

## Sommaire

<b>VERIFICATION AUX EUROCODES D'UNE PIECE TRAVAILLANT EN FLEXION.....</b>	<b>2</b>
<b>1 Hypothèses de calcul.....</b>	<b>2</b>
<b>2 Détermination des actions.....</b>	<b>3</b>
2.1 Actions provoquées par le poids de la structure. ....	3
2.2 Les charges d'exploitation. ....	3
<b>3 Les combinaisons d'action.....</b>	<b>4</b>
<b>4 Vérification à l'Etat Limite Ultime (ELU). ....</b>	<b>4</b>
4.1 La flexion.....	4
4.1.1 Contrainte provoquée par les actions $\sigma_{m,d}$ .....	4
4.1.2 Contrainte de résistance du bois $f_{m,d}$ . ....	5
4.1.3 Coefficient d'instabilité provenant du déversement $k_{crit}$ .....	5
4.1.4 Taux de travail.....	6
4.2 Le cisaillement. ....	6
4.2.1 Contrainte provoquée par les actions $\tau_d$ . ....	7
4.2.2 Contrainte de résistance du bois $f_{v,d}$ . ....	7
4.2.4 Taux de travail.....	7
4.3 La compression sous les appuis.....	8
4.3.1 Contrainte provoquée par les actions, $\sigma_{c,90,d}$ . ....	8
4.3.2 Contrainte de résistance du bois $f_{c,90,k}$ . ....	9
4.3.3 $k_{c,90}$ : Coefficient permettant de majorer la contrainte de résistance .....	9
4.3.4 Taux de travail.....	9
<b>5 Vérification à l'Etat Limite de Service (ELS). ....</b>	<b>10</b>
5.2 La déformation instantanée sous charge variable. ....	10
5.3 La déformation totale. ....	10
<b>6 Comparaison entre les critères de dimensionnement .....</b>	<b>12</b>
<b>En savoir plus .....</b>	<b>12</b>

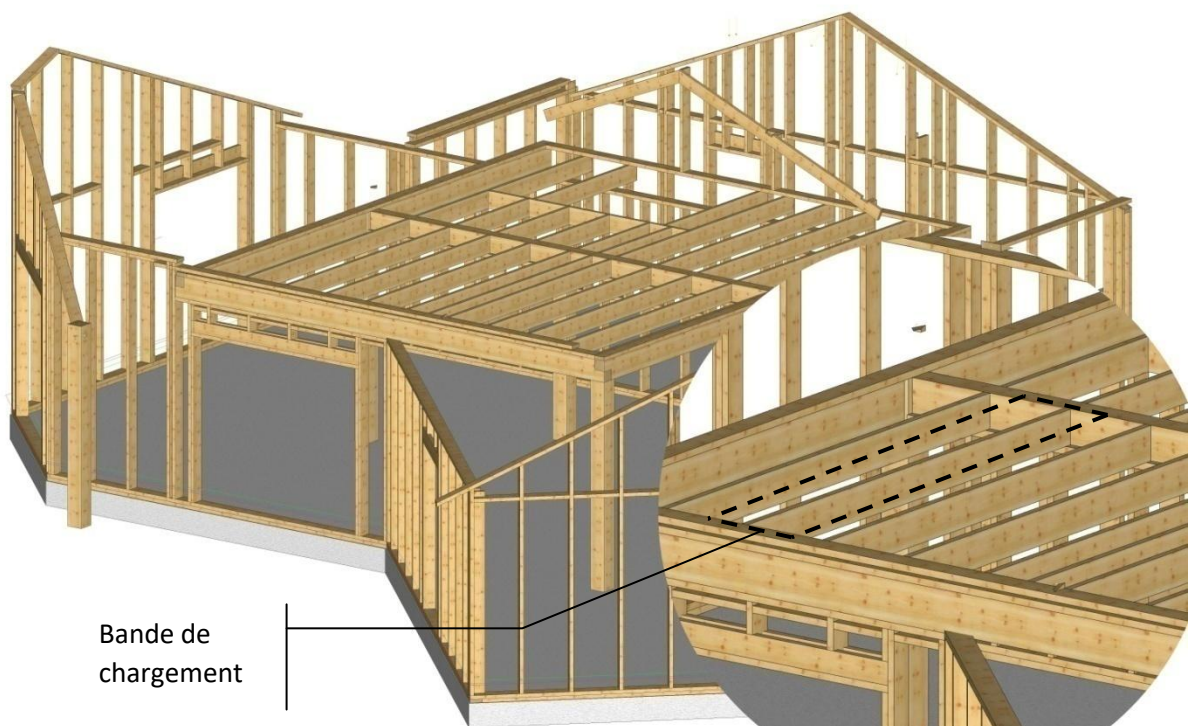
# VERIFICATION AUX EUROCODES D'UNE PIECE TRAVAILLANT EN FLEXION

## ETUDE DE CAS : JUSTIFICATION D'UNE SOLIVE

La justification d'une solive exige des vérifications à l'état limite ultime (critères de sécurité) et à l'état limite de service (critères de déformation). La première étape consiste à définir les actions, les charges de structure et les charges d'exploitation. Puis il faut déterminer les combinaisons d'actions. Elles simulent les différentes situations de charge auxquelles les solives seront soumises au cours de leur vie. A l'état limite ultime, ces combinaisons d'actions définissent la charge de calcul pour établir les contraintes de flexion, de cisaillement et de compression transversale à l'état limite ultime. A l'état limite de service, la déformation instantanée sous charges variables et la déformation totale à l'état limite de service doivent être vérifiées également.

## 1 Hypothèses de calcul

### Exemple



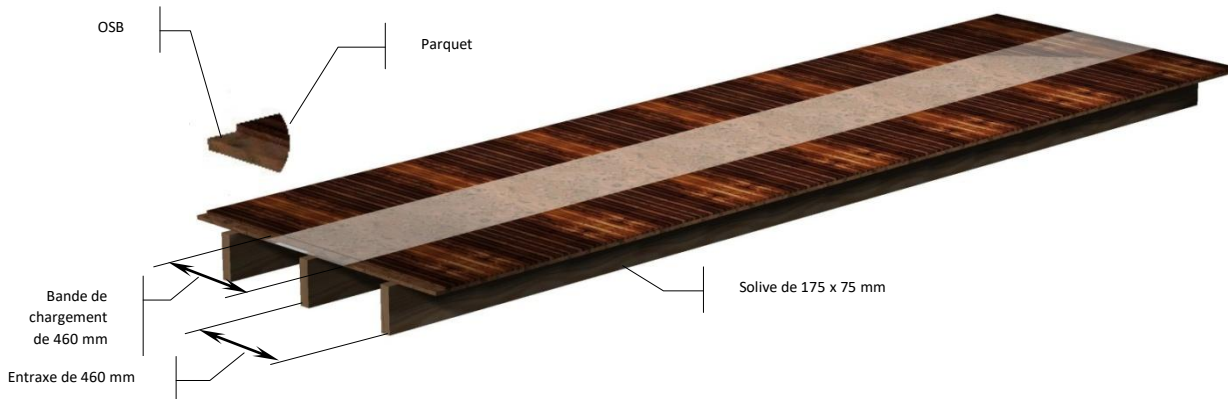
Considérons un plancher situé dans une chambre. Les éléments structuraux sont des solives de 175 x 75 mm classée C18 avec un entraxe de 46 cm reposant sur des murs espacés de 4,6 m. La longueur du repos sur le mur est de 25 mm. Elles supportent un panneau OSB de 15 mm d'épaisseur et un parquet flottant de 12 kg/m<sup>2</sup>.

**Remarque : Les valeurs des charges, les caractéristiques des essences et les différents coefficients sont précisés dans les tableaux situés à la fin de l'ouvrage « Construction bois : l'Eurocode 5 par l'exemple - Le dimensionnement des barres et des assemblages en 30 applications. Yves Benoit – Editions Eyrolles - Collection Eurocode ».**

## 2 Détermination des actions

### 2.1 Actions provoquées par le poids de la structure.

#### Etape 1 : Détermination de la bande de chargement



La solive reprend 1/2 entraxe à gauche et 1/2 entraxe à droite, soit un entraxe complet (230+230 = 460mm).

#### Etape 2 : Transformation de la masse en charge

- Parquet flottant avec sous-couche : 12 kg/m<sup>2</sup>
- OSB (panneau de grande particules orientées) : 660 kg /m<sup>3</sup>

Solives : 380 kg /m<sup>3</sup>, (voir le tableau p275 de l'ouvrage « Construction bois : l'Eurocode 5 par l'exemple » ou la NF EN 338).

Le calcul consiste à transformer la masse des éléments surfaciques (Parquet contrecollé et OSB) en action exprimées en kN/ m<sup>2</sup> et la masse des éléments linéique (solive) en action exprimées en kN/m. Par simplification, l'accélération terrestre « g » est pris égale à 10 m/s<sup>2</sup>.

- Parquet contrecollé :  $kg/m^2 * \frac{g}{1000} = kN/m^2$ ,

$$\text{soit } 12 * \frac{10}{1000} = 0,12 \text{ kN/m}^2$$

- OSB (panneau de grandes particules orientées) :  $\frac{kg/m^3 * g}{1000} * \text{épaisseur (m)} = kN/m^2$ ,

$$\text{soit } \frac{660 * 10}{1000} * 0,015 = 0,099 \text{ kN/m}^2$$

- Solives :  $\frac{kg/m^3 * g}{1000} * \text{hauteur (m)} * \text{épaisseur (m)} = kN/m$ ,

$$\text{soit } \frac{380 * 10}{1000} * 0,175 * 0,075 = 0,05 \text{ kN/m}$$

#### Etape 3 : Détermination de la charge de structure (G) par mètre de solive

La charge de structure surfacique est multipliée par la bande de chargement pour obtenir une charge linéique. Le poids de la solive est ajouté.

Charges totales :

$$G = (0,12 + 0,099) * 0,46 + 0,05 = 0,151 \text{ kN/m}$$

### 2.2 Les charges d'exploitation.

Le plancher est situé dans un local d'habitation. La charge d'exploitation est de 1,5 kN/m<sup>2</sup> (voir le tableau p271 de l'ouvrage « Construction bois : l'Eurocode 5 par l'exemple » ou la NF P 06-111-2/A1).

La bande de chargement est de 0,46 m.

Détermination de la charge d'exploitation (Q) par mètre de solive

$$Q = 1,50 * 0,46$$

$$Q = 0,69 \text{ kN/m}$$

### 3 Les combinaisons d'action.

Cette vérification consiste à confirmer que pendant toute la durée d'exploitation du bâtiment la sécurité des personnes sera assurée. C'est la vérification à l'Etat Limite Ultime ou ELU. Les combinaisons à l'ELU concernent la résistance de la structure. Il n'y a pas de risque de soulèvement ni de risque de neige exceptionnelle (voir le tableau p277 de l'ouvrage « Construction bois : l'Eurocode 5 par l'exemple » ou la NF EN 1995-1-1).

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

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

$$q_1 = \gamma_{G,Sup} G$$

$$q_1 = 1,35G$$

$$q_1 = 1,35 * 0,151 = 0,204 \text{ kN/m}$$

$$q_2 = \gamma_{G,Sup} G + \gamma_Q Q_1$$

$$q_2 = 1,35G + 1,5Q_1$$

$$q_2 = 1,35 * 0,151 + 1,5 * 0,69 = 1,239 \text{ kN/m}$$

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

La vérification à l'ELU consiste à vérifier la résistance en flexion au milieu de la solive, en cisaillement et en compression transversale sous les appuis.

La combinaison d'action retenue est  $1,35G + 1,5 Q$ .

$$q = 1,35G + 1,5 Q = 1,239 \text{ kN/m} = 1,239 \text{ N/mm}$$

Pour obtenir les sections de calcul à 12% d'humidité du bois, il faut diminuer de 2% les dimensions commerciales. La section commerciale de 175 x 75 devient la section de calcul de 171 x 73 (valeurs arrondis).

Remarque :

- La résistance du bois diminuant lorsque le chargement est permanent (influence du  $k_{mod}$ ), la combinaison  $q_1$  deviendrait dimensionnante si  $G > 3,33 \times Q$ . Dans l'exemple la structure est légère par rapport à la charge d'exploitation ( $G = 0,22 \times Q$ ).

-  $1 \text{ kN/m} = 1000 \text{ N}/1000 \text{ mm} = 1 \text{ N/mm}$

#### 4.1 La flexion

La contrainte de flexion provoquée par les actions doit rester inférieure à la contrainte de résistance en tenant compte du risque de déversement.

Le taux de travail est :  $\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} * f_{m,d}} \leq 1$  avec :

$\sigma_{m,d}$  : Contrainte de flexion provoquée par les actions en N/mm<sup>2</sup>.

$f_{m,d}$  : Contrainte de résistance de flexion calculée en N/mm<sup>2</sup>.

$k_{crit}$  : Coefficient d'instabilité provenant du déversement.

##### 4.1.1 Contrainte provoquée par les actions $\sigma_{m,d}$

La contrainte de flexion provoquée par la charge est calculée par la formule :  $\sigma_{m,d} = \frac{M_{f,y}}{I_{G,y}} \frac{1}{V}$

$M_{f,y}$  : moment de flexion maximum, pour une poutre sur deux appuis avec une charge uniformément répartie,

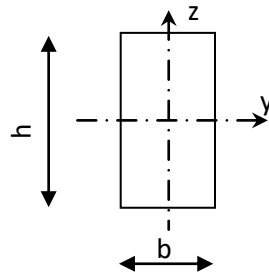
$$M_{f,y} = qL^2/8$$

$q = 1,239 \text{ N/mm}$ , charge linéique de poutre.

$L = 4600 \text{ mm}$ , distance entre appuis.

$I_{G,y}/V$  : module d'inertie,  $bh^2/6$  pour une section rectangulaire avec le repère de la figure 1.

Repère de la section adopté par l'Eurocode



$$\sigma_{m,d} = \frac{M f_y}{\frac{I_{G,y}}{V}} = \frac{6 q L^2}{8 b h^2} = \frac{6 * 1,239 * 4600^2}{8 * 73 * 171^2} = 9,21 \text{ N/mm}^2$$

Remarque : toutes les unités sont en millimètre et en Newton.

#### 4.1.2 Contrainte de résistance du bois $f_{m,d}$

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

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

- $f_{m,k} = 18 \text{ N/mm}^2$ , contrainte caractéristique de résistance en flexion (voir le tableau p275 de l'ouvrage « Construction bois : l'Eurocode 5 par l'exemple » ou la NF EN 338).
- $k_{mod} = 0,8$ , coefficient modificatif en fonction de la charge de plus courte durée (la charge d'exploitation) et de la classe de service (voir le tableau p276 de l'ouvrage « Construction bois : l'Eurocode 5 par l'exemple » ou la NF EN 1995-1-1).
- $\gamma_M = 1,3$ , coefficient partiel qui tient compte de la dispersion du matériau (voir le tableau p277 de l'ouvrage « Construction bois : l'Eurocode 5 par l'exemple » ou la NF EN 1995-1-1).
- $k_{sys} = 1,1$ ; le coefficient d'effet système est égale à 1,1. Il apparaît lorsque plusieurs éléments porteurs de même nature et de même fonction avec un entraxe inférieur à 1,2 m (solives, charpente industrielle) sont sollicités par un même type de chargement réparti uniformément et avec un système capable (le panneau dans notre exemple) de reporter les efforts sur les pièces adjacentes.
- $k_h = 1$  Coefficient de hauteur. Le coefficient  $k_h$  est égal à 1 lorsque la hauteur de la poutre est supérieure à 150 mm.

Calcul du coefficient de hauteur pour du bois massif.

$$\begin{aligned} \text{si } h &\geq 150 \text{ mm} & K_h &= 1 \\ \text{si } h &\leq 150 \text{ mm} & K_h &= \min(1,3 ; (150/h)^{0,2}) \end{aligned}$$

Avec h la hauteur de la pièce en mm

$$f_{m,d} = 18 * \frac{0,8}{1,3} * 1,1 * 1 = 12,2 \text{ N/mm}^2$$

#### 4.1.3 Coefficient d'instabilité provenant du déversement $k_{crit}$

Le déversement est un flambement latéral de la membrure comprimée. Il peut apparaître lorsque les appuis sont limités en torsion (sabots, encastrement dans un mur,...) et si l'élancement est important c'est-à-dire lorsque le rapport hauteur/ épaisseur est élevé et lorsque la membrure comprimée n'est pas maintenue. Le calcul du coefficient  $k_{crit}$  s'effectue à partir de la contrainte critique de flexion  $\sigma_{m,crit}$  et de l'élancement relatif de flexion  $\lambda_{rel,m}$ .

#### Calcul de la contrainte critique $\sigma_{m,crit}$

La contrainte critique de flexion est définie par la formule :  $\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 * E_{0,05} * b^2}{h * (l * k_{lef} + \Delta l)}$

- $E_{0,05} = 6 \text{ kN/mm}^2 = 6000 \text{ N/mm}^2$ , module axial au 5<sup>ème</sup> pourcentile ou caractéristique (voir le tableau p275 de l'ouvrage « Construction bois : l'Eurocode 5 par l'exemple » ou la NF EN 338).
- $h = 171 \text{ mm}$ , hauteur de la pièce.
- $b = 73 \text{ mm}$ , épaisseur de la pièce.
- $l = 4600 \text{ mm}$ , longueur de la pièce
- $\Delta l = 2 * 171 = 342 \text{ mm}$ , lorsque la pièce est chargée sur sa fibre comprimée  $l_{ef}$  est augmentée de la valeur  $2h$ . Si la pièce est chargée sur sa partie tendue  $l_{ef}$  est diminuée de  $0,5h$ .
- $k_{lef}$ , coefficient fonction du type d'appui et du chargement,  $k_{lef} = 0,9$  ;

Type d'appui	Type de chargement	Coefficient
Appuis simples	Charge répartie	0,9
	Charge concentrée	0,8
Porte à faux	Charge répartie	0,5
	Charge concentrée	0,8

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 * 6000 * 73^2}{171 * (4600 * 0,9 + 342)} = 32,5 \text{ N/mm}^2$$

### Calcul de l'élancement relatif de flexion $\lambda_{rel,m}$

L'élancement relatif de flexion est défini par la formule  $\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,critique}}}$

- $\sigma_{m,crit} = 32,5 \text{ N/mm}^2$ , contrainte critique de flexion.
- $f_{m,k} = 18 \text{ N/mm}^2$ , contrainte de flexion caractéristique (voir le tableau p275 de l'ouvrage « Construction bois : l'Eurocode 5 par l'exemple » ou la NF EN 338).

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{18}{32,5}} = 0,74$$

### Calcul du coefficient $k_{crit}$

Si  $\lambda_{rel,m} \leq 0,75$   $k_{crit} = 1$ , pas de déversement

Si  $0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4$   $k_{crit} = 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m}$

Si  $1,4 < \lambda_{rel,m}$   $k_{crit} = 1 / \lambda_{rel,m}^2$

$\lambda_{rel,m} = 0,74$  donc  $k_{crit} = 1$

*Remarque : Si le déplacement latéral de la face comprimée est évité sur toute sa longueur (entretoises ou panneaux fixés comme un voile travaillant pour former un diaphragme), le coefficient  $k_{crit}$  peut être pris égal à 1.*

### 4.1.4 Taux de travail

Le taux de travail est :  $\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} * f_{m,d}} = \frac{9,22}{1 * 12,2} = 0,75 \leq 1$

Le critère est vérifié.

## 4.2 Le cisaillement.

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

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

$\tau_d$  : Contrainte de cisaillement provoquée par les actions en  $\text{N/mm}^2$ .

$f_{v,d}$  : Contrainte de résistance en N/mm<sup>2</sup>.

#### 4.2.1 Contrainte provoquée par les actions $\tau_d$ .

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

- $k_f = 1,5$ , coefficient de forme pour une section rectangulaire.
- $F_{v,d}$  : Effort tranchant en Newton. Une poutre sur deux appuis avec une charge uniformément répartie, a un effort tranchant maximum au voisinage des appuis. Il a la même valeur que la réaction d'appuis,  $ql/2$ , soit  $1,239 \times 4600 / 2 = 2850$  N.
- $h_{ef} = 171$  mm, hauteur réelle exposée au cisaillement.
- $b = 73$  mm, épaisseur de la pièce.
- $k_{cr} = 0,67$  ; coefficient tenant compte du risque de fente aux extrémités de la poutre.

#### Valeur de $k_{cr}$ en fonction du matériau, de la section et du chargement

	Classe de service 1	Classe de service 2	Classe de service 3
Bois massif dont une des dimensions de la section < 150 mm	1	1	0,67
Bois massif dont une des dimensions de la section > 150 mm	0,67	0,67	0,67
Bois lamellé-collé avec moins de 70% de charge permanente par rapport à la charge totale	1	1	0,67
Bois lamellé-collé avec au moins 70% de charge permanente par rapport à la charge totale	1	0,67	0,67

$$\tau_d = \frac{1,5 * 2850}{73 * 0,67 * 171} = 0,51 \text{ N/mm}^2$$

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

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

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

- $f_{v,k} = 3,4$  N/mm<sup>2</sup>, contrainte caractéristique de résistance en cisaillement (voir le tableau p275 de l'ouvrage « Construction bois : l'Eurocode 5 par l'exemple » ou la NF EN 338)..
- $k_{mod} = 0,8$ , coefficient modificatif en fonction de la charge de plus courte durée (la charge d'exploitation) et de la classe de service (voir le tableau p276 de l'ouvrage « Construction bois : l'Eurocode 5 par l'exemple » ou la NF EN 1995-1-1).
- $\gamma_M = 1,3$ , coefficient partiel qui tient compte de la dispersion du matériau (voir le tableau p277 de l'ouvrage « Construction bois : l'Eurocode 5 par l'exemple » ou la NF EN 1995-1-1).

$$f_{v,d} = 3,4 * \frac{0,8}{1,3} = 2,09 \text{ N/mm}^2$$

#### 4.2.4 Taux de travail

Le taux de travail est :  $\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{0,51}{2,09} = 0,24 \leq 1$

Le critère est vérifié.

### 4.3 La compression sous les appuis.

La contrainte de compression transversale provoquée par les actions doit être inférieure ou égale à la contrainte de résistance de compression transversale. Dans certains cas la contrainte de résistance peut être augmentée du coefficient  $k_{c,90}$ .

Le taux de travail est :  $\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} * f_{c,90,d}} \leq 1$ , avec

$\sigma_{c,90,d}$  : Contrainte de compression transversale provoquée par les actions en N/mm<sup>2</sup>.

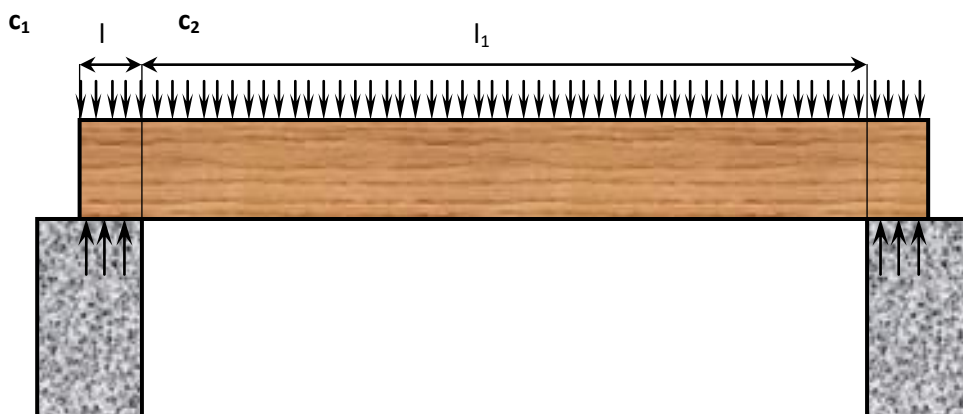
$f_{c,90,d}$  : Contrainte de résistance en N/mm<sup>2</sup>.

$k_{c,90}$  : Coefficient majorant la contrainte de résistance

#### 4.3.1 Contrainte provoquée par les actions, $\sigma_{c,90,d}$

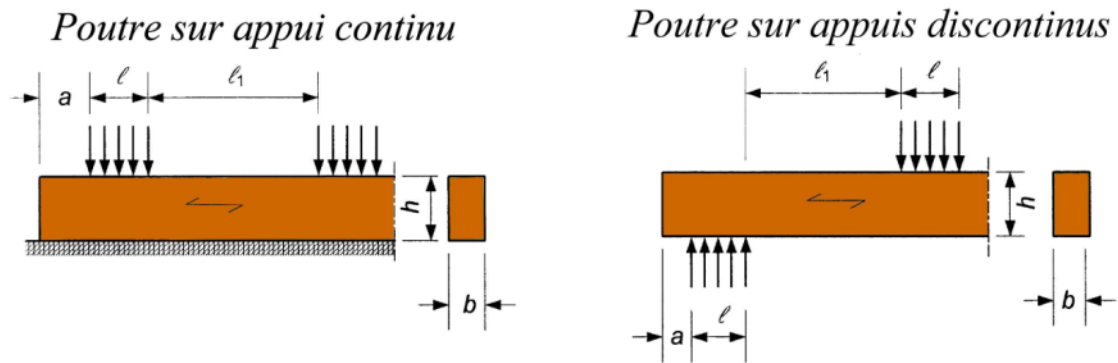
La contrainte de compression transversale provoquée par la charge est calculée par la formule :  $\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{b * l_{ef}}$

- $F_{c,90,d}$  : effort de compression en Newton soit la réaction aux appuis, pour une poutre sur deux appuis avec une charge uniformément répartie,  $F_{c,90,d} = \frac{q * L}{2} = \frac{1,239 * 4600}{2} = 2850 \text{ N}$
- $q = 1,239 \text{ N/mm}$ , charge linéique de poutre.
- $L = 4600 \text{ mm}$ , distance entre appuis.
- $b = 73 \text{ mm}$ , épaisseur de la pièce.
- $l_{ef}$  : longueur efficace de l'appui de la pièce en mm,  $l_{ef} = l + c_1 + c_2 = 25 + 0 + 25 = 50 \text{ mm}$ .
  - $C_1 = \min\{30; a; l\}$ , et  $C_2 = \min\{30; l; 0,5l_1\}$
  - $C_1 = \min\{30; 0; 25\} = 0$ ,
  - $C_2 = \min\{30; 25; 0,5 * 4600\} = 25 \text{ mm}$ ,
- $c_1 = 0 \text{ mm}$ , majoration en mm à gauche de l'appui de gauche ( $a$  sur la figure 2).
- $c_2 = 25 \text{ mm}$ , majoration en mm à droite de l'appui de gauche ( $l_1$  sur les figures 1 et 2).
- $l = 25 \text{ mm}$ , la longueur de l'appui en mm.
- $l_1 = 4600 \text{ mm}$ , la distance entre deux charges ponctuelles.
- $a = 0 \text{ mm}$ , la distance entre l'extrémité de la poutre et une charge ponctuelle ( $a$  sur la figure 2).



Définition des distances  $l$ , et  $l_1$  de la solive





#### Définition des distances a, l, et l<sub>1</sub> (cas général)

Remarque : Si vous retournez la poutre sur appuis continu (à gauche) vous obtenez une poutre sur appuis discontinus uniformément chargée.

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{2850}{73 * 50} = 0,78 \text{ N/mm}^2$$

#### 4.3.2 Contrainte de résistance du bois f<sub>c,90,k</sub>

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

$$f_{c,90,d} = f_{c,90,k} * \frac{k_{mod}}{\gamma_M}$$

- f<sub>c,90,k</sub> = 2,2 N/mm<sup>2</sup>, contrainte caractéristique en compression transversale (voir le tableau p275 de l'ouvrage « Construction bois : l'Eurocode 5 par l'exemple » ou la NF EN 338).
- k<sub>mod</sub> = 0,8, coefficient modificatif en fonction de la charge de plus courte durée (la charge d'exploitation) et de la classe de service (voir le tableau p276 de l'ouvrage « Construction bois : l'Eurocode 5 par l'exemple » ou la NF EN 1995-1-1).
- γ<sub>M</sub> = 1,3, coefficient partiel qui tient compte de la dispersion du matériau (voir le tableau p277 de l'ouvrage « Construction bois : l'Eurocode 5 par l'exemple » ou la NF EN 1995-1-1).

$$f_{c,90,d} = 2,2 * \frac{0,8}{1,3} = 1,35 \text{ N/mm}^2$$

#### 4.3.3 k<sub>c,90</sub> : Coefficient permettant de majorer la contrainte de résistance

Le tableau ci dessous précise les cas où il est possible de majorer la contrainte de résistance. La distance l<sub>1</sub> doit être supérieure ou égale à 2 fois la hauteur de la pièce (l<sub>1</sub> ≥ 2h). Soit pour notre exemple, k<sub>c,90</sub> = 1,5.

Type d'appui	Exemple	Bois résineux massif	Bois résineux lamellé-collé
appuis continus	Lisse basse sur une dalle de béton	1,25	1,5
appuis discontinus	Poutre sur deux appuis	1,5	1,75

#### 4.3.4 Taux de travail

Le taux de travail est :  $\frac{0,78}{1,5 * 1,35} = 0,39 \leq 1$

Le critère est vérifié.

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

L'état limite de service est vérifié lorsque les déformations ne dépassent pas une valeur limite réglementaire. Le comportement des planchers doit aussi être vérifié vis-à-vis des vibrations. Les vérifications à l'ELS concernent la déformation sous charge variable et la déformation totale de la solive. Lorsqu'il n'y a pas de contreflèche, il n'y a pas lieu de vérifier la déformation  $U_{fin}$ .

### 5.2 La déformation instantanée sous charge variable.

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

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

La flèche instantanée est calculée avec la charge variable  $q_{inst(Q)} = 0,69 \text{ kN/m}$ . La solive a une charge symétrique et uniforme, la flèche est définie par la formule :

$$U_{inst(Q)} = \frac{5 * q_{inst(Q)} * L^4}{384 * E_{0,mean} * I}$$

- $q_{inst(Q)} = 0,69 \text{ kN/m} = 0,69 \text{ N/mm}$ , charge linéique provoquée par les actions variables.
- $L = 4600 \text{ mm}$ , distance entre appuis.
- $E_{0,mean} = 9 \text{ kN/mm}^2 = 9000 \text{ N/mm}^2$ , module moyen axial (voir le tableau p275 de l'ouvrage « Construction bois : l'Eurocode 5 par l'exemple » ou la NF EN 338).
- $I$  : moment quadratique en  $\text{mm}^4$ , pour une section rectangulaire sur chant,  $I = bh^3/12$
- $h = 171 \text{ mm}$ , hauteur de la pièce.
- $b = 73 \text{ mm}$ , épaisseur de la pièce.

$$\text{La formule devient : } U_{inst(Q)} = \frac{5 * q_{inst(Q)} * L^4 * 12}{384 * E_{0,mean} * b * h^3} = \frac{5 * 0,69 * 4600^4 * 12}{384 * 9000 * 73 * 171^3} = 14,7 \text{ mm}$$

La valeur limite réglementaire  $W_{inst(Q)}$  est de  $L/300 = 4600/300 = 15,3 \text{ mm}$  (voir le tableau p277 de l'ouvrage « Construction bois : l'Eurocode 5 par l'exemple ou la NF EN 1995-1-1/NA).

$$\text{Le taux de déformation est de : } \frac{14,7}{15,3} = 0,96 \leq 1$$

Le critère est vérifié

### 5.3 La déformation totale.

La déformation totale ( $U_{net,fin}$ ) est la somme de la flèche instantanée provoquée par les charges variables  $U_{inst(Q)}$ , la flèche instantanée provoquée par les charges permanentes  $U_{inst(G)}$  et la flèche différée provoquée par la durée de la charge et l'humidité du bois  $U_{creep}$ . Lorsqu'elle existe, Il faut retrancher la contre-flèche fabriquée  $U_c$ .

$$U_{fin} = U_{fin(G)} + U_{fin(Q)}$$

$$U_{net,fin} = U_{fin(G)} + U_{fin(Q)} - U_c$$

Avec :

- $U_{fin(G)} = U_{inst(G)}(1 + k_{def})$
- $U_{fin(Q)} = U_{inst(Q)}(1 + \psi_2 \cdot k_{def})$

Nous obtenons :

$$U_{fin} = U_{inst(G)}(1 + k_{def}) + U_{inst(Q)}(1 + \psi_2 \cdot k_{def})$$

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

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

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

Calcul de  $U_{inst(G)}$  :

$$U_{inst(G)} = \frac{5 * q_G * L^4}{384 * E_{0,mean} * I}$$

- $q_G = 0,151 \text{ kN/m} = 0,151 \text{ N/mm}$ , charge de calcul linéique.
- $L = 4600 \text{ mm}$ , distance entre appuis.
- $E_{0,mean} = 9 \text{ kN/mm}^2 = 9000 \text{ N/mm}^2$ , module moyen axial (voir le tableau p275 de l'ouvrage « Construction bois : l'Eurocode 5 par l'exemple » ou la NF EN 338).
- $I$  : moment quadratique en  $\text{mm}^4$ , pour une section rectangulaire sur chant,  $I = bh^3/12$
- $h = 171 \text{ mm}$ , hauteur de la pièce.
- $b = 73 \text{ mm}$ , épaisseur de la pièce.

La formule devient :  $U_{inst(G)} = \frac{5*0,151*4600^4*12}{384*9000*73*171^3} = 3,21 \text{ mm}$

Il n'y a pas de contreflèche,  $U_{net,fin} = U_{fin} = U_{inst(G)}(1 + k_{def}) + U_{inst(Q)}(1 + \psi_2.k_{def})$ , car  $U_c = 0$

$U_{net,fin} = 3,21(1 + 0,6) + 14,7(1 + 0,3*0,6) = 22,5 \text{ mm}$ .

Avec :

- $k_{def} = 0,6$ , local chauffé, classe de service 1 (voir le tableau p274 de l'ouvrage « Construction bois : l'Eurocode 5 par l'exemple » ou la NF EN 1995-1-1).
- $\psi_2 = 0,3$ , habitations résidentielles, (voir le tableau p273 de l'ouvrage « Construction bois : l'Eurocode 5 par l'exemple ou la NF EN 1990).

La valeur limite réglementaire  $W_{net,fin}$  est de  $L/200 = 4600/200 = 23 \text{ mm}$  (voir le tableau p277 de l'ouvrage « Construction bois : l'Eurocode 5 par l'exemple ou la NF EN 1995-1-1/NA).

Le taux de déformation est de :  $\frac{22,5}{23} = 0,98 \leq 1$

Le critère est vérifié

Remarque :

- La vérification vis-à-vis des vibrations pourrait conduire à augmenter la hauteur de la section pour rigidifier le plancher.
- Si il y a plusieurs actions variable,  $U_{fin} = U_{inst(G)}(1 + k_{def}) + U_{inst(Q,1)}(1 + \psi_{2,1}.k_{def}) + U_{inst(Q,2)}(\psi_{0,2} + \psi_{2,2}.k_{def}) \dots$
- Lorsqu'il y a une contre flèche ( $U_c$ ) il faut vérifier  $U_{fin} = U_{inst(G)}(1 + k_{def}) + U_{inst(Q)}(1 + \psi_2.k_{def}) - U_c$
- Le fluage est égal à :  $U_{creep} = U_{inst(G)}(k_{def}) + U_{inst(Q)}(\psi_2.k_{def})$
- Il est préférable de calculer flèche provoquée par l'effort tranchant si le taux de déformation dépasse 0,95 ou si les charges sont importantes et la distance entre appuis courte, c'est-à-dire l'effort tranchant important. La

formule est :  $U_{Effort\ Tranchant} = \frac{Mf_{max}}{\frac{5}{6}G_{mean}*b*h}$ , avec

-  $Mf_{max} = qL^2/8$  (poutre sur deux appuis uniformément chargée), le moment de flexion maximum en N.mm, avec  $q = q_{(G)}(1 + k_{def}) + q_{(Q)}(1 + \psi_2.k_{def})$  pour tenir compte du fluage, soit :

$$q = 0,151(1 + 0,6) + 0,69(1 + 0,3 * 0,6) = 1,056 \text{ N/mm}$$

-  $G_{mean} = 560 \text{ N/mm}^2$ , le module de cisaillement moyen (voir le tableau p275 de l'ouvrage « Construction bois : l'Eurocode 5 par l'exemple » ou la NF EN 338).

-  $b$  et  $h$  : l'épaisseur (73 mm) et la hauteur (171 mm) de la pièce en mm.

$$U_{Effort\ Tranchant} = \frac{6 * q * l^2}{8 * 5 * G_{mean} * b * h} = \frac{6 * 1,056 * 5000^2}{8 * 5 * 560 * 73 * 220} = 0,44\ mm$$

Le taux de déformation devient :  $\frac{(22,5+0,44)}{23} = 0,99 \leq 1$

Le critère est vérifié

## 6 Comparaison entre les critères de dimensionnement

Le tableau 10 fait la synthèse des critères vérifiés.

Critère vérifié	Taux de travail ou de déformation
Contrainte de flexion (ELU)	0,75
Contrainte de cisaillement (ELU)	0,24
Contrainte de compression transversale (ELU)*	0,39
Flèche instantanée sous charge variable (ELS)	0,96
Flèche nette finale (ELS)	0,99

\* La contrainte de compression transversale est indépendante de la hauteur de la pièce. Elle dépend notamment de la longueur d'appui de la pièce sur le mur.

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

## En savoir plus

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