

### IV- 1 Principe de calcul

Le calcul de la structure comporte une étude élémentaire qui concerne les éléments individuels (lisse, panne, potelet....etc.) et globale qui concerne le système constructif .pour le calcul de chacun des éléments constituant notre salle, on procédera de la façon suivante:

-Evaluation des charges appliquées sur les éléments puis la recherche de la combinaison la plus défavorable en appliquant le règlement en vigueur EUROCODE 3.

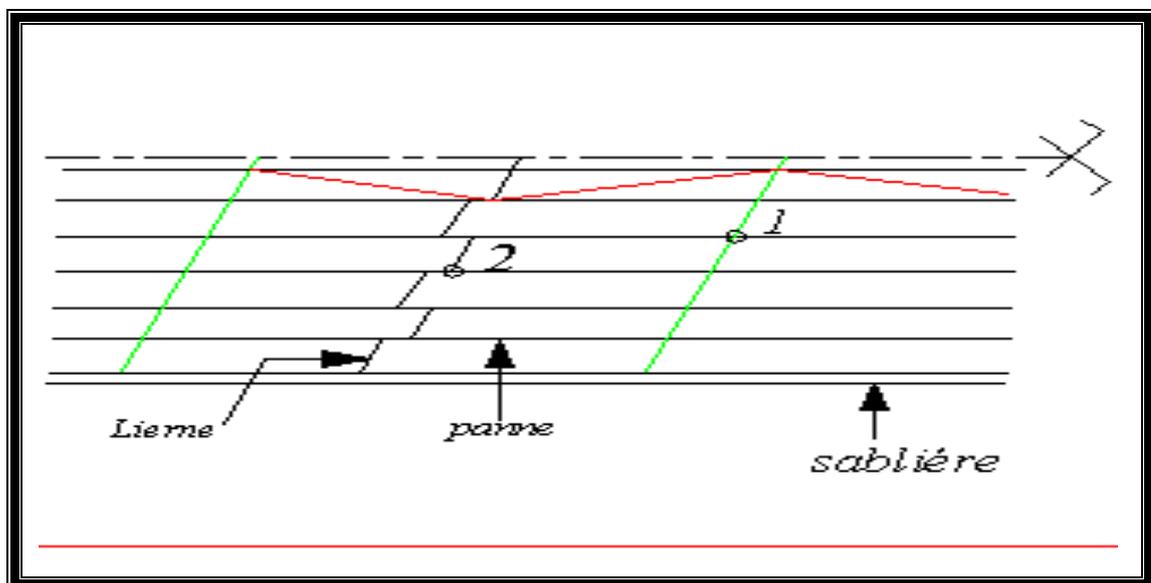
-pré dimensionnement des éléments suivant la condition de rigidité ou l'élançement générale.

-vérification de la résistance, la stabilité et de la rigidité en se basant sur les formules de la résistance matériau (RDM) et les différentes règles.

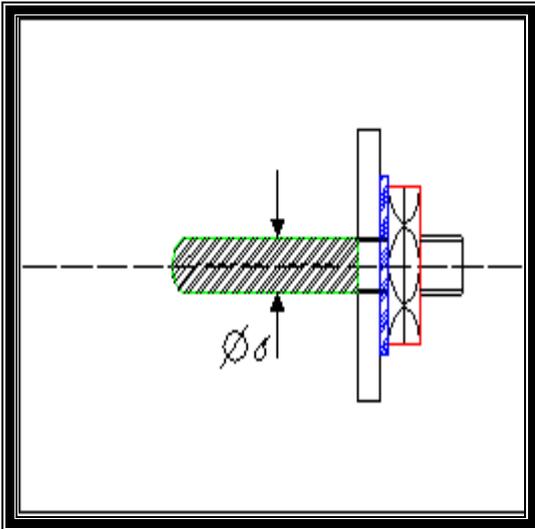
La vérification consiste à s'assurer qu'en aucun point, la contrainte ne dépasse pas la limite élastique ( $\sigma_e$ ) et que la flèche ne dépasse pas la limite de déformation ( $f_a$ ).

Finalement l'étude permet de réaliser une salle de sport avec des mesures respectées ainsi que la vérification des conditions suivantes:

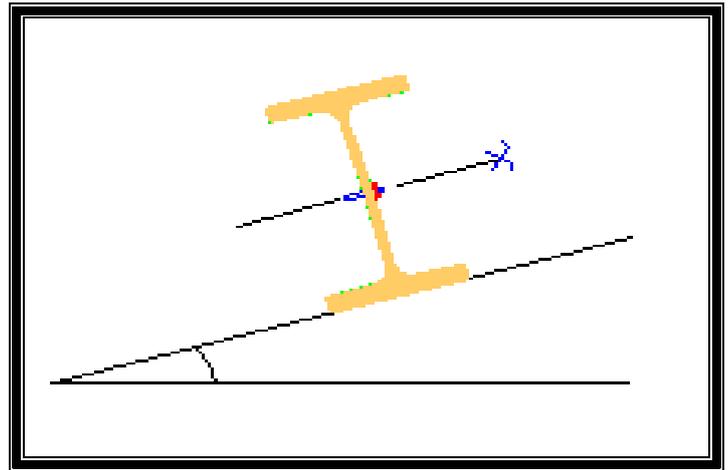
- La stabilité
- La résistance
- Le confort



-Figure -III-1 position de panne, sablière, lierne



-Figure -III-2 tige de lierne



-Figure -III-3 fixation des pannes avec Liernes

#### IV- 1-1 Calcul des pannes

##### ❖ Définition et hypothèse de calcul

-Les pannes sont des éléments qui ont pour rôle de supporter la couverture, elles peuvent être disposées parallèlement à la ligne de faîtage dans le plan des versants. Dans la plus des cas, elles sont constituées de poutrelles laminées (IPE) et peut être (HEA), compte tenu de la pente des versants donnée par la pente des fermes ou traverses de portiques, les pannes sont posées inclinées sur la membrure supérieure à un angle  $\alpha$  et de ce fait, travaillent en flexion déviée.

-Elles sont calculées pour pouvoir résister aux poids propre de la couverture ainsi que leurs poids propre et aux surcharges variables (neige, vent).

##### ❖ Principe de calcul

- Les charges permanentes et la charge de neige sont appliquées dans le sens de gravitation.
- Le vent agit perpendiculairement à la face des éléments (axe de grande inertie).
- On prend la combinaison la plus défavorable.

##### - Vérification des pannes

- ✓ Portée entre axe des fermes  $L=6m$
- ✓ Portée entre axe des pannes  $p = 1.52m$
- ✓ Le panne contient un lien.

##### - Chargement

- ✓ La couverture L75 ( $q=14,2 \text{ kg/m}^2$ )
- ✓ Poids propre de la couverture  $q_c = 14,2 \times 1.52 = 21,58 \text{ kg/ml}$
- ✓ Poids propre des accessoires d'attache  $q_a = 1 \times 1.52 = 1.52 \text{ kg/ml}$
- ✓ Poids propre de la panne  $q_p(\text{IPE } 140) = 12.9 \text{ kg/ml}$

$$G = q_c + q_a + q_p = 36 \text{ kg/ml}$$

**- Charges climatiques**✓ Neige :  $9,6 \text{ kg/m}^2$ 

✓ Vent :

$$V_N = q_{\text{dyn}} \times (C_e - C_{pi}) \times l_c$$

$$V_N = 63.32 \times (-1,45) \times 1,52 = -139,56 \text{ kg/ml (dépression)}$$

$$G = \begin{cases} G_Y = G \cos 11,30 = 35,30 \text{ kg/ml} \\ G_Z = G \sin 11,30 = 7,54 \text{ kg/ml} \end{cases}$$

$$V_N = \begin{cases} V_{ny} = -139,56 \text{ kg/ml} \\ V_{nz} = 0 \end{cases}$$

**- Combinaison d'action**

combinaison		Dépression	
		$Q_z$ (kg/ml)	$Q_y$ (kg/ml)
$G + 1.5 V_n$		-174,72	7,05
$1.35G + 1.5 V_n$		-161,68	10,18
$G + V_n$		-104,26	7,05
Charge plus favorable	P	-174,72	10,18
	Np	-104,26	7,05

Tableau IV-1 Combinaison d'action

**- Caractéristiques de poutrelle utilisée**

caractéristiques profilé	$I_y$ ( $\text{cm}^4$ )	$I_z$ ( $\text{cm}^4$ )	$W_{ply}$ ( $\text{cm}^3$ )	$W_{plz}$ ( $\text{cm}^3$ )	$I_t$ ( $\text{cm}^4$ )	$I_w$ ( $\text{cm}^6$ )	P ( $\text{kg/m}^2$ )	A ( $\text{cm}^2$ )
IPE 140	541,2	44,92	88,34	19,25	2,45	1980	12,9	16,43

Tableau IV-2 Caractéristiques du profilé IPE140

**- Le profilé IPE 140****- Flexion déviée**

$$\frac{d}{tw} = \frac{112,2}{4,7} = 23,87 < 72\xi = 72 \Rightarrow \xi = 1 \text{ (classe 1) tableau (53,1) CCM97page47}$$

$$\frac{C}{tf} = \frac{73 - 4,7}{6,9} = 9,89 < 10; \xi = 10 \Rightarrow \xi = 1 \text{ (classe 1) tableau (53,1) CCM97page49}$$

Selon l'EUROCODE 3, la panne est en classe 1, ces caractéristiques sont :

$$E = 2.1 \times 10^5 \text{ Mpa}$$

$$G = 8.1 \times 10^4 \text{ Mpa}$$

$$f = 235 \text{ Mpa}$$

**- Dépression**

$$M_y = q_z \frac{l^2}{8} = 174,72 \frac{(6)^2}{8} = 786,24 \text{ kg.m}$$

$$M_z = q_y \frac{l^2}{8} = 10,18 \frac{(3)^2}{8} = 11,45 \text{ kg.m}$$

$$M_{ply} = \frac{f_y \times W_{ply}}{\gamma M_o} = \frac{23,5 \times 88,34}{1} = 2076 \text{ kg.m}$$

$$M_{plz} = \frac{f_y \times W_{plz}}{\gamma M_o} = \frac{23,5 \times 19,25}{1} = 452,38 \text{ kg.m}$$

$$M_o = 1 \text{ et } \zeta = 1$$

$$\left[ \frac{M_y}{M_{ply}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_z}{M_{plz}} \right]^\beta < 1 \Rightarrow \left[ \frac{786,24}{2076} \right]^2 + \left[ \frac{11,45}{452,38} \right]^1 = 0,17 < 1 \text{ (vérifiée)}$$

.....CCM97page 74

Pour la semelle inférieure comprimée on a :

**- Calcul de M<sub>cr</sub>**

$$M_{cr} = C \times \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{L^2} \times \left[ \frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 \times G \times I_t}{\pi^2 \times E \times I_z} \right]^{1/2}$$

$$M_{cr} = 1,132 \times \frac{10 \times 2,1 \times 10^6 \times 44,92}{(300)^2} \times \left[ \frac{1980}{44,92} + \frac{(300)^2 \times 0,386 \times 2,45}{10 \times 44,92} \right]^{1/2} = 1813,25 \text{ Kg.m}$$

$$\bar{\lambda} L t = \sqrt{\frac{M_{ply}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2076}{1813,25}} = 1,07$$

$$\Rightarrow \bar{\lambda} L T = 107 > 0,4 \Rightarrow \text{courbe (a)} \Rightarrow X_{lt} = 0,69 \quad (\text{risque de déversement})$$

Le moment résistant de calcul d'un élément fléchi non maintenu latéralement au déversement doit être prise égale à :

$$M_{ry} = M_{ply} \times X_{lt} \times \frac{\beta_w}{\gamma_{M1}}$$

$$M_{ry} = 2076 \times 0.69 \times \frac{1}{1.1} = 1302,22$$

$$M_{Rz} = M_{plz} = 319.13 \text{ kg.m}$$

Avec :

$$\begin{cases} \gamma_{M1} = 1.1 \\ \gamma_{M0} = 1 \end{cases} \quad (\text{Page 103})$$

Pour la semelle inférieure comprimée on a :

$B = 1$  classe 1 ou 2

$B_w = 1$  pour la section de classe 1 (page 177).

Il faut que la formule doive être vérifiée :

$$\left[ \frac{M_y}{M_{Ry}} \right]^{\alpha} + \left[ \frac{M_z}{M_{Rz}} \right]^{\beta} < 1$$

$$\left[ \frac{786,24}{1302,22} \right]^2 + \left[ \frac{11,45}{452,38} \right]^1 = 0.39 < 1 \text{ (vérifiée)}$$

### - Vérification de la flèche

$$\frac{f_y}{L} = \frac{5}{384} \times \frac{q_y \times L^3}{E \times I_y} = \frac{5}{384} \times \frac{104,26 \times (6)^3}{210 \times 541,2} = 0,0026 < \frac{1}{200} \text{ (vérifiée)}$$

### IV- 1-2 Calcul des liernes

Les pannes d'un même versant sont réunies entre elles par un câble traversant les pannes, au voisinage du milieu de leur portée, appelés les liernes, donc les liernes agissent comme des appuis dans le plan de versant, elle doivent s'opposer à la rotation de la panne.

Les efforts cumulés de traction des liernes doivent être attachés en haut de la pente, pour ne pas solliciter les pannes faîtères par les efforts verticaux excessifs ou des efforts horizontaux, les liernes sont suspendus de l'avant dernière panne par bretelles rattachées directement aux fermes.

On considère que la lierne constitue un appui au milieu de panne :  $q = q_{zMax}$

D'après le tableau de combinaison des charges :  $q_{yMax} = 11.163 \text{ kg / ml}$

Après le calcul par la formule des trois moments, on obtient :

-Effort de traction dans le tronçon de lierne  $L_1$ , provenant de la panne sablière

$$T_1 = 1.25 \times \frac{q}{2} \times \frac{L}{2} = 20,93 \text{ kg}$$

-Efforts dans les tronçons  $L_2$ : (Calcul des structures métalliques selon l'Eurocode 3 par Jean Morel page 145).

$T_2 = 1.25 \times q \times \frac{L}{2} + T_1 = 62,79kg$   
 -Efforts dans les tronçons  $L_3$ :  
 $T_3 = 1.25 \times q \times \frac{L}{2} + T_1 + T_2 = 125,58kg$   
 -Efforts dans les tronçons  $L_4$ :  
 $T_4 = 1.25 \times q \times \frac{L}{2} + T_1 + T_2 + T_3 = 251,17kg$   
 L'effort maximale étant de 251,17 kg.  
 $A = \frac{251,17}{23,5} = 10,69mm^2$   
 Donc ,on prend latige  $\phi 6$

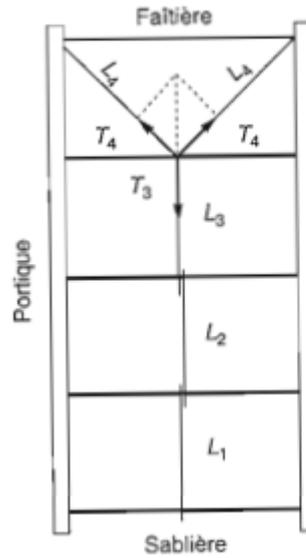


Figure -III-4 position des liernes

**IV- 1-3 Calcul des lisses**

Les lisses ce sont des profilées en I ou en U disposes horizontalement sur le long de pignon, sont distingués à la fixation du bardage et supporte la maçonnerie, plus la transmission des efforts aux poteaux et potelets  
 La liaison est considéré comme appui simple

❖ **Charges agissantes sur la lisse**

- charge verticale due au poids propre de la lisse et du bardage
- charge horizontale due a la prissions du vent

❖ **Vérification des lisses**

- poids propre de lisse UPN 140 ( $p_p = 16 \text{ kg/ml}$ )
- Poids du bardage L 60 ( $P_B = 12 \text{ kg /ml}$ )
- poids des accessoires d'attaches ( $p_a = 1 \text{ kg /ml}$ )
- CP = 29 kg / ml

❖ **Caractéristique de poutrelle utilisée**

Soit UPN 140 a eu les caractéristiques suivantes:

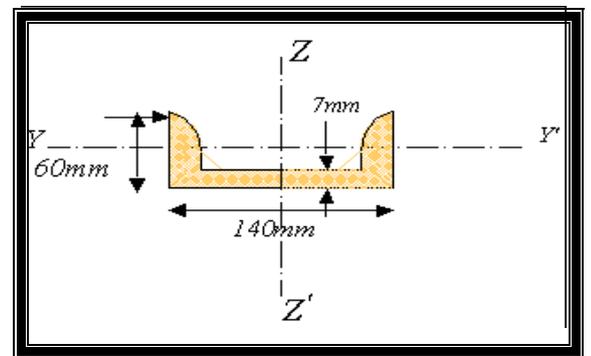


Figure -III-5-profil UPN 140

caractéristique profilé	$I_y$ ( $cm^4$ )	$I_z$ ( $cm^4$ )	$i_y$ ( $cm^4$ )	$i_z$ ( $cm^4$ )	$W_{ply}$ ( $cm^3$ )	$W_{plz}$ ( $cm^3$ )
UPN 140	605	62.7	5.45	1.75	103	28.3

Tableau IV-3 Caractéristiques du profilé UPN140

**- La charge permanente**

$$G = 29 \text{ kg/ml}$$

**- Charge climatique**

$$Vn = q = 69,138 \times 1.625 = 112,34 \text{ kg/ml}$$

**- Combinaison de charge**

Combinaison	$q_y$ (kg/ml)	$q_z$ (kg/ml)
1.35G + 1.5 Vn	168,51	39,15

Tableau IV-4 Combinaison d'action pour le calcul des lisses

**-Vérification de la résistance**

On a choisit la classe de profil UPN 140

$$\frac{C}{t_f} = \frac{60}{10} = 6 < 10 ; \text{ (section fléchie)}$$

$$M \leq MR \Rightarrow MR = \frac{W_{ply} \times f_y}{\gamma M_o} ; \gamma M_o = 1$$

$$M_y = 168,51 \times \frac{36}{8} = 758,295 \text{ kg.m} \quad M_z = 39,15 \times \frac{9}{8} = 44,04 \text{ kg.m}$$

$$M_{ply} = \frac{f_y \times W_{ply}}{M_o} = \frac{23.5 \times 103}{1} = 2420.5 \text{ kg.m}$$

$$M_{plz} = \frac{f_y \times W_{plz}}{M_o} = \frac{23.5 \times 28.3}{1} = 665.05 \text{ kg.m}$$

Donc la vérification se fait par la formule de calcul :

$$\left[ \frac{M_y}{M_{ply}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_z}{M_{plz}} \right]^\beta < 1 \quad \text{telque : } \begin{cases} \alpha = 2 \\ \beta = 1 \\ \gamma M_o = 1 \end{cases}$$

$$\left[ \frac{758,295}{2420.5} \right]^2 + \left[ \frac{44,043}{665.05} \right]^1 = 0.164 < 1 \text{ (vérifiée).}$$

**-Vérification de la flèche****a) Due au vent :**

$$\frac{f_y}{L} = \frac{5}{384} \times \frac{q_y \times L^3}{E \times I_x} = \frac{5}{384} \times \frac{112,34 \times (6)^3}{210 \times 605} = \frac{1}{402,11} < \frac{1}{200} \text{ (vérifiée)}$$

$$\text{b) Due à } C_p : \frac{f_z}{L} = \frac{5}{384} \times \frac{q_z \times L^3}{E \times I_z} = \frac{5}{384} \times \frac{39,15 \times (3)^3}{210 \times 62.7} = \frac{1}{956,64} < \frac{1}{200}$$

**❖ Vérification de déversement de la lisse de bardage**

$$M_{cr} = 1.132 \times \frac{10 \times 2.1 \times 10^6 \times 62,7}{(300)^2} \times \left[ \frac{1800}{62,7} + \frac{(350)^2 \times 0.386 \times 5,68}{10 \times 62,7} \right]^{1/2} = 2601,27 \text{ Kg.m}$$

$$M_{ry} = M_{ply} \times Xlt \times \frac{\beta_w}{\gamma_{M1}} \Rightarrow M_{ry} = \frac{0,71}{1,1} \times 2420,5 = 1562,32 \text{ kg.m}$$

$$\left[ \frac{758,295}{1562,32} \right]^2 + \left[ \frac{44,043}{665,05} \right]^1 = 0,3 < 1 \text{ vérifiée}$$

$$\bar{\lambda} L t = \sqrt{\frac{M_{ply}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2420,5}{2601,27}} = 0,97 > 0,4 \text{ risque de déversement} \Rightarrow Xlt = 0,71$$

#### IV- 1-4 Calcul des potelets

##### ❖ Définition

Les potelets sont des profils disposés verticalement, *t* sur le pignon et qui ont pour rôle de transmettre les différents efforts à la poutre au vent puis au sol, ils sont sollicités à la compression ( poids propre de potelet, poids de paroi, poids des lisses et poutre compose), ils sont sollicités aussi à la flexion due au vent.

Les potelets sont conçus en IPE soumissent à la flexion composé dont les efforts sont:

- Efforts normal produit par le poids propre du potelet et lisse.
- effort flexionnel produit par l'action du vent sur le pignon.

##### ❖ Calcul des potelets

Surface reprise par potelets  $S = 6,45 \times 7,5 = 48,38 \text{ m}^2$

Poids propre du bardage (LL60) =  $12 \times 48,38 = 503,1 \text{ kg}$

Poids propre des lisses (UPN 140) =  $16 \times 6 \times 4 = 384 \text{ kg}$

Poids propre de potelé (IPE 300) =  $42,2 \times 7,5 = 316,5 \text{ kg}$

Donc  $C_p = 1251,20 \text{ kg}$

##### ❖ Les caractéristiques géométriques du profil IPE 300

$$I_y = 8356 \text{ cm}^4 ; W_{ply} = 628,4 \text{ cm}^3 ; W_{ely} = 557,1 \text{ cm}^3 ; i_y = 12,46 \text{ cm}$$

$$I_z = 603,8 \text{ cm}^4 ; W_{plz} = 125,2 \text{ cm}^3 ; W_{elz} = 80,5 \text{ cm}^3 ; i_z = 3,35 \text{ cm}$$

$$h = 300 \text{ mm} ; b = 150 \text{ mm} ; A = 53,81 \text{ cm}^2$$

$$I_w = 125900 \text{ cm}^6 ; I_t = 20,12 \text{ cm}^4 ; t_f = 10,7 \text{ mm}$$

##### ❖ Charge climatique au vent

- Dépression :  $C_{pe} - C_{pi} = -1,7$

$$Q = q_j \times l_c$$

$$Q = 69,138 \times 6,45 = 445,946 \text{ kg / ml}$$

- Combinaison de charge :

combinaison	$q_y$ (kg/ml)	$q_n$ (kg)
1.35G+1.5Vn	668,919	1689,12

Tableau IV-4 Combinaison d'action

$$M_y = q_y \frac{l^2}{8} = 668,919 \frac{(7,5)^2}{8} = 4703,33 \text{ kg.m}$$

$$N = q_n = 1689,12 \text{ kg}$$

- La vérification de la stabilité du profil IPE 300

Pour la vérification de la flèche on a :

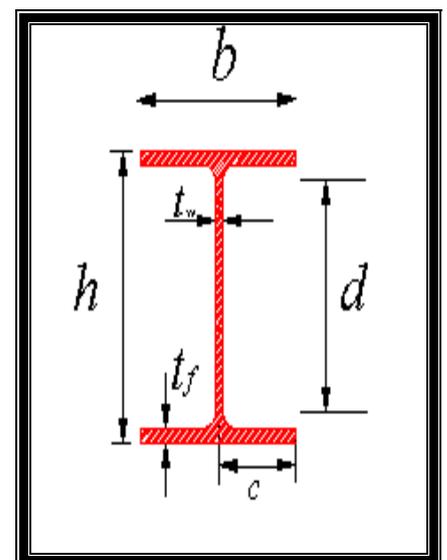


Figure -III-6 coupe transversale potelet

$$\frac{f_y}{L} = \frac{668,919 \times 5 \times (7,5)^3}{384 \times 210 \times 8356} = \frac{1}{477,55} < \frac{1}{200} \text{ (vérifiée)}$$

- La vérification de la flexion composée  $N \neq 0$

$$N_{pl} = A \times f_y = 53.81 \times 23.5 \times 10^2 = 126453.5 \text{ kg}$$

$$M_{ply} = W_{ply} \times f_y = 628.4 \times 23.5 = 14767.4 \text{ kg.m}$$

$$M_{plz} = W_{plz} \times f_y = 125.2 \times 23.5 = 2942.2 \text{ kg.m}$$

La semelle intérieure est comprimée, on va vérifier la stabilité du profil par la formule :

$$\frac{N}{X_z \left( \frac{N_{pl}}{\gamma M 1} \right)} + \frac{KLt \times My}{XLt \left( \frac{M_{ply}}{\gamma M 1} \right)} \leq 1$$

- Détermination de la classe

a) Ame

$$\frac{d}{tw} = \frac{248.6}{7.1} = 35.014 < 72 \zeta, \zeta = 1 \text{ (classe 1)}$$

b) Semelle

$$\frac{C}{tf} = \frac{71.45}{10.7} = 6.68 < 10 \xi = 10$$

$$\xi = 1 \text{ (classe 1)}$$

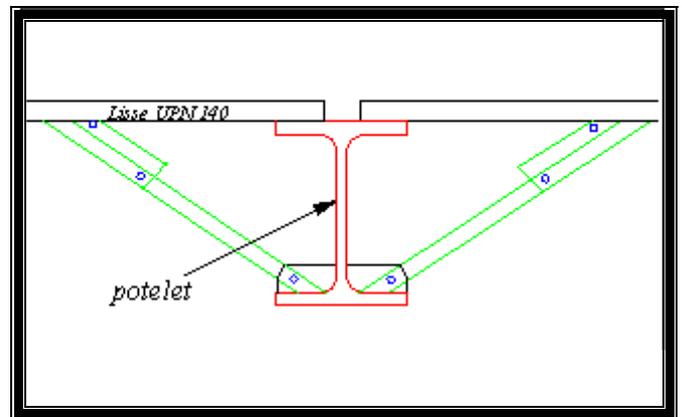


Figure -III 7 position potelet -lisse

- Calcul de XMin

$$\lambda_y = \frac{If_y}{i_y} = \frac{830}{12.46} = 66.62 \Rightarrow \lambda_{Max} = \lambda_y = 66.62$$

$$\lambda_z = \frac{If_z}{i_z} = \frac{162}{3.35} = 48.36$$

$$\lambda_1 = 93.9 \zeta ; \zeta = 1$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda}{\lambda_1} \times \sqrt{B} = \frac{66.62}{93.9 \times 1} \sqrt{1} = 0.71 > 0.2 ; B=1$$

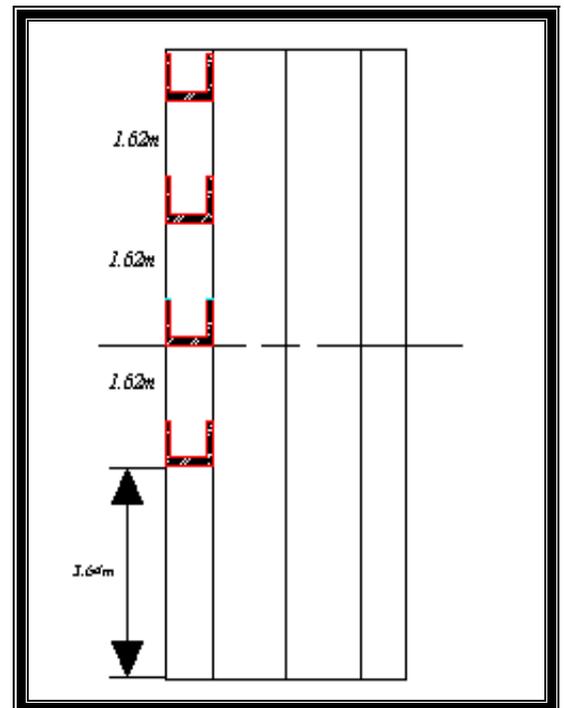
Donc il y a risque de dévrsement:

On a :

$$\frac{h}{b} = \frac{270}{135} = 2 > 1.2 \implies tf < 40 \text{ mm}$$

Donc courbe « a »  $X_{Min} = X_y = 0.83$

$$\text{On a classe 1 : } \frac{E}{G} = \frac{8100}{21000} = 0.386$$



$$M_{cr} = \frac{C \times \pi^2 \times E \times I_z}{l^2} \sqrt{\left( \frac{I_w}{I_z} + \frac{l^2 \times G \times I_t}{\pi^2 \times E \times I_z} \right)}$$

Figure -III-8 disposition de

potelet

$$M_{cr} = \frac{1.132 \times \pi^2 \times 21 \times 10^5 \times 603.8}{(375)^2} \sqrt{\left( 208,51 + \frac{(486)^2 \times 0.386 \times 20.12}{\pi^2 \times 603.8} \right)} = 21423,46 \text{ kg.m}$$

$$\bar{\lambda}_{Lt} = \sqrt{\frac{M_{ply}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{14767.4}{21423,46}} = 0,83 > 0.4$$

On a  $\frac{h}{b} > 1.2$  ;  $t_f \leq 40 \text{ mm}$  (courbe de flambement "a")  $\Rightarrow \bar{\lambda}_{Lt} = 1.036$  ;  $\alpha_{Lt} = 0.21$

$$X_{Lt} = 0.64$$

(tableau 5-5-2 page 172 L'eurocode 3).

$$K_{Lt} = 1 - \frac{\mu_{Lt} \times N}{X_z \times A \times f_y} ; X_z = f(\bar{\lambda}_z).$$

$$\mu_{Lt} = 0.15 [\bar{\lambda}_z \times \beta_{MLT} - 1] < 0.9$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \sqrt{B} = \frac{48.36}{93.9} \times 1 = 0.52 \quad \text{tel que} \quad \begin{cases} \zeta = 1 \\ B = 1 \\ \beta_{MLT} = 1.3 \end{cases}$$

$$\mu_{LT} = 0.15 [0.52 \times 1.3 - 1] = -0.05 < 0.9$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Flambement selon ZZ } (\bar{\lambda}_z) \\ \frac{h}{b} = 2 > 1.5 \\ \bar{\lambda}_z = 0.52 \end{array} \right\} \text{ courbe "b"} \Rightarrow X_z = 0.87$$

$$\frac{N}{X_z \left( \frac{N_{pl}}{\gamma_{M1}} \right)} + \frac{K_{Lt} \times M_y}{X_{Lt} \left( \frac{M_{ply}}{\gamma_{M1}} \right)} \leq 1 \quad \text{Donc } K_{LT} = 1 + \frac{0.05 \times 1689,12}{0.87 \times 126453.5} = 1$$

$$\frac{1689,12}{0.87 \left( \frac{126453.5}{1.1} \right)} + \frac{1 \times 4703,33}{0.64 \left( \frac{14767.4}{1.1} \right)} = 0,56 < 1 \quad (\text{Vérifiée})$$