

## Corrigé : exercice 8 – triangulation et stabilisation

### Données

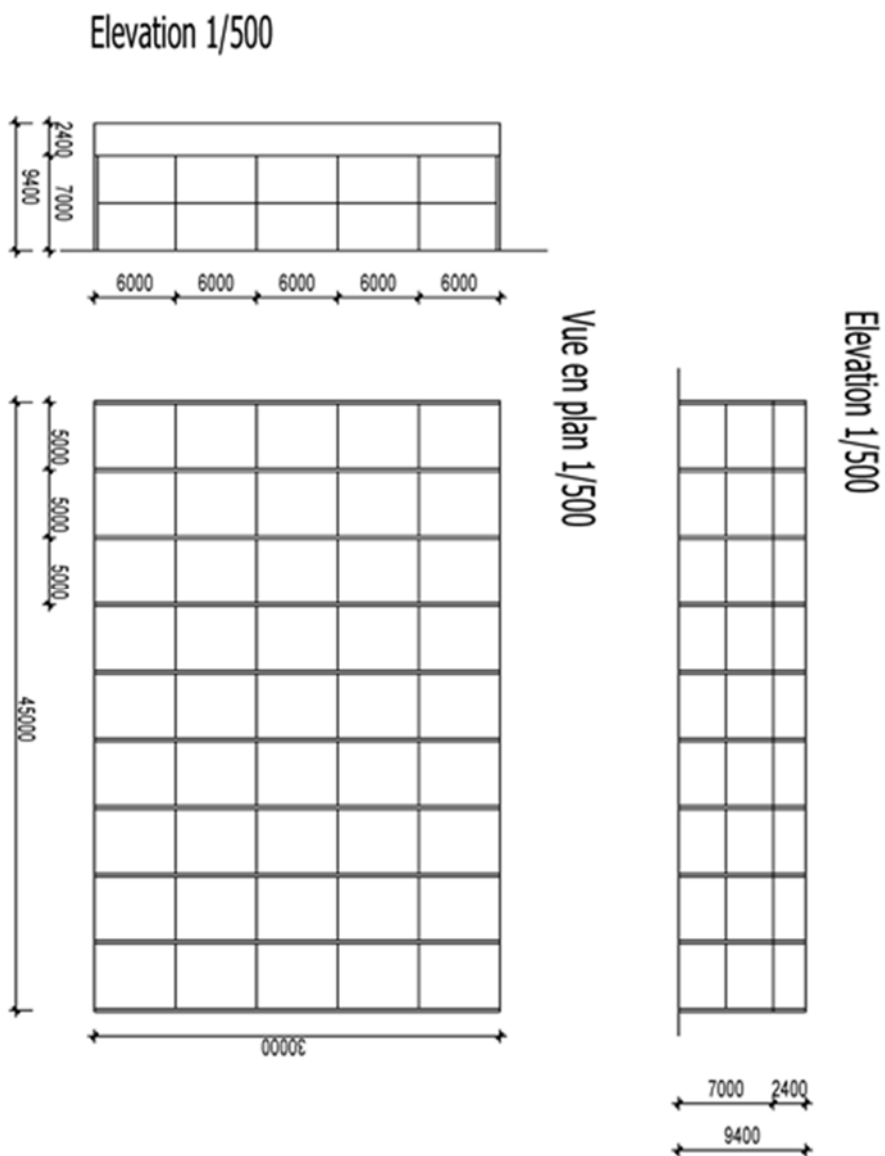
- La poutre sur deux appuis avec une portée de 30.0 m de l'exercice E3 provient d'une halle de 45.0 m de longueur. Les charges sur chaque poutre sont les suivantes :

$$G = 5.0 \text{ kN/m}$$

$$S = 7.5 \text{ kN/m}$$

La dimension de la poutre retenue par l'ingénieur est de 20/240 cm<sup>2</sup>, GL 24h. L'ingénieur a admis une stabilisation pour le déversement de  $a = 6.0 \text{ m}$ .

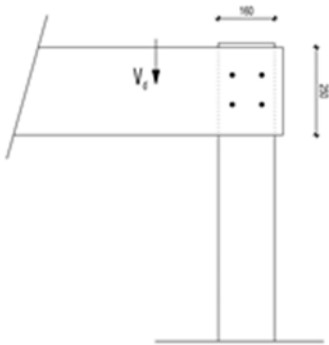
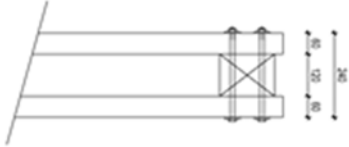
- Faites une proposition pour la stabilisation de la halle
- Calculez les charges sur les éléments de contreventement



2. Le portique est soumis à un effort tranchant de  $V_d=30$  kN.

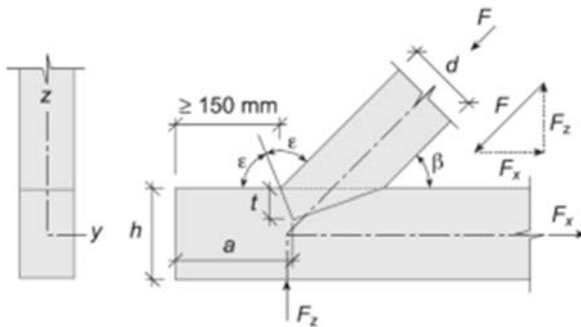
La traverse est constituée de deux poutres moisées de  $2 \times 60/250$  mm<sup>2</sup>. Le poteau a une section de  $120/160$  mm<sup>2</sup>. La qualité du bois est du C24.

- Que devient l'assemblage, si on voulait le passer avec un assemblage bois-bois ?



3. Vérifier l'embrèvement ci-après, pour un effort  $F_d=72$  kN

- La section de la diagonale est de  $140/140$ , C24
- La poutre a une section de  $140/300$ , C24
- L'angle entre la poutre et la diagonale est de  $45^\circ$



- Quel est l'avantage de faire un double embrèvement ?

**Corrigé**

**1 Stabilisation**

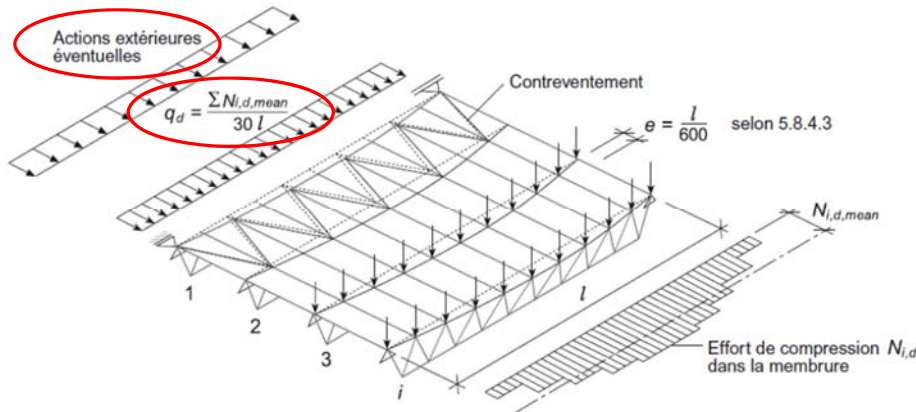
**1.1 Efforts de stabilisation de la poutre**

Pour le dimensionnement de la poutre, l'ingénieur a admis une longueur de déversement de la membrure supérieure de 6.0 m. Il faut donc stabiliser cette membrure supérieure tous les 6.0 m. L'effort horizontal de stabilisation qui doit être repris est donné pour une poutre à treillis par la norme :

effort horizontal de stabilisation  $q_{Ed} = \frac{\sum N_{i,Ed,mean}}{30 * l}$

(SIA 265 formule 83)

$N_{i,Ed,mean}$  est la valeur de calcul de l'effort de compression moyen dans l'élément  $i$  de longueur totale  $l$  – avec  $l$  la longueur de la poutre.



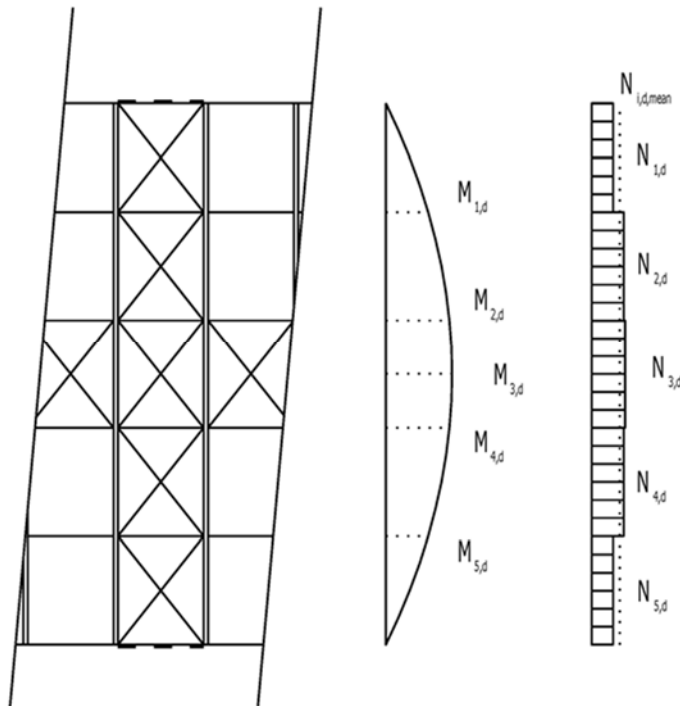
(SIA 265 figure 23)

Pour une poutre sur deux appuis, au vu de la rigidité à la torsion de la poutre, l'effort de compression équivalent  $N_i$  peut être réduit selon le facteur  $(1-k_m)$

effort de compression équivalent  $N_{i,Ed} = (1 - k_m) * \frac{M_{i,Ed}}{h}$

(SIA 265 formule 78)

avec  $N_d$  effort de compression équivalent  
 $k_m$  coefficient de déversement, celui de la poutre non stabilisée  
 $M_{Ed}$  moment de dimensionnement  
 $h$  hauteur de la poutre



Dans notre cas nous avons 5 champs à stabiliser, d'où (en prenant le moment maximum dans le champ):

$$\text{moment } M_{i,Ed} \quad M_{i,Ed} = \frac{q_d \cdot l}{2} \cdot l_i - \frac{q_d \cdot l_i^2}{2}$$

$$\text{charge de dimensionnement} \quad q_d = 1.35 \cdot 5 + 1.5 \cdot 7.5 = 18 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{longueur des poutres} \quad l = 30 \text{ m}$$

$$\text{espacement des poutres continues de la membrure supérieure} \quad a = 6 \text{ m}$$

$$\text{champ 1 et 5} \quad M_{1,d} = M_{4,d} = q_d \left( \frac{a \cdot l}{2} - \frac{a^2}{2} \right) = 1'296 \text{ kNm}$$

$$\text{champ 2 et 4} \quad M_{2,d} = M_{5,d} = q_d (a \cdot l - 2 a^2) = 1'944 \text{ kNm}$$

$$\text{champ 3} \quad M_{3,d} = \frac{q_d l^2}{8} = 2025 \text{ kNm}$$

$$\text{élancement relatif} \quad \lambda_{rel,m} = 0.06 \cdot \frac{\sqrt{a \cdot h}}{b} = 0.06 \cdot \frac{\sqrt{30 \cdot 2.4}}{0.2} = 2.55$$

(SIA 265  
formule 44)

$$\text{coefficient de déversement} \quad k_m = \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} = \frac{1}{2.55^2} = 0.154$$

(SIA 265  
formule 39)

D'où les efforts de compression équivalents:

$$\text{champ 1 et 5} \quad N_{1,d} = N_{5,d} = 456.7 \text{ kN}$$

$$\text{champ 2 et 4} \quad N_{2,d} = N_{4,d} = 685.0 \text{ kN}$$

$$\text{champ 3} \quad N_{3,d} = 713.5 \text{ kN}$$

$$\text{valeur moyenne} \quad N_{d,mean} = \frac{(N_{1,d} + N_{2,d} + N_{3,d} + N_{4,d} + N_{5,d})}{5} = 599.4 \text{ kN}$$

Par conséquent l'effort de stabilisation pour une poutre à treillis est :

effort horizontal  
de stabilisation  
par poutre

$$q_d = \frac{\sum N_{i,d,mean}}{30 l} = \frac{599.4}{30 \cdot 30} = 0.665 \frac{kN}{m}$$

(SIA 265  
formule 83)

En total il y a 10 poutres dont 2 sont des poutres de bord que l'on ne va pas compter. Ainsi restent 8 poutres qui produisent des efforts de stabilisation à reprendre.

effort horizontal  
de stabilisation  
total

$$q_d = q_{stab,d} = 8 * 0.665 = 5.99 \text{ kN/m}$$

A titre de comparaison, la charge de vent sur cet élément :

coefficient de  
pression du vent

canton de  
Vaud

$$q_p = c_h * q_{p0} = 0.9 \frac{kN}{m^2}$$

(SIA 261  
formule 11)

coefficient de  
hauteur

en zone  
rurale III

$$C_h = 1.6 * \left[ \left( \frac{z}{z_g} \right)^{\alpha_r} + 0.375 \right]^2 = 1.0$$

(SIA 261  
formule 12)

coefficient de  
force

tableau 61a

$$C_{fe} = 0.95$$

(SIA 261  
tableau 61a)

coefficient de  
réduction

$h_{tot} \leq 15 \text{ m}$

$$c_{red} = 1.0$$

(SIA 261 6.3.5)

hauteur totale du  
bâtiment

$$h_{tot} = 9.4 \text{ m}$$

effort du vent

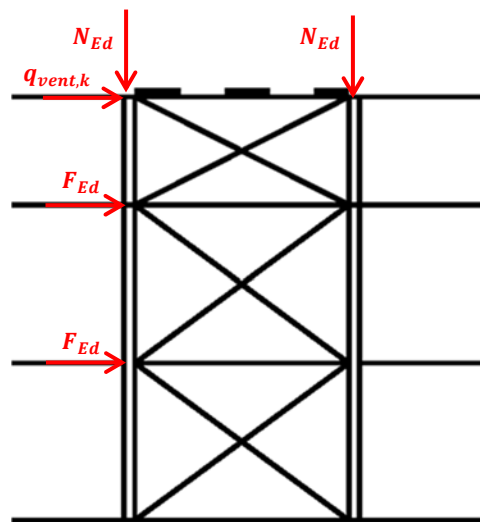
$$q_{vent,k} = c_{red} * q_p * C_h * C_{f2} * \frac{h_{bat}}{2} = 1.0 * 0.9 * 1.0 * 0.95 * \frac{9.4}{2} = 4.0 \frac{kN}{m}$$

(SIA 261  
formule 15)

L'effort de stabilisation n'est donc pas négligeable, même pour une structure légère face aux efforts de vent.

## 1.2 Effort de stabilisation des poteaux en façade

schéma de la  
façade et des  
points d'attaque  
des forces



Le flambage dans le plan de la façade est stabilisé par les éléments. L'effort de stabilisation est donné par la SIA 265 § 5.8.2.1 et le poteau est admis en bois lamellé collé. Par conséquent, pour la stabilisation d'un poteau nous aurons :

$$\text{effort normal} \quad N_{Ed} = \frac{q_d * l}{2} = \frac{18 * 30}{2} = 270 \text{ kN}$$

effort de  
stabilisation par  
poteau

$$F_{i,Ed} = \frac{N_{Ed}}{90} = \frac{270}{90} = 3 \text{ kN}$$

(SIA 265  
formule 77)

En total il y a 10 poteaux dont 2 sont des poteaux de bord que l'on ne va pas compter. Ainsi restent 8 poteaux qui produisent des efforts de stabilisation à reprendre.

effort de stabilisation pour tous les poteaux  $F_{Ed} = 8 * F_{i,Ed} = 8 * 3 = 24 \text{ kN}$

Cet effort s'additionne à l'effort du vent et l'effort de stabilisation des poutres qui arrive depuis le contreventement de la toiture:

effort du contreventement de la toiture  $Q_{Ed} = \frac{(q_{vent,d}) * l}{2} = \frac{(1.5 * 4) * 30}{2} = 90 \text{ kN}$

## 2 Assemblage bois-bois par pression latérale

effort tranchant  $V_d = 30 \text{ kN}$

à l'intérieur résistance  $\eta_w = 1.0$

(SIA 265  
3.2.1.3)

temps  $\eta_t = 1.0$

(SIA 265  
3.2.1.3)

bois C24  $\rho_k = 350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

(SIA 265 Tab.6)

résistance à la colonne (|| au fil)  $f_{c,0,d} = 12 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

(SIA 265 Tab.6)

bois résineux poutre (⊥ au fil) avec avant bois :  $f_{c,90,d} = 2.3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

(SIA 265 Tab.6)

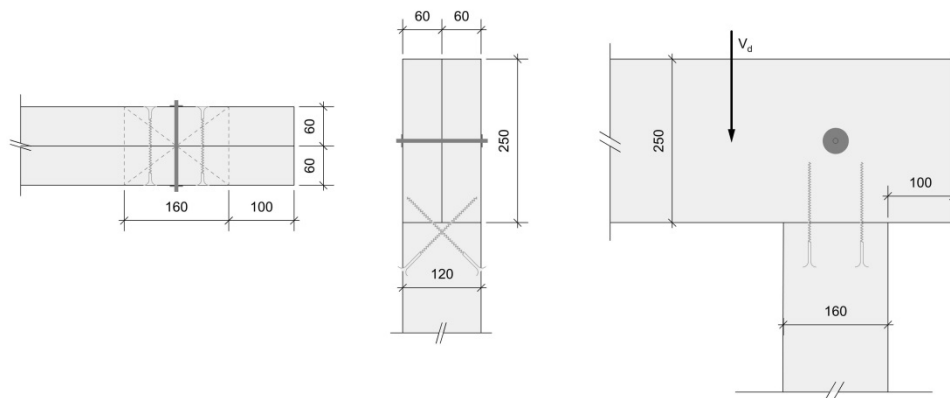
pression latérale  $\sigma_{c,90,d} = \frac{V_d}{A} = \frac{30'000}{2 * 60 * 160} = 1.56 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

vérification OK  $\sigma_{c,90,d} = 1.56 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq 2.3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = f_{c,90,d}$

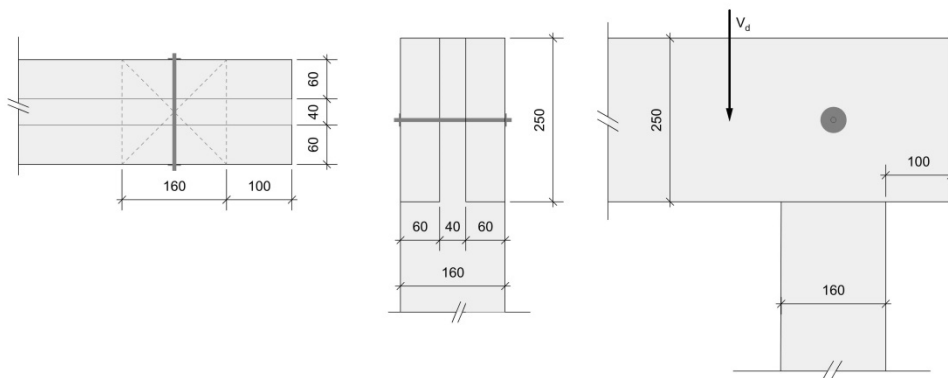
(SIA 265  
formule 11)

Possibilités constructives pour l'assemblage – Les vis et les boulons sont nécessaires pour la stabilisation constructive.

variante A



variante B



### 3 Assemblage par embrèvement

action	$F_d = 72 \text{ kN}$		
à l'intérieur	résistance	$\eta_w = 1.0$	(SIA 265 3.2.1.3)
	temps	$\eta_t = 1.0$	(SIA 265 3.2.1.3)
bois	C24	$\rho_k = 350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	(SIA 265 Tab.6)
sections	poutre	140/300	
	diagonale	140/140	
résistance à la pression pour du bois résineux	colonne (   au fil)	$f_{c,0,d} = 12 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	(SIA 265 Tab.6)
	poutre (⊥ au fil)	avec avant bois : $f_{c,90,d} = 2.3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	(SIA 265 Tab.6)

#### 3.1 Assemblage par embrèvement simple

angle	pour la formule 115 de la SIA 265	$\alpha = \frac{1}{2} * \beta = \frac{1}{2} * 45 = 22.5^\circ$	(SIA 265 figure 40)
	pour la formule 116 de la SIA 265	$\alpha = \beta = 45^\circ$	(SIA 265 figure 40)

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{0.8 * f_{c,0,d} * f_{c,90,d}}{0.8 * f_{c,0,d} * \sin^2 \alpha + f_{c,90,d} * \cos^2 \alpha}$$

$$f_{c,22.5,d} = \frac{0.8 * 12 * 2.3}{0.8 * 12 * \sin^2 22.5^\circ + 2.3 * \cos^2 22.5^\circ} = 6.55 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{c,45,d} = \frac{0.8 * 12 * 2.3}{0.8 * 12 * \sin^2 45^\circ + 2.3 * \cos^2 45^\circ} = 3.71 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

résistance réduite pour des connections inclinées

commentaire

le facteur 0.8 dans la formule ci-dessus provient de la chiffre 6.9.1.1

facteur de réduction pour le bois massif

$k_{red} = 0.6$

(SIA 265 formule 114)

longueur nécessaire de l'avant bois

$$a \geq \frac{F_{Ed} * \cos \beta}{b * k_{red} * f_{v,d}} = \frac{72'000 * \cos 45^\circ}{140 * 0.6 * 1.5} = 404 \text{ mm}$$

(SIA 265 formule 114)

choix :  $a = 450 \text{ mm}$

profondeur  
nécessaire de  
l'entaille

$$t \geq \frac{F_{Ed} * \cos\beta}{b * f_{c,\alpha,d}} = \frac{72'000 * \cos 45^\circ}{140 * 6.55} = 55.2 \text{ mm}$$

(SIA 265  
formule 115)

Profondeur  
maximale de  
l'entaille

$$t \leq \frac{h}{4} = \frac{300}{4} = 75 \text{ mm}$$

(SIA 265  
Tab.38)

choix :  $t = 60 \text{ mm}$

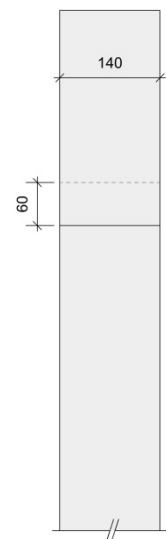
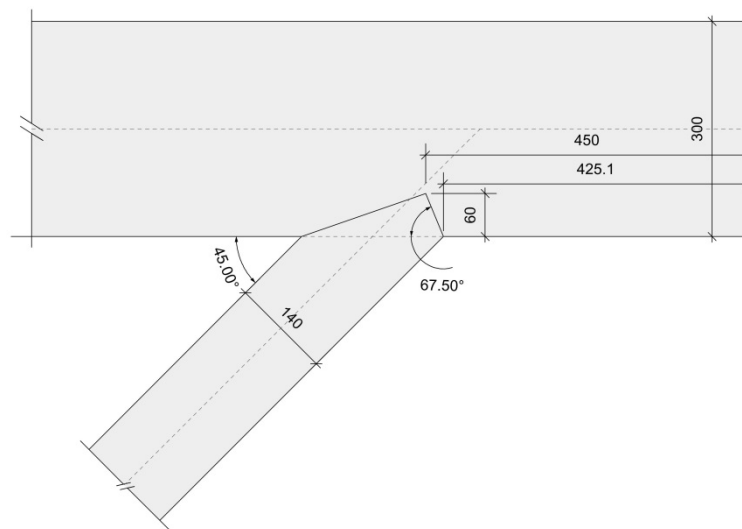
hauteur de la  
diagonale

$$d \geq \frac{F_{Ed}}{b * f_{c,\alpha,d}} = \frac{72'000}{140 * 3.71} = 139 \text{ mm}$$

(SIA 265  
formule 116)

$d = 140 \text{ mm} \geq 139 \text{ mm}$  hauteur de la diagonale OK

possibilité  
constructive pour  
l'assemblage à  
embrèvement  
simple



### 3.2 Assemblage par double embrèvement

angle

pour la formule 115 de la SIA 265  $\alpha = \frac{3}{4} * \beta = \frac{3}{4} * 45 = 33.75^\circ$

(SIA 265  
figure 40)

pour la formule 116 de la SIA 265  $\alpha = \beta = 45^\circ$

(SIA 265  
figure 40)

résistance réduite  
pour des  
connections  
inclinées

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{0.8 * f_{c,0,d} * f_{c,90,d}}{0.8 * f_{c,0,d} * \sin^2 \alpha + f_{c,90,d} * \cos^2 \alpha}$$

$$f_{c,22.5,d} = \frac{0.8 * 12 * 2.3}{0.8 * 12 * \sin^2 33.75^\circ + 2.3 * \cos^2 33.75^\circ} = 4.85 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

(SIA 265  
formule 113)

$$f_{c,45,d} = \frac{0.8 * 12 * 2.3}{0.8 * 12 * \sin^2 45^\circ + 2.3 * \cos^2 45^\circ} = 3.71 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

facteur de  
réduction pour le  
bois massif

$$k_{red} = 0.6$$

(SIA 265  
formule 114)

longueur  
nécessaire de  
l'avant bois

$$a \geq \frac{F_{Ed} * \cos\beta}{b * k_{red} * f_{v,d}} = \frac{72'000 * \cos 45^\circ}{140 * 0.6 * 1.5} = 404 \text{ mm}$$

(SIA 265  
formule 114)

choix :  $a = 450 \text{ mm}$

profondeur nécessaire de l'entaille  $t \geq \frac{F_{Ed} * \cos\beta}{b * f_{c,\alpha,d}} = \frac{72'000 * \cos 45^\circ}{140 * 4.85} = 75.0 \text{ mm}$  (SIA 265 formule 115)

choix des profondeurs des entailles 1 et 2  $t_1 = 30 \text{ mm}$   
 $t_2 = 50 \text{ mm}$

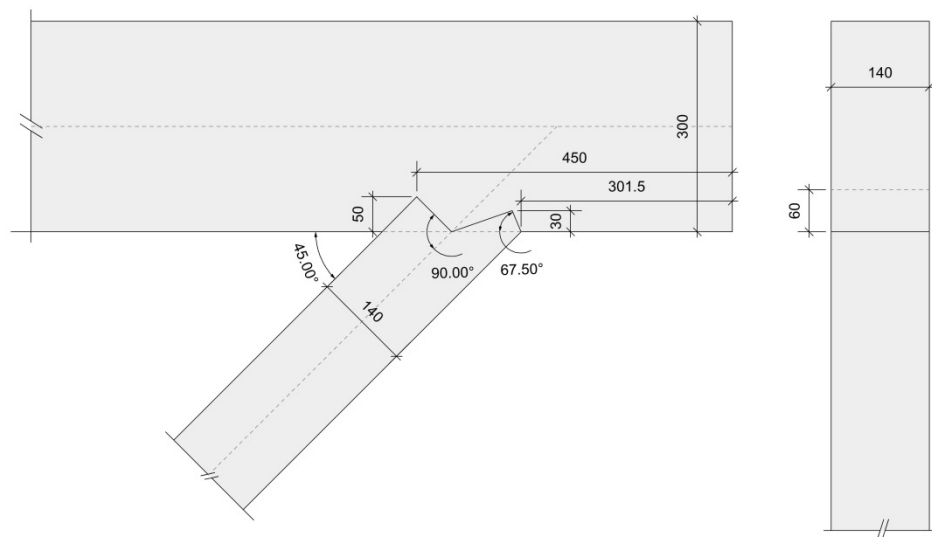
contrôle de ces choix : OK  $t = t_1 + t_2 \quad t \geq 75 \text{ mm} = 80 \text{ mm} = 30 + 50 = t_1 + t_2$  (SIA 265 figure 40)  
 $t_1 < t_2 - 10 \quad t_1 = 30 \text{ mm} < 50 - 10 = 45 \text{ mm} = t_2 - 10$

profondeurs maximales des entailles  $t_1 = 30 \text{ mm} \leq 50 \text{ mm} = \frac{300}{6} = \frac{h}{6}$  (SIA 265 Tab.38)  
 $t_2 = 50 \text{ mm} \leq 75 \text{ mm} = \frac{300}{4} = \frac{h}{4}$

hauteur de la diagonale  $d \geq \frac{F_{Ed}}{b * f_{c,\alpha,d}} = \frac{72'000}{140 * 3.71} = 139 \text{ mm}$  (SIA 265 formule 116)

$d = 140 \text{ mm} \geq 139 \text{ mm}$  hauteur de la diagonale OK

possibilité constructive pour l'assemblage à double embrèvement



commentaire

Avec un double embrèvement on peut transmettre le même effort avec des entailles moins profondes tout en diminuant la distance jusqu'au bord de la poutre de 425 à 300 mm. On peut ainsi économiser de la place, respectivement transmettre un effort dans une poutre plus petite et plus proche au bord de cette dernière en comparaison à un embrèvement simple.

## Bibliographie

- [1] Lignum, [éd.]. *Holzbautabellen - HBT1 Handbuch für die Bemessung*. 4. Auflage. 2012.
- [2] Architektenverein, Schweizerischer Ingenieur- und, [éd.]. *SIA 260 - Grundlagen der Projektierung von Tragwerken*. Zürich : s.n., 2003. SN505260.
- [3] —. *SIA 261 - Einwirkungen auf Tragwerke*. Zürich : s.n., 2003. SN505261.
- [4] —. *SIA 265 - Holzbau*. Zürich : s.n., 2012. SN505265.
- [5] Lignum, [éd.]. *Holzbautabellen - Beispielsammlung*. 2. Auflage. 2012.
- [6] Pierre-André Dupraz, Markus Mooser, Denis Pflug. *Dimensionnement des structures en bois - Aide au calcul basé sur la norme SIA 265*. deuxième édition. Lausanne : PPUR, 2013.