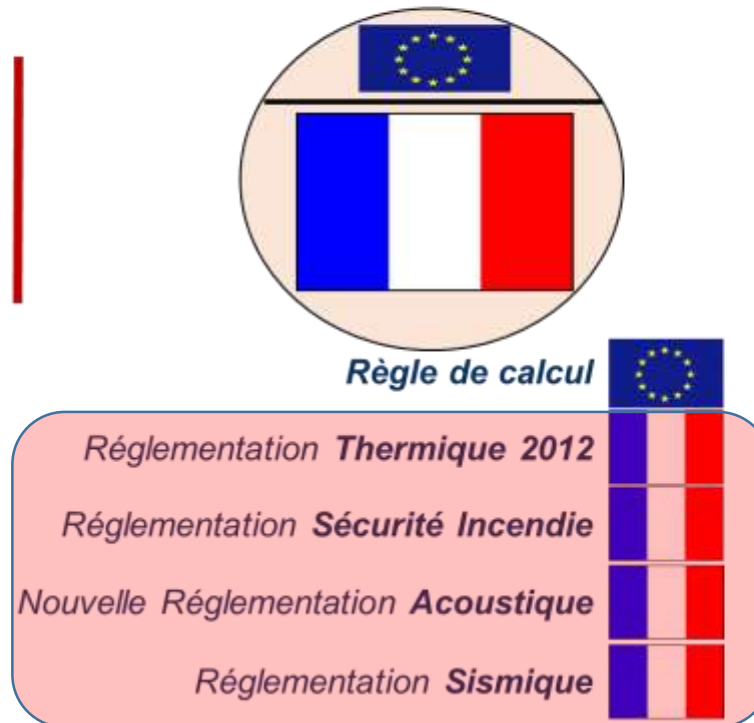
# Contexte normatif et réglementaire en construction



Spécification et évaluation des produits



Codes de construction



# Contexte normatif et réglementaire en construction

## Marquage CE des produits de construction

Rendu obligatoire par le Règlement Produit de Construction (RPC) de juillet 2013 pour tout produit de construction conforme à une **norme harmonisée** ou à une **Evaluation Technique Européenne**.



### Exigences fondamentales :

1. Résistance mécanique et stabilité
2. Sécurité en cas d'incendie
3. Hygiène, santé et environnement
  - Prise en compte de la santé des travailleurs
4. Sécurité et accessibilité
  - Prise en compte de l'accessibilité handicapé.
5. Protection contre le bruit
6. Économie d'énergie
  - Prise en compte de la consommation dans la vie de l'ouvrage
  - Minimiser énergie pour montage / démontage
7. Utilisation durable des ressources naturelles
  - Prise en compte de réutilisation et recyclabilité
  - Introduction de la durée de vie des ouvrages

**RESPONSABILITE** du « FABRICANT » d'attester de la conformité à la norme ou ETE :

- Détenir les **preuves des performances** annoncées
- Disposer d'un **Contrôle de Production Usine**
- Respecter le **système de déclaration de performance (DOP)** imposé pour le produit et son usage
- **Marquer CE ses produits**

Dérogation au marquage si :

- fabrication individuelle ou sur mesure pour un ouvrage identifié, si pas fabriqué selon le procédé industriel
- fabrication sur site
- fabrication pour conservation d'un ouvrage existant ou sauvegarde du patrimoine et procédé non industriel



# Contexte normatif et réglementaire en construction

Produits traditionnels : maîtrisés avec recul et retour d'expérience ayant fait l'objet de référentiels collectifs génériques

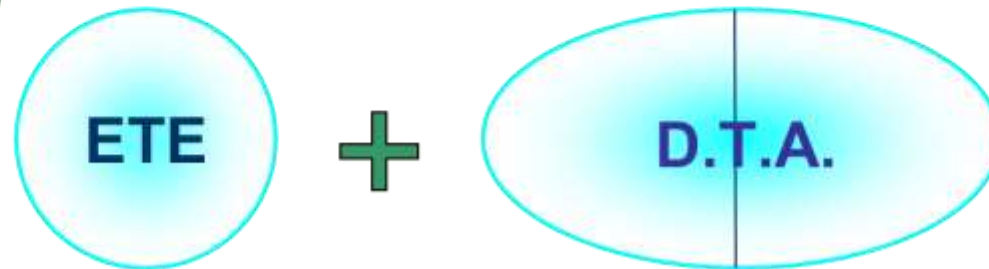
Produits traditionnels



OU



OU



Produits non traditionnels : souvent nouveaux nécessitant un cadrage spécifique

Produits non traditionnels

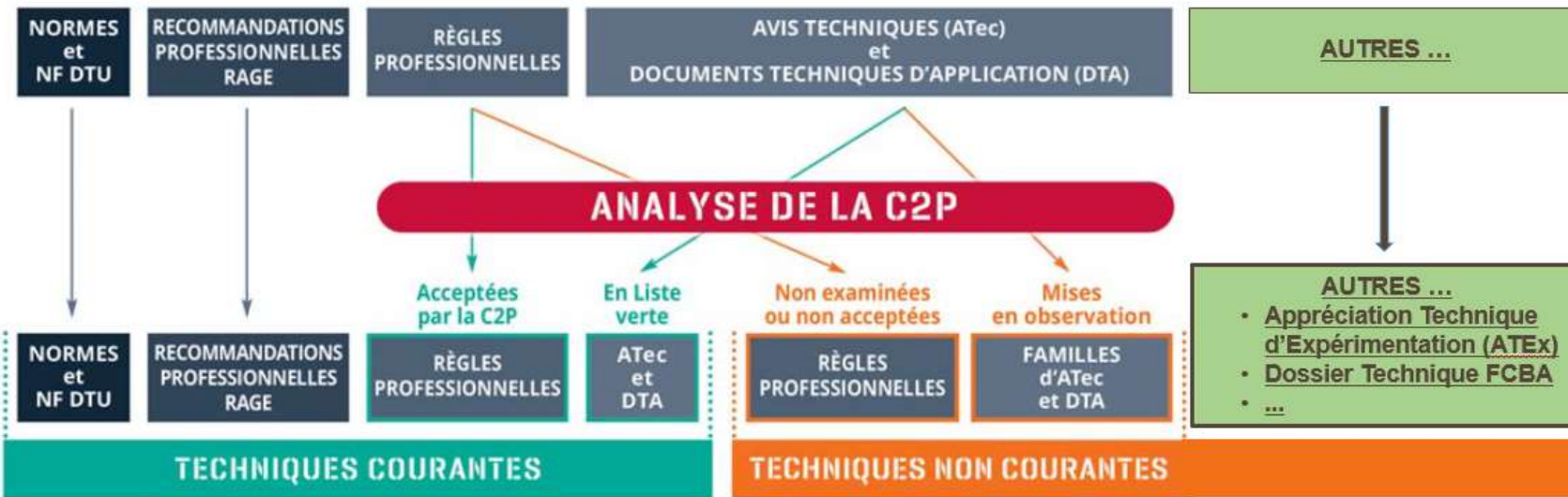
Reconnaissance technique du produit

# Contexte normatif et réglementaire en construction

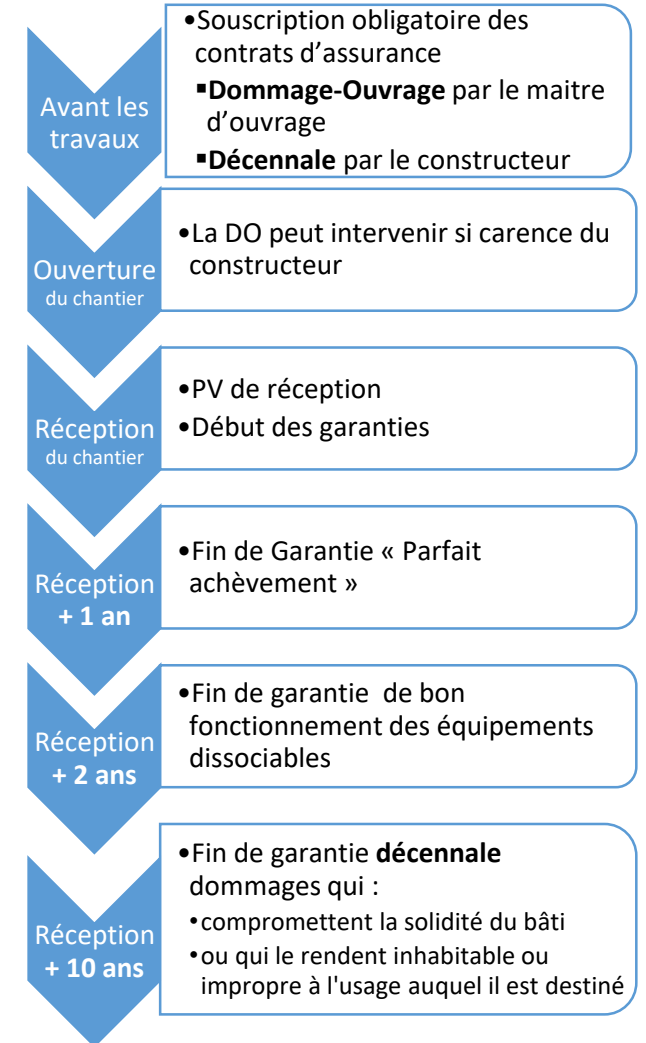
## Approche assurancielle :

Commission Prévention Produits mis en œuvre (Agence Qualité Construction)

### DOMAINE D'ANALYSE DE LA C2P



[www.qualiteconstruction.com/](http://www.qualiteconstruction.com/)



# Contexte normatif et réglementaire en construction

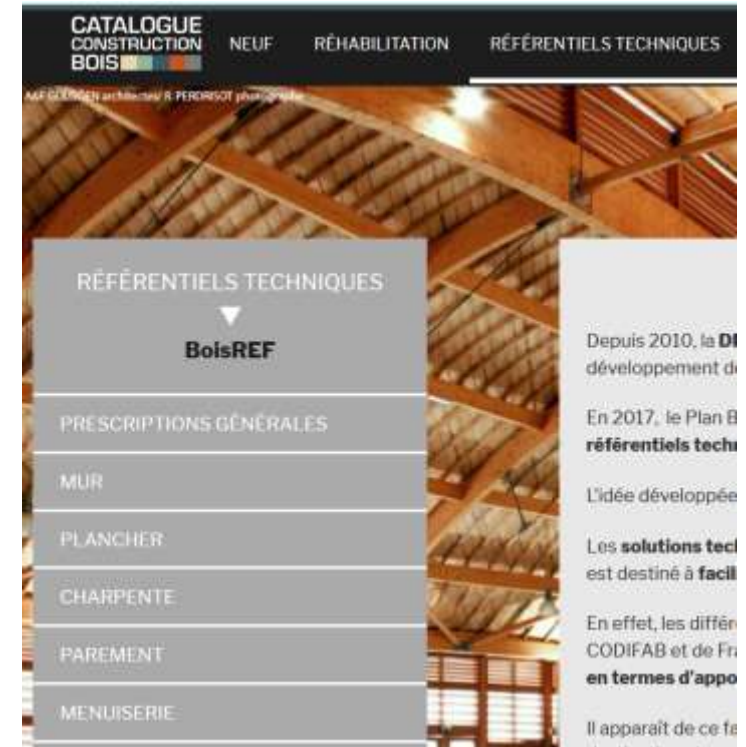
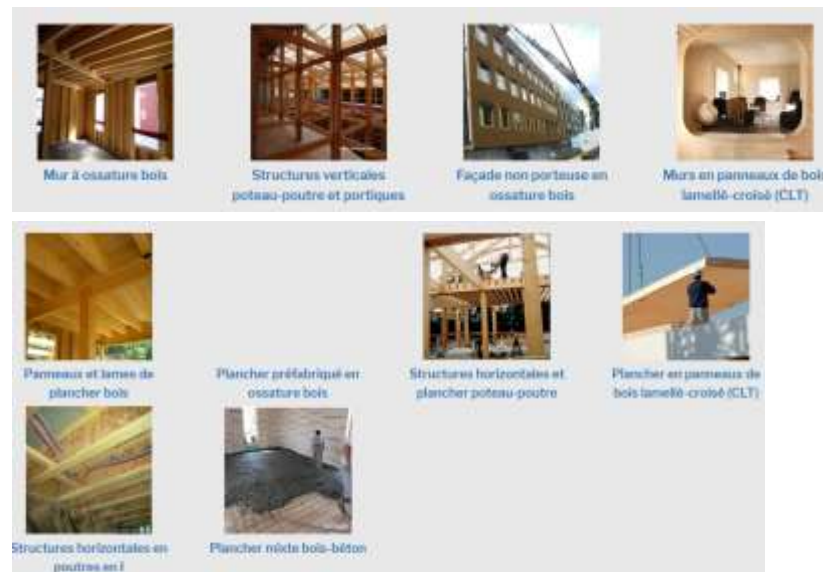
## Guide des référentiels techniques de la filière bois construction : BoisREF

Outil dédié à l'ingénierie (BET, Maitrise d'œuvre, Contrôle technique...), «**BoisREF**» indique les référentiels techniques de toutes les parties d'ouvrage bois.

Il est constitué:

- d'un chapitre d'informations générales permettant notamment d'accéder à des synthèses d'exigences réglementaires;
- de 27 fiches développant chacune d'elles une partie d'ouvrage bois réparties en 5 fiches familles.

- Mur (4)
- Plancher (6)
- Charpente (5)
- Parement (7)
- Menuiserie (5)





# Contexte normatif et réglementaire en construction

## Guide des référentiels techniques de la filière bois construction : BoisREF

Exemple : Fiche « Structures horizontales et plancher poteau-poutre »

### STRUCTURES HORIZONTALES ET PLANCHER « POTEAU-POUTRE »



**Informations principales**

- CGM du NF DTU 31.1
- Norme technique
- NF DTU 31.1 Juin 2013

**Domaine d'application du NF DTU 31.1**

Structure de plancher (linteau et poutres poteaux) intérieure et extérieure et structures primaires de toiture terrasse, quelle que soient les parties.

Matériaux de construction : bois massif, BMA, BM4, B6C, LV1, panneaux de contreventement, acroscories quaternaire de liaison.

Valeurs caractéristiques pour bois exposés aux intempéries (classes d'emploi 3.1, 3.2, 4)

Introduction Eurocode 5 et alternative maintenue sur CS 71 selon DPM privés.

Humidité des bois à la mise en œuvre différenciée selon la classe de service + Annexe Bois forte hygrométrie.

Évaluation des tolérances d'exécution.

Revoir avec l'architecte sur les OCC, (interface avec maçonnerie et béton notamment).

Suppression de la partie escalier pour intégration dans NF DTU 30.3.

Voir les DROM.

Annexe spécifique pour maîtrise commande des bois.

Matériau (lame et lambeaux) en bois positionné au-dessus d'un niveau au-dessus du sol ou toute autre surface sous-jacente.

Supports de lames de platelage lorsque la position des lames est à moins d'un mètre au-dessus du sol ou toute autre surface sous-jacente et que la portée (L) de ces supports est supérieure à 70 cm sur trois appuis ou supérieure à 60 cm sur deux appuis.

**Concordance avec d'autres documents de référence**

Complémentaire avec le NF DTU 31.4 pour platelage en décalé de 1 m et portée des supports de lames de platelage supérieure à 70 cm sur trois appuis ou 60 cm sur deux appuis.

Les planchers en bois ou en panneaux à base de bois sont du ressort du NF DTU 31.1.

Les panneaux forant diaphragme de plancher ne se trouvent pas réalisés par éléments séparés (et non en caissons préfabriqués) sont du ressort du NF DTU 31.1.

Les toitures terrasses sont du ressort du NF DTU 40.4, les planchers en caissons préfabriqués du ressort du NF DTU 31.2, les charpentes assemblées par connecteurs du ressort du NF DTU 31.3 et les escaliers en bois du ressort du NF DTU 30.3.

Complémentaire avec le référentiel NF P 21-305 pour la fabrication des « Nls de fourniture de charpente taillée ».

Mars 2013 - 17 septembre 2013



### Exigences principales et outils disponibles

Exigences de performances et réglementation	Technique existante	Documents d'accompagnement technique et pédagogique *	Techniques non existantes
Reconnaissance par des tiers 1			Guides, études, règles professionnelles hors bois verte C2P, normes étrangères...

**Textes généraux sur partie d'ouvrage**

- Recommandations Professionnelles charpe et dalle sur plancher bois - [Necif](#) et [Héroux/Ange](#)
- Manuel handbook - Le manuel du bois lamellé - [Bosch](#)

**Textes référentiels produit**

- CGM du NF DTU 31.1
- NF EN 14081-1 (bois massif)
- NF EN 15497 (bois abouité)
- NF EN 14080 (lamelle-collé et BMA)
- NF EN 14274 (LVL)
- NF EN 13666 (panneaux à usage de structure)
- NF P 21-305 (charpente taillée)
- Fiches FDS bois massif structuraux [Bosch](#), bois massif abouité [Bosch](#), bois massif reconstruit [Bosch](#), bois lamellé-collé [Bosch](#)
- Fiches FMS bois raboté sec [Bosch](#), bois brut sec [Bosch](#), bois massif abouité [Bosch](#), bois massif reconstruit [Bosch](#), bois lamellé-collé [Bosch](#)


**Textes référentiels conception**

- Solide à froid** NF EN 1995-2-2 + A1 + A2 + Annexe Nationale
  - Manuel simplifié Eurocode 5 [Bosch](#)
  - Plateforme Eurocode 5 [Bosch](#)
  - Guide initiation à la charpente [Bosch](#)
  - Guide dimensionnement à froid des assemblages traditionnels bois [Bosch](#)
  - Dimensionnement simplifié à froid des assemblages bois par Tiges [Bosch](#)
  - Assemblages de charpentes par goussiers en bois [Bosch](#)
  - Note technique SNB1
  - Structures en bois lamellé-collé soumises à des conditions sévères d'exploitation ou à des environnements agressifs [Bosch](#)
  - Étude MOOPAN : performances des panneaux bois sous charge contrôlée [Bosch](#)
  - Étude PLANOSA : justification fonction diaphragme horizontale des planchers bois [Bosch](#)
- Manuel simplifié Eurocode 5 [Bosch](#)
- Dimensionnement des assemblages par lames métalliques [Bosch](#)
- Châtres vibratoires pour planchers bois [Bosch](#)
- Dispositif de certification au serrage : Fiche + Certification, labels... [Bosch](#)
- La protection des bâtiments, relayés contre les termites et autres insectes xylophages [Bosch](#)
- Prévention contre les termites à l'interface bois-béton [Bosch](#)
- Guide d'entretien/entretien des ouvrages en bois (Bois à venir) [Bosch](#)
- Recommandations Professionnelles RAGE
- Isolation thermique des structures des toitures chaudes à dénivelé pour un bois - Necif (DSB image) [Bosch](#)
- Base RAGE [Bosch](#)
- IK Bois [Bosch](#)

**Sécurité incendie**

- Résistance au feu
  - NF EN 1365-1-2 + Annexe Nationale
  - Règles de la sécurité incendie à l'usage du charpentier constructeur bois [Bosch](#)
  - Guide dimensionnement au feu des assemblages traditionnels bois [Bosch](#)
  - Dimensionnement des assemblages par Arrives métalliques [Bosch](#)
  - Dimensionnement au feu des assemblages de structure bois par Tige [Bosch](#)
  - Guide fire and Timber [Bosch](#)
- Réaction au feu
  - Sens Objet
  - NF EN 1366-1 + Annexe Nationale
  - Guide justification bâtiments en bois lamellé en situation de pointe [Bosch](#)
  - Étude Comportement au feu des structures primaires bois [Bosch](#)
  - Guide CPM (ventilation) (selon Guide PSM : lien à venir)
  - Étude ACCURBOIS - performance acoustique des constructions à ossature bois [Bosch](#)
  - Étude ACCURBOIS - performances acoustiques (E5A) sur ossatures bois [Bosch](#)
  - Mécanisme de certification au serrage : Fiche + Certification, labels... [Bosch](#)
- Vibro-acoustique
  - NF EN 1995-1-1 + Annexe Nationale
  - Guide justification bâtiments en bois lamellé en situation de pointe [Bosch](#)
  - Étude Comportement au feu des structures primaires bois [Bosch](#)
  - Guide CPM (ventilation) (selon Guide PSM : lien à venir)
  - Étude ACCURBOIS - performance acoustique des constructions à ossature bois [Bosch](#)
  - Étude ACCURBOIS - performances acoustiques (E5A) sur ossatures bois [Bosch](#)
  - Mécanisme de certification au serrage : Fiche + Certification, labels... [Bosch](#)
- Durabilité
  - FD P 20 681
  - Rapport RAGE
  - Évaluation des risques de pathologies liées à l'humidité (autres insectes xylophages dans un mur extérieur isolé par l'extérieur) [Bosch](#)
- Risques sismique (réglementation)
- Risques insectes (réglementation)
- Transfert de vapeur
  - Recommandations Professionnelles RAGE
  - Isolation thermique des structures des toitures chaudes à dénivelé pour un bois - Necif (DSB image) [Bosch](#)
  - Base RAGE [Bosch](#)
  - Guide RAGE + Tailures fermées en bois isolées intégralement avec l'élément porteur - Necif [Bosch](#)
- Environnement
  - IK Bois [Bosch](#)

Mars 2013 - 17 septembre 2013



**Textes référentiels mise en œuvre**

- CGM du NF DTU 31.1
  - Catégorie de charpente (Charpente en bois) [Bosch](#)
  - Catégorie de charpente (Châtres et dalles sur planchers bois) [Bosch](#)

**Normes, Recommandations Professionnelles RAGE, Règles Professionnelles (voir aussi C2P, Avis Techniques, Application de laboratoires...)**

**Certification, labels, ou autres évaluations par tiers partie**

le(s) référentiel(s) d'évaluation par tiers partie se rapportant à la présente partie d'ouvrage est/sont accessible(s) dans la fiche « Démarches volontaires : Certifications, et labels évalués par tiers partie(s) » [Bosch](#).

**Questions les plus récurrentes**

- Le système opérationnel proposé n'est pas pour constituer un élément mais d'insérer le produit / la technique par exemple au sein d'un bâtiment existant. Les éléments de référence cités sont accessibles dans le dossier normalisé sur cette fiche.
- Prévision d'acier pour compressions liées au durabilité naturelle ?
  - Selon NF DTU 31.1 : CGM : valeur non calculée
  - CCT : présence de Nls sur la section en bois joint de la jointe
  - Justification de la résistance au feu ?
    - Conformément à la NF EN 1365-1-2, deux approches possibles :
      - Soit sur la vérine de construction du bois avec les éléments exposés directement au feu
      - Soit par protection partielle ou totale
- Vibrations ?
  - Confort de marche : voir NF EN 1995-1-2
  - Confort acoustique : l'impact des bruits extérieurs ne se produit en contact
  - Étude psycho-acoustique ACCURBOIS
  - Guide PSM pour justification au séisme.
- Justification au diaphragme ?
  - Règle simplifiée pour la structure dans la NF EN 1995-1-1 en régime séismique. Plus de détails dans la présentation version et complémentaires apportés par l'étude PLANOSA.
  - Guide PSM pour justification au séisme.
- Acoustique et plancher poteau-poutre ?
  - Un plancher poteau-poutre assure souvent environ de la structure entre 2 unités de vie et constitue de ce fait des ponts acoustiques importants (transmissions latérales).

**Prévisions à venir**


**Révision ou création des documents de référence en cours**

- Règles Eurocodes 5 et 8 en cours
- Création d'une norme lamelle-collé feuillus

**Études et guides à venir**

- Étude en cours sur maîtrise vibration des planchers (VIBOS, Base Fraigant)
- Revoir Guide AFPS bois

Mars 2013 - 17 septembre 2013





# Produits de construction bois

# Produits de construction bois

## Le Bois Massif

- Dimensions courantes :
  - Largeur : de 15 à 200 mm
  - Hauteur : de 25 à 300 mm
  - Longueur : jusqu'à 6 m
- Références normatives :
  - NF EN 338 (NF P 21-353) : Bois de structure - Classes de résistance
  - NF EN 1912 (NF P 21-395) : Structures en bois - Classes de résistance - Affection des classes visuelles et des essences
  - NF B 52-001 : Règles d'utilisation du bois dans les constructions – Classement visuel pour l'emploi en structure des principales essences résineuses et feuillues
  - NF EN 350 : Durabilité des bois et des matériaux dérivés du bois - Durabilité naturelle du bois massif
  - NF EN 351 : Durabilité des bois et des matériaux dérivés du bois - Bois massif traité avec produit de préservation



- Marquage CE :
  - NF EN 14081-1 : Structures en bois — Bois de structure à section rectangulaire classé pour sa résistance — Partie 1 : Exigences générales
- Certification :
  - CTB - Sawn Timber



# Produits de construction bois

## Le Bois Massif Abouté



- Constitution : pièces de section rectangulaire obtenues par le collage bout à bout de pièces aux extrémités desquelles ont été usinées des entures permettant leur emboîtement.
- Dimensions courantes :
  - Largeur : de 45 à 120 mm
  - Hauteur : de 100 à 280 mm
  - Longueur : de 6 à 13 m
- Essences couramment utilisées :
  - Sapin
  - Epicéa
  - Pin Sylvestre
  - Douglas
- Marquage CE :
  - NF EN 15497 : Bois massif de structure à entures multiples – Exigences de performances et exigences minimales de fabrication
- Certification :
  - CTB-AB

## Le Bois Massif Reconstitué



- Constitution : pièces de section rectangulaire obtenues par le collage à plat de deux à cinq lames de bois massif d'épaisseur comprise entre 45 mm et 85 mm, qui peuvent être aboutées.
- Dimensions courantes :
  - Largeur : de 100 à 280 mm
  - Hauteur : de 120 à 280 mm
  - Longueur : jusqu'à 13 m
- Essences couramment utilisées :
  - Sapin
  - Epicéa
  - Pin Sylvestre
  - Douglas
- Marquage CE :
  - NF EN 14080 : Structures en bois – Bois lamellé-collé et bois massif reconstitué – Exigences

# Produits de construction bois

## Le Bois Lamellé Collé

- Constitution :

Pièces de section rectangulaire obtenues par le collage à plat de lames de bois massif d'épaisseur inférieure à 45 mm qui peuvent être aboutées. On distingue :

- *le Bois Lamellé-Collé homogène*, constitué de lamelles de classe mécanique identique : *GLxxh*,
- *le Bois Lamellé-Collé panaché*, constitué de lamelles de bois massif de classes mécaniques différentes : *GLxxc*.

- Essences couramment utilisées :

Sapin, Epicéa, Pin Sylvestre, Douglas

- Dimensions courantes :

- Largeur : de 60 à 240 mm
- Hauteur : de 100 à 2000 mm
- Longueur : jusqu'à 40 m



- Marquage CE :

- NF EN 14080 : Structures en bois – Bois lamellé-collé et bois massif reconstitué – Exigences

- Certification :

- Acerbois Glulam





# Produits de construction bois

## Le Bois Lamellé Croisé ou CLT (Cross Laminated Timber)

- Constitution :

Panneaux massifs obtenu par collage de couches croisées de lames de bois massif d'épaisseur inférieure à 45 mm qui peuvent être aboutées.

Nombre de couches impair, au minimum de trois.

Epaisseur finie des planches comprise entre 6mm et 45mm, largeur varie entre 40mm et 300mm à 12%.

- Essences couramment utilisées :

Sapin, Epicéa, Pin Sylvestre, Douglas

- Dimensions courantes des panneaux :

- Largeur : généralement de 1,2 m à 4,8 m
- Epaisseur : de 60 mm à 500mm
- Longueur : jusqu'à 18 m

- Références normatives :

- NF EN 16351 : Structures en bois – Bois lamellé croisé – Exigences

- Marquage CE:

- Evaluation Technique Européenne

- Calcul et mise en œuvre :

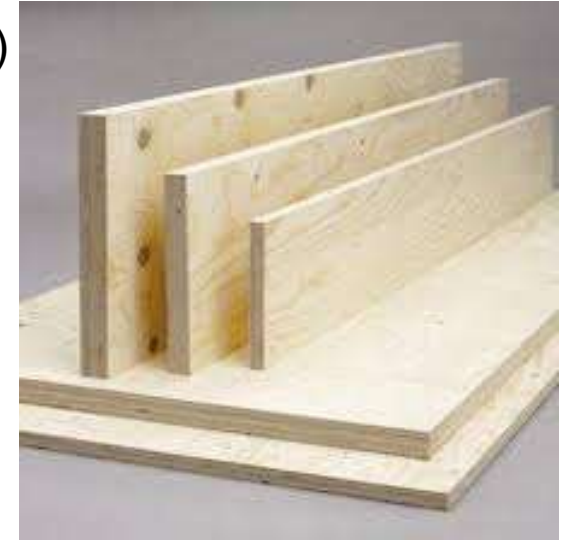
- Avis Technique ou DTA



# Produits de construction bois

## Le Lamibois ou LVL (Laminated Veneer Lumber)

- **Constitution** : couches de placages principalement orientées dans la même direction, liées entre elles par collage pour former des plateaux larges recoupés en panneaux ou éléments linéaires de structure.
- **Dimensions courantes** :
  - Épaisseur : 25 à 75 mm
  - Largeur : 1,80 m ou plus
  - Longueur : 18 m ou plus
- **Marquage CE** :
  - NF EN 14279 : LVL – Spécifications, définitions, classification et exigences (panneaux)
  - NF EN 14374 : Structures en bois – LVL structural – Exigences (poutres, poteaux)



# Produits de construction bois

## Les poutres composites

- **Constitution** : membrures en matériau à base de bois de section rectangulaire reliées par une âme pouvant être à base de bois ou métallique.
  - Poutres à âme en bois ou panneau à base de bois, assemblée par collage de l'âme en rainure dans les membrures.
  - Poutres à âme métallique pleine, assemblée mécaniquement par pressage dans les membrures non rainurées.
  - Poutres ajourées, à diagonales métalliques ancrées sur les membrures par des parties saillantes embouties (dents)
- **Dimensions courantes** :
  - Largeur : de 60 à 120 mm
  - Hauteur : de 200 à 500 mm
  - Longueur : de 5 à 12 m
- **Marquage CE** :
  - Evaluation Technique Européenne
- **Certification** :
  - CTB – PI
- **Calcul et mise en œuvre** :
  - Avis Technique ou DTA

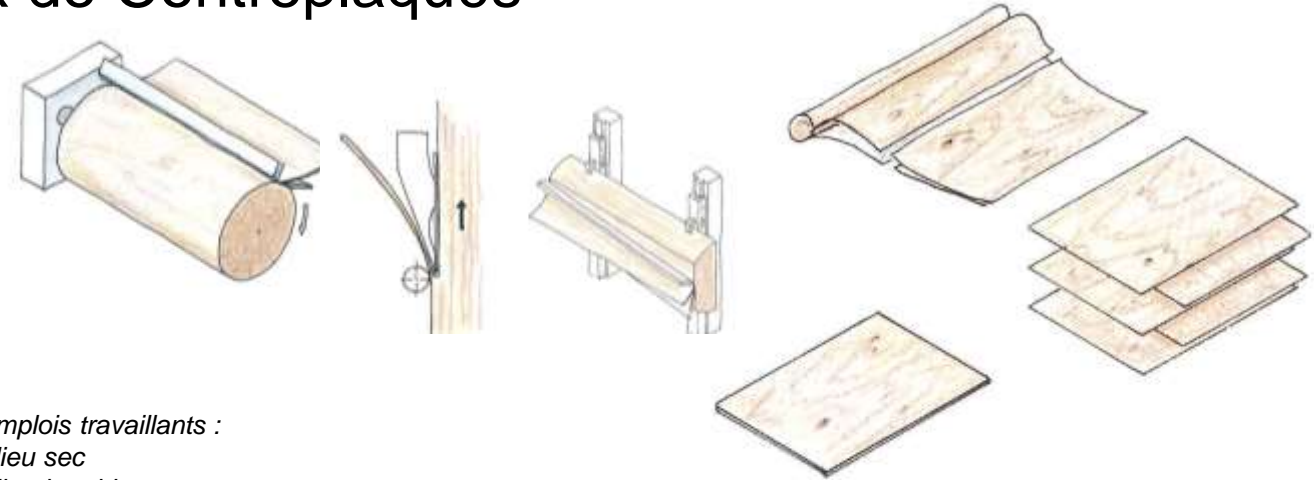




# Produits de construction bois

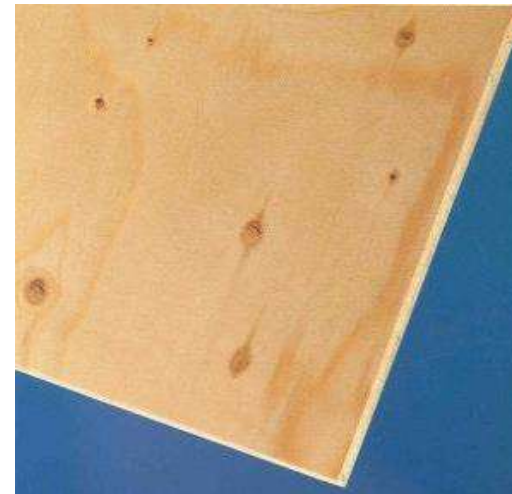
## Les Panneaux de Contreplaqués

- **Constitution** : placages de bois de fine épaisseur (0,6 à 4 mm), obtenus par tranchage ou déroulage, et collés les uns sur les autres à fil croisé.
- **Dimensions courantes** :
  - Épaisseur : 6, 8, 10, 12, 15, 18, 22, 25, 30 mm
  - Largeur : 1,20 m et 1,50 m
  - Longueur : 2,50 m et 3,10 m
- **Références normatives** :
  - NF EN 636 : Contreplaqués – Exigences →
  - NF EN 12369-2 : Panneaux à base de bois – Valeurs caractéristiques pour la conception des structures – Partie 2 : Contreplaqué
- **Marquage CE** :
  - NF EN 13986 : Panneaux à base de bois utilisés dans la construction – Caractéristiques, évaluation de conformité et marquage
- **Certification** :
  - Panneaux NF-EXTÉRIEUR CTB-X
  - « Contreplaqué marine »



*Panneaux destinés aux emplois travaillants :*

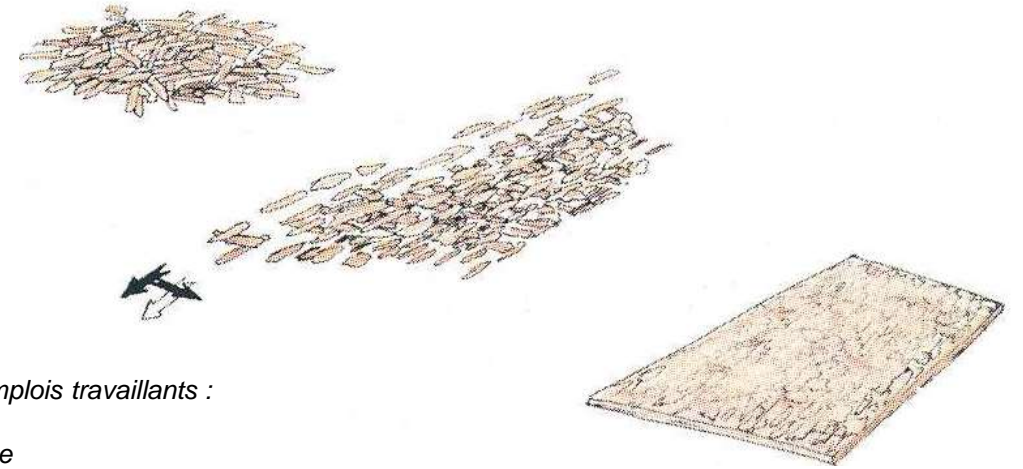
- *type EN 636-1S : milieu sec*
- *type EN 636-2S : milieu humide*
- *type EN 636-3S : milieu extérieur ou milieu humide confiné*



# Produits de construction bois

## Les Panneaux d'OSB (Oriented Strand Board)

- **Constitution** : grandes particules de bois, obtenues par broyage de divers petits bois (chutes de scierie, bois d'éclaircie, etc...), collées les unes aux autres en 3 couches avec une orientation des lamelles dans le sens de la longueur pour les couches externes.
- **Dimensions courantes** :
  - Épaisseur : 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 22 mm
  - Largeur : 1,20 m et 2,50 m
  - Longueur : 2,50 m et 5 m
- **Références normatives** :
  - NF EN 300 : Panneaux de lamelles minces longues et orientées – Définitions, Classification et exigences
  - NF EN 12369-1 : Panneaux à base de bois – Valeurs caractéristiques pour la conception des structures – Partie 1 : OSB, panneaux de particules et panneaux de fibres
- **Marquage CE** :
  - NF EN 13986 : Panneaux à base de bois utilisés dans la construction – Caractéristiques, évaluation de conformité et marquage
- **Certification** :
  - CTB-OSB



Panneaux destinés aux emplois travaillants :

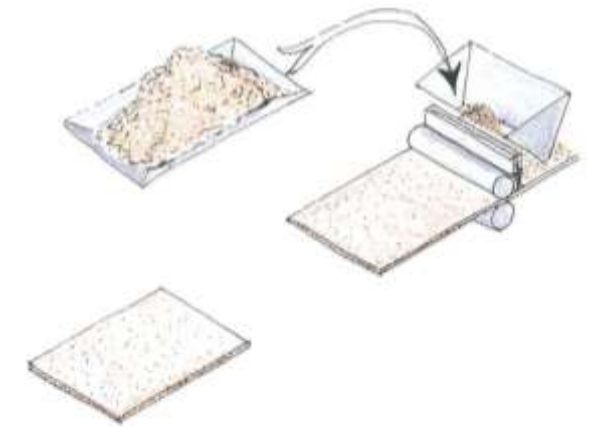
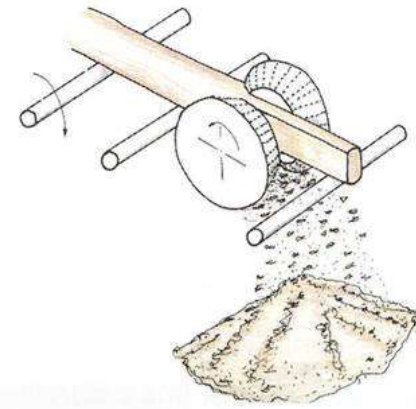
- OSB 2 : milieu sec
- OSB 3 : milieu humide
- OSB 4 : sous contraintes élevées en milieu humide



# Produits de construction bois

## Les panneaux de particules

- Constitution : particules de bois (copeaux de bois, déchets de rabotage, sciures..) collées les unes aux autres, sous pression et chaleur, en trois couches.
- Dimensions courantes :
  - Épaisseur : 6, 8, 10, 12, 15, 18, 22 mm
  - Largeur : 1,20 m
  - Longueur : 2,50 m et 3 m
- Références normatives :
  - NF EN 312 : Panneaux de particules – Exigences
    - ⇒ *Panneaux destinés aux emplois travaillants :*
      - P4 : milieu sec
      - P5 : milieu humide
      - P6 : sous contraintes élevées en milieu sec
      - P7 : sous contraintes élevées en milieu humide
  - NF EN 12369-1 : Panneaux à base de bois – Valeurs caractéristiques pour la conception des structures – Partie 1 : OSB, panneaux de particules et panneaux de fibres
- Marquage CE :
  - NF EN 13986 : Panneaux à base de bois utilisés dans la construction – Caractéristiques, évaluation de conformité et marquage
- Certification :
  - CTB-H (milieu humide)
  - CTB-S (milieu sec)





# Produits de construction bois

## Les panneaux de fibres

Constitution : fibres obtenues par défilage de bois ronds, collées les unes aux autres.

On distingue :

- les panneaux de fibres obtenus par procédé à sec :
  - MDF (Moyenne densité)
- les panneaux de fibres obtenus par procédé humide :
  - HB (Durs)
  - MBH (semi-durs)
- Dimensions courantes :
  - Épaisseur : 6, 8, 10, 12, 15, 18, 22 mm
  - Largeur : 1,20 m
  - Longueur : 2,50 m et 3 m
- Références normatives :
  - NF EN 622-2 à 5 : Panneaux de fibres - Exigences
  - NF EN 12369-1 : Panneaux à base de bois – Valeurs caractéristiques pour la conception des structures – Partie 1 : OSB, panneaux de particules et panneaux de fibres
- Marquage CE :
  - NF EN 13986 : Panneaux à base de bois utilisés dans la construction – Caractéristiques, évaluation de conformité et marquage
- Certification :
  - CTB-RH



Panneaux destinés aux emplois travaillants :

- MDF.LA : milieu sec
- MDF.HLS : milieu humide
- HB.LA : milieu sec
- HB.HLA1 : dur, milieu humide
- HB.HLA2 : dur, sous contraintes élevées en milieu humide
- MBH.LA1 : semi-dur, milieu sec
- MBH.LA2 : semi-dur, milieu sec, sous contraintes élevées
- MBH.HLS1 : semi-dur, milieu humide, seulement pour charges instantanées ou de courte durée
- MBH.HLS2 : semi-dur, milieu humide, seulement pour charges instantanées ou de courte durée, sous contraintes élevées



# Principes de calcul des structures bois

Suivant les Eurocodes

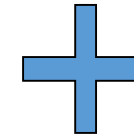
# Principes de calcul des structures bois

## Eurocodes



- EN 1990 Eurocode 0 Bases de calcul des structures
- EN 1991 Eurocode 1 Actions sur les structures
- EN 1992 Eurocode 2 Calcul des structures en béton
- EN 1993 Eurocode 3 Calcul des structures en acier
- EN 1994 Eurocode 4 Calcul des structures mixtes acier-béton
- EN 1995 Eurocode 5 Calcul des structures en bois
  - NF EN 1995-1-1 Vérification à froid des structures bois
  - NF EN 1995-1-2 Vérification au feu des structures bois
  - NF EN 1995-2 Vérification des ponts en bois
- EN 1996 Eurocode 6 Calcul des structures en maçonnerie
- EN 1997 Eurocode 7 Calcul géotechnique
- EN 1998 Eurocode 8 Calcul des structures pour leur résistance aux séismes
- EN 1999 Eurocode 9 Calcul des structures en alliage d'aluminium

des textes communs européens



des choix nationaux

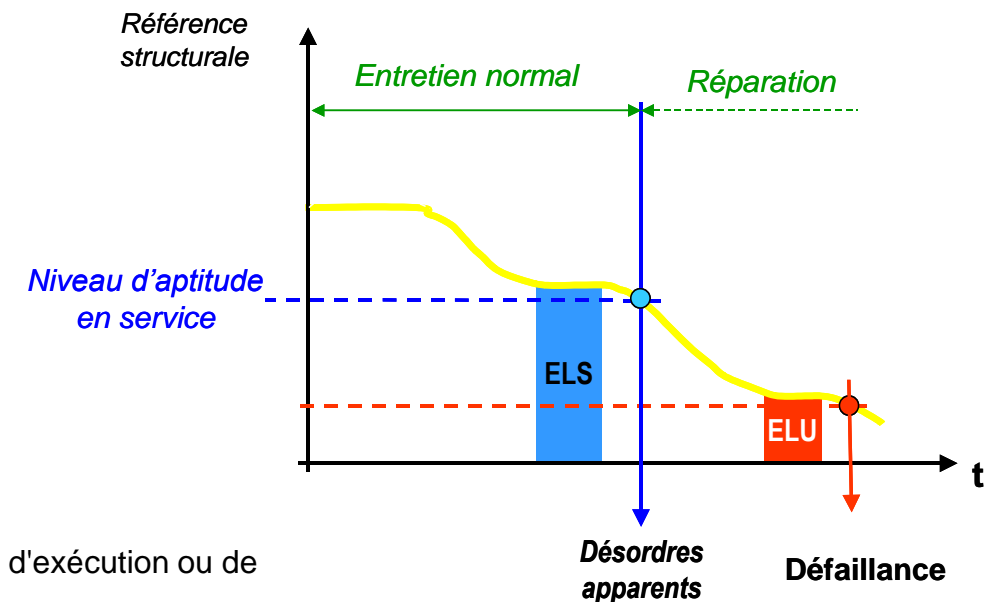
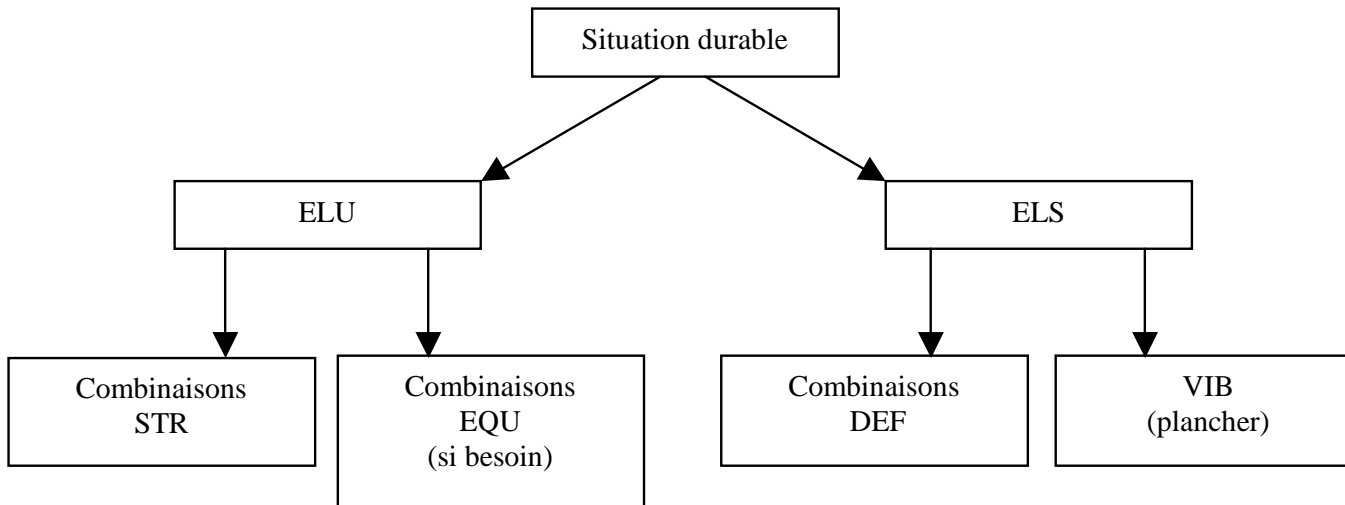




# Principes de calcul des structures bois

## EC0 – Etats Limites

En situation durable, on se doit de vérifier la structure vis-à-vis des Etats Limites Ultimes (ELU) et des Etats Limites de Service (ELS) :



Les justifications doivent considérer les différentes situations de projet :

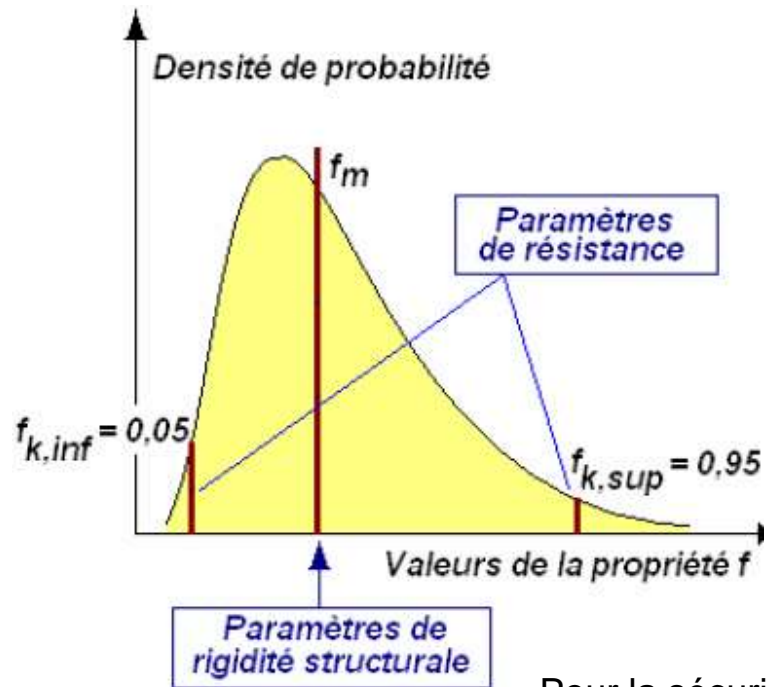
**Transitoire** : situation faisant référence à des conditions temporaires de la structure en cours d'exécution ou de réparation (situations spécifiquement identifiées dans Eurocode 0 et 1)

**Durable** : conditions normales d'utilisation

**Accidentelle** : Incendie, chocs, (sismique) ou toutes conditions accidentelles (neige exceptionnelle par exemple)

# Principes de calcul des structures bois

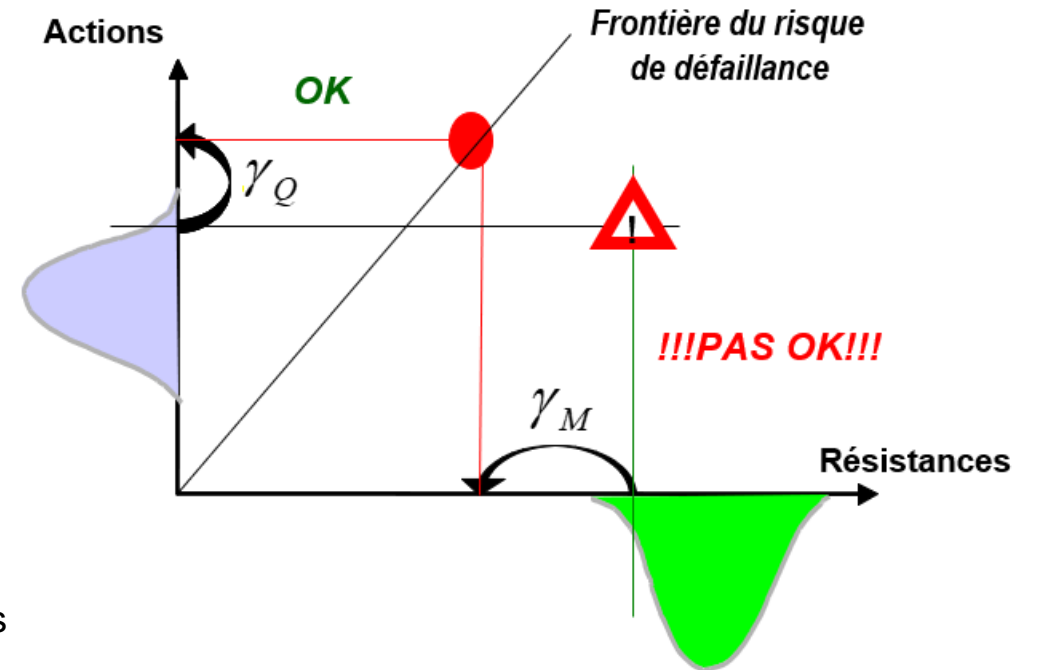
## EC0 – Valeurs caractéristiques et coefficients partiels



Pour la sécurité, la valeur de fractile la plus défavorable est considérée, soit :

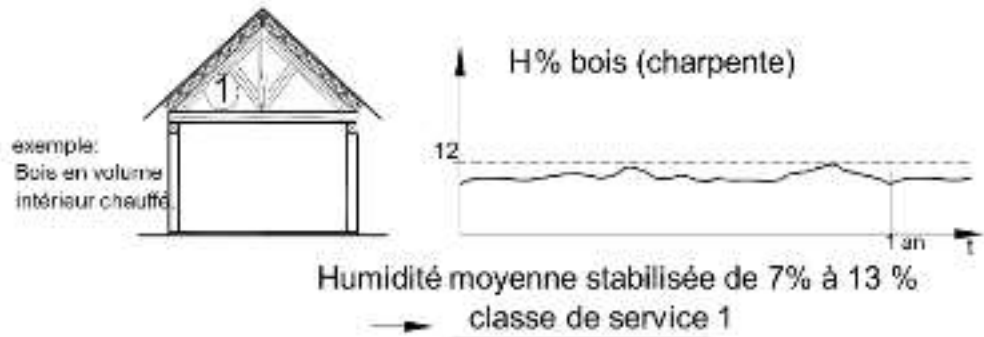
- 5% pour les résistances
- 95% pour les actions

Pour les justifications ELS (Def), la valeur moyenne est considérée pour les propriétés de rigidité



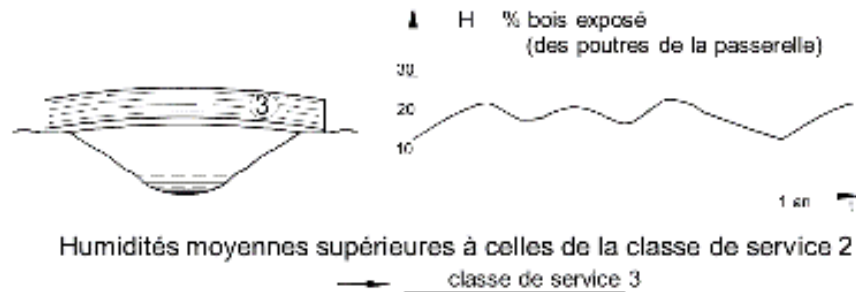
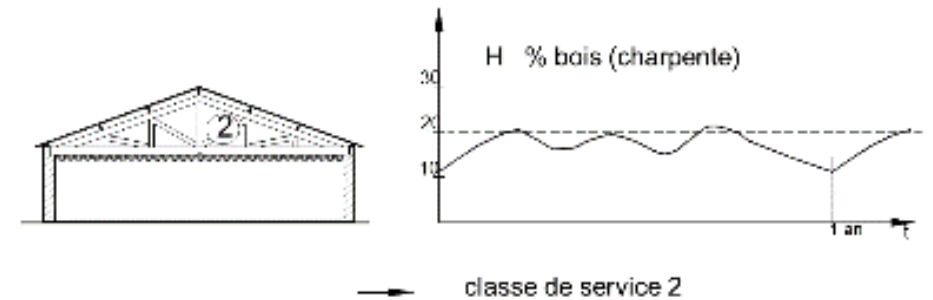
# Principes de calcul des structures bois

## EC5 - Classes de service



Classe de service 1

Classe de service 2



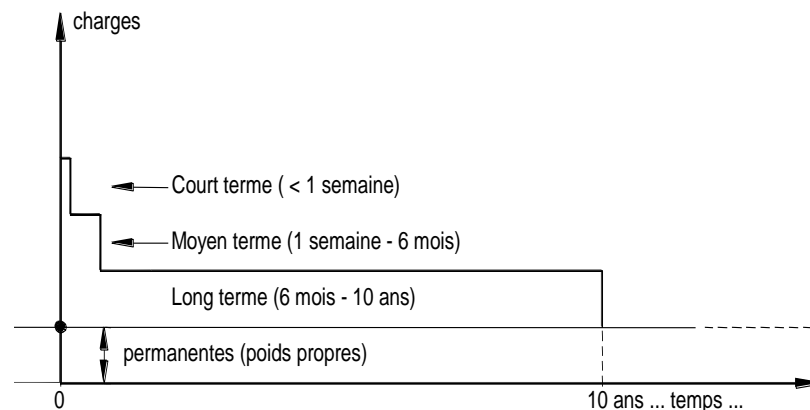
Classe de service 3



# Principes de calcul des structures bois

## EC5 – Classes de durée de chargement

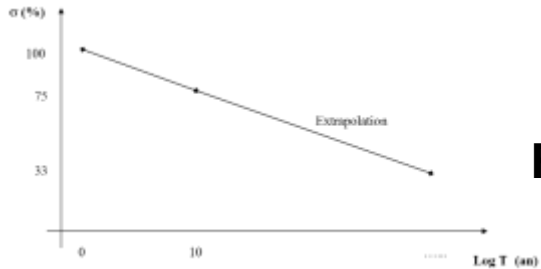
Classe de durée de chargement	Ordre de grandeur de durée cumulée de chargement	Exemples de chargement
Permanent	plus de 10 ans	poids propre
Long terme	de 6 mois à 10 ans	Stockage Équipements fixes
Moyen terme	d'une semaine à 6 mois	charge d'occupation Neige $H > 1000$ m
Court terme	moins d'une semaine	Neige $H \leq 1000$ m Charge d'entretien
Instantané	-	Vent, Neige exceptionnelle, Séisme Action accidentelle



# Principes de calcul des structures bois

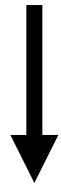
## EC5 – Résistance de calcul

$$R_d = k_{\text{mod}} \frac{R_k}{\gamma_M}$$



**Facteur de modification**  
(rupture différée)

$k_{\text{mod}}$



**Modification  
de la  
Résistance**

Matériau	Classe de service	Classe de durée de chargement				
		permanente	long terme	moyen terme	court terme	instantanée
Bois massif	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Bois lamellé collé	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
LVL	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Contreplaqué	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
OSB	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
	2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90

**Coefficient partiels sur les matériaux**

$\gamma_M$

Etats limites ultimes	$\gamma_M$
- combinaisons fondamentales :	
bois massif	1,3
bois lamellé collé	1,25
LVL, contreplaqué, OSB,	1,2
Panneau de particules,	1,3
Panneau de fibres, dur	1,3
Panneau de fibres, mi-dur	1,3
Panneau de fibres, MDF	1,3
Panneau de fibres, tendre	1,3
Assemblages	1,3
Plaques métalliques embouties	1,25
- combinaisons accidentelles :	1,0

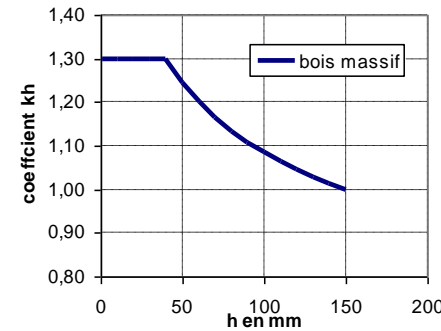
# Principes de calcul des structures bois

## EC5 – Effets d'échelle

### Bois massif, BMA et BMR :

hauteur fléchie ou largeur - plus grande dimension – en traction < 150 mm

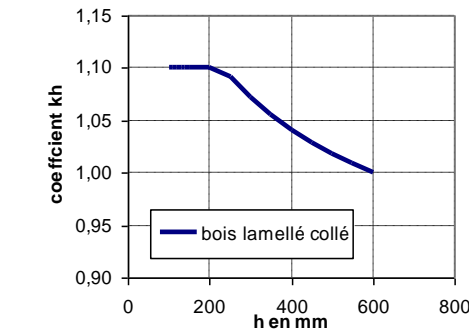
$$k_h = \min \left\{ \begin{array}{l} \left( \frac{150}{h} \right)^{0,2} \\ 1,3 \end{array} \right.$$



### Bois Lamellé Collé :

hauteur fléchie ou largeur - plus grande dimension - en traction < 600 mm

$$k_h = \min \left\{ \begin{array}{l} \left( \frac{600}{h} \right)^{0,1} \\ 1,1 \end{array} \right.$$



### LVL :

hauteur fléchie ≠ 300 mm

$$k_h = \min \left\{ \begin{array}{l} \left( \frac{300}{h} \right)^s \\ 1,2 \end{array} \right.$$

Longueur en traction ≠ 3000 mm

$$k_l = \min \left\{ \begin{array}{l} \left( \frac{3000}{l} \right)^{s/2} \\ 1,1 \end{array} \right.$$

s : exposant d'effet d'échelle suivant EN 14374 (fourni par les fabricants)

$$f_{m,d} = k_h \cdot k_{mod} \frac{f_{m,k}}{\gamma_M}$$

$$f_{t,0,d} = k_h \cdot k_{mod} \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M}$$

$$f_{m,d} = k_h \cdot k_{mod} \frac{f_{m,k}}{\gamma_M}$$

$$f_{t,0,d} = k_l \cdot k_{mod} \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M}$$

# Principes de calcul des structures bois

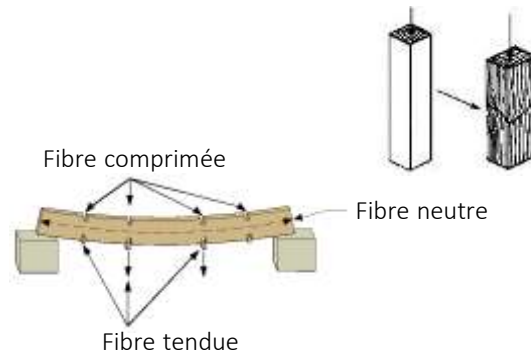
## EC5 – Vérifications ELU

- **Contraintes dans une direction principale :**

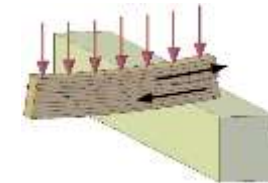
*Traction parallèle au fil*

*Compression parallèle au fil*

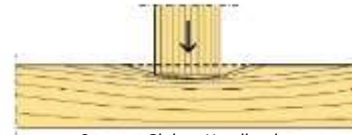
*Flexion*



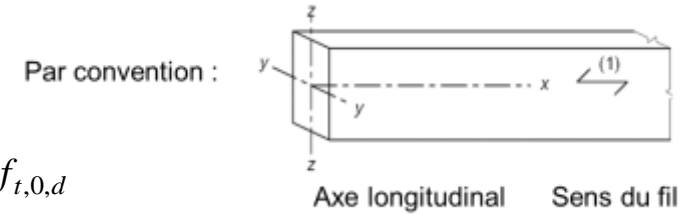
*Cisaillement*



*Compression perpendiculaire au fil*



Source : Glulam Handbook

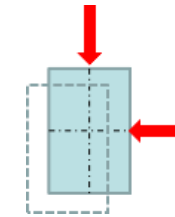


$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$$

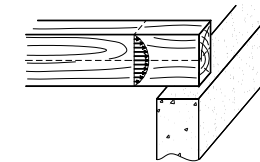
$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$



$$\tau_d \leq f_{v,d}$$



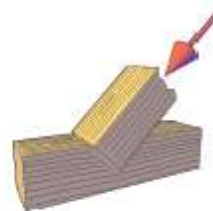
$$\tau_d = \frac{3}{2} \times \frac{V}{b_{ef} \times h}$$

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$$

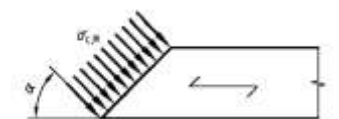
$$\sigma_{c,90,d} = F_{c,90,d} / A_{ef}$$

- **Combinaisons de contraintes**

*Compression inclinée par rapport au fil*



$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} f_{c,90,d}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$





# Principes de calcul des structures bois

## EC5 – Vérifications ELU

- **Combinaisons de contraintes**  
*Flexion et traction axiale ou compression axiale combinées*

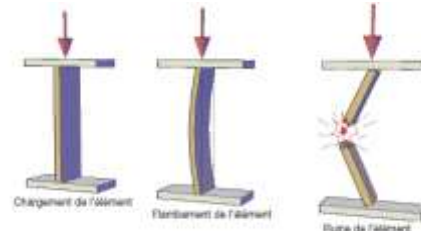
$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

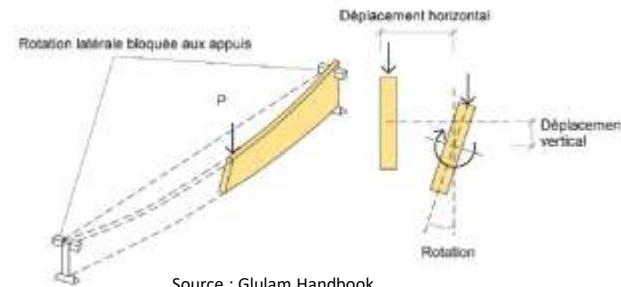
- **Stabilité des éléments**  
*Flambement*



$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

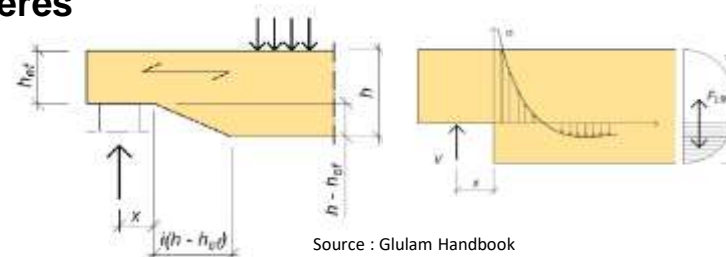
*Déversement*



$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d}$$

$$\frac{\sigma_{c,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \left( \frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \right)^2 \leq 1$$

- **Vérifications particulières**  
*Poutre entaillées*



$$\tau_d = \frac{1,5V}{b_{ef} h_{ef}} \leq k_v f_{v,d}$$

$$k_v = \min \left\{ \frac{1}{\sqrt{h} \left( \sqrt{\alpha \cdot (1 - \alpha)} + 0,8 \frac{x}{h} \cdot \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2} \right)} \cdot \left( 1 + \frac{1,1 \cdot i^{1,5}}{\sqrt{h}} \right)} \right.$$

→ Concentration de contraintes au coin de l'entaille, combinaison de traction transversale et cisaillement

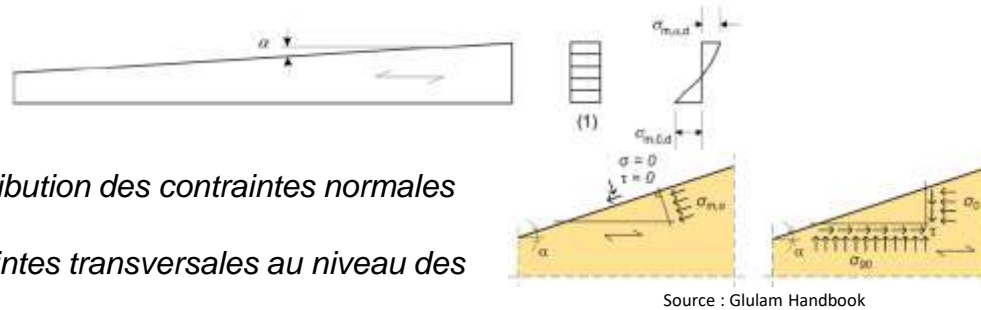
# Principes de calcul des structures bois

## EC5 – Vérifications ELU

- Vérifications particulières

### Poutres à inertie variable

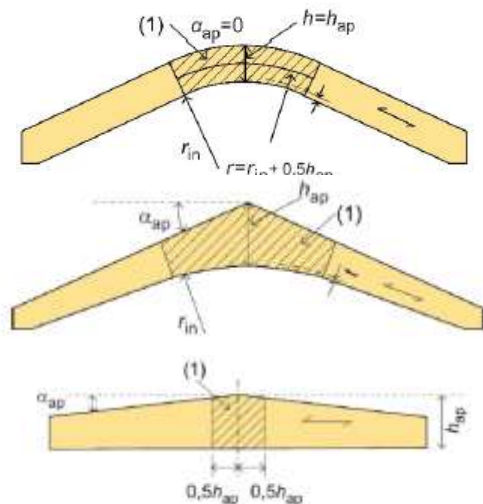
- Distorsion de la distribution des contraintes normales
- Apparition de contraintes transversales au niveau des lamelles tranchées



Source : Glulam Handbook

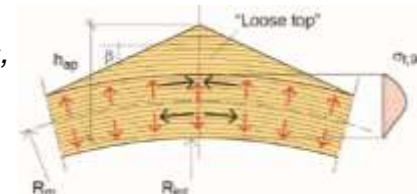
$$\sigma_{m,\alpha,d} \leq k_{m,\alpha} f_{m,d} \quad \sigma_{m,\alpha,d} = \sigma_{m,0,d} = \frac{6M_d}{bh^2}$$

### Zone de faitage (Poutres courbes et poutres à inertie variable)



Source : Glulam Handbook

- Précontrainte due au cintrage des lamelles
- Apparition de contraintes transversales, maximales au centre de la section
- Influence du volume contraint sur la résistance



Source : Glulam Handbook

$$\sigma_{m,d} \leq k_r f_{m,d} \quad \sigma_{m,d} = k_c \frac{6M_{ap,d}}{bh_{ap}^2}$$

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} k_{vol} f_{t,90,d} \quad \sigma_{t,90,d} = k_p \frac{6M_{ap,d}}{bh_{ap}^2}$$

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} + \frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} k_{vol} f_{t,90,d}} \leq 1$$

# Principes de calcul des structures bois

## EC5 – Vérifications ELS

- Déformations

Flèche instantanée,  $w_{inst.(Q)}$

Flèche *uniquement* liée aux charges dites variables (charges climatiques, charges d'exploitations) sans prise en compte des effets à long terme.

Déterminée avec la combinaison caractéristique

$$Q_{k,1} + (\psi_{0,2} \cdot Q_{k,2} + \dots) \Rightarrow W_{inst(Q)}$$

Flèche de fluage,  $w_{creep}$

Flèche *supplémentaire* liée aux effets à long terme.

Déterminée avec la combinaison quasi-permanente

$$G_k + \psi_{2,1} \cdot Q_{k,1} + \psi_{2,2} \cdot Q_{k,2} + \dots \Rightarrow W_{creep}$$

En multipliant les déformations par  $k_{def}$

$\times k_{def}$

Flèche finale,  $w_{fin}$

Somme de la flèche instantanée liée aux charges permanente et variables et de la flèche de (fluage).

$$W_{fin} = W_{inst(G)} + W_{inst(Q)} + W_{creep}$$

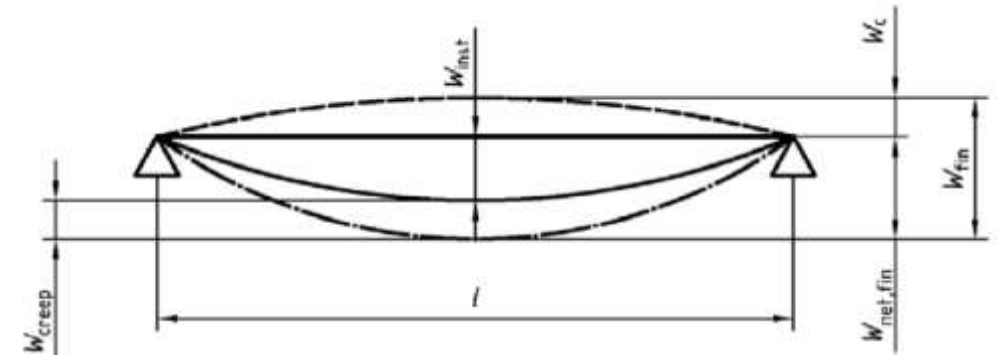
Contreflèche,  $w_c$

Dans cas particulier où une contreflèche est mise en œuvre sur l'élément fléchi

Flèche nette finale,  $w_{net,fin}$

Flèche nette finale déduite de la flèche finale après déduction de la contreflèche éventuelle

$$W_{net,fin} = W_{fin} - W_c$$

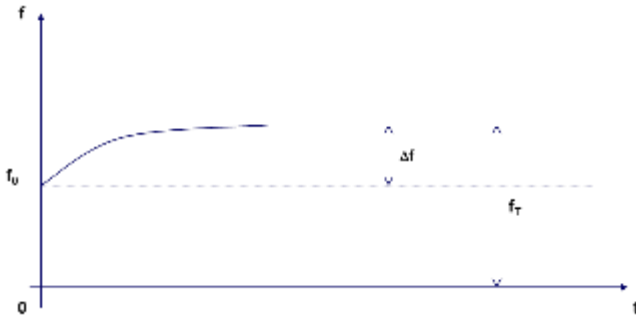
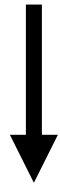


# Principes de calcul des structures bois

## EC5 – Vérifications ELS

- Déformations : coefficients

$k_{def}$



Prise en compte du fluage dans les déformations

Matériau	Classe de service		
	1	2	3
Bois massif	0,60	0,80	2,00
Bois lamellé collé	0,60	0,80	2,00
LVL	0,60	0,80	2,00
Contreplaqué int.	0,80	-	-
Contreplaqué ext.	0,80	1,00	-
Contreplaqué ext.	0,80	1,00	2,50
OSB 2	2,25	-	-
OSB 3 et 4	1,50	2,25	-

### Coefficients de combinaison pour les actions variables (EC0 Annexe A1)

Type d'action	Catégorie d'ouvrage	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Exploitation sur planchers de bâtiments (EN 1991-1.1)	A : habitation, résidences	0,7	0,5	0,3
	B : bureaux	0,7	0,5	0,3
	C : lieux de réunion	0,7	0,7	0,6
	D : commerces	0,7	0,7	0,6
	E : stockage	1,0	0,9	0,8
	F : zone de trafic, $p_{veh} \leq 30$ kN	0,7	0,7	0,6
	G : zone de trafic, $30 \leq p_{veh} \leq 160$ kN	0,7	0,5	0,3
	H : toits	0	0	0
Neige (EN 1991-1-3)	Altitude > 1 000 m a.n.m.	0,70	0,50	0,20
	Altitude $\leq$ 1 000 m a.n.m.	0,50	0,20	0
Vent (EN 1991-1-4)	Bâtiments	0,6	0,2	0
Thermique (EN 1991-1-5) (hors incendie)	Bâtiments	0,6	0,5	0



# Principes de calcul des structures bois

## EC5 – Vérifications ELS

- Déformations : Valeurs limites

	Bâtiments courants			Bâtiments agricoles et similaires		
	Flèche instantanée $w_{inst(Q)}$	Flèche nette finale $w_{net,fin}$	Flèche finale $w_{fin}$	Flèche instantanée $w_{inst(Q)}$	Flèche nette finale $w_{net,fin}$	Flèche finale $w_{fin}$
<b>Chevrons</b>	-	L/150	L/125	-	L/150	L/100
<b>Éléments structuraux</b>	L/300	L/200	L/125	L/200	L/150	L/100

Les valeurs limites pour les flèches définies dans ce tableau s'appliquent également pour les déplacements horizontaux

Ces valeurs limites de flèches ( $w_{lim1}$ ) sont destinées à assurer le bon comportement de la structure sur la durée de service attendue.

Elles peuvent s'avérer insuffisantes vis-à-vis des interactions éventuelles avec les divers éléments de second œuvre ou autres composants de la construction.

Des valeurs limites supplémentaires peuvent être spécifiées :



$w_{lim2}$  : valeur limite de déformation des ouvrages de second œuvre ( $w_{fin} - w_{inst,G1}$ ),  
 $w_{inst,G1}$  calculée avec les charges permanentes  $G_1$  antérieures à la mise en œuvre des éléments de second œuvre à protéger

$w_{lim3}$  : valeur limite particulière

# Principes de calcul des structures bois

## EC5 – Vérifications ELS

- Vibrations

Planchers résidentiels : outil EC5

3 exigences sont à satisfaire :

- Fréquence fondamentale

$$f_1 = \frac{\pi}{2\ell^2} \sqrt{\frac{(EI)_\ell}{m}}$$

$f_1 > 8$  Hz (outil applicable uniquement aux planchers « haute fréquence »)

- » Eviter le risque de mise en résonance

- Vitesse impulsionnelle limitée

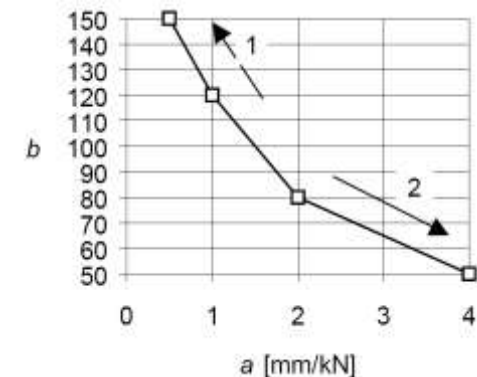
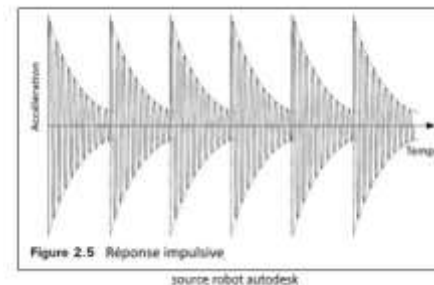
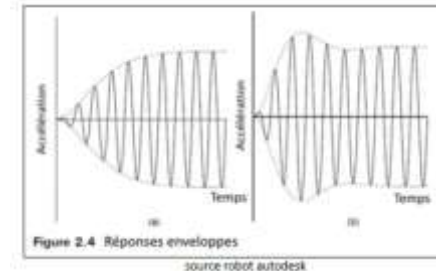
- » Amortissement du plancher

$$v \leq b^{(f_1 \zeta^{-1})} \quad m/(Ns^2)$$

- Souplesse

- » Perception « psychosensorielle » (confort)

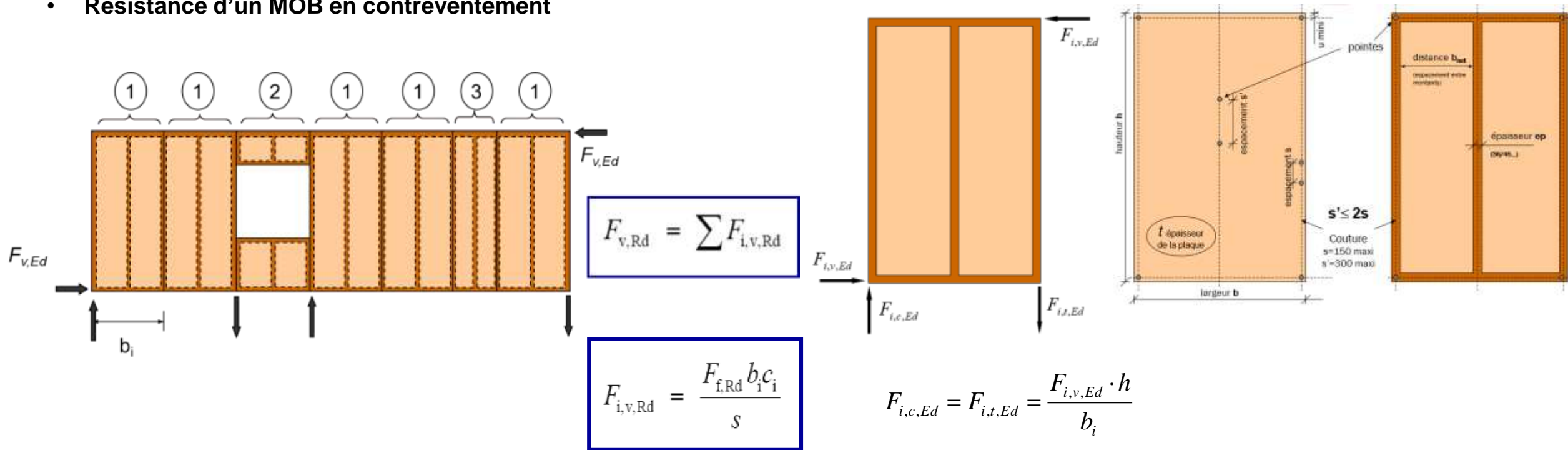
$$\frac{w}{F} \leq a \quad \text{mm/kN}$$



# Principes de calcul des structures bois

## EC5 – Diaphragmes de murs

- Résistance d'un MOB en contreventement



avec :

- $F_{f,Rd}$  valeur de calcul de la capacité résistance au cisaillement d'un organe de fixation
- $b_i$  la largeur du voile
- $s$  l'espacement des organes en périphérie de pann
- $c_i$  un coefficient dimensionnel de la plaque

$$c_i = \begin{cases} 1 & \text{pour } b_i \geq b_0 \\ \frac{b_i}{b_0} & \text{pour } b_i < b_0 \end{cases} \quad b_0 = h/2$$



# Assemblages des structures bois



# Assemblages des structures bois

## Assemblages « traditionnels » : Efforts transmis directement par contact bois/bois au droit d'entaille

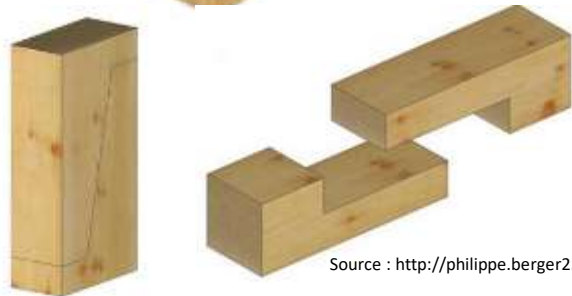
- Embrèvements



- Tenon-mortaise



- Entures



Source : <http://philippe.berger2.free.fr>

- Queue d'aronde



→ Permettent :

- soit de relier les pièces qui se croisent selon un angle quelconque
- soit de rallonger les pièces dans la direction parallèle au fil

→ Transmettent :

- compression parallèle, perpendiculaire ou oblique



- cisaillement



Source : Cecobois

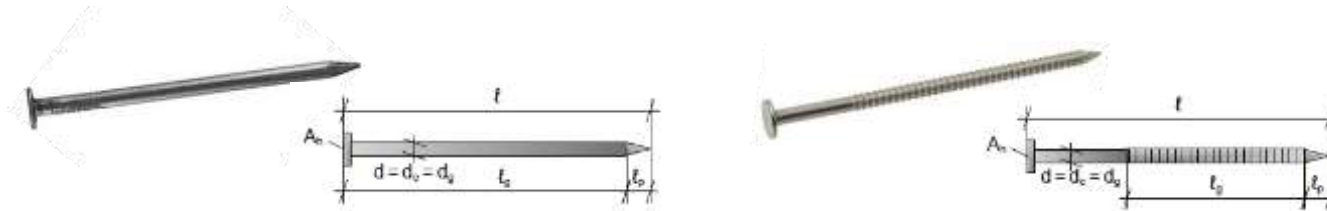


# Assemblages des structures bois

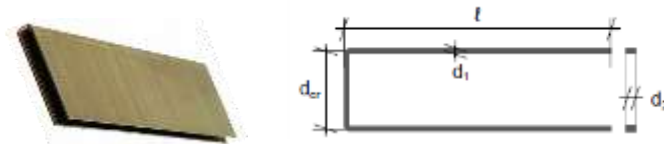
## Assemblages « mécaniques » par organes métalliques

- Organes de type tige

- Pointes



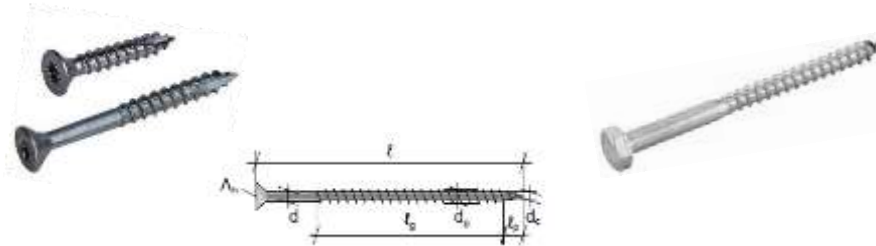
- Agrafes



- Boulons et broches



- Vis et tire-fond



Marquage CE suivant EN 14592 ou ETE

# Assemblages des structures bois

## Assemblages par organes métalliques

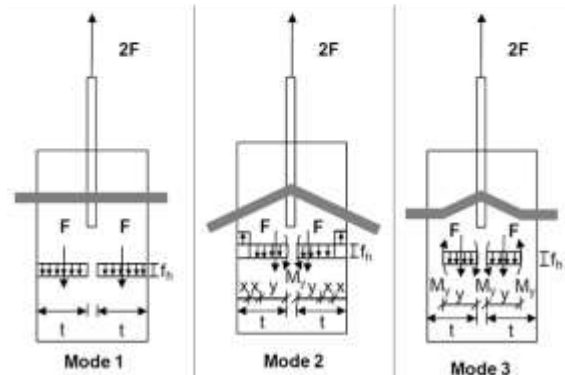
### • Organes de type tige : résistance en cisaillement (suivant EC5)

2 types d'endommagement :

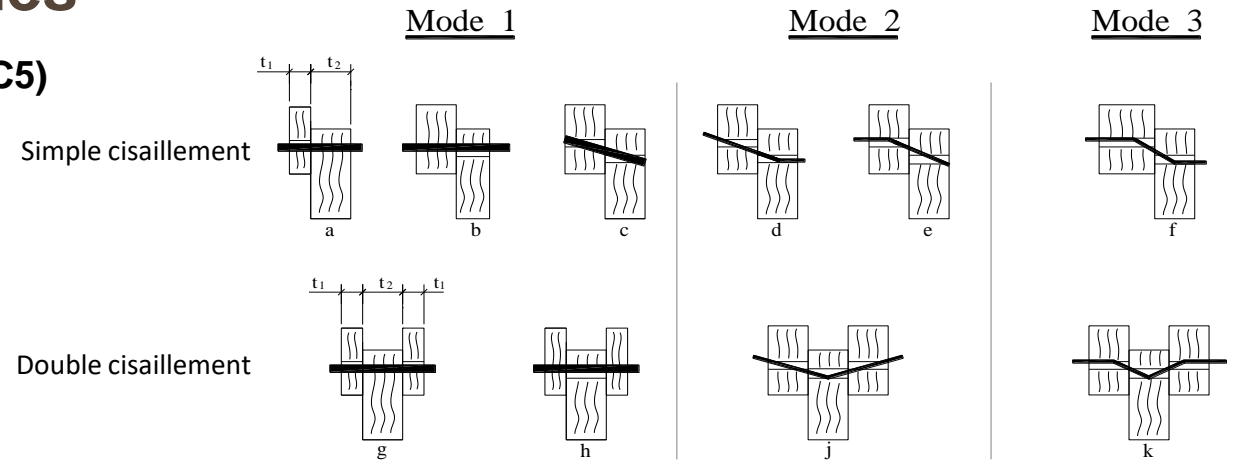
- portance locale (bois) : enfoncement de la tige
- rotule plastique (métal) : flexion de la tige

3 modes de rupture possibles :

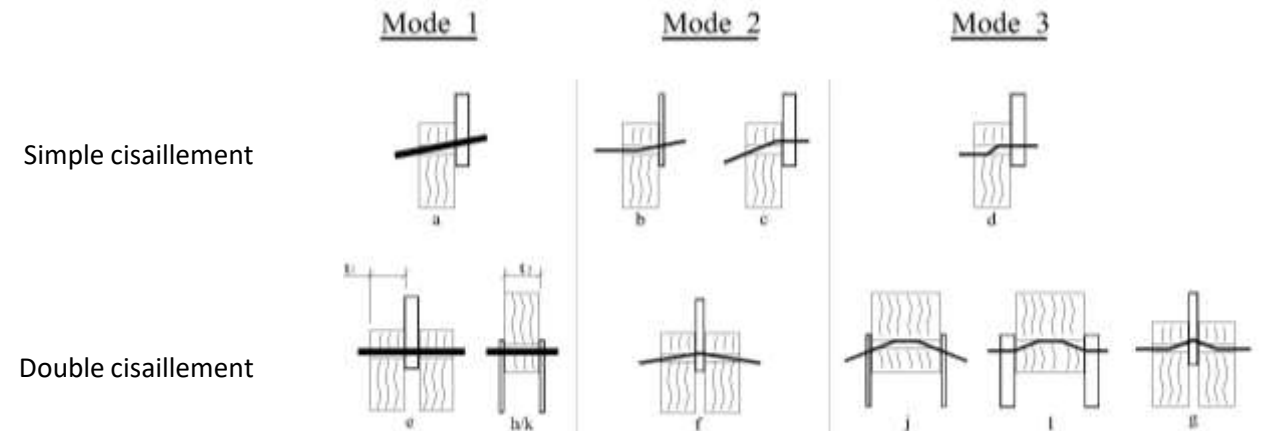
- défaut de portance locale (bois)
- défaut de portance locale + 1 rotule plastique (acier)
- défaut de portance locale + 2 ou 3 rotules plastiques



### Assemblages Bois / Bois et Bois / Panneau



### Assemblages Bois / Métal



# Assemblages des structures bois

## Assemblages par organes métalliques

- Organes de type tige : résistance en cisaillement (suivant EC5)

### Assemblages Bois / Bois et Bois / Panneau en simple cisaillement

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} t_1 d \quad (a) \\ f_{h,2,k} t_2 d \quad (b) \\ \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{1 + \beta} \left[ \sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[ 1 + \frac{t_2}{t_1} + \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left( 1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (c) \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[ \sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (d) \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[ \sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (e) \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (f) \end{array} \right.$$



### Assemblages Bois / Métal en simple cisaillement

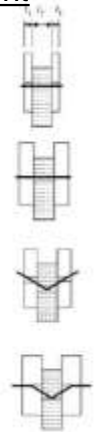
$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,4 f_{h,k} t_1 d \quad (a) \\ 1,15 \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (b) \\ f_{hk} t_1 d \quad (c) \\ f_{hk} t_1 d \left[ \sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{hk} t_1^2 d}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (d) \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{hk} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (e) \end{array} \right.$$



### Assemblages Bois / Bois et Bois / Panneau en double cisaillement

- Cas de chargement en double cisaillement :

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} t_1 d \\ 0,5 f_{h,2,k} t_2 d \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[ \sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$



### Assemblages Bois / Métal en double cisaillement

Plaque métallique en élément central

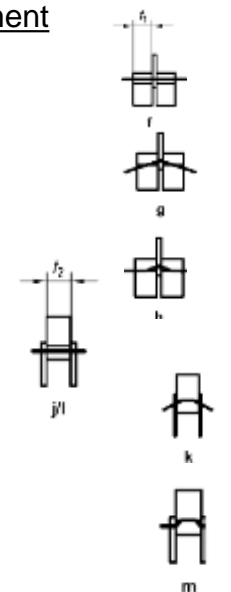
$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} t_1 d \quad (f) \\ f_{h,1,k} t_1 d \left[ \sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (g) \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (h) \end{array} \right.$$

Plaques métalliques minces en éléments externes

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,5 f_{h,2,k} t_2 d \quad (j) \\ 1,15 \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,2,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (k) \end{array} \right.$$

Plaques métalliques épaisses en éléments externes

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,5 f_{h,2,k} t_2 d \quad (l) \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,2,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (m) \end{array} \right.$$





# Assemblages des structures bois

## Assemblages par organes métalliques

- Organes de type tige : résistance en cisaillement (suivant EC5)

$f_{h,1,k}$  : Portance locale dans l'élément 1, côté tête (en N/mm<sup>2</sup>)

$f_{h,2,k}$  : Portance locale dans l'élément 2, côté pointe (en N/mm<sup>2</sup>)

$$\beta = f_{h,2,k} / f_{h,1,k}$$

organes de diamètre $d \leq 8\text{mm}$		$f_{h,k}$ (N/mm <sup>2</sup> )
Bois, LVL	sans pré-perçage	$0,082 \rho_k d^{-0,3}$
	avec pré-perçage	$0,082 (1-0,01d) \rho_k$
Contreplaqué		$0,11 \rho_k d^{-0,3}$
OSB <sub>3</sub>		$65 d^{-0,7} t_k^{0,1}$
Panneau de Particules		$30 d^{-0,3} t_k^{0,6}$

Organes de diamètre  $d \geq 8\text{mm}$ :

correction en fonction de l'angle  $\alpha$  entre l'effort et le fil du bois :

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot (\sin \alpha)^2 + (\cos \alpha)^2}$$

Bois, LVL  $f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$

Contreplaqué  $f_{h,k} = 0,11 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$

OSB, Panneau de particules  $f_{h,k} = 50 \cdot d^{-0,6} \cdot t_k^{0,2}$

$M_{y,Rk}$  : Moment d'écoulement plastique (en N.mm)

$F_{ax,R,k}$  : Résistance caractéristique en traction de l'organe (en N)

	$M_{y,Rk}$ (N/mm)	
Pointes de section circulaire, vis	$0,3 f_{u,k} d^{2,6}$	ou valeur déclarée par le fabricant
Pointes de section carrée	$0,45 f_{u,k} d^{2,6}$	
Agrafes	$150 d^3$	

Boulons et broches:  $M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6}$

$f_{u,k}$ : résistance à la traction du fil d'acier (en N/mm<sup>2</sup>)



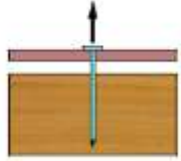
# Assemblages des structures bois

## Assemblages par organes métalliques

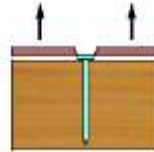
- Organes de type tige : résistance en traction (suivant EC5)

3 modes de rupture possibles :

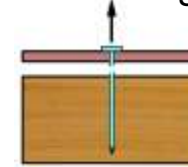
Rupture par arrachement (bois)



Rupture par traversée de la tête (bois)



Rupture en traction de l'organe (acier)



$f_{ax,k}$  : paramètre de résistance caractéristique à l'arrachement (en N/mm<sup>2</sup>)

$f_{head,k}$  : résistance caractéristique à la traversée de la tête

$F_{tens,k}$  : capacité de traction caractéristique

### Pointes

lisses

non lisses

$$F_{ax,Rk} = \min \begin{cases} f_{ax,2,k} \cdot d \cdot t_{pen} \\ f_{head,1,k} \cdot d_h^2 + f_{ax,1,k} \cdot d \cdot t_1 \\ A_s \cdot f_{u,k} \cdot 0,8 \text{ ou } F_{tens,k} \end{cases}$$

$$F_{ax,Rk} = \min \begin{cases} f_{ax,2,k} \cdot d \cdot t_{pen} \\ f_{head,1,k} \cdot d_h^2 \\ A_s \cdot f_{u,k} \cdot 0,8 \text{ ou } F_{tens,k} \end{cases}$$

$$f_{ax,k} = 20 \times 10^{-6} \cdot \rho_k^2$$

Donnée fabricant (Essais)  $\geq 4,5$  N/mm<sup>2</sup>

$$f_{head,k} = 70 \times 10^{-6} \cdot \rho_k^2$$

Donnée fabricant (Essais)

### Vis

$$F_{ax,Rk} = \min \begin{cases} \frac{f_{ax,k} \cdot d \cdot \ell_{ef} \cdot k_d}{1,2 \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \\ f_{head,k} \cdot d_h^2 \left( \frac{\rho_k}{\rho_s} \right)^{0,8} \\ F_{tens,k} \end{cases}$$

$f_{ax,k}$  : Donnée fabricant (Essais)

ou si  $d \geq 6$  mm  $f_{ax,k} = 0,52 \cdot d^{-0,5} \cdot \ell_{ef}^{-0,1} \cdot \rho_k^{0,8}$

$$k_d = \min \begin{cases} \frac{d}{8} \\ 1 \end{cases}$$

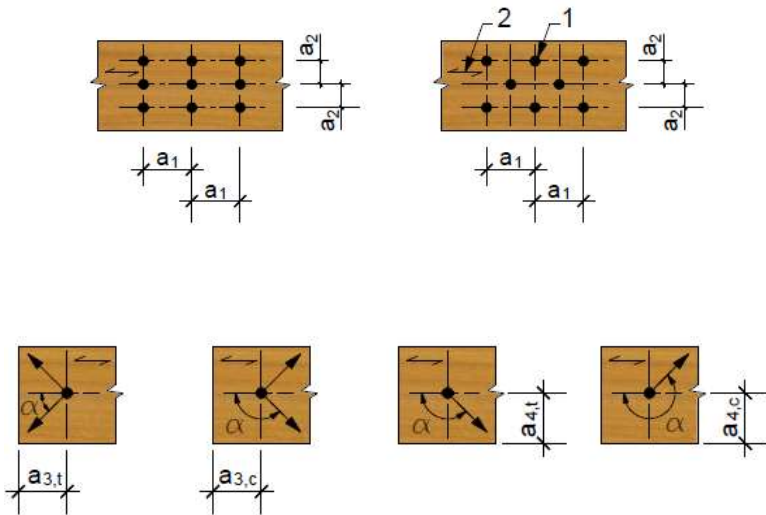
### Boulons

$$F_{ax,k} = \min \begin{cases} 0,9 \times f_{u,k} \times A_s \\ A_{effective,rondelle} \times 3 \times f_{c,90,k} \end{cases}$$

# Assemblages des structures bois

## Assemblages par organes métalliques

- Organes de type tige : distances aux bords et espacements entre organes (suivant EC5)



Espacements et distances	Angle effort / fil du bois	Pointes, vis			Boulons
		Sans pré-perçage		Avec pré-perçage	
		$\rho \leq 420 \text{ kg/m}^3$	$420 < \rho \leq 500 \text{ kg/m}^3$		
$a_1$ (parallèle au fil)	$0 \leq \alpha \leq 360^\circ$	$d < 5 \text{ mm} :$ $(5+5  \cos \alpha ) d$ $d \geq 5 \text{ mm} :$ $(5+7  \cos \alpha ) d$	$(7+8  \cos \alpha ) d$	$(4+  \cos \alpha ) d$	$(4+  \cos \alpha ) d$
$a_2$ (perpendiculaire au fil)		$5 d$	$7 d$	$(3+  \sin \alpha ) d$	$4 d$
$a_{3,t}$ (distance d'extrémité chargée)	$-90 \leq \alpha \leq 90^\circ$	$(10+5  \cos \alpha ) d$	$(15+5  \cos \alpha ) d$	$(7+5  \cos \alpha ) d$	$\max(7 d ; 80 \text{ mm})$
$a_{3,c}$ (distance d'extrémité non chargée)	$90 \leq \alpha < 150^\circ$ $150 \leq \alpha < 210^\circ$ $210 \leq \alpha \leq 270^\circ$	$10 d$	$15 d$	$7 d$	$(1+6  \sin \alpha ) d$ $4 d$ $(1+6  \sin \alpha ) d$
$a_{4,t}$ (distance de rive chargée)	$0 \leq \alpha \leq 180^\circ$	$d < 5 \text{ mm} :$ $(5+2  \sin \alpha ) d$ $d \geq 5 \text{ mm} :$ $(5+5  \sin \alpha ) d$	$d < 5 \text{ mm} :$ $(7+2  \sin \alpha ) d$ $d \geq 5 \text{ mm} :$ $(7+5  \sin \alpha ) d$	$d < 5 \text{ mm} :$ $(3+2  \sin \alpha ) d$ $d \geq 5 \text{ mm} :$ $(3+4  \sin \alpha ) d$	$\max [(2+2  \sin \alpha ) d ; 3 d]$
$a_{4,c}$ (distance de rive non chargée)		$180 \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5 d$	$7 d$	$3 d$

Pour certaines vis, auto-perceuses, il est possible d'appliquer les espacements et distances minimaux pour pointes et vis avec avant-trou sans nécessité de pré-percer. Ces dispositions sont données dans l'ETE du fabricant.

Dans le cas des assemblages bois/panneaux les valeurs minimales d'espacements entre organes  $a_1$  et  $a_2$  données dans le tableau précédent sont à multiplier par 0,85.

Les distances aux bords restent inchangées à l'exception des panneaux de contreplaqué où celles-ci peuvent être prises égales à  $7d$  pour les rives chargées et  $3d$  pour les rives non chargées.

Dans le cas des assemblages bois/métal, les valeurs minimales d'espacements entre organes  $a_1$  et  $a_2$  données dans le tableau précédent sont à multiplier par 0,7.

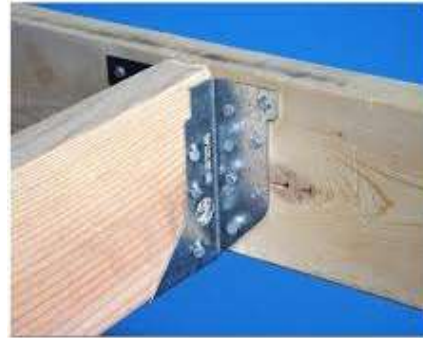
# Assemblages des structures bois

## Assemblages par organes métalliques

### • Assembleurs 3D et surfaciques

Les assembleurs 3D comprennent :

- les sabots et étriers



- les équerres



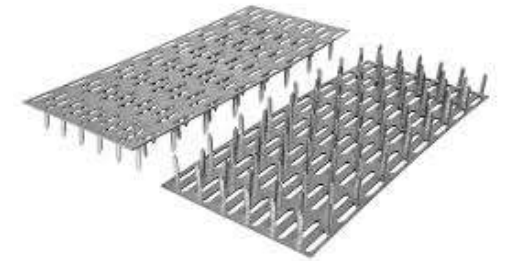
- les pieds de poteaux



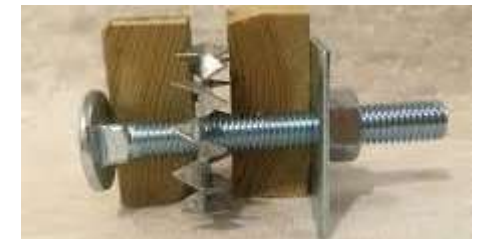
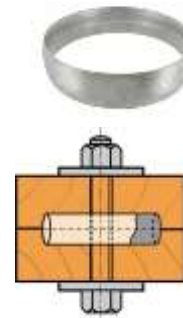
Marquage CE suivant ETE

Les assembleurs « surfaciques » comprennent :

- les plaques embouties ou connecteurs  
NF EN 1059 – EN 14545 (Marquage CE)



- les anneaux et crampons  
NF EN 912 – EN 14545 (Marquage CE)

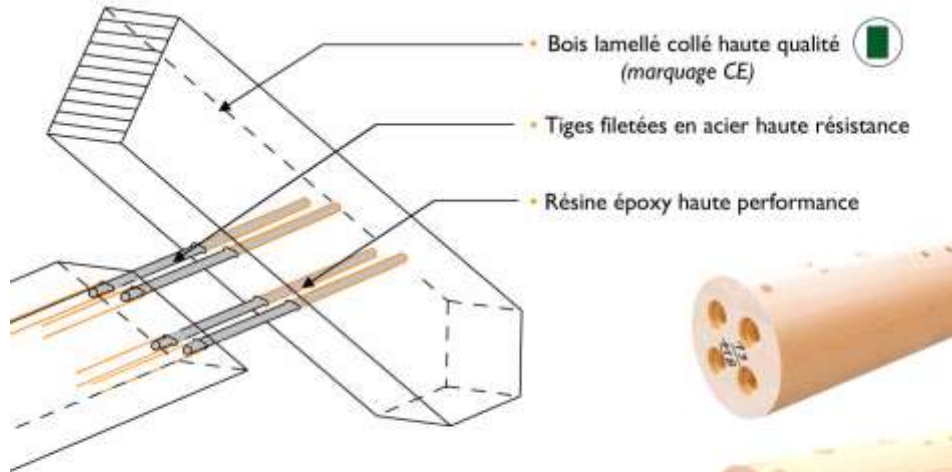




# Assemblages des structures bois

## Assemblages par goujons collés

Procédé sous Avis Technique



Bois / Métal



Bois / Bois



Tridimensionnel  
Bois / Métal



Source Simonin



# Bois en situation d'incendie

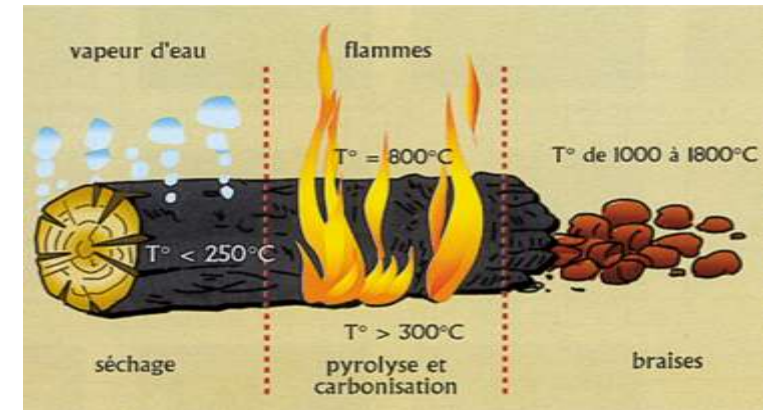
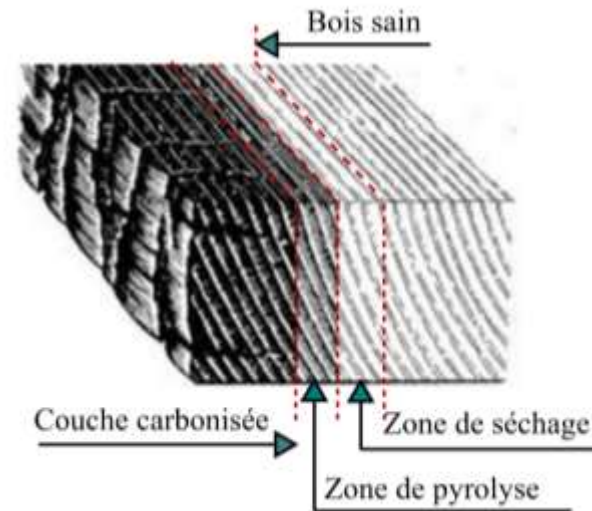
# Constructions bois en situation d'incendie

## Comportement du bois au feu

La dégradation thermique du matériau bois se déroule en 3 phases :

1. le séchage : évaporation de l'eau libre puis de l'eau liée, jusqu'à environ 110°C.
2. la pyrolyse : à partir de 300°C, décomposition chimique du matériau, libération de gaz inflammables et formation d'une couche carbonisée (20% à 25% de la masse initiale du bois).
3. la combustion : après consommation des gaz, combustion lente sans flamme des résidus solides carbonés

La couche carbonisée (nettement moins dense donc beaucoup plus isolante que le bois) et la présence du front de vapeur freinent la combustion et protègent le bois sain qui conserve ses propriétés.





# Structures en bois en situation d'incendie

## Réglementation incendie

### Objectifs principaux :

- Éviter la naissance et/ou la propagation du feu
- Assurer la sécurité et l'évacuation des personnes pendant l'incendie
- Faciliter l'accès et l'intervention des secours

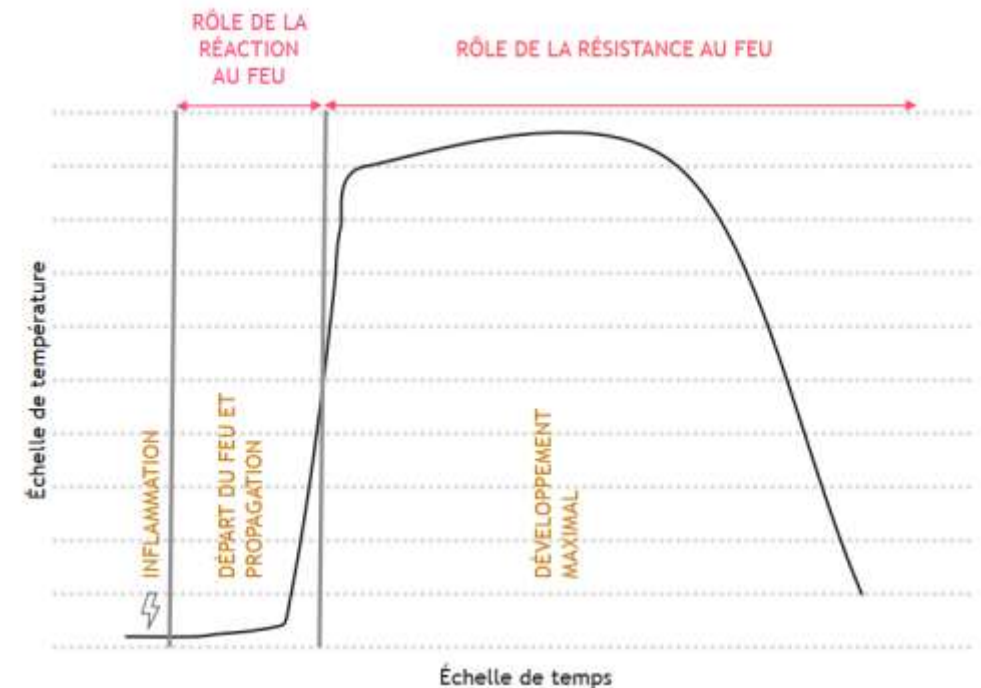
## 2 notions essentielles en réglementation incendie pour les produits de construction

**Réaction au feu** : (Arrêté du 21/11/2002 relatif à la réaction au feu des produits de construction et d'aménagement)

Définit le comportement d'un matériau mis en œuvre qui, en présence d'une flamme ou d'une élévation de température, apporte ou non un aliment au foyer d'incendie et à sa propagation.

**Résistance au feu** (Arrêté du 22 mars 2004 relatif à la résistance au feu des produits, éléments de construction et d'ouvrages) :

Exprime le temps pendant lequel un élément de construction (mur, plancher, cloison, etc.) soumis à un incendie, conserve les caractéristiques suffisantes lui permettant d'assurer la fonction à laquelle il est destiné.





# Constructions bois en situation d'incendie

**Réaction au feu** : Classement du produit en fonction de ses caractéristiques de réaction au feu définies par des essais normalisés.

Dans la réglementation française :

- Arrêté du 30 juin 1983 « portant classification des matériaux de construction et d'aménagement selon leur réaction au feu et définition des méthodes d'essais » : **classement M**

- Arrêté du 21 novembre 2002 modifié « relatif à la réaction au feu des produits de construction et d'aménagement » renvoie aux méthodes d'essais harmonisées au niveau européen et au système de classement associé « **Euroclasses** » pour les produits de construction

- Classification française bâtiment (ancienne réglementation en cours de remplacement par la réglementation européenne)

<b>M0</b>	Incombustible
<b>M1</b>	Non inflammable
<b>M2</b>	Difficilement inflammable
<b>M3</b>	Moyennement inflammable
<b>M4</b>	Facilement inflammable

- Classification européenne

L'expression des **Euroclasses** se présente comme suit :

**D - s2, d0**

**Contribution au feu :**  
Codification de A à F en fonction de la réaction au feu (A étant le meilleur classement)

**Opacité des fumées (quantité et vitesse) notée s pour « smoke » :**  
- s1 : faible quantité/vitesse  
- s2 : moyenne quantité/vitesse  
- s3 : haute quantité/vitesse

**Gouttelettes et débris enflammés notés d pour « droplets » :**  
- d0 : aucun débris  
- d1 : aucun débris dont l'enflamment dure plus de 10 secondes  
- d2 : ni d0 ni d1

Et un paramètre de non propagation latérale du front de flamme (LFS)



# Constructions bois en situation d'incendie

## Réaction au feu : Critères de classification

Symbole	Caractéristique
$\Delta T$	Élévation de température
$\Delta m$	Perte de masse
$t_f$	Durée de l'inflammation
PCS	Pouvoir calorifique supérieur
FIGRA	Accélération de la production énergétique
$THR_{600s}$	Dégagement thermique total
LFS	Propagation de flamme latérale
SMOGRA	Accélération de la production de fumée
$TSP_{600s}$	Emission de fumée totale
Fs	Propagation de flamme

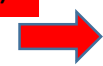
NF EN ISO 1182



A1 ou A1<sub>fl</sub>  
A2 ou A2<sub>fl</sub>

NF EN ISO 1716

NF EN ISO 9239-1 (Panneau radiant)



B ou B<sub>fl</sub>  
C ou C<sub>fl</sub>  
D ou D<sub>fl</sub>

NF EN 13823 (SBI)

NF EN ISO 11925-2 (Allumabilité)



E ou E<sub>fl</sub>  
F ou F<sub>fl</sub>

### Essai d'allumabilité à la petite flamme

Temps d'exposition : 15 s (E) ou 30 s (D → SBI)

Résultat hauteur de flammes Fs ≤ 150 mm

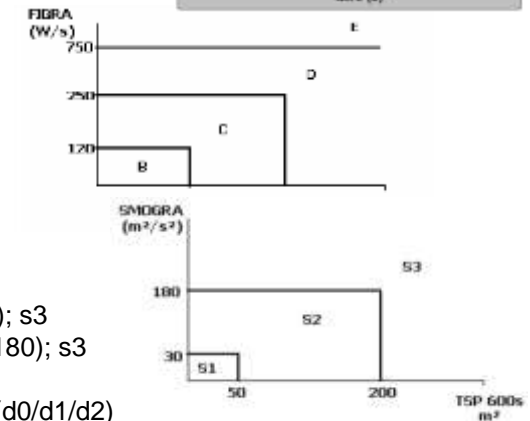
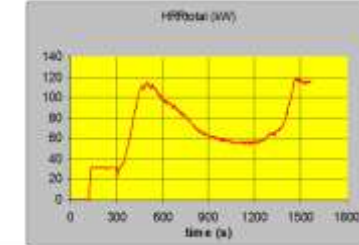


Essai Panneau radiant (sols)



Classe	Critère de classification	Classification supplémentaire
B <sub>e</sub>	Flux critique ≥ 8.0 KW / m <sup>2</sup>	s1 ≤ 750 % min
C <sub>e</sub>	Flux critique ≥ 4.5 KW / m <sup>2</sup>	
D <sub>e</sub>	Flux critique ≥ 3.0 KW / m <sup>2</sup>	sinon s2

### Essai SBI – « Single Burning Item » objet isolé en feu



#### Contribution fumigène :

$TSP_{600s}(m^2)$ : s1(50); s2(200); s3

$SMOGRA(m^2/s^2)$ : s1(30); s2(180); s3

#### Propagation latérale (LFS)

Gouttes/débris enflammés (d0/d1/d2)

# Constructions bois en situation d'incendie

## Réaction au feu : Correspondance Euroclasses → Classement M règlements sécurité incendie

produits murs et plafonds

CLASSES SELON NF EN 13501-1			EXIGENCE
A1	-	-	Incombustible
A2	s1	d0	M0
A2	s1	d1 (1)	M1
A2	s2 s3	d0 d1 (1)	
B	s1 s2 s3	d0 d1 (1)	
C (3)	s1 (2) (3) s2 (3) s3 (3)	d0 d1 (1)	M2
D	s1 (2) s2 s3	d0 d1 (1)	M3
			M4 (non gouttant)
Toutes classes (2) autres que E-d2 et F			M4

sols

CLASSES SELON NF EN 1350-1		EXIGENCE
A1 <sub>fl</sub> (1)	-	Incombustible
A2 <sub>fl</sub> (1)	s1	M0
A2 <sub>fl</sub> (1)	s2	M3
B <sub>fl</sub> (1)	s1	
C <sub>fl</sub> (1)	s2	
D <sub>fl</sub> (1)	s1 (1) s2	M4

- (1) Le niveau de performance s1 dispense de fournir les informations prévues par l'arrêté du 4 novembre 1975, modifié portant réglementation de l'utilisation de certains matériaux et produits dans les établissements recevant du public et l'instruction du 1er décembre 1976 s'y rapportant

(1) Le niveau de performance d1 est accepté uniquement pour les produits qui ne sont pas thermofusibles dans les conditions de l'essai.

(2) Le niveau de performance s1 dispense de fournir les informations prévues par l'arrêté du 4 novembre 1975 modifié portant réglementation de l'utilisation de certains matériaux et produits dans les établissements recevant du public et l'instruction du 1er décembre 1976 s'y rapportant.

(3) Admissible pour M1 si non substantiel au sens de la définition de l'annexe 1.

# Constructions bois en situation d'incendie

## Réaction au feu : Classement conventionnel

Classements indiqués dans la norme produit correspondante

Bois massif (NF EN 14081)

Produit <sup>a</sup>	Détail du produit	Masse volumique moyenne minimale <sup>c</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	Épaisseur minimale hors tout (mm)	Classe <sup>b</sup> (à l'exclusion des revêtements de sol)
Bois de structure	Bois de structure classé visuellement ou par machine, à section rectangulaire, façonné par sciage, rabotage ou par d'autres méthodes, ou à section ronde,	350	22	D-s2, d0

Bois lamellé-collé (NF EN 14080)

Produit	Description détaillée du produit	Masse volumique moyenne minimale <sup>b</sup> kg/m <sup>3</sup>	Épaisseur minimale hors-tout (mm)	Classe <sup>c</sup> (à l'exclusion des revêtements de sol)
Bois lamellé-collé	Produits en bois lamellé-collé conformes à la présente Norme européenne EN 14080	380	40	D-s2, d0

<sup>a</sup> S'applique à toutes les essences couvertes par les normes de produit.  
<sup>b</sup> Conditionné conformément à l'EN 13238.  
<sup>c</sup> Classe figurant dans le Tableau 1 de l'Annexe à la Décision 2000/147/CE.

Panneaux à base de bois (NF EN 13986)

Produit	Norme de produit EN	Condition d'utilisation finale <sup>f</sup>	Masse volumique minimale (kg/m <sup>3</sup> )	Épaisseur minimale (mm)	Classe <sup>g</sup> (à l'exclusion des planchers)	Classe <sup>h</sup> (planchers)
Panneaux de particules liées au ciment <sup>a</sup>	EN 634-2	sans lame d'air à l'arrière du panneau	1 000	10	B-S1,d0	B <sub>fl</sub> -s1
Panneau de fibres, dur <sup>a</sup>	EN 622-2		900	6	D-s2,d0	D <sub>fl</sub> -s1
Panneau de fibres, dur <sup>a</sup>	EN 622-2	avec une lame d'air fermée ne dépassant pas 22 mm à l'arrière du panneau à base de bois	900	6	D-s2,d2	—
Panneau de particules <sup>a b e</sup>	EN 312	sans lame d'air à l'arrière du panneau à base de bois	600	9	D-s2,d0	D <sub>fl</sub> -s1
Panneau de fibres, dur et mi-dur <sup>a b e</sup>	EN 622-2 EN 622-3					
MDF <sup>a b e</sup>	EN 622-5					
OSB <sup>a b e</sup>	EN 300					
Contreplaqué <sup>a b e</sup>	EN 636					
Bois panneauté <sup>a b e</sup>	EN 13353					
Panneau de particules de lin <sup>a b e</sup>	EN 15197					
Panneau de particules <sup>c e</sup>	EN 312	avec une lame d'air fermée ou ouverte ne dépassant pas 22 mm à l'arrière du panneau à base de bois	600	9	D-s2,d2	—
Panneau de fibres, dur et mi-dur <sup>c e</sup>	EN 622-2 EN 622-3					
MDF <sup>c e</sup>	EN 622-5					
OSB <sup>c e</sup>	EN 300					
Contreplaqué <sup>c e</sup>	EN 636					
Bois panneauté <sup>c e</sup>	EN 13353					
			12			



# Constructions bois en situation d'incendie

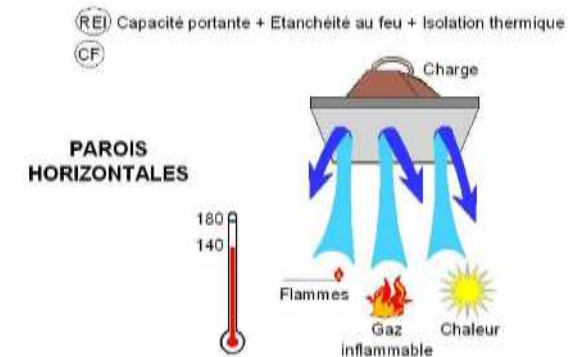
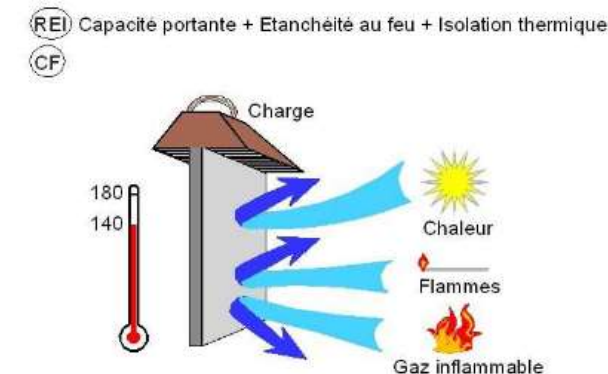
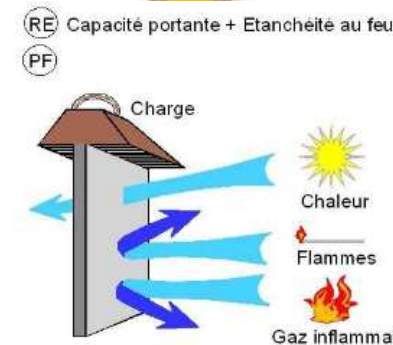
## Résistance au feu :

Pour une exposition standard au feu, la capacité d'un élément à conserver ses propriétés pendant un temps donné est déterminée en fonction des critères de performance suivants :

- Élément à fonction porteuse : **critère R** (résistance mécanique)
  - Le critère R est satisfait s'il y a maintien de la fonction porteuse.

NOTE : Une structure bois est réputée satisfaisant ce critère R pendant 15 minutes avec un calcul à froid.

- Élément à fonction séparative : **critère E** (Étanchéité aux flammes et aux gaz chauds inflammables) et éventuellement **critère I** (Isolation thermique) en complément de E ou RE
  - Le critère E n'est plus satisfait si :
    - Inflammation de coton hydrophile à proximité de
    - Ouverture (calibre défini)
    - Passage de flammes en face non exposée
  - Le critère I est satisfait si la variation de température  $\Delta T$  sur la surface non exposée
    - < 140° en moyenne
    - < 180° en tout point



# Constructions bois en situation d'incendie

## Résistance au feu : Justifications

Suivant l'Arrêté du 22 mars 2004 par une ou plusieurs des approches suivantes :

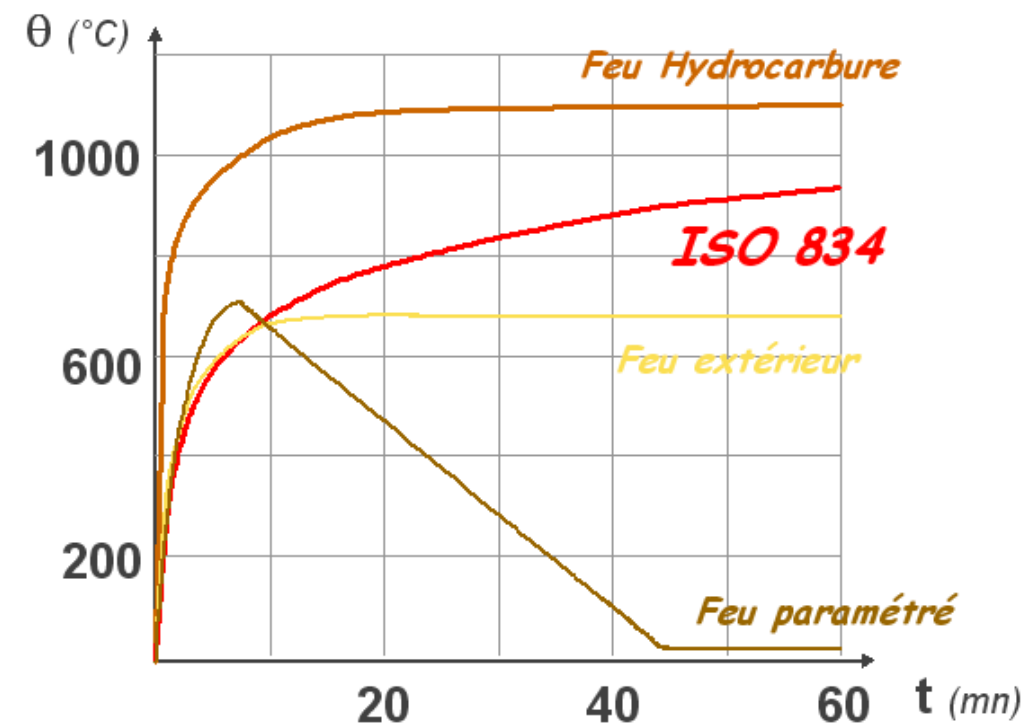
- **essai conventionnel** donnant lieu à un domaine d'application directe, conformément à l'annexe 1 de l'arrêté
- **méthode de calcul et règle de dimensionnement**, selon l'annexe 2 [NF EN 1991-1-2, NF EN 1995-1-2 et leurs annexes nationales pour les structures bois] ;
- référence à un procédé de fabrication ou de construction approuvé, dont la liste figure en annexe 3 de l'arrêté;
- **appréciation de laboratoire agréé**, établie selon l'annexe 4 de l'arrêté.

Action thermique :

courbes nominales température/temps

- Courbe **feu normalisé ISO 834**  $\Theta_g = 20 + 345 \log_{10}(8t + 1)$
- Courbe de **feu extérieur**  $\Theta_g = 20 + 660 (1 - 0,687 e^{-0,32t} - 0,313 e^{-3,8t})$
- Courbe de **feu hydrocarbure**  $\Theta_g = 20 + 1280 (1 - 0,325 e^{-0,167t} - 0,675 e^{-2,5t})$

+ modèle de feu paramétrique ou naturel (courbe dépendant des paramètres physiques définissant les conditions à l'intérieur du bâtiment, avec phase de décroissance)



# Constructions bois en situation d'incendie

## Résistance au feu : Justifications par calcul EC5 (Partie 1-2)

On vérifie, pour la durée d'exposition au feu exigée « t » que :

avec

$$E_{d,fi} < R_{d,t,fi}$$

$E_{d,fi}$  valeur de calcul de l'effet des actions en situation de feu

$R_{d,t,fi}$  valeur de calcul de la résistance correspondante en situation de feu

Combinaisons d'actions en situation accidentelle d'incendie :

$$G_k + A_d + \psi_{1,p} \cdot Q_p + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \longrightarrow E_{d,fi}$$

### Approche simplifiée

Eurocode 5 Partie 1-2 (NF EN 1995-1-2) : possibilité de détermination simplifiée de l'effet des actions à partir de l'analyse « à froid » selon :

$$E_{d,fi} = \eta_{fi} \times E_d$$

$\eta_{fi}$  : facteur de réduction pour la valeur de calcul de l'action en situation de feu.

$\eta_{fi} = 0,7$  (suivant Annexe Nationale française)

Résistances de calcul en situation incendie :

$$R_{fi,d} = \frac{k_{mod,fi} \times k_{fi} \times R_k}{\gamma_{M,fi}}$$

$$k_{mod,fi} = 1$$

$$R_k$$

$$\gamma_{M,fi} = 1$$

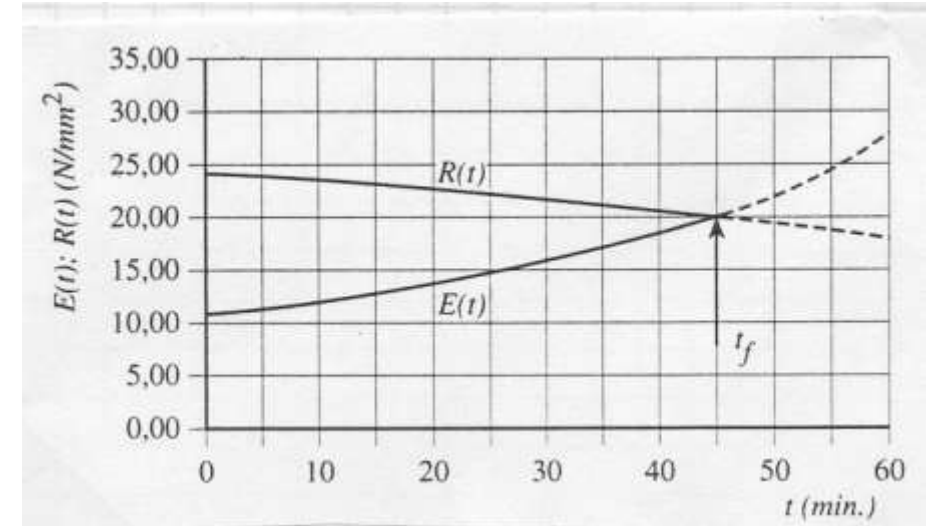
$$k_{fi}$$

coefficient de modification en situation incendie

propriété caractéristique « à froid »

coefficient de sécurité sur le matériau (accidentel)

coefficient qui ramène au fractile à 20%



	$K_{fi}$
Bois massif	1,25
Bois lamellé collé Panneaux à base de bois	1,15
LVL	1,1
Assemblages en cisaillement avec éléments latéraux en bois (ou panneaux)	1,15
Assemblages en cisaillement avec éléments latéraux en métal	1,05
Assemblages en traction axiale	1,05

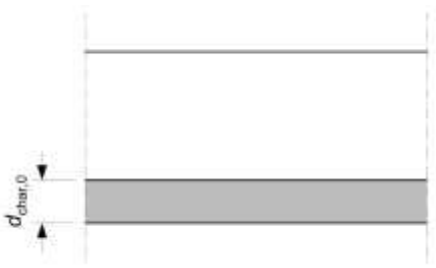
# Constructions bois en situation d'incendie

## Résistance au feu : Justifications par calcul EC5 (Partie 1-2)

**Profondeur de carbonisation** dépend des **vitesses de combustion**, différentes pour :

- des surfaces non protégées pendant la durée d'exposition au feu ;
- des surfaces initialement protégées avant rupture de la protection ;
- des surfaces initialement protégées et exposées au feu après rupture de la protection.

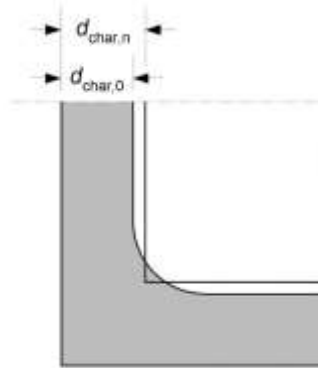
Vitesse de combustion unidirectionnelle  $\beta_0$



Pas d'influence des coins, fentes, etc ...

$$d_{char,0} = \beta_0 \times t$$

Vitesse de combustion fictive  $\beta_n$



Prise en compte des effets des coins, fentes, etc...

$$d_{char,n} = \beta_n \times t$$

	$\beta_0$ mm/min	$\beta_n$ mm/min
<b>a) Résineux et hêtre</b>		
Bois lamellé collé avec une masse volumique caractéristique $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
Bois massif avec une masse volumique caractéristique $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,8
<b>b) Bois feuillu</b>		
Feuillu massif ou lamellé collé avec une masse volumique caractéristique $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
Feuillu massif ou lamellé collé avec une masse volumique caractéristique $\geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,50	0,55
<b>c) LVL</b> avec une masse volumique caractéristique $\geq 480 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
<b>d) Panneaux</b>		
Panneautage bois	0,9 <sup>a)</sup>	—
Contreplaqué	1,0 <sup>a)</sup>	—
Panneaux à base de bois autres que contreplaqué	0,9 <sup>a)</sup>	—

*a) Les valeurs s'appliquent pour une masse volumique caractéristique de  $450 \text{ kg/m}^3$  et une épaisseur de panneau de 20 mm ou plus, voir 3.4.2(8) pour d'autres valeurs d'épaisseur et de masse volumique.*



# Constructions bois en situation d'incendie



## Résistance au feu : Justifications par calcul EC5 (Partie 1-2)

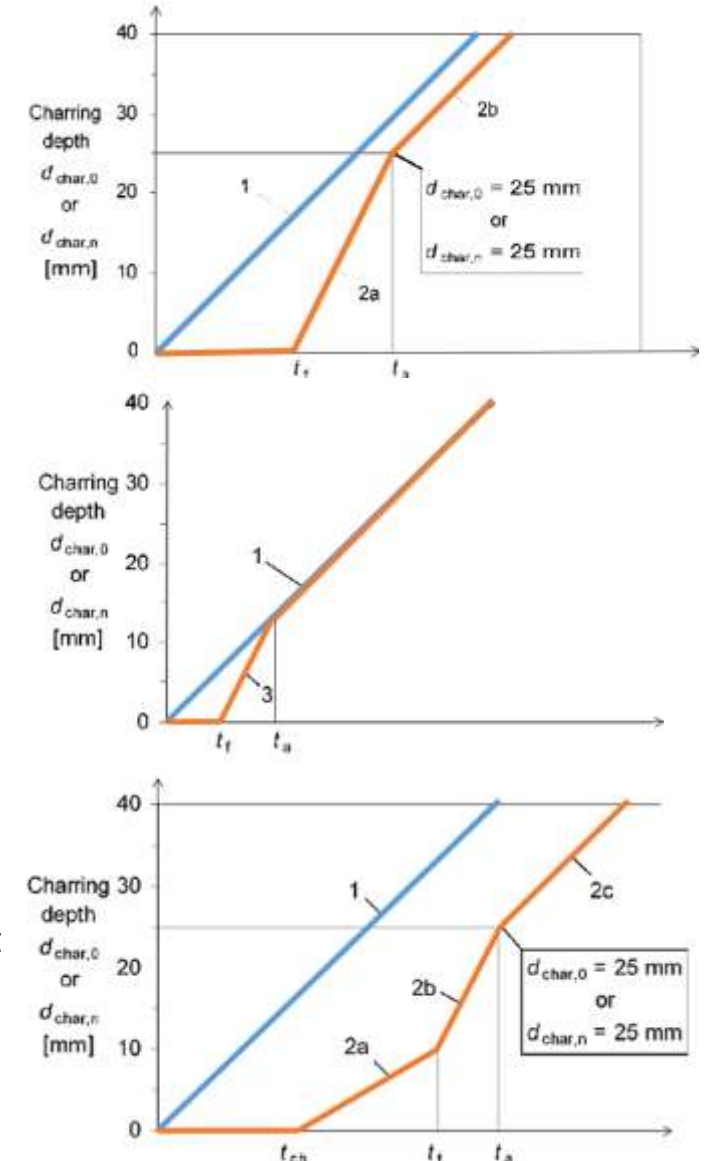
### Éléments non protégés :

- Départ de la combustion à  $t=0$ , soit  $t_{ch} = 0$  (temps de début de carbonisation)
- Vitesse de combustion constante :
  - $\beta_0$  pour les éléments à combustion unidirectionnelle
  - $\beta_n$  pour les éléments à vitesse « fictive »

### Éléments initialement protégés :

- Départ de la combustion à  $t_{ch} = ???$  à déterminer suivant le type de protection:
  - Panneaux à base bois
  - Plaques de plâtre
  - Laines de roche
- La combustion peut démarrer avant rupture de la protection au feu, mais à **une vitesse de carbonisation réduite jusqu'au temps de rupture  $t_f$**  de la protection au feu ;
- **Après** le temps de rupture  $t_f$  de la protection au feu, la **vitesse de combustion est augmentée jusqu'au temps  $t_a$**  (limitation temporelle) qui est le temps lorsque la profondeur de carbonisation est égale soit à la profondeur de carbonisation d'un élément identique sans protection au feu, soit à 25 mm, en considérant la valeur inférieure,
- Puis au temps  $t_a$ , la vitesse de combustion redevient « normale ».

Bois non protégé  
  
Bois initialement protégé  




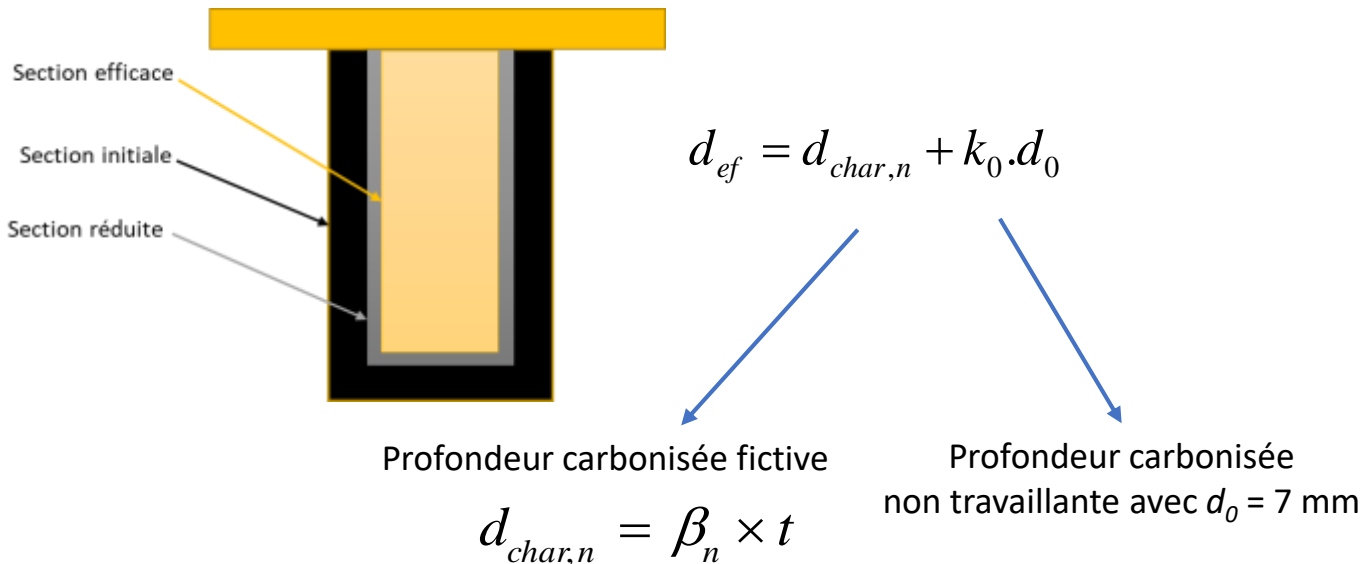
# Structures en bois en situation d'incendie

## Résistance au feu : Justifications par calcul EC5 (Partie 1-2)

### Méthode de la section réduite

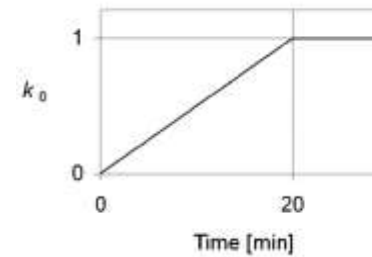
#### Détermination d'une section réduite par « retrait » d'une profondeur de carbonisation

La justification s'effectue en considérant la section efficace de l'élément bois. La section efficace est obtenue en réduisant la section initiale de la profondeur de carbonisation efficace  $d_{ef}$ . Cette réduction de section ne s'applique qu'aux faces exposées.

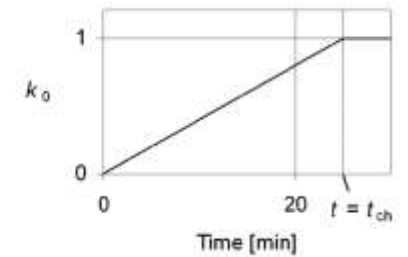


#### Détermination du coefficient $k_0$

Non protégés



initialement protégés



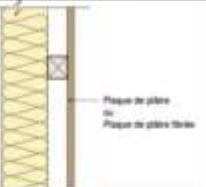
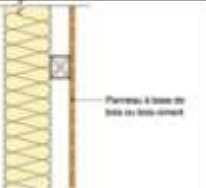
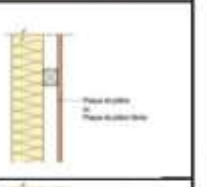

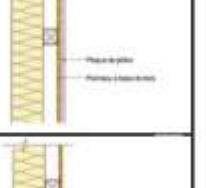
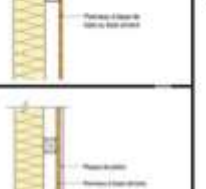


Faces non protégées ou protégées avec $t_{ch} < 20$ minutes	$t_{fi,req} < 20$ min	$k_0 = t_{fi,req} / 20$
	$t_{fi,req} \geq 20$ min	$k_0 = 1$
Faces protégées avec $t_{ch} \geq 20$ minutes	$t_{fi,req} < t_{ch}$	$k_0 = t_{fi,req} / t_{ch}$
	$t_{fi,req} \geq t_{ch}$	$k_0 = 1$

# Constructions bois en situation d'incendie

## Résistance au feu : Justifications par dispositions constructives suivant EC5 (Partie 1-2) - AN

### Annexe Nationale - annexe A: solutions « clé en main » REI 15 / 30 / 60

#### Parois verticales (murs)

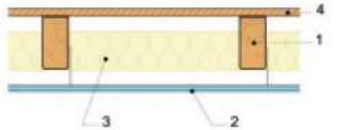
Exigences	Panneaux de protection (épaisseur minimale)	Schéma de principe	Exigences	Panneaux de protection (épaisseur minimale)	Schéma de principe	Performance	Matériaux	Montage
REI 15 ou EI 15	1 plaque de plâtre BA 13 - A (12,5 mm)			2 plaques de plâtre BA 13 - A (2 x 12,5 mm) montage (a)		REI 60 ou EI 60	2 plaques de plâtre BA 18 - D	
	1 plaque de plâtre armé de fibres (12,5 mm)			1 plaque de plâtre BA 18 D montage (a)			2 plaques de plâtre BA 15 type F	
	1 panneau à base de bois (ignifugé ou non) (16 mm)	1 plaque de plâtre BA 15 type F montage (a)				EI 60	1 plaque de plâtre BA 13 - A + 1 plaque de plâtre BA 18 - D montage (a)	
	1 panneau de particules liées au ciment (12 mm)	1 plaque de plâtre BA 13 - A (12,5 mm) + 1 panneau à base de bois (15 mm) montage (c,e ou f)						
	Lambris bois d'épaisseur minimale en tout point de 15 mm	1 panneau à base de bois (ignifugé ou pas) (25 mm) montage (b)			EI 30	1 plaque de plâtre BA 13 - A (12,5 mm) + 1 panneau à base de bois (épaisseur supérieur ou égale à 12 mm) montage (c,e ou f)		

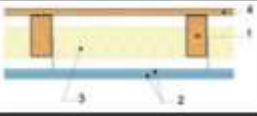
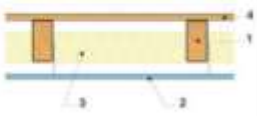
# Constructions bois en situation d'incendie

## Résistance au feu : Justifications par dispositions constructives suivant EC5 (Partie 1-2) - AN

### Annexe Nationale - annexe A: solutions « clé en main » par écran REI 15 / 30 / 60

#### Parois horizontales (planchers)

Exigences	Panneaux de protection (2) (épaisseur minimale)	Schéma de principe
REI 15	1 plaque de plâtre BA 13 - A (12,5 mm)	
	1 plaque de plâtre armé de fibres (12,5 mm)	
	1 panneau à base de bois ignifugé ou pas (18 mm)	
	1 plaque de plâtre BA 13 - A (12,5 mm) 1 panneau à base de bois/lambris (épaisseur minimale en tout point à 15 mm)	

Exigences	Panneaux de protection (épaisseur minimale)	Schéma de principe
REI 30	2 plaques de plâtre BA 13 - A (2 x 12,5 mm)	
	1 plaque de plâtre BA 18 - D (18)	
	1 plaque de plâtre BA 15 type F (16)	
	1 panneau à base de bois (ignifugé ou pas) (épaisseur supérieure ou égale à 25 mm)	

Performance	Matériaux	Montage
REI 60	2 plaques de plâtre BA 18 - D (2 x 18 mm) La première peau est fixée au pas de 300 mm. La seconde peau est posée à joints croisés et fixée au pas de 150 mm.	
	3 plaques de plâtre BA 15 type F (3 x 15 mm)	

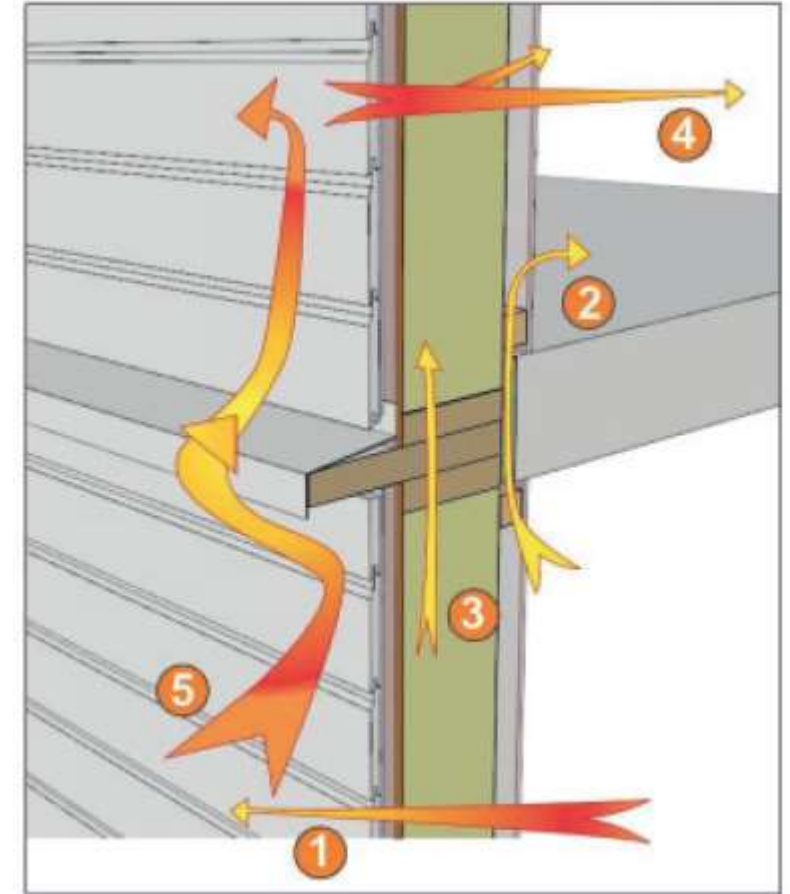


# Construction bois en situation d'incendie

## Limitation de la propagation du feu en façade : IT 249

La réglementation incendie et en particulier l'IT 249 (Arrêté du 24 mai 2010) est basée sur les principes suivants :

1. Exigence de limitation de la sortie du feu de l'intérieur vers l'extérieur : Exigence minimum  $E_i \rightarrow o$  (in to out).
2. Exigence de limitation de la migration du feu en nez de dalle dans le cœur de la paroi côté intérieur du panneau écran.
3. Limitation de la propagation verticale au niveau de la lame d'air : Règle C+D avec masse combustible mobilisable calculée sur les matériaux constituant la double peau extérieure.
4. Limitation de la pénétration du feu de l'extérieur vers l'intérieur pour les étages supérieurs : Exigence minimum  $E_o \rightarrow i$  (out to in). Sa valeur étant de 30 min quel que soit le bâtiment.
5. Eviter la propagation des flammes le long du bardage.

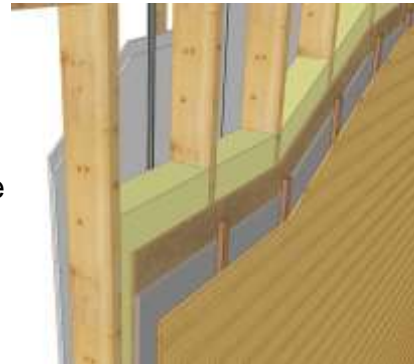


# Constructions bois en situation d'incendie

## Propagation du feu en façade : Guide Bois Construction



- Ecran thermique : assurer l'exigence Eo->i 30

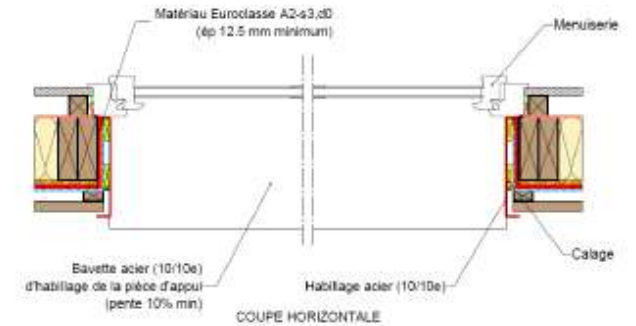


- Masse combustible mobilisable

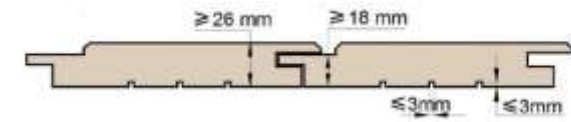
- Isolation de façade

- Jonction façade/planchers

- Traitement des embrasures (tableaux et linteaux)

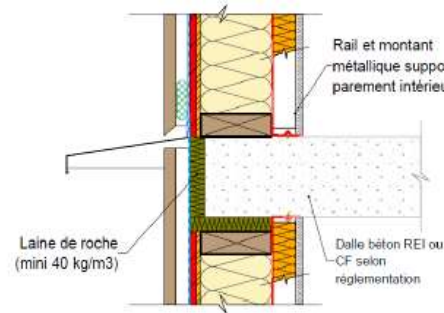
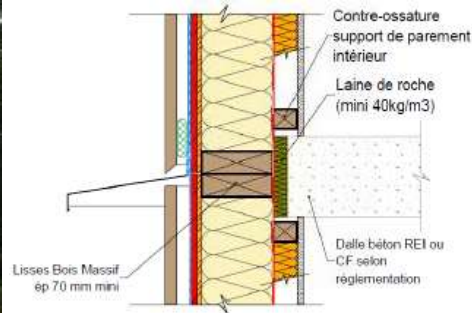
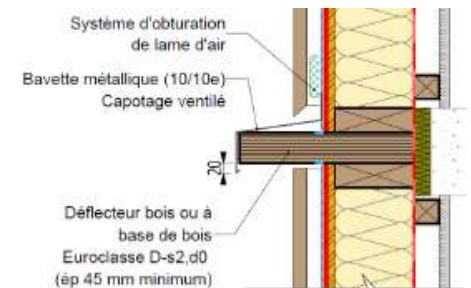


- Choix des revêtements extérieurs en lames de bois massif et en panneaux



- Déflecteurs obligatoires

- Obturateurs de lame d'air





# Catalogue construction bois

Un outil d'aide à la conception



## Un outil d'aide à la conception

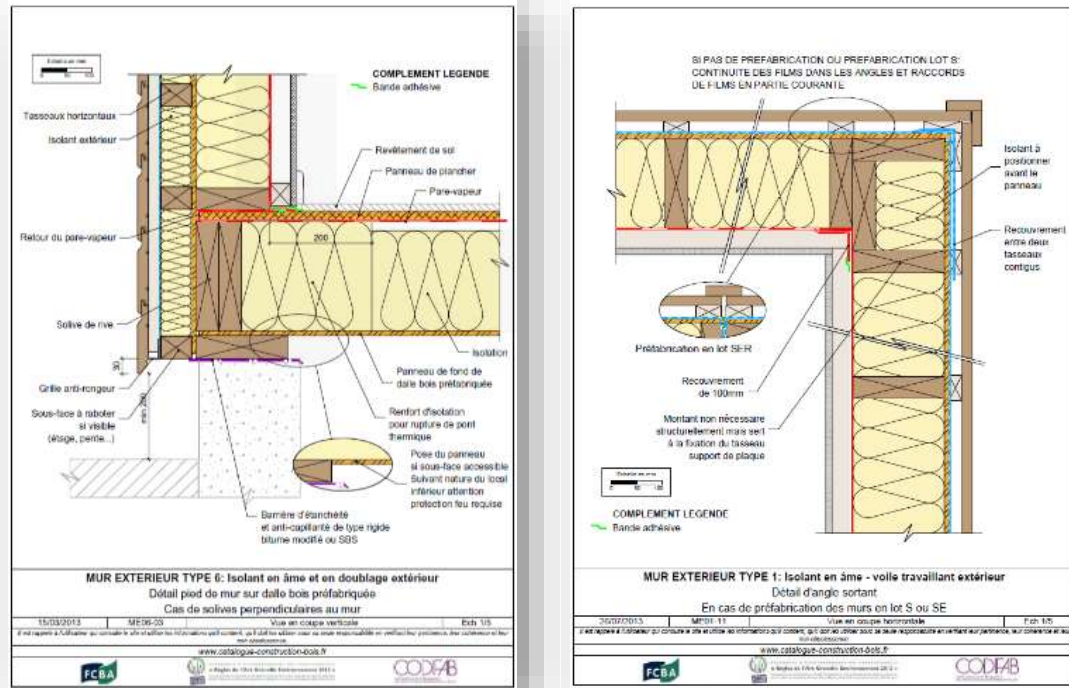
- Solutions constructives bois
  - Neuf
    - Parois
    - Ouvrages
    - Performances
  - Réhabilitation
- Référentiels techniques
  - « BoisRef »
  - Etudes Codifab
  - Conception CCTP
- Données environnementales
  - Fiches FDES /
  - DEP filière bois
- Fiches Produits Ouvrages Bois
  - Bois de structure, panneaux, revêtements extérieurs, assemblages, préservation et finitions, étanchéité et isolation, revêtements intérieurs, composants de menuiserie, composants de structure





## Parois

- Détails techniques : parties courantes, points singuliers



- Caractéristiques techniques : performances feu, acoustique, thermique



Largeur des montants: 145 mm | Doublage intérieur: 0 | Doublage extérieur: 0

Rechercher

Nombre de résultats : 15

	FEU	ACOUSTIQUE	THERMIQUE		
Solutions en parement Intérieur	Performances feu en minute	Affaiblissement acoustique aux bruits aériens extérieurs RA, tr en dB	Conductivité thermique (lambda) de l'isolant en W/m.K	Coefficient de transmission thermique Up en W/m2.K	Résistance thermique R en m2.K/W
1 BA 13	REI 15	32	0.032	0.239	3.92
2 BA 13	REI 30	35	0.032	0.239	3.92
1 BA 15F	REI 30	33	0.032	0.239	3.92
1 BA 18	REI 30	34	0.032	0.239	3.92
2 BA 18	REI 60	36	0.032	0.239	3.92

## Ouvrages



Pour 3 types d'ouvrages

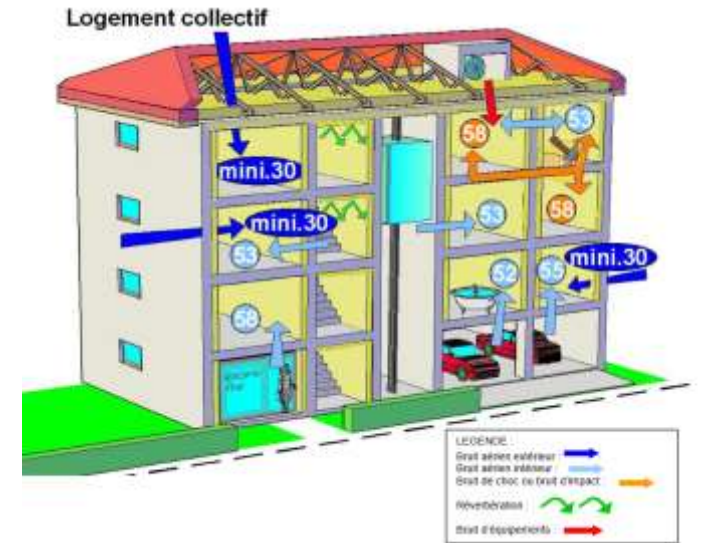
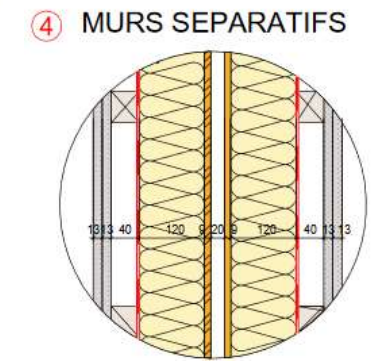
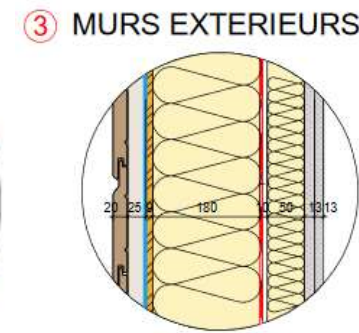
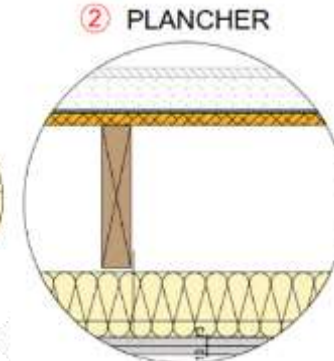
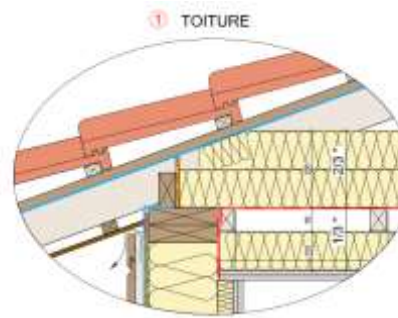
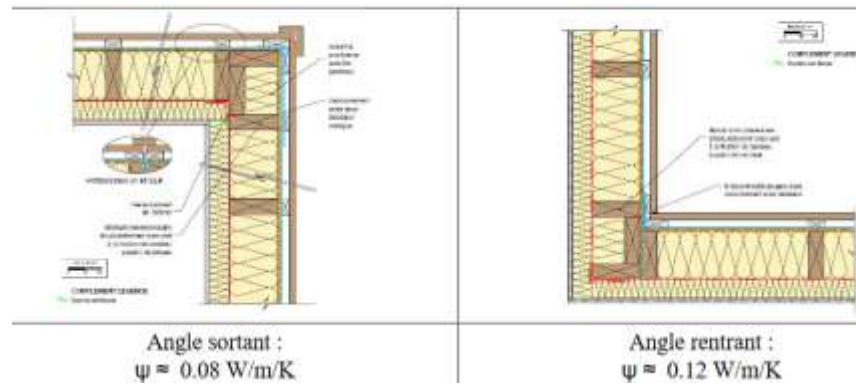
- Maison individuelle
- Bâtiment collectif
- Façade ossature bois

• Rappel des réglementations en vigueur et méthodes de justifications correspondantes

- Thermique
- Acoustique
- Solidité
- Protection Incendie
- Durabilité

• Exemple particulier de conception d'ouvrage

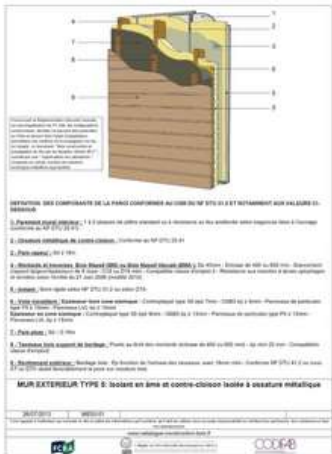
### 2. VALEUR DES PRINCIPAUX PONTS THERMIQUES



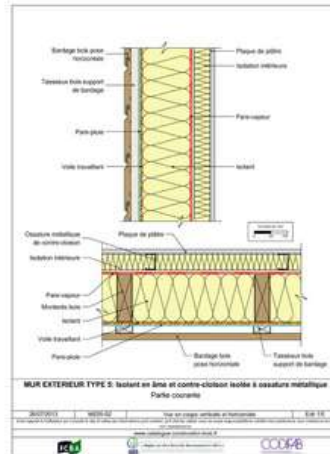
## Performances

Outil de recherche de solution type de parois répondant à un certain niveau de performance vis-à-vis des exigences réglementaires :

- Feu
- Acoustique
- Thermique



ME05-01



ME05-02

Largeur des montants : 120 mm  
 Doublage extérieur : 0 mm  
 Doublage intérieur : 50 mm

	FEU	ACOUSTIQUE	THERMIQUE		
Solutions en parement intérieur	Performances feu en minute	Affaiblissement acoustique aux bruits aériens extérieurs RA <sub>tr</sub> en dB	Conductivité thermique (lambda) de l'isolant en W/m.K	Coefficient de transmission thermique U <sub>p</sub> en W/m <sup>2</sup> .K	Résistance thermique R en m <sup>2</sup> .K/W
2 BA 18	REI 60	50	0.032	0.21	4.5

Largeur des montants : 145 mm  
 Doublage extérieur : 0 mm  
 Doublage intérieur : 50 mm

	FEU	ACOUSTIQUE	THERMIQUE		
Solutions en parement intérieur	Performances feu en minute	Affaiblissement acoustique aux bruits aériens extérieurs RA <sub>tr</sub> en dB	Conductivité thermique (lambda) de l'isolant en W/m.K	Coefficient de transmission thermique U <sub>p</sub> en W/m <sup>2</sup> .K	Résistance thermique R en m <sup>2</sup> .K/W
2 BA 18	REI 60	50	0.038	0.213	4.43

Type de paroi: Murs extérieurs

Feu: Exigence requise en minute: Entre 60 min, Et 90 min

Acoustique: Affaiblissement acoustique bruits aériens extérieurs RA<sub>tr</sub> en dB: 45 dB - 51 dB

Thermique: Coefficient transmission thermique U<sub>p</sub>: 0.202 W/m<sup>2</sup>.K - 0.280 W/m; Résistance thermique R en m<sup>2</sup>.K/W: 3.310 m<sup>2</sup>.K/W - 7.68 m<sup>2</sup>.K/W

Rechercher





# Merci de votre attention

avec le soutien du  
**CODIFAB**  
comité professionnel de développement  
des industries françaises de l'ameublement et du bois