

EUROCODE 5 et CALCULS (7)

- Incendie et Séisme -



Hugo GRASMICK

Année 2026-2027



Compétences et apprentissages visés :

- Le bois en situation d'incendie
 - ❑ Connaître les notions fondamentales de la sécurité incendie
 - ❑ Comprendre le comportement du bois en situation d'incendie
 - ❑ Connaître les principes de vérification à chaud d'une structure bois
- Comportement sismique des structures bois
 - ❑ Comprendre la manifestation du risque sismique
 - ❑ Comprendre les particularités de réponse d'un ouvrage bois
 - ❑ Connaître les principes de vérification sismique d'un ouvrage bois

- Structures bois en situation d'incendie
- Comportement sismique des structures bois

STRUCTURES BOIS EN SITUATION D'INCENDIE

STRUCTURES BOIS EN SITUATION D'INCENDIE

Notions générales de sécurité incendie
Contexte réglementaire

Contexte réglementaire

Le comportement au feu d'un bâtiment est apprécié à partir de 2 critères principaux :

RÉACTION AU FEU $\neq$ RÉSISTANCE AU FEU



Matériaux et produits



Éléments de construction

Contexte réglementaire

RÉACTION AU FEU

= **CONTRIBUTION** qu'un matériau ou un produit

peut apporter, par sa propre décomposition,

AU DÉVELOPPEMENT D'UN FEU et à la **VITESSE** à

laquelle la combustion se développe.

EUROCODE 5 et CALCULS - Structures bois en situation d'incendie

RÉACTION AU FEU

Classement : depuis février 2000, 7 classes de A à F, les “**EUROCLASSES**”

CLASSE	Contribution énergétique à la propagation d'un incendie
A1	Incombustible
A2	Pratiquement incombustible
B	Résiste à une attaque prolongée des flammes et d'un objet isolé ardent tout en limitant la propagation de la flamme
C	Résiste à une attaque brève des flammes et d'un objet isolé ardent tout en limitant la propagation de la flamme
D	Résiste à une attaque brève de petites flammes tout en limitant la propagation de la flamme et d'un objet isolé ardent
E	Résiste à une attaque brève de petites flammes en limitant la propagation de la flamme
F	Aucune perfor

EUROCODE 5 et CALCULS - Structures bois en situation d'incendie

RÉACTION AU FEU

Classement : depuis février 2000, 7 classes de A à F, les “**EUROCLASSES**”

CLASSE	Contribution énergétique à la propagation d'un incendie	classification complémentaire			
		Production de fumée		Chute de gouttes et débris enflammés	
A1	Incombustible	-	-	-	-
A2	Pratiquement incombustible	S1	Faible production de fumée	d0	pas de gouttelettes/ particules enflammées
B	Résiste à une attaque prolongée des flammes et d'un objet isolé ardent tout en limitant la propagation de la flamme	S2	production moyenne de fumée	d1	gouttelettes/particules enflam- mées persistant moins de 10 s
C	Résiste à une attaque brève des flammes et d'un objet isolé ardent tout en limitant la propagation de la flamme				
D	Résiste à une attaque brève de petites flammes tout en limitant la propagation de la flamme et d'un objet isolé ardent	S3	production importante de fumée	d2	gouttelettes/particules enflam- mées persistant plus de 10 s
E	Résiste à une attaque brève de petites flammes en limitant la propagation de la flamme	Pas testé		Sans indication ou d2	
F	Aucune performance déterminée				

+2 classifications supplémentaires :

- s = fumées
- d = gouttelettes ou particules enflammées

Nota :

- indice *f*/ pour les sols
- évaluation conventionnelle par essais
- impact des modalités de pose



EUROCODE 5 et CALCULS - Structures bois en situation d'incendie

RÉACTION AU FEU Classement : depuis février 2000, 7 classes de A à F, les “**EUROCLASSES**”

CLASSE	Contribution énergétique à la propagation d'un incendie	classification complémentaire			
		Production de fumée		Chute de gouttes et débris enflammés	
A1	Incombustible	-	-	-	-
A2	Pratiquement incombustible	S1	Faible production de fumée	d0	pas de gouttelettes/ particules enflammées
B	Résiste à une attaque prolongée des flammes et d'un objet isolé ardent tout en limitant la propagation de la flamme	S2	production moyenne de fumée	d1	gouttelettes/particules enflam- mées persistant moins de 10 s
C	Résiste à une attaque brève des flammes et d'un objet isolé ardent tout en limitant la propagation de la flamme				
D	Résiste à une attaque brève de petites flammes tout en limitant la propagation de la flamme et d'un objet isolé ardent	S3	production importante de fumée	d2	gouttelettes/particules enflam- mées persistant plus de 10 s
E	Résiste à une attaque brève de petites flammes en limitant la propagation de la flamme	Pas testé		Sans indication ou d2	
F	Aucune performance déterminée				

Exemple de nomenclature :

A2,s2-d0

Contexte réglementaire

RÉACTION AU FEU

Classes des produits selon NF EN 13501-1 (Euroclasses)			Ancien classement
Comportement au feu	Production de fumée	Goutelettes enflammées	
A1	-	-	Incombustible
A2	s1	d0	M0
A2	s1	d	
A2	s2 s3	d0 d1	
B	s1 s2 s3	d0 d1	M1
C	s1 s2 s3	d0 d1	M2
D	s1 s2 s3	d0 d1	M3
			M4 - non gouttant
E	non applicable	d1	M4
E	non applicable	d2	Pas de classement
F	non applicable	non applicable	Pas de classement

Classement :

les Euroclasses

Correspondance
avec les classes
"M" françaises :

Contexte réglementaire

RÉSISTANCE AU FEU

= **CAPACITÉ** d'un élément de construction ou d'une paroi

À ASSURER SA FONCTION en situation d'incendie.

Contexte réglementaire

RÉSISTANCE AU FEU

FONCTION PORTEUSE

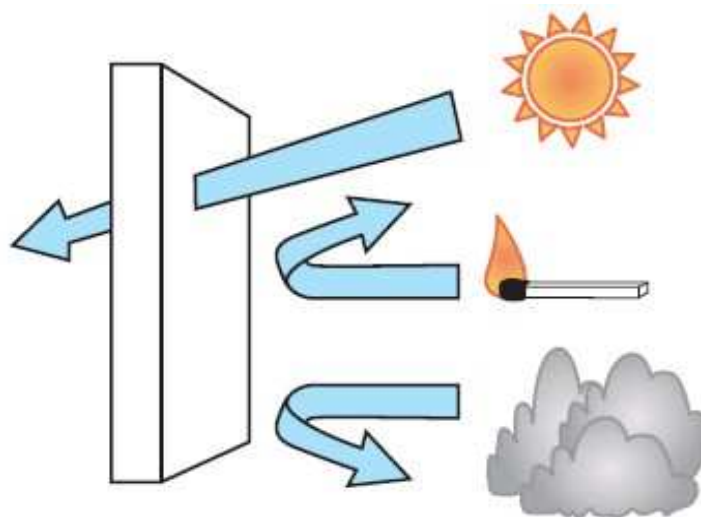


R

Résistance mécanique

(anc. stabilité au feu SF)

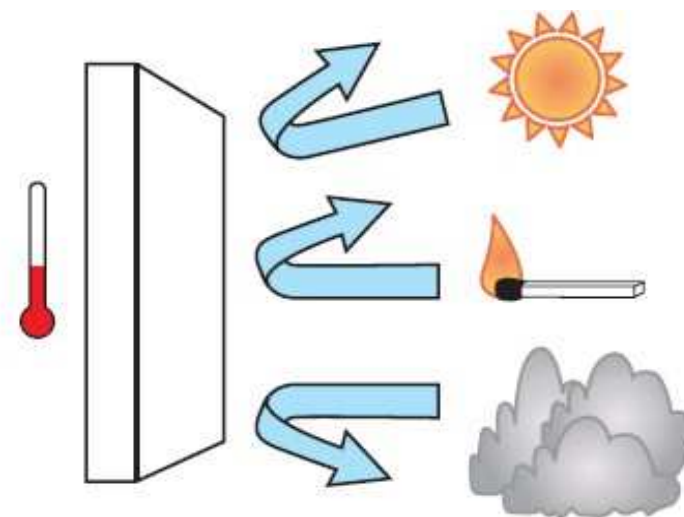
FONCTION SÉPARATIVE



E

Etanchéité aux flammes
et gaz chauds

(anc. pare-flammes PF)



I

Isolation thermique

(anc. coupe-feu CF)

+ DURÉE
(en minutes)
ex : RE30

Contexte réglementaire

RÉSISTANCE AU FEU

Un élément de construction peut avoir à satisfaire un ou plusieurs de ces critères en fonction de son rôle dans la construction, par exemple :

- les poteaux et les poutres d'une structure porteuse doivent satisfaire **le critère R** (*R30, R60, R90 ...*) ;
- les parois et les planchers porteurs doivent satisfaire **les trois critères REI** (*REI30, REI60, REI90...*) ;
- les cloisons non porteuses et les blocs-portes doivent satisfaire, soit **le critère d'étanchéité** seul (*E30, E60, E90 ...*), soit **les critères d'étanchéité et de l'isolation** combinés (*EI30, EI60, EI90 ...*).

STRUCTURES BOIS EN SITUATION D'INCENDIE

Comportement au feu du bois

Comportement au feu du bois

- ✓ matériau **combustible**

subit une dégradation thermique suite à une agression thermique et oxydante (en présence d'oxygène qui joue le rôle de comburant).

Sa structure et ses propriétés thermo-physiques et mécaniques peuvent être affectées par cette dégradation thermique.

Comportement au feu du bois

- ✓ matériau **combustible**

Classement conventionnel du bois :

RÉACTION AU FEU

D-s2,d0
(anciennement M3)

Surclassement :

- Masse volumique élevée (*ex : mélèze de densité > 620 kg/m³ + conditions de montage / profils - Rapport d'essai Irabois renouvelé en 2019*): **C-s2,d0**, voire **C-s1,d0 (M2)**
- Traitement par ignifugation validé par un PV d'essai : **B-s2,d0**

Comportement au feu du bois

RÉACTION AU FEU

Déclassement :

- Masse volumique faible : $< 390 \text{ kg/m}^3$ pour les bois massifs
- Profils et états de surface : *arêtes, angles aigus ou aspérités favorables à l'accrochage de la flamme*
- Montage avec lame d'air ouverte sur un support combustible
- Exposition de longue durée dans des climats secs : *humidité d'équilibre du bois* $< 10\%$
- Montage ajouré ou à claire-voie
- Epaisseur(s) faible(s) : *épaisseur nominale* $< 21\text{mm}$ ou *épaisseur minimale* $< 14\text{mm}$

~~D-s2, d0~~

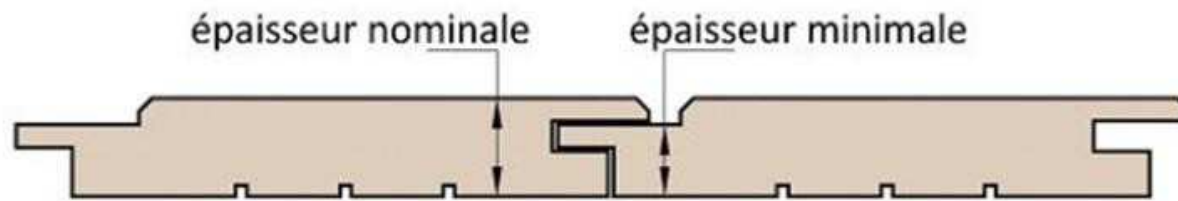


Figure 9 : Epaisseur nominale et épaisseur minimale d'une lame de bardage

Comportement au feu du bois

RÉACTION AU FEU

Cas des bois ignifugés :

L'ignifugation permet d'atteindre des réaction au feu **C-s2,d0** et même **B-s1,d0**.

2 procédés principaux :

- Imprégnation des produits ignifuges par autoclave
- Application en surface d'une ou plusieurs couches de systèmes intumescents

encadrés par la NF EN 16755 (*durabilité dans le temps, pour un usage intérieur / intérieur humide / extérieur*)

Effets sur l'incendie:

- Réduction du débit calorifique
- Retardation le flash over (ou EGE)

Comportement au feu du bois

- ✓ matériau combustible
- ✓ **très peu conducteur de la chaleur**

Soumis à une élévation de température, le bois subit plusieurs phases de transformation.

- entre 40/50 et 100/120°, phase de séchage
- entre 100/120 et 250/300 °C, phase de pyrolyse faible
- **vers 250/300°C , point d'inflammation**

Perte intégrale des performances mécaniques

- entre 250/300 et 800 °C , phase de pyrolyse de carbonisation

*carbonisation (transformation en **charbon**)*

production de chaleur

Conductivité thermique
= 0,055(W. m⁻¹. K⁻¹)

- entre 800 et 1100 °C , phase d'oxydation (*incandescence, braises*)



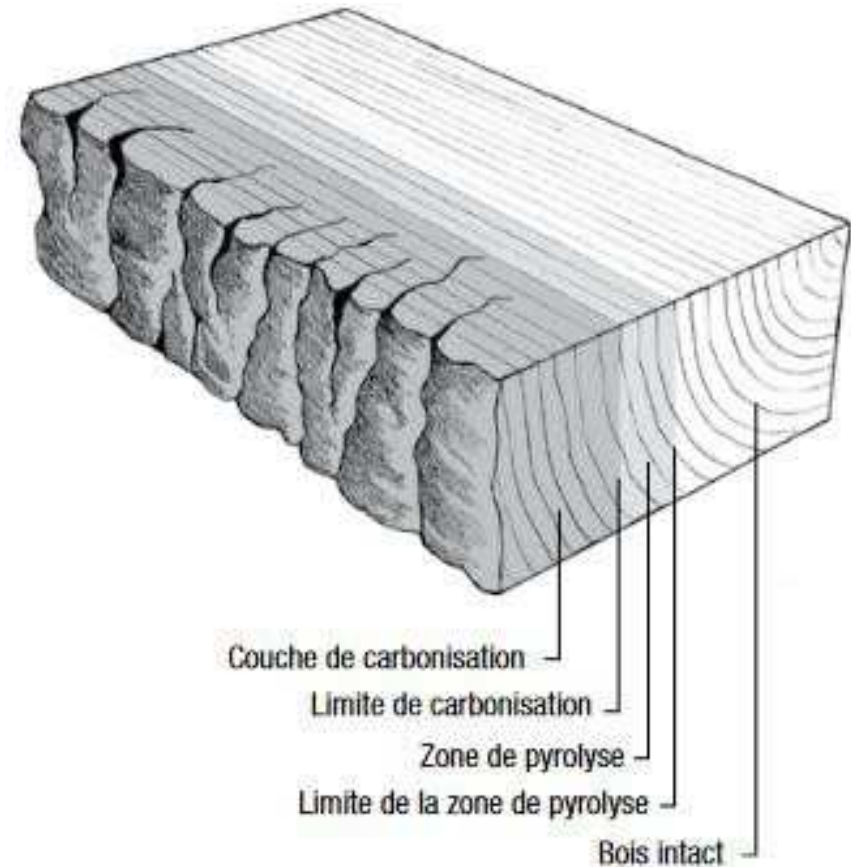
Comportement au feu du bois

- matériau combustible
- très peu conducteur de la chaleur

Particularité du bois :

La couche de charbon produite par la combustion du bois est un bon **isolant thermique** qui ralentit l'élévation de température à l'intérieur du bois.

Dans un élément de structure bois, **plusieurs phases cohabitent** à l'instant t.



source : cecobois.com

STRUCTURES BOIS EN SITUATION D'INCENDIE

Vérification à chaud

Vérification « à chaud » des structures bois

RÉSISTANCE AU FEU

Référentiel réglementaire : Eurocode 5 partie 1-2

L'incendie est considéré comme une « action » accidentelle.

Vérification ELU :

$$E_d \leq R_d$$

Pour justifier la résistance mécanique des éléments de structure soumis à l'incendie, l'Eurocode 5-1-2 définit 2 méthodes simplifiées :

- Méthode de la section réduite
- Méthode des propriétés réduites

Vérification « à chaud » des structures bois

RÉSISTANCE AU FEU

Vérification ELU :

$$E_d \leq R_d$$

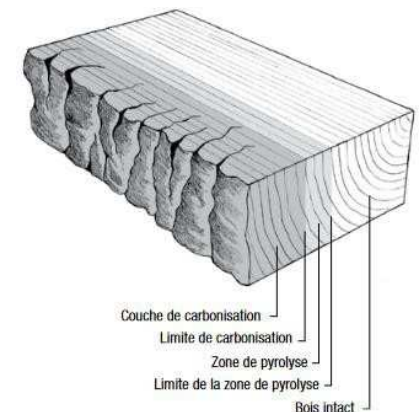
2 méthodes de calcul (EC5) :

- Méthode de la **section réduite**
- ~~Méthode des propriétés réduites~~

AN Française

Rappel :
Au cours de l'incendie,
le bois **se consume**
(front de carbonisation
qui « avance »)

La couche de charbon
«**protège**» le bois



NOTE La méthode dite de la section réduite explicitée en 4.2.2 est adoptée. L'application de la méthode des propriétés réduites est exclue en France.

Vérification « à chaud » des structures bois

RÉSISTANCE AU FEU

Vérification ELU :

$$E_d \leq R_d$$

- ✓ 1 – calcul de la section réduite
- ✓ 2 – détermination des sollicitations E_d (combinaison d'action accidentelle)
- ✓ 3 – calcul de la résistance de calcul R_d (propre à l'incendie)
- ✓ 4 – vérification $E_d < R_d$

Vérification « à chaud » des structures bois

La **vitesse de combustion** dépend de :

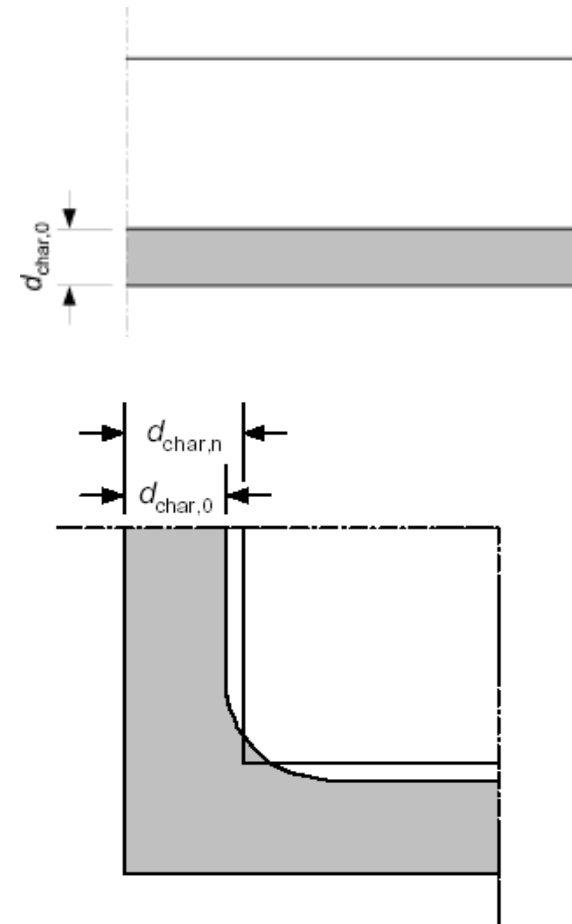
- l'essence de bois
- sa densité

Pour le bois, on définit 2 types de vitesse de combustion :

- **ℓ_0 est la vitesse de combustion uni-dimensionnelle** pour une carbonisation en situation d'exposition au feu standard ;
- **ℓ_n est la vitesse de combustion fictive**, dont l'amplitude inclut l'effet des arrondis en coins et des fentes.

RÉSISTANCE AU FEU

Calcul de la section réduite



source : NF EN 1995-1-2

Vérification « à chaud » des structures bois

RÉSISTANCE AU FEU

Vitesse de combustion

La vitesse de combustion dépend de :

- l'essence de bois
- sa densité

$\beta_n = 0,55 \text{ à } 0,80$
mm/minute

Valeurs de β_0 et β_n

	β_0 mm/min	β_n mm/min
a) Résineux et hêtre		
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) Bois feuillu		
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
c) LVL avec une masse volumique caractéristique $\geq 480 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
d) Panneaux		
Panneautage bois	0,9 ^{a)}	—
Contreplaqué	1,0 ^{a)}	—
Panneaux à base de bois autres que contreplaqué	0,9 ^{a)}	—
<i>a) Les valeurs s'appliquent pour une masse volumique caractéristique de 450 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.</i>		

Vérification « à chaud » des structures bois

RÉSISTANCE AU FEU

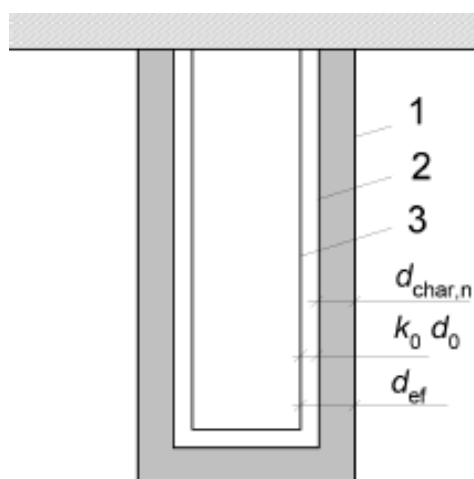
Calcul de la section réduite

On détermine une **section efficace**, qui sera utilisée dans les calculs :

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0$$

avec :

- $d_{char,n}$ = profondeur de carbonisation fictive
- $\dot{d}_n$ = vitesse de combustion fictive,
- t = temps d'exposition au feu
- $d_0 = 7 \text{ mm}$;
- k_0 selon tableau :
(pour les surfaces non protégées)



- 1 Surface initiale de l'élément
- 2 Limite de la section résiduelle
- 3 Limite de la section efficace

	k_0
$t < 20 \text{ minutes}$	$t/20$
$t \geq 20 \text{ minutes}$	1,0

EN 1995-1-2

Vérification « à chaud » des structures bois

RÉSISTANCE AU FEU

On considère un poteau de section 200 x 200mm
Bois Massif (épicéa)
Résistance au feu requise : R30
Calculer la section réduite

APPLICATION

- $def = 0,8 \times 30 + 7 = 31\text{mm}$
- 4 faces exposées
- Section à $t=30$ minutes : 138 x 138mm

Calcul de la section
réduite

Vérification « à chaud » des structures bois

RÉSISTANCE AU FEU

2 – effet des actions

$$E_d \leq R_d$$

FEU = ACTION ACCIDENTELLE

combinaison d'action accidentelle (EC0):

$$G_k + \ll \text{feu} \gg + \mu_1 Q_{k1} + I \mu_2 Q_{ki}$$

**Action du feu
= réduction de section**

μ_1 : Coef pour valeur fréquente (AN de l'EC1)

μ_2 : Coef pour valeur quasi permanente

Vérification « à chaud » des structures bois

RÉSISTANCE AU FEU

3 – résistance
« à chaud »

À froid :

$$E_d \leq R_d$$
$$X_d = k_{mod} \cdot \frac{X_k}{\gamma_M}$$

Fractile 20 %

À chaud :

$$X_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{X_{20}}{\gamma_{M,fi}}$$

Valeur de calcul en situation d'INCENDIE
(résistance ou propriété de rigidité)

Facteur modificatif pour l'INCENDIE
= 1,0 pour la méthode de la section réduite
(NF EN 1995-1-2)

Coefficient partiel
de sécurité
MATERIAU/INCENDIE
= 1,0
(NF EN 1995-1-2)

Vérification « à chaud » des structures bois

$$X_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{X_{20}}{\gamma_{M,fi}}$$

RÉSISTANCE AU FEU

3 – résistance
« à chaud »

fractile à 20 % d'une propriété de résistance à température normale :

- *Résistance :*
 $f_{20} = k_{fi} \cdot f_k$
- *Rigidité:*
 $S_{20} = k_{fi} \cdot S_{05}$

	k_{fi}
Bois massif	1,25
Bois lamellé collé	1,15
Panneaux à base de bois	1,15
LVL	1,1
Assemblages sollicités en cisaillement avec éléments latéraux en bois ou en panneaux à base de bois	1,15
Assemblages sollicités en cisaillement avec éléments latéraux métalliques	1,05
Assemblages sollicités axialement	1,05

source : NF EN 1995-1-2

Vérification « à chaud » des structures bois

RÉSISTANCE AU FEU

En résumé, procédure de vérification - Méthode de la **section réduite** :

- ✓ 1 – détermination de la vitesse de combustion fictive
- ✓ Ou 1' – détermination des phases de combustion et différentes vitesses (en cas d'éléments initialement protégés)
- ✓ 2 – calcul de la section réduite
- ✓ 3 – détermination des sollicitations E_d (combinaison d'action accidentelle)
- ✓ 4 – calcul de la résistance de calcul R_d , propre à l'incendie
- ✓ 5 – vérification $E_d < R_d$

Vérification « à chaud » des structures bois

CQFR

Quand le bois se consume, la couche carbonisée isolante protège la section de la chaleur.

La vérification au feu des éléments de structure s'effectue en suivant les principes généraux de la vérification à froid, avec:

- Une combinaison d'action accidentelle
- Des propriétés de résistance au fractile 20% au lieu de 5%
- Un coefficient partiel $\psi_M = 1,0$
- Une section réduite

On peut augmenter la résistance au feu par des protections rapportées (panneau bois ou plaque de plâtre), fixées sur le bois.

Vérification « à chaud » des assemblages

CQFR

Les assemblages ont une résistance au feu forfaitaire de base de 15 minutes. (R15)

On peut augmenter la résistance au feu en augmentant les sections de bois et pines. (jusqu'à R30)

L'ajout de protections au droit de l'assemblage permet d'augmenter la durée de résistance au feu. Les protections sont une alternative à l'augmentation de section et des pines pour atteindre un degré R30.

Elles sont systématiquement nécessaires pour atteindre un degré R60.

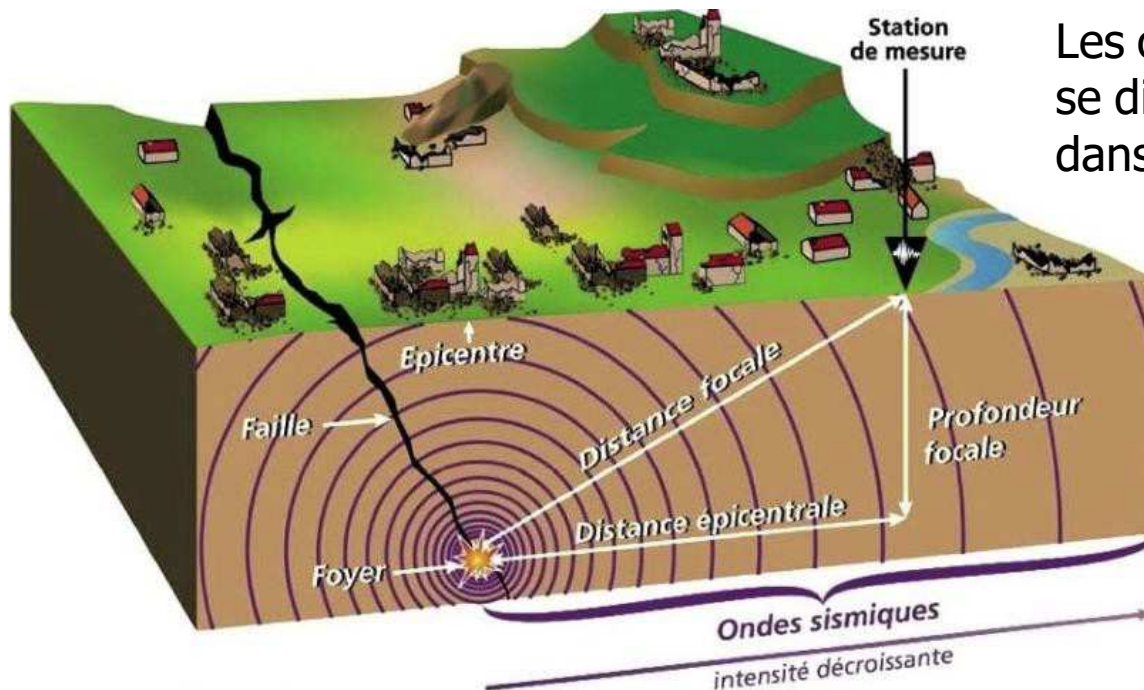
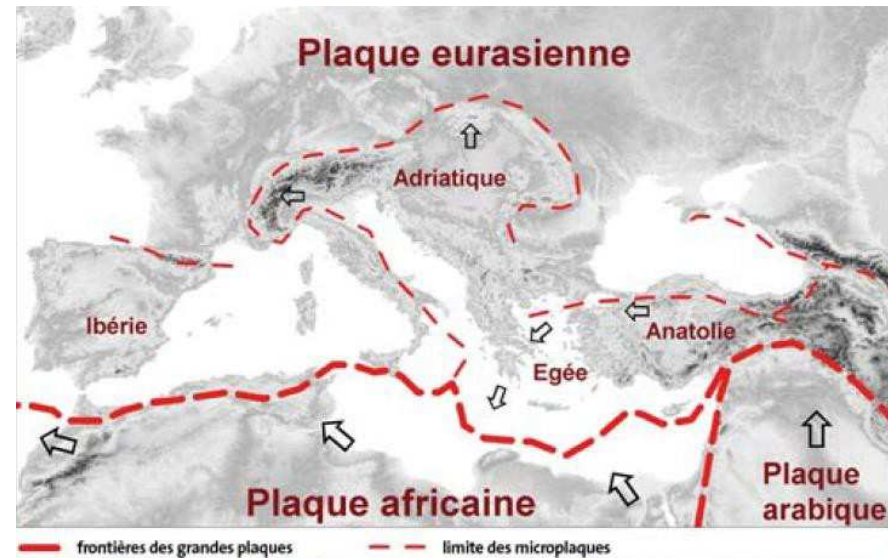
COMPORTEMENT SISMIQUE

EUROCODE 5 et CALCULS - Comportement sismique des structures bois

Qu'est ce qu'un séisme ?

= Tremblement de terre

= Mouvement naturel du sol, lié aux mouvements des plaques tectoniques, souvent au droit d'une faille.



Les ondes sismiques (vibrations) se diffusent depuis le foyer (point de rupture) dans toutes les directions

- Rupture des roches en profondeur
- Libération d'énergie
- Propagation des ondes sismiques

source : « Le risque sismique en PACA » - DIREN - CETE - BRGM 2006

Le Risque sismique :

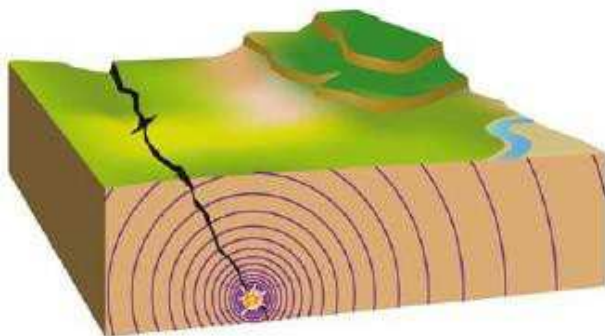
Le risque est la résultante de deux composantes :

$$\text{ALÉA} + \text{VULNÉRABILITÉ} = \text{RISQUE}$$

- **ALÉA** = probabilité d'occurrence d'un événement donné
- **VULNÉRABILITÉ** = gravité des effets / conséquences de l'événement supposé

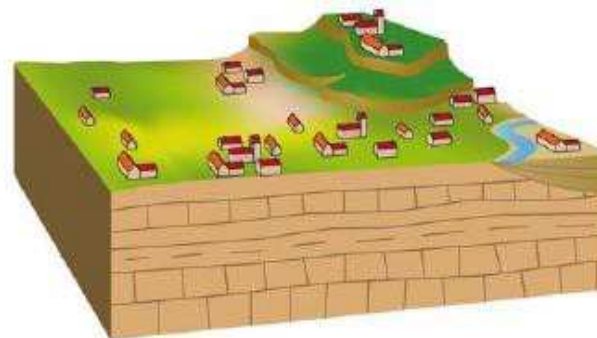
Évaluation du Risque sismique :

Évaluation de l'Aléa



- Effet régional : zone sismicité
- Effet local : classe de sol

Évaluation de la Vulnérabilité



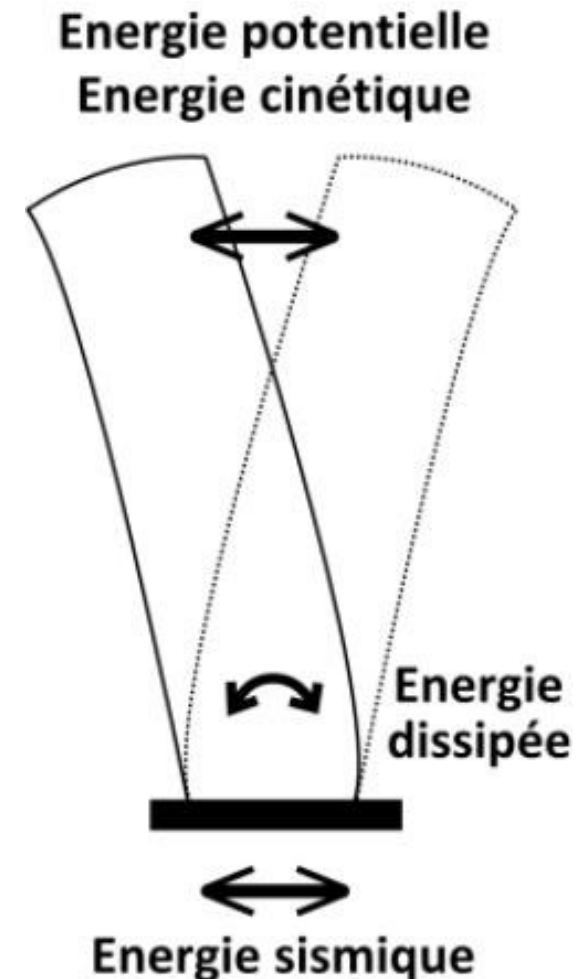
- Catégorie d'importance du bâtiment

Évaluation du Risque



Effets du séisme sur un bâtiment ?

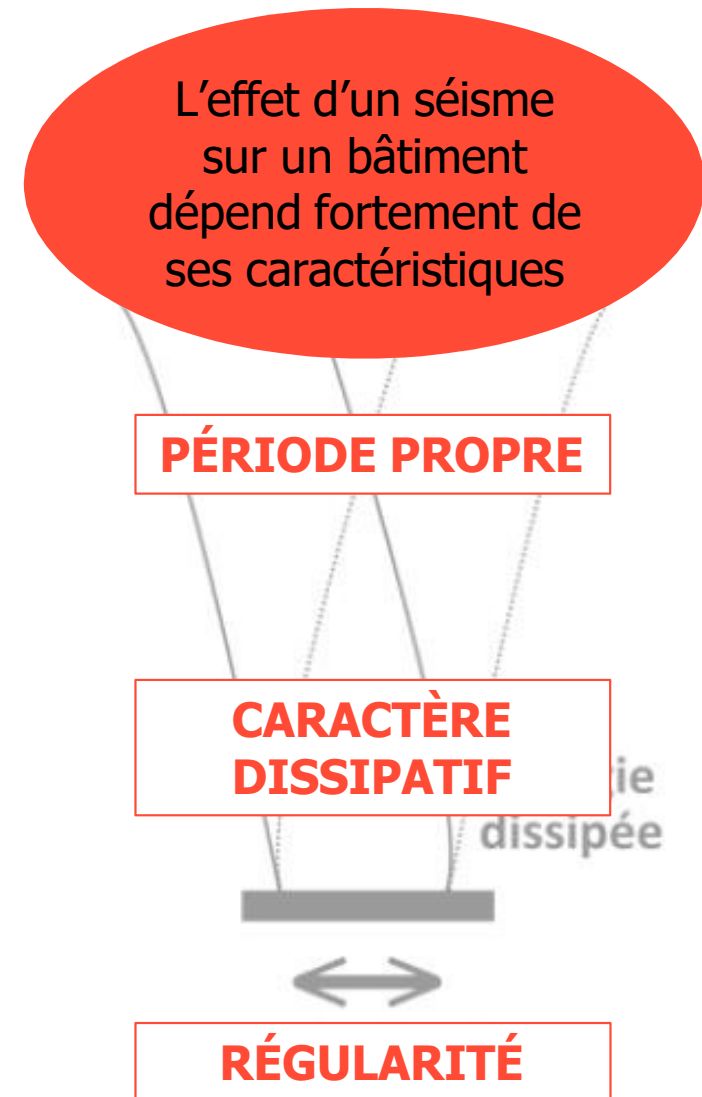
- **Oscillations** du bâtiment
l'ampleur dépend fortement de ses caractéristiques propres (hauteur, rigidité et masse)
- **Transfert d'énergie** entre le sol et le bâtiment.
Cette énergie peut être transformée en énergie potentielle et cinétique, ou être dissipée dans la structure et aux interfaces
- Efforts de **torsion** liés aux irrégularités du bâtiment (non superposition des centres de rigidité et de masse).



source : « Construire en bois en zone sismique » - Crittbois

Effets du séisme sur un bâtiment?

- Oscillations du bâtiment
l'ampleur dépend fortement de ses caractéristiques propres (hauteur, rigidité et masse)
- Transfert d'énergie entre le sol et le bâtiment ;
cette énergie peut être transformée en énergie potentielle et cinétique, ou être dissipée dans la structure et aux interfaces
- Efforts de torsion liés aux irrégularités du bâtiment (non superposition des centres de rigidité et de masse).



source : « Construire en bois en zone sismique » - Crittbois

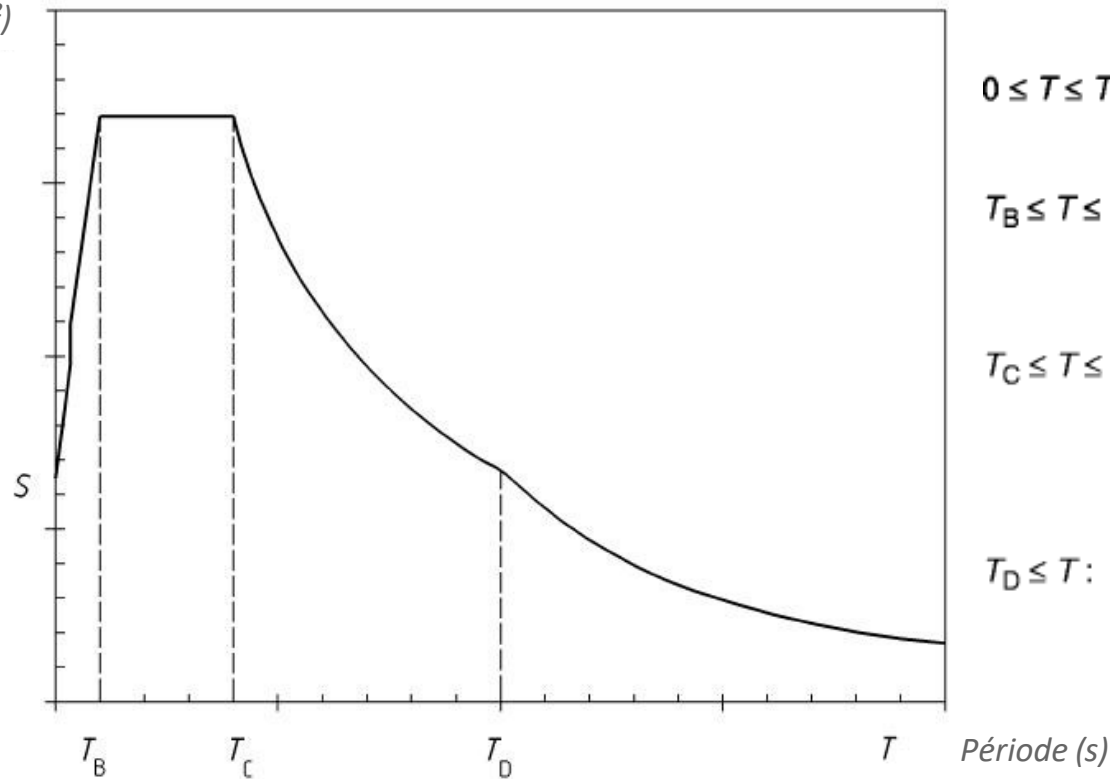
Evaluation de la réponse de l'ouvrage selon l'EC8 :

Cadre réglementaire : Eurocode 8 (NF EN 1998)

« ACTION » SISMIQUE définie par un **spectre de calcul $S_d(T)$**

Accélération
(m/s²)

source : NF EN 1998



$$0 \leq T \leq T_B: \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left(\frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C: \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q}$$

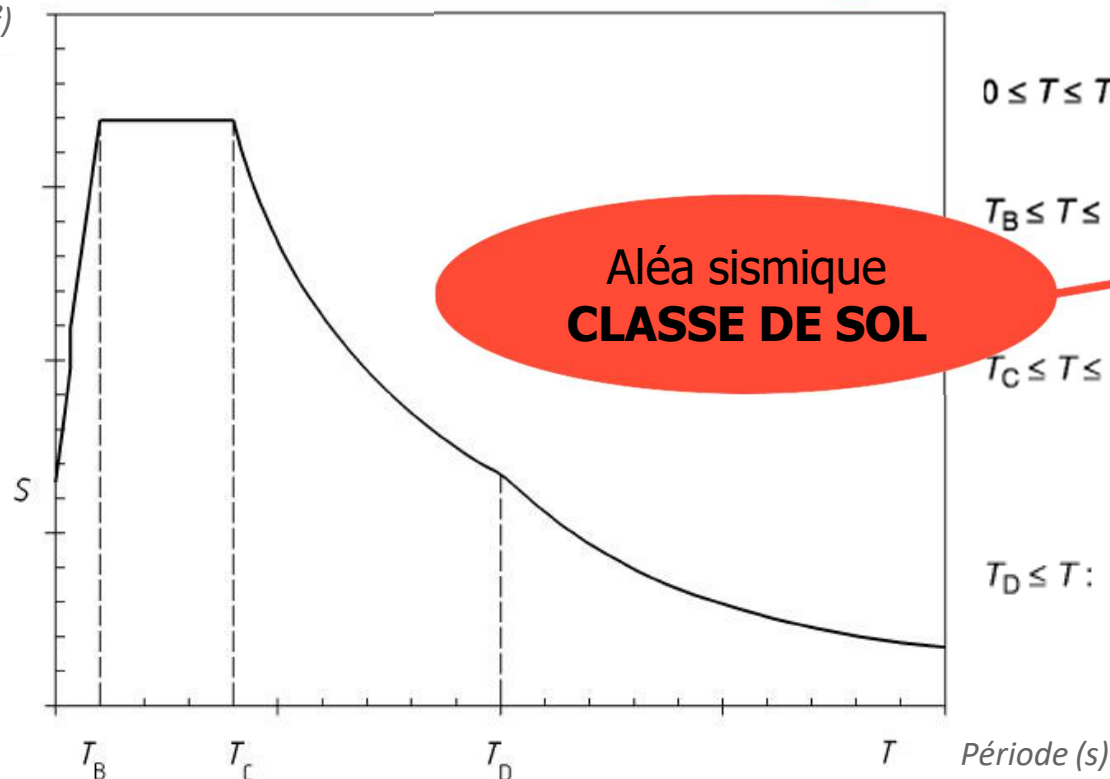
$$T_C \leq T \leq T_D: \quad S_d(T) = \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases}$$

$$T_D \leq T: \quad S_d(T) = \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases}$$

Evaluation de la réponse de l'ouvrage selon l'EC8 :

Accélération
(m/s²)

Spectre de calcul



$$0 \leq T \leq T_B:$$

$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left(\frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C:$$

$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q}$$

$$T_C \leq T \leq T_D:$$

$$S_d(T) = \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases}$$

$$T_D \leq T:$$

$$S_d(T) = \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases}$$

source : NF EN 1998

Evaluation du risque sismique selon l'EC8 :

Évaluation de l'Aléa
– effet régional

Zones de sismicités

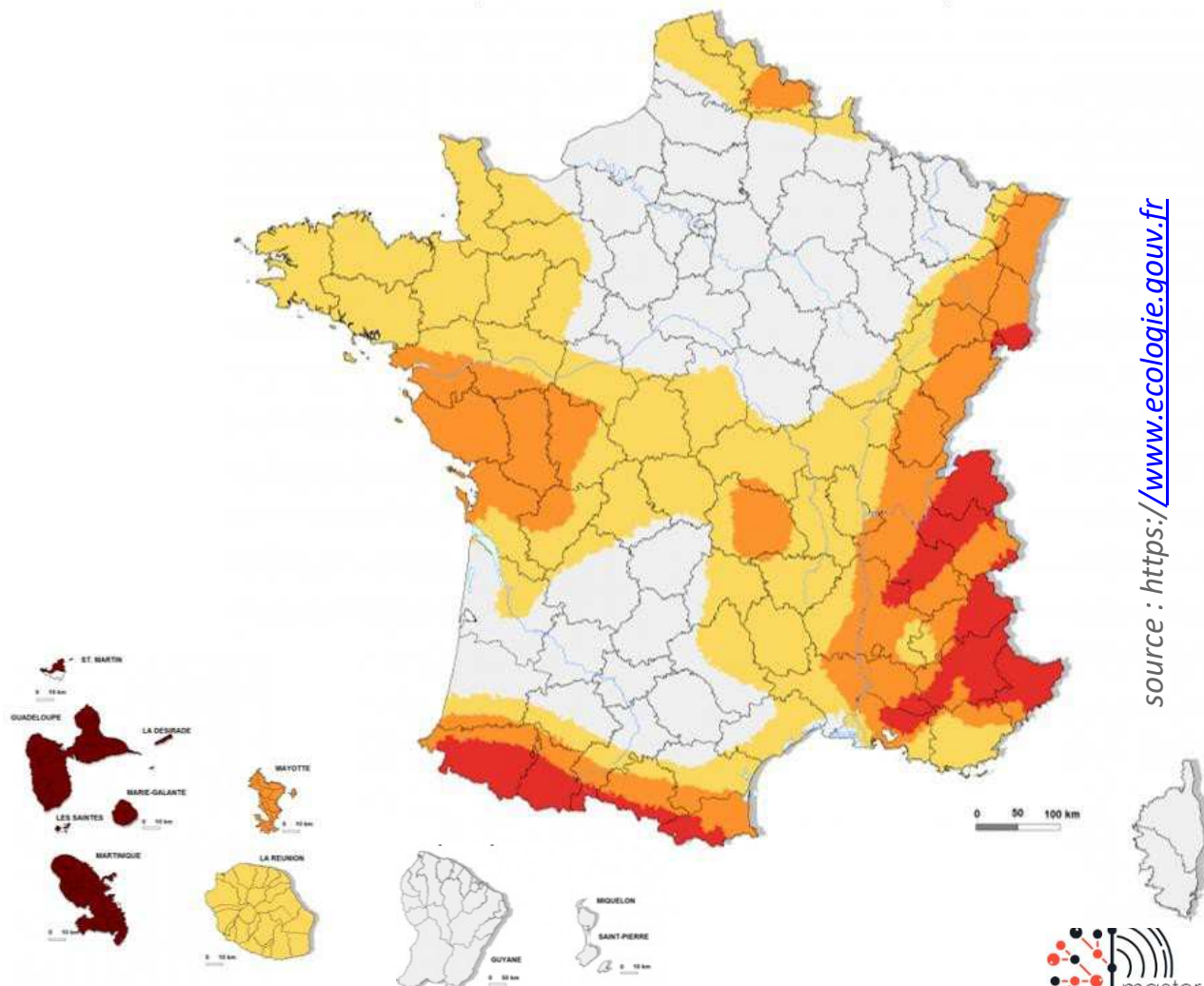
[Décret n° 2010-1255 du 22 octobre 2010 portant délimitation des zones de sismicité du territoire français](#)

Zones de sismicité

-  1 (très faible)
-  2 (faible)
-  3 (modérée)
-  4 (moyenne)
-  5 (forte)



Zonage sismique de la France
en vigueur depuis le 1er mai 2011
(art. D. 563-8-1 du code de l'environnement)



Evaluation du risque sismique selon l'EC8 :

Évaluation de l'Aléa
– effet régional

Zones de sismicités

à chaque zone correspond une valeur

agr = accélération maximale de référence*

agr	Zones de sismicité
0,4	 1 (très faible)
0,7	 2 (faible)
1,1	 3 (modérée)
1,6	 4 (moyenne)
3	 5 (forte)

**pour un sol de classe A*

Evaluation du risque sismique selon l'EC8 :

Évaluation de
la Vulnérabilité

Catégorie d'importance des ouvrages:

« Les bâtiments sont classés en 4 catégories d'importance qui dépendent des conséquences en termes de vies humaines en cas d'effondrement, de l'importance du bâtiment pour la sécurité publique et la protection civile[...], ainsi que des conséquences économiques et sociales en cas d'effondrement. »

NF EN 1998

Catégorie d'importance	Bâtiments
I	Bâtiments d'importance mineure pour la sécurité des personnes, par exemple, bâtiments agricoles, etc.
II	Bâtiments courants n'appartenant pas aux autres catégories
III	Bâtiments dont la résistance aux séismes est importante compte tenu des conséquences d'un effondrement, par exemple : écoles, salles de réunion, institutions culturelles, etc.
IV	Bâtiments dont l'intégrité en cas de séisme est d'importance vitale pour la protection civile, par exemple : hôpitaux, casernes de pompiers, centrales électriques, etc.

EUROCODE 5 et CALCULS - Comportement sismique des structures bois

Evaluation du risque sismique selon l'EC8 :

Évaluation de
la Vulnérabilité

Catégorie d'importance des ouvrages:

Les catégories d'importance sont caractérisées par une obligation (ou non) de respecter un certain **référentiel réglementaire**.

	I	II	III	IV
				
Zone 1	aucune exigence			
Zone 2				Eurocode 8 ³ $a_{gr}=0,7 \text{ m/s}^2$
Zone 3				Eurocode 8 ³ $a_{gr}=1,1 \text{ m/s}^2$
Zone 4				Eurocode 8 ³ $a_{gr}=1,6 \text{ m/s}^2$
Zone 5				Eurocode 8 ³ $a_{gr}=3 \text{ m/s}^2$
		PS-MI ¹	Eurocode 8 ³ $a_{gr}=1,1 \text{ m/s}^2$	Eurocode 8 ³ $a_{gr}=1,1 \text{ m/s}^2$
		PS-MI ¹	Eurocode 8 ³ $a_{gr}=1,6 \text{ m/s}^2$	Eurocode 8 ³ $a_{gr}=1,6 \text{ m/s}^2$
		CP-MI ²	Eurocode 8 ³ $a_{gr}=3 \text{ m/s}^2$	Eurocode 8 ³ $a_{gr}=3 \text{ m/s}^2$

¹ Application possible (en dispense de l'Eurocode 8) des PS-MI sous réserve du respect des conditions de la norme PS-MI

² Application possible du guide CP-MI sous réserve du respect des conditions du guide

³ Application obligatoire des règles Eurocode 8

Evaluation du risque sismique selon l'EC8 :

Évaluation de
la Vulnérabilité

Catégorie d'importance des ouvrages:

Les catégories d'importance sont caractérisées par un « **coefficient d'importance** » γ_1

[Arrêté du 22 octobre 2010 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal »](#)

Catégorie d'importance	Bâtiments
I	Bâtiments d'importance mineure pour la sécurité des personnes, par exemple, bâtiments agricoles, etc.
II	Bâtiments courants n'appartenant pas aux autres catégories
III	Bâtiments dont la résistance aux séismes est importante compte tenu des conséquences d'un effondrement, par exemple : écoles, salles de réunion, institutions culturelles, etc.
IV	Bâtiments dont l'intégrité en cas de séisme est d'importance vitale pour la protection civile, par exemple : hôpitaux, casernes de pompiers, centrales électriques, etc.

CATÉGORIES D'IMPORTANCE de bâtiment	COEFFICIENTS d'importance γ_1
I	0,8
II	1
III	1,2
IV	1,4

Détermination de l'action sismique (EC8) :

Accélération de calcul (pour un sol de classe A) :

$$a_g = a_{gr} \times \psi_1$$

Aléa régional

Zones de sismicité	a_{gr}
1 (très faible)	0,4
2 (faible)	0,7
3 (modérée)	1,1
4 (moyenne)	1,6
5 (forte)	3

Vulnérabilité

CATÉGORIES D'IMPORTANCE de bâtiment	COEFFICIENTS d'importance ψ_1
I	0,8
II	1
III	1,2
IV	1,4

EUROCODE 5 et CALCULS - Comportement sismique des structures bois

Evaluation du risque sismique selon l'EC8 :

Évaluation de l'Aléa
– effet local

L'effet local du site
est pris en compte dans la
classe de sol *

**donnée dans le rapport d'étude géotechnique*

Classe de sol	S	$T_B(s)$	$T_C(s)$	$T_D(s)$
A	1,0	0,05	0,25	1,2
B	1,35	0,05	0,25	1,2
C	1,5	0,10	0,25	1,2
D	1,8	0,10	0,30	1,2
E	1,6	0,05	0,25	1,2

Classe de sol	Description du profil stratigraphique
A	Rocher ou tout autre formation géologique de ce type comportant une couche superficielle d'au plus 5 m de matériau moins résistant.
B	Dépôts raides de sable, de gravier ou d'argile sur-consolidée, d'au moins plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur, caractérisés par une augmentation progressive des propriétés mécaniques avec la profondeur.
C	Dépôts profonds de sable de densité moyenne, de gravier ou d'argile moyennement raide, ayant des épaisseurs de quelques dizaines à plusieurs centaines de mètres.
D	Dépôts de sol sans cohésion de densité faible à moyenne (avec ou sans couches cohérentes molles) ou comprenant une majorité des sols cohérents mous à fermes.
E	Profil de sol comprenant une couche superficielle d'alluvions avec des valeurs de V_s de classes C ou D et une épaisseur comprise entre 5 m environ et 20 m, reposant sur un matériau plus raide avec $V_s > 800$ m/s

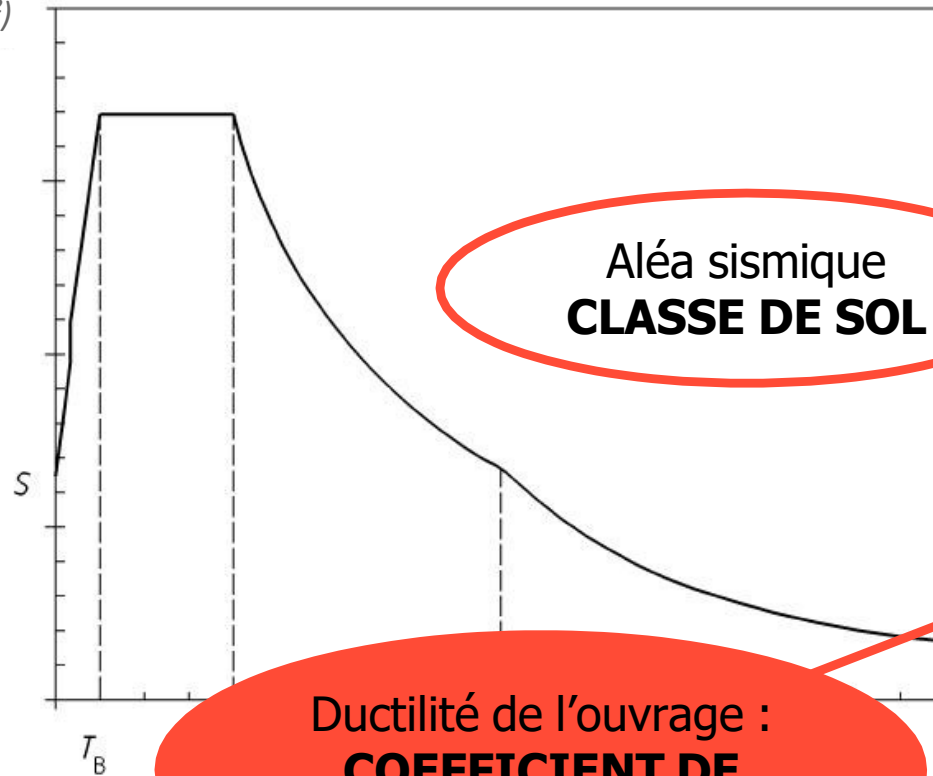
source : NF EN 1998

EUROCODE 5 et CALCULS - Comportement sismique des structures bois

Evaluation de la réponse de l'ouvrage selon l'EC8 :

Accélération
(m/s²)

Spectre de calcul



Aléa sismique
**ZONE DE
SISMICITÉ**

Vulnérabilité de
l'ouvrage :
**CATÉGORIE
D'IMPORTANCE**

$$0 \leq T \leq T_B:$$

$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left(\frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C:$$

$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q}$$

$$T_C \leq T \leq T_D:$$

$$S_d(T) = \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \left[\frac{T_C}{T} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases}$$

$$T_D \leq T:$$

$$S_d(T) = \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases}$$

Ductilité de l'ouvrage :
**COEFFICIENT DE
COMPORTEMENT q**

Période (s) Ductilité de l'ouvrage :
PÉRIODE T

source : NF EN 1998

Réponse d'un ouvrage bois :

Période
propre T

Dépend de différents paramètres : hauteur, rigidité, masse

- Matériau bois considéré
comme fragile

+ C'est la raideur des
assemblages (N/mm) qui
impacte sur la période propre

++ Matériau bois de faible rapport
masse/résistance par rapport à
l'acier ou béton

!! Mais les autres charges
permanentes comptent !

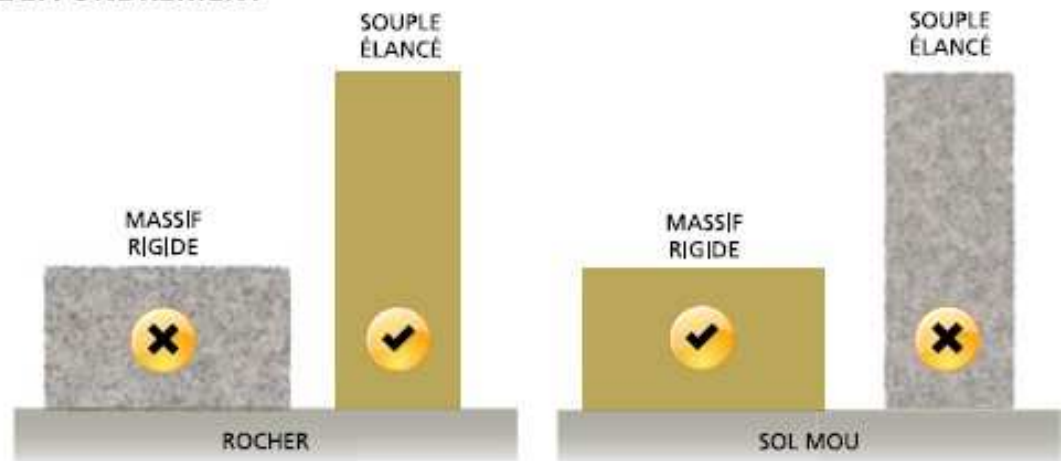
+ charges d'exploitation, neige...

Obtenue par calcul logiciel pour les structures complexes

Réponse du bâtiment

En conception, on doit tenir compte de la nature du sol pour concevoir des bâtiments de **rigidité adaptée**.

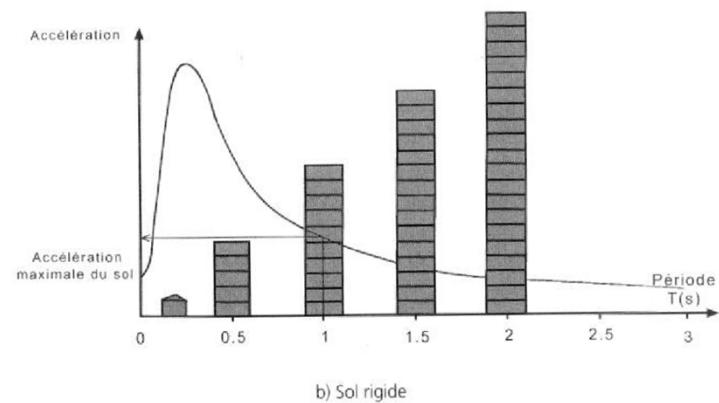
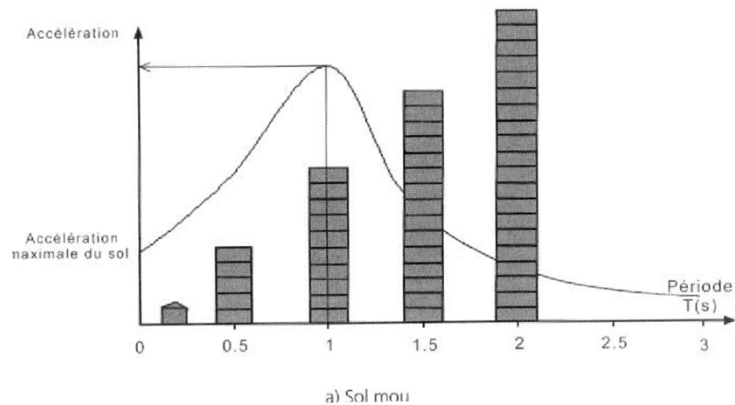
→ TENIR COMPTE DE LA NATURE DU SOL AFIN D'ÉVITER LA RÉSONANCE ET L'EFFONDREMENT



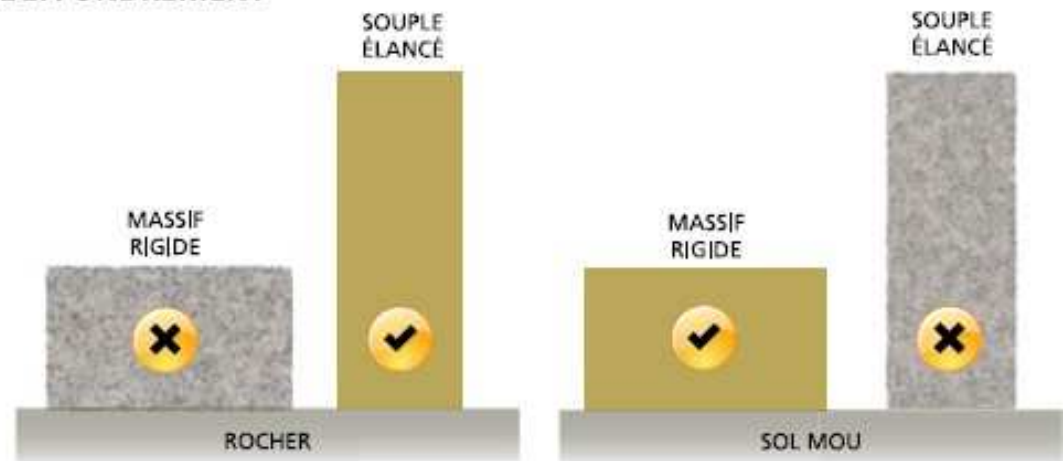
EUROCODE 5 et CALCULS - Comportement sismique des structures bois

Réponse du bâtiment

En conception, on doit tenir compte de la nature du sol pour concevoir des bâtiments de **rigidité adaptée**.



→ TENIR COMPTE DE LA NATURE DU SOL AFIN D'ÉVITER LA RÉSONANCE ET L'EFFONDREMENT



Réponse du bâtiment

Pour raccourcir la période propre d'un bâtiment, on peut :

- Réduire **L'ÉLANCEMENT GÉOMÉTRIQUE**
 - Réduire la hauteur du bâtiment
 - Augmenter la largeur du bâtiment
-
- Augmenter la **RIGIDITÉ**
 - Augmenter le nombre / largeur des contreventements
 - Augmenter la rigidité des assemblages de contreventement
-
- Réduire la **MASSE**

Réponse d'un ouvrage bois :

Ductilité

Les composants utilisés dans les structures bois, qu'il s'agisse de bois massif, de bois contrecollé, ou de produits dérivés, ont tous un comportement mécanique non favorable (**rupture fragile**) en situation de séisme.

Un ouvrage bois ne peut pas dissiper l'énergie en se déformant.

C'est au niveau des assemblages que l'on trouvera la DUCTILITÉ

= déformation plastique sans perte de résistance

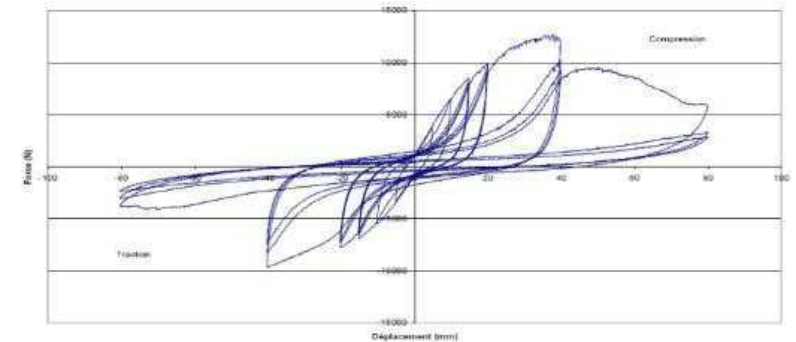
= comportement dissipatif

Fonctionnement particulier des assemblages bois :

Ductilité

Le comportement sous sollicitation cyclique des assemblages conditionne le comportement final de la structure et sa capacité à dissiper de l'énergie.

La ductilité des assemblages se détermine par essais sous charges cycliques.

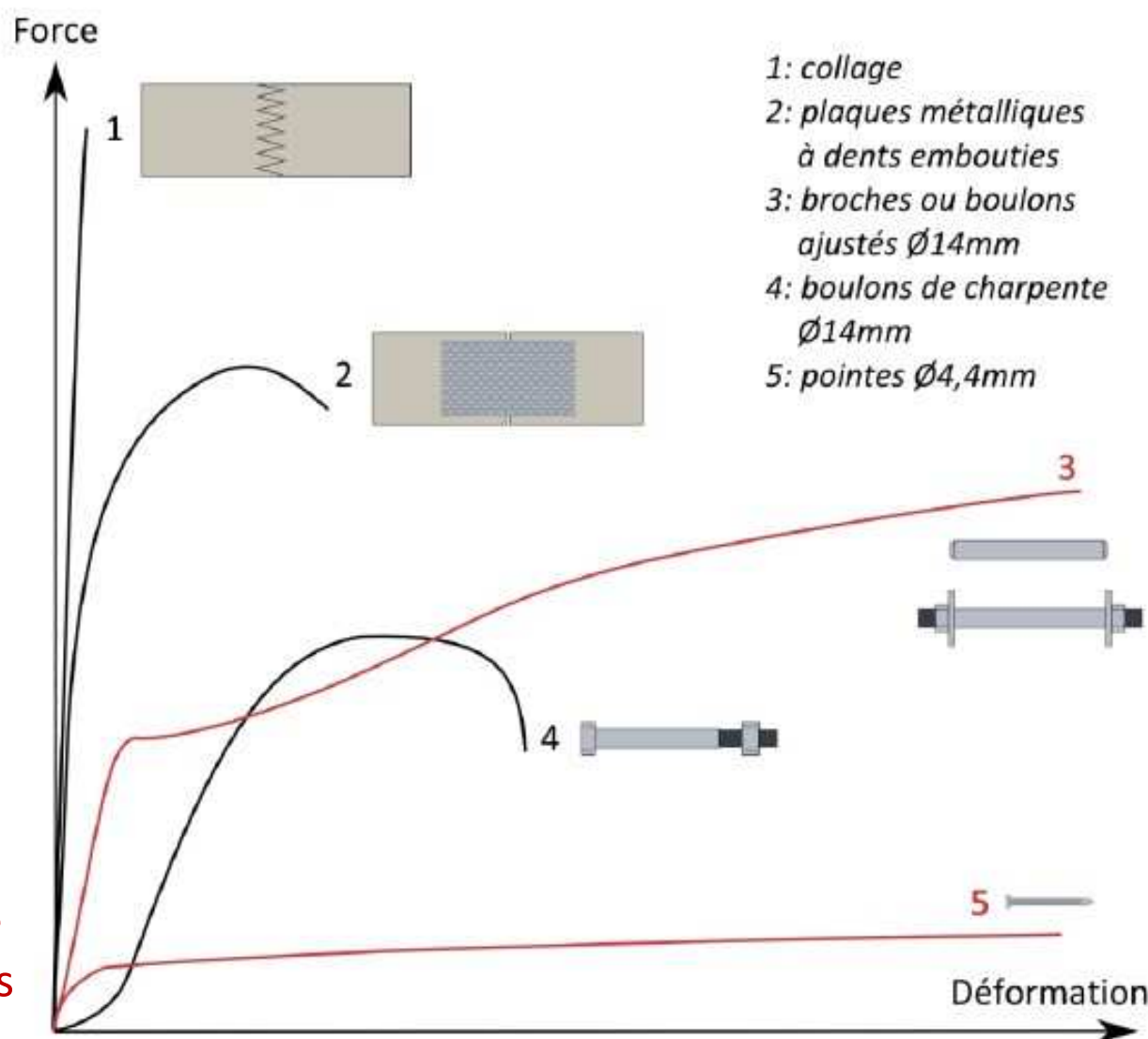


Le comportement force-déformation des assemblages dépend ainsi de leur type et de leur géométrie

Fonctionnement particulier des assemblages bois :

Ductilité

Comportement des assemblages courants :



en rouge :
Assemblages répondant
aux exigences de ductilité
des structures dissipatives

source : « Construire en bois en zone sismique » - Crittbois

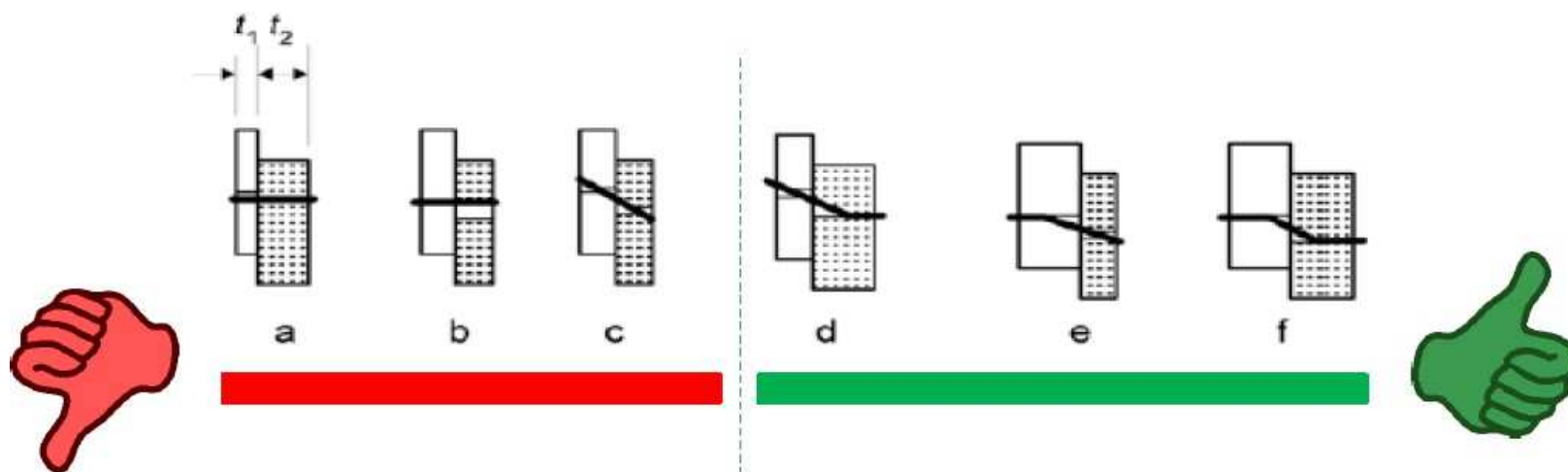
Fonctionnement particulier des assemblages bois :

Ductilité

Ductilité = grande déformation plastique avant rupture

Les modes de rupture doivent être liés à l'apparition de **rotules plastiques dans les assemblages** (plastification des éléments métalliques) et non d'une **rupture fragile** (rupture des éléments bois)

Exemple : simple cisaillement (couture panneau/Ossature bois) selon l'EC5



Ductilité = grande déformation plastique
avant rupture

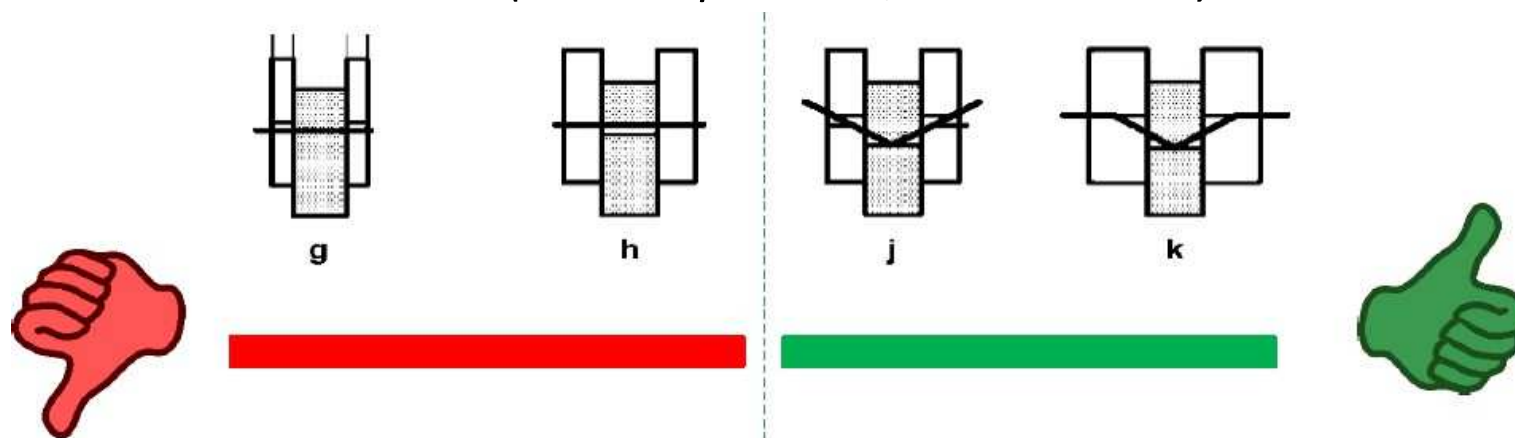
Fonctionnement particulier des assemblages bois :

Ductilité

Ductilité = grande déformation plastique avant rupture

Les modes de rupture doivent être liés à l'apparition de **rotules plastiques dans les assemblages** (plastification des éléments métalliques) et non d'une **rupture fragile** (rupture des éléments bois)

Exemple : double cisaillement (couture panneau/Ossature bois) selon l'EC5



Ductilité = grande déformation plastique
avant rupture

EUROCODE 5 et CALCULS - Comportement sismique des structures bois

EC §8.3 - Classes de ductilité et coefficient de comportement :

Coefficient de
comportement q

Valeur max de q :

Principe de dimensionnement et classe de ductilité	q	Exemples de structure
Capacité réduite à dissiper l'énergie — DCL	1,5	Consoles, poutres, arcs avec deux ou trois assemblages brochés ; treillis assemblés par connecteurs
Capacité moyenne à dissiper l'énergie — DCM	2	Panneaux de murs collés avec diaphragmes collés, assemblés par clous et boulons ; treillis avec assemblages brochés et boulonnés ; structures mixtes composées d'une ossature en bois (résistant aux forces horizontales) et d'un remplissage non porteur
	2,5	Portiques hyperstatiques avec assemblages brochés et boulonnés (voir 8.1.3(3)P)
Capacité élevée à dissiper l'énergie — DCH	3	Panneaux de mur cloués avec diaphragmes collés, assemblés par clous et boulons ; treillis avec assemblages cloués
	4	Portiques hyperstatiques avec assemblages brochés et boulonnés (voir 8.1.3(3)P)
	5	Panneaux de mur cloués avec diaphragmes cloués, assemblés par clous et boulons

-20% pour les bâtiments irréguliers en élévation ($\geq 1,5$)

EUROCODE 5 et CALCULS - Comportement sismique des structures bois

EC §8.3 - Classes de ductilité et coefficient de comportement :

Coefficient de comportement q

Principe de dimensionnement et classe de ductilité	q	Exemples de structure
Capacité réduite à dissiper l'énergie — DCL	1,5	Consoles, poutres, arcs avec deux ou trois assemblages brochés ; treillis assemblés par connecteurs
Capacité moyenne à dissiper l'énergie — DCM	2	Panneaux de murs collés avec diaphragmes collés, assemblés par clous et boulons ; treillis avec assemblages brochés et boulonnés ; structures mixtes composées d'une ossature en bois (résistant aux forces horizontales) et d'un remplissage non porteur
	2,5	Portiques hyperstatiques avec assemblages brochés et boulonnés (voir 8.1.3(3)P)
Capacité élevée à dissiper l'énergie — DCH	3	Panneaux de mur cloués avec diaphragmes collés, assemblés par clous et boulons ; treillis avec assemblages cloués
	4	Portiques hyperstatiques avec assemblages brochés et boulonnés (voir 8.1.3(3)P)
	5	Panneaux de mur cloués avec diaphragmes cloués, assemblés par clous et boulons

Annexe Nationale : maxi 3

NOTE 1 Les connaissances scientifiques incluant des résultats expérimentaux probants ne permettent pas de retenir actuellement la ductilité H, sauf pour les panneaux de murs cloués, avec diaphragmes cloués, assemblés par clous et boulons qui peuvent bénéficier d'un coefficient de comportement q limité à 3.

NOTE 2 Cette limite de 3 se répercute sur la valeur donnée pour le même type de structure dans le Tableau 8.2.

EUROCODE 5 et CALCULS - Comportement sismique des structures bois

Classes de ductilité : exemples de structures

Structures à faible ductilité (DCL)
comportement fragile, aucune plastification n'est envisageable dans les assemblages.



Arcs porteurs en lamellé collé



Structures à assemblages traditionnels

source : « Construire en bois en zone sismique » - Crittbois

EUROCODE 5 et CALCULS - Comportement sismique des structures bois

Classes de ductilité : exemples de structures

Structures à ductilité moyenne (DCM)

Quelques zones d'assemblages ductiles.

Le comportement dissipatif est limité . Les zones ductiles doivent respecter les conditions relatives à la dissipation d'énergie selon les modes d'assemblages.



Bâtiments en panneaux massif bois contrecollé



Structures poteau-poutre

source : « Construire en bois en zone sismique » - Crittbois

Classes de ductilité : exemples de structures

Structures à ductilité haute (DCH)

Forte capacité à dissiper l'énergie.

Les assemblages entre les éléments de structure et les voiles, et entre les éléments de parois doivent satisfaire aux exigences données pour les zones dissipatives.



Systèmes à ossature bois

CQFR

Le risque sismique est la résultante d'un aléa (probabilité) et d'une vulnérabilité (gravité).

La « réponse d'un bâtiment » dépend de sa

- Période propre (durée d'oscillation non forcée)
- Ductilité (capacité à dissiper l'énergie en conservant sa résistance)

En construction bois, la ductilité se situe au niveau des assemblages des éléments de contreventement.

Les assemblages les plus ductiles sont les assemblages par tiges métalliques.

On peut analyser leur ductilité grâce au mode de rupture.

Certains types de structures bois sont peu ductiles (arcs, ...).

D'autres ont une ductilité moyenne (poteau-poutre, panneaux massifs) ou élevée (ossature bois).

Note de l'intervenant :
Ce support de cours a été réalisé en grande partie par Maggy Duceau



Maggy Duceau

Ingénierie et formation
en construction BOIS

✉ mduceau@yahoo.fr

☎ 06-80-91-21-09

in <https://www.linkedin.com/in/maggy-duceau/>

