

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

Constructions Métalliques

SESSION 2013

E4 : Analyse et Calcul des structures

U4.2 Note de calculs

Éléments de corrigé

Barème indicatif

Partie 1 : 6 points
Partie 2 : 6 points

Partie 3 : 4 points
Partie 4 : 4 points

CODE ÉPREUVE :	EXAMEN : BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR		SPÉCIALITÉ : CONSTRUCTIONS METALLIQUES
SESSION 2013	CORRIGÉ	Epreuve U42 Note de Calculs	
Durée : 4h	Coefficient : 3	SUJET N°	Pag

Partie 1 : Étude des actions climatiques

1.1 Actions dues à la neige

Question n°1

Trémissage (24) : Région A2

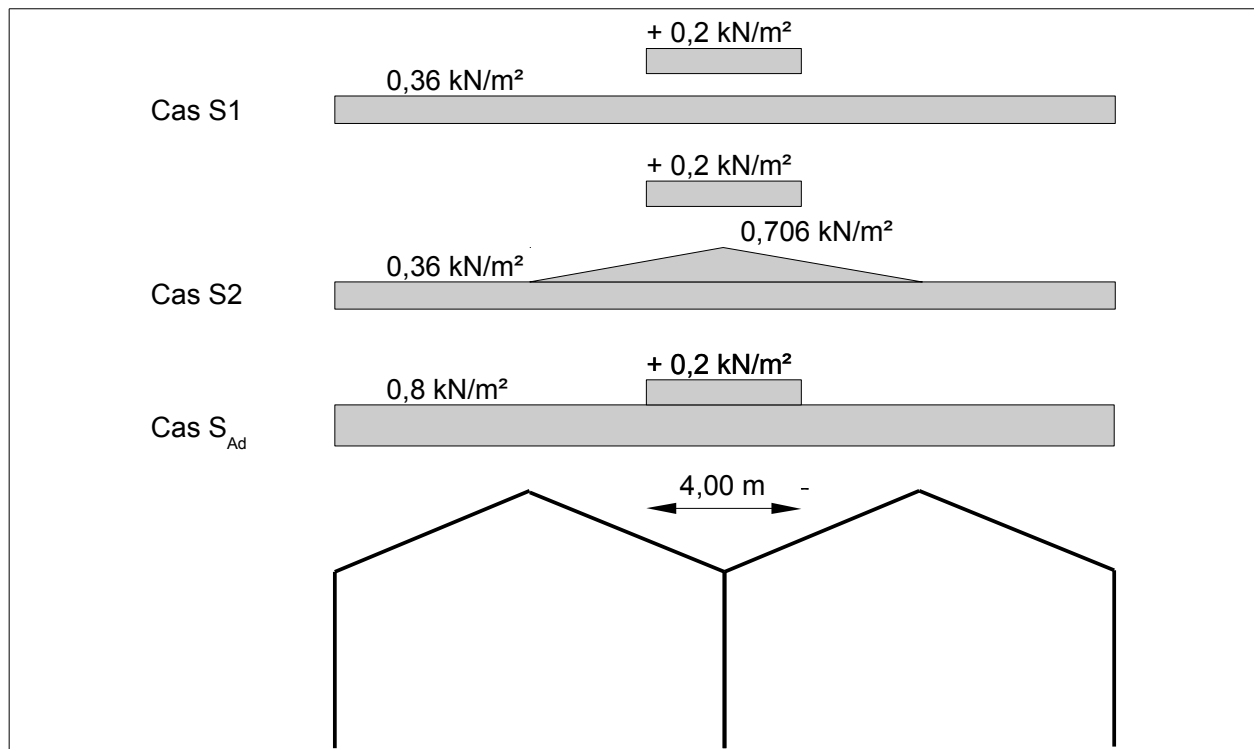
- $s_{k,0} = 0,45 \text{ kN/m}^2$
- $s_{Ad} = 1,00 \text{ kN/m}^2$
- Altitude inférieure à 200 m, pas de correction Δs_1

Question n°2

Toiture à versants multiple : Article 5.3.4

Pente 55 % = 28,81°

- $\mu_1 = 0,8$, et $S_1 = \mu_1 \cdot S_k = 0,8 \times 0,45 = 0,36 \text{ kN/m}^2$
- $\bar{\alpha} = 28,8^\circ \Rightarrow \mu_2 = 0,8 + \frac{0,8 \cdot \bar{\alpha}}{30} = 1,568$ et $S_2 = \mu_2 \cdot S_k = 1,568 \times 0,45 = 0,706 \text{ kN/m}^2$
- Majoration pour faible pente : $s^* = 0,2 \text{ kN/m}^2$



1.2 Actions dues au vent

Question n°3

- Trémissage région 1 : $v_{b,0} = 22 \text{ m/s}$

- Terrain IIIb, hauteur 6,25 m : $c_e \approx 1,42$
- $q_p(z) = c_e \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = 1,42 \times \frac{1}{2} \times 1,225 \times 22^2 = 421 \text{ N/m}^2 = 0,421 \text{ kN/m}^2$

Question n°4

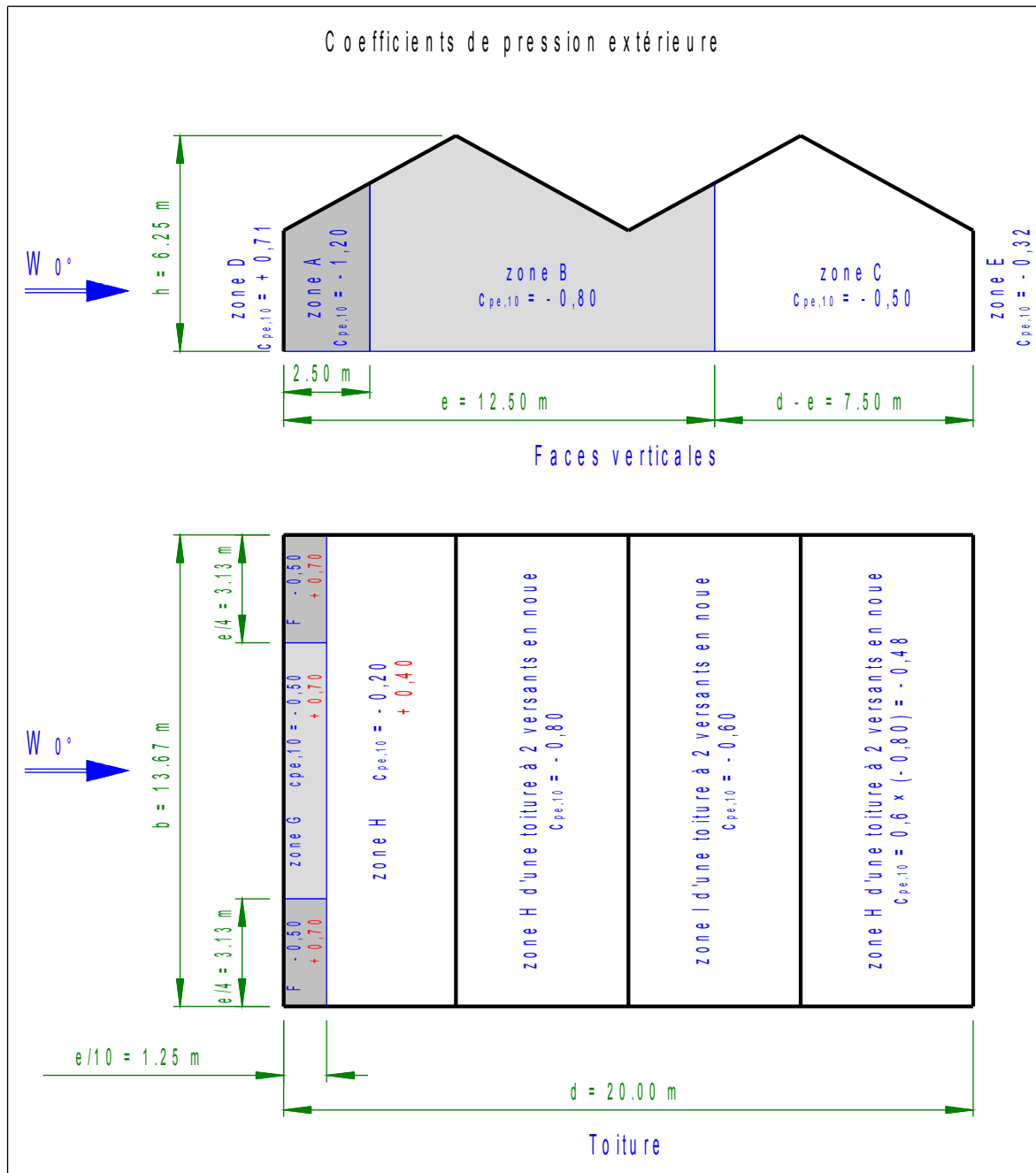
- Proportion d'ouvertures file A : $\frac{4,50 \times 3,00}{13,67 \times 3,50} = 28,2 \%$
- Proportion d'ouvertures file 3 : $\frac{20 \times 3,00}{(20 \times 3,50) + (2,75 \times 10,00)} = 61,5 \%$

Il n'y a qu'une seule face pour laquelle le taux d'ouverture est supérieur à 30 %.
Il ne s'agit donc pas de toiture isolée ni de murs isolés, et on doit donc se référer à l'article 7.2.

Question n°5

- $e = \inf.(b; 2h) = \inf.(13,67; 2 \times 6,25) = 12,50 \text{ m}$
- Parois verticales : Art. 7.2.2
 - $\frac{h}{d} = \frac{6,25}{20,00} = 0,3125$: On obtient les $c_{pe,10}$ par interpolation :
 - $c_{pe,10} (A) = - 1,20$
 - $c_{pe,10} (B) = - 0,80$
 - $c_{pe,10} (C) = - 0,50$
 - $c_{pe,10} (D) = + 0,71$
 - $c_{pe,10} (E) = - 0,32$
- Toiture à versants multiples : Art. 7.2.7 cas c) avec $\theta = 0^\circ$ et $\alpha = 28,8^\circ \approx 30^\circ$
 - Pour la premier versant, on prend les valeur des toitures à un seul versant, et pour les versants suivants on prend celles des toitures à deux versants à noue ($\alpha = - 30^\circ$)

	Première nef			Seconde nef	
	Zone F	Zone G	Zone H	Zone I	Zone H
Versant en pression	- 0,5	- 0,5	- 0,2	-	-
Versant en dépression	+ 0,7	+ 0,7	+ 0,4	- 0,6	- 0,8*0,6 = -0,48



Question n°6

- Aire des ouvertures file 3 : 60 m^2

- Aire des ouvertures sur les autres faces : 13,50 m²
- $\frac{60}{13,5} = 4,44 > 2$: La file 3 est dominante

Question n°7

On est dans le cas où l'aire des ouvertures de la face dominante est supérieure au triple des ouvertures de autres faces.

On a donc $c_{pi} = 0,9 \cdot c_{pe,10}$.

On prend pour $c_{pe,10}$ la moyenne pondérée des $c_{pe,10}$ sur la face dominante (Zones A, B, C).

	Aire A	$C_{pe,10}$
Zone A	2,50 x 3,00 = 7,50 m ²	- 1,20
Zone B	10,00 x 3,00 = 30 m ²	- 0,80
Zone C	7,5 x 3,00 = 22,5 m ²	- 0,50

On obtient ainsi $c_{pe,10} = \frac{(7,50 \times -1,20) + (30 \times -0,80) + (22,5 \times -0,50)}{7,50 + 30 + 22,5} = -0,7375$

De sorte qu'on obtient finalement $c_{pi} = 0,9 \cdot c_{pe,10} = 0,9 \times -0,7375 = -0,664$

Partie 2 : Étude d'une panne

2.1 Descente de charges et combinaisons d'actions

Question n°8

- Poids surfacique de la couverture : 0,0698 kN/m²
- Charge linéique : $q_G = (2,65 \text{ m} \times 0,0698 \text{ kN/m}^2) + 0,158 \text{ kN/m} = 0,343 \text{ kN/m}$

Question n°9

- Entraxe horizontal des pannes : $2,65 \text{ m} \times \cos 28,8^\circ = 2,32 \text{ m}$
- Charge linéique : $q_S = 2,32 \text{ m} \times 0,575 \text{ kN/m}^2 = 1,334 \text{ kN/m}$

Question n°10

- Combinaison ELU : 1,35 G + 1,5 S2
- $q = 1,35 \cdot q_G + 1,5 \cdot q_S = (1,35 \times 0,343) + (1,5 \times 1,334) = 2,464 \text{ kN/m}$

Question n°11

- Charge verticales et pannes déversées : Flexion déviée.

2.2 État limite de service

Question n°12

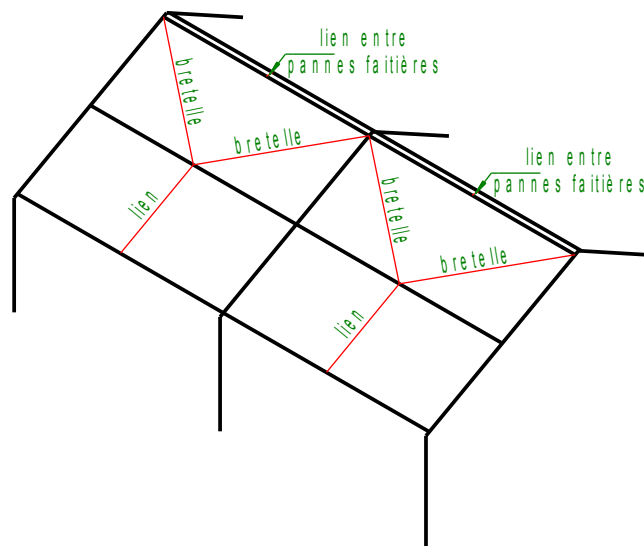
- $q_y = q \cdot \sin \alpha = 1,68 \text{ kN/m} \times \sin 28,8^\circ = 0,809 \text{ kN/m}$
- $q_z = q \cdot \cos \alpha = 1,68 \text{ kN/m} \times \cos 28,8^\circ = 1,472 \text{ kN/m}$

Question n°13

- $W_{z,\max}$ est générée par q_z .
- $\frac{5 \cdot q_z \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_y} < \frac{L}{200} \Rightarrow I_y > \frac{5 \cdot 200 \cdot q_z \cdot L^3}{384 \cdot E} = \frac{5 \times 200 \times 1,472 \times 6.750^3}{384 \times 210.000} = 561,4 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$
- OK pour un IPE 160 : $I_y = 869,3 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$.
- Un IPE 140 serait trop souple ($I_y = 541,2 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$)

Question n°14

- $W_{y,\max}$ est générée par q_y .
- $\frac{5 \cdot q_y \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_z} < \frac{L}{200} \Rightarrow I_z > \frac{5 \cdot 200 \cdot q_y \cdot L^3}{384 \cdot E} = \frac{5 \times 200 \times 0,809 \times 6.750^3}{384 \times 210.000} = 308,5 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$
- Un IPE 160 est insuffisant vis-à-vis de ce critère ($I_z = 68,3 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$)
- Solution technique : Système d'antidévers (liens + bretelles)



Question n°15

- On cherche un profilé pour lequel on a $I_y > 561,4 \text{ cm}^4$ et $I_z > 308,5 \text{ cm}^4$.
- On a le choix entre :
 - Carré 140 x 4 ($I_y = I_z = 651 \text{ cm}^4$ et $G = 16,8 \text{ kg/m}$)
 - Rectangle 150 x 100 x 4 ($I_y = 594 \text{ cm}^4$, $I_z = 318 \text{ cm}^4$, et $G = 14,9 \text{ kg/m}$)
- On retient finalement le rectangle 150x100x4 qui est plus léger.

- Comparaison avec un IPE 160
 - Gain en poids de l'ordre de 6 %
 - Gain de main d'oeuvre lors de la pose (pas de liernes)

2.3 État Limite Ultime

Question n°16

- Panne iso uniformément chargée : $M_{y,Ed} = \frac{q_z \cdot L^2}{8} = \frac{2,161 \times 6,75^2}{8} = 12,31 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Question n°17

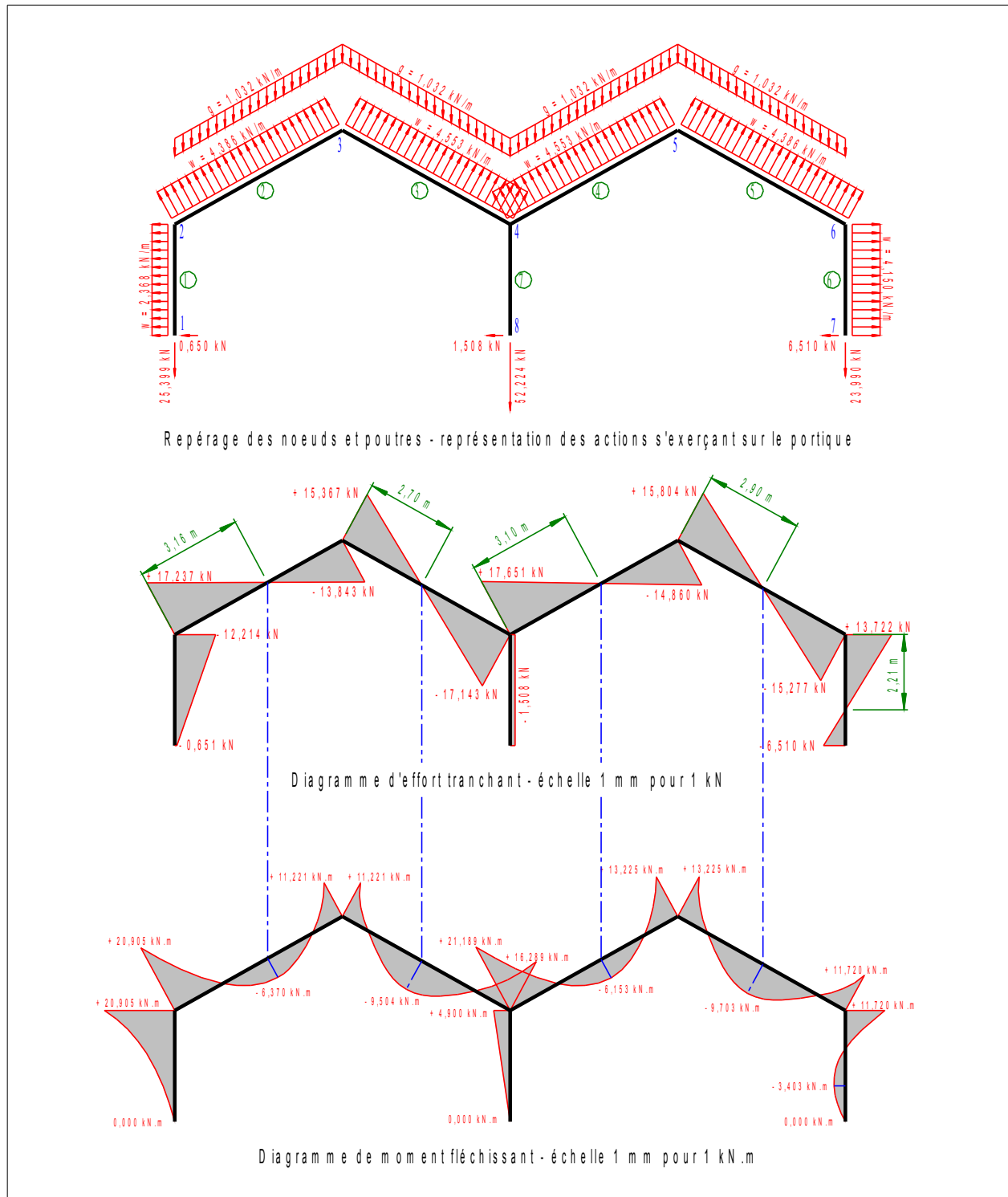
- Panne en flexion bi-axiale sans effort normal
- IPE 160 en classe 1 : Article 6.2.9 (6)
- $\alpha = 2$; $\beta = 5n$ (ici $n=0$) mais $\beta \geq 1$, donc $\beta = 1$
- $M_{N,y,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_y = 123,9 \cdot 10^3 \times 235 = 29,12 \text{ kN}\cdot\text{m}$

- $M_{N,z,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_y = 26,10 \cdot 10^3 \times 235 = 6,13 \text{ kN}\cdot\text{m}$

- $\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^2 + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right] = \left(\frac{12,31}{29,12} \right)^2 + \left(\frac{1,692}{6,13} \right) = 0,455 < 1$ Résistance vérifiée

Partie 3 : Étude du portique file 2 – Exploitation d'un listing informatique

Questions n°18 et 19



Partie 4 : Vérification d'un poteau à l'État Limite Ultime

Question n°20

Hors du plan du portique, les nœuds situés au droit de la lisse médiane et en tête du poteau sont immobilisés en déplacement par la croix de Saint-André.

Le poteau est articulé en pied et peut être considéré comme articulé en tête (faible rigidité en torsion de la traverse).

La lisse médiane, liée à la croix de Saint-André, crée un point d'inflexion à mi-hauteur.

La longueur de flambement du poteau hors du plan du portique est donc égale à sa demi-hauteur : $L_{cr,z} = 1,625$ m.

Question n°21

Flambement yy	Flambement zz
$L_{cr,y} = 12.930$ mm $i_y = 99,7$ mm $\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{12.930}{99,7} = 129,69$ $\Rightarrow \bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_k} = \frac{129,69}{93,9} = 1,38$ $\frac{h}{b} = \frac{240}{120} = 2 > 1,2 \Rightarrow$ Courbe a $\Rightarrow \chi_y = 0,4278$ Acier S235	$L_{cr,z} = 1.625$ mm $i_z = 26,9$ mm $\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{1.625}{26,9} = 60,41$ $\Rightarrow \bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_k} = \frac{60,41}{93,9} = 0,64$ $\frac{h}{b} = \frac{240}{120} = 2 > 1,2 \Rightarrow$ Courbe b $\Rightarrow \chi_z = 0,8165$ Acier S235

Question n°22

- $M_{cr} = 176$ kN.m
- IPE 240 en classe 1
- $\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{366,6 \cdot 10^3 \times 235}{176 \cdot 10^6}} = 0,7$; $h/b = 240/120 = 2$ donc courbe a
- $X_{LT} = 0,8477$

Question n°23

- $N_{pl,Rd} = A \cdot f_y = 3.910 \times 235 = 918,85$ kN
- $M_{pl,y,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_y = 366,6 \cdot 10^3 \times 235 = 86,151$ kN.m
- Vérification du poteau :

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rd}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rd}} = \frac{31,51}{0,4278 \times 918,85} + 0,991 \frac{38,08}{0,8477 \times 86,151} = 0,597 < 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rd}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rd}} = \frac{31,51}{0,8161 \times 918,85} + 0,558 \times \frac{38,08}{0,8477 \times 86,151} = 0,333 < 1$$

OK