



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

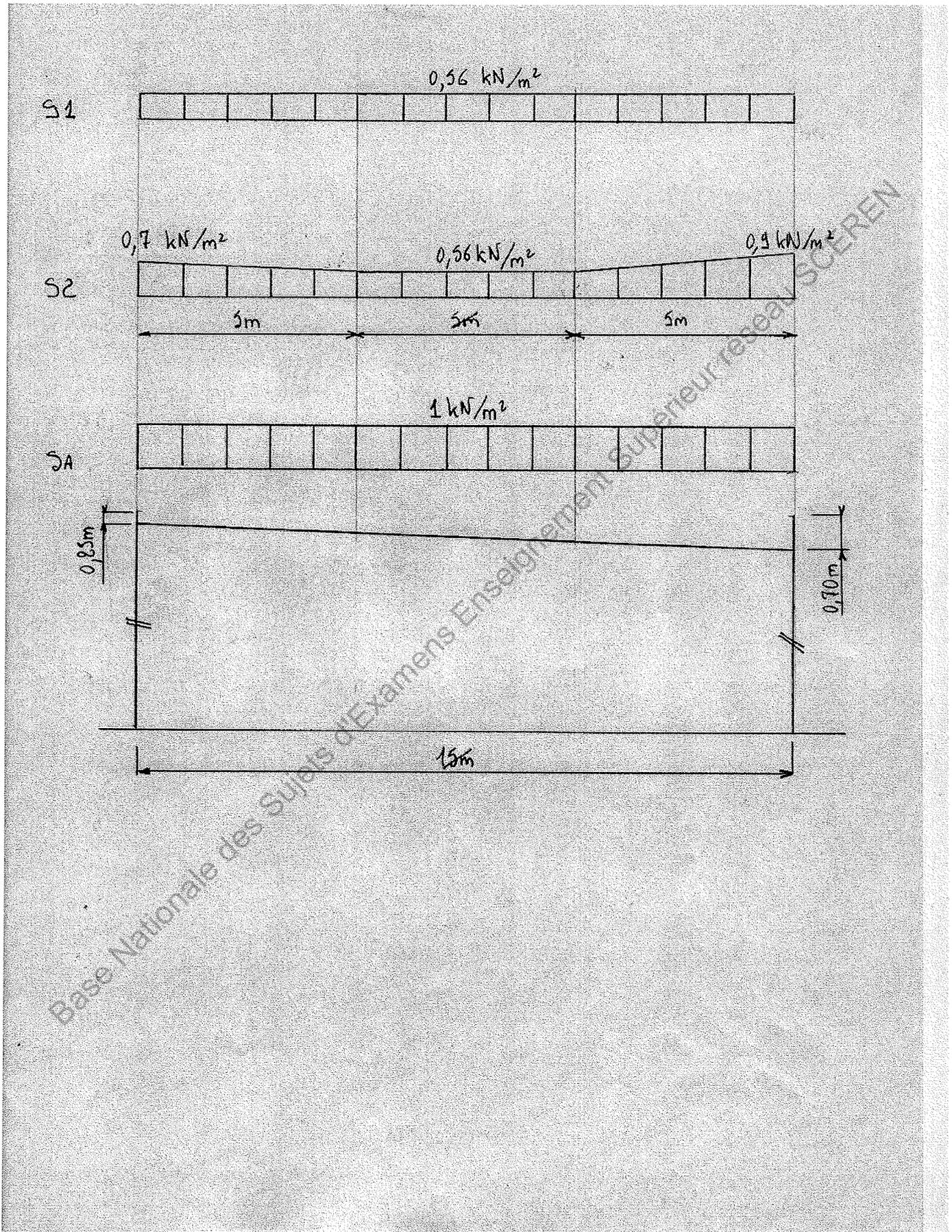
Ces éléments de correction n'ont qu'une valeur indicative. Ils ne peuvent en aucun cas engager la responsabilité des autorités académiques, chaque jury est souverain.

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_A : 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 :

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

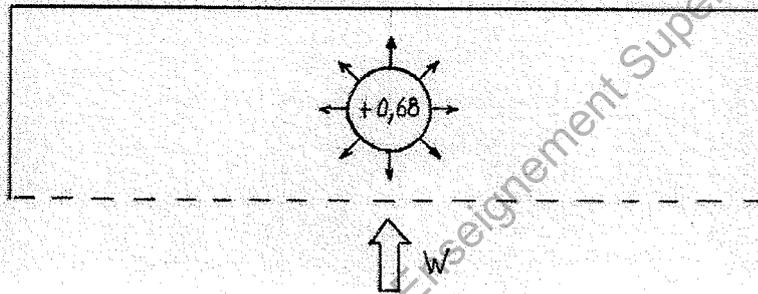
2.2 – Coefficients de pression extérieure : voir DR 2

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	$W^- = -0,78 \cdot 10 \cdot 1,1 = -8,58 \text{ kN/m}$

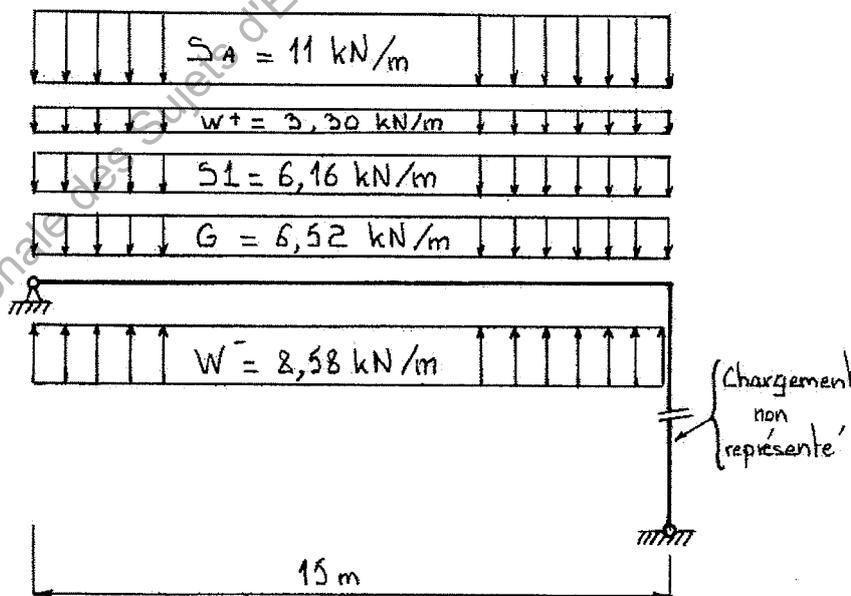
3.3 – Charges permanentes:

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_{pe} **Direction du vent :** TRANSVERSALE $\theta = \text{Sans objet}$ **Caractéristiques du bâtiment :**

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

Type de toiture : Terrasse + acrotère**Angle versant $\alpha = 1,72^\circ$**

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

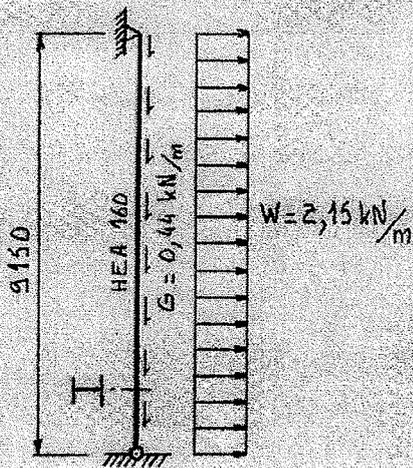
Question 4: Etude d'un potelet HEA 160 – S 235

4.1 – Etude des sollicitations:

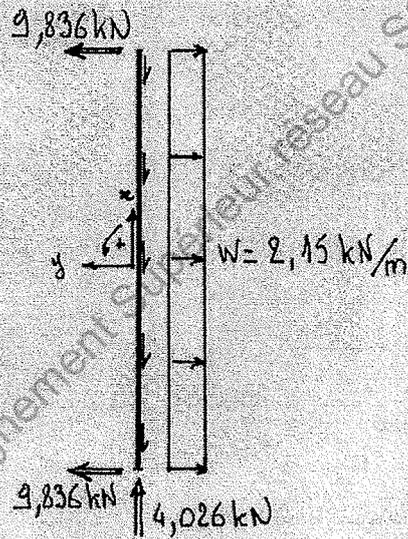
Document DR3 à compléter

Document réponse : DR 3 - CORRIGÉ

Schéma mécanique et chargement :



Potelet en équilibre :



SOLLICITATIONS

Diagramme N



⊖ Compression

Diagramme V

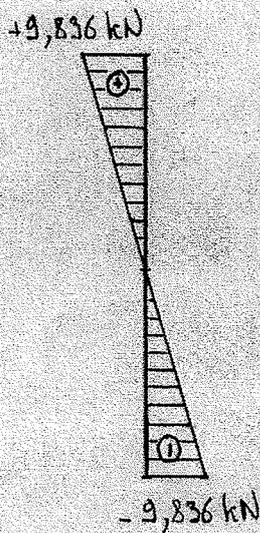
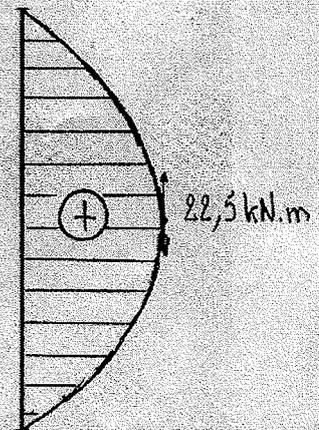


Diagramme M



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

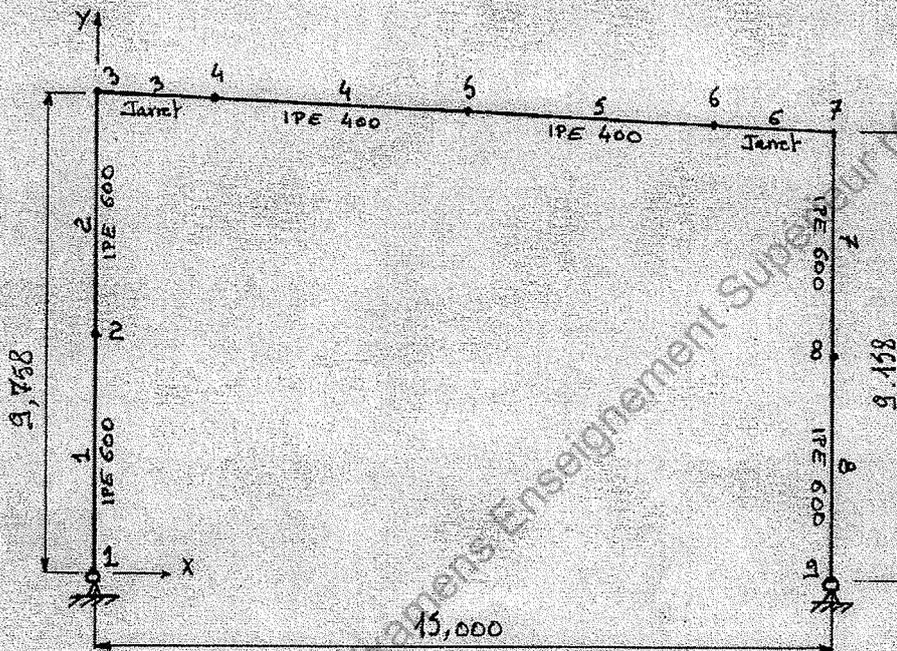
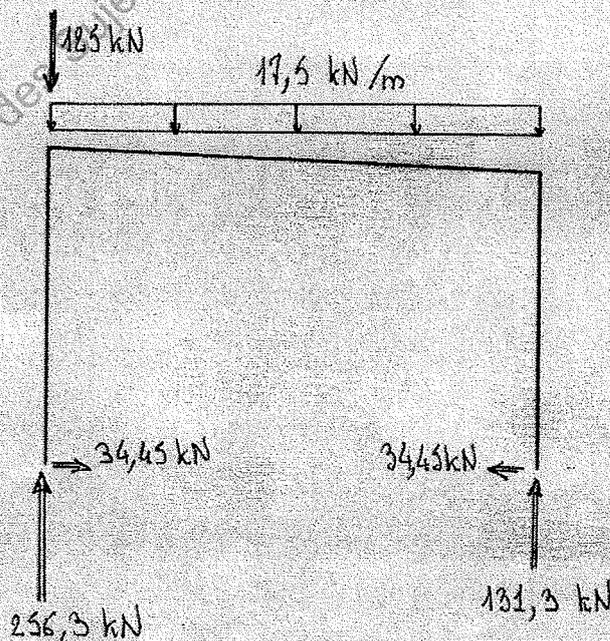


Schéma n°2 : Chargement et actions aux appuis – Combinaison G + Sa



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

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

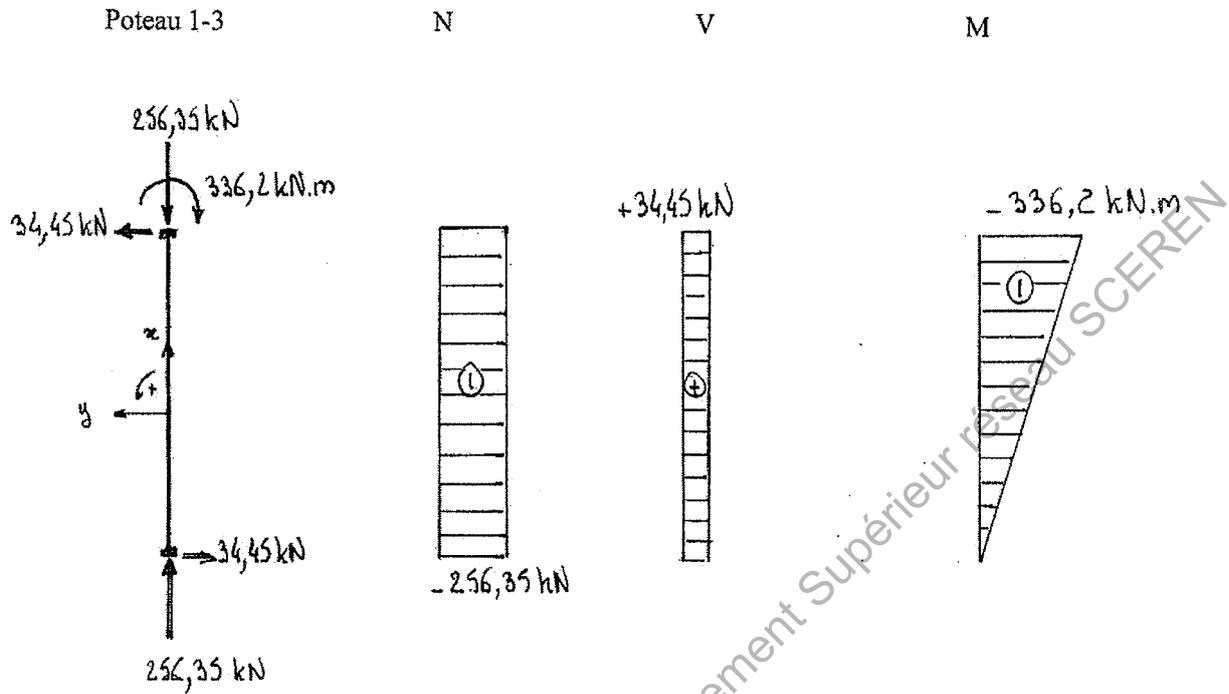
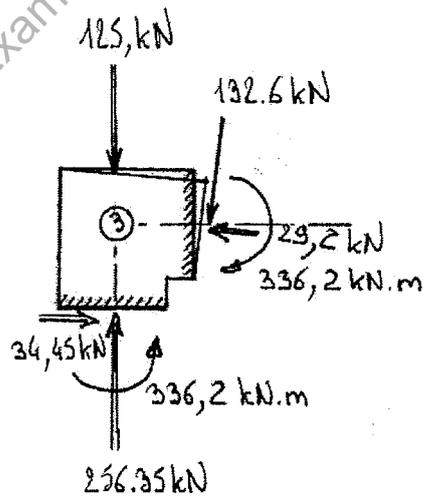


Schéma n°4 : Nœud 3 en équilibre

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



Vérif :

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

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

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

86

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

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

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

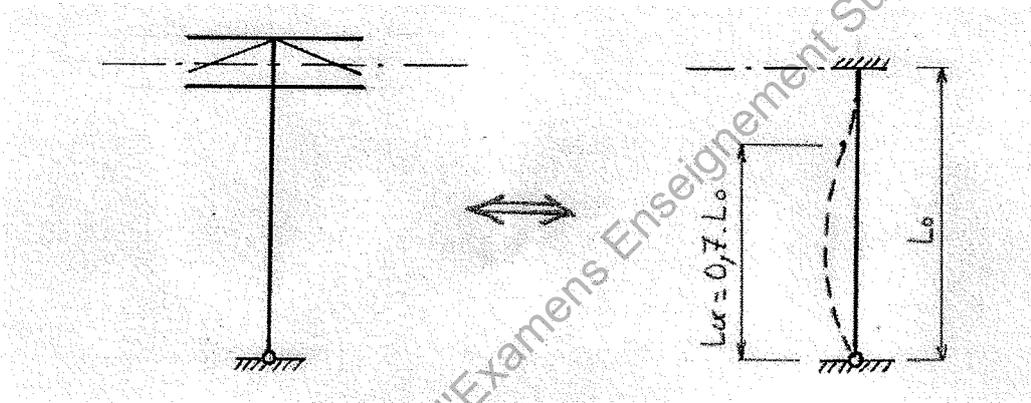
$$L_{cr,y} = 3,54 \cdot 9,758 = 34,54 \text{ m}$$

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 :

$$0,190 + 1,0 \cdot \frac{336}{0,68 \cdot \frac{721,45}{1}} \leq 1 \quad 0,219 + 0,98 \cdot \frac{336}{0,68 \cdot \frac{721,45}{1}} \leq 1$$

$$0,190 + 0,685 = 0,875 < 1 \text{ (+3\% /classe1)} \quad 0,219 + 0,671 = 0,89 < 1 \text{ (écart surprenant/classe1)}$$

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.