



Calcul Structures Bois

Eurocode 5

ENTPE 2014

Eric Perrin - Construction et structure Bois - 3^{ème} année



Sommaire

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d' exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

• Bases de calcul

• Actions sur les structures

• Calcul Sollicitations

• Vérification des éléments

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU et ELS
- Classe de service
- Valeur calcul de la résistance
- Comparaison CB71 – EC5
- Variabilité des actions
- Evaluation des charges
- Combinaison d'actions
- Résistance de calcul
- Vérification ELU
- Vérification ELS

E.NTPE - Janvier 2014

Calcul des Structures Bois

2



Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d' exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

Bases de calcul

E.NTPE - Janvier 2014

Calcul des Structures Bois

3



Contexte Normatif

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d' exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

♦ Normes de conception et de calcul

- Exemple: EC 5 = NF-EN 1995

• Normes de matériaux (aciers, bétons, bois)

- Exemple: classement bois EN338

• Normes de produits (appareils d'appuis, organes d'assemblages...)

• Agréments techniques (lamellé collé, précontrainte...)

- Exemple: EN14374 LVL structural

▪ Normes d'exécution et de mise en œuvre

- Exemple: DTU 31.1 Charpente en bois

▪ Normes d'essai

- Exemple: EN 409 détermination du moment plastique des organes de type tiges.

• Autres normes françaises: exemples

- B52-001: classement visuel des bois
- P21-400: classe de résistance et contraintes admissibles.

E.NTPE - Janvier 2014

Calcul des Structures Bois

4



LIENS ENTRE LES EUROCODES

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

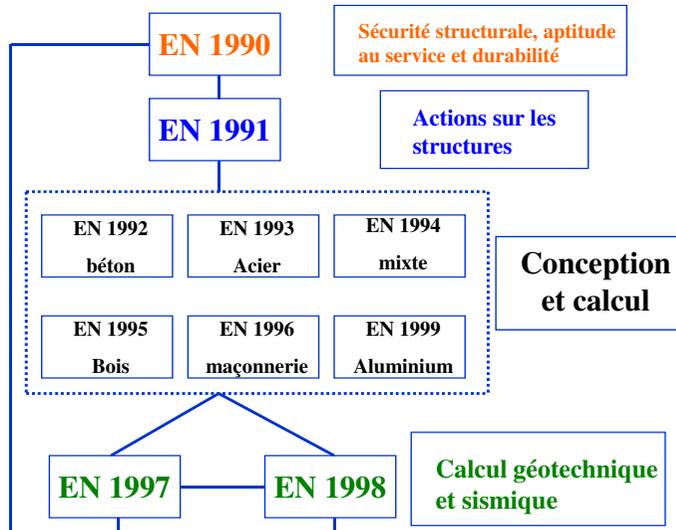
- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d'exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS



Exigences fondamentales

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d'exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

Une construction doit:

- Résister aux actions susceptibles durant l'exécution et l'exploitation, et avoir une durabilité convenable (ELU)
- Rester apte à l'utilisation sous les conditions normales d'exploitation (ELS)

...et respecter les critères de fiabilité



Exigences fondamentales

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

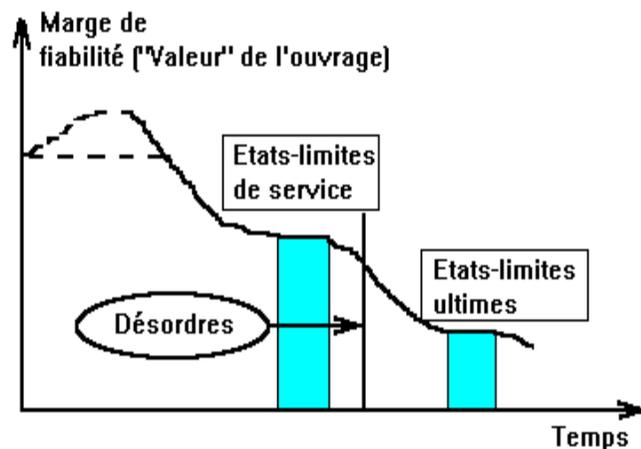
- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d'exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS



États limites ultimes:

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

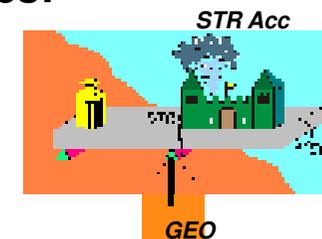
- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d'exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS



- EQU** *Équilibre statique global ou partiel*
- STR** *Résistance structurale*
- GEO** *Défaillance du sol*
- FAT** *Défaillance par fatigue*

États Limites

Etats limites ultimes:

Stabilité, résistance

EQU	Perte d'équilibre statique de la structure ou d'une partie quelconque de celle-ci, considérée comme un corps rigide, lorsque : des variations mineures de la valeur ou de la distribution spatiale d'actions d'une source unique sont significatives, et les résistances des matériaux de construction ou du sol ne sont généralement pas déterminantes
STR	Défaillance interne ou déformation excessive de la structure ou d'éléments structuraux, y compris semelles, pieux, murs de soubassement, etc., lorsque la résistance des matériaux de construction de la structure domine
GEO	Défaillance ou déformation excessive du sol, lorsque les résistances du sol ou de la roche sont significatives pour la résistance
FAT	Défaillance de la structure ou d'éléments structuraux due à la fatigue.
UPL	Perte d'équilibre de la structure ou du sol due à un soulèvement causé par la pression hydrostatique (EN1997)
HYD	Soulèvement d'origine hydraulique, érosion interne écoulements dans le sol dus à des gradients hydrauliques (EN1997)



Etats Limites de Service:

Fonctionnalité, confort et apparence de l'ouvrage

DEF Critère de déformations verticales et horizontales

VIB Critère de vibration

DURABILITE Organismes biologiques, corrosion

Les coefficients γ ($\gamma_G, \gamma_Q, \gamma_M$) sont tous égaux à 1

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
- Charges permanentes
- Charges d'exploitation
- Charges de neige
- Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS



Calcul semi-probabiliste de vérification des constructions

La démarche semi-probabiliste utilisée dans les règlements actuels se traduit par des règles en partie forfaitaires, qui introduisent la sécurité par :

◆ des valeurs représentatives des diverses grandeurs aléatoires (actions, résistances, données géométriques), $f_{m,k}$...

◆ des coefficients partiels, γ_G ...

◆ des coefficients minorants dépendants de la simultanéité des actions, Ψ_0 ...

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
- Charges permanentes
- Charges d'exploitation
- Charges de neige
- Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

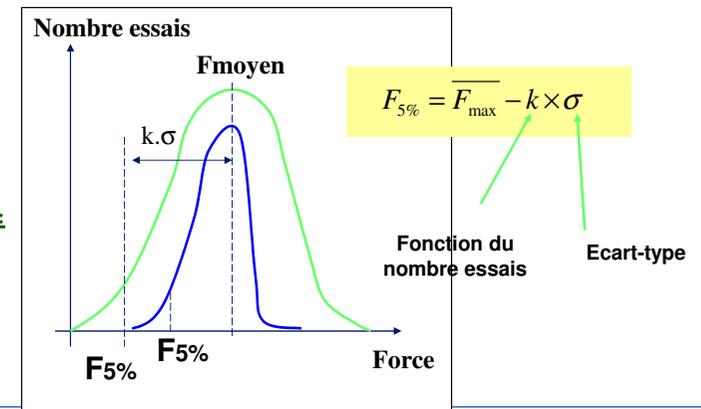
Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS



Valeurs représentatives des résistances

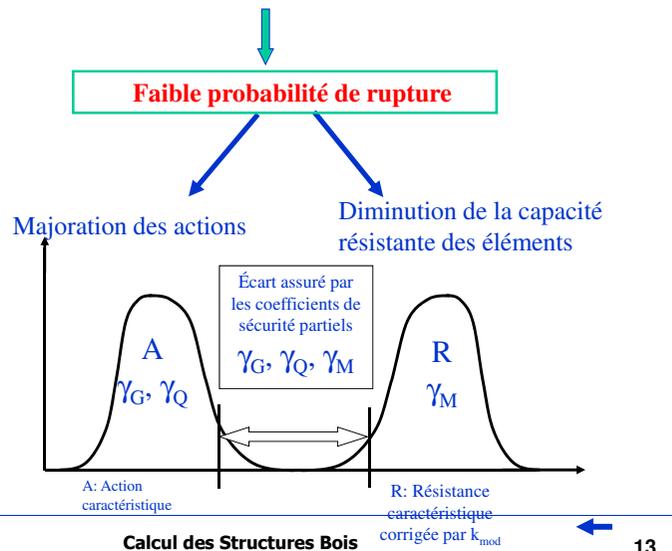
◆ Notion de résistance caractéristique: traitement statistique des valeurs.





VERIFICATION DE LA SECURITE.

Méthode des coefficients partiels



Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
- Charges permanentes
- Charges d' exploitation
- Charges de neige
- Charges de vent
- Combinaisons d' actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS



Situations de projets

(définis selon 3 principes) :

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
- Charges permanentes
- Charges d' exploitation
- Charges de neige
- Charges de vent
- Combinaisons d' actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

(1) Les situations de projet à considérer doivent être sélectionnées en tenant compte des circonstances dans lesquelles la structure doit remplir sa fonction.

(2) Les situations de projet doivent être classées de la manière suivante :

☑ situations de projet durables, qui se réfèrent aux conditions d'utilisation normale ;

⊗ situations de projet transitoires, qui se réfèrent à des conditions temporaires applicables à la structure, par exemple en cours d'exécution ou de réparation ;

⊗ situations de projet accidentelles, qui se réfèrent à des conditions exceptionnelles applicables à la structure ou à son exposition, par exemple à un incendie, à un choc, ou aux conséquences d'une défaillance localisée ;

⊗ situations de projet sismiques, qui se réfèrent à des conditions applicables à la structure lorsqu'elle est soumise à des tremblements de terre.

(3) Les situations de projet sélectionnées doivent être suffisamment sévères et variées pour englober toutes les conditions dont on peut raisonnablement envisager qu'elles se présentent au cours de l'exécution et de l'utilisation de la structure.



Situations de projets

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
- Charges permanentes
- Charges d' exploitation
- Charges de neige
- Charges de vent
- Combinaisons d' actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

Les situations de projet doivent être classées de la manière suivante :

Situations de projet durables, qui se réfèrent aux conditions d'utilisation normale ;



Situations de projets

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
- Charges permanentes
- Charges d' exploitation
- Charges de neige
- Charges de vent
- Combinaisons d' actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

Situations de projet transitoires, temporaires, qui se réfèrent à des conditions temporaires applicables à la structure, par exemple en cours d'exécution ou de réparation ;





Situations de projets

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d'exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

Situations de projet accidentelles,

qui se réfèrent à des conditions exceptionnelles applicables à la structure ou à son exposition, par exemple:

à un incendie,
à un choc,
ou aux conséquences d'une défaillance localisée ;



Situations de projets

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d'exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

Les situations de projet doivent être classées de la manière suivante :

situations de projet sismiques, qui se réfèrent à des conditions applicables à la structure lorsqu'elle est soumise à des **tremblements de terre**.



Coefficients partiels de sécurité

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d'exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

- Des coefficients partiels de sécurité γ sont appliqués aux valeurs caractéristiques à la fois sur les actions (γ_Q)¹ et sur les matériaux (γ_M) afin de tenir compte de leur spécificité.

- La valeur de γ dépend de :
 - l'état limite pris en considération (ELS ou ELU)
 - la variable de base à laquelle il s'applique (G ou Q...)
 - du contexte, selon s'il s'agit d'une action favorable en relation avec l'effet considéré (majoration ou minoration).

1: [combi_graph](#)

2: [matériau](#)



Durée d'utilisation de projet

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d'exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

Catégorie de durée d'utilisation de projet	Durée indicative d'utilisation de projet (années)	Exemples
1	10	Structures provisoires (1)
2	10 à 25	Éléments structuraux remplaçables, par exemple pontes de roulement, appareils d'appui
3	15 à 30	Structures agricoles et similaires
4	50	Structures de bâtiments et autres structures courantes
5	100	Structures monolithiques de bâtiments, ponts, et autres ouvrages de grande envergure

(1) Les structures ou parties de structures qui peuvent être démontées dans un but de réutilisation ne doivent normalement pas être considérées comme provisoires.



Valeurs des γ_G , γ_Q , γ_A

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
- Charges permanentes
- Charges d'exploitation
- Charges de neige
- Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

Cas	Action	Situation P/T	Situation A	
A , Perte d'équilibre statique, résistance du matériau structural ou du sol non significative (EQUI)	Permanent			
	- défavorables	γ_{Gsup}	1,10	1,00
	- favorables	γ_{Ginf}	0,90	1,00
	Variable			
	- défavorables	γ_Q	1,50	1,00
	- Accidentelles	γ_A	-	1,00
B , défaillance de la structure ou d'éléments structuraux (STR)	Permanent			
	- défavorables	γ_{Gsup}	1,35	1,00
	- favorables	γ_{Ginf}	1,00	1,00
	Variable			
	- défavorables	γ_Q	1,50	1,00
	- Accidentelles	γ_A	-	1,00
C , défaillance du sol (GEO)	Permanent			
	- défavorables	γ_{Gsup}	1,00	1,00
	- favorables	γ_{Ginf}	1,00	1,00
	Variable			
	- défavorables	γ_Q	1,30	1,00
	- Accidentelles	γ_A	-	1,00

P - Situation durable, T - Situation transitoire, A - Situation accidentelle



Etats limites de service:

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
- Charges permanentes
- Charges d'exploitation
- Charges de neige
- Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

Fonctionnalité, confort et apparence de l'ouvrage

DEF Critère de déformations verticales et horizontales

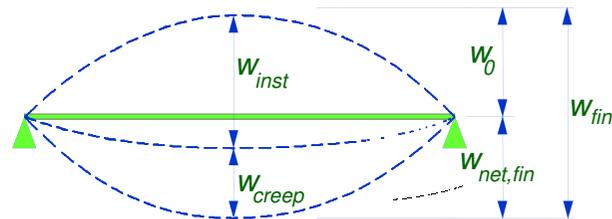
VIB Critère de vibration

DURABILITE Organismes biologiques, corrosion

Les coefficients γ (γ_G , γ_Q , γ_M) sont tous égaux à 1



ELS : Déformations



Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
- Charges permanentes
- Charges d'exploitation
- Charges de neige
- Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

w_0 contre flèche (si existante)

w_{inst} flèche instantanée

w_{creep} flèche différée

w_{fin} flèche totale

$w_{net,fin}$ flèche sous l'horizontale

$$= w_{inst} + w_{creep} - w_0 = w_{fin} - w_0$$



ELS : Déformations

Valeurs limites selon NF EN 1995 1-1/AN

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
- Charges permanentes
- Charges d'exploitation
- Charges de neige
- Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

	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
Eléments structuraux	L/300	L/200	L/125	L/200	L/150	L/100



Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d' exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d' actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

Performance du Bois et EUROCODE 5



Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d' exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d' actions

Calcul Sollicitations:

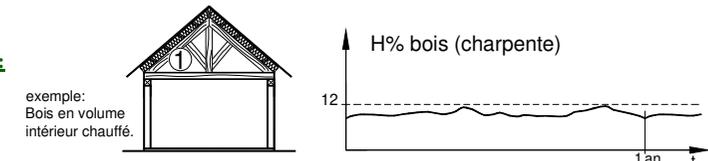
- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

Classes de service et humidité du bois

- ♦ *Classe de service 1* : correspond à une température de 20°C et une humidité relative ambiante dépassant 65% que pendant quelques semaines au cours de l'année.
- ♦ Correspond à une humidité moyenne d'équilibre inférieure ou égale à 12 %.



Le bois ne dépasse que rarement 12% d' humidité.
→ classe de service 1



Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d' exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d' actions

Calcul Sollicitations:

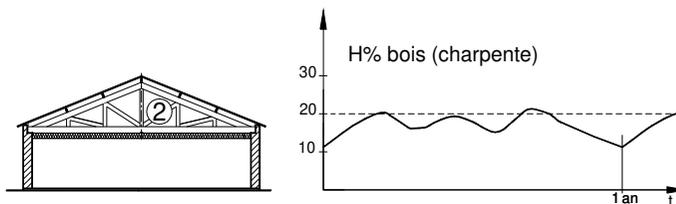
- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

Classes de service et humidité du bois

- ♦ *Classe de service 2* : 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
- ♦ correspond à une humidité moyenne d'équilibre inférieure ou égale à 20 %.



Le bois ne dépasse que rarement 20% d' humidité.
→ classe de service 2



Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d' exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d' actions

Calcul Sollicitations:

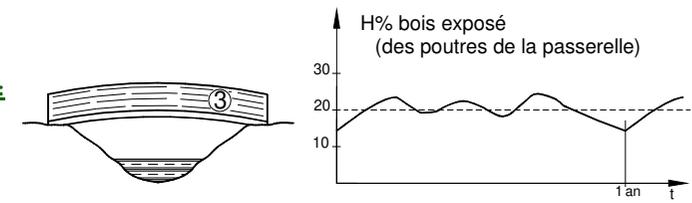
- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

Classes de service et humidité du bois

- ♦ *Classe de service 3* : correspond à des conditions climatiques conduisant à des humidités plus élevées (≠ structures abritées).



Le bois peut être amené à des humidités supérieures à 20% pour des durées non négligeables
→ classe de service 3

Valeur de calcul des résistances

Valeur de calcul de la Résistance du matériau considéré

$$f_d = \frac{k_{mod} f_k}{\gamma_M}$$

Valeur caractéristique de la Résistance du matériau considéré

Coefficient de modification de résistances, fonction de la :

- durée de chargement (le plus court)
- classe de service

Coefficient partiel de sécurité pour le matériau :

- incertitudes du modèle
- variations dimensionnelles

Etats limites ultimes	γ_M
Bois lamellé collé	1,25
Bois massif	1,3
Etats limites de service	1

Classe de dure de charge	Durée ¹	Exemples d'actions	k _{mod} selon classes de service	
			1 et 2	3
permanente	plus de 10 ans	poids propre	0,6	0,5
Long terme	6 mois - 10 ans	stockage	0,7	0,55
Moyen terme	1 semaine - 6 mois	exploitation	0,8	0,65
Court terme	moins d'une semaine	Neige ² et vent	0,9	0,7



Les diverses classes de résistance

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
- Charges permanentes
- Charges d'exploitation
- Charges de neige
- Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

A / Classes de résistance BOIS MASSIF: C18 – C24 – C30

C = Résineux ou peuplier

ex: C24

D = Feuillu

Pour le C30 en Douglas et pour les classes *supérieures* à C30 dans les autres essences résineuses, classement par machine obligatoire.

B / Classes de résistance BOIS LAMELLE-COLLE : GL24 – GL28

Résistance caractéristique en flexion 24 MPa (seules 5% des pièces cassent en dessous)

(C24) (C30)

GL = Lamellé-collé GL 24 h

h = homogène, c = panaché



Les correspondances avec les classes actuelles

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
- Charges permanentes
- Charges d'exploitation
- Charges de neige
- Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

C / Les catégories françaises et leur correspondance en classes de résistance mécanique :

STI	C30	⇒	Lamelles de LC de très haut niveau
STII	C24	⇒	Fermettes, lamelles de LC,
STIII	C18	⇒	Charpente traditionnelle



Exercice 1 A faire pour Lundi 18/02

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
- Charges permanentes
- Charges d'exploitation
- Charges de neige
- Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

- Exemple de calcul : vérification de la résistance d'une solive de plancher en Bois Massif C24
- Vérifier la solive en contrainte normale, au cisaillement et en déformation.

Entraxe de solive 0,5 m.

Classe de service 1 (local chauffé).

Charge de structure G = 0,5 kN/m².

Charge d'exploitation Q = 1,5 kN/m².

Solive en bois massif de 75/200 classé C24.

Portée 4,5 m.



Comparaison méthodologique EC5 et CB71

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
- Charges permanentes
- Charges d'exploitation
- Charges de neige
- Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

- Vérification aux règles « anciennes » CB 71: méthode de la contrainte admissible

Valeur moyenne de la résistance à la rupture

$$\sigma \leq \bar{\sigma} = \frac{\sigma_{rupt}}{K_s}$$

Avec $K_s = 2,75$



Comparaison méthodologique EC5 et CB71

Bases de calcul:

- Vérification aux règles « anciennes » CB 71: valeurs trouvées

Contraintes	Signification	Valeur (MPa)
σ_{rup}	Contrainte de flexion provoquant la rupture de la pièce	31,0
σ_{tr}	Contrainte de flexion admissible : contrainte de flexion de rupture / coefficient de sécurité (2,75)	11,274
σ_{Ed}	Contrainte de flexion induite par la charge sous la combinaison $S1 = G + 1,25 Q$ (G charge permanente et Q charge d'exploitation)	10
Justification : $\sigma_{Ed} \leq \sigma_{tr}$		0,88
σ_{tr}	Contrainte de flexion admissible : $1,5 \times \sigma_{tr}$	16,91
σ_{Ed}	Contrainte de flexion induite par la charge sous la combinaison $S2 = G + 1,0 Q + 1,5 P$	11,9
Justification : $\frac{\sigma_{Ed}}{\sigma_{tr}} \leq 1$		0,7

(1) Valeur moyenne de rupture définie pour l'ensemble par la loi de Gauss avec une valeur caractéristique à 5% de 31 MPa et un écart type de 4,7 MPa.
(2) La contrainte caractéristique de CB71 est de 11,9 MPa.



Comparaison méthodologique EC5 et CB71

Bases de calcul:

- Vérification aux règles Européennes EC5: valeurs trouvées

Contraintes	Signification	Valeur (MPa)
σ_{rup}	Contrainte de flexion provoquant la rupture de la pièce	31,0
$f_{m,k}$	Contrainte caractéristique de résistance en flexion : 95 % des pièces supporteront une contrainte à 24 MPa	24
$f_{m,d}$	Contrainte de résistance en flexion : $f_{m,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{m,k} = 24 \times \frac{0,8}{1,3}$ k_{mod} : coefficient modificateur en fonction de la durée de la charge (la charge d'exploitation) et de la classe de service (humidité du bois) γ_M : coefficient partiel qui tient compte de la dispersion du matériau	14,8
$\sigma_{m,d}$	Contrainte de flexion induite par la charge sous la combinaison $S = 1,25 G + 1,5 Q$ (G charge permanente et Q charge d'exploitation) : coefficient partiel des charges γ_F	12,9
Justification : $\sigma_{m,d} \leq f_{m,d}$		0,87

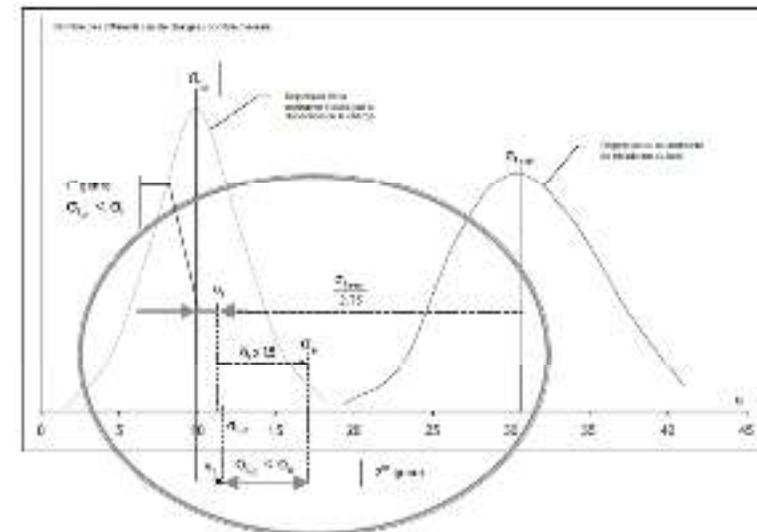
Valeur moyenne de rupture définie pour l'ensemble par la loi de Gauss avec une valeur caractéristique à 5% de 31 MPa et un écart type de 4,7 MPa.



Comparaison méthodologique EC5 et CB71

Bases de calcul:

- Traduction graphique – prise en compte de la sécurité – CB71

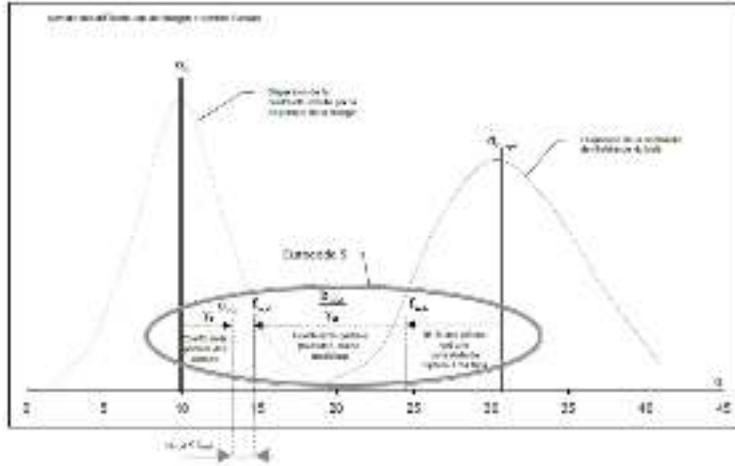




Comparaison méthodologique EC5 et CB71

Bases de calcul:

- Traduction graphique – prise en compte de la sécurité – EC5



Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d'exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

ACTIONS SUR LES STRUCTURES



Les différentes ACTIONS

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d'exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

- ◆ Actions permanentes désignées par **G**
 - poids propre des structures



- ◆ Actions variables désignées par **Q** et **q**
 - charges d'exploitation **E**
 - charges de neige **S**
 - actions du vent **W**
 - ponts roulants



- ◆ Actions accidentelles désignées par **A**
 - chocs de véhicules
 - explosions
 - séismes
 - incendies



Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d'exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d'actions

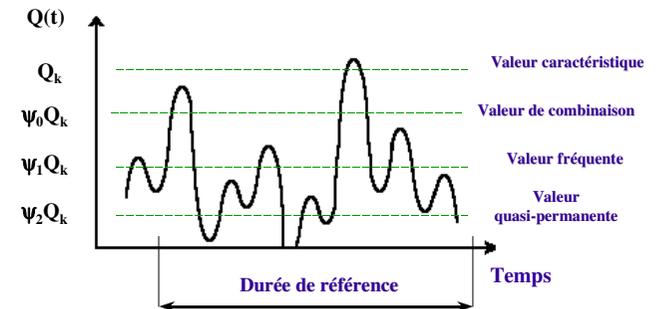
Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

VARIABILITÉ DES ACTIONS





VARIABILITÉ DES ACTIONS

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d'exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

- La précision de la modélisation des actions est variable :
 - les charges permanentes dépendent de la densité du matériau et de l'épaisseur,
 - les charges d'exploitation dépendent du type d'occupation,
 - Les charges de vent et de neige sont basées sur des données météorologiques.
- Les probabilités des combinaisons de charges varient.
- Les valeurs des coefficients partiels de sécurité γ reflètent ces variabilités.

→ Coefficients de combinaison ψ



Normes définissant les actions

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d'exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

- ♦ Charges permanentes G_k :
 - ♦ NF EN 1991
- ♦ Charges d'exploitation Q_k ou (q_k) :
 - ♦ NF EN 1991
- ♦ Charges de neige S_k :
 - ♦ NF EN 1991 ou NF P 06-006 (règles N84)
- ♦ Charges de vent W_k :
 - ♦ NF EN 1991 ou NF P 06-002 (NV 65 modifiées 2000)

$$W_k = 1.2 \times W_n$$



Charges permanentes (G)

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d'exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

- Charges permanentes ou fixes :
 - Calculées à partir des densités des matériaux et des dimensions nominales.
 - Comprennent les charges pour les cloisons, les équipements, etc., en tant que charges uniformément réparties :
 - pas d'indication pour le calcul des valeurs à prendre en compte,
 - valeurs estimées par l'expérience et la pratique.



Charges d'exploitation (q_k)

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d'exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

Charges variables en intensité ou libres (points d'application variables).

Leurs valeurs caractéristiques dépendent de la catégorie du bâtiment :

- A - Résidentiel,
- B - Zones de bureau,
- C - Zones de réunions (5 sous-catégories),
- D - Locaux commerciaux,
- E - Zones de stockage.



Valeur des charges d'exploitation (q_k)

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
- Charges permanentes
- Charges d'exploitation
- Charges de neige
- Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

Catégorie	Zones	q_k (kN/m ²)	Q_k (kN)
A Logements	Balcons	4,0	
	Escaliers	3,0	2,0
	Autres	2,0	
B Bureaux		3,0	2,0
C Locaux publics	C1 (école, restaurant)	3,0	
	C2 (églises, cinémas)	4,0	4,0
	C3 (concerts..)	5,0	
	C4 (act. physiques)	5,0	7,0
D Commerce	D1 (Détails..)	5,0	4,0
	D2 (Hypers)		7,0
E Stockage		6,0	7,0



Charges de neige (s_k)

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
- Charges permanentes
- Charges d'exploitation
- Charges de neige
- Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

- La charge de neige caractéristique s_k est basée sur une répartition uniforme sur un sol plat.
- s_k est déterminée à partir de cartes de neige nationales.
- Quelques pays ont introduit des ajustements pour prendre en compte l'effet de l'altitude.

Carte de neige pour la France



Charge applicable selon la zone

Zone	1A	1B	2A	2B	3	4
S_k (kN/m ²)	0,45	0,45	0,55	0,55	0,65	0,90
S_k acc. (kN/m ²)	-	1	1	1,35	1,35	1,80

Variation de S_k au dessus de 200 m

Altitude	Valeur de S_k
200 m < h ≤ 500 m	$S_k + (0,15 h - 30)/100$
500 m < h ≤ 1000 m	$S_k + (0,3 h - 105)/100$
1000 m < h ≤ 2000 m	$S_k + (0,45 h - 255)/100$

Pour le cas de charge accidentelle, aucun coefficient d'altitude n'est pris en compte



Charge de neige en toiture (s_k)

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

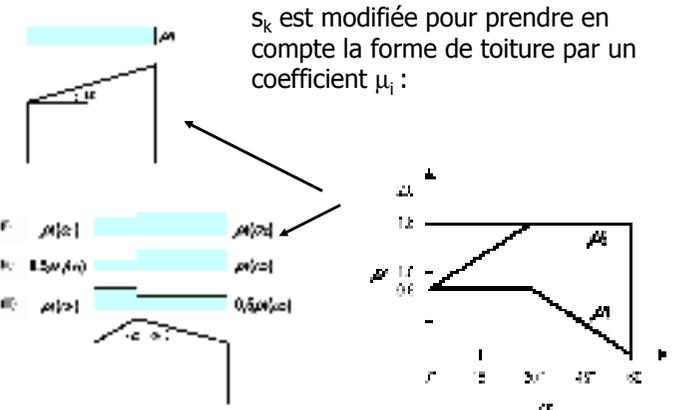
- Variabilité
- Normes pour les actions
- Charges permanentes
- Charges d'exploitation
- Charges de neige
- Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS



Angle de la toiture (α)	0° < α < 30°	30° < α < 60°	α > 60°
μ_1	1,0	$0,5 \cos(\alpha - 30)$	0
μ_2	$0,5 + 0,1 \cos(\alpha)$	1,0	



Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d'exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

Valeur de la charge de neige (S)

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k + s_1$$

- ♦ μ_i est le coefficient de forme de la charge de neige.
- ♦ s_k est la valeur caractéristique de la charge de neige sur le sol [en daN/m²].
- ♦ C_e est le coefficient d'exposition.
- ♦ C_t est le coefficient thermique.
- ♦ s_1 prend en compte une majoration pour faible pente (pour la France).



Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d'exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

Les effets du vent (W_k)

- ♦ La méthode simplifiée qui suit est applicable aux structures qui ne sont pas sensibles à une excitation dynamique.
- ♦ Des méthodes plus approfondies se trouvent dans l'EC1-1-4. Elles doivent être utilisées pour :
 - ♦ les bâtiments de hauteur supérieure à 200 m,
 - ♦ les structures très élancées ou inhabituelles,
 - ♦ les structures provisoires (pression de vent plus faibles).
- ♦ Calcul des pressions résultantes

$$W = C_s C_d (w_e - w_i) \quad [\text{daN/m}^2]$$

Vent : méthode de détermination des pressions résultantes

Propriétés du bâtiment

Vitesse de référence du vent

Coefficient structural

Coefficient d'exposition

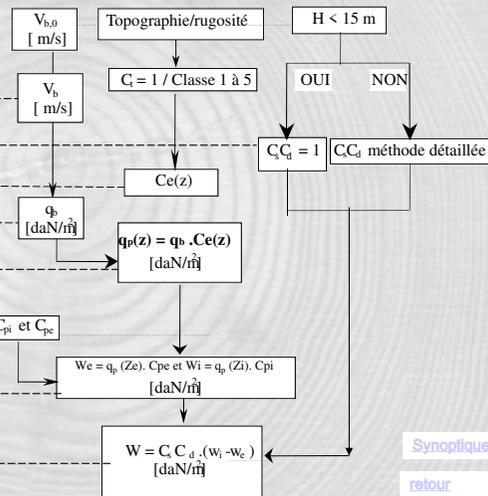
P. dynamique de référence

Pression dynamique de pointe

Coefficients aérodynamiques

Pressions aérodynamiques

Pression résultante



Synoptique

retour



Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d'exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

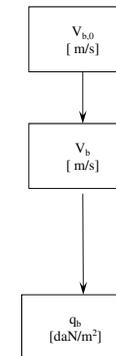
- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

Vent : Calcul de la pression dynamique de référence

$V_{b,0}$ est une vitesse moyenne (moyenne sur 10 minutes) supposée mesurée à 10 m de hauteur, en site plat et peu rugueux.

Elle correspond à une tempête dite cinquantennale (probabilité = 1 fois par demi siècle)

C'est la pression dynamique de référence



Synoptique



Vent : calcul de la pression dynamique de référence

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d'exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

$V_{b,0}$
[m/s]

V_b
[m/s]

q_b
[daN/m²]

$$V_b = C_{dir} \cdot C_{saison} \cdot V_{l,0}$$

$$q_b = \rho/2 * V_b^2$$



Vent : détermination du coefficient d'exposition

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d'exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

Topographie/rugosité

$C_t = 1 / \text{Classe 1 à 5}$

$C_e(z)$

C_e est déterminé en fonction de:

- La topographie du terrain
- La classe de rugosité
- C_e est déterminé par un abaque



Vent : classes de Terrains

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d'exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

Topographie/rugosité

$C_t = 1 / \text{Classe 1 à 5}$

$C_e(z)$

- La pression de vent moyenne de référence $q_{ref(0)}$ est modifiée pour prendre en compte la catégorie du terrain et la hauteur au dessus du sol.
- 5 catégories de base sont définies pour le terrain
 - Mer ou zone côtière exposée aux vents de mer
 - Lacs ou zone à végétation négligeable (rase campagne par exemple)
 - avec obstacles ponctuels (zone agricole par exemple),
 - zone suburbaine ou forêt,
 - site urbain (au moins 15 % de la surface est couverte de bâtiments de hauteur >15 m).



Classes de Terrains

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d'exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

Catégorie de terrain 0

Mer ou zone côtière exposée aux vents de mer



Catégorie de terrain II



Catégorie de terrain III

par exemple des villages, des zones suburbaines, des forêts permanentes.

Catégorie de terrain I

Lacs ou zone à végétation négligeable et libre de tout obstacle



Catégorie de terrain IV





Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d' exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d' actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

Hauteur de référence

- 3 classes de bâtiments peuvent être considérées.

- Elles sont définies en fonction de la hauteur du bâtiment, h , divisée par le maître couple, b :

- faible hauteur $h < b$,
- hauteur moyenne $b < h < 2b$,
- grande hauteur $h > 2b$.



Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d' exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d' actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

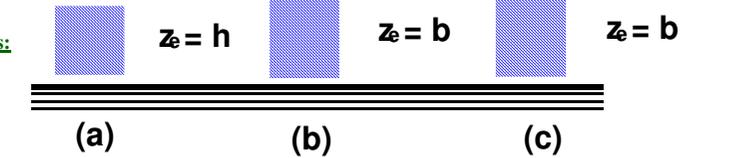
Hauteur de référence - zones

b : dimensionnement du côté perpendiculaire au vent

$h > 2b$

$b < h < 2b$

$h < b$



Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d' exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d' actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

Coefficient d'exposition $c_e(z)$

$c_e(z)$ est fonction de la classe du terrain et de la hauteur de référence, z_e

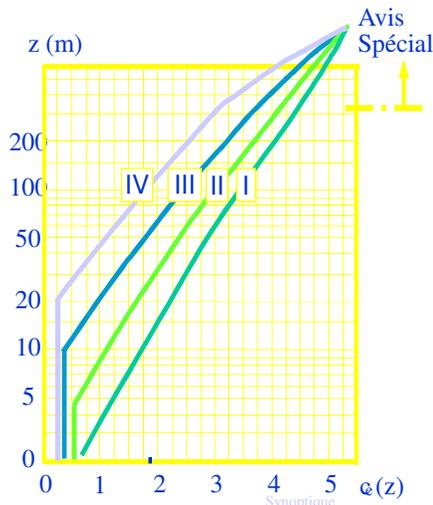
Classes de terrain :

I libre sans obstacle (exemple terrain plat),

II avec obstacles ponctuels (exemple campagne),

III zone suburbaine ou forêt,

IV site urbain .



Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d' exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d' actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

Détermination de la pression dynamique de pointe

La pression dynamique de pointe est la pression extrême exercée par le vent sur l'ensemble du bâtiment.

$$q_p(z) = C_e(z) \cdot q_b$$

1,3 36

$$q_p(z) = 1,3 \cdot 36 = 46,8 \text{ daN/m}^2$$

Détermination du coefficient structural $C_s C_d$

$H < 15m$ $\Rightarrow C_s C_d = 1$



Coefficients de pression

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d'exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

- La répartition des pressions intérieure et extérieure sur les murs et les toitures est représentée par des coefficients de pression.

- La pression intérieure est supposée uniforme. Elle peut être soit positive (surpression) soit négative (dépression)

- La distribution des pressions extérieures est non-uniforme. Elle doit être déterminée pour chaque surface.



Coefficients de pression de vent extérieur : diagramme type

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d'exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d'actions

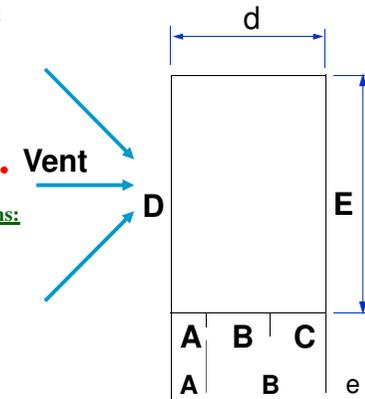
Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

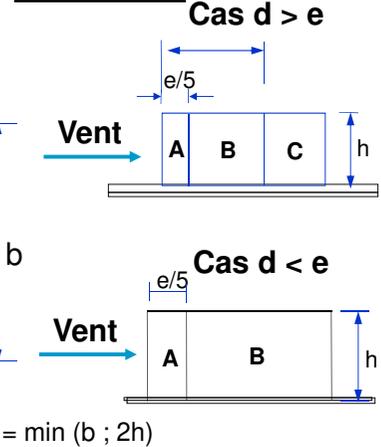
Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

PLAN



ELEVATION



Coefficient de pression extérieure

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d'exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

- Les coefficients de pression extérieure, c_{pe} , doivent être déterminés pour :
 - chaque surface,
 - deux directions de vent orthogonales.

- Pour chaque parois, la valeur de c_{pe} est déterminée à l'aide du tableau 10.2.1 et la figure 10.2.3.

- Pour les toitures, les valeurs de c_{pe} dépendent de leur forme (tableaux 10.2.2 à 5)



Détermination des coefficients de pressions extérieures C_{pe}

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d'exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

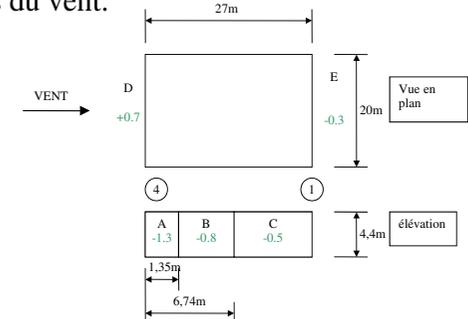
- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

- ♦ Dépend du zonage du bâtiment.
- ♦ Fonction de la surface A de la zone:

$$C_{pe} = C_{pe,1} - (C_{pe,1} - C_{pe,10}) \cdot \log_{10} A$$
- ♦ Suivant le sens du vent.
- ♦ Résultats:





Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d' exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d' actions

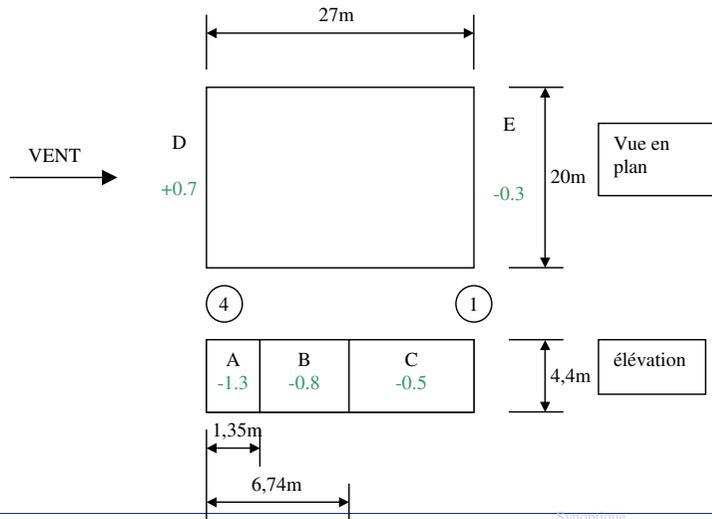
Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

Détermination des coefficients de pressions extérieures Cpe (suite)



Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d' exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d' actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

Coefficient de pression intérieure

- ◆ Le coefficient de pression intérieure, c_{pi} , dépend de la taille et de la distribution des ouvertures, μ :

$$\mu = \frac{\text{Aire totale des ouvertures sous le vent et parallèles au vent}}{\text{Aire totale des ouvertures sur toutes les parois}}$$

- ◆ Cas spéciaux :

- Ouvertures distribuées de façon uniforme dans un bâtiment « carré » :
 - $c_{pi} = 0,25$.
- Bâtiments « fermés » :
 - $c_{pi} = 0,8$ ou $-0,5$ (cas le pire).



Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d' exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d' actions

Calcul Sollicitations:

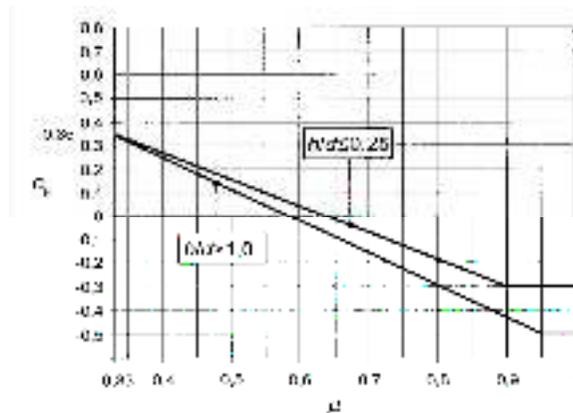
- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

Détermination des coefficients de pression intérieure Cpi

Choix de deux « bornes »



Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d' exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d' actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

Pressions de vent nettes

- Les pressions intérieures et extérieures (ou succions) sont calculées pour chaque surface comme suit :

$$\begin{aligned} \text{-- Pression extérieure :} & \quad w_e = q_{ref} c_e(z_e) c_{pe} \\ \text{-- Pression intérieure :} & \quad w_i = q_{ref} c_e(z_i) c_{pi} \end{aligned}$$

- La pression nette du vent sur une surface est la somme algébrique de w_e et w_i



Détermination des pression résultantes

- Bases de calcul:**
- Exigences fondamentales
 - Vérification sécurité
 - Situation de projet
 - ELU / ELS et sécurité
 - Classe de service
 - Valeur calcul Résistances
 - Classes de Résistance
 - Comparaison CB71-EC5

- Les Actions:**
- Variabilité
 - Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d' exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
 - Combinaisons d' actions

- Calcul Sollicitations:**
- Différentes études
 - Exemples

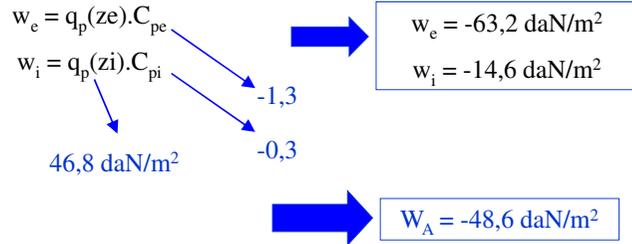
- Vérification des éléments**
- Résistance de calcul
 - Vérifications à l'ELU
 - Vérification à l'ELS

$$W = C_s C_d (w_e - w_i) \quad [\text{daN/m}^2]$$

1,0

Pression aérodynamique interne/externe

Exemple numérique: Zone A, Vent Pignon, dépression intérieure



COMBINAISONS D' ACTIONS

- Bases de calcul:**
- Exigences fondamentales
 - Vérification sécurité
 - Situation de projet
 - ELU / ELS et sécurité
 - Classe de service
 - Valeur calcul Résistances
 - Classes de Résistance
 - Comparaison CB71-EC5

- Les Actions:**
- Variabilité
 - Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d' exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
 - Combinaisons d' actions

- Calcul Sollicitations:**
- Différentes études
 - Exemples

- Vérification des éléments**
- Résistance de calcul
 - Vérifications à l'ELU
 - Vérification à l'ELS

$G =$ $Q: (E =$ $ou N =$ $ou V =$

$$G + Q_1 + \sum_{j>1} \psi_{0,j} Q_j$$

Combinaison	Action Permanente	Action Variable de Base	Autre Action Variable	Autre Action Variable
1			ψ_0	ψ_0
2			ψ_0	ψ_0
3			ψ_0	ψ_0

Psi



Combinaisons d'actions : ELU

- Bases de calcul:**
- Exigences fondamentales
 - Vérification sécurité
 - Situation de projet
 - ELU / ELS et sécurité
 - Classe de service
 - Valeur calcul Résistances
 - Classes de Résistance
 - Comparaison CB71-EC5

- Les Actions:**
- Variabilité
 - Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d' exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
 - Combinaisons d' actions

- Calcul Sollicitations:**
- Différentes études
 - Exemples

- Vérification des éléments**
- Résistance de calcul
 - Vérifications à l'ELU
 - Vérification à l'ELS

• Situations de projet durable et transitoire:

$$\sum \gamma_{G,j} G_{k,j} + (\gamma_P P_k) + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$



Valeurs des coefficients

$\gamma_{G,j} = 1,35$ (ou 1 si action favorable)

$\gamma_{Q,1} = 1,5$

Psi

• Les situations de projet accidentelles:

$$\sum G_{k,j} + A_d + \sum \psi_{2,i} Q_{k,i}$$



Combinaisons d'actions : ELS

- Bases de calcul:**
- Exigences fondamentales
 - Vérification sécurité
 - Situation de projet
 - ELU / ELS et sécurité
 - Classe de service
 - Valeur calcul Résistances
 - Classes de Résistance
 - Comparaison CB71-EC5

- Les Actions:**
- Variabilité
 - Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d' exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
 - Combinaisons d' actions

- Calcul Sollicitations:**
- Différentes études
 - Exemples

- Vérification des éléments**
- Résistance de calcul
 - Vérifications à l'ELU
 - Vérification à l'ELS

• Combinaison rare (ELS irréversibles)

$$\sum G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum \psi_{0,i} Q_{k,i}$$



Psi

• Combinaison quasi-permanente (ELS réversibles)

$$\sum G_{k,j} + \sum \psi_{2,i} Q_{k,i}$$



Coefficients de probabilité ψ

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
- Charges permanentes
- Charges d'exploitation
- Charges de neige
- Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

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 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) :* - Finlande, Islande, Norvège, Suède - Autres Etats Membres CEN, pour lieux situés à une altitude H > 1000 m a.n.m. - Autres Etats Membres CEN, pour lieux situés à une altitude H \leq 1000 m a.n.m.	0,70	0,50	0,20
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.
* Pour des pays non mentionnés dans ce qui suit, se référer aux conditions locales appropriées.



Combinaisons : exemple

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
- Charges permanentes
- Charges d'exploitation
- Charges de neige
- Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

- ELU – STR: Combi pour 2 actions variables.



$$1.35 G$$

$$1.35 G + 1.5 S$$

$$1.35 G + 1.5 W$$

$$1.0 G + 1.5 W$$

$$1.35 G + 1.5 W + 1.5 \cdot \psi_0 S^w$$

$$1.35 G + 1.5 S^w + 1.5 \psi_0 W$$

Psi



Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
- Charges permanentes
- Charges d'exploitation
- Charges de neige
- Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

CALCUL DES SOLLICITATIONS



Calcul des sollicitations

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
- Charges permanentes
- Charges d'exploitation
- Charges de neige
- Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

- Fonction des charges appliquées:

- Charges permanentes
- Charges climatiques: neige, vent, variation température
- Charge sismiques
- Charges d'exploitation: bâtiment, GC, O.A.,...

- Fonction de la structure porteuse, de l'ossature étudiée:

- Généralement éléments filaires.
- Eléments surfaciques: voile travaillant, plancher bois
- Plus rarement éléments volumiques.

- Type d'analyse:

- statique
- dynamique.



Calcul des sollicitations

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d'exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

- Fonction de la structure porteuse, de l'ossature étudiée:
 - Généralement éléments filaires.
 - Eléments surfaciques: voile travaillant, plancher bois
 - Plus rarement éléments volumiques.
- Poteaux simples ou moisés.
- Poutres simples, isostatiques
- Poutres sur plusieurs travées, en porte à faux
- Cadres / portiques 2D.
- Arcs en bois
- Grilles de poutres bois
- Coques, coupoles, éléments 3D.



Calcul des sollicitations

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d'exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d'actions

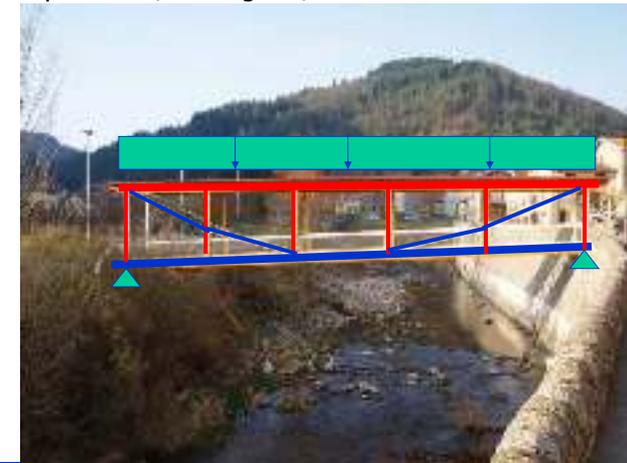
Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

- Structure porteuse
 - Association d'éléments filaires: exemple d'une passerelle/ BE Anglade/ Mariac



Calcul des sollicitations

- Structure porteuse
 - Association d'éléments filaires: exemple d'une passerelle / BE Anglade / Mariac

Les Actions:

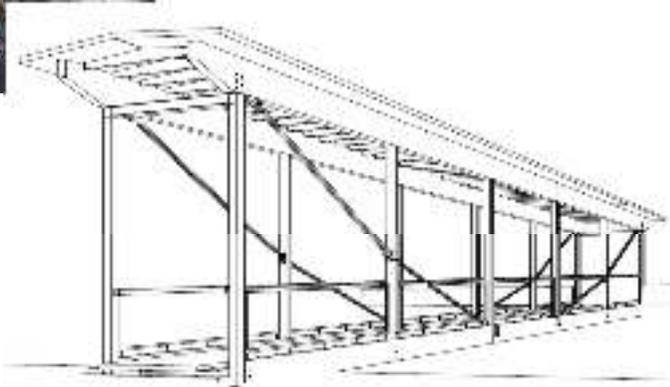
- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d'exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS



PERSPECTIVE DEPUIS LA PLACE



Calcul des sollicitations

- Exemples de Structures porteuses
 - Association d'éléments filaires: exemple d'un bâtiment / André Solnais Archi.

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d'exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS





Calcul des sollicitations

- Exemples de Structures porteuses
 - Association d'éléments filaires: exemple d'un bâtiment / André Solnais Archi.



Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d'exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

E.NTPE - Janvier 2014



Calcul des sollicitations

- Exemples de Structures porteuses
 - Association d'éléments filaires: exemple d'un bâtiment / André Solnais Archi.



Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d'exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

E.NTPE - Janvier 2014



Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d'exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

VERIFICATION des éléments

E.NTPE - Janvier 2014

Calcul des Structures Bois

83



Calculs des éléments selon l'EUROCODE 5

- ♦ Hypothèses de calcul
 - ♦ Résistances
 - ♦ Classes de service
- ♦ Vérifications ELU
 - ♦ Sollicitations simples
 - ♦ Sollicitations combinées
 - ♦ Instabilités
 - ♦ Calcul des sections à inertie variable
- ♦ Vérifications ELS
 - ♦ Déformations
 - ♦ Vibrations

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d'exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

E.NTPE - Janvier 2014

Calcul des Structures Bois

84



Calcul de la résistance

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d'exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

$$f_d = \frac{k_{mod} f_k}{\gamma_M}$$

x k_h

Majoration seulement

◆ Bois massif

$$k_h = \min \left(\left(\frac{150}{h} \right)^2, 1,3 \right)$$

◆ Bois lamellé collé

$$k_h = \min \left(\left(\frac{600}{h} \right)^2, 1,1 \right)$$

◆ LVL

$$k_h = \min \left(\left(\frac{300}{h} \right)^2, 1,2 \right)$$

$$k_h = \min \left(\left(\frac{3000}{l} \right)^2, 1,1 \right)$$

f_{mk} et $f_{0,k}$ peuvent être augmentées du facteur k_h .

Doc Finnforest:

$$k_h = \min (1,15 ; (300/h)^{0,15})$$



Vérifications des structures bois Eurocode 5

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d'exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

◆ Vérifications ELU

- ◆ Sollicitations simples
- ◆ Sollicitations combinées
- ◆ Instabilités



Sollicitations simples

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d'exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

• Traction parallèle au fil:

- Vérification à effectuer
- Multiplier par le coefficient de hauteur x k_h (voir précédemment).

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

- Exemple de cas d'étude/éléments sollicités en traction simple // au fil



Entrait d'une ferme



Sollicitations simples

Bases de calcul:

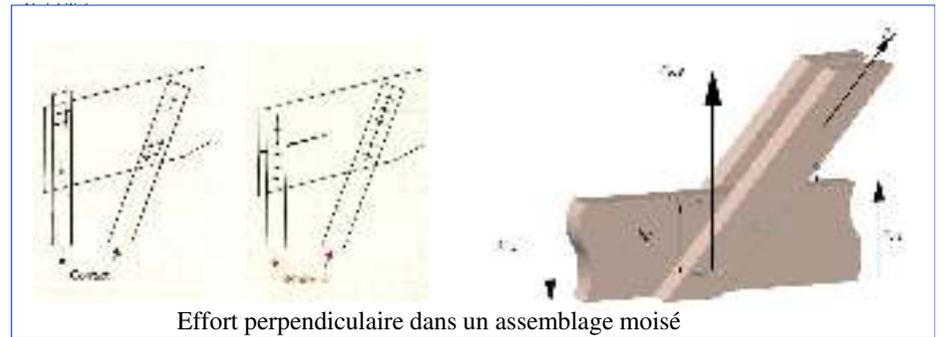
- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d'exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d'actions

• Traction perpendiculaire au fil:

- Vérification à effectuer
- $\sigma_{t,90,d} \leq f_{t,90,d}$
- Exemple de cas d'étude/éléments sollicités en traction simple \perp au fil



Effort perpendiculaire dans un assemblage moisé



Sollicitations simples

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
- Charges permanentes
- Charges d'exploitation
- Charges de neige
- Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

• Compression parallèle au fil:

- Vérification à effectuer:

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

- Exemple d'éléments sollicités en compression // au fil.



E.N



Sollicitations simples

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistance
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
- Charges permanentes
- Charges d'exploitation
- Charges de neige
- Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

• Compression parallèle au fil:

- Exemple d'éléments sollicités en compression // au fil.

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



E.NTPE - Janvier 20



Sollicitations simples

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
- Charges permanentes
- Charges d'exploitation
- Charges de neige
- Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

• Compression perpendiculaire au fil:

- Vérification à effectuer:

$$\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,0,d} f_{c,0,d}$$

- Exemple d'éléments sollicités en compression perp. au fil.



E.NTPE - Janvier 2014

91



Sollicitations Simples

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
- Charges permanentes
- Charges d'exploitation
- Charges de neige
- Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

• Flexion simple: M_{fz}

- Vérification à effectuer:

$$\sigma_{m,z,d} \leq f_{m,z,d}$$

Avec: $\sigma_{m,z,d}$ contrainte de calcul en flexion suivant l'axe z

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{f,z}}{I_{G,z}} * h/2$$

$f_{m,z,d}$ résistance de calcul en flexion du bois

E.NTPE - Janvier 2014

Calcul des Structures Bois

92



Sollicitations Simples

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d'exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

Flexion déviée (M_{Iz} , M_{Iy})

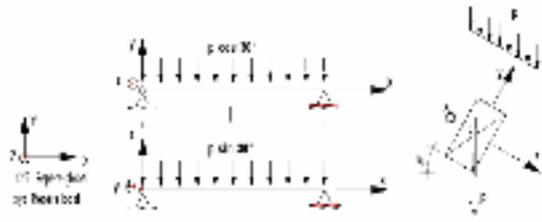
- Vérification à effectuer:

$$\frac{\sigma_{max,d}}{f_{max,d}} = k_{in} \frac{\sigma_{max,d}}{f_{max,d}} \leq 1$$

$$k_{in} \frac{\sigma_{max,d}}{f_{max,d}} - \frac{\sigma_{min,d}}{f_{min,d}} \leq 1$$

pour les sections rectangulaires : $k_{in} = 11,7$
pour les autres sections : $k_{in} = 11,1$

- Exemple d'éléments sollicités en flexion déviée: panne déviée.



Sollicitations simples (suite)

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d'exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

Cisaillement

Avec la réduction de l'effort tranchant dans la zone d'appui limitée à 2.h

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

Torsion

$$\tau_{tor,d} \leq k_{shape} f_{v,d}$$

$$k_{shape} = \begin{cases} 1,2 & \text{pour une section circulaire} \\ \min \left\{ 1+0,15 \frac{h}{b}, 2,0 \right\} & \text{pour une section rectangulaire} \end{cases}$$



Sections soumises à des combinaisons de contraintes

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d'exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

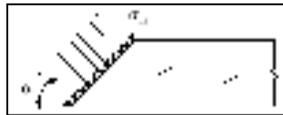
- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

Compression inclinées par rapport au fil

$$\sigma_{comp} \leq \frac{f_{c,d}}{k_{in} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$



Flexion et traction axiale combinées

$$\frac{\sigma_{Iz,d}}{f_{Iz,d}} + \frac{\sigma_{Nz,d}}{f_{Nz,d}} - k_{in} \frac{\sigma_{Nz,d}}{f_{Nz,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{Iz,d}}{f_{Iz,d}} + k_{in} \frac{\sigma_{Nz,d}}{f_{Nz,d}} - \frac{\sigma_{Nz,d}}{f_{Nz,d}} \leq 1$$



Combinaisons de contraintes, suite...

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d'exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

Flexion et compression axiale combinées

$$\left(\frac{\sigma_{Iz,d}}{f_{Iz,d}} \right)^2 - \frac{\sigma_{Nz,d}}{f_{Nz,d}} + k_{in} \frac{\sigma_{Nz,d}}{f_{Nz,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{\sigma_{Iz,d}}{f_{Iz,d}} \right) + k_{in} \frac{\sigma_{Nz,d}}{f_{Nz,d}} + \frac{\sigma_{Nz,d}}{f_{Nz,d}} \leq 1$$

Traction perpendiculaire au fil et cisaillement combinés

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} + \frac{\sigma_{\perp,d}}{k_{in} f_{c,d}} \leq 1$$



Instabilités : flambement

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
- Charges permanentes
- Charges d'exploitation
- Charges de neige
- Charges de vent
- Combinaisons d'actions

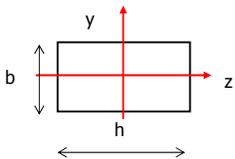
Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

- Calcul de l'élanement: λ_y et λ_z



$$\lambda_y = \frac{l_{ef}}{\sqrt{\frac{I_y}{S}}} \quad \lambda_z = \frac{l_{ef}}{\sqrt{\frac{I_z}{S}}}$$

- Calcul de l'élanement relatif:

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y \sqrt{f_{ctk}}}{\pi \sqrt{E_{0,05}}} \quad \text{ou} \quad \lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z \sqrt{f_{ctk}}}{\pi \sqrt{E_{0,05}}}$$

Si $\lambda_{rel,y} < 0,3$ et $\lambda_{rel,z} < 0,3$:

PAS DE RISQUE DE FLAMBEMENT



Instabilités : flambement

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
- Charges permanentes
- Charges d'exploitation
- Charges de neige
- Charges de vent
- Combinaisons d'actions

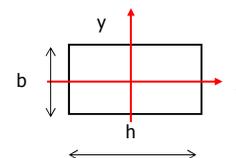
Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

- Si $\lambda_{rel,y} > 0,3$ et $\lambda_{rel,z} > 0,3$: calcul du coefficient de flambement $k_{c,y}$ ou $k_{c,z}$



$$\beta_c = \begin{cases} 0,2 & \text{pour le bois massif} \\ 0,1 & \text{pour le bois lamellé-collé et le LVL} \end{cases}$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}$$

$$k_y = 0,5 \left[1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2 \right]$$

$$k_z = 0,5 \left[1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2 \right]$$



Instabilités : flambement

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
- Charges permanentes
- Charges d'exploitation
- Charges de neige
- Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

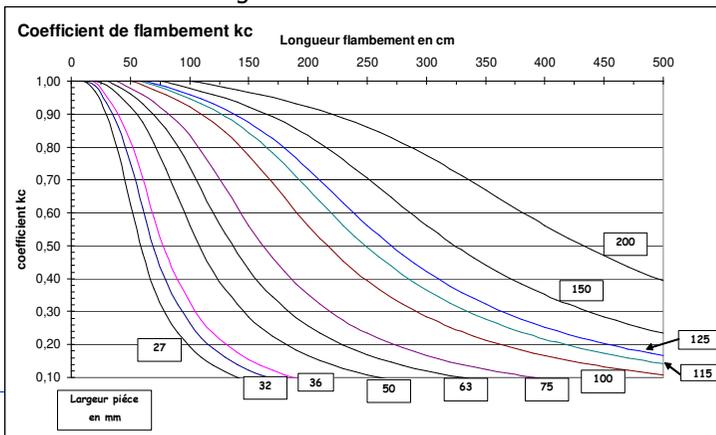
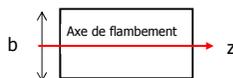
- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

- Exemples de valeurs du coefficient de flambement.

- Matériaux: Bois Massif
- Classement mécanique: Bois C24
- Section rectangulaire



Instabilités : flambement

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
- Charges permanentes
- Charges d'exploitation
- Charges de neige
- Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

Éléments sollicités en compression et flexion

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y \sqrt{f_{ctk}}}{\pi \sqrt{E_{0,05}}} \quad \text{ou} \quad \lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z \sqrt{f_{ctk}}}{\pi \sqrt{E_{0,05}}}$$

$$\beta_c = \begin{cases} 0,2 & \text{pour le bois massif} \\ 0,1 & \text{pour le bois lamellé-collé et le LVL} \end{cases}$$

$$\frac{\sigma_{c,05d} + \sigma_{m,05d} - k_{c,y} \sigma_{c,05d}}{k_{c,y} f_{c,05d} + f_{m,05d}} - k_{c,z} \frac{\sigma_{c,05d} + \sigma_{m,05d}}{f_{c,05d} + f_{m,05d}} \leq 1$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}$$

$$k_y = 0,5 \left[1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2 \right]$$

$$k_z = 0,5 \left[1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2 \right]$$



Instabilités : flambement

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d'exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

Éléments sollicités en compression/flambement et flexion/déversement

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



Déversement latéral

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d'exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

Le déversement latéral doit être vérifié à la fois dans le cas d'un moment M_y selon l'axe fort y , ainsi que dans le cas d'une combinaison d'un moment M_y et d'un effort normal N_c .

$$\sigma_{c,0,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d}$$

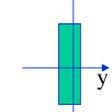
$\lambda_{rel,y} = \frac{1}{\lambda_{rel,z}}$

pour $\lambda_{rel,y} \leq 0,75$
 pour $0,75 < \lambda_{rel,y} \leq 1,4$
 pour $1,4 < \lambda_{rel,y}$

$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{t,0,d}}{\sigma_{t,crit}}}$

$\sigma_{t,crit} = \frac{M_{y,ed}}{W_y} = \frac{\pi \sqrt{E_{0,05} I_z G_{0,05} I_{rot}}}{\ell_{ef} W_y}$

$\sigma_{t,crit} = \frac{0,78 b^2}{h \ell_{ef}} E_{0,05}$




Vérifications des structures bois Eurocode 5

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d'exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

- ◆ Vérifications ELS
 - ◆ Déformations



Calcul des déformations ELS

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d'exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d'actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

- La flèche instantanée est déduite d'un calcul avec un comportement élastique du matériau.
- Le fluage du bois sous charge maintenue (de longue durée) est intégré dans les calculs via un coefficient:

$$k_{def}$$



Prise en compte du fluage

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d' exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d' actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

Valeurs du coefficient de fluage du bois pris en compte dans le calcul de la déformée à long terme:

k_{def}

Matériau	K_{def} selon classes de service		
	1	2	3
<i>Bois Massif</i>	0,60	0,80	2,00
<i>Bois lamellé collé et LVL</i>	0,60	0,80	2,00



Calcul des déformations / ELS

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d' exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d' actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

La flèche finale vaut alors:

• Pour les charges permanentes:

$$w_{fin} = w_{inst} (1 + k_{def})$$

car la totalité des charges permanentes crée du fluage.

• Pour les charges variable:

$$w_{fin} = w_{inst} (1 + \psi_2 \cdot k_{def})$$

car la part de la charge variable qui engendre un effet de fluage représente sa valeur quasi permanente.



Calcul des déformations / ELS

Bases de calcul:

- Exigences fondamentales
- Vérification sécurité
- Situation de projet
- ELU / ELS et sécurité
- Classe de service
- Valeur calcul Résistances
- Classes de Résistance
- Comparaison CB71-EC5

Les Actions:

- Variabilité
- Normes pour les actions
 - Charges permanentes
 - Charges d' exploitation
 - Charges de neige
 - Charges de vent
- Combinaisons d' actions

Calcul Sollicitations:

- Différentes études
- Exemples

Vérification des éléments

- Résistance de calcul
- Vérifications à l'ELU
- Vérification à l'ELS

Prise en compte de la déformation induite par le cisaillement de flexion:

Cas d'une poutre isostatique, uniformément chargée

U_v : flèche due au cisaillement

U_m : flèche due au contrainte normale de flexion

$$\frac{u_v}{u_m} = 0,96 \frac{E}{G} \left(\frac{h}{l} \right)^2$$