

## **Calcul des contreventements**

### **1- Introduction :**

Les contreventements sont des pièces qui ont pour objet d'assurer la stabilité de l'ossature en s'opposant à l'action de forces horizontales : vent, freinage des ponts roulants, effets de séismes, chocs etc. Ils sont généralement conçus pour garantir le cheminement des charges horizontales jusqu'au fondations.

Ils sont disposés en toiture, dans le plan des versants (« poutres au vent »), et en façade (« palées de stabilité »), et doivent reprendre les efforts horizontaux appliqués tant sur les pignons que sur les long pans.

### **2- Les différents types de contreventements :**

#### **2.1- Contreventements de toiture : (poutre au vent)**

Les contreventements sont disposés généralement suivant les versants de la toiture comme la montre la figure ci-dessous. Ils sont placés le plus souvent dans les travées de rive. Leurs diagonales sont généralement des cornières doubles qui sont fixées sur la traverse (ou ferme). Leur rôle principal est de transmettre les efforts du vent du pignon aux fondations.

#### **Remarque :**

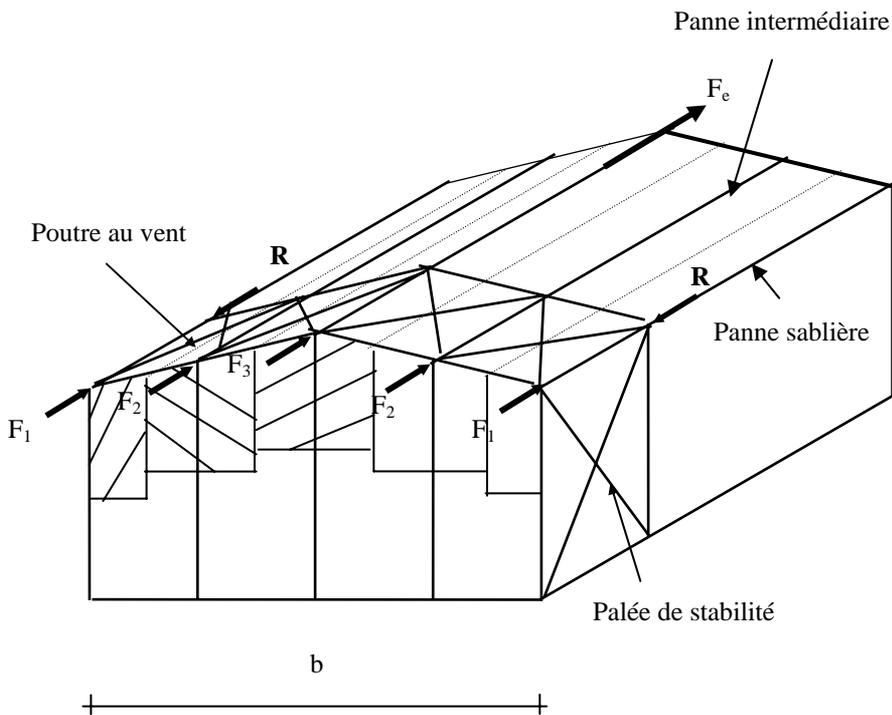
Dans les bâtiments de grande longueur, comportant des joints de dilatation, il est bon de prévoir au moins une travée de contreventement entre deux joints de dilatation.

#### **2.2- Contreventement de façades: (palée de stabilité)**

La palée de stabilité est un contreventement de façade destiné à reprendre les efforts provenant de la poutre au vent et les descendre au fondations.

### 2.3- Effort du vent sur les pignons :

La transmission des efforts sur le pignon passe successivement du bardage aux lisses, puis aux potelets, puis à la traverse (ferme) du portique de rive. Ce dernier n'étant pas rigide transversalement, il est nécessaire de le stabiliser en construisant un dispositif, tant dans le plan de la toiture (poutre au vent) que dans le plan vertical (palée de stabilité).



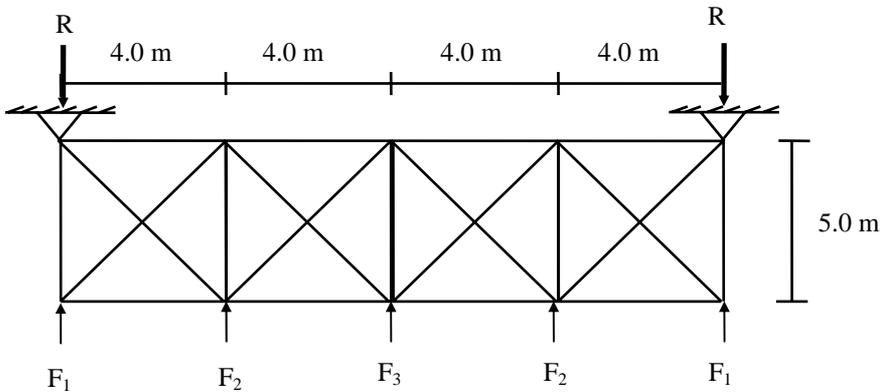
### 3- Calcul de la poutre au vent en pignon :

Elle sera calculée comme une poutre à treillis reposant sur deux appuis et soumise aux réactions horizontales supérieures des potelets auxquelles on adjoint l'effort d'entraînement.

**Remarques :**

1. Les diagonales comprimées ne sont pas prises en compte lors de la détermination des efforts dans les barres du moment qu'ils flambent au moindre effort.
2. Le problème est ramené à un calcul isostatique et pour déterminer ces efforts, on utilise la méthode des sections.

**3.1- Evaluation des efforts horizontaux :**



Poutre au vent

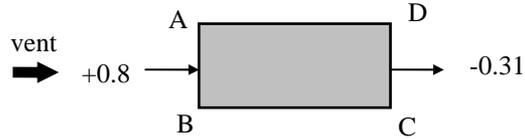
$$F_1 = \left( V_e \times \frac{h_1}{2} \times \frac{b}{8} \right) + \frac{F_e}{8}$$

$$F_2 = \left( V_e \times \frac{h_2}{2} \times \frac{b}{4} \right) + \frac{F_e}{4}$$

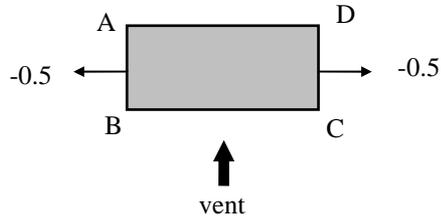
$$F_3 = \left( V_e \times \frac{h_3}{2} \times \frac{b}{4} \right) + \frac{F_e}{4}$$

$$V_n = q_h \cdot k_s \cdot k \cdot \delta \cdot C_r$$

D'après l'étude au vent, la valeur de  $C_e$  est donnée dans le tableau suivant (voir CHI):



| $\theta$   | $C_e$ |       |
|------------|-------|-------|
|            | AB    | CD    |
| $0^\circ$  | +0.8  | -0.31 |
| $90^\circ$ | -0.5  | -0.5  |



$$C_r = \sum C_e = C_{AB} + C_{CD} = 0.8 + 0.31 = +1.11$$

$$q_h = q_{10} = 40.0 \text{ kg/m}^2$$

Surface du pignon est de :  $16 \times 7.5$

La plus grande dimension offerte au vent afférente au pignon est de 16 m  $\Rightarrow \delta = 0.81$  (ANNEXE III)

$$V_n = 40.0 \times 1.0 \times 1.0 \times 0.81 \times 1.11 = 36.0 \text{ kg/m}^2$$

$V_e = 1.75 V_n = 1.75 \times 36.0 = 63.0 \text{ kg/m}^2$  La force d'entraînement au niveau de la toiture (voir CH.I) est trouvée égale à :  $F_e = 370 \text{ kg}$

### 3.1.1- Evaluation des efforts horizontaux en tête des potelets:

$$F_1 = \left( 63.0 \times \frac{6}{2} \times \frac{16}{8} \right) + \frac{370}{8} = 424.30 \text{ kg}$$

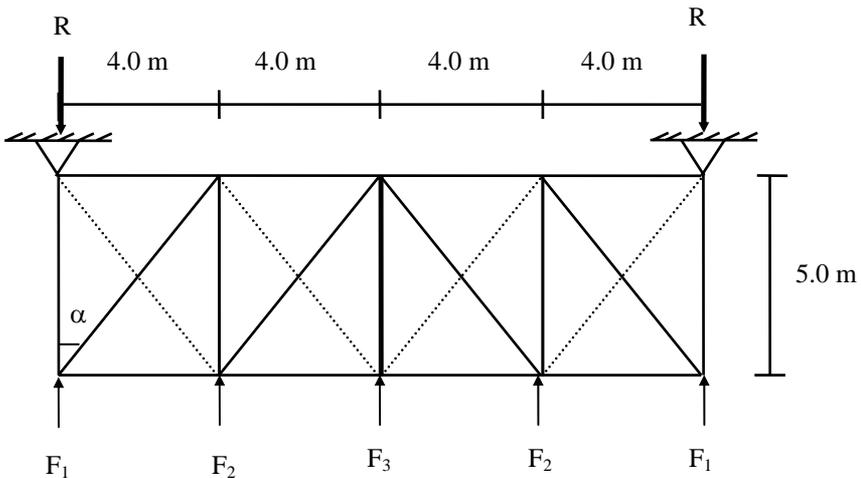
$$F_2 = \left( 63.0 \times \frac{6.75}{2} \times \frac{16}{4} \right) + \frac{370}{4} = 943 \text{ kg}$$

$$F_3 = \left( 63.0 \times \frac{7.5}{2} \times \frac{16}{4} \right) + \frac{370}{4} = 1037.5 \text{ kg}$$

### 3.2- Effort de traction dans les diagonales :

On ne fait travailler que les diagonales tendues et on considère que les diagonales comprimées ne reprennent aucun effort, car du fait de leur grand élancement, elles tendent à flamber sous de faibles efforts. Suivant le sens du vent (paroi AB ou paroi CD), c'est l'une ou l'autre des diagonales qui est tendue.

Le contreventement de versant est une poutre à treillis supposée horizontale.



Poutre au vent

Par la méthode des coupures, on établit que l'effort  $F_d$  dans les diagonales d'extrémité (les plus sollicitées) est donné comme suit :

$$F_d \cdot \cos\alpha + F_1 = R$$

$$\text{avec : } R = \frac{2F_1 + 2F_2 + F_3}{2} = \frac{2 \times 424.3 + 2 \times 943 + 1037.5}{2} = 3772.1 \text{ kg}$$

$$\tan\alpha = \frac{4}{5} \Rightarrow \alpha = \arctg \frac{4}{5} = 38.7^\circ$$

$$\text{d'où : } F_d = \frac{R - F_1}{\cos\alpha} = \frac{3772.1 - 424.3}{\cos 38.7^\circ} = 4290 \text{ kg}$$

### 3.3- Section de la diagonale :

$$A = \frac{F_d}{\sigma_e} = \frac{4290}{2400} = 1.79 \text{ cm}^2$$

Soit L40×40×4 (A=3.06 cm<sup>2</sup>)

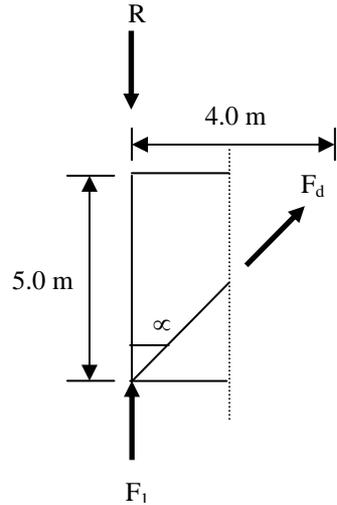
Une cornière isolée de 40×40×4 avec boulon de 12 mm et trous de 13 mm convient :

$$\text{Section nette : } A_n = 3.06 - 0.4 \times 1.3 = 2.54$$

$$\sigma = \frac{F_d}{A_n} = \frac{4290}{2.54} = 1834 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_e$$

### 4- Vérification des pannes (montants de la poutre au vent) à la résistance:

Les montants de la poutre au vent sont des pannes qui travaillent à la flexion déviée sous l'action de charges verticales , et en outre à



la compression sous (F), on doit donc vérifier la panne à la flexion déviée composée. La formule de vérification est la suivante :

$$\frac{9}{8}(k\sigma + k_d\sigma_{fx} + \sigma_{fy}) \leq \sigma_e$$

#### 4.1- Vérification de la panne intermédiaire :

$$F_2 = 943 \text{ kg}$$

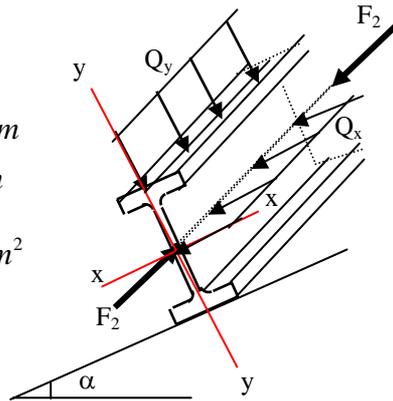
$$Q_y = 269 \text{ kg/ml}, \quad M_x = 841 \text{ kgm}$$

$$Q_x = 52.3 \text{ kg/ml}, \quad M_y = 41 \text{ kgm}$$

$$\sigma_{fx} = \frac{M_x}{W_x} = \frac{841 \times 10^2}{53} = 1587 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{fy} = \frac{M_y}{W_y} = \frac{41 \times 10^2}{8.65} = 474 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma = \frac{F_2}{A} = \frac{943}{13.20} = 71.5 \text{ kg/cm}^2$$



Les élancements :  $\lambda_x = \frac{l_x}{i_x} = \frac{500}{4.90} = 102.5$

$$\lambda_y = \frac{l_y}{i_y} = \frac{250}{1.45} = 172.5$$

$\lambda_{\max} = \lambda_y = 172.5 \rightarrow k = 4.755$  (tableau) Le plan de flambement est le plan x-x.

#### Remarque :

Le coefficient de déversement  $k_d$  est pris égale à l'unité dans ce cas du moment que la semelle supérieure de la panne est solidaire avec la couverture tout au long de sa portée.

soit :

$$\frac{9}{8}(k\sigma + k_d \cdot \sigma_{fx} + \sigma_{fy}) = \frac{9}{8}((4.755 \times 71.5) + (1.0 \times 1587) + 474)$$

$$= 2701 \text{ kg/cm}^2 > \sigma_e \dots \dots \dots \text{non. vérifiée}$$

On augmente la section du profilé :

**Soit IPE 140**

$$W_x = 77.3 \text{ cm}^3 \quad ; \quad W_y = 12.3 \text{ cm}^3$$

$$I_x = 541 \text{ cm}^4 \quad ; \quad I_y = 44.9 \text{ cm}^4$$

$$i_x = 5.74 \text{ cm} \quad ; \quad i_y = 1.85 \text{ cm}$$

$$A = 16.4 \text{ cm} \quad ; \quad p = 12.9 \text{ kg/ml}$$

La combinaison la plus défavorable (voir calcul des pannes) est la combinaison N°. 5.

$$Q_{\max} = G + N_e$$

$$\text{Avec : } G = 17 \times 2.04 + 12.9 = 47.6 \text{ kg/ml}$$

$$Q_{\max} = G + N_e = 47.6 + 227 = 274.6 \text{ kg/ml}$$

$$Q_y = Q \cos \alpha = 269.6 \text{ kg/ml}$$

$$M_x = Q_y \cdot i_x^2 / 8 = (269.6 \times 5.0^2) / 8 = 842.5 \text{ kgm}$$

$$Q_x = Q \sin \alpha = 52.4 \text{ kg/ml} \quad ,$$

$$M_y = Q_x \cdot i_y^2 / 8 = (52.4 \times 2.5^2) / 8 = 41 \text{ kgm}$$

$$\sigma_{fx} = \frac{M_x}{W_x} = \frac{842.5 \times 10^2}{77.3} = 1090 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{fy} = \frac{M_y}{W_y} = \frac{41 \times 10^2}{12.3} = 333.4 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma = \frac{F_2}{A} = \frac{943}{16.4} = 57.5 \text{ kg/cm}^2$$

Les élancements :

$$\lambda_x = \frac{l_x}{i_x} = \frac{500}{5.74} = 87 \quad ; \quad \lambda_y = \frac{l_y}{i_y} = \frac{250}{1.85} = 136$$

$\lambda_{\max} = \lambda_y = 136 \rightarrow k = 3.091(\text{tableau})$  Le plan de flambement est le plan x-x.

Soit :

$$\frac{9}{8}(k\sigma + k_d \cdot \sigma_{fx} + \sigma_{fy}) = \frac{9}{8}((3.091 \times 57.5) + (1.0 \times 1090) + 333.4)$$

$$= 1801.3 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_e$$

#### 4.2- Vérification de la panne sablière :

Les pannes sablières qui sont des pannes de rives travaillent simultanément à la flexion déviée sous l'action des charges verticales provenant de la toiture et à la compression sous l'action de l'effort normal égale à la réaction de la poutre au vent.

**Efforts revenants à la panne sablière :**

- **Compression :**

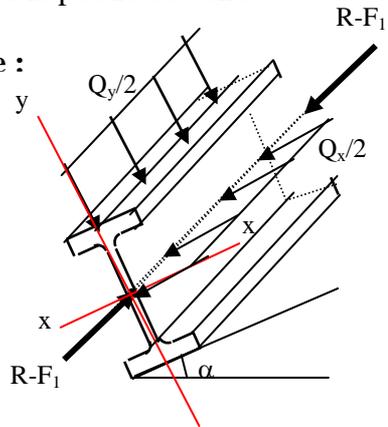
$$N = R - F_1 = 3772.1 - 424.3 = 3348 \text{ kg}$$

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{3348}{13.20} = 254 \text{ kg/cm}^2$$

- **Flexion déviée :**

$$Q_y = 269/2 = 134.5 \text{ kg/ml} \quad , \quad M_x = 842/2 = 421 \text{ kgm}$$

$$Q_x = 52.3/2 = 26.2 \text{ kg/ml} \quad , \quad M_y = 41/2 = 20.5 \text{ kgm}$$



$$\sigma_{fx} = \frac{M_x}{W_x} = \frac{842/2 \times 10^2}{53} = 793.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{fy} = \frac{M_y}{W_y} = \frac{41/2 \times 10^2}{8.65} = 237 \text{ kg/cm}^2$$

Les élancements :

$$\lambda_x = \frac{l_x}{i_x} = \frac{500}{4.90} = 102.5 \quad ; \quad \lambda_y = \frac{l_y}{i_y} = \frac{250}{1.45} = 172.5$$

$\lambda_{\max} = \lambda_y = 172.5 \rightarrow k = 4.755(\text{tableau})$  Le plan de flambement est le plan x-x.

soit :

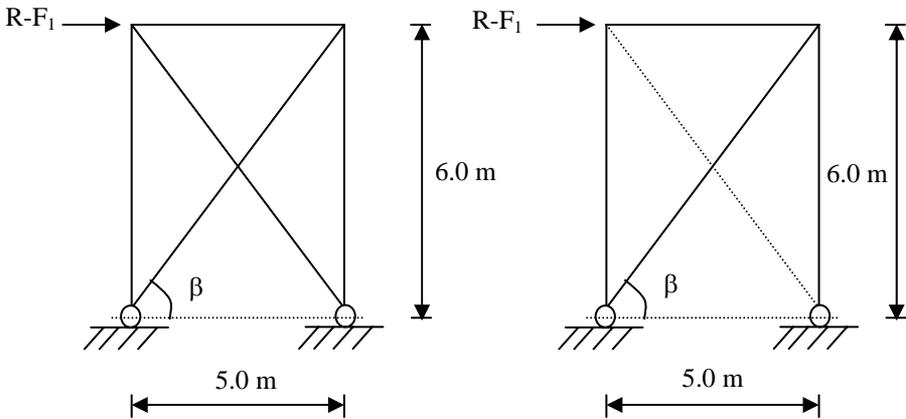
$$\begin{aligned} \frac{9}{8}(k\sigma + k_d \cdot \sigma_{fx} + \sigma_{fy}) &= \frac{9}{8}((4.755 \times 254) + (1.0 \times 793.5) + 237) \\ &= 2238.3 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_e \end{aligned}$$

**Conclusion :**

1. Le profilé **IPE120** convient pour la panne sablière et pour les pannes courantes.
2. Le profilé **IPE140** convient pour les pannes intermédiaires servant de montants pour les barres de contreventements.

### **5- Calcul de la palée de stabilité en long pan :**

Les palées de stabilité doivent reprendre les efforts de vent sur pignons transmis par le contreventement des versants (poutre au vent). On ne fait travailler que les diagonales tendues, comme dans le cas de la poutre au vent.



Palée de stabilité en long pan

**Par la méthode des coupures :**

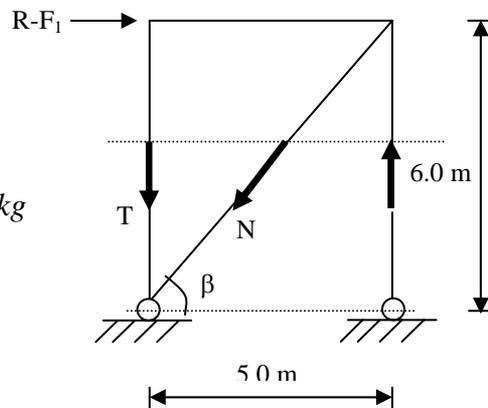
- **Effort de traction dans la diagonale tendue :**

$$N \cos \beta = R - F_1$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{6}{5} = 1.2$$

$$\beta = \operatorname{arctg} 1.2 = 50.2^\circ$$

$$N = \frac{R - F_1}{\cos \beta} = \frac{3348}{\cos 50.2} = 5230 \text{ kg}$$



- **Section de la diagonale :**

$$A \geq \frac{N}{\sigma_e} = \frac{5230}{2400} = 2.18 \text{ cm}^2$$

Soit L40×40×4 (A = 3.06 cm<sup>2</sup>)

Une cornière isolée de 40×40×4 avec boulon de 12 mm et trous de 13 mm convient :

$$\text{Section nette : } A_n = 3.06 - 0.4 \times 1.3 = 2.54 \text{ cm}^2$$

$$\sigma = \frac{N}{A_n} = \frac{5230}{2.54} = 2060 \text{ kg / cm}^2 < \sigma_e$$

**Remarque :**

La force de 3348 kg agissant en tête de palée de stabilité va créer dans les poteaux de la palée des traction et compression pour assurer l'équilibre de la palée, ayant pour valeur:

$$T = 3348 \times \frac{6}{5} = 4018 \text{ kg}$$