

NORDIC
STRUCTURES

Formation Utilisations et Calculs CLT

Simon Gallagher

ORGANIZATION

BULDING SINCE 1961

NORDIC
STRUCTURES



EXPERIENCE COLLABORATIONS

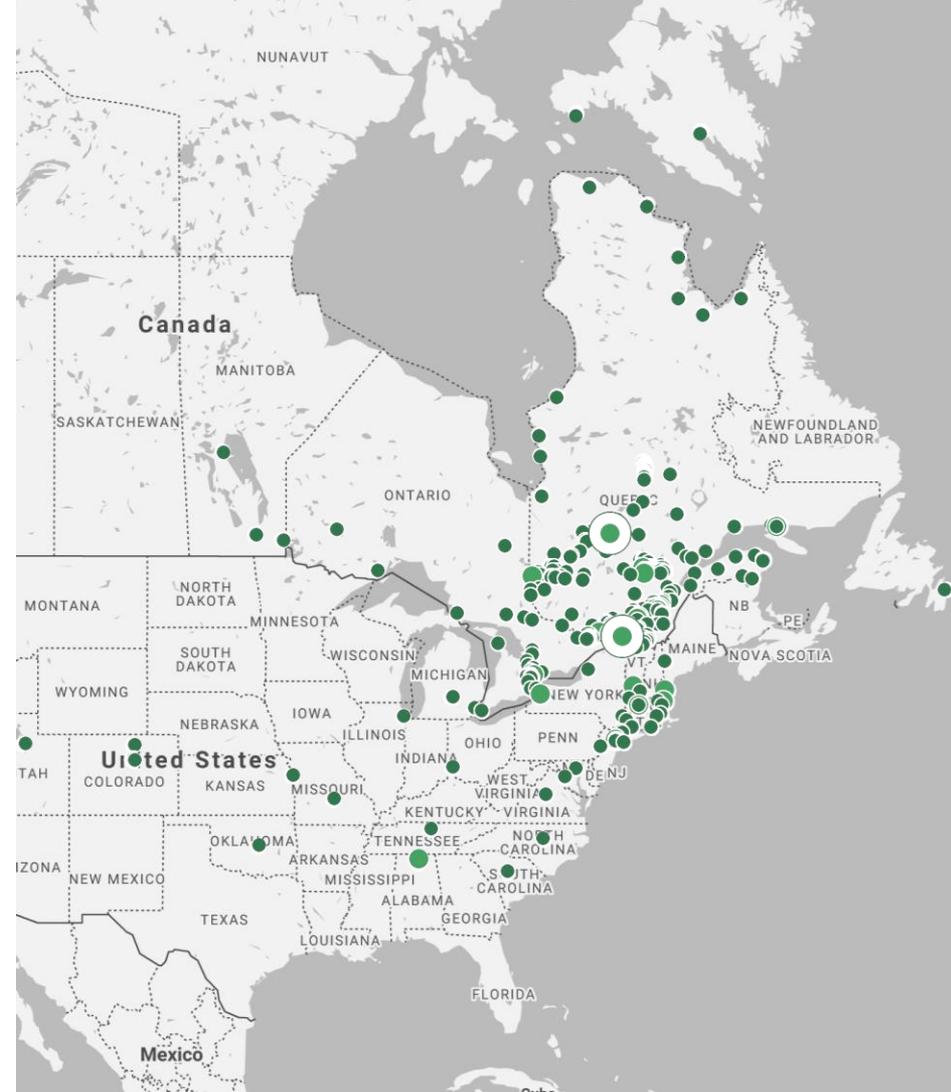
CLIENTS

DESIGN TEAMS

GENERAL CONTRACTORS

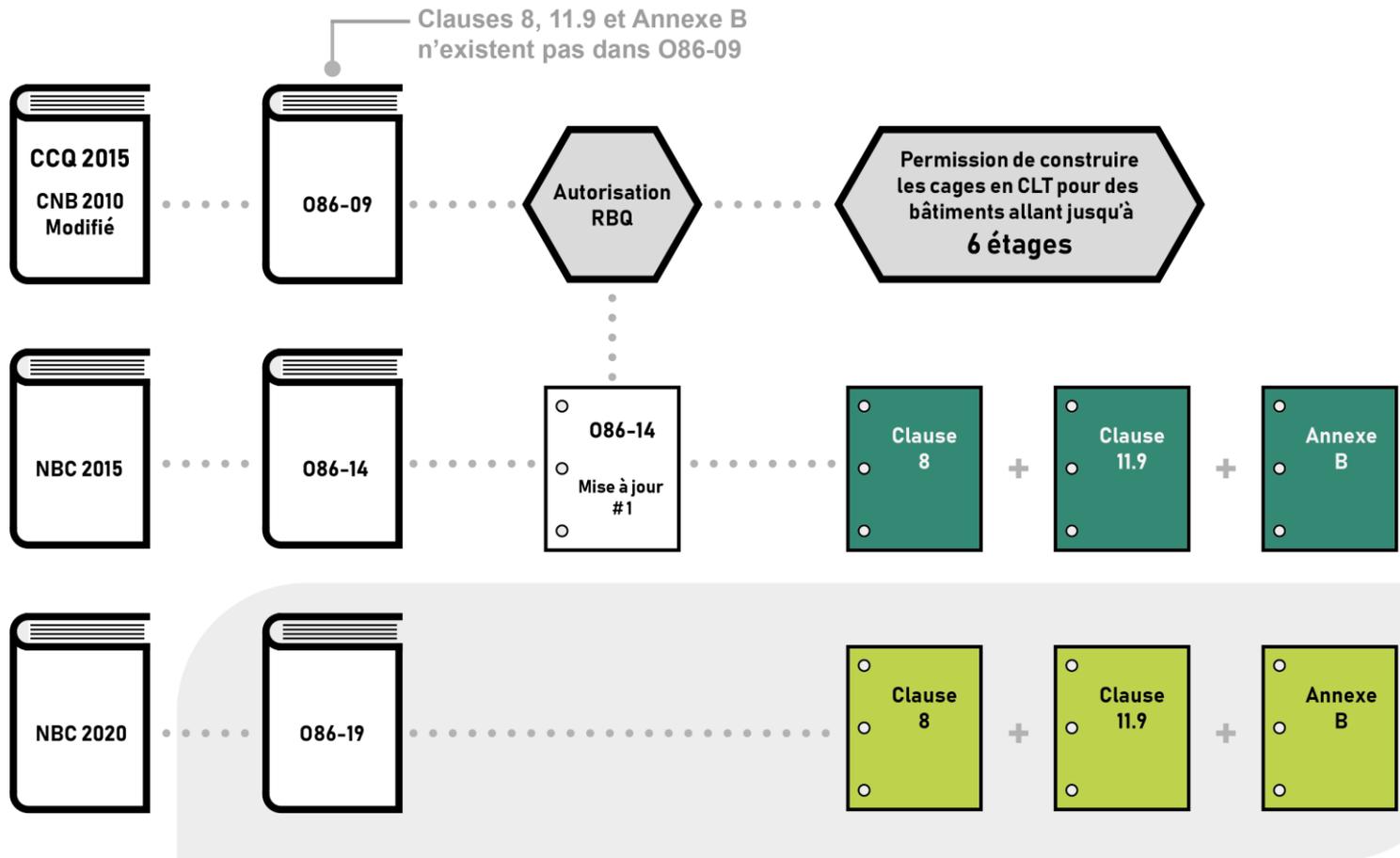
R+D PARTNERS

NORDIC
STRUCTURES



Formation Utilisations et Calculs CLT

- Codes et Normes
- O86 – Annexe B – Résistance au feu des éléments en bois de grande section transversale
- O86 – Clause 8 – Bois lamellé-croisé (CLT) - Dalle
- **Exemple: dalle**
- O86 – Clause 8 – Bois lamellé-croisé (CLT) - Mur
- **Exemple: mur gravitaire**
- O86 – Clause 11.9 – Calcul des murs de refend et des diaphragmes en bois lamellé-croisé
- **Exemple: mur de refend**
- CLT – Modélisation



<https://www.rbq.gouv.qc.ca/batiment/les-mesures-equivalentes-et-les-mesures-differentes/utilisation-de-la-norme-csa-o86-2014-pour-une-construction-en-bois.html>

<https://www.rbq.gouv.qc.ca/domaines-d'intervention/batiment/les-mesures-equivalentes-et-les-mesures-differentes/cages-descaliers-dissue-dans-les-constructions-en-bois.html>

Formation Utilisations et Calculs CLT

- Codes et Normes
- O86 – Annexe B – Résistance au feu des éléments en bois de grande section transversale
- O86 – Clause 8 – Bois lamellé-croisé (CLT) - Dalle
- **Exemple: dalle**
- O86 – Clause 8 – Bois lamellé-croisé (CLT) - Mur
- **Exemple: mur gravitaire**
- O86 – Clause 11.9 – Calcul des murs de refend et des diaphragmes en bois lamellé-croisé
- **Exemple: mur de refend**
- CLT – Modélisation

Résistance au feu – bâtiment en bois

Lamellé-collé

2 méthodes valides

Lamellé-croisé

CLT

1 méthode valide

Annexe B – O86

De O86-2014, Mise à jour #2 – Sept 2017

Calcul

Calcul

Annexe D.2 – CCQ

Prescriptif

Résistance au feu – bâtiment en bois

Annexe B (informative)

Résistance au feu des éléments en bois de grande section transversale



Quelles charges utiliser?

B.1.4

La méthodologie présentée à l'annexe B est une approche d'ingénierie destinée à prédire la résistance au feu structurale des éléments en bois de grande section transversale soumis à l'essai de résistance au feu selon la CAN/ULC-S101. La méthode d'essai exige que les éléments porteurs mis à l'essai supportent une charge représentant la pleine charge spécifiée ou une condition de charge réduite. Pour le calcul du degré de résistance au feu selon la méthodologie présentée à l'annexe B, les charges spécifiées dues à la gravité sont utilisées (c.-à-d., D + L).

Résistance au feu – bâtiment en bois

Année
Résumé



Quelle

B.1.4
La méthode
selon la
charge de
résistance
sont u

4.1.6.2.

Charge spécifiée due à la neige

(Voir la note A-4.1.6.2.)

1) La charge spécifiée, S , due à l'accumulation de la neige et de la pluie qui l'accompagne sur un toit ou sur toute autre partie d'un bâtiment doit être calculée à l'aide de la formule :

$$S = [I_s S_s (C_b C_w C_e C_a) + S_r]$$

où

- I_s = coefficient de risque de la charge due à la neige, décrit au tableau 4.1.6.2.-A;
- S_s = charge de neige au sol susceptible d'être égalée ou dépassée une fois en 50 ans, en kPa, déterminée conformément à la sous-section 1.1.3.;
- C_b = coefficient de base de charge de neige sur le toit du paragraphe 2);
- C_w = coefficient d'exposition au vent des paragraphes 3) et 4);
- C_e = coefficient de pente des paragraphes 5), 6) et 7);
- C_a = coefficient d'accumulation du paragraphe 8); et
- S_r = charge correspondante due à la pluie susceptible d'être égalée ou dépassée une fois en 50 ans, en kPa, déterminée conformément à la sous-section 1.1.3., mais sans dépasser $S_s(C_b C_w C_e C_a)$.

résistance au
force au feu
supportent une
calcul du degré
s à la gravité

Résistance au feu – bâtiment en bois

B.3.2 Coefficient de résistance, ϕ

Le coefficient de résistance, ϕ , doit être de 1,0.

Tableau B.3.9

Coefficients de correction pour le calcul de la résistance au feu, K_{fi}

Produit	K_{fi}
Gros bois d'œuvre et platelage en madriers	1,5
Bois lamellé-collé	1,35
Bois de charpente composite	1,25
Bois lamellé-croisé	
— Classe de contraintes V1-V2	1,5
— Classe de contraintes E1-E3	1,25

Note : Le coefficient de correction pour le calcul de la résistance au feu, K_{fi} , convertit la résistance prévue en résistance moyenne.

Résistance au feu – bâtiment en bois

Tableau B.4.2

Vitesses de combustion de calcul pour le bois et les produits à base de bois, mm/min

	β_o	β_n
Gros bois d'œuvre et platelage en madriers	0,65	0,80
Bois lamellé-collé	0,65	0,70
Bois de charpente composite	0,65*	0,70*
Bois lamellé-croisé	0,65	0,80

*Ces valeurs s'appliquent uniquement aux produits de bois de charpente composite à base de bois.

B.5.1 Épaisseur de la couche de résistance nulle

■ ■ ■

$$x_t = \left(\frac{t}{20}\right) \times 7 \quad (\text{pour } t < 20)$$

$$x_t = 7 \quad (\text{pour } t \geq 20)$$

où

t = durée d'exposition au feu, min

Résistance au feu – bâtiment en bois

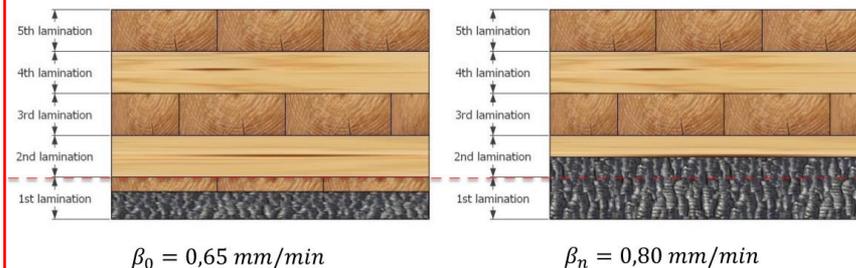
Tableau B.4.2
Vitesses de combustion de calcul pour le bois et les produits à base de bois, mm/min

	β_o	β_n
Gros bois d'œuvre et platelage en madriers	0,65	0,80
Bois lamellé-collé	0,65	0,70
Bois de charpente composite	0,65*	0,70*
Bois lamellé-croisé	0,65	0,80

*Ces valeurs s'appliquent uniquement aux produits de bois de charpente composite à base de bois.

Bois lamellé-croisé (CLT) – Résistance mécanique [19]

- Vitesse de carbonisation (β_o ou β_n) selon la position du 1^{er} plan de colle



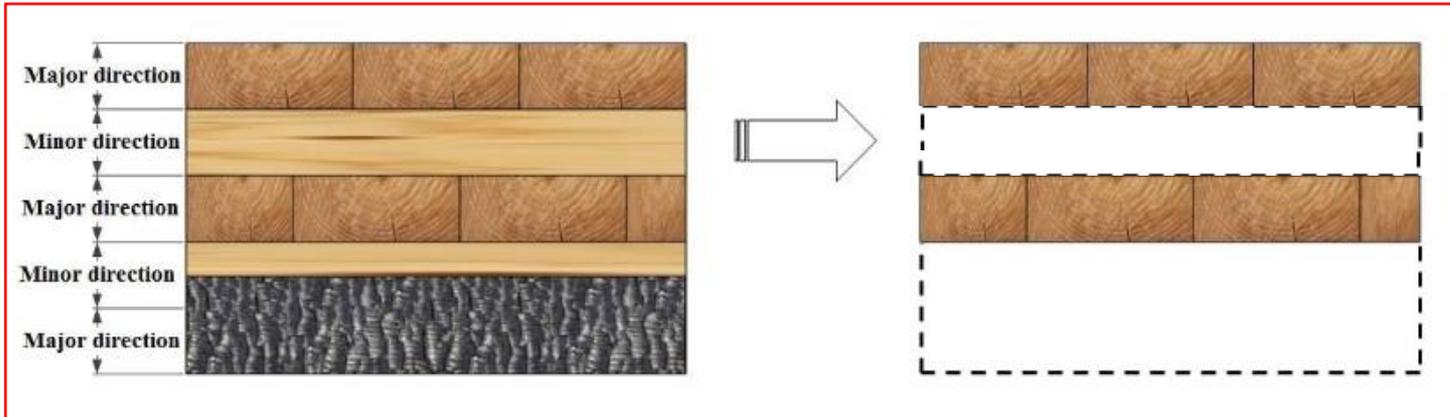
FPIInnovation: 2020

Résistance au feu – bâtiment en bois

B.2.3 Bois lamellé-croisé

Lors de la détermination de la résistance axiale ou au moment des panneaux en bois lamellé-croisé exposés au feu conformément au chapitre 8, toutes les couches parallèles au sens d'application de la contrainte doivent être prises en compte pour la détermination de la résistance au feu des panneaux.

Note : Si la conception est réglée par une contrainte de charrage direct, telle qu'une charge ponctuelle exercée par un poteau sur un élément de planche, la résistance au charrage direct doit être déterminée. Dans le cas de la résistance au charrage, toutes les couches qui contribuent à la résistance doivent être prises en compte.



Résistance au feu – bâtiment en bois

- **B.3.3 Coefficient de durée d'application de la charge, K_D**

- doit être déterminé en se basant sur la section transversale réduite,

B.3.7 Élancement, C_C

B.3.8 Coefficient d'élancement, K_C

B.3.6 Coefficient de stabilité latérale, K_L



B.6.4 Module d'élasticité

- en se basant sur les dimensions de la section transversale d'origine.

B.3.5 Coefficient de dimensions, K_Z

Formation Utilisations et Calculs CLT

- Codes et Normes
- O86 – Annexe B – Résistance au feu des éléments en bois de grande section transversale
- O86 – Clause 8 – Bois lamellé-croisé (CLT) - Dalle
- **Exemple: dalle**
- O86 – Clause 8 – Bois lamellé-croisé (CLT) - Mur
- **Exemple: mur gravitaire**
- O86 – Clause 11.9 – Calcul des murs de refend et des diaphragmes en bois lamellé-croisé
- **Exemple: mur de refend**
- CLT – Modélisation

8 Bois lamellé-croisé

Changements dans la nomenclature: de la version 2014 à 2019

O86-14	$M_{r,y}$ $M_{r,x}$	$S_{eff,y}$ $S_{eff,x}$	$K_{rb,y}$ $K_{rb,x}$	$(EI)_{eff,y}$ $(EI)_{eff,x}$	$(GA)_{eff,zy}$ $(GA)_{eff,zx}$	b_y b_x h_x
O86-19	$M_{r,f,0}$ $M_{r,f,90}$	$S_{eff,f,0}$ $S_{eff,f,90}$	$K_{rb,0}$ $K_{rb,90}$	$(EI)_{eff,f,0}$ $(EI)_{eff,f,90}$	$(GA)_{eff,f,0}$ $(GA)_{eff,f,90}$	b_0 b_{90} h_{90}

8 Bois lamellé-croisé

Changements dans la nomenclature: de la version 2014 à 2019

O86-14

$$V_{r,zy}$$
$$V_{r,zx}$$

$$A_{g,zy}$$
$$A_{g,zx}$$

$(GA)_{eff}$

$$\frac{P_f}{P_r} + \frac{M_f}{M_r} \left[\frac{1}{1 - \frac{P_f}{P_{E,v}}} \right] \leq 1$$

O86-19

$$V_{r,f,0}$$
$$V_{r,f,90}$$

$$A_{g,0}$$
$$A_{g,90}$$

$(GA)_{eff,f}$

$$\frac{P_f}{P_r} + \frac{M_f}{M_{r,f}} \left[\frac{1}{1 - \frac{P_f}{P_{E,v}}} \right] \leq 1$$

8 Bois lamellé-croisé

S'applique uniquement aux CLT certifiés conformément à ANSI/APA PRG 320

Attention aux CLT Européens non certifiés!

8.3 Coefficients de correction

8.3.1 Coefficient de durée d'application de la charge, K_D

8.3.2 Coefficient de conditions d'utilisation, K_S

8.3.3 Coefficient de traitement, K_T

8.3.4 Coefficient de système, K_H

8 Bois lamellé-croisé

f_s et non pas f_v car le cisaillement roulant gouverne

Tableau 8.2.4
Résistances prévues et modules d'élasticité des lamelles des classes de contraintes du bois lamellé-croisé primaires, MPa

Classe de contraintes	Couches longitudinales						Couches transversales					
	f_b	E	f_t	f_c	f_s	f_{cp}	f_b	E	f_t	f_c	f_s	f_{cp}
E1	28,2	117000	15,4	19,3	0,50	5,3	7,0	9000	3,2	9,0	0,50	5,3
E2	23,9	10300	11,4	18,1	0,63	7,0	4,6	10000	2,1	7,3	0,63	7,0
E3	17,4	8300	6,7	15,1	0,43	3,5	4,5	6500	2,0	5,2	0,43	3,5
V1	10,0	11000	5,8	14,0	0,63	7,0	4,6	10000	2,1	7,3	0,63	7,0
V2	11,8	9500	5,5	11,5	0,50	5,3	7,0	9000	3,2	9,0	0,50	5,3



8 Bois lamellé-croisé

f_s et non pas f_v car le cisaillement roulant gouverne



Figure 8.2.4
Cisaillement roulant du bois lamellé-croisé

8 Bois lamellé-croisé

f_s et non pas f_v car le cisaillement roulant gouverne

Tableau 8.2.4
Résistances prévues et modules d'élasticité des lamelles des classes de contraintes du bois lamellé-croisé primaires, MPa

Classe de contraintes	Couches longitudinales						Couches transversales					
	f_b	E	f_t	f_c	f_s	f_{cp}	f_b	E	f_t	f_c	f_s	f_{cp}
E1	28.2	117000	15.4	19.3	0.50	5.3	7.0	9000	3.2	9.0	0.50	5.3

- (2) The specified values are taken from [Table 6.3.2](#) for MSR lumber and [Table 6.3.1A](#) for visually stress-graded lumber. The specified strength in rolling shear, f_s , is taken as approximately 1/3 of the specified strength in shear, f_v , for the corresponding species combination. See [Figure 8.2.4](#) for clarification of rolling shear.
- (3) The transverse modulus of elasticity, E_{\perp} , may be estimated as $E/30$.
- (4) The shear modulus, G , may be estimated as $E/16$.
- (5) The rolling shear modulus, G_{\perp} , may be estimated as $G/10$. See [Figure 8.2.4](#) for clarification of rolling shear.
- (6) The modulus of elasticity for design of compression members, E_{05} , shall be taken from [Table 6.3.1A](#) for visually stress-graded lumber and $0.82E$ for MSR lumber.

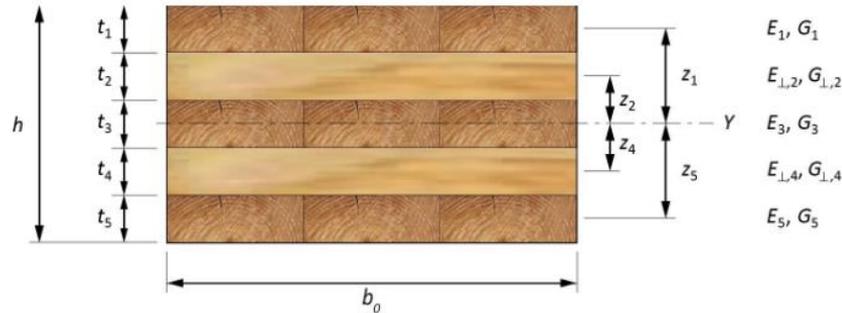


8.4.3.2 Rigidité effective en flexion et rigidité effective en cisaillement dans le plan du panneau

a) pour l'axe de résistance principale (figure 8.4.3.2a) :

$$(EI)_{eff,f,0} = \sum_{i=1}^n E_i b_0 \frac{t_i^3}{12} + \sum_{i=1}^n E_i b_0 t_i z_i^2$$

$$(GA)_{eff,f,0} = \frac{\left(h - \frac{t_1}{2} - \frac{t_n}{2}\right)^2}{\left[\left(\frac{t_1}{2G_1 b_0}\right) + \left(\sum_{i=2}^{n-1} \frac{t_i}{G_i b_0}\right) + \left(\frac{t_n}{2G_n b_0}\right)\right]}$$

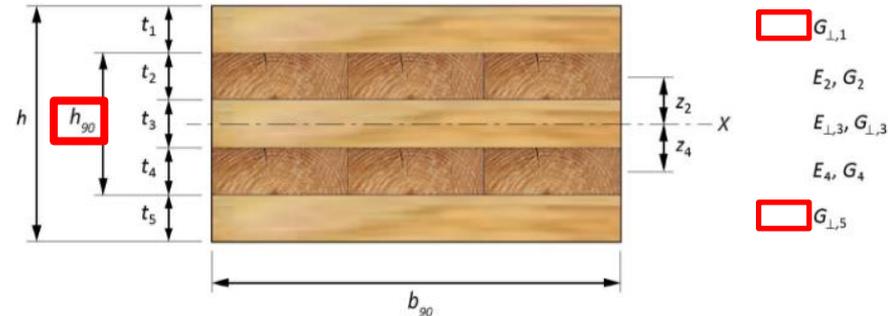


a) Propriétés pour l'axe de résistance principale

b) pour l'axe de résistance secondaire (figure 8.4.3.2b) :

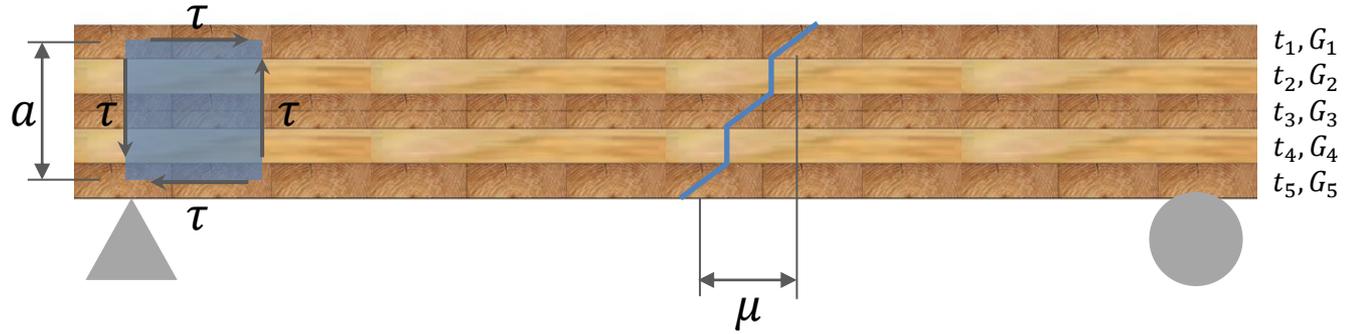
$$(EI)_{eff,f,90} = \sum_{i=2}^{n-1} E_i b_{90} \frac{t_i^3}{12} + \sum_{i=2}^{n-1} E_i b_{90} t_i z_i^2$$

$$(GA)_{eff,f,90} = \frac{\left(h - \frac{t_1}{2} - \frac{t_n}{2}\right)^2}{\left[\left(\frac{t_1}{2G_1 b_{90}}\right) + \left(\sum_{i=2}^{n-1} \frac{t_i}{G_i b_{90}}\right) + \left(\frac{t_n}{2G_n b_{90}}\right)\right]}$$



b) Propriétés pour l'axe de résistance secondaire

$(GA)_{eff,f}$,



CLT as a whole

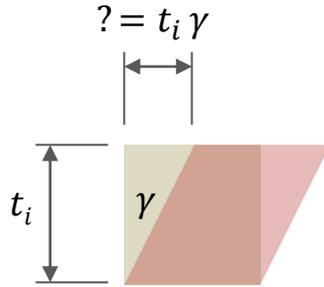
$$\tau = G\gamma \quad (\times A) \text{ (equivalent to } \sigma = E\epsilon)$$

$$\tau A = GA \gamma \quad \text{Little angle approximation: } \gamma = \mu/a \text{ \& } A = a \cdot 1 \text{ \& set } GA = s$$

$$\tau a = s \cdot \mu/a \quad \text{Isolate } \mu$$

$$\boxed{\mu = \tau a^2 / s}$$

$(GA)_{eff,f}$,



$$\tan \gamma = ?/t_i$$

$$? = t_i \tan \gamma$$

Little angle approximation: $\tan \gamma = \gamma$

$$? = t_i \gamma$$

CLT individual layer

$$\tau = G\gamma$$

$$\gamma = \tau/G \quad (\times d)$$

$$t_i \gamma = t_i \tau / G_i$$

$$\mu = \sum d_i \gamma = \frac{t_1 \tau}{2 G_1} + \frac{t_2 \tau}{G_2} + \frac{t_3 \tau}{G_3} + \frac{t_4 \tau}{G_4} + \frac{t_5 \tau}{2 G_5}$$

$(GA)_{eff,f}$,

$$\mu = \tau a^2 / s \quad (1)$$

$$\mu = \sum d_i \gamma = \frac{t_1 \tau}{2 G_1} + \frac{t_2 \tau}{G_2} + \frac{t_3 \tau}{G_3} + \frac{t_4 \tau}{G_4} + \frac{t_5 \tau}{2 G_5} \quad (2)$$

$$(1) = (2)$$

$$\frac{\tau a^2}{s} = \frac{t_1 \tau}{2 G_1} + \frac{t_2 \tau}{G_2} + \frac{t_3 \tau}{G_3} + \frac{t_4 \tau}{G_4} + \frac{t_5 \tau}{2 G_5} \quad (\div \tau)$$

$$\frac{a^2}{s} = \frac{t_1}{2 G_1} + \frac{t_2}{G_2} + \frac{t_3}{G_3} + \frac{t_4}{G_4} + \frac{t_5}{2 G_5}$$

$$\frac{a^2}{s} = \frac{t_1}{2 G_1} + \sum_{i=2}^4 \frac{t_i}{G_i} + \frac{t_5}{2 G_5}$$

$(GA)_{eff,f}$

$$\frac{a^2}{s} = \frac{t_1}{2} \frac{1}{G_1} + \sum_{i=2}^4 \frac{t_i}{G_i} + \frac{t_5}{2} \frac{1}{G_5}$$



$$s = \frac{a^2}{\frac{t_1}{2} \frac{1}{G_1} + \sum_{i=2}^4 \frac{t_i}{G_i} + \frac{t_5}{2} \frac{1}{G_5}}$$

$(GA = s) \quad (a = h - \frac{t_1}{2} - \frac{t_5}{2})$

$$(GA_{eff}) = \frac{\left(h - \frac{t_1}{2} - \frac{t_5}{2}\right)^2}{\frac{t_1}{2G_1} + \sum_{i=2}^4 \frac{t_i}{G_i} + \frac{t_5}{2G_5}}$$

(Per linear meter)

$$(GA)_{eff,f,0} = \frac{\left(h - \frac{t_1}{2} - \frac{t_n}{2}\right)^2}{\left[\left(\frac{t_1}{2G_1 b_0}\right) + \left(\sum_{i=2}^{n-1} \frac{t_i}{G_i b_0}\right) + \left(\frac{t_n}{2G_n b_0}\right)\right]}$$

8.4.3 Résistance au moment de flexion

a) pour l'axe de résistance principale (figure 8.4.3.2a) :

$$M_{r,f,0} = \phi F_b S_{eff,f,0} K_{rb,0}$$

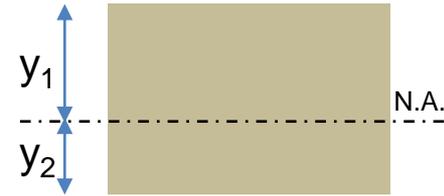
where

$$\phi = 0.9$$

$$F_b = f_b (K_D K_H K_{Sb} K_T)$$

$$K_{rb,0} = 0.85$$

$$K_{rb,90} = 1.0$$



$$\bar{y} = \max(y_1, y_2)$$

$$S_{eff,y} = \frac{(EI)_{eff,y}}{E} \left[\frac{2}{h} \right] \xrightarrow{\text{Correspond à}} \left[\bar{y} \right]$$

8.4.4 Résistance au cisaillement

a) pour l'axe de résistance principale :

$$V_{r,f,0} = \phi F_s \frac{2A_{g,0}}{3}$$

where

$$\phi = 0.9$$

$$F_s = f_s (K_D K_H K_{Sv} K_T)$$

$$V_{r,f,90} = \phi F_s \frac{2A_{g,90}}{3}$$

where

$$\phi = 0.9$$

$$F_s = f_s (K_D K_H K_{Sv} K_T)$$

$A_{g,0}$ = gross cross-sectional area of the panel measured perpendicular to the major strength direction, mm² [see Figure [8.2 a](#)]

$A_{g,90}$ = gross cross-sectional area of the panel measured perpendicular to the minor strength direction, mm², excluding the outermost longitudinal layers [see Figure [8.2 b](#)]

8.5.2 Flèche des panneaux en bois lamellé-croisé

A.8.5.2 Flèche des panneaux en bois lamellé-croisé

$$\Delta_{max} = \Delta_{ST} + \Delta_{LT} K_{fluage}$$

où

Δ_{ST} = flèche élastique due aux charges de courte durée ou de durée normale, sans charge permanente

Δ_{LT} = flèche élastique instantanée due aux charges de longue durée

K_{fluage} = coefficient de correction pour le fluage

= 2,0 pour des conditions d'utilisation en milieu sec

κ = coefficient de forme

= 1,2 pour les sections transversales rectangulaires

Charge uniformément répartie

$$\Delta = \frac{5}{384} \frac{\omega L^4}{(EI)_{eff}} + \frac{1}{8} \frac{\omega L^2 \kappa}{(GA)_{eff}}$$

Charge ponctuelle au centre

$$\Delta = \frac{1}{48} \frac{PL^3}{(EI)_{eff}} + \frac{1}{4} \frac{P L \kappa}{(GA)_{eff}}$$

Autre

$$\Delta = \int \int \int \frac{w}{EI} dx + \int \int \frac{w}{GA} dx$$

ou Élément finis ou travail virtuel

Note : Lorsque la composante de la flèche en cisaillement de la flèche totale du panneau en bois lamellé-croisé sous l'effet de charges hors-plan de durée normale, telles que la charge due à la neige et les surcharges est jugée importante (c.-à-d., dans les courtes portées, les courts porte-à-faux, etc.) par le concepteur, la flèche en cisaillement sous ces charges devrait être augmentée de 30 % pour tenir compte de l'effet du temps associé au cisaillement roulant. Voir aussi le Commentaire du CCB sur la CSA O86.

8.5.3 Tenue aux vibrations des planchers faits de bois lamellé-croisé

A.8.5.3 Tenue aux vibrations des planchers faits de bois lamellé-croisé

$$l_v \leq 0.11 \frac{\left(\frac{(EI)_{eff}}{10^6} \right)^{0.29}}{m^{0.12}}$$

où

l_v = limite de la portée pour le contrôle des vibrations, m

m = masse linéaire du bois lamellé-croisé pour un panneau de 1 m de largeur, kg/m

$(EI)_{eff}$ = rigidité effective en flexion d'un panneau de 1 m de largeur, N•mm² (voir l'article 8.4.3.2)

appuis simples

nu, sans recouvrement.

Dans le cas des planchers à portées multiples où un élément non structural est considéré comme permettant une réduction de la vibration, la portée calculée permettant de contrôler les vibrations peut être augmentée jusqu'à 20 %, dans la mesure où elle ne dépasse pas 8 m.

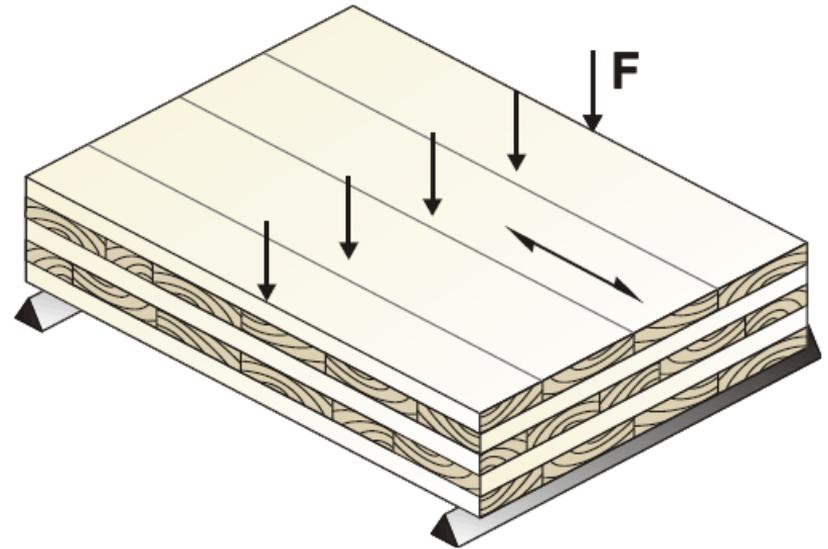
Formation Utilisations et Calculs CLT

- Codes et Normes
- O86 – Annexe B – Résistance au feu des éléments en bois de grande section transversale
- O86 – Clause 8 – Bois lamellé-croisé (CLT) - Dalle
- **Exemple: dalle**
- O86 – Clause 8 – Bois lamellé-croisé (CLT) - Mur
- **Exemple: mur gravitaire**
- O86 – Clause 11.9 – Calcul des murs de refend et des diaphragmes en bois lamellé-croisé
- **Exemple: mur de refend**
- CLT – Modélisation

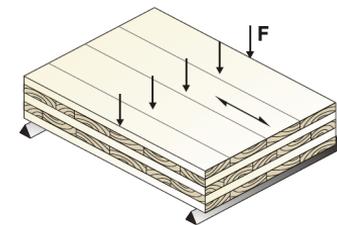
Exemple – Panneau de plancher

Panneau plancher

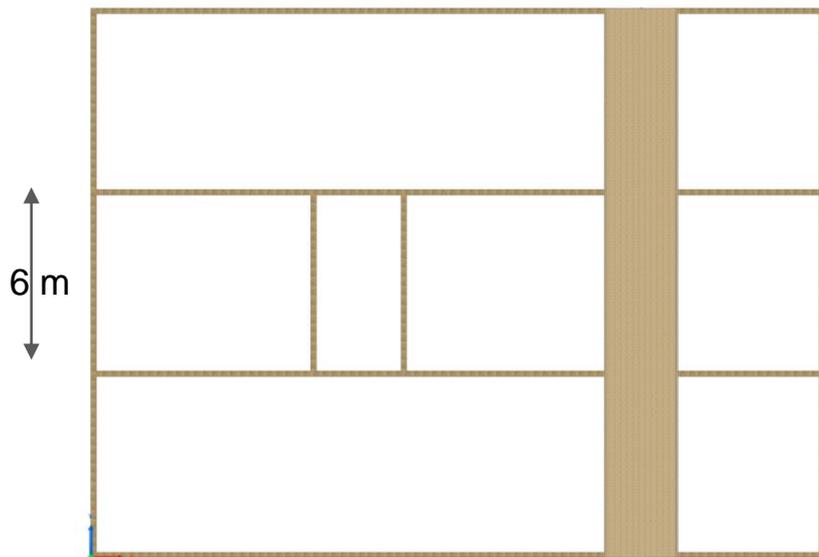
- Charges
- M_f & V_f
- $(EI)_{\text{eff},f,0}$ & $(EI)_{\text{eff},f,90}$
- $M_{r,f,0}$ & $M_{r,f,90}$
- $V_{t,0}$ & $V_{t,90}$
- $(GA)_{\text{eff},f,0}$ & $(GA)_{\text{eff},f,90}$
- Δ_0



Exemple – Panneau de plancher



CLT: Grade E1 tel que défini dans la CSA O86-19



Charges permanentes

50 mm béton	1.20 kPa
Finis	0.20 kPa
Cloisons	1.00 kPa
<u>Mécanique et électrique</u>	<u>0.25 kPa</u>
TOTAL	2.65 kPa
+ Poids de la dalle de CLT	+ ---- kPa

Charges vives

Aires résidentielles 1.9 kPa [CNB Table 4.1.5.3]

Exemple – Panneau de plancher

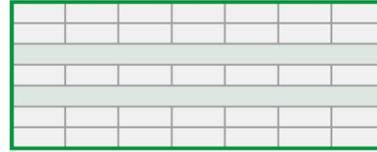
Panneau continu sur 3 appuis

Hypothèse : panneau de 244 mm (7-ply)

$5.1 \text{ kN/m}^3 \times 0.244\text{m} = 1.25 \text{ kPa}$

$DL = 2.65 \text{ kPa} + 1.25 \text{ kPa}$

$w = 1.25 DL + 1.5 LL$



$DL = 3.9 \text{ kPa}$

$LL = 1.9 \text{ kPa}$

$w = 7.725 \text{ kPa}$

$M_f = 27.73 \text{ kNm}$

$V_f = 25.56 \text{ kN}$



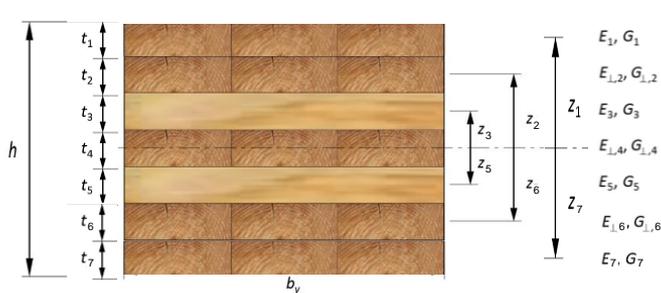
Exemple – Panneau de plancher

Calcul du $(EI)_{\text{eff}}$

- 3) Le module d'élasticité transversal, E_{\perp} , peut être estimé à $E/30$.
- 4) Le module de cisaillement, G , peut être estimé à $E/16$.
- 5) Le module en cisaillement roulant, G_{\perp} , peut être estimé à $G/10$. Voir à la figure 8.2.4 4 la clarification du cisaillement roulant.

Axe de résistance principale

$$(EI)_{\text{eff},y} = \sum_{i=1}^n E_i b_y \frac{t_i^3}{12} + \sum_{i=1}^n E_i b_y t_i z_i^2$$



a) Propriétés pour l'axe de résistance principale

Couche	L ou T	t_i [mm]	t - cumul [mm]	E_i [MPa]	$E_{\perp, i}$ [MPa]	y_i [mm]	z_i [mm]	$E_i b_0 t_i^3 / 12$ [Nmm ²]	$E_i b_0 t_i z_i^2$ [Nmm ²]
1	L	35	35	11700	390	227.5	105	4.2E+10	4.5E+12
2	L	35	70	11700	390	192.5	70	4.2E+10	2E+12
3	T	35	105	9000	300	157.5	35	1.1E+09	1.3E+10
4	L	35	140	11700	390	122.5	0	4.2E+10	
5	T	35	175	9000	300	87.5	35	1.1E+09	1.3E+10
6	L	35	210	11700	390	52.5	70	4.2E+10	2E+12
7	L	35	245	11700	390	17.5	105	4.2E+10	4.5E+12
Somme		245						2.1E+11	1.3E+13

$$y = 122.5 \text{ mm}$$

$$(EI)_{\text{eff},f,0} = 1.32795\text{E}+13 \text{ Nmm}^2 \quad [8.4.3.2.a)]$$

Exemple – Panneau de plancher

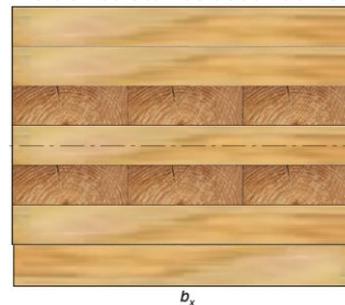
Calcul du $(EI)_{eff}$

$$(EI)_{eff,x} = \sum_{i=2}^{n-1} E_i b_x \frac{t_i^3}{12} + \sum_{i=2}^{n-1} E_i b_x t_i z_i^2$$

$$y_{90} = 52.5 \text{ mm}$$

$$(EI)_{eff,f,90} = 8.37456E+11 \text{ Nmm}^2 \quad [8.4.3.2.b)]$$

Axe de résistance secondaire



b) Propriétés pour l'axe de résistance secondaire

Couche	L ou T			_ _		E [MPa]	E _i _L [MPa]			_ _				_ _	
		t _i [mm]	t _i [mm]	t - cumul [mm]	t - cumul [mm]			y _i [mm]	z _i [mm]	y _i [mm]	z _i [mm]	E _i b ₀ t _i ³ /12 [Nmm ²]	E _i b ₀ t _i z _i ² [Nmm ²]	E _i b ₉₀ t _i ³ /12 [Nmm ²]	E _i b ₉₀ t _i z _i ² [Nmm ²]
1	L	35		35	0	11700	390	227.5	105	0	0	4.18E+10	4.51E+12		
2	L	35		70	0	11700	390	192.5	70	0	0	4.18E+10	2.01E+12		
3	T	35	35	105	35	9000	300	157.5	35	87.5	35	1.07E+09	1.29E+10	3.216E+10	3.86E+11
4	L	35	35	140	70	11700	390	122.5	0	52.5	0	4.18E+10		1.393E+09	
5	T	35	35	175	105	9000	300	87.5	35	17.5	35	1.07E+09	1.29E+10	3.216E+10	3.86E+11
6	L	35		210	0	11700	390	52.5	70	0	0	4.18E+10	2.01E+12		
7	L	35		245	0	11700	390	17.5	105	0	0	4.18E+10	4.51E+12		
Somme		245	105									2.11E+11	1.31E+13	6.571E+10	7.72E+11

Exemple – Panneau de plancher

Résistance au moment de flexion

$$K_D = 1,0 - 0,50 \log (P_L/P_S) \geq 0,65$$

$$K_D = 0.84$$

$$M_{r,f,0} = \phi F_b S_{eff,f,0} K_{rb,0}$$

where

$$\phi = 0.9$$

$$F_b = f_b^* (K_D K_H K_{Sb} K_T)$$

$$K_{rb,0} = 0.85$$

$$S_{eff,y} = \frac{(EI)_{eff,y}}{E^*} \frac{2}{h}$$

M _{r,f,0} - Sens Fort			
φ	0.9		8.4.3.1
K _D	0.84		8.3.1
K _H	1		8.3.4
K _{Sb}	1		8.3.2
K _T	1		8.3.3
* f _b	28.2	MPa	8.2.4
F _b	23.688	MPa	
(EI) _{eff,f,0}	1.3279E+13	Nmm ²	
* E	11700	MPa	
h	245	mm	
S _{eff,f,0}	9265278	mm ³	8.4.3.1
K _{rb,0}	0.85		8.4.3.1
M _{r,f,0}	167.9	kNm	

M _{r,f,90} - Sens Faible			
φ	0.9		8.4.3.1
K _D	0.84		8.3.1
K _H	1		8.3.4
K _{Sb}	1		8.3.2
K _T	1		8.3.3
* f _b	7	MPa	8.2.4
F _b	5.88	MPa	
(EI) _{eff,f,90}	8.3746E+11	Nmm ²	
* E	9000	MPa	
h ₉₀	105	mm	
S _{eff,f,90}	1772394	mm ³	8.4.3.1
K _{rb,90}	1		8.4.3.1
M _{r,f,90}	9.4	kNm	

$$M_{r,f,90} = \phi F_b S_{eff,f,90} K_{rb,90}$$

where

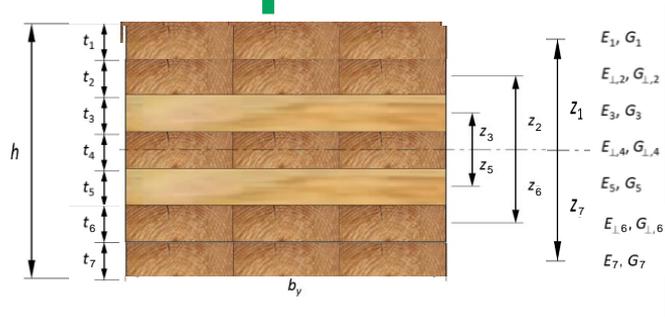
$$\phi = 0.9$$

$$F_b = f_b^* (K_D K_H K_{Sb} K_T)$$

$$K_{rb,90} = 1.0$$

$$S_{eff,x} = \frac{(EI)_{eff,x}}{E^*} \frac{2}{h_x}$$

Exemple – Panneau de plancher



a) Propriétés pour l'axe de résistance principale

$$M_{r,f,0} = \phi F_b S_{eff,f,0} K_{rb,0}$$

where

$$\phi = 0.9$$

$$F_b = f_b^* (K_D K_H K_{Sb} K_T)$$

$$K_{rb,0} = 0.85$$

$$S_{eff,y} = \frac{(EI)_{eff,y}}{E^*} \frac{2}{h}$$

M _{r,f,0} - Sens Fort			
ϕ	0.9		8.4.3.1
K _D	0.84		8.3.1
K _H	1		8.3.4
K _{Sb}	1		8.3.2
K _T	1		8.3.3
* f _b	28.2	MPa	8.2.4
F _b	23.688	MPa	
(EI) _{eff,f,0}	1.3279E+13	Nmm ²	
* E	11700	MPa	
h	245	mm	
S _{eff,f,0}	9265278	mm ³	8.4.3.1
K _{rb,0}	0.85		8.4.3.1
M _{r,f,0}	167.9	kNm	

Tableau 8.2.4
Résistances prévues et modules d'élasticité des lamelles des classes de contraintes du bois lamellé-croisé primaires, MPa

Classe de contraintes	Couches longitudinales						Couches transversales					
	f _b	E	f _t	f _c	f _s	f _{cp}	f _b	E	f _t	f _c	f _s	f _{cp}
E1	28,2	117000	15,4	19,3	0,50	5,3	7,0	9000	3,2	9,0	0,50	5,3
E2	23,9	10300	11,4	18,1	0,63	7,0	4,6	10000	2,1	7,3	0,63	7,0
E3	17,4	8300	6,7	15,1	0,43	3,5	4,5	6500	2,0	5,2	0,43	3,5
V1	10,0	11000	5,8	14,0	0,63	7,0	4,6	10000	2,1	7,3	0,63	7,0
V2	11,8	9500	5,5	11,5	0,50	5,3	7,0	9000	3,2	9,0	0,50	5,3

M _{r,f,90} - Sens Faible			
ϕ	0.9		8.4.3.1
K _D	0.84		8.3.1
K _H	1		8.3.4
K _{Sb}	1		8.3.2
K _T	1		8.3.3
* f _b	7	MPa	8.2.4
F _b	5.88	MPa	
(EI) _{eff,f,90}	8.3746E+11	Nmm ²	
* E	9000	MPa	
h ₉₀	105	mm	
S _{eff,f,90}	1772394	mm ³	8.4.3.1
K _{rb,90}	1		8.4.3.1
M _{r,f,90}	9.4	kNm	

$$M_{r,f,90} = \phi F_b S_{eff,f,90} K_{rb,90}$$

where

$$\phi = 0.9$$

$$F_b = f_b^* (K_D K_H K_{Sb} K_T)$$

$$K_{rb,90} = 1.0$$

$$S_{eff,x} = \frac{(EI)_{eff,x}}{E^*} \frac{2}{h_x}$$

Exemple – Panneau de plancher

Exemple sans compté les plies dans le sens faible

Couche	L ou T	t_i [mm]	t - cumul [mm]	E_i [MPa]	E_{L_L} [MPa]	v_i [mm]	z_i [mm]	$E_i b_0 t_i^3 / 12$ [Nmm ²]	$E_i b_0 t_i z_i^2$ [Nmm ²]
1	L	35	35	11700	390	227.5	105	4.2E+10	4.5E+12
2	L	35	70	11700	390	192.5	70	4.2E+10	2E+12
3	T	35	105	9000	300	157.5	35	1.1E+09	1.3E+10
4	L	35	140	11700	390	122.5	0	4.2E+10	
5	T	35	175	9000	300	87.5	35	1.1E+09	1.3E+10
6	L	35	210	11700	390	52.5	70	4.2E+10	2E+12
7	L	35	245	11700	390	17.5	105	4.2E+10	4.5E+12
Somme		245						2.1E+11	1.3E+13

$E_i b_0 t_i^3 / 12$ [Nmm ²]	$E_i b_0 t_i z_i^2$ [Nmm ²]	
2.111594E+11	1.306830E+13	avec
2.090156E+11	1.304258E+13	sans

$$y = 122.5 \text{ mm}$$

$$(EI)_{\text{eff},f,0} = 1.32795E+13 \text{ Nmm}^2 \quad [8.4.3.2.a)]$$

$$(EI)_{\text{eff},f,0} = 1.32516E+13 \text{ Nmm}^2 \quad [8.4.3.2.a)]$$

$$Mr_{f,0} = 167.9 \text{ kNm}^2 \text{ En comptant toutes les couches}$$

$$Mr_{f,0} = 167.5 \text{ kNm}^2 \text{ En ngligeant les couches dans le sens faible}$$

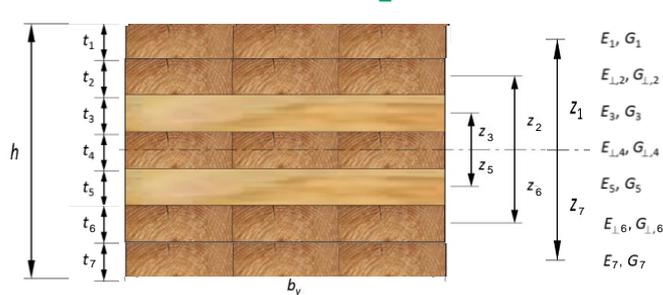
$$\Delta = 0.24\%$$

Exemple – Panneau de plancher

Résistance au cisaillement

$$A_{g,0} = 7 \times 35 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm} = 245\,000 \text{ mm}^2$$

$$A_{g,90} = 3 \times 35 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm} = 105\,000 \text{ mm}^2$$



$$K_D = 1,0 - 0,50 \log (P_L/P_S) \geq 0,65$$

$$K_D = 0.84$$

a) Propriétés pour l'axe de résistance principale

$$V_{r,zy} = \phi F_s \frac{2A_{g,zy}}{3}$$

où

$$\phi = 0,9$$

$$F_s = f_s(K_D K_H K_{Sv} K_T)$$

$V_{r,f,0}$ - Sens Fort			
ϕ	0.9		8.4.3.1
K_D	0.84		8.3.1
K_H	1		8.3.4
K_{Sv}	1		8.3.2
K_T	1		8.3.3
f_s	0.5	MPa	8.2.4
F_s	0.42	MPa	
$A_{g,0}$	245000	mm ²	8.4.4.2
$V_{r,f,0}$	61.74	kN	

$V_{r,f,90}$ - Sens Faible			
ϕ	0.9		8.4.3.1
K_D	0.84		8.3.1
K_H	1		8.3.4
K_{Sv}	1		8.3.2
K_T	1		8.3.3
f_s	0.5	MPa	8.2.4
F_s	0.42	MPa	
$A_{g,90}$	105000	mm ²	8.4.4.2
$V_{r,f,90}$	26.46	kN	

$$V_{r,zx} = \phi F_s \frac{2A_{g,zx}}{3}$$

où

$$\phi = 0,9$$

$$F_s = f_s(K_D K_H K_{Sv} K_T)$$

Exemple – Panneau de plancher

A.8.5.2 Flèche des panneaux en bois lamellé-croisé

Charge uniformément répartie

$$w_D = 3.55 \text{ kPa}$$

$$w_L = 1.9 \text{ kPa}$$

$$\Delta = \frac{5}{384} \frac{\omega L^4}{(EI)_{eff}} + \frac{1}{8} \frac{\omega L^2}{(GA)_{eff}}$$

$$\Delta_{max} = \Delta_{ST} + \Delta_{LT} K_{fluage}$$

Simplement supporté

$$\Delta_{max,0} = 39.22 \text{ mm}$$

$$\Delta_{allow} = L/180 = 33.3 \text{ mm}$$

Continue sur 3 appuis

$$\Delta_{max,0} = 21.0 \text{ mm}$$

$$\Delta_{allow} = L/180 = 33.3 \text{ mm}$$

Pour simplement supporté

Deflection		
Span	6000	mm
Span - weak	2440	mm
wd	3.55	kPa
wl	1.9	kPa
$(EI)_{eff,f,0}$	4.1664E+12	Nmm ²
$(GA)_{eff,f,0}$	14625000	N
$(EI)_{eff,f,90}$	4.1942E+11	Nmm ²
$(GA)_{eff,f,90}$	18119469	N

	$(EI)_{eff,f,0}$	$(GA)_{eff,f,0}$	Total	
Δ_{LT}	14.38	1.09	15.47	mm
Δ_{ST}	7.70	0.58	8.28	mm
K_{fluage}	2	2	2	
Δ_{max}	36.45	2.77	39.22	mm

Exemple – Panneau de plancher

A.8.5.3 Tenue aux vibrations des planchers faits de bois lamellé-croisé

$$l_v \leq 0.11 \frac{\left(\frac{(EI)_{eff}}{10^6}\right)^{0.29}}{m^{0.12}}$$

où
 l_v = limite de la portée pour le contrôle des vibrations, m

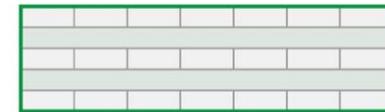
m = masse linéaire du bois lamellé-croisé pour un panneau de 1 m de largeur, kg/m

$(EI)_{eff}$ = rigidité effective en flexion d'un panneau de 1 m de largeur, N•mm² (voir l'article 8.4.3.2)

Vibration		
$(EI)_{eff,f,0}$	4.17E+12	Nmm ²
$(EI)_{eff,f,90}$	4.19E+11	Nmm ²
épaisseur	0.175	m
densité	510	kg/m ³
m	89.25	kg/m
l_v	5.33	m
Multiple span factor	0.2	
l_v	6.40	m

Dans le cas des planchers à portées multiples où un élément non structural est considéré comme permettant une réduction de la vibration, la portée calculée permettant de contrôler les vibrations peut être augmentée jusqu'à 20 %, dans la mesure où elle ne dépasse pas 8 m.

Exemple – Panneau de plancher



$$M_f = 27.73 \text{ kNm}$$

$$V_f = 25.56 \text{ kN}$$

CLT 244 (7 plis)

$$M_{r,f,0} = 168 \text{ kNm (KD = .84)}$$

$$V_{r,f,0} = 61 \text{ kN (KD = .84)}$$

CLT 175 (5 plis) ← Option retenue

$$M_{r,f,0} = 75 \text{ kN (KD = 0.87)}$$

$$V_{r,f,0} = 45 \text{ kN (KD = 0.87)}$$

Vérification de la résistance au feu

Charges Spécifiées

Panneau continu sur 3 appuis

Panneau de 175 mm (5-pli)

$$5.1 \text{ kN/m}^3 \times 0.175 \text{ m} = 0.89 \text{ kPa}$$

$$DL = 2.65 \text{ kPa} + 0.89 \text{ kPa}$$

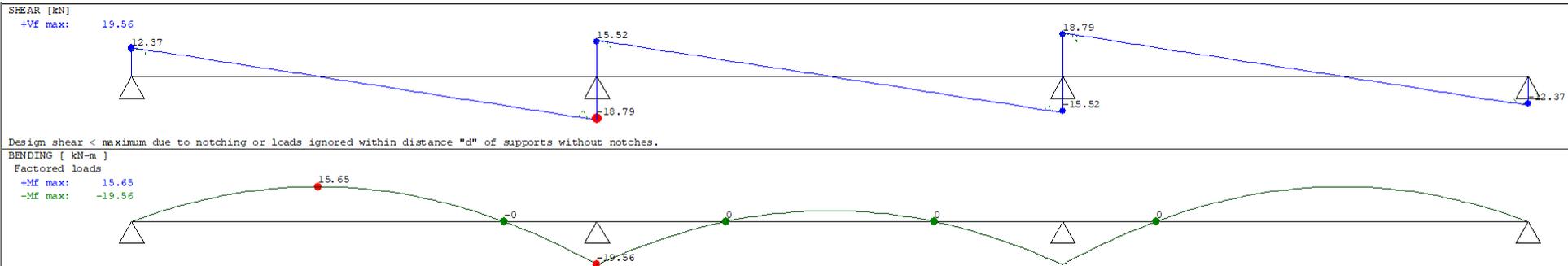
$$DL = 3.5 \text{ kPa}$$

$$LL = 1.9 \text{ kPa}$$

$$w = 5.4 \text{ kPa}$$

$$M_{f_{\text{feu}}} = 19.56 \text{ kNm}$$

$$V_{f_{\text{feu}}} = 18.79 \text{ kN}$$



Exemple – Panneau de plancher

Vérification de la résistance au feu

Réduction de section

Durée de feu 60 min

$\beta_n = 0.8 \text{ mm/min}$ [Tableau B.4.2]

$x_t = 7 \text{ mm}$ [B.5.1]

$60 \times 0,8 + 7 = 55 \text{ mm}$

B.5.1 Épaisseur de la couche de résistance nulle

■ ■ ■

$$x_t = \left(\frac{t}{20}\right) \times 7 \quad (\text{pour } t < 20)$$

$$x_t = 7 \quad (\text{pour } t \geq 20)$$

où

t = durée d'exposition au feu, min

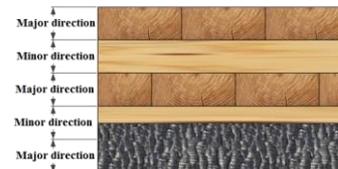
Tableau B.4.2
Vitesses de combustion de calcul pour le bois et les produits à base de bois, mm/min

	β_o	β_n
Gros bois d'œuvre et platelage en madriers	0,65	0,80
Bois lamellé-collé	0,65	0,70
Bois de charpente composite	0,65*	0,70*
Bois lamellé-croisé	0,65	0,80

*Ces valeurs s'appliquent uniquement aux produits de bois de charpente composite à base de bois.

CLT 175 mm

175 mm - 55 mm = 120 mm



Exemple – Panneau de plancher

B.2.3 Bois lamellé-croisé

Lors de la détermination de la résistance axiale ou au moment des panneaux en bois lamellé-croisé exposés au feu conformément au chapitre 8, seules les couches parallèles au sens d'application de la contrainte doivent être prises en compte pour la détermination de la résistance au feu des panneaux.

B.3.2 Coefficient de résistance, ϕ

Le coefficient de résistance, ϕ , doit être de 1,0.

B.3.3 Coefficient de durée d'application de la charge, K_D

Les résistances prévues doivent être multipliées par un coefficient de durée d'application de la charge, K_D , pour une courte durée d'application de la charge, conformément à l'article 5.3.2.

Tableau B.3.9
Coefficients de correction pour le calcul de la résistance au feu, K_{fi}

Produit	K_{fi}
Gros bois d'œuvre et platelage en madriers	1,5
Bois lamellé-collé	1,35
Bois de charpente composite	1,25
Bois lamellé-croisé	
— Classe de contraintes V1-V2	1,5
— Classe de contraintes E1-E3	1,25

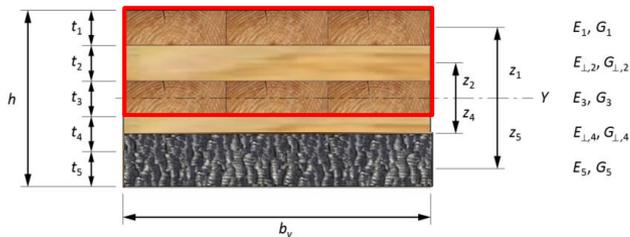
Note : Le coefficient de correction pour le calcul de la résistance au feu, K_{fi} , convertit la résistance prévue en résistance moyenne.

Exemple – Panneau de plancher

Calcul du $(EI)_{\text{eff}} - \text{Feu}$

Axe de résistance principale

$$(EI)_{\text{eff},y} = \sum_{i=1}^n E_i b_y \frac{t_i^3}{12} + \sum_{i=1}^n E_i b_y t_i z_i^2$$



a) Propriétés pour l'axe de résistance principale

Couche	L ou T	t_i [mm]	t - cumul [mm]	E_i [MPa]	E_{i_L} [MPa]	y_i [mm]	z_i [mm]	$E_i b_0 t_i^3 / 12$ [Nmm ²]	$E_i b_0 t_i z_i^2$ [Nmm ²]
1	L	0	0	11700	390	0	0	0	
2	T	(15)	0	9000	300	0	0	0	
3	L	35	35	11700	390	87.5	35	4.18E+10	5.02E+11
4	T	35	70	9000	300	52.5	0	0	0
5	L	35	105	11700	390	17.5	35	4.18E+10	5.02E+11
Somme		105						8.36E+10	1E+12

$y = 52.5 \text{ mm}$

$(EI)_{\text{eff},f,0} = 1.08795\text{E}+12 \text{ Nmm}^2 \quad [8.4.3.2.a)]$

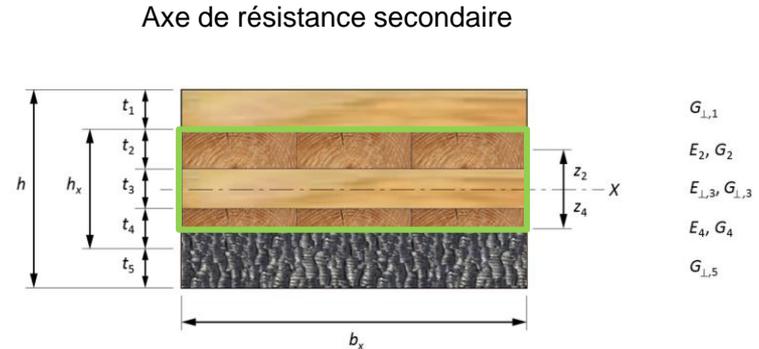
Exemple – Panneau de plancher

Calcul du $(EI)_{\text{eff}}$ - Feu

$$(EI)_{\text{eff},x} = \sum_{i=2}^{n-1} E_i b_x \frac{t_i^3}{12} + \sum_{i=2}^{n-1} E_i b_x t_i z_i^2$$

$$y_{90} = \sum y_i t_i / \sum t_i = 35.5 \text{ mm}$$

$$(EI)_{\text{eff},f,90} = 3.74888\text{E}+11 \text{ Nmm}^2 \quad [8.4.3.2.b)]$$



b) Propriétés pour l'axe de résistance secondaire

Couche	L ou T	t_i [mm]	t_i [mm]	t - cumul [mm]	t - cumul [mm]	E_i [MPa]	$E_{i,L}$ [MPa]	y_i [mm]	z_i [mm]	y_i [mm]	z_i [mm]	$E_i b_x t_i^3 / 12$ [Nmm ²]	$E_i b_x t_i z_i^2$ [Nmm ²]	$E_i b_x t_i^3 / 12$ [Nmm ²]	$E_i b_x t_i z_i^2$ [Nmm ²]	$y_i t_i$ [mm]	$t_{i\text{-eff}}$ [mm]
1	L	0	0	0	0	11700	390	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	T	0	15	0	15	9000	300	0	0	77.5	42	0	0	2.5E+09	2.4E+11	1162.5	15
3	L	35	35	35	50	11700	390	87.5	35	52.5	17	4.2E+10	5E+11	0	0	0	0
4	T	35	35	70	85	9000	300	52.5	0	17.5	18	0	0	3.2E+10	1E+11	612.5	35
5	L	35	0	105	0	11700	390	17.5	35	0	0	4.2E+10	5E+11	0	0	0	0
Somme		105	85									8.4E+10	1E+12	3.5E+10	3.4E+11	1775	50

Exemple – Panneau de plancher

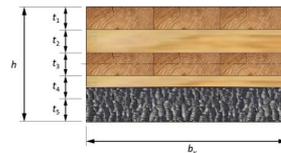
Résistance au moment de flexion - Feu

$$M_{r,y} = \phi F_b S_{eff,y} K_{rb,y}$$

où

$$\phi = \text{~~0,9~~}$$

$$F_b = f_b (K_D K_H K_{Sb} K_T) K_{fi}$$



$$M_{r,x} = \phi F_b S_{eff,x} K_{rb,x}$$

où

$$\phi = \text{~~0,9~~}$$

$$F_b = f_b (K_D K_H K_{Sb} K_T) K_{fi}$$

$$S_{eff,y} = \frac{(EI)_{eff,y}}{E} \frac{2}{h}$$

ϕ	1		B.3.2
K_D	1.15		8.3.1
K_H	1		8.3.4
K_{Sb}	1		8.3.2
K_T	1		8.3.3
K_{fi}	1.25		B3.9
f_b	28.2	MPa	8.2.4
F_b	40.5375	MPa	
$(EI)_{eff,f,0}$	1.087E+12	Nmm ²	
E	11700	MPa	
h	105	mm	
$S_{eff,f,0}$	1769444	mm ³	8.4.3.1
$K_{rb,0}$	0.85		8.4.3.1
$M_{r,f,0}$	61.0	kNm	

ϕ	1		B.3.2
K_D	1.15		8.3.1
K_H	1		8.3.4
K_{Sb}	1		8.3.2
K_T	1		8.3.3
K_{fi}	1.25		B3.9
f_b	7	MPa	8.2.4
F_b	10.0625	MPa	
$(EI)_{eff,f,90}$	3.7E+11	Nmm ²	
E	9000	MPa	
y_{90}	49.5	mm	
$S_{eff,f,90}$	841498	mm ³	8.4.3.1
$K_{rb,90}$	1		8.4.3.1
$M_{r,f,90}$	8.5	kNm	

$$S_{eff,x} = \frac{(EI)_{eff,x}}{E} \frac{2}{h_x}$$

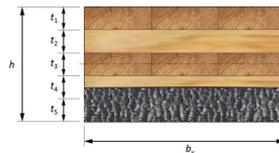
$$\begin{aligned} \phi &= 1.0 \\ K_{fi} &= 1.25 \\ K_D &= 1.15 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_{90} &= 35.5 \text{ mm} \\ t &= 35+35+15 = 85 \\ y_{90} &= 85 - 35.5 = 49.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Exemple – Panneau de plancher

Résistance au moment de flexion - Feu

En appliquant la norme a la lettre
A NE PAS FAIRE!



$$\frac{2}{h_x}$$

$$t = 35 + 35 + 15 = 85$$

$$Y_{90} = 85 / 2 = 42.5 \text{ mm}$$

$$S_{\text{eff},f,90} = 980098 \text{ mm}^3$$

$$M_{r,f,90} = 9.9 \text{ kNm}$$

16% sur estimé

M _{r,f,90} - Sens faible		
ϕ	1	B.3.2
K _D	1.15	8.3.1
K _H	1	8.3.4
K _{Sb}	1	8.3.2
K _T	1	8.3.3
K _{fi}	1.25	B3.9
f _b	7 MPa	8.2.4
F _b	10.0625 MPa	
(EI) _{eff,f,90}	3.7E+11 Nmm ²	
E	9000 MPa	
Y ₉₀	49.5 mm	
S _{eff,f,90}	841498 mm ³	8.4.3.1
K _{rb,90}	1	8.4.3.1
M _{r,f,90}	8.5 kNm	

$$M_{r,x} = \phi F_b S_{\text{eff},x} K_{rb,x}$$

où

$$\phi = \text{~~0.9~~}$$

$$F_b = f_b (K_D K_H K_{Sb} K_T) K_{fi}$$

$$S_{\text{eff},x} = \frac{(EI)_{\text{eff},x}}{E} \frac{2}{h_x}$$

$$Y_{90} = 35.5 \text{ mm}$$

$$t = 35 + 35 + 15 = 85$$

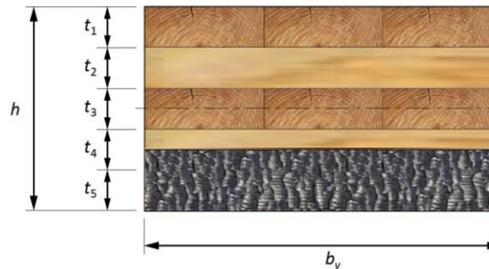
$$Y_{90} = 85 - 35.5 = 49.5 \text{ mm}$$

Exemple – Panneau de plancher

Résistance au cisaillement - Feu

$$A_{g,0} = 3 \times 35 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm} = 105\,000 \text{ mm}^2$$

$$A_{g,90} = 15 \text{ mm} + 2 \times 35 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm} = 85\,000 \text{ mm}^2$$



$$\begin{aligned}\phi &= 1.0 \\ K_{fi} &= 1.25 \\ K_D &= 1.15\end{aligned}$$

$$V_{r,zy} = \phi F_s \frac{2A_{g,zy}}{3}$$

où

$$\phi = 0,9$$

$$F_s = f_s (K_D K_H K_{Sv} K_T) \mathbf{K_{fi}}$$

$V_{r,f,0}$ - Sens fort			
ϕ	1		B.3.2
K_D	1.15		8.3.1
K_H	1		8.3.4
K_{Sv}	1		8.3.2
K_T	1		8.3.3
K_{fi}	1.25		B3.9
f_s	0.5	MPa	8.2.4
F_s	0.71875	MPa	
$A_{g,0}$	105000	mm ²	8.4.4.2
$V_{r,f,0}$	50.31	kN	

$V_{r,f,90}$ - Sens faible			
ϕ	1		B.3.2
K_D	1.15		8.3.1
K_H	1		8.3.4
K_{Sv}	1		8.3.2
K_T	1		8.3.3
K_{fi}	1.25		B3.9
f_s	0.5	MPa	8.2.4
F_s	0.71875	MPa	
$A_{g,90}$	85000	mm ²	8.4.4.2
$V_{r,f,90}$	40.73	kN	

$$V_{r,zx} = \phi F_s \frac{2A_{g,zx}}{3}$$

où

$$\phi = 0,9$$

$$F_s = f_s (K_D K_H K_{Sv} K_T) \mathbf{K_{fi}}$$

Exemple – Panneau de plancher

CLT 175

$$M_{f,f,0} = 28 \text{ kNm}$$

$$V_{f,f,0} = 26 \text{ kN}$$

$$L/180 = 33 \text{ mm}$$

$$l_v = 6.4 \text{ m}$$

$$M_{r,f,0} = 87 \text{ kNm}$$

$$V_{r,f,0} = 52 \text{ kN}$$

$$\Delta = 21 \text{ mm}$$

$$\text{Portée} = 6 \text{ m}$$



Feu

$$M_{f_{\text{feu}}} = 20 \text{ kNm}$$

$$V_{f_{\text{feu}}} = 19 \text{ kN}$$

$$M_{r_{\text{feu}}} = 60 \text{ kNm}$$

$$V_{r_{\text{feu}}} = 50 \text{ kN}$$

Formation Utilisations et Calculs CLT

- Codes et Normes
- O86 – Annexe B – Résistance au feu des éléments en bois de grande section transversale
- O86 – Clause 8 – Bois lamellé-croisé (CLT) - Dalle
- **Exemple: dalle**
- O86 – Clause 8 – Bois lamellé-croisé (CLT) - Mur
- **Exemple: mur gravitaire**
- O86 – Clause 11.9 – Calcul des murs de refend et des diaphragmes en bois lamellé-croisé
- **Exemple: mur de refend**
- CLT – Modélisation

8.4.5 Résistance à la compression sous charge axiale

8.4.5.1 Généralités

Seules les couches avec des lamelles orientées parallèlement à la charge axiale appliquée sont considérées dans le calcul de résistance

8.4.5.2 Longueur effective, L_e

$$r = \sqrt{I/A}$$

$$r = \sqrt{\frac{bd^3}{12}/bd} = \sqrt{\frac{d^2}{12}} = \frac{d}{\sqrt{12}}$$

$$C_c = L_e/\sqrt{12}r_{eff} \equiv L_e/\sqrt{12}(d/\sqrt{12}) = L_e/d$$

8.4.5.3 Élancement, C_c

$$C_c = \frac{L_e}{\sqrt{12}r_{eff}} \text{ ne doit pas dépasser } 43$$

where

$$r_{eff} = \sqrt{\frac{I_{eff}}{A_{eff}}}$$

$$\sqrt{12}r_{eff} \equiv d$$



En comparaison:

7.5.8.2 Élancement, C_c

sans dépasser 50

$$C_c = \frac{\text{longueur effective associée à la grande face}}{\text{grande face de l'élément}}$$

ou

$$C_c = \frac{\text{longueur effective associée à la face étroite}}{\text{face étroite de l'élément}}$$

8.4.5.4.2

$$P_r = \phi F_c A_{eff} K_{Zc} K_C$$

où

$$\phi = 0,8$$

$$F_c = f_c (K_D K_H K_{Sc} K_T)$$

$$E_{05} = 0,82E$$

$$K_{Zc} = 6,3(\sqrt{12} r_{eff} L)^{-0,13} \leq 1,3$$

$$K_C = \left[1,0 + \frac{F_c K_{Zc} C_c^3}{35E_{05}(K_{SE} K_T)} \right]^{-1}$$

8.4.6 Résistance à la flexion et à la compression axiale combinée

$$\frac{P_f}{P_r} + \frac{M_f}{M_r} \left[\frac{1}{1 - \frac{P_f}{P_{E,V}}} \right] \leq 1$$

$P_{E,V}$ = charge critique (de flambage) d'Euler dans le plan du moment de flexion appliqué, ajusté pour tenir compte de la déformation due au cisaillement

$$= \frac{P_E}{1 + \frac{P_E}{(GA)_{eff}}}$$

$(GA)_{eff}$ = rigidité effective en cisaillement dans le plan des panneaux en bois lamellé-croisé en tenant compte de toutes les couches, N (article 8.4.3.2)

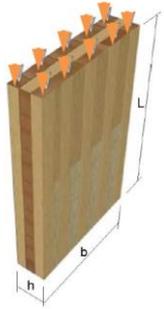
$$P_E = \frac{\pi^2 E_{05} K_{SE} K_T I}{L_e^2}$$

P_E = Charge critique (de flambage) d'Euler dans le plan du moment de flexion appliqué conformément à l'article 7.5.12 ou E_{05} et I_{eff} sont déterminés en tenant compte uniquement des couches dont les lamelles sont orientées parallèlement à la charge axiale (articles 8.2.4 et 8.4.5.3)

Formation Utilisations et Calculs CLT

- Codes et Normes
- O86 – Annexe B – Résistance au feu des éléments en bois de grande section transversale
- O86 – Clause 8 – Bois lamellé-croisé (CLT) - Dalle
- **Exemple: dalle**
- O86 – Clause 8 – Bois lamellé-croisé (CLT) - Mur
- **Exemple: mur gravitaire**
- O86 – Clause 11.9 – Calcul des murs de refend et des diaphragmes en bois lamellé-croisé
- **Exemple: mur de refend**
- CLT – Modélisation

Exemple – Panneau de mur



Réaction dalle

DL = 23.32 kN/m

LL = 12.54 kN/m

5 niveaux plus poids propre mur

~DL = 136 kN/m

~ LL = 63 kN/m

$P_f = 1.25 \text{ DL} + 1.5 \text{ LL} = 265 \text{ kN/m}$

$P_{f_{\text{feu}}} = \text{DL} + \text{LL} = 172 \text{ kN}$

Assumons une hauteur de 3 m

Panneau de 175 mm

8.4.5.2 Longueur effective, L_e

$$K_e = 1$$

8.4.5.3 Élancement, C_c

Layer	L or T	t_i [mm]	I [mm ⁴]	A [mm ²]	d^2 [mm ²]	Ad^2 [mm ⁴]
1	L	35	3572917	35000	4900	1.72E+08
2	T	35	0	0	0	0
3	L	35	3572917	35000	0	0
4	T	35	0	0	0	0
5	L	35	3572917	35000	4900	1.72E+08
Sum		175	10718750	105000		3.43E+08

$$I_{\text{eff},c} = 353\,718\,750 \text{ mm}^4 \quad (10718750 + 3.43\text{E}+08)$$

$$A_{\text{eff},c} = 105\,000 \text{ mm}^2$$

$$r_{\text{eff}} = 58.04 \text{ mm}$$

$$C_c = 14.92 < 43$$

$$r_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{I_{\text{eff}}}{A_{\text{eff}}}}$$

$$C_c = \frac{L_e}{\sqrt{12} r_{\text{eff}}}$$

Exemple – Panneau de mur

8.4.5.4.2

$$K_{Zc} = 6.3(\sqrt{12} r_{eff} L)^{-0.13} \leq 1.3$$

$$K_C = \left[1.0 + \frac{F_c K_{Zc} C_c^3}{35E_{05} (K_{SE} K_T)} \right]^{-1}$$

$$P_r = \phi F_c A_{eff} K_{Zc} K_C$$

où

$$\phi = 0,8$$

$$F_c = f_c (K_D K_H K_{Sc} K_T)$$

P _r - Résistance a la compression			
φ	0.8		8.4.5.4.2
K _D	0.87		8.3.1
K _H	1		8.3.4
K _{Sc}	1		8.3.2
K _T	1		8.3.3
f _c	19.3	MPa	8.2.4
F _c	16.791		
E ₀₅	9594	MPa	
K _{SE}	1		8.3.2
l _{eff,c}	3.5E+08	mm ⁴	
A _{eff,c}	105000	mm ²	
r _{eff}	58.04	mm	
K _{Zc}	1.12		
K _e	1		
L _e	3000	mm	
C _c	14.92		
K _c	0.844		
P _r	1328.45	kN	

$$E_{05} = 0,82E$$

$$E_{05} = 0.82 \times 11\,700 = 9594 \text{ MPa}$$

$$P_r = 1328 \text{ kN/m}$$

$$P_f = 265 \text{ kN/m}$$

Exemple – Panneau de mur feu

Réaction dalle

DL = 23.32 kN/m

LL = 12.54 kN/m

5 niveaux plus poids propre mur

~DL = 136 kN/m

~LL = 63 kN/m

$P_f = 1.25 \text{ DL} + 1.5 \text{ LL} = 265 \text{ kN/m}$

$P_{f_{\text{feu}}} = \text{DL} + \text{LL} = 172 \text{ kN}$

Panneau de 175 mm

Vérification au feu

CLT 175 mm

175 mm - 55 mm = 120 mm

8.4.5.2 Longueur effective, L_e

$$K_e = 1$$

8.4.5.3 Élancement, C_c

Layer	L or T	t_i [mm]	I [mm ⁴]	A [mm ²]	d^2 [mm ²]	Ad^2 [mm ⁴]
1	L	0	0	0	0	0
2	T	15	0	0	0	0
3	L	35	3572917	35000	1225	42875000
4	T	35	0	0	0	0
5	L	35	3572917	35000	1225	42875000
Sum		120	7145833	70000		85750000

$$I_{\text{eff},c} = 92\,895\,833 \text{ mm}^4 \quad (7145833 + 85750000)$$

$$A_{\text{eff},c} = 70\,000 \text{ mm}^2$$

$$r_{\text{eff}} = 36.43 \text{ mm}$$

$$C_c = 23.77 < 43$$



$$r_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{I_{\text{eff}}}{A_{\text{eff}}}}$$

$$C_c = \frac{L_e}{\sqrt{12} r_{\text{eff}}}$$

Exemple – Panneau de mur feu

8.4.5.4.2

$$K_{Zc} = 6.3(\sqrt{12} r_{eff} L)^{-0.13} \leq 1.3$$

$$K_C = \left[1.0 + \frac{F_c K_{Zc} C_c^3}{35E_{05} (K_{SE} K_T)} \right]^{-1}$$

$$P_r = \phi F_c A_{eff} K_{Zc} K_C$$

où

$$\phi = 0,8$$

$$F_c = f_c (K_D K_H K_{Sc} K_T)$$

P _r - Résistance a la compression			
φ	1		B.3.2
K _D	1.15		8.3.1
K _H	1		8.3.4
K _{Sc}	1		8.3.2
K _T	1		8.3.3
K _{fi}	1.25		B3.9
f _c	19.3	MPa	8.2.4
F _c	27.7438		
E	11700	MPa	B6.4
K _{SE}	1		8.3.2
I _{eff,c}	9.3E+07	mm ⁴	
A _{eff,c}	70000	mm ²	
r _{eff}	36.43	mm	
K _{Zc}	1.19		
K _e	1		
L _e	3000	mm	
C _c	23.77		
K _c	0.432		
P _r	1107.71	kN	

Ne pas utiliser E₀₅
tel que B.6.4

E = 11 700 MPa

P_r = 1108 kN/m

P_f = 172 kN/m



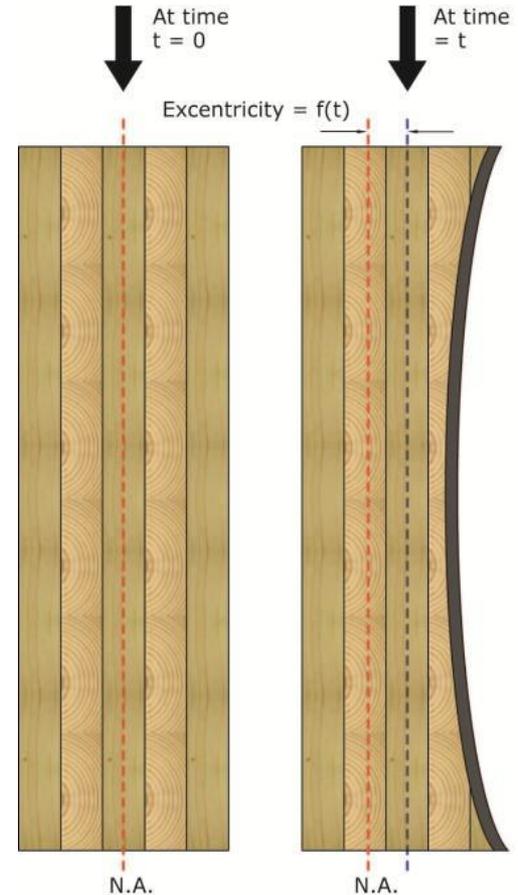
Exemple – Panneau de mur feu

Rajout d'une excentricité due au feu!

$$P_f = 172 \text{ kN/m}$$

$$e = (175/2) - (105/2) = 35 \text{ mm}$$

$$M_f = 172 \text{ kN/m} \times 0.035\text{m} = 6.02 \text{ kNm/m}$$



Exemple – Panneau de mur

$$P_f = 172 \text{ kN/m}$$

$$M_f = 6.02 \text{ kNm/m}$$

$$P_r = 994 \text{ kN/m}$$

$$M_r = 60.7 \text{ kNm/m}$$

$$\frac{P_f}{P_r} + \frac{M_f}{M_r} \left[\frac{1}{1 - \frac{P_f}{P_{E,v}}} \right] \leq 1$$

$P_{E,v}$ = charge critique (de flambage) d'Euler dans le plan du moment de flexion appliqué, ajusté pour tenir compte de la déformation due au cisaillement

$$= \frac{P_E}{1 + \frac{\cancel{K} P_E}{(GA)_{eff}}}$$

$$P_E = \frac{\pi^2 E \cancel{DS} K_{SE} K_T I}{L_e^2}$$

Exemple – Panneau de mur

$$\frac{\left(h - \frac{t_1}{2} - \frac{t_n}{2}\right)^2}{\left[\left(\frac{t_1}{2 G_1 b_y}\right) + \left(\sum_{i=2}^{n-1} \frac{t_i}{G_i b_y}\right) + \left(\frac{t_n}{2 G_n b_y}\right)\right]} = \frac{9025}{8.2735E-04}$$

Layer	L or T	t _i [mm]	t - cumul [mm]	G _i [MPa]	t _i /2G _i b ₀ [mm ² /N]	t _i /G _i b ₉₀ [mm ² /N]	t _i /2 [mm]
1	L	0	0	731	0	0	0
2	T	15	15	563	0.0001333	0.00027	7.5
3	L	35	50	731	2.393E-05	4.8E-05	17.5
4	T	35	85	563	0.0003111	0.00062	17.5
5	L	35	120	731	2.393E-05	4.8E-05	17.5
Sum		120					

NOTE: Au feu, les couches longitudinales ne sont pas négligées pour (GA)_{eff}

K _{Sc}	1		8.3.2
K _T	1		8.3.3
I _{eff,c}	9.3E+07	mm ⁴	
E	11700	MPa	B.6.4
L _e	3000	mm	
P _E	1191899	N	
(GA) _{eff,f,0}	1.09E+07	N	8.4.3.2.a)
P _{E,v}	1.07E+06	N	
P _f	172	kN/m	
P _r	1108	kN/m	
M _f	6	kNm/m	
M _{r,f,0}	61	kNm/m	
P _{E,v}	1.07E+06	N	
Ratio	0.25		

$$\frac{P_f}{P_r} + \frac{M_f}{M_r} \left[\frac{1}{1 - \frac{P_f}{P_{E,v}}} \right] \leq 1$$

Exemple – Panneau de mur

Neglige les lamelles perpendiculaire a la direction chargé pour le calcul de GA_{eff}

A NE PAS FAIRE!

$$\frac{\left(h - \frac{t_1}{2} - \frac{t_n}{2}\right)^2}{\left[\left(\frac{t_1}{2 G_1 b_y}\right) + \left(\sum_{i=2}^{n-1} \frac{t_i}{G_i b_y}\right) + \left(\frac{t_n}{2 G_n b_y}\right)\right]} = \frac{4900}{4.79E-05}$$

Layer	L or T	t_i [mm]	t - cumul [mm]	G_i [MPa]	$t_i/2G_i b_0$ [mm ² /N]	$t_i/G_i b_{90}$ [mm ² /N]	$t_i/2$ [mm]
1	L	0	0	731	0	0	0
2	T	15	15	563	0	0	7.5
3	L	35	50	731	2.393E-05	4.8E-05	17.5
4	T	35	85	563	0	0	17.5
5	L	35	120	731	2.393E-05	4.8E-05	17.5
Sum		120					

Avec toutes les couches

$$(GA)_{eff} = 1.09 \times 10^7$$

En negligent les lamelles perpendiculaires a la direction chargé

$$(GA)_{eff} = 1.02 \times 10^8$$

Quelles couches utiliser?

Pour un CLT standard symétrique

			Longitudinal	Transversal
Sans Feu	Mr	$(EI)_{\text{eff},f,0}$	X	X ^(*)
		$(EI)_{\text{eff},f,90}$	X [*]	X
	Vr	$A_{g,0}$	X	X ^(*)
		$A_{g,90}$	X [*]	X
	Pr	$I_{\text{eff},0}$	X	
		$I_{\text{eff},90}$		X
	Mr + Pr	$(EI)_{\text{eff},f,0}$	X	X ^(*)
		$(EI)_{\text{eff},f,90}$	X [*]	X
		$I_{\text{eff},0}$	X	
		$I_{\text{eff},90}$		X
		$(GA)_{\text{eff},f,0}$	X	X
		$(GA)_{\text{eff},f,90}$	X	X
	Δ	$(EI)_{\text{eff},f,0}$	X	X ^(*)
		$(EI)_{\text{eff},f,90}$	X [*]	X
		$(GA)_{\text{eff},f,0}$	X	X
		$(GA)_{\text{eff},f,90}$	X	X
	Iv	$(EI)_{\text{eff},f,0}$	X	X ^(*)
		$(EI)_{\text{eff},f,90}$	X [*]	X

			Longitudinal	Transversal
Feu	Mr	$(EI)_{\text{eff},f,0}$	X	
		$(EI)_{\text{eff},f,90}$		X
	Vr	$A_{g,0}$	X	
		$A_{g,90}$		X
	Pr	$(EI)_{\text{eff},y}$	X	
		$(EI)_{\text{eff},x}$		X
	Mr + Pr	$(EI)_{\text{eff},f,0}$	X	
		$(EI)_{\text{eff},f,90}$		X
		$I_{\text{eff},0}$	X	
		$I_{\text{eff},90}$		X
$(GA)_{\text{eff},f,0}$		X	X	
$(GA)_{\text{eff},f,90}$		X	X	

* Excluant les couches extérieures

(*) Excluant les couches extérieures pour CLT non symétrique

Formation Utilisations et Calculs CLT

- Codes et Normes
- O86 – Annexe B – Résistance au feu des éléments en bois de grande section transversale
- O86 – Clause 8 – Bois lamellé-croisé (CLT) - Dalle
- **Exemple: dalle**
- O86 – Clause 8 – Bois lamellé-croisé (CLT) - Mur
- **Exemple: mur gravitaire**
- O86 – Clause 11.9 – Calcul des murs de refend et des diaphragmes en bois lamellé-croisé
- **Exemple: mur de refend**
- CLT – Modélisation

11.9 Calcul des murs de refend et des diaphragmes en bois lamellé-croisé

11.9.1.1

Constructions de type plateforme

11.9.2.1 Généralités

Les coefficients $R_d \leq 2,0$ et $R_o = 1,5$

l'énergie est dissipée par les assemblages

les panneaux muraux soumis à la rotation ~~ou à la rotation et au glissement combinés.~~

11.9.3.2.3 Height limitations

11.9.3.2.3.1 Height limit when $I_E F_a S_a(0.2) \leq 0.75$ 30 m

11.9.3.2.3.2 Height limit when $I_E F_a S_a(0.2) > 0.75$ 20 m

11.9 Calcul des murs de refend et des diaphragmes en bois lamellé-croisé

11.9.2.2 Assemblages absorbeurs d'énergie

- a) les assemblages doivent être conçus de sorte que la résistance provienne de la ductilité ;
- b) les assemblages doivent être modérément ductiles dans les directions des déplacements rigides prévus des panneaux en bois lamellé-croisé ; et
- c) les assemblages doivent pouvoir se déformer suffisamment pour permettre aux panneaux en bois lamellé-croisé de développer le comportement plastique prévu, comme la rotation, le glissement ou les deux.

Pour les connecteurs de type goujon il faut un modes de rupture d, e, ou g

Pour les connecteurs de type goujon, il faut avoir un ratio $t/d_f \geq 10$ qui est difficile en pratique

Diamètre max = 19 mm

Facteur de ductilité = 3
(determined using the Equivalent Energy
Elastic-Plastic methodology – ASTM E2126)

11.9.2.3 Assemblages non absorbeurs d'énergie

Les assemblages non absorbeurs d'énergie doivent être conçus de manière à conserver leur élasticité sous les efforts et déplacements qui se produisent lorsque les assemblages non absorbeurs d'énergie atteignent le 95^e centile de leur résistance à la rupture ou de leur déplacement cible, conformément aux principes d'équilibre et de compatibilité au déplacement. Il n'est pas obligatoire que les forces relatives au calcul parasismique soient supérieures au forces déterminées à l'aide de la formule $R_d/R_o = 1,3$.

11.9 Calcul des murs de refend et des diaphragmes en bois lamellé-croisé

11.9.2.4 Principes de conception par capacité

Les déformations inélastiques et l'absorption d'énergie

En soulèvement seulement

- a) les assemblages verticaux entre les panneaux dans les murs de refend ;
- b) les assemblages de cisaillement entre les murs de refend et les fondations ou les planchers ; et
- ~~c) les dispositifs de retenue verticale, à l'exception des tiges en acier d'une seule pièce (article 11.9.3).~~

11.9.2.4.2 Panneaux en bois lamellé-croisé

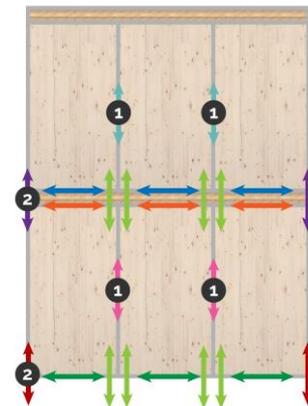
Les panneaux en bois lamellé-croisé qui font partie du système destiné à résister aux efforts latéraux doivent être conçus pour résister aux forces sismiques qui s'exercent lorsque les assemblages absorbent d'énergie dans les murs de refend atteignent le 95^e centile de leur résistance à la rupture, mais il n'est pas nécessaire que la force déterminée à l'aide de la formule $R_d R_o = 1.3$ soit dépassée. La résistance au cisaillement dans le plan des panneaux en bois lamellé-croisé doit être indiquée par le fabricant du produit. Les effets des sections et des ouvertures doivent être pris en compte dans le calcul.

11.9.2.5.1 Rapport géométrique

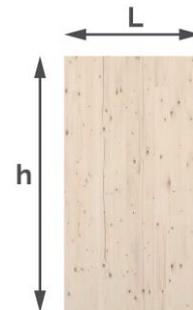
Les segments muraux doivent présenter un rapport géométrique (entre la hauteur et la longueur) d'au moins 1:1 et d'au plus 4:1. Les segments muraux qui présentent un rapport géométrique inférieur à 1:1 doivent être divisés en sous-segments conformes à cette exigence et réunis au moyen d'assemblages absorbant d'énergie, conformément à l'article 11.9.2.2.

2:1

$2 < h/L < 4$ Sinon, il faut couper les panneaux

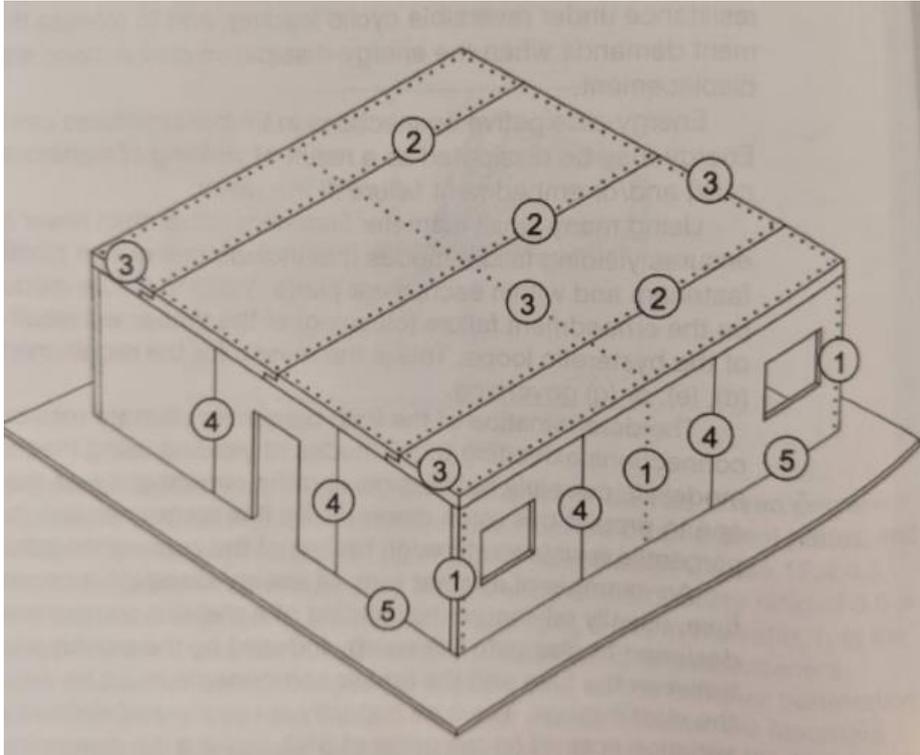


La hiérarchie de plastification



NORDIC
STRUCTURES

11.9 Calcul des murs de refend et des diaphragmes en bois lamellé-croisé



Disipateur : 4 et 5
(5 en soulèvement seulement)

Protéger : 1, 2, et 3

11.9 Calcul des murs de refend et des diaphragmes en bois lamellé-croisé

11.9.2.4 Compressive resistance at ends of CLT shearwalls

The compressive resistance at the ends of shearwalls shall be calculated in accordance with Clauses [8.4.5](#) and [8.4.6](#) and shall be greater than or equal to the overturning forces, calculated using methods of mechanics.

Pas encore de commentaire. Bande de compression assumée.

11.9.3 Interaction entre les forces de soulèvement et de cisaillement aux assemblages

Si les assemblages des panneaux des murs de refend en bois lamellé-croisé aux fondations ou aux planchers sont conçus pour résister aux forces en cisaillement et en soulèvement, l'interaction entre les forces de soulèvement et de cisaillement doit être prise en compte au moment de déterminer la résistance des murs de refend en bois lamellé-croisé.

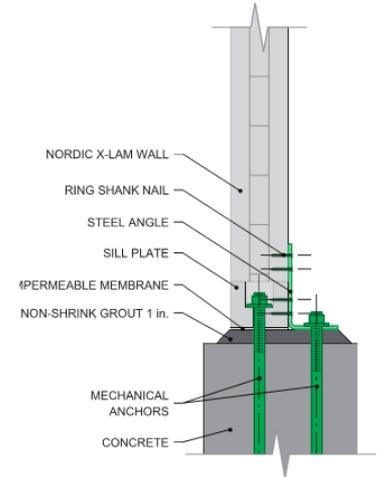
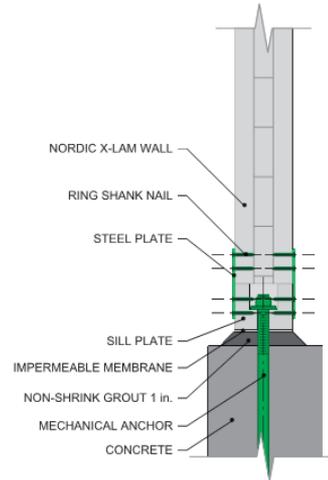
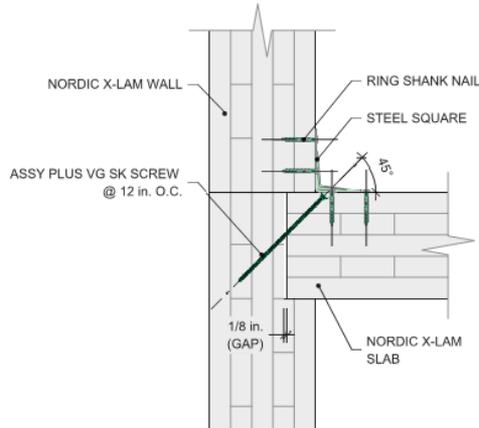
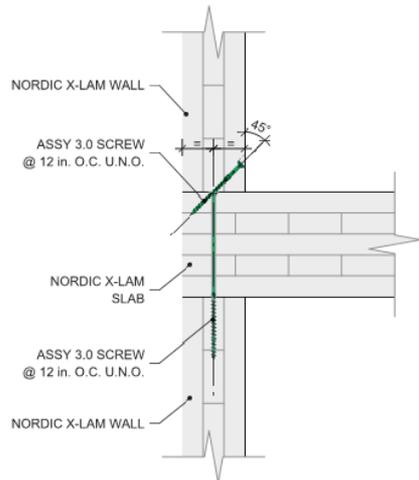
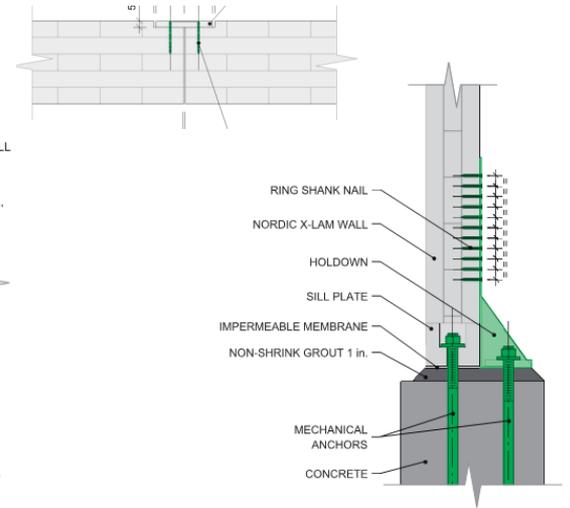
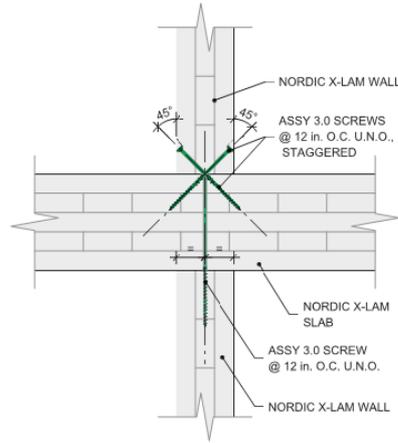
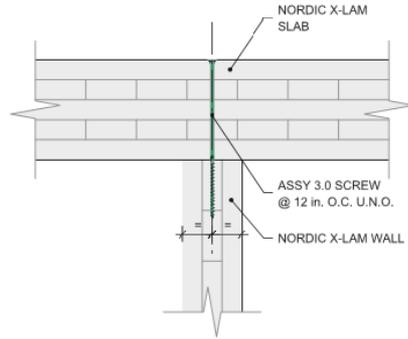
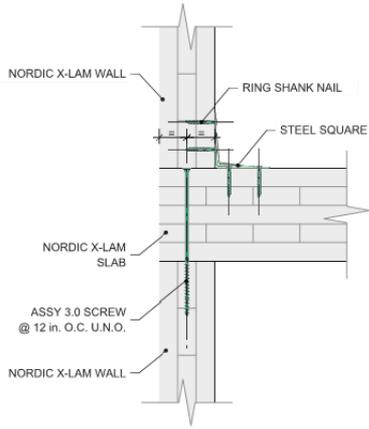
11.9.4 Flèches

La flèche doit être déterminée au moyen des méthodes de mécanique établies. Les calculs doivent tenir compte des sources principales de flèches des murs de refend, comme ~~le glissement~~ ou la rotation des panneaux et la déformation des appuis. On peut prendre pour hypothèse que les panneaux en bois lamellé-croisé agissent comme des corps rigides.

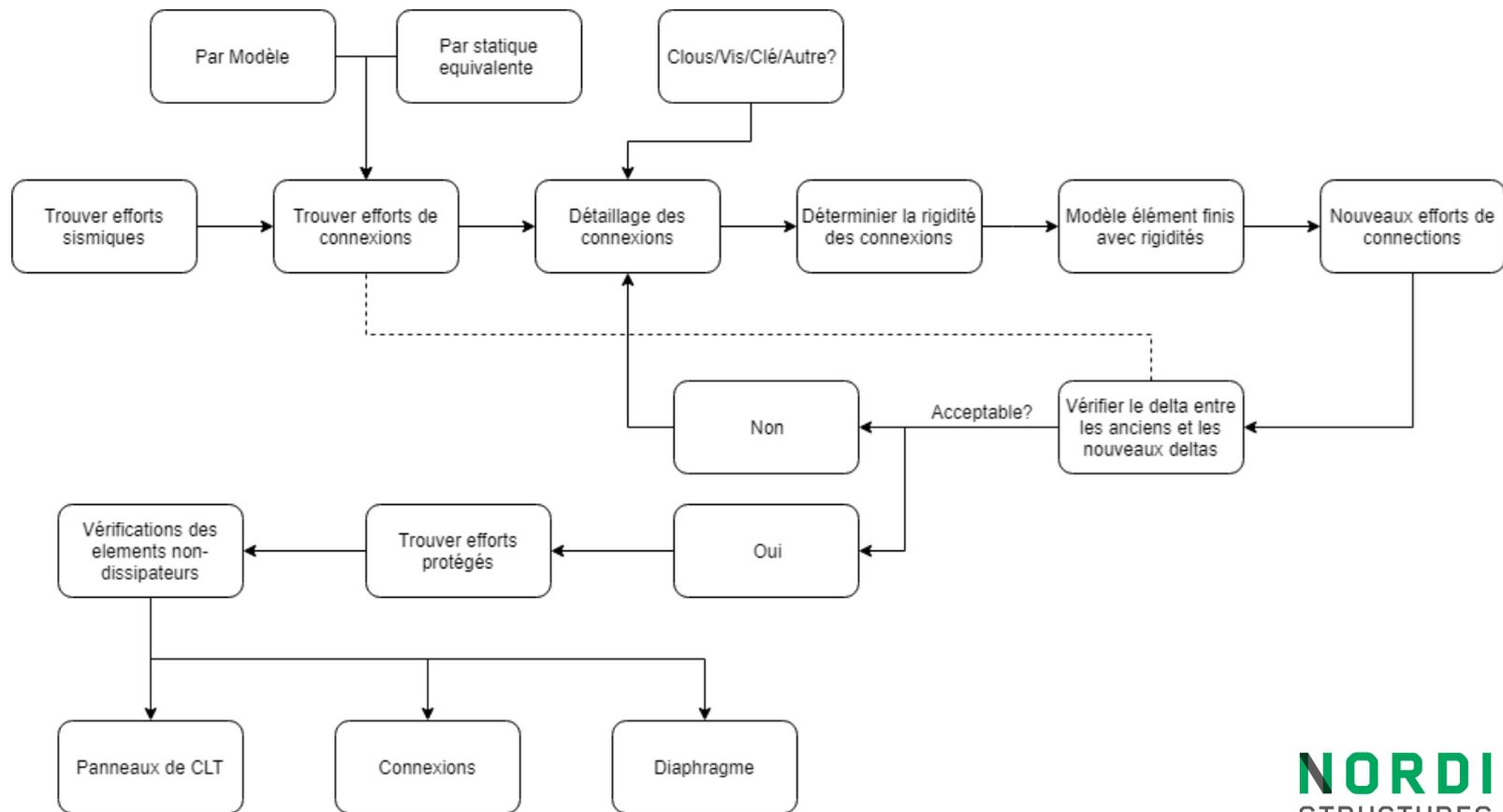
Formation Utilisations et Calculs CLT

- Codes et Normes
- O86 – Annexe B – Résistance au feu des éléments en bois de grande section transversale
- O86 – Clause 8 – Bois lamellé-croisé (CLT) - Dalle
- **Exemple: dalle**
- O86 – Clause 8 – Bois lamellé-croisé (CLT) - Mur
- **Exemple: mur gravitaire**
- O86 – Clause 11.9 – Calcul des murs de refend et des diaphragmes en bois lamellé-croisé
- **Exemple: mur de refend**
- CLT – Modélisation

Types de Connexions

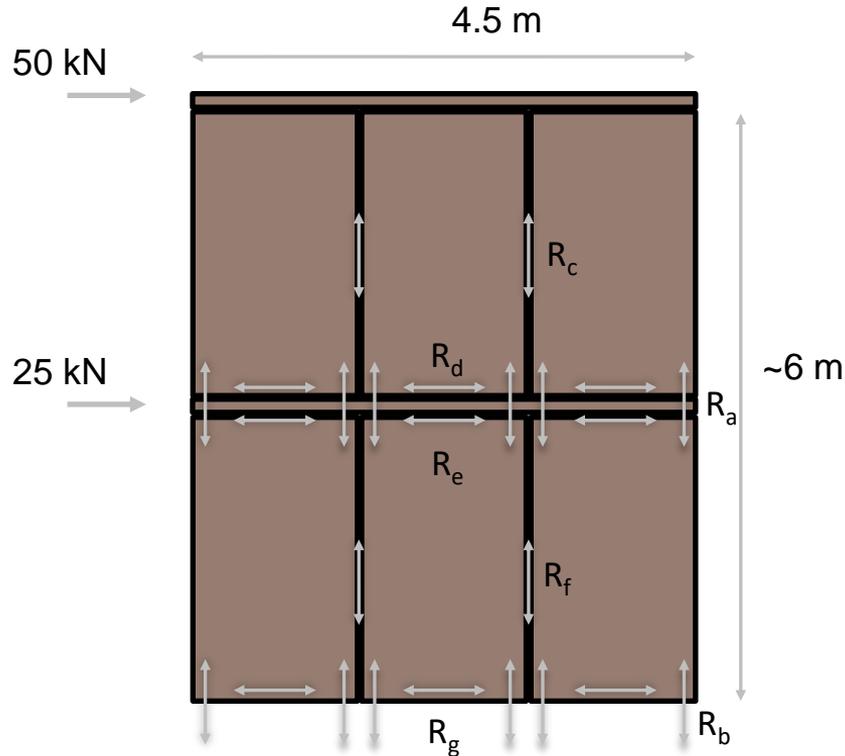


Exemple – Mur de Refend



Exemple – Mur de Refend

Trouver les efforts de connexions



$$R_a = 50 \text{ kN} \times 3 \text{ m} / 4.5 \text{ m} = 33 \text{ kN}$$

$$R_b = 50 \text{ kN} \times 6 \text{ m} / 4.5 \text{ m} + 25 \text{ kN} \times 3 \text{ m} / 4.5 \text{ m}$$

$$R_b = 83 \text{ kN}$$

$$R_c = R_a = 33 \text{ kN}$$

$$R_d = 50 \text{ kN} / 3 = 17 \text{ kN}$$

$$R_e = (50 \text{ kN} + 25 \text{ kN}) / 3 = 25 \text{ kN}$$

$$R_f = R_b - R_a = 50 \text{ kN}$$

$$R_g = R_e = 25 \text{ kN}$$

Note: Charges gravitaires négligé pour exemple

Exemple – Mur de Refend

Détailage des connexions

Connexions clouées:
Plaques de 3.175 mm
Clous 4x60 mm

12.9 Clous et pointes

$$N_r = 1.3\text{kN/clous}$$

Vérification hiérarchie

$$R_a = 33 \text{ kN} \rightarrow 26 \text{ clous} \rightarrow \times 1,05 \rightarrow 28 \text{ clous}$$

$$R_b = 83 \text{ kN} \rightarrow 64 \text{ clous} \rightarrow \times 1,05 \rightarrow 68 \text{ clous}$$

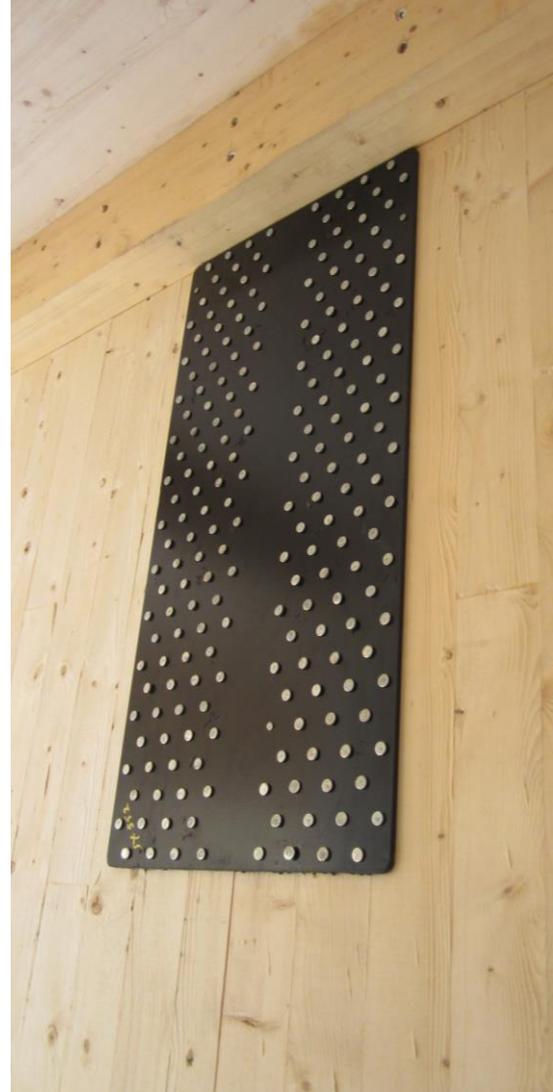
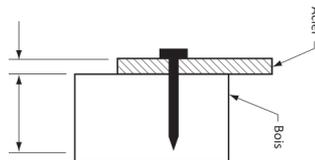
$$R_c = 33 \text{ kN} \rightarrow 26 \text{ clous}$$

$$R_d = 17 \text{ kN} \rightarrow \text{connexion protégée}$$

$$R_e = 25 \text{ kN} \rightarrow \text{connexion protégée}$$

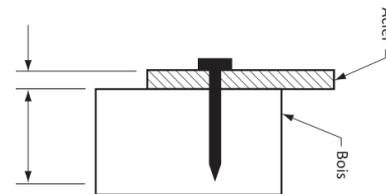
$$R_f = 50 \text{ kN} \rightarrow 39 \text{ clous}$$

$$R_g = 25 \text{ kN} \rightarrow \text{connexion protégée}$$



Exemple – Mur de Refend

Déterminer la rigidité des connexions



Rigidité – K_{ser} selon Eurocode (tableau 7.1 du EN 1995-1-1:2004)
et K_u selon Eurocode (art.2.1)

$$\rho_m = 515 \text{ kg/m}^3$$

$$d = 4 \text{ mm}$$

(2x) pour connexion acier-bois

(1x) plan de cisaillement

$$K_{ser} = (1x)(2x) \rho_m^{1.5} d^{0.8} / 30 = 2362 \text{ N/mm}$$

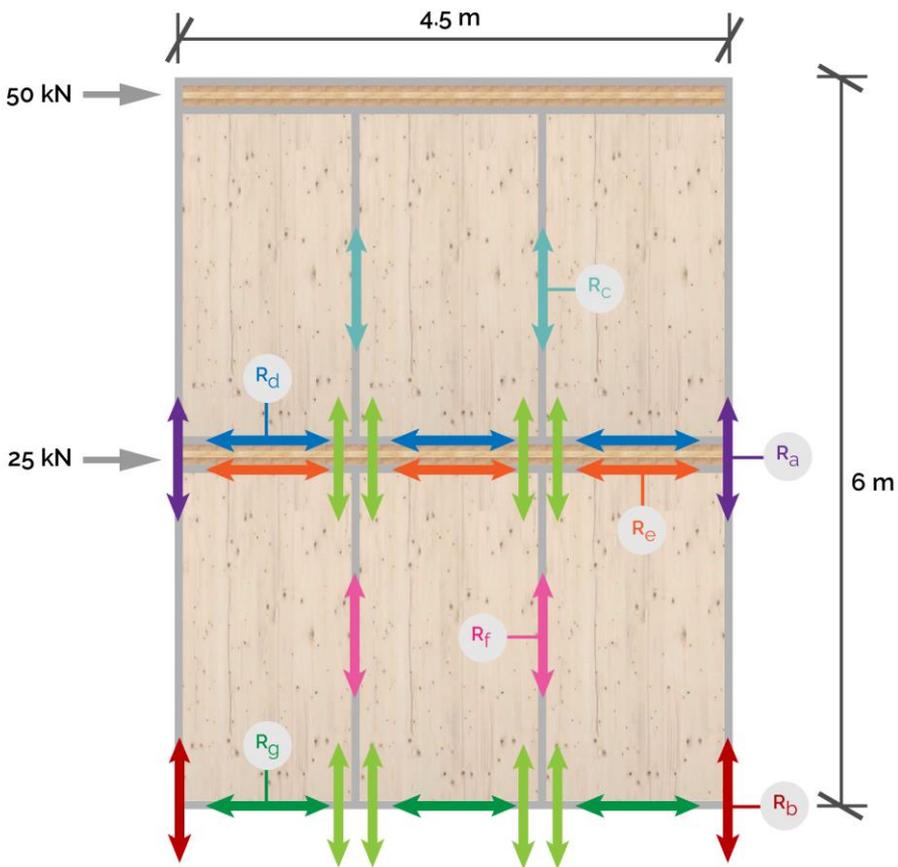
**Rigidité en compression perpendiculaire
directement lié a f_{cp}**

Suppose longueur d'appui de 50 mm

$$f_{cp} = 5,3 \text{ MPa}$$

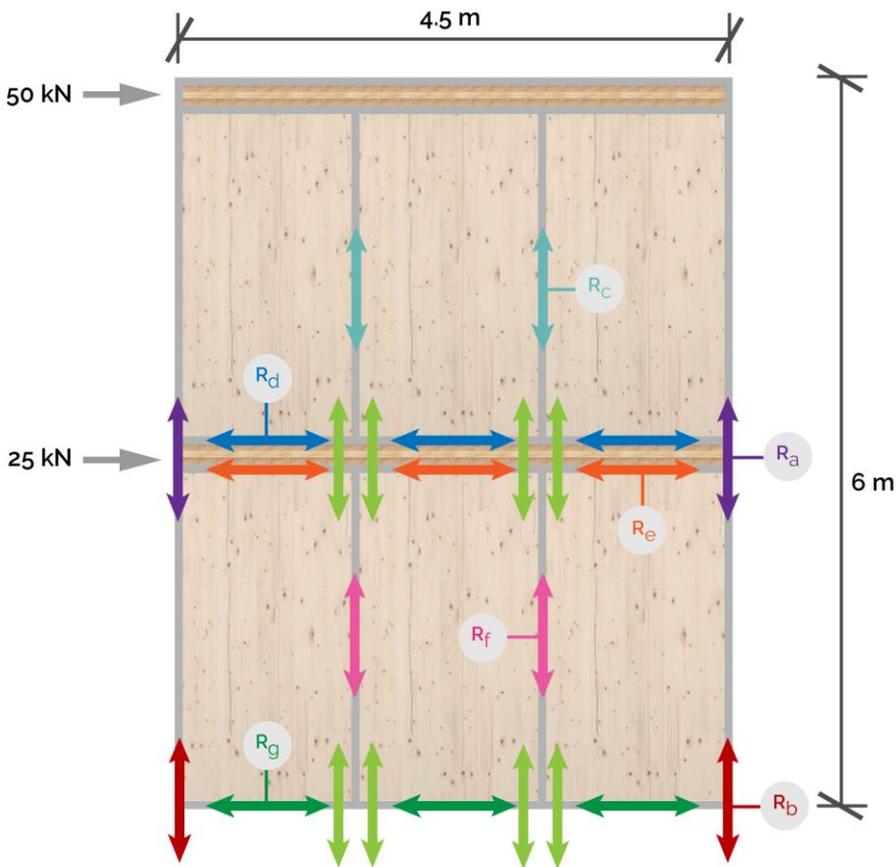
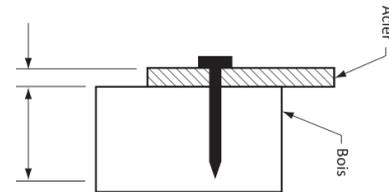
$$A = 175 \text{ mm} \times 50 \text{ mm} = 8750 \text{ mm}^2$$

$$K = f_{cp} \times A / \text{mm} = 46\,375 \text{ N/mm}$$



Exemple – Mur de Refend

Déterminer la rigidité des connexions



Rigidité

$$K_{\text{clous}} = 2362 \text{ N/mm/clous}$$

$$K_{\text{comp}} = 46\,375 \text{ N/mm}$$

$$R_a = 28 \text{ clous} \rightarrow 28 \times 2362 \text{ N/mm} / 2 = 33\,068 \text{ N/mm}$$

$$R_b = 68 \text{ clous} \rightarrow 68 \times 2362 \text{ N/mm} = 80\,308 \text{ N/mm}$$

$$R_c = 26 \text{ clous} \rightarrow 26 \times 2362 \text{ N/mm} / 2 = 30\,706 \text{ N/mm}$$

R_d = connexion protégée

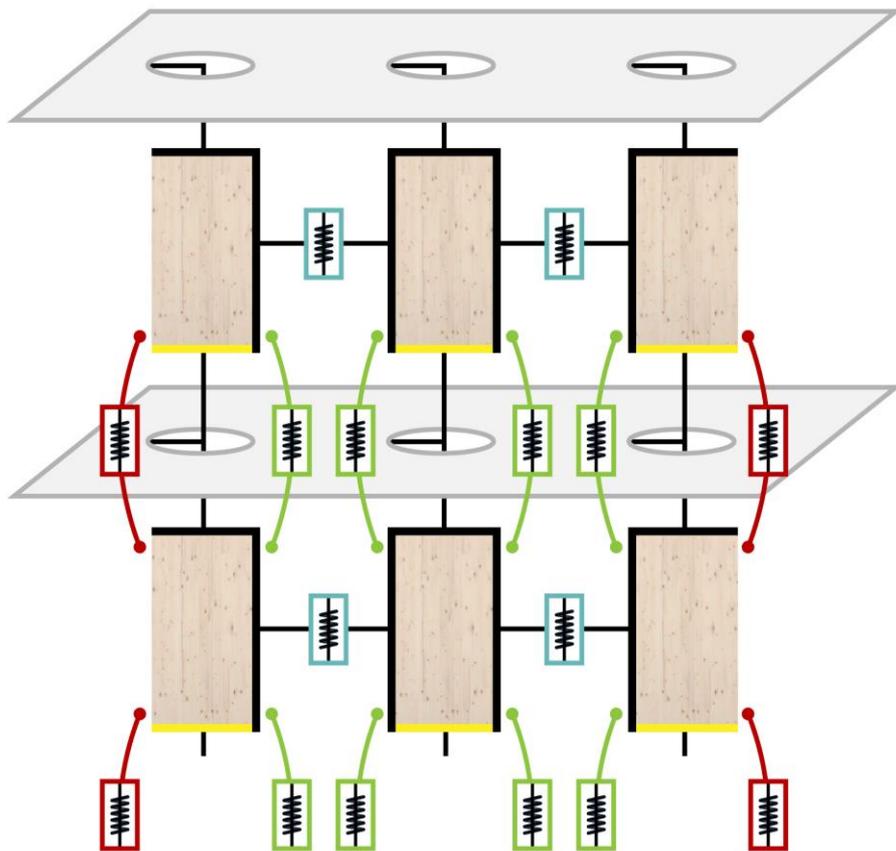
R_e = connexion protégée

$$R_f = 39 \text{ clous} \rightarrow 39 \times 2362 \text{ N/mm} / 2 = 46\,059 \text{ N/mm}$$

R_g = connexion protégée

Exemple – Mur de Refend

Modèle éléments finis

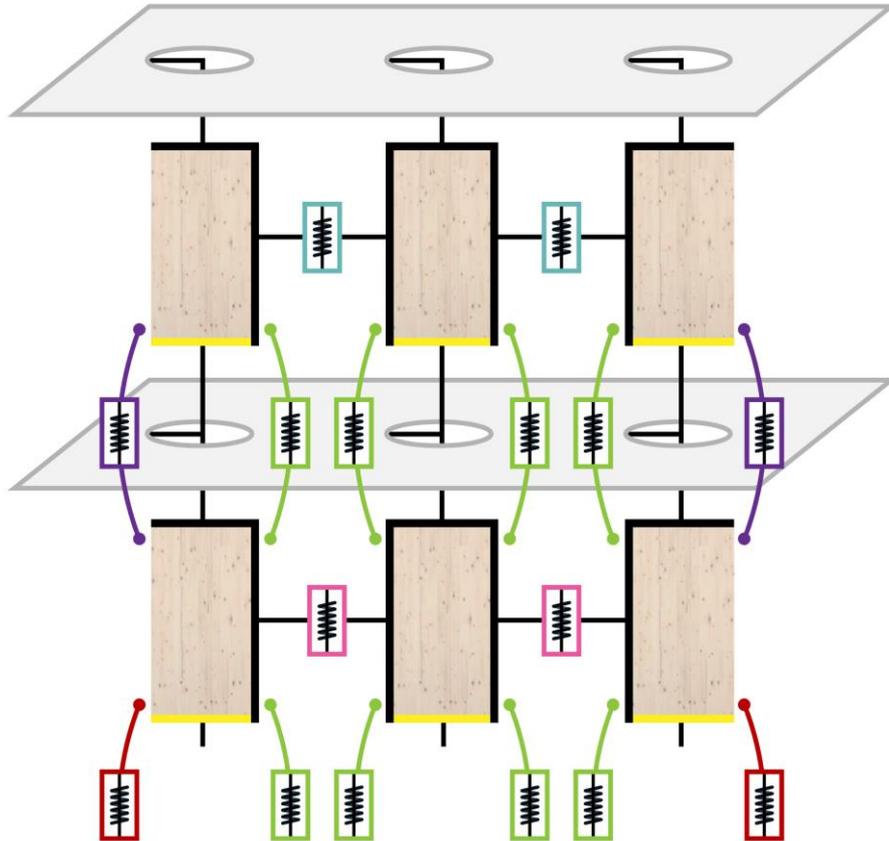


Légende

- Déplacement libre verticalement
- Déplacement libre en tension
- Valeurs différentes en tension et compression
- Ressort vertical
- Rigide

Exemple – Mur de Refend

Modèle éléments finis



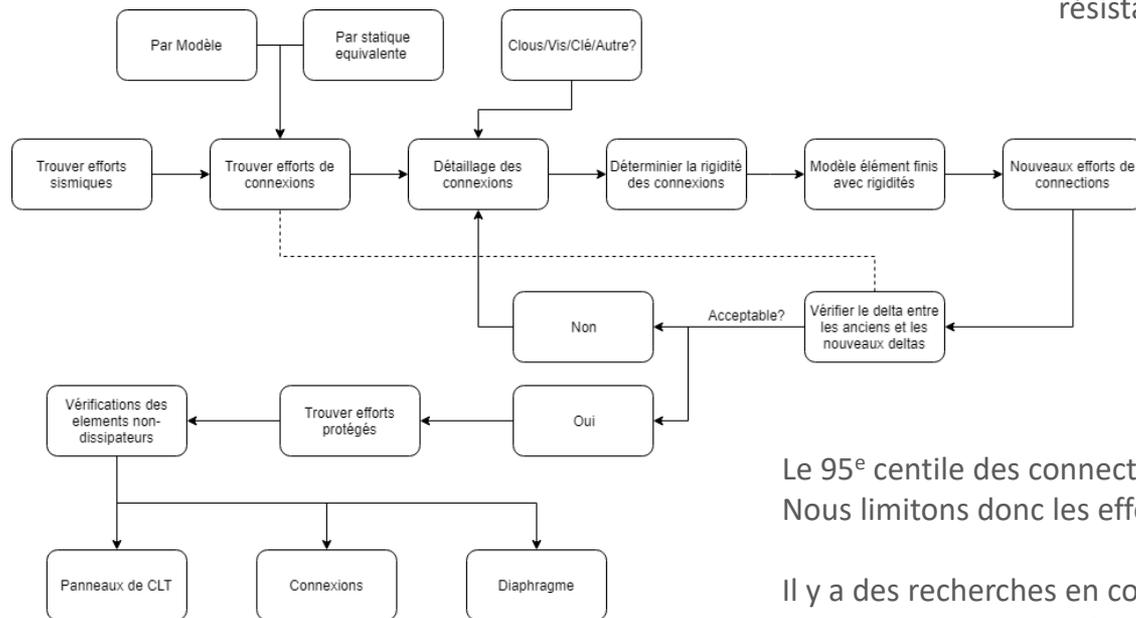
-  $K_c = 30\,706\text{ N/mm}$
-  $K_f = 46\,059\text{ N/mm}$
-  $K_a = (+) 37\,792\text{ N/mm}$ (-) $14\,333\text{ N/mm}$
-  $K_b = (+) 181\,874\text{ N/mm}$ (-) $14\,333\text{ N/mm}$
-  $K = (+) 0\text{ N/mm}$ (-) $46\,375\text{ N/mm}$
- $K_d = \text{rigide}$
- $K_e = \text{rigide}$
- $K_g = \text{rigide}$

(-) Compression

(+) Tension

Exemple – Mur de Refend

Modèle éléments finis



Une fois les itérations finies il faut trouver les résistances protégées nécessaires.

Éléments protégés

- Panneaux de CLT
- Connexions protégées
- Diaphragme enveloppe:
Flexible
Rigide

Le 95^e centile des connecteurs est difficile à trouver (pour le moment).
Nous limitons donc les efforts protégés à $R_d R_o = 1.3$

Il y a des recherches en cours pour trouver des valeurs au 95^e centile des connecteurs et pour développer des méthodes de calcul pour des bâtiments 'balloon framed'



Formation Utilisations et Calculs CLT

- Codes et Normes
- O86 – Annexe B – Résistance au feu des éléments en bois de grande section transversale
- O86 – Clause 8 – Bois lamellé-croisé (CLT) - Dalle
- **Exemple: dalle**
- O86 – Clause 8 – Bois lamellé-croisé (CLT) - Mur
- **Exemple: mur gravitaire**
- O86 – Clause 11.9 – Calcul des murs de refend et des diaphragmes en bois lamellé-croisé
- **Exemple: mur de refend**
- CLT – Modélisation

CLT - Surface éléments fini

Exemple panneau 175 mm pour une dalle

$$(EI)_{\text{eff},y} = 4140 \times 10^9 \text{ Nmm}^2$$

$$(EI)_{\text{eff},x} = 832 \times 10^9 \text{ Nmm}^2$$

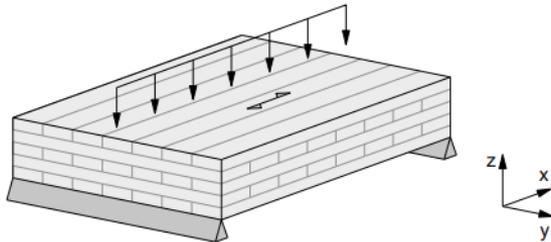
$$(GA)_{\text{eff},zy} = 4140 \times 10^6 \text{ Nmm}^2$$

$$(GA)_{\text{eff},zx} = 832 \times 10^6 \text{ Nmm}^2$$

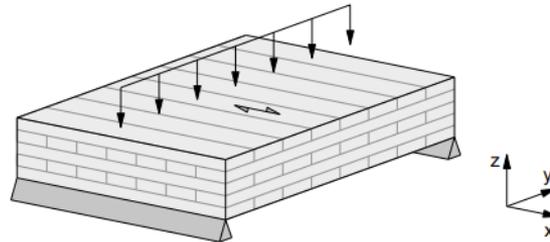
$$G_v t_v = 44 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$I = bd^3/12 = 1000 \times 175^3/12 = 446614583 \text{ mm}^4$$

$$A = 5 \times 35 \text{ mm} = 175\,000 \text{ mm}^2$$



Bending about the major strength axis (y-y)



Bending about the minor strength axis (x-x)

Surface 2D orthotropique

$$E_x = (EI)_{\text{eff},y} / I_y = 4140 \times 10^9 \text{ Nmm}^2 / 446614583 \text{ mm}^4 = 9270 \text{ MPa}$$

$$E_y = (EI)_{\text{eff},x} / I_x = 832 \times 10^9 \text{ Nmm}^2 / 446614583 \text{ mm}^4 = 1863 \text{ MPa}$$

$$G_{yz} = (GA)_{\text{eff},zy} / A = 4140 \times 10^6 \text{ Nmm}^2 / 175\,000 \text{ mm}^2 = 23\,657 \text{ N}$$

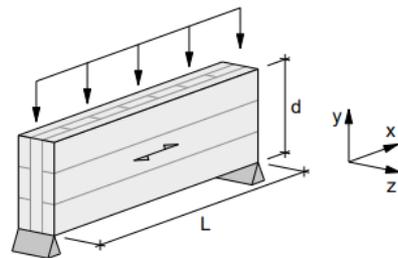
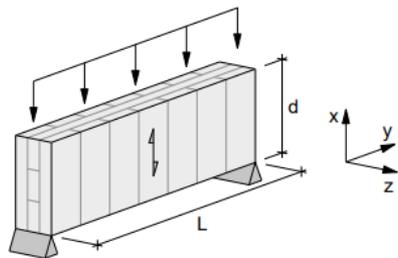
$$G_{xz} = (GA)_{\text{eff},zx} / A = 832 \times 10^6 \text{ Nmm}^2 / 175\,000 \text{ mm}^2 = 4\,754 \text{ N}$$

$$G_{xy} = 44 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

CLT - Surface éléments fini

Linéaire ou diaphragme

Prendre seulement lamelle dans le sens fort et assumer que lamelle dans le sens faible les lies ensemble



Exemple CLT 175 mm (5-plis)

$$E_0 = E_{0,y,0}/I_y = (11\,700 \text{ MPa} \times (3 \times 35 \text{ mm}) \times d^3/12) / (175 \text{ mm} \times d^3/12)$$

$$E_{90} = E_{90,y,90}/I_y = 9\,000 \times (2 \times 35 \text{ mm}) / 175 \text{ mm}$$

$$G_{xy} = 44 \times 10^6 \text{ Nmm} \times 175 \text{ mm}$$

$$E_0 = 7020 \text{ MPa}$$

$$E_{90} = 3600 \text{ MPa}$$

$$G_{xy} = 250 \text{ MPa}$$

Pour surface avec des efforts dans le plans et hors plan, il faut utiliser une surface 2D anisotropique.

CLT - Propriétés d'un linteau



Murs de refends , linteaux et diaphragmes – Propriétés de conception

Classe de contraintes	E1 (L = MSR 1950 F _b -1.7E S-P-F et T = S-P-F No. 3/Stud)								
Composition	89-3s	105-3s	143-5s	175-5s	197-7s	213-7l	244-7s	244-7l	267-9l
Charges parallèles aux couches extérieures									
Flexion selon l'axe z-z									
Épaisseur effective en flexion, $b_{\text{eff},xz}$ (mm) ^(a)	19	35	38	70	57	38	105	70	57
Résistance prévue au cisaillement, $f_{v,xz}$ (MPa) ^(b)	2,4	2,4	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7
Rigidité au cisaillement, $G_v t_{v,xz}$ (10^6 N/m) ^(c)	22	26	36	44	49	53	61	61	67
Charges perpendiculaires aux couches extérieures									
Flexion selon l'axe z-z									
Épaisseur effective en flexion, $b_{\text{eff},yz}$ (mm) ^(a)	70	70	105	105	140	175	140	175	210
Résistance prévue au cisaillement, $f_{v,yz}$ (MPa) ^(b)	2,0	2,0	2,4	2,4	2,0	2,4	2,4	2,4	2,0
Rigidité au cisaillement, $G_v t_{v,yz}$ (10^6 N/m) ^(c)	22	26	36	44	49	53	61	61	67

Merci

Simon Gallagher, ing., M. Sc. A.

Chargé de projets – ingénierie | *Project Manager – Engineering*

D 514-871-5621 T 514-871-8526 x 8041 C 514-609-1280

NORDIC STRUCTURES

1100 av. des Canadiens-de-Montréal, suite 100, Montréal (Québec) H3B 2S2

nordic.ca

NORDIC
STRUCTURES

NORDIC STRUCTURES

nordic.ca

 NORDIC
X-LAM

 NORDIC
LAM

 NORDIC
JOIST