

Sommaire

VERIFICATION AUX EUROCODES D'UNE PANNE TRAVAILLANT EN FLEXION DEVIEE.	3
1 Hypothèses de calcul	3
2 Détermination des actions	4
2.1 Actions provoquées par le poids de la structure.	4
Etape 1 : Détermination de la bande de chargement.....	4
Etape 2 : Transformation de la masse en charge	4
Etape 3 : Calcul de la charge des chevrons par m ²	4
Etape 4 : Détermination de la charge de structure (G) par mètre de panne.....	4
2.2 Les charges d'exploitation.	4
2.3 Les charges de neige	4
Etape 1 : Calcul de la neige au sol.....	4
Etape 2 : Calcul coefficient de forme μ_i	4
Etape 3 : Calcul de la charge de neige sur la toiture en kN/m ² rampant	5
Etape 4 : Calcul de la charge de neige sur la panne en kN/m.....	5
3 Les combinaisons d'action.	5
4 Vérification à l'Etat Limite Ultime (ELU)	5
4.2 Vérification avec une flexion déviée	7
4.2.1 Contrainte provoquée par les actions $\sigma_{m,y,d}$ et $\sigma_{m,z,d}$	7
4.2.2 Contrainte de résistance du bois $f_{m,d}$	8
4.2.3 Taux de travail de la flexion déviée	9
4.3 Le cisaillement.	9
4.3.1 Contrainte provoquée par les actions τ_d	10
4.3.2 Contrainte de résistance du bois $f_{v,d}$	10
4.3.3 Taux de travail	11
5 Vérification à l'Etat Limite de Service (ELS).	11
5.1 La déformation instantanée sous charge variable $W_{inst(Q)}$	11
5.2 La déformation totale.	13
7 Optimisation de la panne par un appui intermédiaire situé dans le plan de la toiture.	14
8 Optimisation de la panne par un appui intermédiaire situé dans le plan de la toiture et une contreflèche.	15
En savoir plus	16
TABLEAUX : Vérifications des structures en bois avec les eurocodes	17
Tab. 1. Valeurs des charges d'exploitation en fonction du bâtiment	17
Carte de France des valeurs des charges de neige	18
Tab. 2. Coefficients μ_i pour une toiture sans dispositif de retenue de la neige	19
Tab. 3. Coefficients partiels de l'action permanente pour un bâtiment courant	19
Tab. 4. Coefficients statistiques en fonction des catégories de bâtiment et de l'altitude (Source : NF EN 1990)	19
Tab. 5. Valeur coefficient γ_M (Source : NF EN 1995-1-1)	19
Tab. 6. Valeurs caractéristiques des bois massifs résineux et de peuplier	20

(Source : NF EN 338).....	20
Tab. 7. Valeurs caractéristiques des bois lamellés (source : NF EN 14080)	20
Tab. 8 : Valeur de k_{mod} du bois massif, du lamellé-collé, du lamibois (LVL) et du contreplaqué (Source : NF EN 1995-1-1).....	21
Tab. 9. Valeurs limites réglementaires des flèches (Source : NF EN 1995-1-1)	21
Tab. 10. Facteur de déformation (k_{def}) selon la classe de service et l'humidité H_{bois} (Source : NF EN 1995-1-1)	22

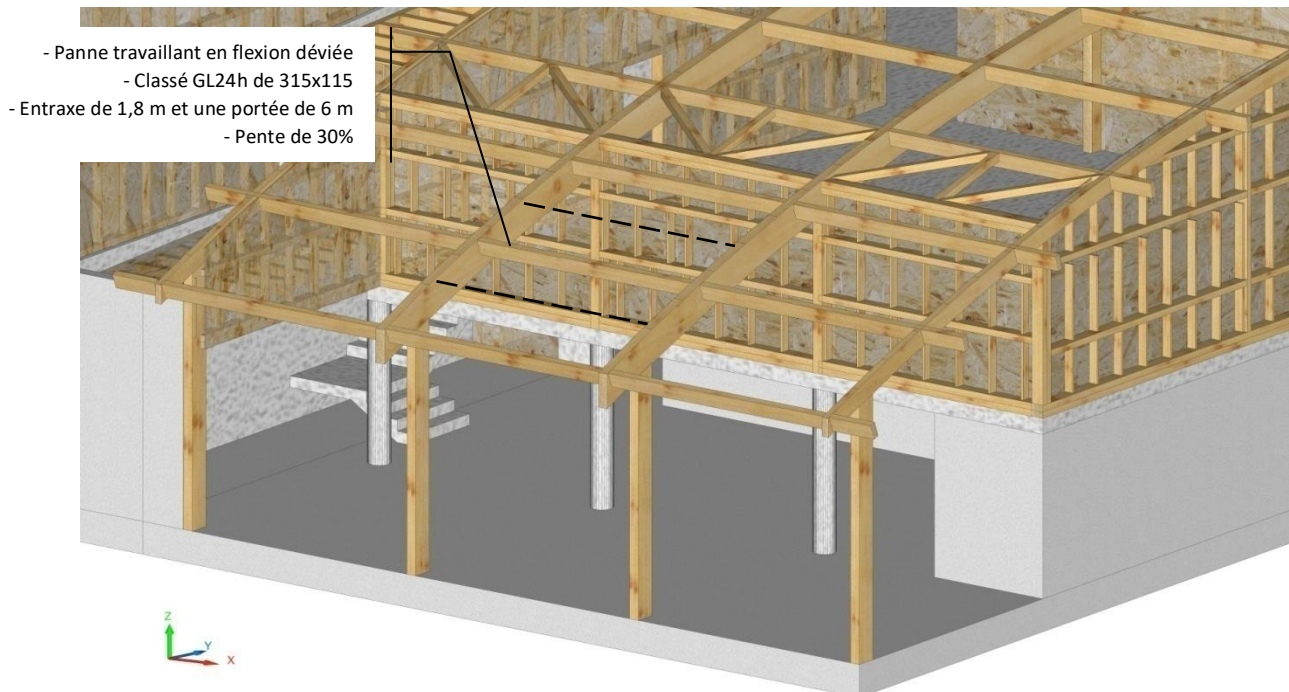
VERIFICATION AUX EUROCODES D'UNE PANNE TRAVAILLANT EN FLEXION DEVIEE.

La justification d'une panne travaillant en flexion déviée exige des vérifications à l'état limite ultime et à l'état limite de service. La première étape consiste à définir les actions, les charges de structure et les charges d'exploitation. Puis il faut déterminer les combinaisons d'actions. Elles simulent les différentes situations de charges auxquelles les pannes seront soumises au cours de leur vie. Ces combinaisons d'actions définissent la charge de calcul pour établir les contraintes de flexion et de cisaillement à l'état limite ultime. A l'état limite de service, il faut vérifier que la déformation instantanée sous charges variables et la déformation totale ne dépassent pas les limites réglementaires.

1 Hypothèses de calcul

Considérons une panne travaillant en flexion déviée d'un bâtiment situé en zone A1 à une altitude inférieure à 200 m et avec une pente de 30% (soit $16,7^\circ$). La longueur d'appui sur les arbalétriers est de 40 mm. La structure est composée de :

- Couverture en tuiles mécaniques à emboîtement pesant 40 kg/m^2 (litage compris).
- Chevron en bois massif classé C24 de 100×75 avec un entraxe de $0,45 \text{ m}$
- Pannes en bois Lamellé-collé classé GL24h de 315×115 avec un entraxe de $1,8 \text{ m}$ et une portée de 6 m .



2 Détermination des actions

Les actions proviennent du poids de la structure, de l'entretien et du poids de la neige.

2.1 Actions provoquées par le poids de la structure.

Etape 1 : Détermination de la bande de chargement

La panne reprend 1/2 entraxe à gauche et 1/2 entraxe à droite, soit un entraxe complet (900+900 = 1800mm).

Etape 2 : Transformation de la masse en charge

- tuiles mécaniques : 40 kg/m²
- pannes et chevrons : 420 kg /m³, (tableaux 6 et 7)

Le calcul consiste à transformer la masse des éléments surfaciques (tuiles mécaniques) en action exprimées en kN/m² et la masse des éléments linéique (pannes et chevrons) en action exprimées en kN/m. Par simplification, l'accélération terrestre « g » est pris égale à 10 m/s².

- tuiles mécaniques : $kg/m^2 \times \frac{g}{1000} = kN/m^2$, soit $40 \times \frac{10}{1000} = 0,4 kN/m^2$
- Chevrons et pannes : $\frac{kg/m^3 \times g}{1000} \times hauteur (m) \times épaisseur(m) = kN/m$,

Soit $\frac{420 \times 10}{1000} \times 0,100 \times 0,075 = 0,032 kN/m$ pour les chevrons et $\frac{420 \times 10}{1000} \times 0,315 \times 0,115 = 0,152 kN/m$ pour les pannes.

Etape 3 : Calcul de la charge des chevrons par m².

Le poids d'un mètre de chevrons est divisé par son entraxe pour obtenir une charge par m².

$$G_{chevron/m^2} = \frac{Chevron (kN/m)}{Entraxe chevron (m)}$$
$$G_{chevron/m^2} = \frac{0,032}{0,45} = 0,071 kN/m^2$$

Etape 4 : Détermination de la charge de structure (G) par mètre de panne

Les charges de structure surfaciques sont multipliées par la bande de chargement pour obtenir une charge linéique. Le poids de la panne est ajouté.

Charges totales :

$$G = (0,4 + 0,071) \times 1,8 + 0,152 = 1 kN/m$$

2.2 Les charges d'exploitation.

La charge d'exploitation correspond à l'entretien. La toiture est inclinée. Il faut appliquer une charge ponctuelle de 1,5 kN au plus défavorable, donc au milieu de la panne (tableau 1).

2.3 Les charges de neige

Le Bâtiment à une toiture inclinée à moins de 30°. Le bâtiment est situé en zone A1 à une altitude inférieure à 200m. Les coefficients d'exposition C_e et thermique C_t sont égaux à 1.

Etape 1 : Calcul de la neige au sol

S₂₀₀ = 0,45 kN/m², (voir la carte de France)

Etape 2 : Calcul coefficient de forme μ_i

Pour un angle inférieur à 30° : μ₁ = 0,8, (tableau 2).

Etape 3 : Calcul de la charge de neige sur la toiture en kN/m² rampant

La formule de calcul de neige sur une toiture est : $s = s_k \cdot \mu_{i(\alpha)} \cdot C_e \cdot C_t$.

$$S = 0,45 \times 0,8 \times 1 \times 1 = 0,36 \text{ kN/m}^2 \text{ horizontal}$$

$$S = 0,36 \times \cos 16,7^\circ = 0,345 \text{ kN/m}^2 \text{ rampant}$$

Etape 4 : Calcul de la charge de neige sur la panne en kN/m

$$S = 0,345 \times 1,8 = 0,621 \text{ kN/m}$$

Remarque : il n'y a pas de neige exceptionnelle dans la zone A1.

3 Les combinaisons d'action.

Les combinaisons à l'ELU concernent la résistance de la structure. Il n'y a pas de risque de soulèvement ni de risque de neige exceptionnelle. Par ailleurs le risque incendie sera traité dans un autre document.

Combinaisons pour la résistance de la structure avec des charges descendantes ELU (STR) :

Les combinaisons à l'ELU concernent la résistance de la structure. Le risque de neige exceptionnelle n'existe pas dans la zone A1.

$$q_1 = 1,35G$$

$$q_2 = 1,35G + 1,5S$$

$$q_3 = 1,35G + 1,5Q_{\text{entretien}} + 0,5 \times 1,5S$$

(Voir le tableau 3)

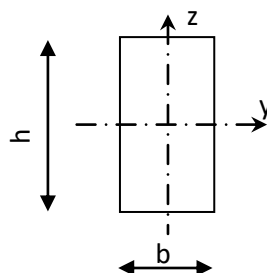
Remarques :

- *La charge d'entretien se combine avec la charge de neige uniquement si elle est en action principale. La charge neige est diminuée du coefficient ψ_0 valant 0,5 lorsque le bâtiment est situé à une altitude inférieure ou égale à 1000 m.*
- *La charge d'entretien est ponctuelle, elle n'a pas le même effet qu'une charge uniformément répartie, elle ne doit pas faire l'objet d'une addition algébrique.*

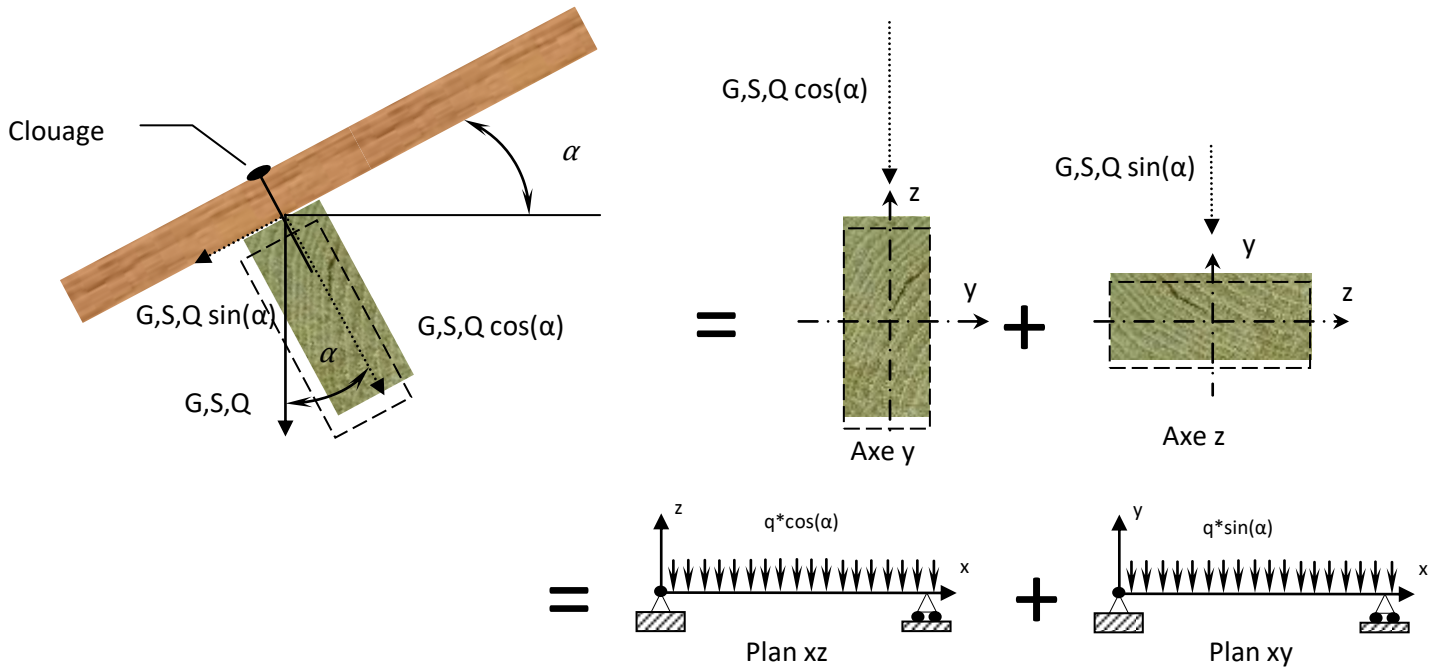
4 Vérification à l'Etat Limite Ultime (ELU).

La vérification à l'ELU consiste à vérifier la panne en flexion déviée. L'effort se décompose en deux directions. L'une est parallèle à l'épaisseur ($G, S, Q \sin(\alpha)$). Elle provoquera de la flexion dans le plan formé par l'épaisseur et l'axe de la panne. L'autre est parallèle à la hauteur ($G, S, Q \cos(\alpha)$). Elle provoquera de la flexion dans le plan formé par la hauteur et l'axe de la panne.

Repère de la section adopté par l'Eurocode



Projection des efforts dans les plans xz et xy



4.1 Calcul de la charge reprise par la panne

Le tableau A précise l'effort parallèle à la hauteur de la panne et l'effort parallèle à l'épaisseur de la panne en fonction de la combinaison d'action.

Tableau A : efforts repris par la panne en fonction de la combinaison d'action

Combinaison à l'ELU	Effort vertical q	Effort parallèle à la hauteur (axe de rotation y) : $q \cdot \cos(16,7^\circ)$	Effort parallèle à l'épaisseur (axe de rotation z) : $q \cdot \sin(16,7^\circ)$
$q_1 = 1,35G$	$1,35 \times 1 = 1,35 \text{ kN/m}$	1,293 kN/m	0,388 kN/m
$q_2 = 1,35G + 1,5S$	$1,35 \times 1 + 1,5 \times 0,621 = 2,282 \text{ kN/m}$	2,185 kN/m	0,656 kN/m
$q_3 = 1,35G + 1,5Q_{\text{entretien}} + 0,5 \times 1,5S$	$1,35 \times 1 + 0,5 \times 1,5 \times 0,621 = 1,816 \text{ kN/m}$ et $1,5 \times 1,5 = 2,25 \text{ kN}$	1,739 kN/m et 2,155 kN = 2115 N	0,522 kN/m et 0,647 kN = 647 N

Remarques :

- Attention, rappelons que la charge d'entretien est ponctuelle, elle n'a pas le même effet qu'une charge uniformément répartie, elle ne doit pas faire l'objet d'une addition algébrique.
- Les lames du bois lamellé-collé sont séchées avant le collage, puis le bois lamellé-collé est raboté. L'humidité du bois est voisine de 12%, il n'est donc pas nécessaire de diminuer la section.

4.2 Vérification avec une flexion déviée

Les deux contraintes de flexion sont provoquées par les actions calculées aux ELU, états limites ultimes.

La somme de ces deux rapports doit rester inférieure à 1 :

- pour l'axe y, contrainte de flexion provoquée par les actions du plan xz divisée par la contrainte de résistance de flexion
- pour l'axe z, contrainte de flexion provoquée par les actions du plan xy divisée par la contrainte de résistance de flexion

Un coefficient k_m diminue le ratio le plus petit. Ce coefficient définit la redistribution des contraintes maximums situées sur l'arête tendue.

$$\text{Taux de travail} = \text{maximum} \left\{ \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} ; k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \right\} \leq 1$$

$\sigma_{m,y,d}$: Contrainte de flexion en N/mm², correspondant à une déformation dans le plan **xz** donc aux efforts projetés sur **z** et une rotation autour de l'axe **y**.

$f_{m,y,d}$: Résistance de flexion calculée en N/mm² de l'axe **y**.

$\sigma_{m,z,d}$: Contrainte de flexion en N/mm², correspondant à une déformation dans le plan **xy** donc aux efforts projetés sur **y** et une rotation autour de l'axe **z**.

$f_{m,z,d}$: Résistance de flexion calculée en N/mm² de l'axe **z**.

$k_m = 0,7$, coefficient de redistribution des contraintes maximum situées sur l'arête tendue

Remarques :

- La pièce étant déjà déversée, le coefficient k_{crit} de déversement latéral n'est pas appliqué.
- $f_{m,y,d}$ et $f_{m,z,d}$ ont la même valeur.

4.2.1 Contrainte provoquée par les actions $\sigma_{m,y,d}$ et $\sigma_{m,z,d}$

Les contraintes de flexion provoquées par la charge sont calculées par les formules :

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{f_y}}{\frac{I_{G,y}}{V}} \text{ et } \sigma_{m,z,d} = \frac{M_{f_z}}{\frac{I_{G,z}}{V}}$$

- M_{f_y} : moment de flexion maximum provoqué par une charge dans le plan xz.
 - o Pour une poutre sur deux appuis avec une charge uniformément répartie, $M_{f_y} = q \times \cos(\alpha) \times L^2 / 8$, avec q en N/mm et L la distance entre appuis en mm.
 - o Pour une poutre sur deux appuis avec une charge ponctuelle $M_{f_y} = P \times \cos(\alpha) \times L / 4$, avec P en N et L la distance entre appuis en mm.
- $I_{G,y} / V$: module d'inertie, $bh^2 / 6$ pour une section rectangulaire (repère de l'Eurocode) avec b et h en mm.
- M_{f_z} : moment de flexion maximum provoqué par une charge dans le plan xy.

- Pour une poutre sur deux appuis avec une charge uniformément répartie, $M_{f,z} = q \times \sin(\alpha) \times L^2 / 8$, avec q en N/mm et L la distance entre appuis en mm.
- Pour une poutre sur deux appuis avec une charge ponctuelle $M_{f,z} = P \times \sin(\alpha) \times L / 4$, avec P en N et L la distance entre appuis en mm.
- $I_{G,z} / V$: module d'inertie, $hb^2/6$ pour une section rectangulaire (repère de l'Eurocode) avec b et h en mm.

Pour une poutre sur deux appuis avec une charge uniformément répartie :

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{f_y}}{\frac{I_{G,y}}{V}} = \frac{6 \times q \times \cos(\alpha) \times L^2}{8 \times b \times h^2} \text{ et } \sigma_{m,z,d} = \frac{M_{f_z}}{\frac{I_{G,z}}{V}} = \frac{6 \times q \times \sin(\alpha) \times L^2}{8 \times h \times b^2}$$

Pour une poutre sur deux appuis avec une charge ponctuelle :

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{f_y}}{\frac{I_{G,y}}{V}} = \frac{6 \times P \times \cos(\alpha) \times L}{4 \times b \times h^2} \text{ et } \sigma_{m,z,d} = \frac{M_{f_z}}{\frac{I_{G,z}}{V}} = \frac{6 \times P \times \sin(\alpha) \times L}{4 \times h \times b^2}$$

Le tableau B précise la valeur de la contrainte de flexion en fonction de la combinaison d'action.

Tableau B : contrainte de flexion subit par la panne en fonction de la combinaison d'action

Combinaison à l'ELU	Contrainte de flexion (axe de rotation y) en N/mm ²	Contrainte de flexion (axe de rotation z) en N/mm ²
q ₁ = 1,35G	$\sigma_{m,y,d} = \frac{6 \times 1,293 \times 6000^2}{8 \times 115 \times 315^2} = 3,1$	$\sigma_{m,z,d} = \frac{6 \times 0,388 \times 6000^2}{8 \times 315 \times 115^2} = 2,5$
q ₂ = 1,35G + 1,5S	$\sigma_{m,y,d} = \frac{6 \times 2,185 \times 6000^2}{8 \times 115 \times 315^2} = 5,2$	$\sigma_{m,z,d} = \frac{6 \times 0,656 \times 6000^2}{8 \times 315 \times 115^2} = 4,3$
q ₃ = 1,35G + 1,5Qentretien + 0,5×1,5S	$\sigma_{m,y,d} = \frac{6 \times 1,739 \times 6000^2}{8 \times 115 \times 315^2} + \frac{6 \times 2155 \times 6000}{4 \times 115 \times 315^2} = 5,8$	$\sigma_{m,z,d} = \frac{6 \times 0,522 \times 6000^2}{8 \times 315 \times 115^2} + \frac{6 \times 647 \times 6000}{4 \times 315 \times 115^2} = 4,8$

4..2.2 Contrainte de résistance du bois $f_{m,d}$

La contrainte de résistance du bois dépend de la contrainte caractéristique, de la classe de service (humidité du bois), de la charge de plus courte durée de la combinaison d'action, de l'effet système et de la plus grande dimension de la section.

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

- $f_{m,k} = 24 \text{ N/mm}^2$, contrainte caractéristique de résistance en flexion, (tableau 7).
- k_{mod} = coefficient modificatif en fonction de la charge de plus courte durée et de la classe de service, (tableau 8).
- $\gamma_M = 1,25$, coefficient partiel qui tient compte de la dispersion du matériau, (tableau 5)
- $k_{sys} = 1$; le coefficient d'effet système est égal à 1,1 lorsque plusieurs éléments porteurs de même nature et de même fonction avec un entraxe inférieur à 1,2 m (solives, fermettes) sont sollicités par un même type de chargement réparti uniformément et avec un système capable de reporter les efforts sur les pièces adjacentes. Lorsque ces conditions ne sont pas remplies, $k_{sys} = 1$.
- $k_h = 1,07$, coefficient de hauteur. Le coefficient k_h majore les résistances pour les hauteurs inférieures 600 mm pour le bois lamellé-collé.
 - si $h \geq 600 \text{ mm}$ $k_h = 1$

- si $h \leq 600 \text{ mm}$ $k_h = \min(1,1 ; (600/h)^{0,1})$
-
- soit $k_h = \min(1,1 ; (600/315)^{0,1}) = 1,07$, avec h la hauteur de la pièce en mm

Le tableau C précise la valeur de la contrainte de résistance en flexion en fonction de la combinaison d'action.

Tableau C : Valeur de la contrainte de résistance en flexion en fonction de la combinaison d'action

Combinaison à l'ELU	Durée de la charge	Coefficient k_{mod}	Contrainte de résistance en flexion en N/mm^2
$q_1 = 1,35G$	Permanente	0,6	$f_{m,d} = 24 \times \frac{0,6}{1,25} \times 1,07 \times 1 = 12,3 N/mm^2$
$q_2 = 1,35G + 1,5S$	Court terme (altitude $\leq 1000m$)	0,9	$f_{m,d} = 24 \times \frac{0,9}{1,25} \times 1,07 \times 1 = 18,5 N/mm^2$
$q_3 = 1,35G + 1,5Q_{entretien} + 0,5 \times 1,5S$	Court terme		

4.2.3 Taux de travail de la flexion déviée

$$\text{Le taux de travail} = \text{maximum} \left\{ \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} ; k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \right\} \leq 1$$

Le Tableau D précise le taux de travail en fonction de la combinaison d'action.

Tableau D : Taux de travail en fonction de la combinaison d'action.

Combinaison à l'ELU	Taux de travail
$q_1 = 1,35G$	$\left\{ \begin{array}{l} \frac{3,1}{12,3} + 0,7 \frac{2,5}{12,3} = 0,39 \\ 0,7 \frac{3,1}{12,3} + \frac{2,5}{12,3} = 0,38 \end{array} \right\} < 1$
$q_2 = 1,35G + 1,5S$	$\left\{ \begin{array}{l} \frac{5,2}{18,5} + 0,7 \frac{4,3}{18,5} = 0,44 \\ 0,7 \frac{5,2}{18,5} + \frac{4,3}{18,5} = 0,43 \end{array} \right\} < 1$
$q_3 = 1,35G + 1,5Q_{entretien} + 0,5 \times 1,5S$	$\left\{ \begin{array}{l} \frac{5,8}{18,5} + 0,7 \frac{4,8}{18,5} = 0,50 \\ 0,7 \frac{5,8}{18,5} + \frac{4,8}{18,5} = 0,48 \end{array} \right\} < 1$

Le critère est vérifié car les taux de travail sont inférieurs à 1, la combinaison dimensionnante est $q_3 = 1,35G + 1,5Q_{entretien} + 0,5 \times 1,5S$.

4.3 Le cisaillement.

La contrainte de cisaillement provoquée par les actions doit rester inférieure à la contrainte de résistance de cisaillement déterminée.

Le taux de travail est : $\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1$, avec :

τ_d : Contrainte de cisaillement provoquée par les actions en N/mm^2 .

$f_{v,d}$: Contrainte de résistance de cisaillement calculée en N/mm^2 .

4.3.1 Contrainte provoquée par les actions τ_d .

La contrainte de cisaillement provoquée par la charge est calculée par la formule : $\tau_d = \frac{k_f \times F_{v,d}}{k_{cr} \times b \times h}$

- $k_f = 1,5$, coefficient de forme de la section pour une section rectangulaire.
- $F_{v,d}$: Effort tranchant en Newton. Une poutre sur deux appuis avec une charge uniformément répartie, a un effort tranchant maximum au voisinage des appuis, soit $ql/2$ et $P/2$.
- $h = 315$ mm, hauteur de la pièce.
- $b = 115$ mm, épaisseur de la pièce.
- $k_{cr} = 1$; ce coefficient tient compte du risque de fente aux extrémités de la poutre. Les charges de structure sont inférieures à 70% des charges totales ($\frac{1}{1+0,621} = 0,62$).

Remarque : la décomposition des calculs sur les axes y et z est inutile car b et h n'ont pas d'exposant.

Le tableau E précise la valeur de la contrainte de cisaillement en fonction de la combinaison d'action.

Tableau E : contrainte de cisaillement subit par la panne en fonction de la combinaison d'action

Combinaison à l'ELU	Effort tranchant en N	Contrainte de cisaillement en N/mm ²
$q_1 = 1,35G$	$F_{v,d} = \frac{1,35 \times 6000}{2} = 4050$	$\tau_d = \frac{1,5 \times 4050}{1 \times 315 \times 115} = 0,17$
$q_2 = 1,35G + 1,5S$	$F_{v,d} = \frac{2,282 \times 6000}{2} = 6846$	$\tau_d = \frac{1,5 \times 6846}{1 \times 315 \times 115} = 0,28$
$q_3 = 1,35G + 1,5Q_{\text{entretien}} + 0,5 \times 1,5S$	$F_{v,d} = \frac{1,816 \times 6000}{2} + \frac{2250}{2} = 6573$	$\tau_d = \frac{1,5 \times 6573}{1 \times 315 \times 115} = 0,27$

Remarque : le calcul est identique que pour la flexion simple.

4.3.2 Contrainte de résistance du bois $f_{v,d}$.

La contrainte de résistance du bois dépend de la contrainte caractéristique, de la classe de service (humidité du bois), de la charge de plus courte durée de la combinaison d'actions.

$$f_{v,d} = f_{v,k} \times \frac{k_{mod}}{\gamma_M}$$

- $f_{v,k} = 3,5$ N/mm², contrainte caractéristique de résistance en cisaillement (tableau 7)
- k_{mod} coefficient modificatif en fonction de la charge de plus courte durée et de la classe de service (tableau 8)
- $\gamma_M = 1,25$, coefficient partiel qui tient compte de la dispersion du matériau (tableau 5)

Le tableau F précise la valeur de la contrainte de résistance en cisaillement en fonction de la combinaison d'action.

Tableau F : Valeur de la contrainte de résistance en cisaillement en fonction de la combinaison d'action

Combinaison à l'ELU	Durée de la charge	Coefficient k_{mod}	Contrainte de résistance en flexion en N/mm^2
$q_1 = 1,35G$	Permanente	0,6	$f_{v,d} = 3,5 \times \frac{0,6}{1,25} = 1,7 N/mm^2$
$q_2 = 1,35G + 1,5S$	Court terme (altitude $\leq 1000m$)	0,9	$f_{v,d} = 3,5 \times \frac{0,9}{1,25} = 2,5 N/mm^2$
$q_3 = 1,35G + 1,5Q_{entretien} + 0,5 \times 1,5S$	Court terme		

4.3.3 Taux de travail

Le taux de travail est : $\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1$

Le Tableau G précise le taux de travail en fonction de la combinaison d'action.

Tableau G : Taux de travail en fonction de la combinaison d'action.

Combinaison à l'ELU	Taux de travail
$q_1 = 1,35G$	$\frac{0,17}{1,7} = 0,10 < 1$
$q_2 = 1,35G + 1,5S$	$\frac{0,28}{2,5} = 0,11 < 1$
$q_3 = 1,35G + 1,5Q_{entretien} + 0,5 \times 1,5S$	$\frac{0,27}{2,5} = 0,11 < 1$

Le critère est vérifié car les taux de travail sont inférieurs à 1.

5 Vérification à l'Etat Limite de Service (ELS).

L'état limite de service est vérifié lorsque les déformations ne dépassent pas une valeur limite réglementaire. Les vérifications à l'ELS concernent la déformation sous charge variable et la déformation totale de la panne.

5.1 La déformation instantanée sous charge variable $W_{inst(Q)}$.

La déformation instantanée sous charge variable est provoquée par les charges variables. Le taux de déformation est $\frac{U_{inst(Q)}}{W_{inst(Q)}} \leq 1$, avec :

- $U_{inst(Q)}$: Flèche instantanée provoquée par la charge variable.
- $W_{inst(Q)}$: Flèche instantanée limite réglementaire sous charge variable.

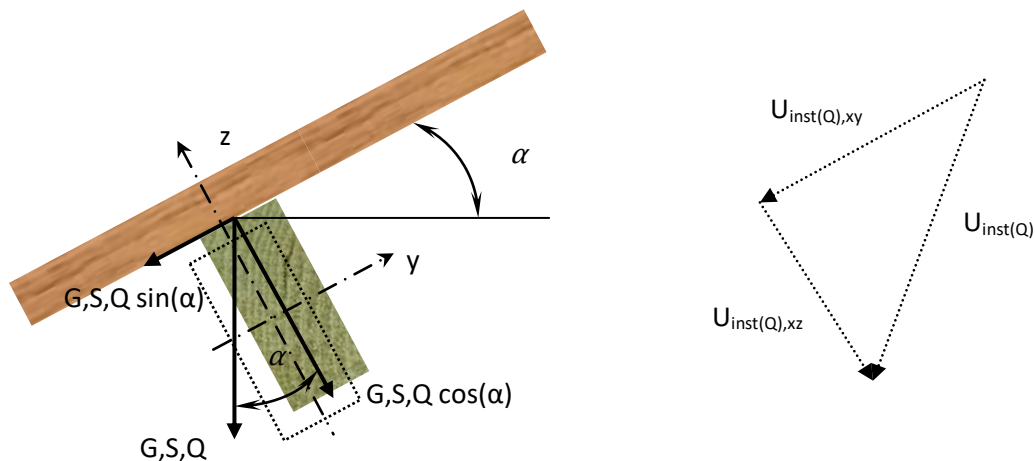
La flèche instantanée est la somme vectorielle de la flèche dans le plan xz et de la flèche dans le plan xy. La panne a une charge symétrique et uniforme, la flèche est définie par la formule :

$$U_{inst(Q)} = \sqrt{U_{inst(Q),xz}^2 + U_{inst(Q),xy}^2}$$

- $U_{inst(Q),xz}$: flèche dans le plan xz.
- $U_{inst(Q),xy}$: flèche dans le plan xy.

La flèche dans le plan xz est provoquée par l'effort $q_{inst(Q)} \cdot \cos(16,7)$ et concerne le moment quadratique $I_{g,y}$. La flèche dans le plan xy est provoquée par l'effort $q_{inst(Q)} \cdot \sin(16,7)$ et concerne le moment quadratique $I_{g,z}$.

Flèche dans le plan xz et flèche dans le plan xy



La déformation instantanée pour une charge uniformément répartie (la neige) est :

$$U_{inst(Q)} = \sqrt{\left(\frac{5 \times q_{inst(Q)} \times \cos(\alpha) \times L^4}{384 \times E_{0,mean} \times I_{G,y}}\right)^2 + \left(\frac{5 \times q_{inst(Q)} \times \sin(\alpha) \times L^4}{384 \times E_{0,mean} \times I_{G,z}}\right)^2}$$

Avec

- $q_{inst(Q)} = 0,621 \text{ kN/m} = 0,621 \text{ N/mm}$, charge linéique provoquée par les actions variables.
- $L = 6000 \text{ mm}$, distance entre appuis.
- $E_{0,mean} = 11,5 \text{ kN/mm}^2 = 11500 \text{ N/mm}^2$, module moyen axial (tableau 7)
- $I_{G,y} = bh^3/12$ moment quadratique en mm^4 , pour une section rectangulaire sur chant.
- $I_{G,z} = hb^3/12$ moment quadratique en mm^4 , pour une section rectangulaire à plat.
 - o $h = 315 \text{ mm}$, hauteur de la pièce.
 - o $b = 115 \text{ mm}$, épaisseur de la pièce.

La formule devient :

$$U_{inst(Q)} = \sqrt{\left(\frac{5 \times q_{inst(Q)} \times \cos(\alpha) \times L^4 \times 12}{384 \times E_{0,mean} \times b \times h^3}\right)^2 + \left(\frac{5 \times q_{inst(Q)} \times \sin(\alpha) \times L^4 \times 12}{384 \times E_{0,mean} \times h \times b^3}\right)^2}$$

$$U_{inst(Q)} = \sqrt{\left(\frac{5 \times 0,621 \times \cos(16,7) \times 6000^4 \times 12}{384 \times 11500 \times 115 \times 315^3}\right)^2 + \left(\frac{5 \times 0,621 \times \sin(16,7) \times 6000^4 \times 12}{384 \times 11500 \times 315 \times 115^3}\right)^2}$$

$$U_{inst(Q)} = \sqrt{(2,9)^2 + (6,6)^2} = 7,2 \text{ mm}$$

La valeur limite réglementaire $W_{inst(Q)}$ est de $L/300 = 6000/300 = 20 \text{ mm}$ (tableau 9)

Le taux de déformation est de : $\frac{7,2}{20} = 0,36 \leq 1$

Le critère est vérifié

5.2 La déformation totale.

$U_{net,fin} = U_{inst(G)}(1 + k_{def}) + U_{inst(Q)}(1 + \psi_2 \cdot k_{def}) - U_c$ (tableaux 4 et 10)

Le taux de déformation est $\frac{U_{net,fin}}{W_{net,fin}} \leq 1$, avec :

- $U_{net,fin}$: Flèche nette finale.
- $W_{net,fin}$: Flèche nette finale limite réglementaire.

Calcul de $U_{inst(G)}$: $q_G = 1 \text{ kN/m} = 1 \text{ N/mm}$, charge de calcul linéique.

$$U_{inst(Q)} = \sqrt{\left(\frac{5 \times 1 \times \cos(16,7) \times 6000^4 \times 12}{384 \times 11500 \times 115 \times 315^3}\right)^2 + \left(\frac{5 \times 1 \times \sin(16,7) \times 6000^4 \times 12}{384 \times 11500 \times 315 \times 115^3}\right)^2} = 11,6 \text{ mm}$$

Il n'y a pas de contreflèche, $U_{net,fin} = U_{fin} = U_{inst(G)}(1 + k_{def}) + U_{inst(Q)}(1 + \psi_2 \cdot k_{def})$, car $U_c = 0$, avec ψ_2 dans le tableau 4 et k_{def} dans le tableau 10)

$$U_{net,fin} = 11,6(1 + 0,8) + 7,2(1 + 0,0,8) = 28,1 \text{ mm}$$

La valeur limite réglementaire $W_{net,fin}$ est de $L/200 = 6000/200 = 30 \text{ mm}$ (tableau 9)

Le taux de déformation est de : $\frac{28,1}{30} = 0,94 \leq 1$

Le critère est vérifié

Remarques :

- La proportionnalité entre la charge et la déformation permet un calcul plus simple de la flèche nette finale à partir de la flèche instantanée sous charge variable.

$$U_{inst(G)} = U_{inst(Q)} \left(\frac{G}{Q} \right) = 7,2 \left(\frac{1}{0,621} \right) = 11,6 \text{ mm}$$

- La déformation provoquée par la charge d'entretien et la charge d'accompagnement de neige n'est pas effectuée pour cet exemple de calcul analytique, mais cette vérification est réglementaire.

6 Comparaison entre les critères de dimensionnement

Le tableau H fait la synthèse des critères les plus défavorables vérifiés.

Tableau H : synthèse des critères vérifiés.

Critère vérifié	Combinaison	Taux de travail ou de déformation
Contrainte de flexion (ELU)	$q_3 = 1,35G + 1,5Q_{\text{entretien}} + 0,5 \times 1,5S$	0,50
Contrainte de cisaillement (ELU)	$1,35G + 1,5S$	0,11
Flèche instantanée sous charge variable (ELS)		0,36
Flèche nette finale (ELS)		0,94

Le critère dimensionnant est la flèche nette finale à l'ELS.

7 Optimisation de la panne par un appui intermédiaire situé dans le plan de la toiture.

L'emploi de boutons pour réaliser un troisième appui sur l'épaisseur (ou dans le plan de la toiture) reprendra les efforts parallèle au rampant. L'épaisseur de la panne est diminuée de 115 à 90 mm. Elle travaillera en flexion simple suivant le plan xz (voir la figure « Projection des efforts dans les plans xz et xy »).



Un troisième point d'appui est créé par les boutons

L'optimisation est effectuée en fonction du critère dimensionnant (le plus défavorable) qui pour cet exemple est la flèche nette finale. Pour simplifier les calculs il faut déterminer la charge totale en incluant l'effet du fluage $q_{net\ fin} = G(1 + k_{def}) + Q_1(1 + \Psi_{2,1}k_{def})$ soit pour notre exemple :

$$q_{net\ fin} = 1(1 + 0,8) + 0,621(1 + 0 \times 0,8) = 2,421\text{ N/mm. Attention, } G = 1\text{ N/mm}$$

La hauteur est calculée en fonction de la flèche limite réglementaire. La flexion simple suivant le plan xz est calculée par la formule :

$$U_{net\ fin} = \frac{5 \times q_{net\ fin} \times \cos(\alpha) \times L^4}{384 \times E_{0,mean} \times I_{G,y}} = \frac{5 \times q_{net\ fin} \times \cos(\alpha) \times L^4 \times 12}{384 \times E_{0,mean} \times b \times h^3}$$

Par ailleurs la déformation maximum réglementaire est L/200 (tableau 9). La déformation provoquée par l'effort tranchant n'étant pas pris en compte, un taux de déformation de 0,95 est pris.

$$U_{net\ fin} = 0,95 \frac{L}{200} = \frac{5 \times q_{net\ fin} \times \cos(\alpha) \times L^4 \times 12}{384 \times E_{0,mean} \times b \times h^3}$$

On isole h

$$h = \sqrt[3]{\frac{5 \times q_{net\ fin} \times \cos(\alpha) \times L^3 \times 12 \times 200}{384 \times E_{0,mean} \times b \times 0,95}}$$

$$h = \sqrt[3]{\frac{5 \times 2,421 \times \cos(16,7) \times 6000^3 \times 12 \times 200}{384 \times 11500 \times 90 \times 0,95}} = 251,6\text{ mm}$$

Les lamelles du bois lamellé-collé faisant 45 mm, la hauteur commerciale sera de 270 mm, soit une lamelle de gagnée par rapport à la hauteur initiale de 315 mm et une largeur diminuée à 90 mm.

La panne doit être vérifiée complètement, si cette solution est retenue.

8 Optimisation de la panne par un appui intermédiaire situé dans le plan de la toiture et une contreflèche.

L'optimisation est effectuée en fonction du critère dimensionnant (le plus défavorable) qui pour cet exemple est la flèche nette finale. La hauteur est calculée en fonction de la flèche limite réglementaire qui est lorsqu'il y a une contreflèche de L/125 (tableau 9). La déformation provoquée par l'effort tranchant n'étant pas pris en compte, un taux de déformation de 0,95 est pris. Par ailleurs, la largeur est toujours de 90 mm.

$$U_{net\ fin} = 0,95 \frac{L}{125} = \frac{5 \times q_{net\ fin} \times \cos(\alpha) \times L^4 \times 12}{384 \times E_{0,mean} \times b \times h^3}$$

On isole h

$$h = \sqrt[3]{\frac{5 \times q_{net\ fin} \times \cos(\alpha) \times L^3 \times 12 \times 125}{384 \times E_{0,mean} \times b \times 0,95}}$$

$$h = \sqrt[3]{\frac{5 \times 2,421 \times \cos(16,7) \times 6000^3 \times 12 \times 125}{384 \times 11500 \times 90 \times 0,95}} = 215,1\text{ mm}$$

Les lamelles du bois lamellé-collé faisant 45 mm, la hauteur commerciale sera de 225 mm, soit deux lamelles de gagnée par rapport à la hauteur initiale de 315 mm et une largeur diminuée à 90 mm.

La panne doit être revérifiée complètement, si cette solution retenue. Le tableau I présente la synthèse de cette vérification

Tableau I : synthèse de la vérification.

Critère vérifié	Combinaison	Contrainte ou déformation	Valeur limite	Taux de travail ou de déformation
Contrainte de flexion (ELU)	1,35G + 1,5Q + 0,5 × 1,5S	$\sigma_{m,y,d} = \frac{6 \times 1,739 \times 6000^2}{8 \times 90 \times 225^2} + \frac{6 \times 2155 \times 6000}{4 \times 90 \times 225^2} = 14,6 \text{ N/mm}^2$	19 N/mm ²	$\frac{14,6}{1 \times 19} = 0,77$
Contrainte de cisaillement (ELU)	1,35G + 1,5S	$\tau_d = \frac{1,5 \times 6846}{1 \times 225 \times 90} = 0,51 \text{ N/mm}^2$	1,9 N/mm ²	$\frac{0,51}{1,9} = 0,27$
Flèche instantanée sous charge variable (ELS)		$U_{inst(Q)} = \frac{5 \times 0,621 \times \cos(16,7) \times 6000^4 \times 12}{384 \times 11500 \times 90 \times 225^3} = 10,2 \text{ mm}$	20 mm	$\frac{10,2}{20} = 0,51$
Flèche finale (ELS)		$U_{fin} = \frac{5 \times 2,421 \times \cos(16,7) \times 6000^4 \times 12}{384 \times 11500 \times 90 \times 225^3} = 39,8 \text{ mm}$	$\frac{6000}{125} = 48 \text{ mm}$	$\frac{39,8}{48} = 0,83$
Flèche nette finale (ELS) avec une contreflèche de 15 mm		$U_{net fin} = U_{fin} - U_c = 39,8 - 15 = 24,8 \text{ mm}$	$\frac{6000}{20} = 30 \text{ mm}$	$\frac{24,8}{30} = 0,83$

Remarques :

- *Le coefficient de hauteur pour la résistance change de 1,07 à 1,1 car la hauteur de la panne à diminuée.*
- *Le changement de poids de la panne liée à la diminution de section est négligé.*
- *Le coefficient kcrit est égal à 1.*
- *Ne pas oublier de vérifier U_{netfin}.*

Le tableau J présente une comparaison entre les deux systèmes.

Tableau J : comparaison entre les deux systèmes.

Critère	Panne sur deux appuis	Panne sur deux appuis et sur un appui intermédiaire situé dans le plan de la toiture et une contreflèche	
Volume d'une panne	0,217 m ³	0,121 m ³	44%
Taux dimensionnant	0,94	0,83	12%
Sécurité (taux ELU)	0,50	0,73	-46%

En savoir plus

Construction bois : l'Eurocode 5 par l'exemple - Le dimensionnement des barres et des assemblages en 30 applications. Yves Benoit – Editions Eyrolles - Collection Eurocode

Calcul des structures en bois : Guide d'application de l' Eurocodes 5 (structures bois) et de l'Eurocode 8 (séismes). Yves Benoit, Bernard Legrand, Vincent Tastet – Editions Eyrolles - Collection Eurocode

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)

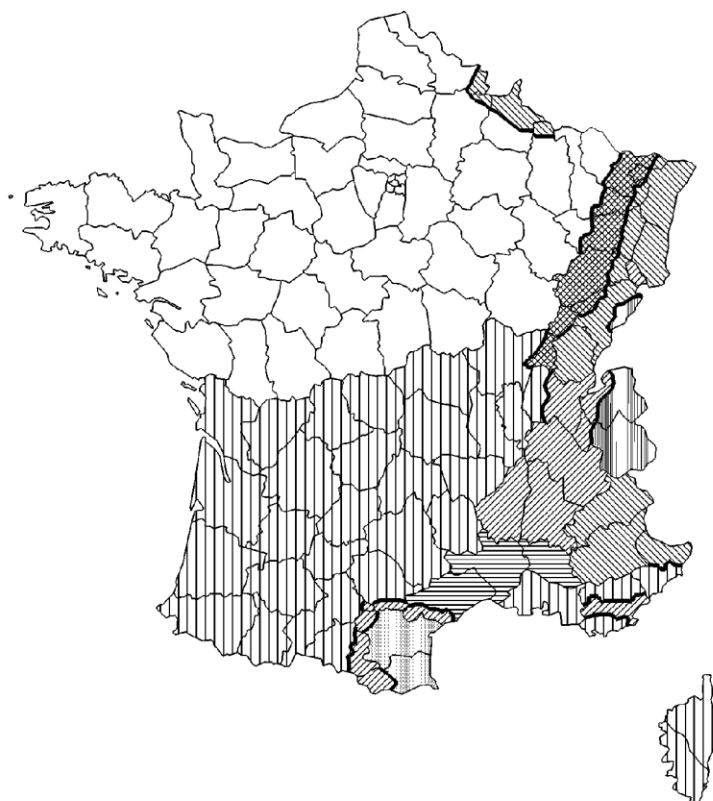
Catégorie	Charge uniformément répartie q_k (kN/m ²)	Charge concentrée Q_k (kN)
A – Logement		
– Plancher	1,5	2
– Escalier	2,5	2
– Balcon	3,5	2
B – Bureau		
– Bureau	2,5	4
C – Locaux publics		
– C1 Locaux avec table (école, restaurant, etc.)	2,5	3
– C2 Locaux avec sièges fixes (théâtre, cinéma, etc.)	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
D – Commerces		
– D1 Commerces de détail courants	5	5
– D2 Grands magasins	5	7
E – Aires de stockage et locaux industriels		
– E1 Surfaces de stockage (Entrepôts, bibliothèques,...)	7,5	7
– E2 Usage industriel	cf. CCTP	
H – Toitures		
– Si pente ≤ 15 % + étanchéité	0,8 (1)	1,5
– Autres toitures	0	1,5
I – Toitures accessibles		
– Pour les usages des catégories A à D	charges identiques à la catégorie de l'usage	
– Si aménagement paysager	≥ 3	–

(1) q_k sur une surface rectangulaire ($A \times B$) de 10 m² 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 $A_0 = 3,5$ m² lorsque l'élément étudié reprend une surface supérieure à 15,2 m².
 La 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	—
Δs_1						Δs_2	

(charges en KN/m^2)

Altitude A	Δs_1	Δs_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 μ_i pour une toiture sans dispositif de retenue de la neige

(source : NF EN 1991-1-3)

Angle α du toit (degré)	$0 < \alpha \leq 30$	$30 < \alpha \leq 60$	$\alpha \geq 60$
μ_1 (toiture à 1 ou 2 versants)	0,8	$0,8 (60 - \alpha) / 30$	0
μ_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, μ_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
Permanente :	
– (STR) : $\gamma_{G, sup}$	1,35
– (STR) : $\gamma_{G, inf}$	1
– (EQU) : $\gamma_{G, inf}$	0,9
Variable (STR) : γ_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 Ψ_0	Combinaison accidentelle (incendie) Ψ_1	Fluage et combinaison accidentelle Ψ_2
Charges d'exploitation des bâtiments			
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
Charges de neige			
Altitude > 1 000 m	0,7	0,5	0,2
Altitude \leq 1 000 m	0,5	0,3	0
Action du vent			
	0,6	0,2	0

Tab. 5. Valeur coefficient γ_M (Source : NF EN 1995-1-1)

Éléments considérés		γ_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

Tab. 6. 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 ²	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 ²	7	8	9	10	11	11,5	12	13	14
$E_{0,05}$	Module axial au 5 ^e 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
ρ_k	Masse volumique caractéristique	kg/m ³	290	310	320	340	350	370	380	400	420
ρ_{mean}	Masse volumique moyenne		350	370	380	410	420	450	460	480	500

Tab. 7. 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. 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

Tab. 9. 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}
Chevrans	-	L/150	L/125	-	L/150	L/100
Éléments structuraux	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. 10. 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.HLS	2	1,50	2,25	Sans objet
Panneau de fibre MDF	MDF.LA	1	2,25	Sans objet	Sans objet
	MDF.HLS	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.