

# Vérification aux eurocodes d'un élément de contreventement

La justification d'un élément de contreventement exige la vérification à l'état limite ultime. La première étape consiste à définir les actions provoquées par le vent. Puis il faut définir la combinaison d'action qui pondère l'effet du vent. Elle permet de calculer à l'état limite ultime la contrainte de traction axiale. La déformation étant extrêmement faible (l'allongement), il n'est pas nécessaire de vérifier l'état limite de service (ELS).

## > Sommaire

- 1 • Hypothèses de calcul
- 2 • Détermination des actions et combinaisons d'actions
- 3 • Vérification à l'état limite ultime (ELU)
- 4 • Références

## 1 Hypothèses de calcul

Considérons un élément de contreventement de section de  $90 \times 90$  mm en bois lamellé-collé classé GL24h. La travée (l'ensemble des barres formant la structure de la figure 1) reçoit un effort de 10 kN en tête provoqué par le vent. Cette diagonale est assemblée par une ferrure centrale et deux boulons de 16 mm de diamètre en file. La section de la diagonale est diminuée par le perçage de 17 mm de diamètre pour le boulon (fig. 2) pour obtenir un jeu lors de l'assemblage. La travée est sous abris dans un local non chauffé.

## 2 Détermination des actions et combinaisons d'actions

### 2.1 Détermination des actions

L'équilibre du nœud 1 (principe de la statique) apporte l'équation pour l'élément de contreventement :  $N = 10 / \sin(21,8^\circ) = 26,927$  kN (fig. 1).

### 2.2 Détermination des combinaisons d'actions

La barre de contreventement est sollicitée uniquement par les effets du vent : il suffit donc de la vérifier en résistance puisqu'il n'y a pas de risque de perte d'équilibre (fig. 3).

L'expression générale permettant de calculer les combinaisons est donnée par l'expression suivante (NF EN 1990 [1], clause 6.4.3, [2, 3]) :

## Auteur

Fonction auteur.

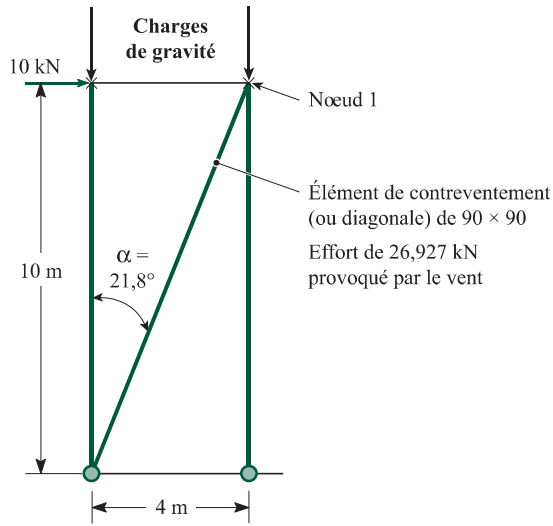


Fig. 1. Élément de contreventement dans une travée de stabilité.

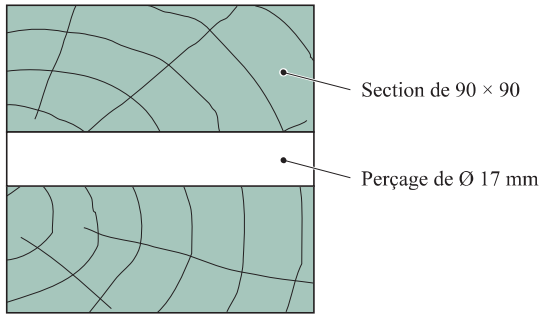


Fig. 2. Section nette soumise de l'élément de contreventement soumise à la traction.

Tab. 1. Coefficients partiels  $\gamma_q$  de l'action permanente pour un bâtiment courant (durée indicative d'utilisation de 50 ans) (source : NF EN 1990 - Tableau A1.2(B) — Valeurs de calcul d'actions (STR/GEO) (Ensemble B)).

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

$$q = \underbrace{\gamma_G G}_{\substack{\text{Action permanente} \\ \uparrow \\ \text{Coefficient partiel de l'action permanente}}} + \underbrace{\gamma_Q Q_1}_{\substack{\text{Action variable de base} \\ \uparrow \\ \text{Coefficient partiel de l'action variable}}} + \underbrace{\sum_{n=2}^{\infty} \psi_{0,i} \gamma_Q Q_i}_{\substack{\text{Action(s) variable(s) d'accompagnement} \\ \uparrow \\ \text{Facteur statistique} \quad \uparrow \\ \text{Coefficient partiel de l'action variable}}}$$

Avec :  
 $q$  : action de calcul  
 $G$  : action permanente  
 $Q$  : action variable

Les charges de gravité sont appliquées sur les poteaux par les arbalétriers. Elles n'ont donc pas d'influence sur la barre de contreventement, la combinaison devient :

$$q = \gamma_q W$$

$$q = 1,5 W$$

$$q = 1,5 \times 26\,927 = 40\,390\,N$$

Avec :  
 $q$  : valeur de la charge de calcul (N)  
 $\gamma_q$  : coefficient partiel de l'action variable (tab. 1)  
 $W$  : valeur de l'effet du vent (N)

Les valeurs des coefficients partiels sont précisées dans le tableau 1.

Fig. 3. Expression générale permettant de calculer les combinaisons à l'ELU.

### 3 Vérification à l'état limite ultime (ELU)

La vérification à l'ELU consiste à vérifier la résistance en traction axiale de l'élément de contreventement. La contrainte de traction axiale provoquée par les actions doit rester inférieure à la contrainte de résistance de traction axiale, c'est-à-dire (formule 6.1 de la norme NF EN 1995-1-1 [4]) :

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

Le taux de travail est calculé comme suit :

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1$$

avec :

$\sigma_{t,0,d}$  : contrainte de traction axiale provoquée par les actions (N/mm<sup>2</sup>).

$f_{t,0,d}$  : contrainte de résistance de traction axiale de résistance (N/mm<sup>2</sup>).

### 3.1 Calcul de la contrainte provoquée par les actions $\sigma_{t,0,d}$

La contrainte de traction axiale  $\sigma_{t,0,d}$  est définie par la formule :

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N}{A}$$

avec :

$N = 40390$  N, effort normal provoquant de la traction

$A = (90 - 17) \times 90 = 6\,570$  mm<sup>2</sup>, aire du bois soumis à la traction

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{40390}{6\,570} = 6,2 \text{ N / mm}^2$$

### 3.2 Calcul de la contrainte de résistance du bois $f_{t,0,d}$

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 et de la plus grande dimension de la section. Les tableaux 2 et 3 présentent les contraintes caractéristiques, les tableaux 4 et 5 mentionnent les valeurs des coefficients  $\gamma_M$  et  $k_{mod}$ . La contrainte de résistance du bois est calculée comme suit (norme NF EN 1995-1-1, formule 2.14 et clauses 3.22 et 3.32 [4]) :

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

$f_{t,0,k} = 16,5$  N/mm<sup>2</sup>, contrainte caractéristique de résistance en traction axiale pour un résineux classé GL24h (déterminé à partir du tableau 3).

$k_{mod} = 1,1$  coefficient modificatif en fonction de la charge de plus courte durée de la combinaison d'actions (le vent) et de la classe de service 2 (déterminé à partir du tableau 4).

$\gamma_M = 1,25$ , coefficient partiel qui tient compte de la dispersion du matériau (déterminé à partir du tableau 5).

$k_h = 1,1$  Coefficient de la plus grande dimension. Le coefficient  $k_h$  majore les résistances pour les dimensions inférieures à 150 mm pour le bois massif et 600 mm pour le bois lamellé-collé. Le risque de défauts cachés dans la structure du bois est moins important pour les petites sections que pour les grandes sections.

Le calcul du coefficient de hauteur pour du bois massif est effectué comme suit (formule 3.1 de la norme NF EN 1995-1-1 [4]) :

– si  $h \geq 150$  mm alors  $Kh = 1$

– si  $h \leq 150$  mm alors  $Kh = \min [1,3 ; (150/h)^{0,2}]$

Le coefficient de hauteur pour du bois lamellé-collé est calculé comme suit (formule 3.2 de la norme NF EN 1995-1-1) :

– si  $h \geq 600$  mm alors  $Kh = 1$

– si  $h \leq 600$  mm alors  $Kh = \min [1,1 ; (600/h)^{0,1}] = \min [1,1 ; (600/90)^{0,1}] = 1,1$

avec :

$h$  : hauteur de la pièce (mm)

$Kh$  : coefficient de hauteur

$$f_{t,0,d} = 16,5 \times \frac{1,1}{1,25} \times 1,1 = 16 \text{ N / mm}^2$$

Tab. 2. Valeurs caractéristiques des bois massifs résineux et de peuplier (source : NF EN 338 [5]).

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 traction axiale		16	17	18	20	21	22	23	25	26
$f_{c,90,k}$	Contrainte de traction 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		1,7	1,8	2,0	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8
$E_{0,mean}$	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> percentile		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. 3. Valeurs caractéristiques des bois lamellés (source : NF EN 1194 [6]).

Symbole	Désignation	Unité	Lamellés collés homogènes				Lamellés collés panachés			
			GL24h	GL28h	GL32h	GL36h	GL24c	GL28c	GL32c	GL36c
$f_{m,g,k}$	Contrainte de flexion	N/mm <sup>2</sup>	24	28	32	36	24	28	32	36
$f_{t,0,g,k}$	Contrainte de traction axiale		16,5	19,5	22,5	26,0	14,0	16,5	19,5	22,5
$f_{t,90,g,k}$	Contrainte de traction perpendiculaire		0,40	0,45	0,50	0,60	0,35	0,40	0,45	0,50
$f_{c,0,g,k}$	Contrainte de traction axiale		24	26,5	29	31	21	24	26,5	29
$f_{c,90,g,k}$	Contrainte de traction perpendiculaire		2,7	3,0	3,3	3,6	2,4	2,7	3,0	3,3
$f_{v,g,k}$	Contrainte de cisaillement		2,7	3,2	3,8	4,3	2,2	2,7	3,2	3,8
$E_{0,g,mean}$	Module moyen axial	kN/mm <sup>2</sup>	11,6	12,6	13,7	14,7	11,6	12,6	13,7	14,7
$E_{0,g,05}$	Module axial au 5 <sup>e</sup> pourcentile		9,4	10,2	11,1	11,9	9,4	10,2	11,1	11,9
$E_{90,g,mean}$	Module moyen transversal		0,39	0,42	0,46	0,49	0,32	0,39	0,42	0,46
$G_{g,mean}$	Module de cisaillement		0,75	0,78	0,85	0,91	0,59	0,72	0,78	0,85
$\rho_{g,k}$	Masse volumique caractéristique	kg/m <sup>3</sup>	380	410	430	450	350	380	410	430

Tab. 4. Valeur du facteur pour la durée de chargement  $k_{mod}$  du bois massif (source : NF EN 1995-1-1/A1 [7]).

Matériau (1)	Norme	Classe de service	Classe de durée de chargement				
			Action permanente	Action long terme	Action moyen terme	Action court terme	Action instantanée
Bois massif, Bois lamellé-collé et lamibois	EN 14081-1	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90

(1) xxx

Tab. 5. Valeur coefficient  $\gamma_M$  (source : NF EN 1995-1-1/NA [8]).

Éléments considérés		$\gamma_M$
Matériaux	Bois	1,3
	Lamellé-collé	1,25
	Lamibois (LVL), OSB	1,2

### 3.3 Taux de travail

Le taux de travail est :  $\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{6,2}{16} = 0,16 < 1,$

Le critère est vérifié avec la combinaison  $G + 1,5 W$ , donc à l'état limite ultime.

## 4 Références

[1] NF EN 1990 (mars 2003 - indice de classement : P 06-100-1) : Eurocodes structuraux - Bases de calcul des structures.

[2] NF EN 1990/A1 (juillet 2006 - indice de classement : P 06-100-1/A1) : Eurocode - Bases de calcul des structures.

[3] NF EN 1990/A1/NA (décembre 2007 - indice de classement : P 06-100-1/A1/NA) : Eurocode - Bases de calcul des structures - Annexe nationale à la norme NF EN 1990/A1 de 2006.

[4] NF EN 1995-1-1 (novembre 2005 - indice de classement : P 21-711-1) : Eurocode 5 - Conception et calcul des structures en bois - Partie 1-1 : généralités - Règles communes et règles pour les bâtiments - 2<sup>e</sup> tirage (septembre 2006) - Modifié par amendement A1 (octobre 2008).

[5] NF EN 338 (décembre 2009 - indice de classement : P 21-353) : Bois de structure - Classes de résistance

[6] NF EN 1194 (juillet 1999 - indice de classement : P 21-354) : Structure en bois - Bois lamellé-collé - Classes de résistance et détermination des valeurs caractéristiques.

[7] NF EN 1995-1-1/A1 (octobre 2008 - indice de classement : P 21-711-1/A1) : Eurocode 5 - Conception et calcul des structures en bois - Partie 1-1 : généralités - Règles communes et règles pour les bâtiments

[8] NF EN 1995-1-1/NA (mai 2010 - indice de classement : P 21-711-1/NA) : Eurocode 5 - Conception et calcul des structures en bois - Partie 1-1 : généralités - Règles communes et règles pour les bâtiments - Annexe nationale à la norme NF EN 1995-1-1.