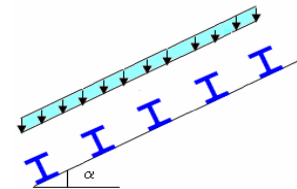


## CH.3 : Calcul des pannes

### 1- Introduction :

Les pannes sont des poutres destinées à transmettre les charges et surcharges s'appliquant sur la couverture à la traverse ou bien à la ferme. En outre, elles peuvent agir comme éléments comprimés en tant que partie du système de contreventement (voir CH.7) et participent à la stabilisation vis-à-vis du déversement de la traverse.

Dans les bâtiments industriels, on utilise soit des profilés en I ou [ laminés ainsi que des éléments formés à froid en Z, C, U, soit des treillis pour les portées supérieures à 6 m.



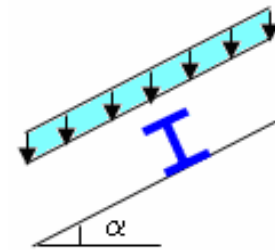
### 2- Détermination des sollicitations :

Compte tenu de la pente des versants, les pannes sont posées inclinées d'un angle ( $\alpha$ ) et de ce fait fonctionnent en flexion déviée.

#### 2.1- Evaluation des charges et surcharges :

##### a- charges permanentes (G) :

Des charges permanentes de couverture, de l'ordre de 25 daN/m<sup>2</sup> pour les solutions usuelles comportant un bac acier surmonté d'une isolation thermique, d'une étanchéité et de charges accrochées éventuelles.



##### b- surcharges d'entretien (P) :

Dans le cas de toitures inaccessibles on considère uniquement dans les calculs, une charge d'entretien qui est égale aux poids d'un ouvrier et son assistant et qui est équivalente à deux charges concentrées de 100 kg chacune situées à 1/3 et 2/3 de la portée de la panne.

##### Remarque :

D'après les Eurocodes EN 1991-1-1 et 1-3, pour les couvertures dont la pente est inférieure à 30° on prend des fois comme charge d'entretien une charge minimale de 0.6 kN/m<sup>2</sup> (60kg/m<sup>2</sup>) de la surface de la couverture.

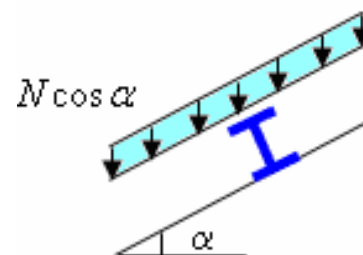
#### C- surcharge climatiques :

##### C.1- surcharge de neige (N) :

La surcharge de neige est fonction de l'implantation du site de construction (région, altitude) et de la forme de la toiture (inclinaison, possibilité d'accumulation).

Par projection horizontale :  $N$

Suivant rampant :  $N \cos \alpha$



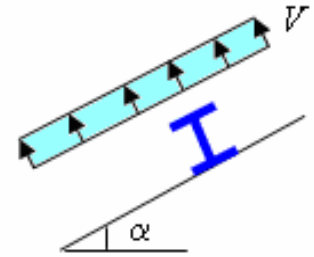
##### C.2- surcharge du vent (V) :

La charge du vent est également fonction de l'implantation du site de construction et de la forme de la construction ; le plus souvent, ces charges agissent en soulèvement, donc en sens inverse des précédentes.

Perpendiculaire au versant :  $V$

### 3- Principe de dimensionnement :

Les pannes sont dimensionnées par le calcul pour satisfaire aux vérifications suivantes :



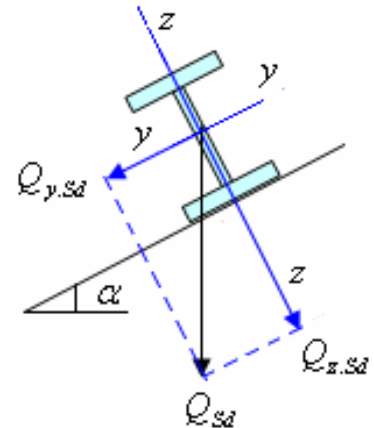
### 3.1. Vérification à l'état limite ultime

#### 3.1.1. Vérification à la flexion

Section de classes 1 et 2 :

$$\left( \frac{M_{y.Sd}}{M_{ply.Rd}} \right)^\alpha + \left( \frac{M_{z.Sd}}{M_{plz.Rd}} \right)^\beta \leq 1.0$$

où  $\alpha$  et  $\beta$  sont des constantes qui placent en sécurité si elles sont prises égales à l'unité, mais qui peuvent prendre les valeurs suivantes :



Pour les sections en **I** et **H** :  $\alpha = 2$  et  $\beta = 5n \geq 1$

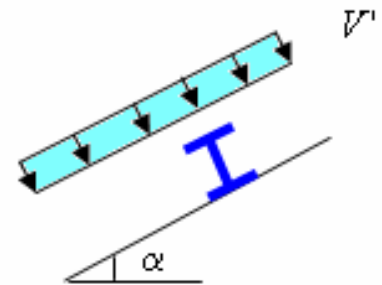
$n = N_{Sd} / N_{pl.Rd}$  ; Dans notre cas l'effort normal  $N = 0 \Rightarrow \beta = 1$

$$Q_{z.Sd} = Q_{Sd} \cdot \cos \alpha \quad \text{et} \quad Q_{y.Sd} = Q_{Sd} \cdot \sin \alpha$$

$$Q_{Sd} = \max(Q_{Sd1}, Q_{Sd2}, Q_{Sd3}, Q_{Sd4}, Q_{Sd5})$$

**Actions vers le bas :**  $G, P, V', N \downarrow$

1.  $Q_{Sd1} = 1.35G + 1.5P \downarrow$
2.  $Q_{Sd2} = 1.35G + 1.5V' \downarrow$
3.  $Q_{Sd3} = 1.35G + 1.5N \downarrow$
4.  $Q_{Sd4} = 1.35G + 1.35V' + 1.35N \downarrow$



**Actions vers le haut :**  $V \uparrow$

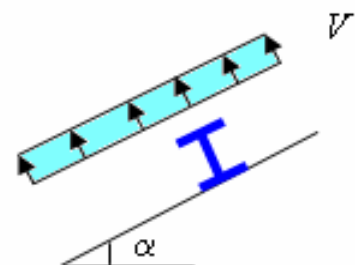
$$5. Q_{Sd5} = G - 1.5V \uparrow$$

**Remarque :** La surcharge d'entretien  $P$  ne se combine pas avec les surcharges climatiques.

#### 3.1.2- Vérification au cisaillement :

La vérification au cisaillement est donnée par les formules suivantes :

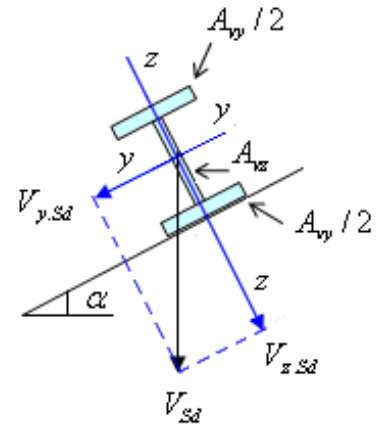
$$V_{z.Sd} \leq V_{plz.Rd} \quad ; \quad V_{y.Sd} \leq V_{ply.Rd}$$



$$M_{plz.Rd} = \frac{A_{vy} \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{ply.Rd} = \frac{A_{vy} \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

avec :  $V_{z.Sd} = V_{Sd} \cos \alpha$  et  $V_{y.Sd} = V_{Sd} \sin \alpha$



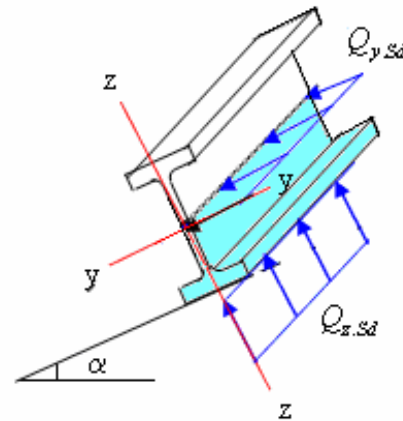
### 3.1.3- Vérification au déversement :

#### Flexion simple :

$$M_{y.Sd} \leq M_{b.Rd}$$

#### Flexion déviée :

$$\frac{M_{y.Sd}}{M_{b.Rd}} + \frac{M_{z.Sd}}{M_{plz.Rd}} \leq 1.0$$



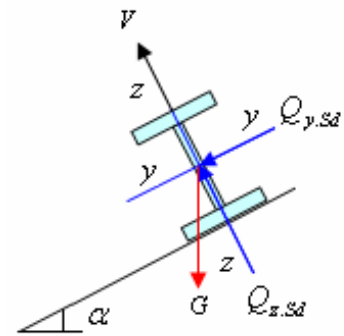
#### Calcul du moment ultime :

$$Q_{z.Sd} = G \cos \alpha - 1.5V \uparrow \quad (\text{soulèvement}) \quad ;$$

$$Q_{y.Sd} = 1.35G \sin \alpha \quad \leftarrow \quad M_{y.Sd} = \frac{Q_{z.Sd} l^2}{8} \quad ;$$

$$M_{z.Sd} = \frac{Q_{y.Sd} (l/2)^2}{8} \quad (\text{sur trois appuis})$$

$$M_{ply.Rd} = \frac{W_{pl.y} f_y}{\gamma_{M0}} \quad ; \quad M_{plz.Rd} = \frac{W_{pl.z} f_y}{\gamma_{M0}}$$



#### Remarque :

La composante  $Q_{y.Sd} = 1.35G \sin \alpha$  est généralement très faible et peut être négligée dans les calculs.

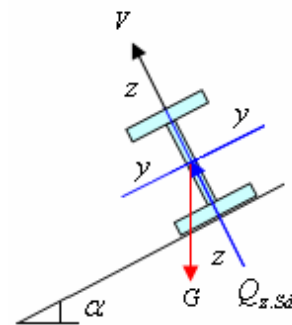
#### Calcul du moment résistant au déversement :

$$M_{b.Rd} = \chi_{LT} \cdot \beta_w \frac{W_{pl.y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \chi_{LT} \cdot M_{ply.Rd}$$

$\beta_w = 1.0$  pour les sections de classes 1 et 2.

### 3.2- Vérification à l'état limite de service :

La vérification à l'état limite de service se fait avec les charges et surcharges de services (non pondérées).



### 3.2.1- Vérification à la flèche :

$$f \leq f_{ad}$$

$$f_z = \frac{5}{384} \cdot \frac{Q'_{z.Sd} \cdot l^4}{E \cdot I_y} \quad \text{et} \quad f_{ad} = \frac{l}{200} \quad \text{poutre sur deux appuis}$$

$$f_y = \frac{2.05}{384} \cdot \frac{Q'_{y.Sd} \cdot (l/2)^4}{E \cdot I_z} \quad \text{et} \quad f_{ad} = \frac{l/2}{200} \quad \text{poutre sur trois appuis}$$

$$Q'_{z.Sd} = Q'_{Sd} \cdot \cos \alpha \quad \text{et} \quad Q'_{y.Sd} = Q'_{Sd} \cdot \sin \alpha$$

$$Q'_{Sd} = \max(Q_{Sd1}, Q_{Sd2}, Q_{Sd3}, Q_{Sd4})$$

#### Actions vers le bas :

1.  $Q_{Sd1} = G + P \downarrow$
2.  $Q_{Sd2} = G + V' \downarrow$
3.  $Q_{Sd3} = G + N \downarrow$
4.  $Q_{Sd4} = G + 0.9(V' + N) \downarrow$

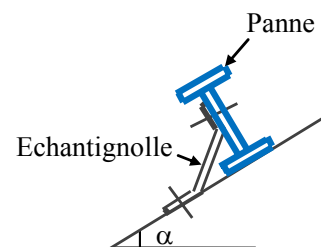
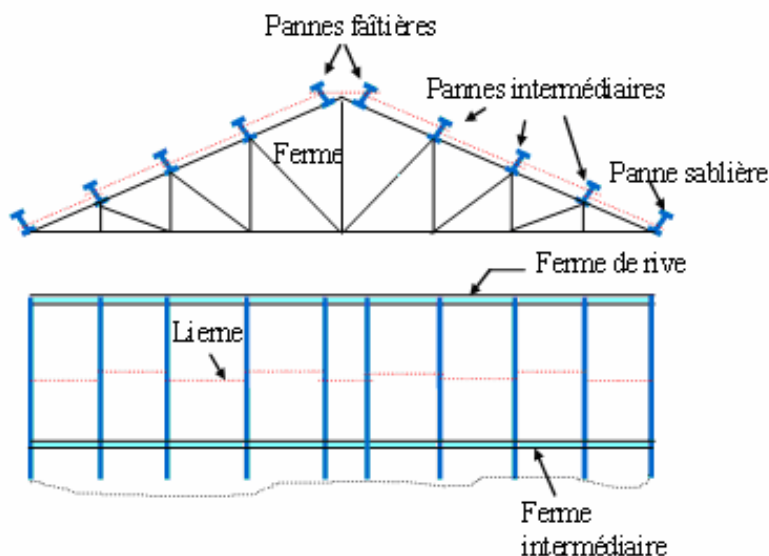
#### Actions vers le haut :

5.  $Q_{Sd5} = G - V \uparrow$

#### Remarque :

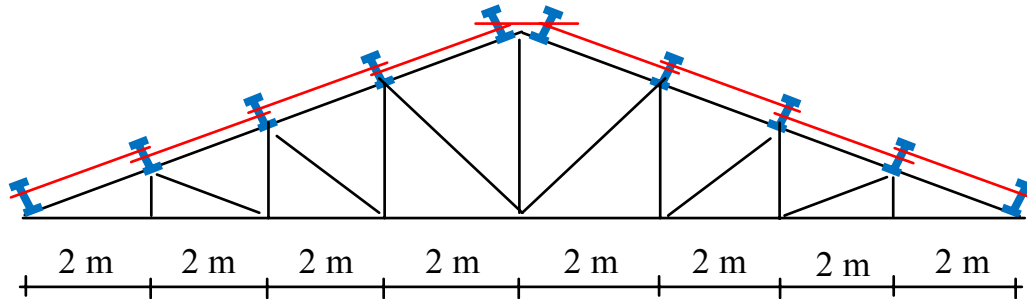
Compte tenu de la faible inertie transversale des pannes, et dès lors que la pente des versants ( $\alpha$ ) atteint 8 à 10%, l'effet de la charge  $Q_{y.Sd}$  (perpendiculaire à l'âme de la panne) devient préjudiciable et conduit à des sections de pannes importantes, donc onéreuses.

La solution consiste à réduire la portée transversale des pannes en les reliant entre elles par des liernes (tirants), situés à mi-portée. Ces liernes sont des tirants qui fonctionnent en traction.



#### 4- Exemple d'application :

Soit un portique (ferme) recevant 4 pannes par versant et une panne faîtière. L'écartement horizontal des pannes est de 2.0 m (entre axe 2.04 m). Les fermes sont espacées de 5 m, la pente du versant est de  $10.62^\circ \approx 11^\circ$  (voir figure ci-dessous).



Déterminer la section optimale de la panne intermédiaire afin de résister au chargement donné ci - dessous.

##### a- charges permanentes : G (par $m^2$ de la couverture)

Tôle est accessoires de pose : .....  $17 \text{ kg/m}^2 \downarrow$

Poids propre de la panne : (estimé).....  $12 \text{ kg/ml} \downarrow$

##### b- surcharges d'entretien : P

Deux charges concentrées de  $100 \text{ kg} \downarrow$  chacune situées à  $1/3$  et  $2/3$  de la portée.

##### c- surcharge climatique du vent : V (perpendiculaire au versant).

Les pannes intermédiaires se trouvent dans les zones H et I.

$V = -65.5 \text{ daN/m}^2 \uparrow$  (vers le haut) (voir tableau 9 du CH. 2)

##### d- surcharge climatique de neige : N (par projection horizontale).

$N = 68 \text{ daN/m}^2 \downarrow$  (voir CH. 3)

**Solution :**

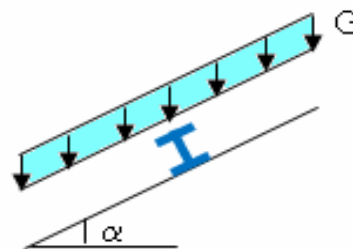
#### 1- Charges et surcharges par mètre linéaire revenant à la panne intermédiaire :

##### 1.1. charges permanentes G : (par $m^2$ de la couverture).

$$G = 17 \times 2.04 + 12 = 47 \text{ kg/ml} \downarrow$$

$$G = 47 \text{ daN/ml}$$

$$1 \text{ kgf} \approx 1 \text{ daN}$$

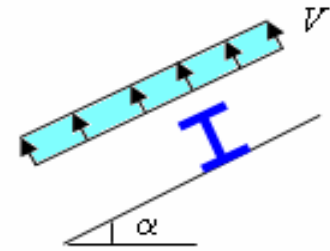


**1.2- surcharge climatique du vent V : (perpendiculaire au versant).**

$$V = -65.5 \times 2.04 = -133.62 \text{ daN / ml } \uparrow$$

**1.3- surcharge climatique de neige N : (par projection horizontale).**

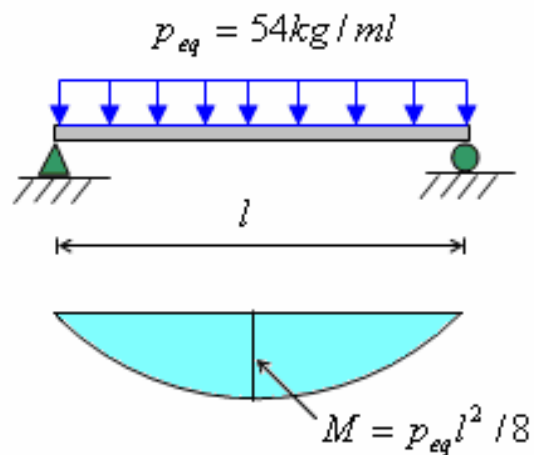
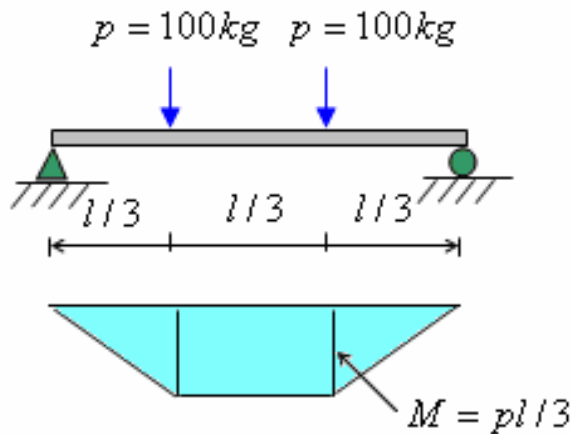
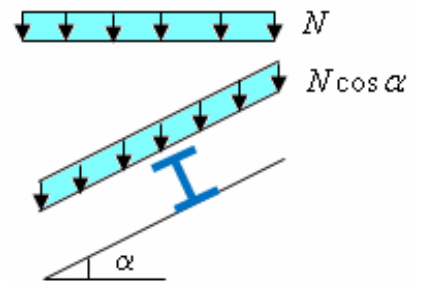
$$N = 68 \times 2.0 = 136 \text{ daN / ml } \downarrow$$



**1.4- Surcharges d'entretien : P**

La charge uniformément répartie  $p_{eq}$  due aux surcharges d'entretien est obtenue en égalisant les deux moments maximaux du à  $p_{eq}$  et aux charges ponctuelles  $p$ .

$$M_{\max} = pl/3 = p_{eq}l^2/8 ; \quad p_{eq} = \frac{8p}{3l} = \frac{8 \times 100}{3 \times 5} = 54 \text{ daN / ml}$$



**2- Combinaisons de charge les plus défavorables :**

**Actions vers le bas : ↓**

$$Q_{sd1} = 1.35G + 1.5P_{eq} = 1.35 \times 47 + 1.5 \times 54 = 144.5 \text{ daN / ml}$$

$$Q_{sd2} = 1.35G + 1.5N = 1.35 \times 47 + 1.5 \times 136 = 267.5 \text{ daN / ml}$$

**Actions vers le haut: ↑**

$$Q_{z.sd} = G \cos \alpha - 1.5V = 47 \cos 10.62 - 1.5 \times 133.62 = -154.23 \text{ daN / ml}$$

$$Q_{y.sd} = 1.35G \sin \alpha = 1.35 \times 47 \sin 10.62 = 11.7 \text{ daN / ml } \leftarrow$$

Les combinaisons les plus défavorables à retenir pour les calculs :

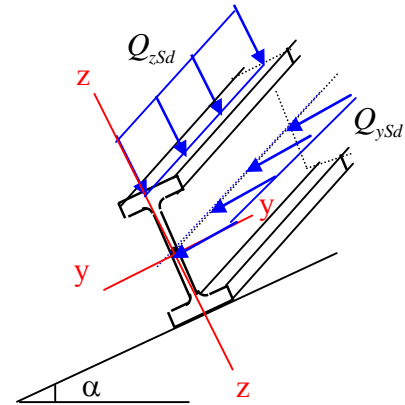
Flexion déviée:

$$Q_{Sd} = 267.5 \text{ daN / ml } \downarrow$$

$$Q_{z.Sd} = Q_{Sd} \cos \alpha = 263 \text{ daN / ml}$$

$$M_{y.Sd} = \frac{Q_{z.Sd} l^2}{8} = \frac{263 \times 5.0^2}{8} = 822 \text{ daNm}$$

$$Q_{y.Sd} = Q_{Sd} \sin \alpha = 49.3 \text{ daN / ml}$$



$$M_{z.Sd} = \frac{Q_{y.Sd} (l/2)^2}{8} = \frac{49.3 \times 2.5^2}{8} = 38.5 \text{ daNm}$$

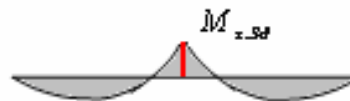
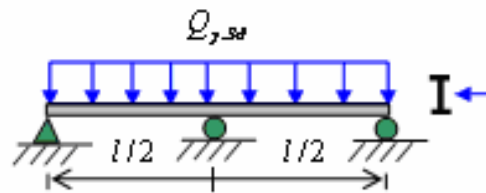
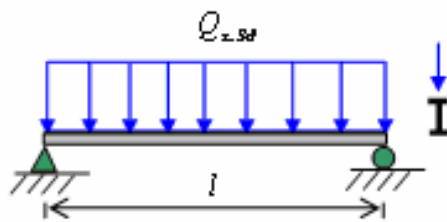
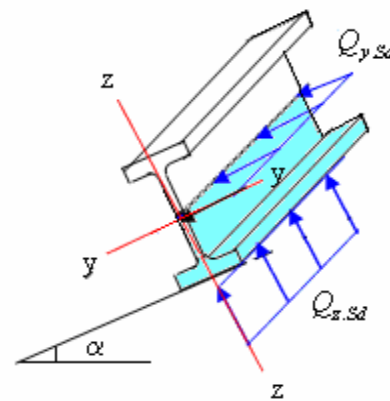
Déversement: flexion déviée

$$Q_{z.Sd} = -154.23 \text{ daN / ml } \uparrow$$

$$Q_{y.Sd} = 11.7 \text{ daN / ml } \leftarrow$$

$$M_{y.Sd} = \frac{Q_{z.Sd} l^2}{8} = \frac{154.23 \times 5.0^2}{8} = 482 \text{ daNm}$$

$$M_{z.Sd} = \frac{Q_{y.Sd} (l/2)^2}{8} = \frac{11.7 \times 2.5^2}{8} = 9.2 \text{ daNm}$$



$M_{y.Sd}$

$M_{z.Sd}$

Plan z-z

Plan y-y

**Remarque :**

D'après le nouveau règlement (DTR), les charges climatiques ne se combinent pas avec la surcharge d'entretien.

**3- Vérification à la sécurité :****3.1- Vérification à l'état limite ultime:****3.1.1- Vérification à la flexion :****Calcul en plasticité : (Sections de classe 1 et 2)**

$$\left( \frac{M_{y.Sd}}{M_{ply.Rd}} \right)^\alpha + \left( \frac{M_{z.Sd}}{M_{plz.Rd}} \right)^\beta \leq 1.0$$

où  $\alpha$  et  $\beta$  sont des constantes qui placent en sécurité si elles sont prises égales à l'unité, mais qui peuvent prendre les valeurs suivantes :

- sections en **I** et **H** :  $\alpha = 2$  et  $\beta = 5n \geq 1$   
avec :  $n = N_{Sd} / N_{pl.Rd} = 0 \rightarrow \beta = 1$

Par tâtonnement on choisit le profilé suivant **IPE 100**

**Classe de la section :**

Classe de la semelle : (semelle comprimée)

$$\frac{c}{t_f} = \frac{b/2}{t_f} \leq 10\varepsilon$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1.0$$

$$\frac{b/2}{t_f} = \frac{55/2}{5.7} = 4.82 < 10 \Rightarrow \text{semelle de classe 1.}$$

Classe de l'âme : (âme fléchie)

$$\frac{c}{t_w} = \frac{d}{t_w} \leq 72\varepsilon$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{88.6}{4.1} = 21.6 < 72 \Rightarrow \text{Ame de classe 1.}$$

**La section est de classe 1**

**Remarque :**

Les profilés laminés de calibres inférieurs ou égaux à l' **IPE 200**, sont généralement d'une section de classe 1.



Caractéristiques géométriques de l'IPE 100 :

$$W_{el.y} = 34.2cm^3 ; W_{el.z} = 5.78cm^3$$

$$W_{pl.y} = 39.4cm^3 ; W_{pl.z} = 9.1cm^3$$

$$M_{ply.Rd} = \frac{W_{pl.y} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{39.4 \times 2350 \times 10^{-2}}{1.1} = 841.73 daNm$$

$$M_{plz.Rd} = \frac{W_{pl.z} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{9.1 \times 2350 \times 10^{-2}}{1.1} = 194.4 daNm$$

**Remarque :**

Dans notre cas, l'effort normal ( $N_{sd} = 0$ )  $\Rightarrow \beta = 1$

$$\left( \frac{M_{y.Sd}}{M_{ply.Rd}} \right)^\alpha + \left( \frac{M_{z.Sd}}{M_{plz.Rd}} \right)^\beta = \left( \frac{822}{841.73} \right)^2 + \left( \frac{38.5}{194.4} \right)^1 = 1.15 > 1.0 \dots\dots\dots \text{non vérifiée.}$$

On augmente la section ; Soit IPE 120

$$W_{el.y} = 53cm^3 ; W_{el.z} = 8.64cm^3$$

$$W_{pl.y} = 60.7cm^3 ; W_{pl.z} = 13.6cm^3$$

$$M_{ply.Rd} = \frac{W_{pl.y} f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{60.7 \times 2350 \times 10^{-2}}{1.1} = 1296.8 daNm$$

$$M_{plz.Rd} = \frac{W_{pl.z} f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{13.6 \times 2350 \times 10^{-2}}{1.1} = 290.54 daNm$$

$$\left( \frac{M_{y.Sd}}{M_{ply.Rd}} \right)^\alpha + \left( \frac{M_{z.Sd}}{M_{plz.Rd}} \right)^\beta = \left( \frac{822}{1296.8} \right)^2 + \left( \frac{38.5}{290.54} \right)^1 = 0.53 < 1.0 \dots\dots\dots \text{vérifiée.}$$

$$V_{ply.Rd} = \frac{A_{vy} \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{8.6(2350 / \sqrt{3})}{1.1} = 10607 daN$$

$$V_{z.Sd} = \frac{Q_{z.Sd} l}{2} = \frac{263 \times 5.0}{2} = 657.5 daN < 0.5 M_{plz.Rd}$$

$$V_{y.Sd} = 0.625 Q_{y.Sd} \cdot (l / 2) = 0.625 \times 49.3 \times 2.5 = 77.1 daN < 0.5 M_{ply.Rd}$$

Il n'y a pas d'interaction du moment de résistance plastique vis-à-vis de l'effort tranchant.

$$V_{z.Sd} = 657.5 daN < V_{plz.Rd} = 7771 daN \dots\dots\dots \mathbf{O.K.}$$

$$V_{y.Sd} = 77.1 daN < V_{ply.Rd} = 10607 daN \dots\dots\dots \mathbf{O.K.}$$

$$f_y = 235 Mpa = 2350 daN / cm^2 \quad \text{limite d'élasticité du matériau (S235)}$$

La section en **IPE 120** est vérifiée à la résistance.

**Remarque :**

Dans le cas des sections symétriques en (I et H) L'effort tranchant  $V_z$  est repris par la section de l'âme ( $A_{vz}$ ), et l'effort tranchant  $V_y$  est repris par la section des deux semelles ( $A_{vy}$ ).

( $A_{vy}$  et  $A_{vz}$ ) sont tirées directement des nouveaux tableaux des profilés.

**3.2- Vérification de l'élément au déversement :**

**Déversement = Flambement latéral + Rotation de la section transversale.**

Semelle supérieure :

La semelle supérieure qui est comprimée sous l'action des charges verticales descendantes est susceptible de déverser. Vu qu'elle est fixée à la toiture il n'y a donc pas risque de déversement.

Semelle inférieure :

La semelle inférieure qui est comprimée sous l'action du vent de soulèvement est susceptible de déverser du moment quelle est libre tout au long de sa portée.

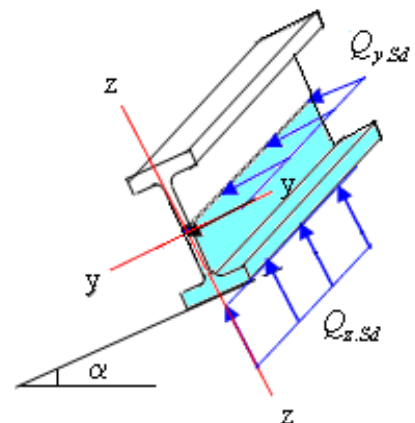
Vérification de la semelle inférieure comprimée au déversement :

Action vers le haut :

$$Q_{z.Sd} = -152.7 daN / ml \uparrow \quad ; \quad Q_{y.Sd} = 11.69 daN / ml \leftarrow$$

$$M_{y.Sd} = \frac{Q_{z.Sd} l^2}{8} = \frac{152.7 \times 5.0^2}{8} = 477.2 daNm$$

$$M_{z.Sd} = \frac{Q_{y.Sd} (l / 2)^2}{8} = \frac{11.69 \times 2.5^2}{8} = 9.13 daNm$$



$$M_{ply.Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{60.7 \times 2350 \times 10^{-2}}{1.1} = 1296.8 daNm$$

$$M_{plz.Rd} = \frac{W_{pl,z} f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{13.6 \times 2350 \times 10^{-2}}{1.1} = 290.54 daNm$$

$\gamma_{M1} = 1.1$  coefficient partiel de sécurité du matériau vis-à-vis du déversement.

**La formule de vérification au déversement est la suivante :**

$$\frac{M_{y.Sd}}{M_{b.Rd}} + \frac{M_{z.Sd}}{M_{plz.Rd}} \leq 1.0$$

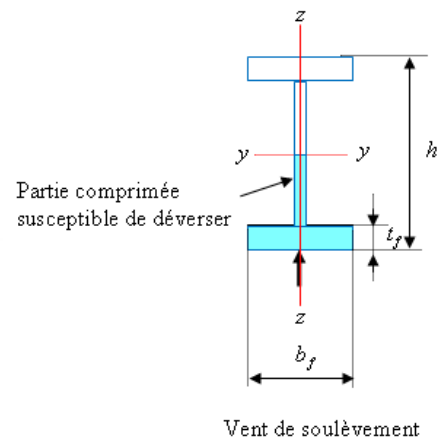
**Calcul du moment résistant au déversement :  $M_{b.Rd}$**

$$M_{b.Rd} = \chi_{LT} \cdot \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$W_y$  est le module de résistance approprié.

$W_y = W_{ply}$  section de classe 1 et 2.

$$M_{b.Rd} = \chi_{LT} \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \chi_{LT} \cdot M_{ply.Rd}$$



**Calcul du coefficient de réduction pour le déversement :  $\chi_{LT}$**

**Méthode graphique : (par les courbes de flambements)**

$\chi_{LT}$  est déterminé dans les tableaux de  $\chi$  en fonction l'élancement réduit  $\bar{\lambda}_{LT}$  est de la courbe de flambement appropriée.

**Calcul de l'élancement réduit  $\bar{\lambda}_{LT}$  :**

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

**Où :**

$M_{cr}$  est le moment critique de déversement élastique.

**Calcul du moment critique du déversement élastique  $M_{cr}$  :**

Afin de simplifier les calculs, on suppose que la charge est appliquée au centre de gravité de la section.

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{L^2} \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 GI_t}{\pi^2 EI_z}}$$

**IPE 120 :**

$I_t = 1.74 \text{ cm}^4$  moment d'inertie de torsion

$I_w = 0.89 \times 10^3 \text{ cm}^6$  facteur de gauchissement

$I_z = 27.65 \text{ cm}^4$  moment d'inertie autour de l'axe z.

$L = 5.0 \text{ m}$  longueur de flambement latérale  $l_z$

$C_1$  : facteur sans dimension qui dépend de la nature du diagramme des moments.

$C_1 = 1.132$  charge uniformément répartie

$$M_{cr} = 1.132 \times \frac{\pi^2 \times 2.1 \times 10^4 \times 27.65}{500^2} \left[ \frac{890}{27.65} + \frac{500^2 \times 8 \times 10^3 \times 1.74}{\pi^2 \times 2.1 \times 10^4 \times 27.65} \right]^{0.5}$$

$$M_{cr} = 1.132 \times \frac{5730785.795}{500^2} \left[ 32.18 + \frac{348 \times 10^7}{5730785.795} \right]^{0.5} = 656.17 \text{ kN.cm} = 6.56 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{60.7 \times 23.5}{656.17}} = 1.47$$

**Pour les sections en I et H on peut utiliser la formule suivante :**

$$\bar{\lambda}_{LT} = \left[ \frac{\lambda_{LT}}{\lambda_1} \right] \cdot [\beta_w]^{0.5} \quad \text{avec} \quad \beta_w = 1.0 \quad \text{section de classe 1 et 2.}$$

$$\text{avec : } \lambda_1 = 93.9\varepsilon \quad \text{et} \quad \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\lambda_{LT} = \frac{L/i_z}{C_1^{0.5} \left[ 1 + \frac{1}{20} \left( \frac{L/i_z}{h/t_f} \right)^2 \right]^{0.25}}$$

**IPE 120 :**  $i_z = 1.45 \text{ cm}$  ;  $h = 12 \text{ cm}$  ;  $t_f = 0.63 \text{ cm}$

$$\lambda_{LT} = \frac{500/1.45}{1.132^{0.5} \left[ 1 + \frac{1}{20} \left( \frac{500/1.45}{12/0.63} \right)^2 \right]^{0.25}} = 158.7 \quad ; \quad \bar{\lambda}_{LT} = \left[ \frac{\lambda_{LT}}{\lambda_1} \right] \cdot [\beta_w]^{0.5} = \frac{158.7}{93.9} = 1.69$$

Section laminée  $h/b = 12/6.4 = 1.875 < 2$  courbe de flambement a. ( $\alpha_{LT} = 0.21$ )

$$\phi_{LT} = 0.5 \left[ 1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0.5 \left[ 1 + 0.21(1.47 - 0.2) + 1.47^2 \right] = 1.713$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \left[ \phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]^{0.5}} = \frac{1}{1.713 + \left[ 1.713^2 - 1.47^2 \right]^{0.5}} = 0.3857$$

**Calcul du coefficient de réduction pour le déversement  $\chi_{LT}$  :**

Pour :  $\bar{\lambda}_{LT} = 1.47$  et pour la courbe de flambement a :

On lit dans le tableau de  $\chi$  (voir annexe) la valeur de :  $\chi_{LT} = 0.3854$

$$M_{b.Rd} = \chi_{LT} \cdot M_{ply.Rd} = 0.3857 \times 1296.8 = 500.2 daNm$$

$$\frac{M_{y.Sd}}{M_{b.Rd}} + \frac{M_{z.Sd}}{M_{plz.Rd}} = \frac{482}{730} + \frac{6.76}{290.54} = 0.68 \leq 1.0 \dots\dots\dots \text{Vérfiée}$$

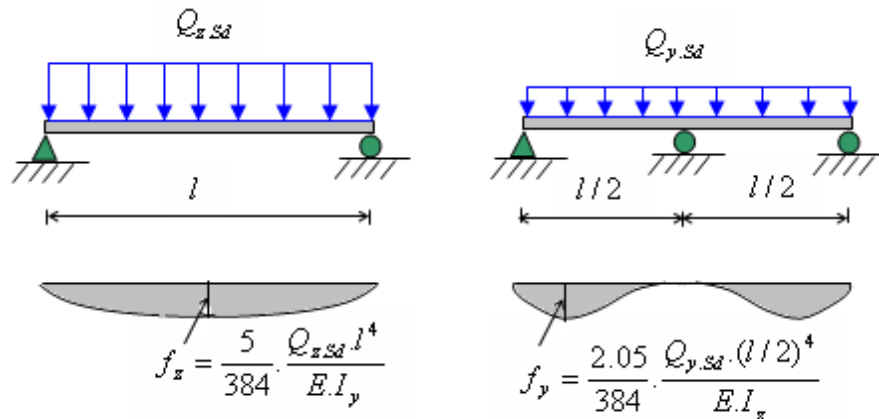
Le profilé choisi **IPE 120** est vérifié au déversement.

**Conclusion :**

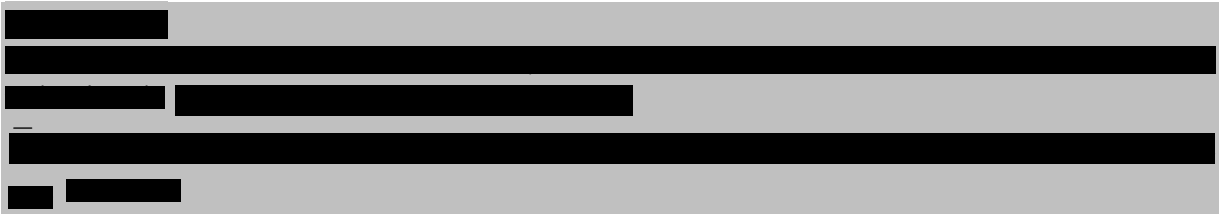
Le profilé IPE 120 est vérifié à l'état limite ultime.

**4- Vérification à la flèche :**

Le calcul de la flèche se fait par la combinaison de charges et surcharges de services (non pondérées).



[Redacted text]



### 3.2- Vérification à l'état limite de service :

#### 3.2.1- Vérification à la flèche :

Le calcul de la flèche se fait par la combinaison de charges et surcharges de services (non pondérées).

#### Actions vers le bas :

$$Q_{sd1} = G + N = 47 + 136 = 183 \text{ daN / ml } \downarrow$$

$$Q_{sd1} = G + P = 47 + 54 = 101 \text{ daN / ml } \downarrow$$

#### Actions vers le haut :

$$Q_{sd2} = G \cos \alpha - V = 47 - 133.62 = -87.42 \text{ daN / ml } \uparrow$$

$$Q_{sd} = \text{Max}(Q_{sd1}, Q_{sd2}) = 183 \text{ daN / ml}$$

$$Q_{z.sd} = Q_{sd} \cdot \cos \alpha = 179.8 \text{ daN / ml}$$

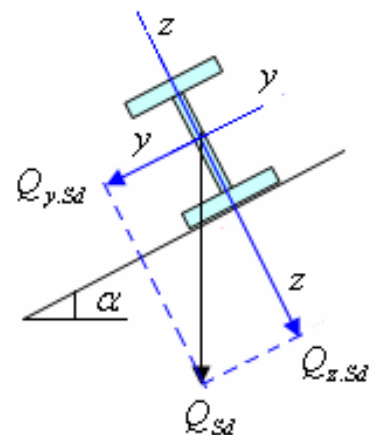
$$Q_{y.sd} = Q_{sd} \cdot \sin \alpha = 33.7 \text{ daN / ml}$$

#### Condition de vérification :

$$f \leq f_{ad}$$

$$\text{avec : } f_{ad} = \frac{l}{200}$$

- Flèche verticale (suivant  $zz'$ ): sur deux appuis



$$f_{ad} = \frac{l}{200} = \frac{500}{200} = 2.5cm$$

$$f_z = \frac{5}{384} \cdot \frac{Q_{z.Sd} \cdot l^4}{E \cdot I_y}$$

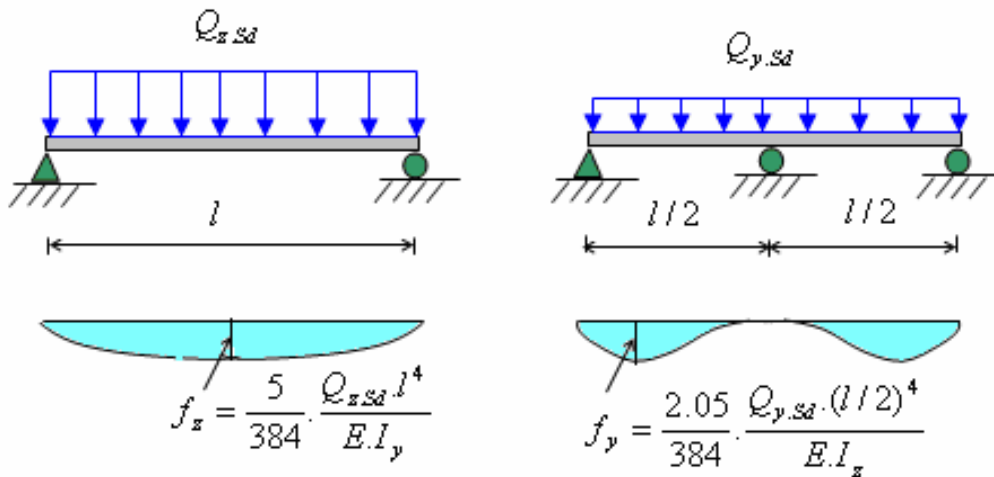
$$f_z = \frac{5}{384} \cdot \frac{179.8 \times 10^{-2} \cdot (500)^4}{2.1 \times 10^6 \times 317.8} = 2.19cm < f_{ad} \dots\dots\dots \text{OK.}$$

- Flèche latérale (suivant yy'): sur trois appuis

$$f_{ad} = \frac{l/2}{200} = \frac{250}{200} = 1.25cm$$

$$f_y = \frac{2.05}{384} \cdot \frac{Q_{y.Sd} \cdot (l/2)^4}{E \cdot I_z}$$

$$f_y = \frac{2.05}{384} \cdot \frac{33.7 \times 10^{-2} \cdot (250)^4}{2.1 \times 10^6 \times 27.65} \approx 0.12cm < f_{ad} \dots\dots\dots \text{OK.}$$



**Conclusion :**

Le profilé choisi **IPE 120** convient pour les pannes.