



Noria & Compagnie
« Charpente bois:
calculs »

David DESCAMPS

samedi 2 mai 2015

Gwenan Ingénierie / eztiMAT

[Gwenan/INGÉNIERIE

[Gwenan/INGÉNIERIE
concevoir, construire sain et écologique.

Présentation

- BET Structure Bois (Bâtiment) / cœur de métier
- Économiste Construction Bois
- (Co)Maîtrise d'Œuvre
- Editeur de logiciel (eztiMAT)
- Organisme de Formation Professionnelle



Objectifs

Principaux

- > Savoir comment est calculée une charpente bois
- > Prendre conscience de la dimension complexe des calculs de structures bois selon les Eurocodes

Plan de l'exposé

La charpente et la RdM : rappels

Principes de calculs des structures

- > base de calculs des structures (EC0)
- > chargement des structures (EC1)
- > calculs des structures en bois (EC5)
- > Calcul d'une solive
- > Calcul d'une panne à dévers
- > Calcul d'un arbalétrier
- > Calcul d'un entrain et poinçon

La charpente et la RdM : rappels

Charpentes

- Éléments de charpente

RdM

- Efforts : poids, forces
- Notion d'efforts internes : les contraintes
- Notion d'équilibre statique et de résistance

Principes de calculs des structures

Eurocode 0

- Situations de projet :

- transitoire ; durable ; accidentelle (feu) ; sismique

- Classification des actions :

- permanentes : poids propres

- variables : moyen, court terme, instantané
exploitation, climatiques :
neige, vent

- accidentelles : feu, chocs, sismique

Principes de calculs des structures

Eurocode 0

- Classification des actions :
symbolisation

- permanentes
- variables :
 - exploitation
 - neige
 - vent
- accidentelles :
 - feu
 - sismique

Symbole	Type	Désignation	
G	Actions permanentes	Poids propre de la structure	
		Poids propre des équipements	
Q	Actions variables	Charges d'exploitation	Q
		Charges climatiques de neige	S
		Charges climatiques de vent	W
A	Actions accidentelles	Explosions, chocs	
		Actions sismiques	

Principes de calculs des structures

Eurocode 0

Classe de durée de chargement cumulée	Ordre de grandeur de la durée de la charge caractéristique	Classe de durée de chargement	Exemples de chargement
Permanent	plus de 10 ans	Permanent	poids propre
Long terme	6 mois — 10 ans	Long terme	stockage
Moyen terme	1 semaine — 6 mois	Moyen terme	charge d'occupation, neige
Court terme	moins d'une semaine	Court terme	neige, vent
Instantané		Instantané	vent, action accidentelle

Principes de calculs des structures

Eurocode 0

- Principes des calculs : EL pour Etats Limites

- Etat Limite de Service ELS = déformations
- Etat Limite Ultime ELU = résistance
- ELU : vérification dans différentes situations :

STR : différents éléments de la structure (solive, arbalétrier, poteau, etc.)

EQU : Équilibre statique de la structure : basculement ?

GEO : résistance géotechnique : fondations

Principes de calculs des structures

Eurocode 0

- Valeurs caractéristiques des actions

- calculs ELS : sans coefficient majorateur sur les charges (mais avec coef. minorateur possible)
- calculs ELU : avec coefficients sur les charges

Principes de calculs des structures

ELU
&
ELS

État limite vérifié	Action permanente (G_k)	Action variable de base (Q_k)	Actions variables d'accompagnement (Q_k)	Action accidentelle ($\gamma_A A_k$)
ELU (STR : résistance de la structure)	$\gamma_{G, sup} G_k$	$\gamma_Q Q_k$	$\psi_0 \gamma_Q Q_k$	
Exemple	Poids de la structure	Neige	Vent (pression*)	
ELU (STR : résistance de la structure au soulèvement)	$\gamma_{G, inf} G_k$	$\gamma_Q Q_k$		
Exemple	Poids de la structure	Vent (dépression*)		
ELU (EQU : risque de soulèvement au vent)	$\gamma_{G, inf} G_k$	$\gamma_Q Q_k$		
Exemple	Poids de la structure	Vent (dépression*)		
ELU (STR et EQU en situation accidentelle)	G_k	$\psi_1 Q$ ou $\psi_2 Q$	$\psi_2 Q_k$	A_d ou A_{ed}
Exemple	Poids de la structure	Charge d'exploitation	Vent (pression*)	Neige accidentelle
ELS (INST) caractéristique	G_k	Q_k	$\psi_0 Q_k$	
Exemple	Poids de la structure	Charge d'exploitation (exemple : comble habitable)	Neige	

Principes de calculs des structures

ELS

État limite vérifié	Action permanente (G_k)	Action variable de base (Q_k)	Actions variables d'accompagnement (Q_k)	Action accidentelle ($\gamma_A A_k$)
ELS (DIF) quasi permanente	G_k	$\psi_2 Q_k$		
Exemple	Poids de la structure	Charge d'exploitation		

* Pression et dépression : action du vent sur les parois extérieures.

Principes de calculs des structures

ELU

Coefficients partiels en fonction du type d'action	Bâtiment usuel
Durée indicative d'utilisation du bâtiment	50 ans
Action permanente (STR) : $\gamma_{G,sup}$	1,35
Action permanente (STR) : $\gamma_{G,inf}$	1
Action permanente (EQU) : $\gamma_{G,inf}$	0,9
Action variable (STR) : γ_Q	1,5

Principes de calculs des structures

ELU & ELS

- Valeurs caractéristiques des actions : exemple
 Combinaisons d'actions pour justifier la structure d'un plancher d'un local d'habitation

charge de structure et d'exploitation :
G = 0,3 kN/m² et Q = 1,5 kN/m²

État limite vérifié	Combinaison d'actions (Q : action variable)	Valeur des coefficients	Application numérique (kN/m ²)
ELU (STR)	$\gamma_{G,sup}G$	1,35 G	0,405
ELU (STR)	$\gamma_{G,sup}G + \gamma_Q Q$	1,35 G + 1,5 Q	2,655
ELS INST(Q)	Q	Q	1,5
ELS (DIF)	$G + \psi_2 Q$	G + 0,3 Q	0,75

Principes de calculs des structures

ELU & ELS

- Valeurs caractéristiques des actions : exemple
 Combinaisons d'actions pour justifier les éléments d'une toiture
 d'un bâtiment d'altitude > 1 000 m

Charge de structure, de neige et action du vent avec :

charge de structure	$G = 0,35 \text{ kN/m}^2$
action de la neige maximum	$S = 0,33 \text{ kN/m}^2$
action de la neige accidentelle	$S_a = 0,22 \text{ kN/m}^2$
action du vent (pression)	$W_p = 0,1 \text{ kN/m}^2$
action du vent (dépression)	$W_d = - 0,8 \text{ kN/m}^2$

Principes de calculs des structures

	État limite vérifié	Combinaison d'actions (Q : action variable)	Valeur des coefficients	Application numérique (kN/m ²)
C1	ELU (STR)	$\gamma_{G,\text{sup}}G$	1,35 G	0,473
C2	ELU (STR)	$\gamma_{G,\text{sup}}G + \gamma_Q Q$	1,35 G + 1,5 S	0,968
C3	ELU (STR)	$\gamma_{G,\text{sup}}G + \gamma_Q Q + \psi_0 \gamma_Q Q$	1,35 G + 1,5 S + 0,9 Wp	1,058
C4	ELU (STR)	$\gamma_{G,\text{sup}}G + \gamma_Q Q + \psi_0 \gamma_Q Q$	1,35 G + 1,5 Wp + 1,05 S	0,969
C5	ELU (STR)	$G + \gamma_A A$	G + Sa	0,57
C6	ELU (STR)	$G + \gamma_A A + \psi_2 Q$	G + Sa + 0,2 Wp	0,59
C7	ELU (STR)	$\gamma_{G,\text{inf}}G + \gamma_Q Q$	G + 1,5 Wd	- 0,85
C8	ELU (EQU)	$\gamma_{G,\text{inf}}G + \gamma_Q Q$	0,9 G + 1,5 Wd	- 0,885
C9	ELS INST(Q)	Q	S	0,33
C10	ELS INST(Q)	$Q + \psi_0 Q$	S + 0,6 Wp	0,39
C11	ELS INST(Q)	$Q + \psi_0 Q$	Wp + 0,7 S	0,331
C12	ELS INST(Q)	Q	Wd	- 0,8
C13	ELS (DIF)	$G + \psi_2 Q$	G + 0,2 S	0,416

Principes de calculs des structures

ELU & ELS : analyse

C1 : vérification de la résistance de l'ouvrage avec le poids propre de la structure uniquement.

C2 et C3 : vérification de la résistance de l'ouvrage avec la neige comme action variable de base.

C4 : vérification de la résistance de l'ouvrage avec le vent comme action variable de base.

C5 et C6 : vérification de la résistance de l'ouvrage avec la neige comme action accidentelle.

C7 : vérification de la résistance de l'ouvrage vis-à-vis du risque de soulèvement.

C8 : vérification de la stabilité de l'ouvrage vis-à-vis du risque de soulèvement.

C9 à C11 : vérification de la déformation instantanée de l'ouvrage.

C12 : vérification de la déformation instantanée de l'ouvrage vis-à-vis du risque de soulèvement.

C13 : vérification de la déformation différée de l'ouvrage.

Principes de calculs des structures

Eurocode 0

- Principes des calculs : ELU

- Efforts appliqués à la structure : E_d
- Résistance de la structure : R_d
- Principe de base : $R_d > E_d$

Principes de calculs des structures

Eurocode 0

- Principes des calculs : ELU

- Contraintes internes à la structure : σ_d
- Résistance des éléments de la structure : f_d
- Principe de base : $\sigma_d < f_d$

Principes de calculs des structures

Eurocode 5

- ELU et le matériau bois : adaptation des caractéristiques mécaniques

- Coef. Modificatif pour tenir compte des dispersions (statistiques) des caractéristiques du bois (nœuds, défauts, etc.) :

$$\gamma_m$$

- Coef. Modificatif pour tenir compte des variations des caractéristiques du bois en fonction du taux d'HR et de la durée de chargement de l'élément de la structure en bois :

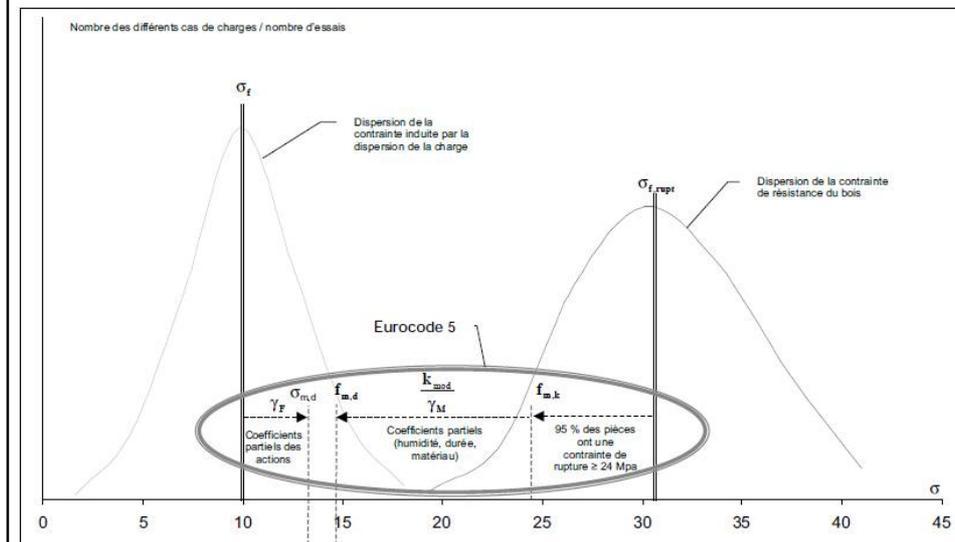
$$k_{mod}$$

- Principe de base : $f_d = f_k \times k_{mod} / \gamma_m$

Avec f_k = résistance caractéristique du bois (flexion, traction, compression, cisaillement)

Principes de calculs des structures

Schéma 10 : principes de justification des états limites ultimes des eurocodes 5, vérifications de la contrainte de flexion



Principes de calculs des structures

Eurocode

- ELU et le matériau bois : adaptation des caractéristiques mécaniques f_k = résistance caractéristique du bois

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	N/mm ²	8	10	11	13	14	16	18	21	24
$f_{t,90,k}$	Contrainte de traction perpendiculaire	N/mm ²	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	N/mm ²	16	17	18	20	21	22	23	25	26
$f_{c,90,k}$	Contrainte de compression perpendiculaire	N/mm ²	2,0	2,2	2,2	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
$f_{v,k}$	Contrainte de cisaillement	N/mm ²	1,7	1,8	2,0	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8

Principes de calculs des structures

Eurocode 5

- ELU et le matériau bois : adaptation des caractéristiques mécaniques f_k = résistance caractéristique du bois

Symbole	Désignation	Unité	D30	D35	D40	D50	D60	D70
$f_{m,k}$	Contrainte de flexion	N/mm ²	30	35	40	50	60	70
$f_{t,0,k}$	Contrainte de traction axiale	N/mm ²	18	21	24	30	36	42
$f_{t,90,k}$	Contrainte de traction perpendiculaire	N/mm ²	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
$f_{c,0,k}$	Contrainte de compression axiale	N/mm ²	23	25	26	29	32	34
$f_{c,90,k}$	Contrainte de compression perpendiculaire	N/mm ²	8,0	8,4	8,8	9,7	10,5	13,5
$f_{v,k}$	Contrainte de cisaillement	N/mm ²	3,0	3,4	3,8	4,6	5,3	6,0

Principes de calculs des structures

ELU et le matériau bois : valeur du k_{mod} du bois massif, du lamellé-collé, du lamibois (LVL) et du contreplaqué

Durée de chargement		Classe de service		
Classe de durée	Exemple	1 Hbois < 13 % (local chauffé)	2 13 % < Hbois < 20 % (sous abri)	3 Hbois > 20 % (extérieur)
Permanente (> 10 ans)	Charge de structure	0,6	0,6	0,5
Long terme (6 mois à 10 ans)	Stockage	0,7	0,7	0,55
Moyen terme (1 semaine à 6 mois)	Charges d'exploitation Neige Altitude > 1 000 m	0,8	0,8	0,65
Court terme (< 1 semaine)	Neige Altitude < 1 000 m	0,9	0,9	0,7
Instantanée	Vent, neige exceptionnelle	1,1	1,1	0,9

Principes de calculs des structures

ELU et le matériau bois : valeur du k_{mod} des panneaux de lamelles minces, longues et orientées (OSB)

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

Principes de calculs des structures

ELU et le matériau bois : valeur du γ_m en fonction de la dispersion du matériau

États limites ultimes		
Combinaisons fondamentales		
Matériaux	Bois	1,3
	Lamellé-collé	1,25
	Lamibois (LVL), OSB	1,2
Assemblages (p. 171)		1,3
Combinaisons accidentelles		1,0
États limites de service		1,0

Principes de calculs des structures

Eurocode 0

- Principes des calculs : ELS

- Déformation de la structure : W (flèche)

- Déformation acceptable (*) de la structure : W_{lim}
 (* : limite)

-Principe de base : $W < W_{lim}$

Principes de calculs des structures

Eurocode 0

- Principes des calculs : ELS

- Déformation de la structure : W (flèche)

-Détail du calcul d'une flèche selon les EC :

$$W_{net,fin} = W_{fin} - W_c = W_{inst} + W_{creep} - W_c$$

$W_{net,fin}$ = flèche nette finale

W_{inst} = flèche instantanée

W_{creep} = flèche à long terme (fluage)

W_c = contre-flèche

Principes de calculs des structures

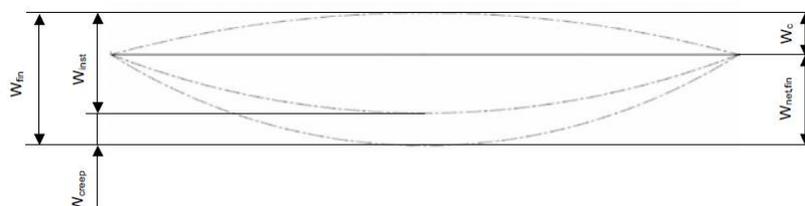
Eurocode 0

- Principes des calculs : ELS

- Déformation de la structure : W (flèche)

- Détail du calcul d'une flèche selon les EC :

$$W_{net,fin} = W_{fin} - W_c = W_{inst} + W_{creep} - W_c$$



Principes de calculs des structures

Eurocode 0

- Principes des calculs : ELS

valeurs limites pour les flèches verticales et horizontales

	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/150	–	L/150	L/150
Éléments structuraux	L/300	L/200	L/125	L/200	L/150	L/100

Consoles et porte-à-faux : la valeur limite (absolue) sera doublée (ex : L/125 doublée => L/75).

La valeur limite minimum est 5 mm

Panneaux de planchers ou supports de toiture : $W_{net,fin} < L/250$.

Flèche horizontale : L/200 pour les éléments individuels soumis au vent

Principes de calculs des structures

Eurocode 5

- Principes des calculs : ELS - Fluage : coef. modificatif K_{def}
 flèche de fluage $W_{creep} = \text{flèche calculée} \times (\psi_2 \times K_{def})$

Matériau / classe de durée de charge		Classe de service		
		1 Hbois < 13 % (local chauffé)	2 13 % < Hbois < 20 % (sous abris)	3 Hbois > 20 % (extérieur)
Bois massif ⁽¹⁾	NF EN 14081-1 de mai 2006	0,60	0,80	2,00
Lamellé-collé	NF EN 14080 de décembre 2005	0,60	0,80	2,00
Lamibois (LVL)	NF EN 14374 de mars 2005	0,60	0,80	2,00
Contreplaqué	NF EN 636 de décembre 2003			
	Milieu sec	0,80	Sans objet	Sans objet
	Milieu humide	0,80	1,00	Sans objet
	Milieu extérieur	0,80	1,00	2,50

Principes de calculs des structures

Eurocode 5

- Principes des calculs : ELS - Fluage : coef. modificatif K_{def}

Matériau / classe de durée de charge		Classe de service		
		1 Hbois < 13 % (local chauffé)	2 13 % < Hbois < 20 % (sous abris)	3 Hbois > 20 % (extérieur)
OSB	NF EN 300 d'octobre 2006			
	OSB/2	2,25	Sans objet	Sans objet
	OSB /3 /4	1,50	2,25	Sans objet
Panneau de particules	EN 312 de février 2004			
	Milieu sec (P4)	2,25	Sans objet	Sans objet
	Milieu humide (P5)	2,25	3,00	Sans objet
	Sous contrainte élevée, milieu sec (P6)	1,50	Sans objet	Sans objet
	Sous contrainte élevée, milieu humide (P7)	1,50	2,25	Sans objet

(1) – Pour les bois massifs placés à une humidité supérieure à 20 % et susceptibles de sécher sous charge (classe de service 2), K_{def} est augmenté de 1,00.

Principes de calculs des structures

Environnement => emploi (classe)

3 classes de service

2.5 Classes de service

2.5.1 Définition des classes

Classe de service 1 : classe de service caractérisée par une teneur en humidité dans les matériaux qui correspond à une température de 20 °C et une humidité relative ambiante ne dépassant 65 % que pendant quelques semaines au cours de l'année (pour la plupart des bois résineux, la classe de service 1 correspond à une humidité moyenne d'équilibre inférieure ou égale à 12 %).

NF EN 1995
2.3.1.3

Principes de calculs des structures

Environnement => emploi (classe)

3 classes de service

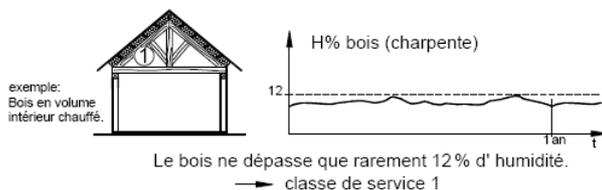


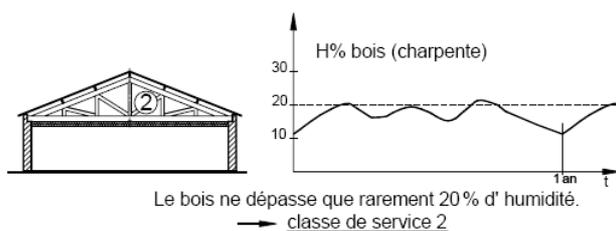
Figure 2-3 : Exemple de classe de service 1

Classe de service 2 : classe de service caractérisée par une teneur en humidité dans les matériaux qui correspond à une température de 20 °C et une humidité relative ambiante ne dépassant 85 % que pendant quelques semaines au cours de l'année (pour la plupart des bois résineux, la classe de service 2 correspond à une humidité moyenne d'équilibre inférieure ou égale à 20 %).

Principes de calculs des structures

Environnement => emploi (classe)

3 classes de service



NF EN 1995
2.3.1.3

Figure 2-4 : Exemple de classe de service 2

Remarque :

En fonction des régions, la classe de service pour une même structure peut être différente. Par exemple, les combles perdus de la Figure 2-4 seront en classe de service 2 dans le nord de la France mais en classe de service 1 dans le sud-est.

Principes de calculs des structures

Environnement => emploi (classe)

3 classes de service

Classe de service 3 : classe de service caractérisée par des conditions climatiques conduisant à des humidités plus élevées (les structures abritées ne pourraient être considérées en classe 3 que dans des cas exceptionnels).

NF EN 1995
2.3.1.3

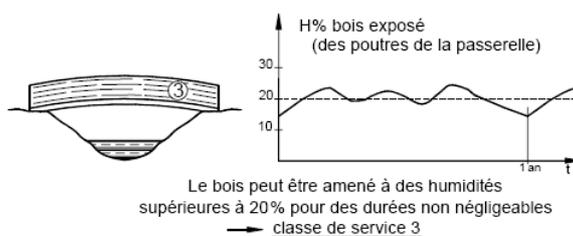


Figure 2-5 : Exemple de classe de service 3

Principes de calculs des structures

Environnement => emploi (classe)

3 classes de service

En tenant compte des conditions climatiques et en référence aux clauses 2.3.1.3 (2) ; (3) et (4) de l'EN 1995-1-1, on pourra affecter les structures aux classes de services conformément aux recommandations suivantes :

- **Classe de service 1** : Structure intérieure en milieu sec : l'humidité moyenne est stabilisée de 7 à 13 % d'humidité
- **Classe de service 2** : Charpente abritée soumise à variations hygrométriques, murs à ossature bois... : l'humidité moyenne est stabilisée de 13 à 20 % d'humidité
- **Classe de service 3** : Au-delà.

NF EN
1995/NA

Note :

Pour les bâtiments dont l'humidité moyenne stabilisée est inférieure à 7 % il conviendra de mener une étude particulière.

Principes de calculs des structures

Eurocode 5

- Principes des calculs : ELS - Fluage : coef. modificatif K_{def}
 flèche de fluage $W_{creep} = \text{flèche calculée} \times (\psi_2 \times K_{def})$

Action	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Charges d'exploitation des bâtiments, catégorie (voir EN 1991-1-1) :			
Catégorie A : habitation, zones 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 : commerces	0,7	0,7	0,6
Catégorie E : stockage	1,0	0,9	0,8
Catégorie F : zone de trafic, véhicules de poids < 30 kN	0,7	0,7	0,6
Catégorie G : zone de trafic, véhicules de poids compris entre 30 kN et 160 kN	0,7	0,5	0,3
Catégorie H : toits	0	0	0
Charges dues à la neige sur les bâtiments (voir EN 1991-1-3) ^{a)} :			
Finlande, Islande, Norvège, Suède	0,70	0,50	0,20
Autres États Membres CEN, pour lieux situés à une altitude $H > 1\ 000$ m a.n.m.	0,70	0,50	0,20
Autres États Membres CEN, pour lieux situés à une altitude $H \leq 1\ 000$ m a.n.m.	0,50	0,20	0
Charges dues au vent sur les bâtiments (voir EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Température (hors incendie) dans les bâtiments (voir EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0

NOTE : Les valeurs des coefficients ψ peuvent être données dans l'Annexe Nationale.

a) Pour des pays non mentionnés dans ce qui suit, se référer aux conditions locales appropriées.

Principes de calculs des structures

Eurocode 5

- Principes des calculs : ELS - Fluage : coef. modificatif K_{def}
 flèche de fluage $W_{creep} = \text{flèche calculée} \times (\psi_2 \times K_{def})$

Neige :

	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Pour tous les sites dont l'altitude est supérieure à 1 000 mètres au dessus du niveau de la mer	0,70	0,50	0,20
Pour tous les sites dont l'altitude est inférieure à 1 000 mètres au dessus du niveau de la mer	0,50	0,20	0

Principes de calculs des structures

Eurocode 5

- sections nettes des poutres bois : K_h

Coef. majorant la résistance en flexion et / ou en traction
 d'une poutre d'une section de hauteur h inférieure
 à 150 mm pour le bois massif
 et à 600 mm pour le lamellé collé

$$K_h \leq 1$$

Quid des sections de 150 mm refendues sur chantier ?

Principes de calculs des structures

Eurocode 5

- risque de flambement : $K_{c,z}$ ou $K_{c,y}$

Coef. minorant la résistance en compression axiale d'un poteau ou d'une poutre soumis à un effort axial de compression

$$K_{c,z} \text{ ou } K_{c,y} \leq 1$$

Principes de calculs des structures

Eurocode 5

- risque de cisaillement aux appuis
ou en compression perpendiculaire localisée (*) : $K_{c,90}$

Coef. majorant la résistance en compression transversale
Dans certains cas très précis.

$$K_{c,90} \geq 1$$

(*) : exemple = montant d'OB sur sa lisse basse.

Principes de calculs des structures

Eurocode 5

- risque de déversement : K_{crit}

Coef. minorant la résistance en flexion d'une poutre, pour tenir compte du risque de déversement.

$$K_{crit} \leq 1$$

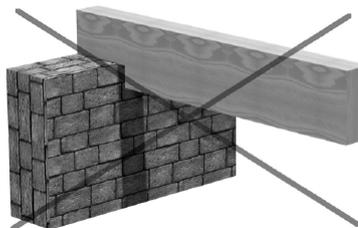
Principes de calculs des structures

Eurocode 5

- aggravation du risque de cisaillement d'appui sur entaille : K_v

Coef. minorant la résistance au cisaillement d'une poutre, pour tenir compte d'une diminution de section par entaille, dans la zone dite « tendue » (flexion).

$$K_v \leq 1$$



Principes de calculs des structures

Eurocodes

- cas de sollicitations conjuguées :

Flexion + traction : Taux de travail = $\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1$

Flexion + compression :

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

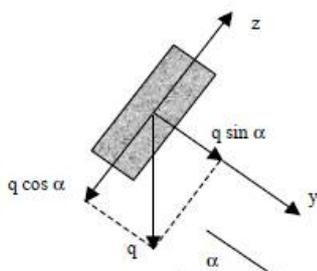
Principes de calculs des structures

Eurocodes

- cas de sollicitations conjuguées :

Flexion déviée : Taux de travail = maximum $\left\{ \begin{array}{l} \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \\ k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \end{array} \right\} \leq 1$

(panne à dévers)



Chargement des structures

Eurocode 1

- Charges d'exploitation

Catégorie	q_k (kN/m ²)	Q_k (kN)
A Logements		
Plancher	1,5	2
Balcon	2,5	2
Escalier	3,5	2
B Bureaux		
Bureaux	2,5	4
C Locaux publics		
C1 Locaux avec tables (écoles, restaurants...)	2,5	3
C2 Locaux avec sièges fixes (théâtres, cinémas...)	4	4
C3 Locaux sans obstacles à la circulation (musées, salles d'exposition)	4	4
C4 Locaux pour activités physiques (dancings, salles de gymnastique...)	5	7
C5 Locaux susceptibles d'être surpeuplés (salles de concert, terrasses...)	5	4,5

Chargement des structures

Eurocode 1

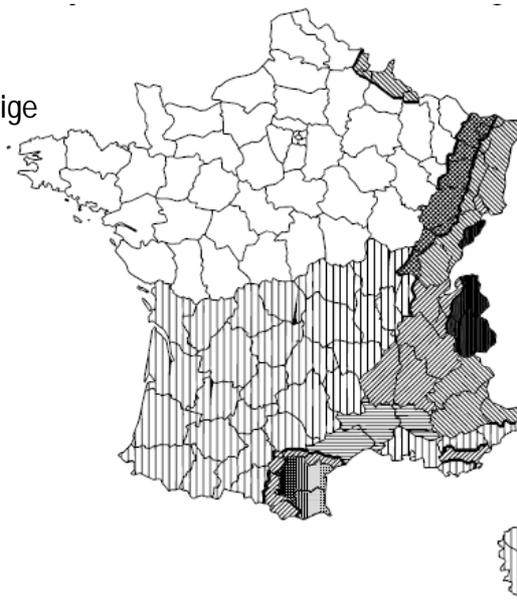
- Charges d'exploitation

Catégorie	q_k (kN/m ²)	Q_k (kN)
D Commerces		
D1 Commerces de détails 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*	1,5
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	

Chargement des structures

Eurocode 1

- charges climatiques : neige



Chargement des structures

Eurocode 1

- charges climatiques : neige



Régions :

Régions :	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D	E
Valeur caractéristique (S_k) de la charge de neige sur le sol à une altitude inférieure à 200 m :	0,45	0,45	0,55	0,55	0,65	0,65	0,90	1,40
Valeur de calcul (S_{Ad}) de la charge exceptionnelle de neige sur le sol :	—	1,00	1,00	1,35	—	1,35	1,80	—
Loi de variation de la charge caractéristique pour une altitude supérieure à 200 :	Δs_1						Δs_2	

Chargement des structures

Eurocode 1

- charges climatiques : neige

La charge de neige sur le sol à une altitude A (en m) est déterminée par le calcul.

Toutes les zones sauf le Jura et le nord des Alpes :

$$- s_k = s_{k200} + 0,1 \left(\frac{A - 200}{100} \right) \text{ pour } 200 \text{ m} < A \leq 500 \text{ m} ;$$

$$- s_k = s_{k200} + 0,3 + 0,15 \left(\frac{A - 500}{100} \right) \text{ pour } 500 \text{ m} < A \leq 1\,000 \text{ m} ;$$

$$- s_k = s_{k200} + 1,05 + 0,35 \left(\frac{A - 1000}{100} \right) \text{ pour } 1\,000 \text{ m} < A \leq 2\,000 \text{ m}.$$

Chargement des structures

Eurocode 1

- charges climatiques : neige

Tableau 4 : calcul des coefficients μ_i pour une toiture à deux versants sans dispositif de retenue de la neige

Angle 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	–

* μ_1 ne sera pas diminué s'il y a des éléments qui empêchent la neige de glisser (barres à neige, acrotères...).

Calcul des structures

Formules

Moment fléchissant pour une charge répartie

$$M_f = q L^2 / 8 \quad (q = \text{charge linéaire en N/m ; } L = \text{portée en m})$$

Contrainte de flexion

$$\sigma_f = M_f / (I_{gz} / v) \quad \text{avec } I_{gz} = b h^3 / 12 \quad \text{et } v = h / 2$$

Contrainte de cisaillement

$$\sigma_v = 1.5 E d / (b \times h)$$

Etude de cas :

Solive

Panne à dévers

Arbalétrier

Entrait et poinçon