

## Sommaire

Vérification aux Eurocodes d'une poutre courbe à inertie constante. ....	2
1 Hypothèses de calcul .....	2
2 Vérification à l'Etat Limite Ultime (ELU) .....	2
2.1 Combinaison d'action retenue. ....	2
2.2 Contrainte de flexion au faîtage .....	3
2.2.1 Coefficient $k_r$ .....	3
2.2.2 Contrainte de flexion au faîtage $\sigma_{m,d}$ en N/mm <sup>2</sup> . ....	3
2.2.3 Contrainte de résistance de flexion $f_{m,d}$ en N/mm <sup>2</sup> . ....	4
2.2.4 Calcul du taux de travail .....	5
2.3 Contrainte de traction perpendiculaire au fil dans la zone de faîtage .....	5
2.3.1 Coefficient traduisant l'influence du volume contraint sur la résistance en traction perpendiculaire au fil $k_{vol}$ .....	6
2.3.2 Contrainte de traction perpendiculaire au fil dans la zone de faîtage $\sigma_{t,90,d}$ en N/mm <sup>2</sup> . ....	6
2.3.3 Contrainte de résistance en traction perpendiculaire $f_{t,90,d}$ en N/mm <sup>2</sup> . ....	7
2.3.4 Calcul du taux de travail .....	7
Pour en savoir plus .....	8
TABLEAUX : Vérifications des structures en bois avec les eurocodes .....	9
Tab. 1. Valeurs des charges d'exploitation en fonction du bâtiment (source : NF P 06-111-2/A1) .	9
Carte de France des valeurs des charges de neige (source : NF EN 1991-1-3/NA) .....	10
Tab. 2. Coefficients $\mu_i$ pour une toiture sans dispositif de retenue de la neige (source : NF EN 1991-1-3) .....	11
Tab. 3. Coefficients partiels de l'action permanente pour un bâtiment courant (Source : NF EN 1990/NA) .....	11
Tab. 4. Coefficients statistiques en fonction des catégories de bâtiment et de l'altitude (Source : NF EN 1990) .....	11
Tab. 5. Valeurs caractéristiques des bois massifs résineux et de peuplier (Source : NF EN 338)...	12
Tab. 6. Valeurs caractéristiques des bois lamellés (source : NF EN 14080) .....	12
Tab. 7. Valeur coefficient $\gamma_M$ (Source : NF EN 1995-1-1) .....	12
Tableau 8 : Valeur de $k_{mod}$ du bois massif, du lamellé-collé, du lamibois (LVL) et du contreplaqué (Source : NF EN 1995-1-1) .....	13
Tableau 9 : Valeur de $k_{mod}$ des panneaux de lamelles minces, longues et orientées (OSB), (Source : NF EN 1995-1-1) .....	13
Tab. 10. Valeurs limites réglementaires des flèches (Source : NF EN 1995-1-1) .....	13
Tab. 11. Facteur de déformation ( $k_{def}$ ) selon la classe de service et l'humidité $H_{bois}$ (Source : NF EN 1995-1-1) .....	14

# Vérification aux Eurocodes d'une poutre courbe à inertie constante.

Une poutre courbe à inertie constante est un arc de cercle avec une section de poutre constante. Après avoir défini les charges de structure et climatiques, il faut vérifier les contraintes de flexion et de traction perpendiculaire au faîtage.

## 1 Hypothèses de calcul

Considérons une poutre en bois lamellé-collé classée GL24h, réalisée avec des lamelles de 45 mm d'épaisseur, avec un entraxe de 5,5 m et une portée de 16 m. Elle supporte une couverture en bac acier de 7 kg/m<sup>2</sup>, des pannes de 75x200 en C24 avec un entraxe de 2,033 m. Cette poutre pèse 1005 kg. Les charges totales de structures sont de 1,18 kN/m et les charges provoquées par la neige sont de 1,92 kN/m. La construction est située dans la région A1 à une altitude de 250 m. Les caractéristiques géométriques sont définies dans la figure ci-dessous.



Remarque :

Le détail des calculs de la descente de charge est réalisé dans le document « Poutre IV courbe ».

Pour notre exemple, les actions du vent ne sont pas prises en compte.

## 2 Vérification à l'Etat Limite Ultime (ELU)

Il est nécessaire de vérifier les contraintes de cisaillement, de flexion (1) et de traction perpendiculaire (2) au faîtage.

### 2.1 Combinaison d'action retenue.

Pour notre exemple la combinaison retenue est :  $q = 1,35 G + 1,5 S$ ,  
soit  $q = 1,35 \times 1,18 + 1,5 \times 1,92 = 4,475 \text{ kN/m}$

Avec :

- q : actions de calcul en kN/m,
- G : action permanente en kN/m,
- S : charge de neige en kN/m.

## 2.2 Contrainte de flexion au faîtage

Le taux de travail est donné par la formule : Taux de travail =  $\frac{\sigma_{m,d}}{k_r f_{m,d}} \leq 1$

Avec :

$\sigma_{m,d}$  : Contrainte induite au faîtage en N/mm<sup>2</sup>,

$f_{m,d}$  : Contrainte de résistance de flexion en N/mm<sup>2</sup>,

$k_r$  : coefficient qui diminue la résistance de flexion des lamelles lorsqu'elles sont cintrées.

### 2.2.1 Coefficient $k_r$

La valeur du coefficient  $k_r$  est fonction du rapport du rayon de cintrage sur l'épaisseur des lamelles.

$$k_r = \begin{cases} 1, \text{ pour } \frac{r_{int}}{t} \geq 240 \\ 0,76 + 0,001 \frac{r_{int}}{t}, \text{ pour } \frac{r_{int}}{t} < 240 \end{cases}$$

Avec :

$r_{int}$  : Rayon intérieur

$t$  : Epaisseur des lamelles

Soit pour notre exemple :

$$\frac{r_{int}}{t} = \frac{12000}{45} = 267 > 240; \text{ d'où } k_r = 1$$

### 2.2.2 Contrainte de flexion au faîtage $\sigma_{m,d}$ en N/mm<sup>2</sup>.

La contrainte de flexion est définie par la formule :  $\sigma_{m,d} = k_L \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2}$

Avec :

$M_{ap,d}$  : moment de flexion déterminé au faîtage en N.mm,

$h_{ap}$  et  $b$  : hauteur au faîtage et épaisseur de la poutre en mm,

$k_L$  : coefficient fonction de la forme de la poutre.

### Calcul du coefficient $k_L$

La forme courbe de la poutre majore la contrainte. Ce phénomène est traduit par le coefficient  $k_L$ . Il prend en compte la hauteur au faîtage et le rayon de courbure de la poutre. Il est déterminé par la formule :

$$k_L = k_1 + k_2 \left( \frac{h_{ap}}{r} \right) + k_3 \left( \frac{h_{ap}}{r} \right)^2 + k_4 \left( \frac{h_{ap}}{r} \right)^3$$

Avec :

$$k_1 = 1 + 1,4 \tan \alpha_{ap} + 5,4 \tan^2 \alpha_{ap}$$

$$k_2 = 0,35 - 8 \tan \alpha_{ap}$$

$$k_3 = 0,6 + 8,3 \tan \alpha_{ap} - 7,8 \tan^2 \alpha_{ap}$$

$$k_4 = 6 \tan^2 \alpha_{ap}$$

$$r = r_{in} + 0,5 h_{ap}$$

$r_{in}$  : Rayon intérieur en mm

$h_{ap}$  : hauteur au faîtage en mm

$\alpha_{ap}$ : Angle de la pente au faîtage en degré.

La poutre ayant une section constante,  $\alpha_{ap} = 0^\circ$  au faîtage. L'équation devient :

$$k_l = 1 + 0,35 \frac{h_{ap}}{r} + 0,6 \left( \frac{h_{ap}}{r} \right)^2$$

Avec :

$$k_1 = 1$$

$$k_2 = 0,35$$

$$k_3 = 0,6$$

Soit pour notre exemple :

$$k_l = 1 + 0,35 \frac{765}{12382,5} + 0,6 \left( \frac{765}{12382,5} \right)^2 = 1,024$$

Avec :

$$r = 12000 + 0,5 \times 765 = 12382,5 \text{ mm}$$

$$r_{in} = 12000 \text{ mm}$$

$$h_{ap} = 765 \text{ mm}$$

### **Calcul du moment de flexion $M_{ap,d}$**

pour un chargement uniformément réparti, le moment de flexion au faîtage est défini par la formule :  $M_{ap,d} = ql^2/8$ , soit pour notre exemple  $M_{ap,d} = 4,475 \times 16000^2 / 8$  ;  $M_{ap,d} = 143,2 \cdot 10^6 \text{ N.mm}$

### **Calcul de la contrainte $\sigma_{m,d}$**

$$\text{La contrainte de flexion devient : } \sigma_{m,d} = 1,024 \frac{6 \times 143,2 \cdot 10^6}{180 \times 765^2} = 8,4 \text{ N/mm}^2$$

Avec :

$$M_{ap,d} : 117,56 \cdot 10^6 \text{ N.mm.}$$

$$b \text{ et } h_{ap} : 180 \text{ et } 765 \text{ mm.}$$

$$k_L : 1,024.$$

### **2.2.3 Contrainte de résistance de flexion $f_{m,d}$ en N/mm<sup>2</sup>.**

$$\text{La contrainte de résistance en flexion est donnée par la formule : } f_{m,d} = f_{m,k} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot k_{sys} \cdot k_h$$

Avec :

$f_{m,k}$  : Contrainte caractéristique de résistance en flexion en N/mm<sup>2</sup>, soit 24 N/mm<sup>2</sup> (tableau 6),

$k_{mod}$  : Coefficient modificatif en fonction de la charge de plus courte durée et de la classe de service, soit 0,9 (tableau 8),

$\gamma_M$  : Coefficient partiel qui tient compte des incertitudes sur le matériau. Ce coefficient vaut 1,25 pour le bois lamellé-collé (tableau 7),

$k_{sys}$  : L'effet système apparaît lorsque plusieurs éléments porteurs de même nature et de même fonction (solives, charpente industrielle), avec un entraxe de 1,2 m au maximum, sont sollicités par un même type de chargement réparti uniformément. La résistance de l'ensemble est alors supérieure à la résistance d'un seul élément pris isolément. Pour notre exemple, il n'est généralement pas appliqué car l'entraxe entre les poutres est fréquemment supérieur à 1,2 m.

$k_h$  : Le coefficient  $k_h$  majore les résistances pour les hauteurs inférieures à 600 mm pour le bois lamellé-collé.

si  $h \geq 600$  mm  $k_h = 1$

si  $h \leq 600$  mm  $k_h = \min(1,1 ; (600/h)^{0.1})$

Avec  $h$  la hauteur de la pièce en mm

Pour notre exemple,  $k_h = 1$ , car  $h = 765$  mm.

$$\text{Soit : } f_{m,d} = 24 \cdot \frac{0,9}{1,25} \cdot 1 \cdot 1 = 17,3 \text{ N/mm}^2$$

#### 2.2.4 Calcul du taux de travail

Le taux de travail devient :  $\frac{8,4}{1 \times 17,3} = 0,49 < 1$ , le critère est vérifié

Avec :

$$\sigma_{m,d} = 8,4 \text{ N/mm}^2,$$

$$f_{m,d} = 17,3 \text{ N/mm}^2,$$

$$k_r = 1.$$

### 2.3 Contrainte de traction perpendiculaire au fil dans la zone de faîtage

La contrainte de traction perpendiculaire au fil est justifiée lorsque le taux de travail vérifie

$$\text{l'équation : } \frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d}} \leq 1$$

Avec :

$k_{dis}$  : Coefficient de dispersion des contraintes dans la zone de faîtage valant 1,4 pour les poutres courbe à inertie constante.

$k_{vol}$  : Coefficient traduisant l'influence du volume contraint sur la résistance en traction perpendiculaire au fil.

$\sigma_{t,90,d}$  : Contrainte de traction perpendiculaire au fil dans la zone de faîtage en  $\text{N/mm}^2$ .

$f_{t,90,d}$  : Contrainte de résistance en traction perpendiculaire en  $\text{N/mm}^2$ .

### 2.3.1 Coefficient traduisant l'influence du volume contraint sur la résistance en traction perpendiculaire au fil $k_{vol}$

Le volume considéré correspond au 2/3 du volume total de la poutre.

Le coefficient de volume est déterminé par la formule :  $k_{vol} = \left(\frac{V_0}{V}\right)^{0,2}$

Avec :

$V_0$  Volume de référence = 0,01m<sup>3</sup>,

$V$  Volume dans la zone de faîtage égale au 2/3 du volume total de la poutre en m<sup>3</sup>.

Par construction sur un logiciel de DAO, le volume de la poutre est de 2,66 m<sup>3</sup>. La valeur limite est de :  $V_{limite} = \frac{2}{3} \times 2,66 = 1,77 \text{ m}^3$ .

Soit pour notre exemple,  $k_{vol} = \left(\frac{0,01}{1,77}\right)^{0,2} = 0,355$

### 2.3.2 Contrainte de traction perpendiculaire au fil dans la zone de faîtage $\sigma_{t,90,d}$ en N/mm<sup>2</sup>.

La Contrainte de traction perpendiculaire au fil est définie par la formule :  $\sigma_{t,90,d} = k_p \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2}$

Avec :

$M_{ap,d}$  : Moment de flexion déterminé au faîtage en N.mm.

$h_{ap}$  et  $b$  : hauteur au faîtage et épaisseur de la poutre en mm.

$k_p$  : Coefficient fonction de la forme de la poutre.

#### Calcul du coefficient $k_p$

Le coefficient  $k_p$  est défini par la formule :  $k_p = k_5 + k_6 \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_7 \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2$

Avec :

$$k_5 = 0,2 \tan \alpha_{ap}$$

$$k_6 = 0,25 - 1,25 \tan \alpha_{ap} + 2,6 \tan^2 \alpha_{ap}$$

$$k_7 = 2,1 \tan \alpha_{ap} - 4 \tan^2 \alpha_{ap}$$

$$r = r_{in} + 0,5 h_{ap} ;$$

$r_{in}$  : rayon intérieur en mm

$h_{ap}$  : hauteur au faîtage en mm

$\alpha_{ap}$  : Angle de la pente au faîtage en degré.

La poutre ayant une section constante,  $\alpha_{ap} = 0^\circ$  au faîtage. L'équation devient :  $k_p = 0,25 \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)$

Avec :

$$k_5 = 0$$

$$k_6 = 0,25$$

$$k_7 = 0$$

$$r = r_{in} + 0,5 h_{ap} ;$$

$r_{in}$  : rayon intérieur en mm

$h_{ap}$  : hauteur au faîtage en mm

Soit pour notre exemple (figure 1) :  $k_p = 0,25 \frac{765}{12382,5} = 0,0155$

Avec :

$$r = 12000 + 0,5 \times 765 = 12382,5 \text{ mm}$$

$$r_{in} = 12000 \text{ mm}$$

$$h_{ap} = 765 \text{ mm}$$

### Calcul de la contrainte $\sigma_{t,90,d}$

La contrainte de flexion devient :  $\sigma_{t,90,d} = 0,0155 \frac{6 \times 143,2 \cdot 10^6}{180 \times 765^2} = 0,13 \text{ N/mm}^2$

Avec :

$$M_{ap,d} : 143,2 \cdot 10^6 \text{ N.mm.}$$

b et  $h_{ap}$  : 180 et 765 mm.

$$k_p : 0,0155.$$

### 2.3.3 Contrainte de résistance en traction perpendiculaire $f_{t,90,d}$ en $\text{N/mm}^2$

La contrainte de résistance en traction perpendiculaire est définie par la formule :

$$f_{t,90,d} = f_{t,90,k} \frac{k_{mod}}{\gamma_M}$$

Avec :

$f_{t,90,k}$  : Contrainte caractéristique en traction perpendiculaire en  $\text{N/mm}^2$  (tableau 6)

$k_{mod}$  : Coefficient modificatif en fonction de la charge de plus courte durée et de la classe de service (tableau 8)

$\gamma_M$  : Coefficient partiel qui tient compte des incertitudes sur le matériau. Ce coefficient vaut 1,25 pour le bois lamellé-collé (tableau 7).

Soit pour notre exemple :  $f_{t,90,d} = 0,5 \frac{0,9}{1,25} = 0,36 \text{ N/mm}^2$

### 2.3.4 Calcul du taux de travail

Le taux de travail devient :  $\frac{0,13}{1,4 \times 0,355 \times 0,36} = 0,71 < 1$ , le critère est vérifié.

Avec :

$$\sigma_{t,90,d} = 0,13 \text{ N/mm}^2.$$

$$k_{dis} = 1,4.$$

$$k_{vol} = 0,355.$$

$$f_{t,90,d} = 0,36 \text{ N/mm}^2.$$

Remarques :

La contrainte de traction perpendiculaire au fil est généralement le critère dimensionnant pour les poutres courbe.

Lorsque le cisaillement n'est pas nul au milieu de la poutre (cas des chargements asymétriques par exemple), il faut faire la somme des taux de travail du cisaillement et de la traction perpendiculaire.

$$\text{Taux de travail} = \frac{\tau_d}{f_{v,d}} + \frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d}} \leq 1$$

Avec

$\tau_d$  : Contrainte de cisaillement induite en N/mm<sup>2</sup>.

$f_{v,d}$  : Contrainte de résistance de cisaillement en N/mm<sup>2</sup>.

## Pour en savoir plus

Y. Benoit, B. Legrand, V. Tastet, *Calcul des structures en bois*, Collection « Eurocode », éd. Eyrolles, et AFNOR, 2009.



## TABLEAUX : Vérifications des structures en bois avec les eurocodes

Tab. 1. Valeurs des charges d'exploitation en fonction du bâtiment (source : NF P 06-111-2/A1)

Catégorie	Charge uniformément répartie $q_k$ (kN/m <sup>2</sup> )	Charge concentrée $Q_k$ (kN)
<b>A – Logement</b>		
– Plancher	1,5	2
– Escalier	2,5	2
– Balcon	3,5	2
<b>B – Bureau</b>		
– Bureau	2,5	4
<b>C – Locaux publics</b>		
– C1 Locaux avec table (école, restaurant, etc.)	2,5	3
– C2 Locaux avec sièges fixes (théâtre, cinéma, etc.)	4	4
– C3 Locaux sans obstacles à la circulation (musée, salles d'exposition)	4	4
– C4 Locaux pour activités physiques (dancing, salles de gymnastique, etc.)	5	7
– C5 Locaux susceptibles d'être surpeuplés (salles de concert, terrasses, etc.)	5	4,5
<b>D – Commerces</b>		
– D1 Commerces de détail courants	5	5
– D2 Grands magasins	5	7
<b>E – Aires de stockage et locaux industriels</b>		
– E1 Surfaces de stockage (Entrepôts, bibliothèques,...)	7,5	7
– E2 Usage industriel	cf. CCTP	
<b>H – Toitures</b>		
– Si pente $\leq 15$ % + étanchéité	0,8 (1)	1,5
– Autres toitures	0	1,5
<b>I – Toitures accessibles</b>		
– Pour les usages des catégories A à D	charges identiques à la catégorie de l'usage	
– Si aménagement paysager	$\geq 3$	–

(1)  $q_k$  sur une surface rectangulaire ( $A \times B$ ) de  $10 \text{ m}^2$  telle que  $A/B \leq 2$ .

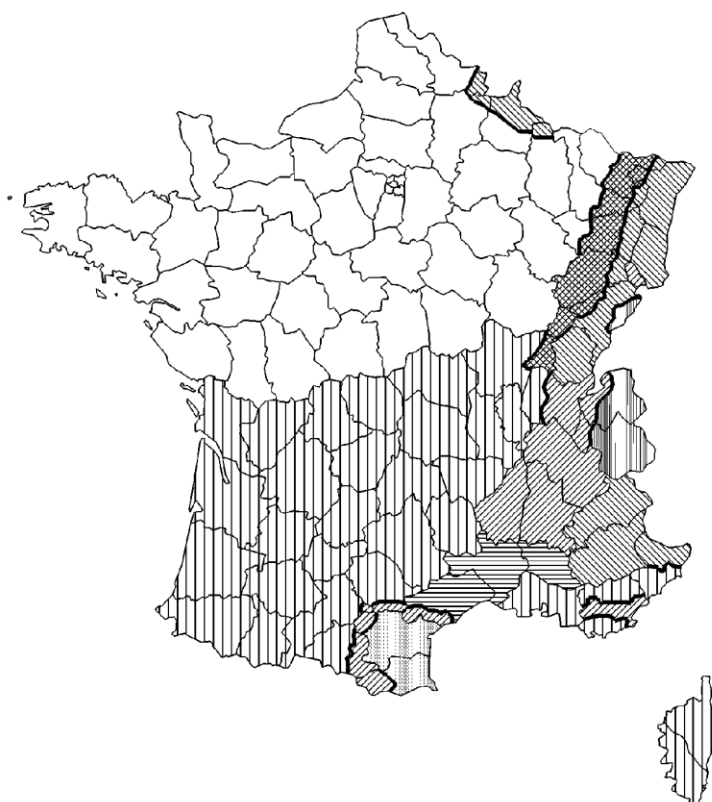
Les vérifications sont effectuées avec la charge uniformément répartie  $q_k$  puis avec la charge concentrée  $Q_k$ .

Pour les locaux de catégories A, B, C3 et D1, la charge uniformément répartie  $q_k$  est minorée par le coefficient  $\alpha_A = 0,77 + A_0 / A \leq 1$  avec  $A_0 = 3,5 \text{ m}^2$  lorsque l'élément étudié reprend une surface supérieure à  $15,2 \text{ m}^2$ .

Les charges des équipements importants sont précisés dans le cahier des clauses techniques particulières (CCTP) de l'opération de construction.

Les charges d'exploitation de la catégorie H sont des charges d'entretien ; elles ne doivent pas être cumulées avec les actions de la neige ou du vent, mais sont prises en compte lors de la vérification de la déformation à l'état limite de service.

## Carte de France des valeurs des charges de neige (source : NF EN 1991-1-3/NA)



Régions :

Valeurs caractéristiques ( $S_k$ ) de la charge de neige sur un sol à une altitude inférieure à 200 m.
Valeurs de la charge de neige exceptionnelle ( $S_{Ad}$ ) sur un sol
Augmentation de la charge lorsque l'altitude est supérieure à 200 m.

A1	A2	B1	B2	C1	C2	D	E	
0,45	0,45	0,55	0,55	0,65	0,65	0,90	1,40	
—	1,00	1,00	1,35	—	1,35	1,80	—	
$\Delta s_1$							$\Delta s_2$	

(charges en  $\text{KN/m}^2$ )

Altitude A	$\Delta s_1$	$\Delta s_2$
de 200 à 500 m	$A/1000 - 0,20$	$1,5 A/1000 - 0,30$
de 500 à 1000 m	$1,5 A/1000 - 0,45$	$3,5 A/1000 - 1,30$
de 1000 à 2000 m	$3,5 A/1000 - 2,45$	$7 A/1000 - 4,80$

### Remarques

- La valeur de charge neige accidentelle est indépendante de l'altitude.
- La valeur totale de neige est obtenue en ajoutant la valeur caractéristique de la charge de neige sur le sol.

**Tab. 2. Coefficients  $\mu_i$  pour une toiture sans dispositif de retenue de la neige (source : NF EN 1991-1-3)**

Angle $\alpha$ du toit (degré)	$0 < \alpha \leq 30$	$30 < \alpha \leq 60$	$\alpha \geq 60$
$\mu_1$ (toiture à 1 ou 2 versants)	0,8	$0,8 (60 - \alpha) / 30$	0
$\mu_2$ (toiture à versants multiples)	$0,8 + (0,8\alpha / 30)$	1,6	

*Remarques*

– Si des éléments (barre à neige, acrotères...) empêchent la neige de glisser,  $\mu_1$  est pris égal à 0,8.

– Les accumulations de neige sont définies dans les annexes des normes NF EN 1991-1-3

**Tab. 3. Coefficients partiels de l'action permanente pour un bâtiment courant (Source : NF EN 1990/NA)**

Type d'action	Coefficient partiel
<b>Permanente :</b>	
– (STR) : $\gamma_{G, sup}$	1,35
– (STR) : $\gamma_{G, inf}$	1
– (EQU) : $\gamma_{G, inf}$	0,9
<b>Variable</b> (STR) : $\gamma_Q$	1,5

**Tab. 4. Coefficients statistiques en fonction des catégories de bâtiment et de l'altitude (Source : NF EN 1990)**

	Action variable d'accompagnement $\Psi_0$	Combinaison accidentelle (incendie) $\Psi_1$	Fluage et combinaison accidentelle $\Psi_2$
<b>Charges d'exploitation des bâtiments</b>			
Catégorie A : Habitations résidentielles	0,7	0,5	0,3
Catégorie B : Bureaux	0,7	0,5	0,3
Catégorie C : Lieux de réunion	0,7	0,7	0,6
Catégorie D : Commerce	0,7	0,7	0,6
Catégorie E : Stockage	1	0,9	0,8
Catégorie H : Toits	0	0	0
<b>Charges de neige</b>			
Altitude > 1 000 m	0,7	0,5	0,2
Altitude $\leq$ 1 000 m	0,5	0,3	0
<b>Action du vent</b>			
	0,6	0,2	0

**Tab. 5. Valeurs caractéristiques des bois massifs résineux et de peuplier (Source : NF EN 338)**

Symbole	Désignation	Unité	C14	C16	C18	C22	C24	C27	C30	C35	C40
$f_{m,k}$	Contrainte de flexion	N/mm <sup>2</sup>	14	16	18	22	24	27	30	35	40
$f_{t,0,k}$	Contrainte de traction axiale		8	10	11	13	14	16	18	21	24
$f_{t,90,k}$	Contrainte de traction perpendiculaire		0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6
$f_{c,0,k}$	Contrainte de compression axiale		16	17	18	20	21	22	23	25	26
$f_{c,90,k}$	Contrainte de compression perpendiculaire		2,0	2,2	2,2	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
$f_{v,k}$	Contrainte de cisaillement		3	3,2	3,4	3,8	4	4	4	4	4
$E_{0,mean}$	Module moyen axial	kN/mm <sup>2</sup>	7	8	9	10	11	11,5	12	13	14
$E_{0,05}$	Module axial au 5 <sup>e</sup> pourcentile		4,7	5,4	6,0	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4
$E_{90,mean}$	Module moyen transversal		0,23	0,27	0,30	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47
$G_{mean}$	Module de cisaillement		0,44	0,50	0,56	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88
$\rho_k$	Masse volumique caractéristique	kg/m <sup>3</sup>	290	310	320	340	350	370	380	400	420
$\rho_{mean}$	Masse volumique moyenne		350	370	380	410	420	450	460	480	500

**Tab. 6. Valeurs caractéristiques des bois lamellés (source : NF EN 14080)**

		Classe de résistance du bois lamellé-collé						
Propriété	Symbole	GL 20h	GL 22h	GL 24h	GL 26h	GL 28h	GL 30h	GL 32h
Résistance à la flexion	$f_{m,g,k}$	20	22	24	26	28	30	32
Résistance à la traction	$f_{t,0,g,k}$	16	17,6	19,2	20,8	22,4	24	25,6
	$f_{t,90,g,k}$	0,5						
Résistance à la compression	$f_{c,0,g,k}$	20	22	24	26	28	30	32
	$f_{c,90,g,k}$	2,5						
Résistance au cisaillement (cisaillement et torsion)	$f_{v,g,k}$	3,5						
Résistance au cisaillement roulant	$f_{r,g,k}$	1,2						
Module d'élasticité	$E_{0,g,moyen}$	8 400	10 500	11 500	12 100	12 600	13 600	14 200
	$E_{0,g,05}$	7 000	8 800	9 600	10 100	10 500	11 300	11 800
	$E_{90,g,moyen}$	300						
	$E_{90,g,05}$	250						
Module de cisaillement	$G_{g,moyen}$	650						
	$G_{g,05}$	540						
Module de cisaillement roulant	$G_{r,g,moyen}$	65						
	$G_{r,g,05}$	54						
Masse volumique	$\rho_{g,k}$	340	370	385	405	425	430	440
	$\rho_{g,moyen}$	370	410	420	445	460	480	490

**Tab. 7. Valeur coefficient  $\gamma_M$  (Source : NF EN 1995-1-1)**

Éléments considérés		$\gamma_M$
Matériaux	Bois	1,3
	Lamellé-collé	1,25
	Lamibois (LVL), OSB	1,2
	Panneaux de particules et de fibres	1,3
Assemblages		1,3
Combinaisons accidentelles		1

**Tableau 8 : Valeur de  $k_{mod}$  du bois massif, du lamellé-collé, du lamibois (LVL) et du contreplaqué (Source : NF EN 1995-1-1)**

Durée de chargement		Classe de service		
Classe de durée	Exemple	1 Hbois < 13% (local chauffé)	2 13%<Hbois < 20% (sous abris)	3 Hbois > 20 % (extérieur)
permanente (>10 ans)	Charge de structure	0,6	0,6	0,5
long terme (6mois à 10 ans)	Stockage	0,7	0,7	0,55
moyen terme (1 semaine à 6mois)	Charges d'exploitation Neige Altitude >1000m	0,8	0,8	0,65
court terme (<1semaine)	Neige Altitude ≤1000m	0,9	0,9	0,7
Instantanée	Vent Situation accidentelle Neige exceptionnelle	1,1	1,1	0,9

**Tableau 9 : Valeur de  $k_{mod}$  des panneaux de lamelles minces, longues et orientées (OSB), (Source : NF EN 1995-1-1)**

Durée de chargement		Classe de service		
		1 Hbois < 13% (local chauffé)	2 13%<Hbois < 20% (sous abris)	
Classe de durée	Exemple de chargement	OSB/2	OSB/3, OSB/4	OSB/3, OSB/4
permanente (>10 ans)	Charge de structure	0,3	0,4	0,3
long terme (6mois à 10 ans)	Stockage	0,45	0,5	0,4
moyen terme (1 semaine à 6mois)	Charges d'exploitation Neige > 1000 m	0,65	0,7	0,55
court terme (<1semaine)	Neige ≤ 1000 m	0,85	0,9	0,7
Instantanée	Vent Situation accidentelle Neige exceptionnelle	1,1	1,1	0,9

**Tab. 10. Valeurs limites réglementaires des flèches (Source : NF EN 1995-1-1)**

	Bâtiments courants			Bâtiments agricoles et similaires		
	$W_{inst(Q)}$	$W_{net,fin}$	$W_{fin}$	$W_{inst(Q)}$	$W_{net,fin}$	$W_{fin}$
<b>Chevrans</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

*Remarques*

- La valeur limite des consoles et porte-à-faux est doublée. Elle est toujours supérieure à 5 mm.
- Les panneaux de planchers et supports de toiture ont une valeur limite de flèche nette finale ( $W_{net,fin}$ ) de L/250.
- La valeur limite de flèche horizontale est de L/200 pour les éléments individuels soumis au vent. Pour les autres applications, elles sont identiques aux valeurs limites verticales des éléments structuraux.

**Tab. 11. Facteur de déformation ( $k_{def}$ ) selon la classe de service et l'humidité  $H_{bois}$  (Source : NF EN 1995-1-1)**

Matériau			Classe de service		
			1 $H_{bois} < 13 \%$ (local chauffé)	2 $13 \% < H_{bois} < 20 \%$ (sous abri)	3 $H_{bois} > 20 \%$ (extérieur)
Essence	Type	Classe de service (1)			
Bois massif	—	—	0,60	0,80	2,00
Lamellé-collé	—	—	0,60	0,80	2,00
Lamibois (LVL)	—	—	0,60	0,80	2,00
Contreplaqué	1	1	0,80	Sans objet	Sans objet
	2	2	0,80	1,00	Sans objet
	3	3	0,80	1,00	2,50
OSB	OSB/2	1	2,25	Sans objet	Sans objet
	OSB/3/4	2	1,50	2,25	Sans objet
Panneau de particules	P4	1	2,25	Sans objet	Sans objet
	P5	2	2,25	3,00	Sans objet
	P6	1 (2)	1,50	Sans objet	Sans objet
	P7	2 (2)	1,50	2,25	Sans objet
Panneau de fibre dur	HB.LA	1	2,25	Sans objet	Sans objet
	HB.HLA	2	2,25	3	Sans objet
Panneau de fibre semi-dur	MHB.LA	1	2,25	Sans objet	Sans objet
	MHB.HL				
	S	2	1,50	2,25	Sans objet
Panneau de fibre MDF	MDF.LA	1	2,25	Sans objet	Sans objet
	MDF.HL				
	S	2	1,50	2,25	Sans objet

(1) On distingue 3 classes de service, numérotées 1, 2 et 3 :

Classe de service	Utilisation du bois	Humidité d'équilibre du bois
1	Dans un local chauffé	< 13 % pendant la majorité de l'année, valeur qui peut être dépassée pendant quelques semaines par an
2	Dans un local non chauffé	Comprise entre 13 et 20 % pendant la majorité de l'année, valeur peut être dépassée pendant quelques semaines par an
3	À l'extérieur	> 20 % pendant la majorité de l'année

(2) Sous contrainte élevée.