



SERVICES CULTURE ÉDITIONS  
RESSOURCES POUR  
L'ÉDUCATION NATIONALE

**Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel**

**Campagne 2009**

Ce fichier numérique ne peut être reproduit, représenté, adapté ou traduit sans autorisation.

# CORRIGE

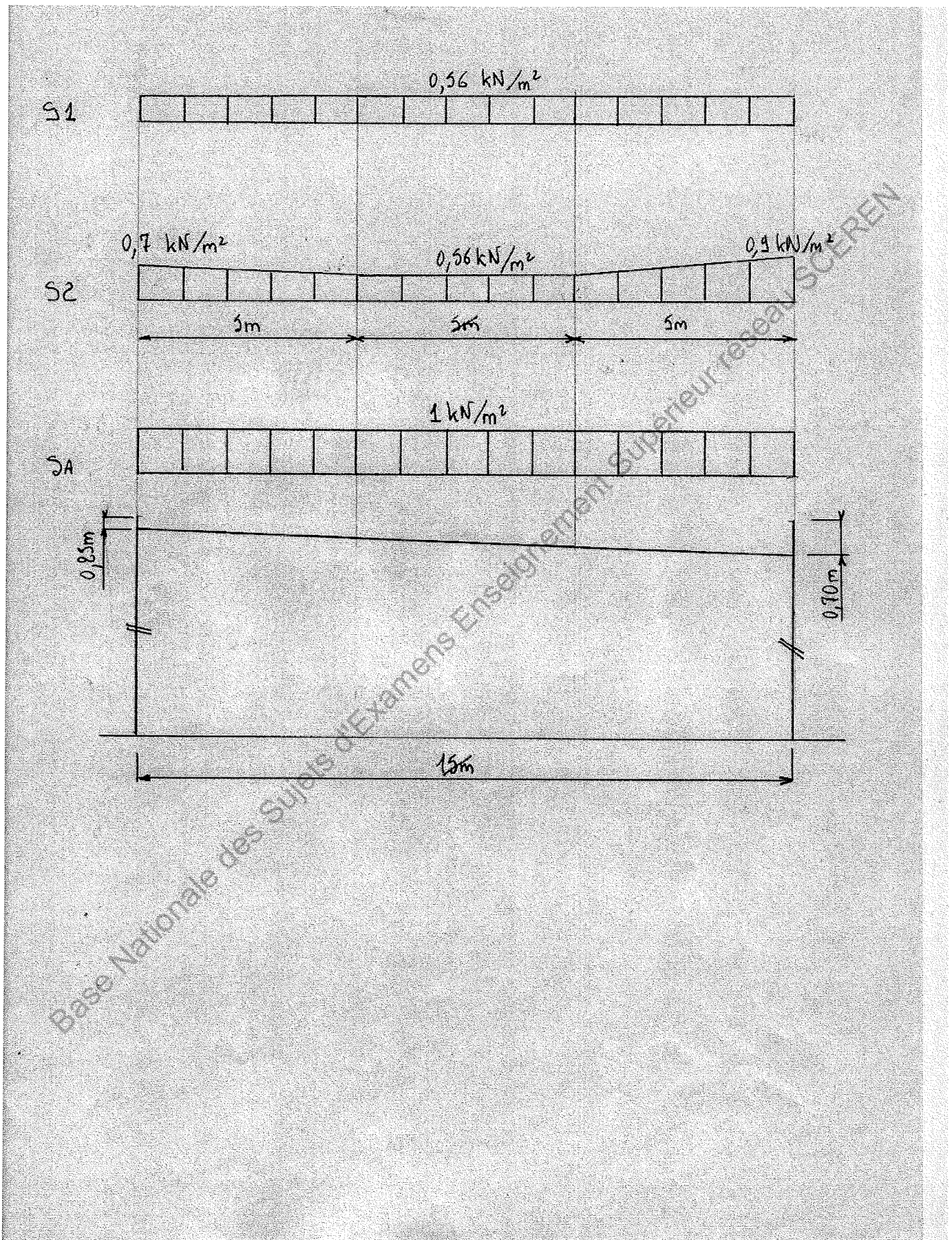
**Ces éléments de correction n'ont qu'une valeur indicative. Ils ne peuvent en aucun cas engager la responsabilité des autorités académiques, chaque jury est souverain.**

**CORRIGE****Question 1 : Actions dues à la neige****1.1 – Charges de neige :**Neige au sol : EC1 – Partie 1.3 - §4Istres → Bouches du Rhône → Région A2 →  $s_{s,0} = 0,45 \text{ kN/m}^2$ Majoration pour altitude :  $\Delta s_1 = 0$  car altitude < 200 mNeige caractéristique  $s_k = 0,45 \text{ kN/m}^2$  Neige accidentelle  $s_{Ad} = 1 \text{ kN/m}^2$ Neige sur la toiture : EC1 – Partie 1.3 - §5 et 6Toiture simple pente + acrotères Angle du versant :  $\alpha = \tan^{-1}0,03 = 1,72^\circ$ Majoration pour faible pente :  $s^* = 0,2 \text{ kN/m}^2$  car pente  $\leq 3\%$  sur toute la toitureCoefficients :  $C_e = C_t = 1$  (valeurs par défaut)Cas S1 : Neige sans accumulation § 5.3.2 (toiture à un seul versant)Tableau 5.2 →  $\mu_1(\alpha) = 0,8$  →  $S1 = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k + s^* = 0,8 \cdot 0,45 + 0,2 = 0,56 \text{ kN/m}^2$ Cas S2 : Neige avec accumulation §5.3.2 + § 6.2

Idem cas S1 + accumulation à proximité des acrotères

Au point haut :Hauteur de l'acrotère  $h = 0,25 \text{ m}$  →  $\mu_2 = \frac{\gamma \cdot h}{s_k} = \frac{2 \cdot 0,25}{0,45} = 1,11$  ( $0,8 \leq \mu_2 \leq 1,6$ ) $S2 = 1,11 \cdot 0,45 + 0,2 = 0,70 \text{ kN/m}^2$ Longueur de l'accumulation :  $l_s = 2 \cdot h = 2 \cdot 0,25 = 0,5 \text{ m}$  mais  $5 \text{ m} \leq l_s \leq 15 \text{ m}$  donc  $l_s = 5 \text{ m}$ Au point bas :Hauteur de l'acrotère  $h = 0,70 \text{ m}$  →  $\mu_2 = \frac{\gamma \cdot h}{s_k} = \frac{2 \cdot 0,70}{0,45} = 3,11 !$  ( $0,8 \leq \mu_2 \leq 1,6$ ) $S2 = 1,6 \cdot 0,45 + 0,2 = 0,92 \text{ kN/m}^2$ Longueur de l'accumulation :  $l_s = 2 \cdot h = 2 \cdot 0,70 = 1,4 \text{ m}$  mais  $5 \text{ m} \leq l_s \leq 15 \text{ m}$  donc  $l_s = 5 \text{ m}$ Cas S<sub>A</sub> : Neige accidentelle $S_A = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_{Ad} + s^* = 0,8 \cdot 1 + 0,2 = 1 \text{ kN/m}^2$

1.2 – Schémas des répartitions de neiges: voir DR1



**Question 2 : Actions dues au vent**

2.1 - Istres → Bouches du Rhône → Région 3 →  $V_b = V_{b,0} = 26 \text{ m/s}$   
 Pression de référence :  $q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_b^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,225 \cdot 26^2 = 414,05 \text{ Pa} \approx 0,414 \text{ kN/m}^2$

Coefficient d'exposition :

Fig 4.2 → classe de rugosité III b →  $c_e(10,7 \text{ m}) = 1,52$

Pression dynamique de pointe :

$$q_p = c_e \cdot q_b = 1,52 \cdot 0,414 = 0,629 \text{ kN/m}^2$$

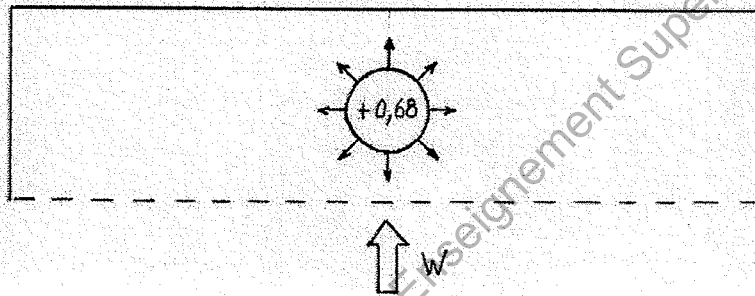
2.2 – Coefficients de pression extérieure : voir DR 2

2.3 – Coefficient de pression intérieure :

Ce bâtiment présente évidemment une face dominante, pour le cas de vent étudié :

$$c_{pi} = 0,9 \cdot c_{pe} = 0,9 \cdot (+0,76) = +0,68$$

Schéma :



2.4 – Coefficients résultants :

- la zone de couverture la plus exposée est la zone F, sous le cas de vent étudié elle subit un coefficient de pression résultant  $c_{p,net} = c_{pe} - c_{pi} = -1,4 - (+0,68) = -2,08$
- la zone de bardage la plus exposée est la zone A, sous le cas de vent étudié elle subit un coefficient de pression résultant  $c_{p,net} = c_{pe} - c_{pi} = -1,2 - (+0,68) = -1,88$
- pour les acrotères, le coefficient de pression résultant  $c_{p,net}$  peut être pris égal à 2 sans considération de zone ni de pente de toiture (art 1 du § 7.4.1)

**Question 3 : Descente de charges**

## 3.1 – Charge de neige :

$$S_1 = 0,56 \text{ kN/m}^2 \cdot 10\text{m} \cdot 1,1 = 6,16 \text{ kN/m}$$

$$S_A = 1 \text{ kN/m}^2 \cdot 10\text{m} \cdot 1,1 = 11 \text{ kN/m}$$

## 3.2 – Charges de vent:

Cas $W^+$ :	pression	$w = q_p \cdot c_{p,net} = 0,60 \cdot (+0,5) = +0,30 \text{ kN/m}^2$
	charge linéique	$W^+ = 0,30 \text{ kN/m}^2 \cdot 10\text{m} \cdot 1,1 = +3,3 \text{ kN/m}$

Cas $W^-$ :	pression	$w = 0,60 \cdot (-1,3) = -0,78 \text{ kN/m}^2$
	Charge lineique	$W^- = -0,78 \cdot 10 \cdot 1,1 = -8,58 \text{ kN/m}$

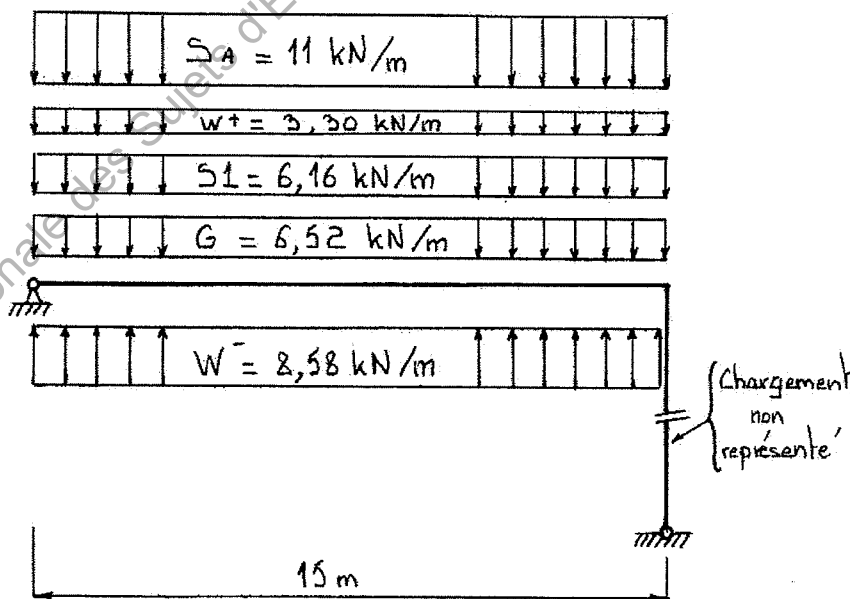
## 3.3 – Charges permanentes:

Profil traverse - IPE 400 :	$66,3 \text{ kg/m} \times 15 \text{ m} = 994,5 \text{ kg} =$	9,945 kN
CV 1 – CV 2 - $\Phi 139.7 \times 5$ :	$16,6 \text{ kg/m} \times 4 \times \frac{\sqrt{5^2 + 10^2}}{2} = 371,2 \text{ kg} =$	3,712 kN
CV 3 - $\Phi 139.7 \times 5$ :	$16,6 \text{ kg/m} \times 4 \times 10\text{m}/2 = 332 \text{ kg} =$	3,320 kN
Pannes - $\Sigma^+ 300$ :	$8,5 \text{ kg/m} \times 7 \times 10\text{m} \times 1,1 = 654,5 \text{ kg} =$	6,545 kN
Multicouches :	$45 \text{ kg/m}^2 \times 10\text{m} \times 15\text{m} \times 1,1 = 7425 \text{ kg} =$	74,25 kN

Total = 97,772 kN

Charge linéique  $G = \frac{97,772}{15} \approx 6,52 \text{ kN/m}$

## 3.4 – Schéma:



**Document réponse : DR 2**

Compléter toutes les indications manquantes ( titres, dimensions, références des § et tableaux,...)  
 En cas d'interpolation graphique, justifier les graphes sur votre copie.

**Détermination des coefficients de pression extérieure C<sub>pe</sub>**

**Direction du vent :** TRANSVERSALE

$\theta = \text{Sans objet}$

**Caractéristiques du bâtiment :**

**b** = 60,5 m      dimension horizontale perpendiculaire à la direction du vent      **e = min (b ou 2h)** = 21,4 m  
**d** = 15,6 m      dimension horizontale parallèle à la direction du vent  
**h** = 10,7 m      hauteur du bâtiment      **h/d** = 0,686

**Type de toiture :** Terrasse + acrotère

**Angle versant  $\alpha$  = 1,72 °**

Elément	Zone	Valeur de C <sub>pe</sub>	Justifications (si nécessaire)
Murs verticaux - §7.2.2..... Tableau 7.1.....	<b><u>Faces latérales :</u></b>		
	Zone A :	- 1,2	h < b → 1 seule zone en élévation
	Zone B :	- 0,8	
	Zone C :	- 0,5	
	<b><u>Face au vent :</u></b>		<u>Interpolation :</u>
	Zone D :	+ 0,76	+0,7 + 0,1.(0,686-0,25)/(1 - 0,25) = + 0,76
Toiture - § 7.2.3..... Tableau 7.2.....	<b><u>Face « arrière » :</u></b>		<u>Interpolation :</u>
	Zone E :	-0,42	-0,3 - 0,2.(0,686-0,25)/(1-0,25) = - 0,416
	Zone F :	- 1,4	h <sub>p</sub> /h = 0,50 m/ 10,2m = 0,049 ≈ 0,05
	Zone G :	- 0,9	
	Zone H :	- 0,7	
	Zone I :	-0,2 ou + 0,2	
	Zone J :	Sans objet	



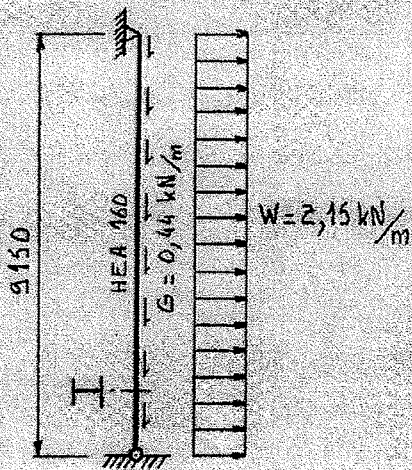
**Question 4: Etude d'un potelet HEA 160 – S 235**

**4.1 – Etude des sollicitations:**

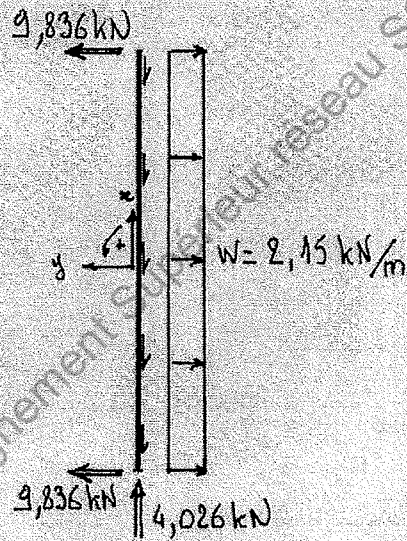
Document DR3 à compléter

**Document réponse : DR 3 - CORRIGÉ**

**Schéma mécanique et chargement :**



**Potelet en équilibre :**



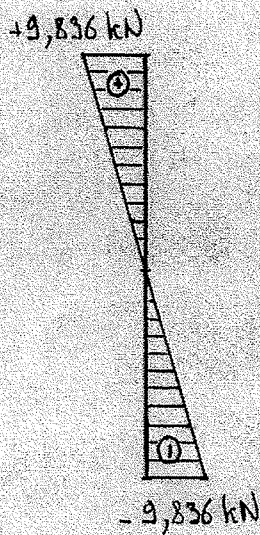
**SOLLICITATIONS**

**Diagramme N**

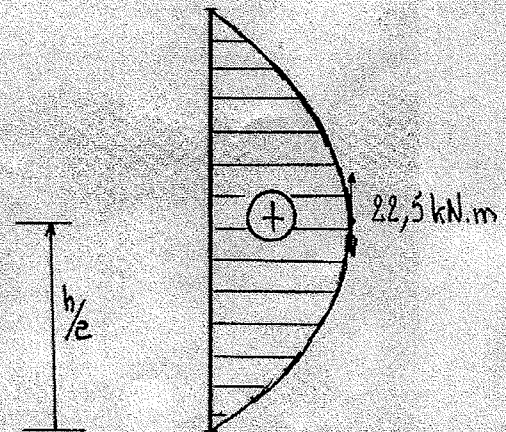


⊖ Compression

**Diagramme V**



**Diagramme M**



45



#### 4.2 – Vérification ELU :

4.2.1 – La combinaison ELU à utiliser est :  $1,35.G + 1,5.W$

4.2.2 -  $N_{Ed} = 1,35.4,026 = 5,435 \text{ kN}$   $N_{pl} = A \cdot f_y = 3880.235 = 911,8 \text{ kN}$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl}} = \frac{5,435}{911,8} = 0,006$$

$V_{Ed} = 1,5.9,836 = 14,75 \text{ kN}$

$V_{pl} = A_v \cdot f_y / \sqrt{3} = 1320.235 / \sqrt{3} = 179,1 \text{ kN}$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl}} = \frac{14,75}{179,1} = 0,082$$

4.2.3 - Vérification en flexion / axe fort, section de classe 1: § 6.2.5  $\frac{M_{Ed}}{M_{C,Rd}} \leq 1$

$M_{Ed} = 1,5.22,5 = 33,75 \text{ kN.m}$

$M_{C,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_y = 245,1 \cdot 10^3 \cdot 235 = \dots = 57,6 \text{ kN.m}$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{C,Rd}} = \frac{33,75}{57,6} = 0,56 < 1 \rightarrow$$

Vérification ELU satisfaite

4.2.4 - La résistance de la section droite ( $N_{pl}$ ,  $V_{pl}$ ,  $M_{pl}$ ) augmente proportionnellement à l'augmentation de la nuance ( $f_y$ )

#### 4.3 – Vérification ELS :

4.3.1 - Critère ELS :  $w_{adm} = H/150 = 9150/150 = 61 \text{ mm}$  sous W seul

EC3 § 7.2.2 – Montants supports de bardage

Combinaison caractéristique : flèche horizontale due aux charges variables

4.3.2 - Vérification ELS :

$$w_2 = \frac{5 \cdot q_{serv} \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{5 \cdot 2,15 \cdot 9150^4}{384 \cdot 210000 \cdot 1673 \cdot 10^4} = 55,85 \text{ mm}$$

Ratio ELS :  $\frac{w_2}{w_{adm}} = \frac{55,85}{61} = 0,92 < 1 \rightarrow$  Vérification ELS satisfaite

4.3.3 - Optimisation : Inutile, les ratios sont satisfaisants  
Avec un critère ELS plus défavorable, une optimisation s'impose.  
C'est la possibilité pour le candidat volontaire de rattraper les points éventuellement perdus aux questions précédentes.

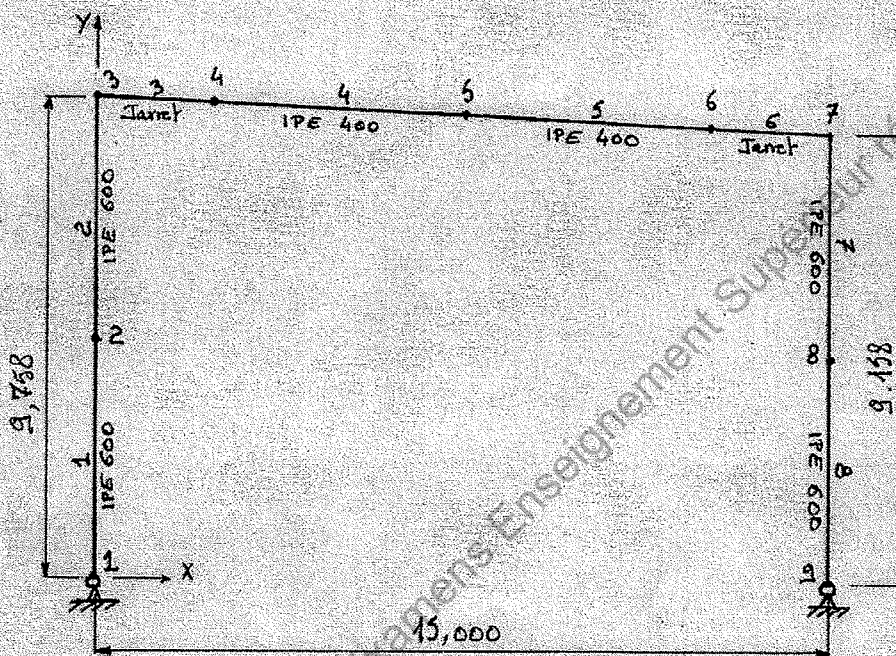
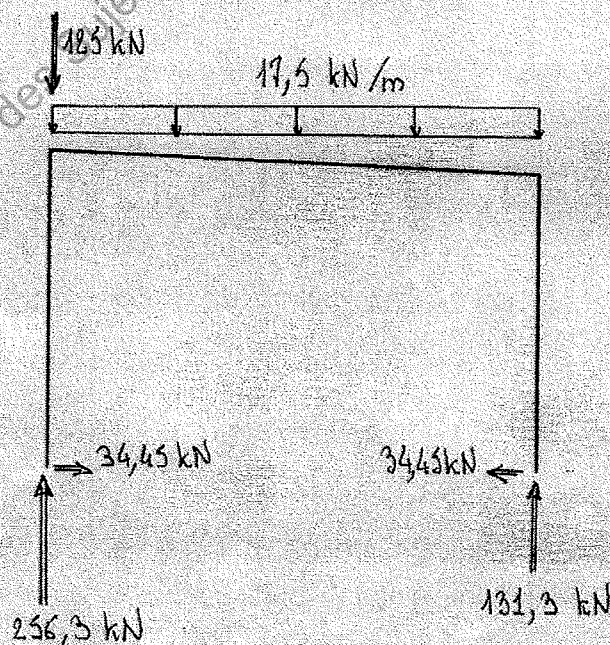
**Question 5 : Etude d'un portique courant****5.1 – Analyse informatique :**

5.1.1 – Schéma n°1 : Voir document réponse

5.1.2 – Schéma n°2 : Voir document réponse

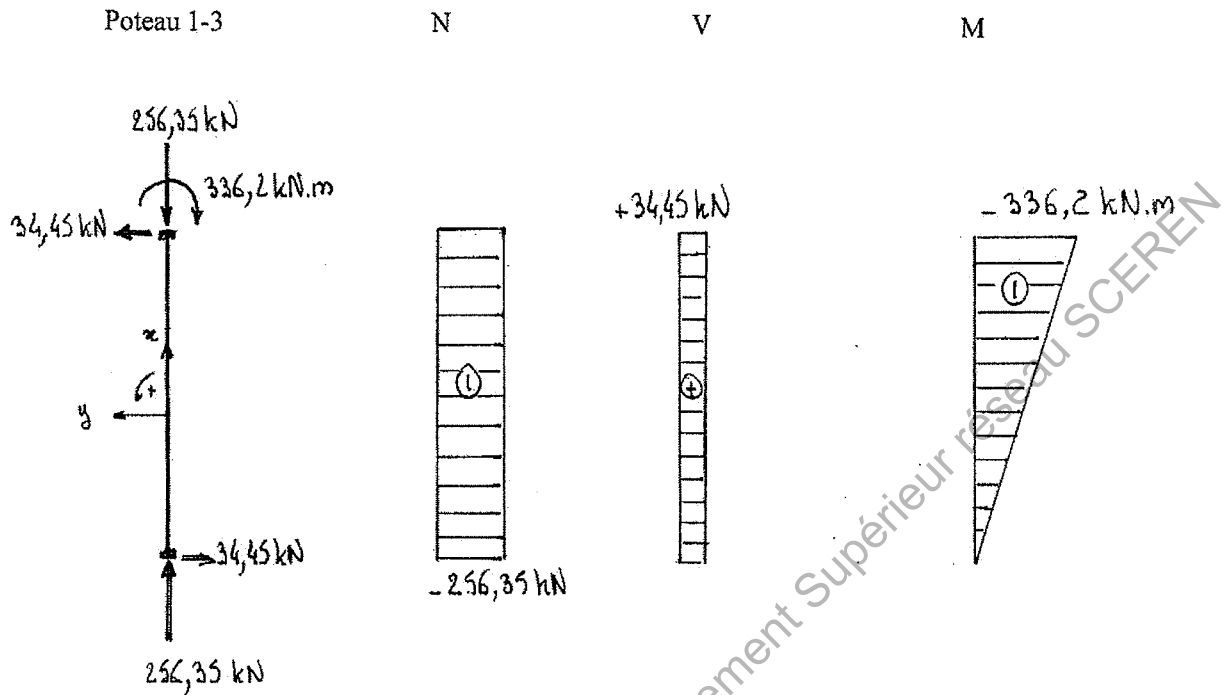
Chargement sur la traverse :  $q_y = -6,5 + (-11) = -17,5 \text{ kN/m}$ Chargement au nœud 3 :  $F_y = -45 + (-80) = -125 \text{ kN}$ 

5.1.3 – Schémas n°3 et 4 : Voir document réponse

**Schéma n°1 : Structure****Schéma n°2 : Chargement et actions aux appuis – Combinaison G + Sa**

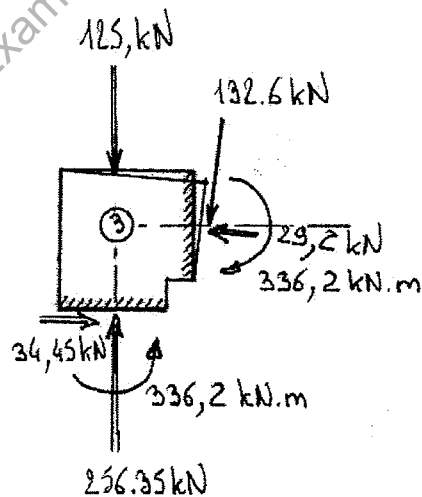
$$\text{Vent: } \sum F_y = -125 - (17,5 \times 15) + 256,3 + 131,35 = -0,2 \text{ kN} \approx 0 \text{ (Pb de l'angle)}$$

**Schéma n°3 : Poteau 1-3 en équilibre et diagrammes N, V, M**



**Schéma n°4 : Nœud 3 en équilibre**

Pente 4% :  $\alpha = 2,29^\circ$



Vérif :

$$\sum M_2 = 0 \rightarrow 0$$

$$\sum F_x = 0 \rightarrow 34,45 - 132,6 \cdot \sin \alpha - 29,2 \cos \alpha = -0,025 \approx 0 \rightarrow OK$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow 256,35 - 125 - 132,6 \cos \alpha + 29,2 \sin \alpha = +0,022 \approx 0 \rightarrow OK$$

## 5.2 – Vérification du poteau 1-3 :

## 5.2.1 – Longueur de flambement dans le plan du portique : ENV 1993 – Annexe E

Liaison en pied : articulation  $\rightarrow \eta_1 = 1$ Liaison en tête : nœud rigide  $\rightarrow \eta_3 = K_c / (K_c + K_b)$   $K_c$  : rigidité du poteau  
 $K_b$  : Rigidité de la poutre

$$\eta_3 = \frac{\frac{92083,5}{975,8}}{\frac{92083,5}{975,8} + \frac{40000}{1500}} = 0,78$$

$$\frac{L_{cr}}{L_0} = \sqrt{\frac{1 - 0,2 \cdot 1,78 - 0,12 \cdot 0,78}{1 - 0,8 \cdot 1,78 + 0,6 \cdot 0,78}} = 3,54$$

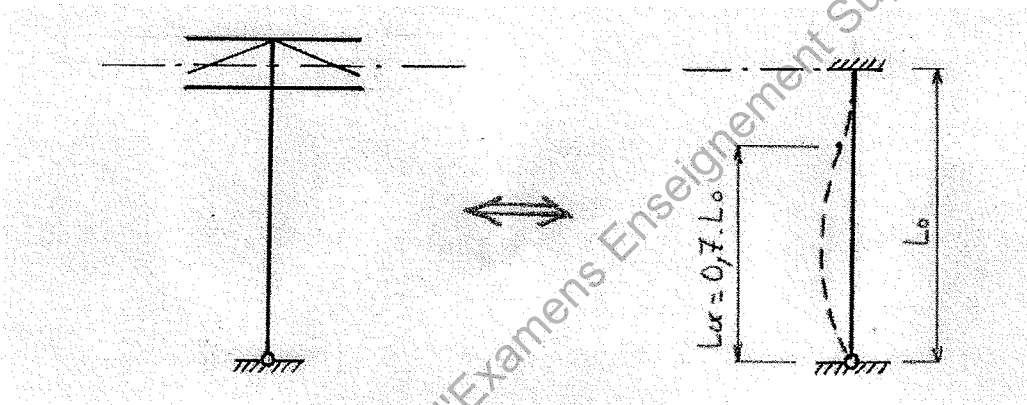
$$L_{cr,y} = 3,54 \cdot 9,758 = 34,54 \text{ m}$$

## 5.2.2 – Longueur de flambement hors du plan du portique :

Liaison en pied : articulation

Liaison en tête : encastrement, la raideur de la poutre treillis (hauteur 1500mm) limite la rotation en tête.

Structure à nœuds fixes du fait de la présence de la poutre au vent transversale.



## 5.2.3 – Vérification ELU du poteau : Compression + flexion /axe fort – IPE 600 – S 235

Section de classe 1 car  $N < 795 \text{ kN}$  (voir tableau pratique p.154)

$$N_{Ed} = 256 \text{ kN} \quad N_{pl} = A \cdot f_y = 15600 \cdot 235 = 3666 \text{ kN} \quad (N_{Ed}/N_{pl} = 0,07)$$

$$M_{y,Ed} = 336 \text{ kN.m} \quad M_{pl,y} = W_{pl,y} \cdot f_y = 3512,4 \cdot 235 = \dots = 825,4 \text{ kN.m} \quad (M_{Ed}/M_{pl,y} = 0,41)$$

Flambement dans le plan du portique

$$L_{cr,y} = 34,5 \text{ m} ; I_y = 92083,5 \text{ cm}^4 ; i_y = 24,3 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = 1603 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{N_{pl}}{N_{cr,y}}} = 1,512$$

$$\text{Courbe a : } \chi_y = 0,367$$

Flambement hors du plan du portique

$$L_{cr,z} = 6,85 \text{ m} ; I_z = 3385,8 \text{ cm}^4 ; i_z = 4,66 \text{ cm}$$

$$N_{cr,z} = 1496 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = 1,565$$

$$\text{Courbe b : } \chi_z = 0,319$$

$$\text{Rem : } \lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = 142 \Rightarrow \bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{93,9} = 1,512$$

$$\lambda_z = 147 \Rightarrow \bar{\lambda}_z = 1,565$$

Déversement :

$$M_{cr} = 956,5 \text{ kN.m}$$

avec

$$k_w = 1$$

$$E = 210000 \text{ MPa}$$

$$k_z \cdot L = 6,85 \text{ m}$$

$$G = 80770 \text{ MPa}$$

$$I_w = 2846 \cdot 10^3 \text{ cm}^6$$

$$Z_G = 0$$

$$I_t = 165,4 \text{ cm}^4$$

$$C_1 = 1,77$$

$$I_z = 3387 \text{ cm}^4$$

$$C_2 = \text{sans objet}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{M_{pl,y}}{M_{cr}}} = 0,93$$

Section laminée

$h/b > 2 \rightarrow$

Courbe b :

$$\chi_{LT} = 0,64$$

Vérification :

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{256}{0,367 \cdot \frac{3666}{1}} + 1,03 \cdot \frac{336}{0,64 \cdot \frac{825,4}{1}} \leq 1$$

$$\frac{256}{0,319 \cdot \frac{3666}{1}} + 0,59 \cdot \frac{336}{0,64 \cdot \frac{825,4}{1}} \leq 1$$

$$0,190 + 0,655 = 0,85 < 1$$

$$0,219 + 0,375 = 0,60 < 1$$

Le poteau est stable, c'est la flexion + flambement par rapport à l'axe fort qui est préjudiciable.

## Justifications complémentaires

$$\begin{array}{lll}
 N_{cr,TF} = 4236 \text{ kN} & \text{avec} & L_{cr,TF} = 6.85 \text{ m} \\
 \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}} = 0,1597 & \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}} = 0,1711 & \frac{N_{Ed}}{N_{cr,TF}} = 0,0604 \\
 \bar{\lambda}_{0,lim} = 0,25 & \text{avec} & C1 = 1,77
 \end{array}$$

Pour un moment uniforme  $M_{cr,0} = 956,5/1,77 = 540 \text{ kN.m} \rightarrow \lambda_0 = \sqrt{\frac{825,4}{540}} = 1,24$

$$\bar{\lambda}_0 > \bar{\lambda}_{0,lim} :$$

$$\begin{array}{lll}
 C_{my,0} = 0,7710 & \text{pour un diagramme linéaire} & \text{et } \psi = 0 \\
 C_{my} = 0,936 & \text{avec } \varepsilon_y = \frac{M_y}{N_{Ed}} \cdot \frac{A}{W_{el,y}} = 6,669 & \text{et } a_{LT} = 1 - \frac{I_t}{I_y} = 0,9982 \\
 C_{mLT} = 1,002 \approx 1 & (C_{mLT} > 1) &
 \end{array}$$

$$b_{LT} = 0 \quad \text{car} \quad M_z = 0 \quad w_y = W_{pl,y}/W_{el,y} = 1,144 (\leq 1,5)$$

$$C_{yy} = 0,97 \quad \geq \quad W_{el,y}/W_{pl,y} = 0,874$$

$$\mu_y = 0,8926 \quad \boxed{k_{yy} = 1,03} \quad ? \text{ à vérifier}$$

$$d_{LT} = 0 \quad \text{car} \quad M_z = 0 \quad w_z = W_{pl,z}/W_{el,z} = 1,578 \leq 1,5 !$$

$$C_{mz} = C_{mz,0} = 1,041 \quad \text{inutile car} \quad M_z = 0$$

$$C_{zy} = 0,866 \quad \geq 0,458 \quad \boxed{k_{zy} = 0,590} \quad ? \text{ à vérifier}$$

Pour le fun j'ai procédé également à la vérification dite simplifiée en classe 3 :

$$M_{el,y} = 721,45 \text{ kN.m}$$

Flambement  $\rightarrow$  idem

$$\text{Déversement} \rightarrow \bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{M_{el,y}}{M_{cr}}} = 0,8685 \quad \Rightarrow \quad \chi_{LT} = 0,68$$

$$C_{my} = 0,936 \quad C_{mLT} = 1,0 \quad (\text{les calculs intermédiaires sont identiques})$$

$$C_{yy} \text{ inutile} \rightarrow k_{yy} = 1,0$$

$$C_{zy} \text{ inutile} \rightarrow k_{zy} = 0,98 \quad (\text{écart surprenant / classe 1})$$

Vérification :

$$\begin{array}{ll}
 0,190 + 1,0 \cdot \frac{336}{0,68 \cdot \frac{721,45}{1}} \leq 1 & 0,219 + 0,98 \cdot \frac{336}{0,68 \cdot \frac{721,45}{1}} \leq 1
 \end{array}$$

$$0,190 + 0,685 = 0,875 < 1 \quad (+3\% / \text{classe 1})$$

$$0,219 + 0,671 = 0,89 < 1 \quad (\text{écart surprenant / classe 1})$$

Bizarre : la deuxième vérification devient prédominante !



Conclusion :

Sur la méthode :

Vérification manuelle impossible à faire, la probabilité d'arriver au bout avec exactitude est quasi nulle vu le nombre de facteurs et de quantités à manipuler et à calculer.

Tous les calculs qui précèdent demandent à être vérifiés.

Il est difficile (impossible) de cerner la signification et l'impact des différents calculs effectués.

Sur les résultats de cette vérification :

En classe 1, il apparaît que :

- une flexion en simple courbure par rapport à l'axe fort aggrave le phénomène de flambement par rapport à l'axe fort ( $k_{yy} > 1$ )
- une flexion en simple courbure par rapport à l'axe fort minimise le phénomène de flambement par rapport à l'axe faible ( $k_{zy} < 1$ )

En classe 3, il apparaît que :

- la première vérification vis-à-vis du flambement/axe fort semble cohérente avec l'analyse précédente
- la deuxième vérification vis-à-vis du flambement/axe faible diverge de façon inquiétante avec l'analyse précédente.

Sur l'analyse globale de la structure :

- il y a fort à parier que sous la combinaison de charge étudiée (G+Sa), la structure soit rigide dans le plan du portique et que la longueur de flambement  $L_{cr,y}$  soit réduite à  $L_0$ . Cela remet en cause l'intégralité de la vérification.

Base Nationale des Sujets d'Examens Enseignement Supérieur-réseau SEREN