



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.

Eléments indicatifs de corrigé

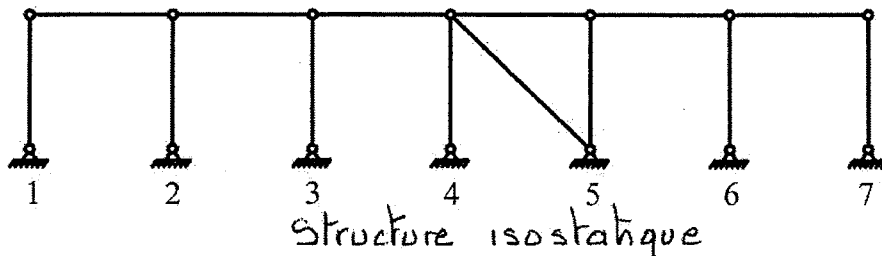
BTS Constructions Métalliques

Epreuve : Conception

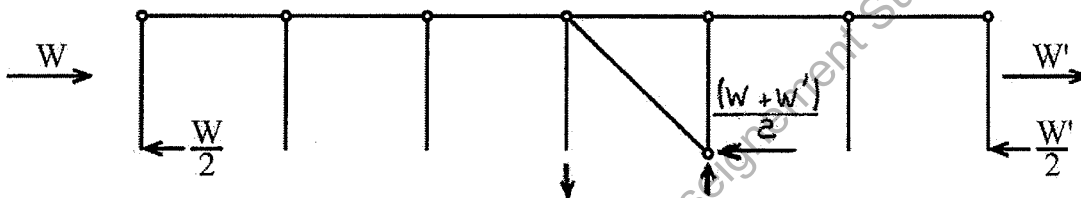
Partie 1 : Etude de la stabilité de l'ouvrage

A – Stabilité longitudinale :

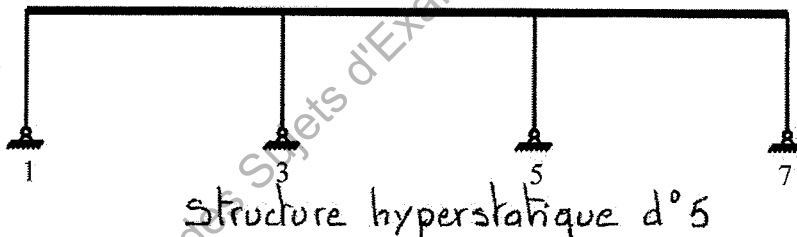
. Schéma A1 : Stabilité longitudinale File A -- Analyse



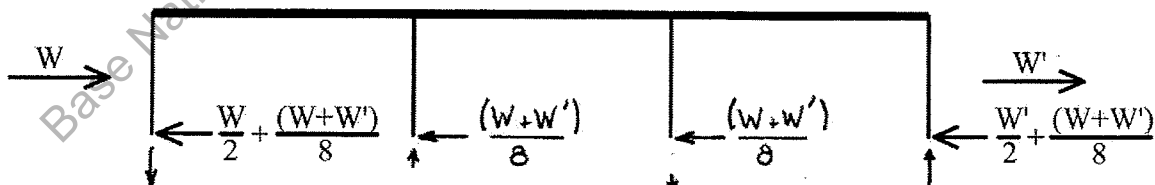
. Schéma A2 : Stabilité longitudinale File A - Actions aux appuis



. Schéma A3 : Stabilité longitudinale File D -- Analyse



. Schéma A4 : Stabilité longitudinale File D -- Actions aux appuis



Actions horizontales : Les sens sont logiques, les valeurs approximatives dépendent du modèle du chargement et résultent de $\sum F_x = 0$

Actions verticales : Logiques en 1 et 7, impossible à "sentir" en 3 et 5 (question rajoutée en commission de test)

B – Stabilité transversale :

B.1 – Schéma mécanique des structures de pignons

B.2 – Schéma mécanique des 1/2 portiques

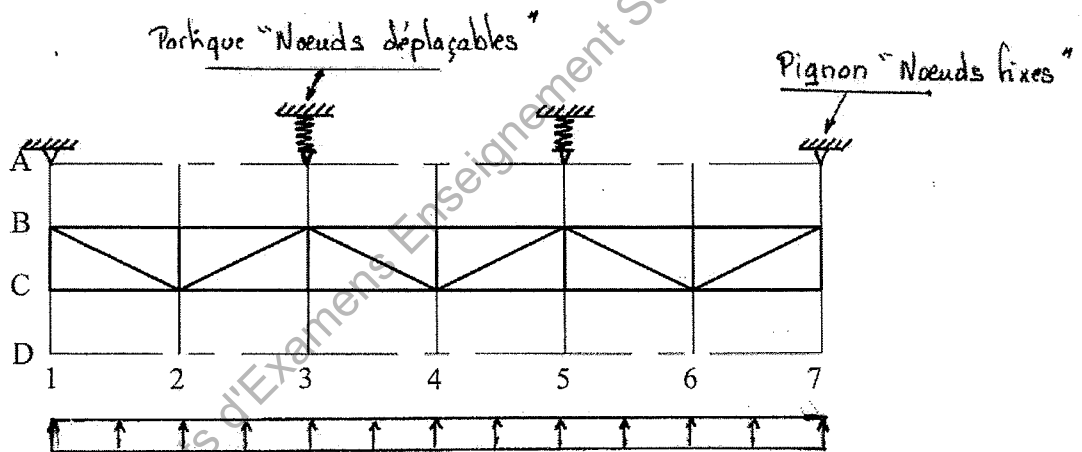


C – Stabilité de versant :

C.1 - Rôle de la poutre au vent longitudinale :

- rigidifier le versant vis-à-vis des actions dues au vent transversal
- assurer la stabilité horizontale des 1/2 portiques
- acheminer les actions vers les stabilités transversales

C2 – Schéma C2 :



C.3 – Rôle de la poutre au vent transversale :

- rigidifier le versant vis-à-vis des actions dues au vent longitudinal
- contribuer à la rigidité horizontale du portique File D
- acheminer ces actions vers la palée de stabilité de long pan (File A, travée 4-5)

D – Poutre treillis (File D) :

D.1 – Rôle de la poutre treillis :

- servir d'appui (vertical) aux 1/2 portiques
- acheminer les actions verticales vers les portiques et pans de fer

Partie 2 : Etude d'un contreventement**2.1 – Dimensionnement à la traction d'une barre de contreventement :**

$$2.1.1 - N_{Ed} = 135kN \leq N_{pl} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \Rightarrow A \geq \frac{135000}{235} = 575mm^2$$

Choix mini $\Phi 48,3 \text{ ep } 5$ ($A = 680 \text{ mm}^2$)

$$2.1.2 - \text{Flèche} \quad \Delta = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{5 \cdot 53,4 \cdot 10^{-3} \cdot 11200^4}{384 \cdot 210000 \cdot 16,2 \cdot 10^4} = 321,6mm \quad \text{soit } \frac{l}{35} !$$

2.2 – Dimensionnement de l'attache d'extrémité :

2.2.1 – Les boulons sont sollicités au cisaillement double, il faut vérifier :

$$F_{V,Ed} \leq F_{V,Rd} \quad \text{avec} \quad F_{V,Ed} = N_{Ed}/2 = 67,5 \text{ kN} \quad (\text{effort sur un boulon})$$

$$F_{V,Rd} = 2 \cdot \frac{\alpha_V \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} \quad (\text{résistance d'un boulon au cisaillement double})$$

$$\text{Soit} \quad A_s \geq \frac{67500 \cdot 1,25}{2 \cdot 600 \cdot 0,5} = 141mm^2 \quad \text{Choix mini HM 16 – classe 6-8 – } A_s = 157 \text{ mm}^2$$

2.2.2 – Condition de pression Φ :

$$\text{Il faut vérifier :} \quad F_{V,Ed} \leq F_{b,Rd} \quad \text{avec} \quad F_{V,Ed} = N_{Ed}/2 = 67,5 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{f_{ub}}{f_u} \text{ ou } 1; \frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}\right) = 0,56$$

$$\frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{600}{360} = 1,67 \quad \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{30}{3 \cdot 18} = 0,56 \quad \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \text{sans objet}$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = 2,19$$

$$2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{25}{18} - 1,7 = 2,19$$

$$\text{Soit} \quad t \geq \frac{67500 \cdot 1,25}{2,19 \cdot 0,56 \cdot 16 \cdot 360} = 11,95mm \quad \text{Choix } t = 12mm$$

$$2.2.3 - N_{Ed} = 135kN \leq N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \Rightarrow A_{net} \geq \frac{1,25 \cdot 135000}{0,9 \cdot 360} = 521mm^2$$

$$h = \frac{A_{net}}{t} + 2 \cdot d_0 = \frac{521}{12} + 2 \cdot 18 = 79,4mm \quad \text{mais} \quad h \geq 2 \cdot e_2 + p_{2,min i} = 2 \cdot 25 + 2 \cdot 4 \cdot 18 = 93,2mm$$

$$\text{Choix } h = 100 \text{ mm}$$

2.2.4 – Cordons de soudure : $a = 3 \text{ mm}$ (cordon mini pour $t = 12$)

$$F_{w,Ed} = 135 \text{ kN} \leq F_{w,Rd} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} \cdot \sum a \cdot l = f_{vw,Rd} \cdot a \cdot \sum l \Rightarrow \sum l \geq \frac{135000}{208.3} = 216,4 \text{ mm}$$

$$L \geq \frac{216,4}{4} + 2.3 = 60,1 \text{ mm}$$

2.3 – Condition de ductilité :

$$N_{u,Rd} = (0,9 \cdot [100 - 2.18] \cdot 12.360) / 1,25 = 199 \text{ kN}$$

$$N_{pl} = 680.235 = 159,8 \text{ kN} \quad (\Phi 48,3 \text{ ep } 5)$$

La condition de ductilité est satisfaite, pas de risque de rupture fragile mais il conviendrait de surdimensionner les soudures. ($F_{w,Rd} > N_{u,Rd}$)

2.4 – Vérification au flambement du profil $\Phi 139,7 \text{ ep } 5$: ($A = 21,2 \text{ cm}^2$; $I = 481 \text{ cm}^4$; $i = 4,77 \text{ cm}$)

$$2.3.1 - L_{cr} = L_0 = 11,2 \text{ m} \quad N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2} = 79,47 \text{ kN} \quad N_{pl} = A \cdot f_y = 498,2 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{pl}}{N_{cr}}} = 2,503 \Rightarrow \text{Courbe a : } \chi = 0,1464 \Rightarrow N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 72,9 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{135}{72,9} = 1,85 > 1!$$

Vérification non satisfaite, barre instable

2.3.2 – Contrairement à la résistance d'une section, l'augmentation de nuance n'agit pas de manière significative sur la résistance de l'élément à une instabilité .

2.3.3 - Optimisation :

$$\Phi 139,7 \text{ ep } 12,5 - S235 \quad \bar{\lambda} = 2,64 \quad \chi = 0,1323 \quad N_{b,Rd} = 155,4 \text{ kN} \quad \text{Ratio : } 0,87$$

$$\Phi 139,7 \text{ ep } 12,5 - S355 \quad \bar{\lambda} = 3,245 \quad \chi = 0,08903 \quad N_{b,Rd} = 158 \text{ kN} \quad \text{Ratio : } 0,85$$

(gain stabilité $\approx 2\%$ pour un gain de résistance $\approx 50\%$)

$$\Phi 177,8 \text{ ep } 5 - S235 \quad \bar{\lambda} = 1,95 \quad \chi = 0,234 \quad N_{b,Rd} = 148 \text{ kN} \quad \text{Ration : } 0,91$$

Poids du $\Phi 139,7 \text{ ep } 12,5 = 39,2 \text{ kg/m}$

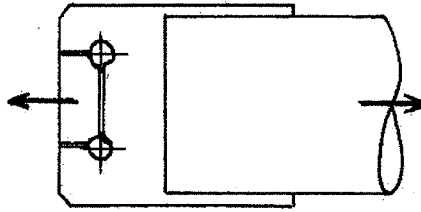
Poids du $\Phi 177,8 \text{ ep } 5 = 21,3 \text{ kg/m}$

Calcul approché par excès $\pi \cdot 177,8 \cdot 0,5 \cdot 100 \cdot 7,85 \text{ gr/cm}^3 = 21\,900 \text{ gr/m} = 21,9 \text{ kg/m}$

Choix $\Phi 177,8 \text{ ep } 5$: gain de poids (- 45%) = meilleur rendement

2.4 - Résistance d'une attache d'extrémité (question subsidiaire non posée)

2.4.1 – Schéma de la rupture de bloc possible



$\Phi 139,7$	$d_0 = 20 \text{ mm}$
$e_1 = 30 \text{ mm}$	
$e_2 = 40 \text{ mm}$	$p_2 = 80 \text{ mm}$
$h = 160 \text{ mm}$	$t = 12 \text{ mm}$

2.4.2 – Résistance de calcul au cisaillement de bloc : attache centrée S 235

$$V_{eff,1,Rd} = \frac{A_{nt} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} + \frac{A_{nv} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}} \quad \text{avec} \quad A_{nt} = (80 - 2 \cdot 10) \cdot 12 = 720 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = 2 \cdot (30 - 10) \cdot 12 = 480 \text{ mm}^2$$

$$V_{eff,1,Rd} = \frac{720 \cdot 360}{1,25} + \frac{480 \cdot 135}{1} = 207360 + 64800 \approx 272 \text{ kN}$$

2.4.3 – Résistance en section nette :

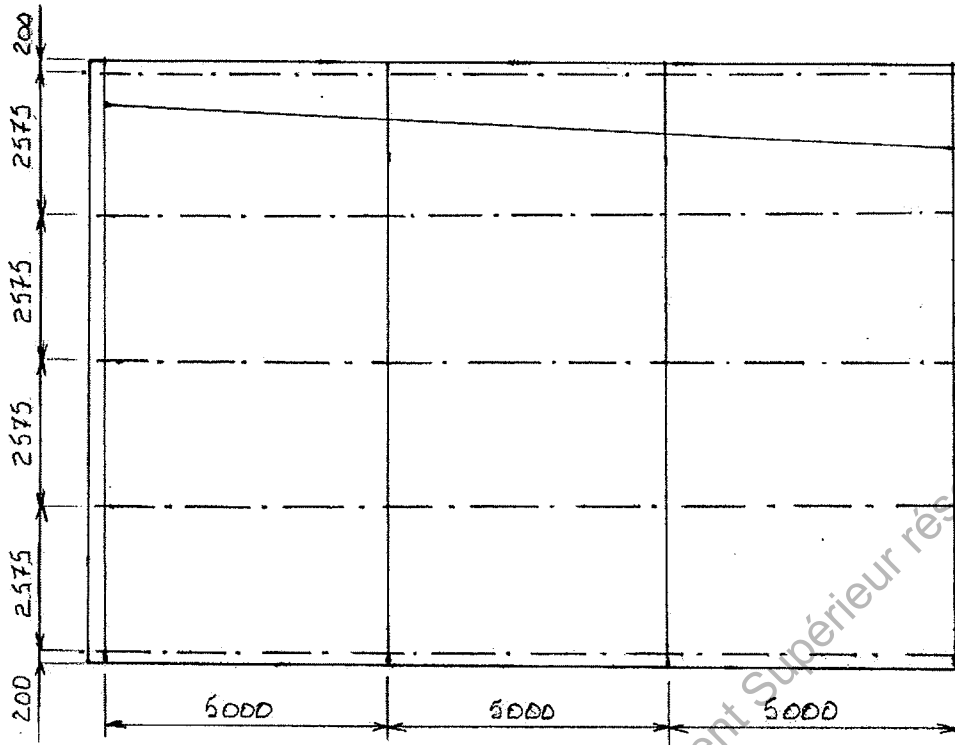
$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot (160 - 2 \cdot 20) \cdot 12 \cdot 360}{1,25} = 373248 \text{ N} \approx 373 \text{ kN}$$

2.4.4 – La rupture de cisaillement de bloc est prédominante

Partie 3 : Habillage des pignons

D'après l'Annexe 2, l'écartement entre lisses doit être compris entre 1,60m et 4m, le candidat doit s'orienter sur une solution comportant 4,5 ou 6 lisses. Toute solution cohérente sera considérée exacte.

3.1 – Schéma de pourtrason du pignon : (proposition : 5 lisses)



3.2 – Résistance du panneau de bardage :

Modèle mécanique hyperstatique (panneau continu sur 5 appuis → résultats 3 appuis)

Portée 2,60 m :	Pression	Dépression
ep 0,63	87 daN/m ² = 0,87 kN/m ²	79 daN/m ² = 0,79 kN/m ²
ep 0,75	135 daN/m ² = 1,35 kN/m ²	119 daN/m ² = 1,19 kN/m ²

Vérification :

Pression subie dans la zone la plus exposée : $w^+ = q_p \cdot c_p^+ = 0,6 \cdot 1,5 = 0,90 \text{ kN/m}^2$

Dépression subie dans la zone la plus exposée : $w^- = 0,6 \cdot 1,88 = -1,13 \text{ kN/m}^2$

La condition de résistance en pression et dépression impose un panneau d'épaisseur 0,75

3.3 – Dimensionnement des lisses : montage supposé isostatique, portée 5m

Calculs à adapter à l'écartement des lisses retenu par le candidat

ELU :

Combinaison 1,5.W → situation défavorable en dépression $w = 0,60 \cdot 1,88 = -1,13 \text{ kN/m}^2$

$q_u = 1,5 \cdot 1,13 \cdot 2,575 = 4,36 \text{ kN/m}$

$$M_{Ed} = \frac{q_u \cdot l^2}{8} = \frac{4,36 \cdot 5^2}{8} = 13,62 \text{ kN} \cdot \text{m} \leq M_{ply} = W_{ply} \cdot f_y \Rightarrow W_{ply} \geq \frac{13,62 \cdot 10^6}{235} = \dots = 58 \text{ cm}^3$$

Profil IPE 120 – $W_{ply} = 60,7 \text{ cm}^3$ – ($I_y = 317,8 \text{ cm}^4$)

ELS :

Combinaison W → situation défavorable en dépression $w = -1,13 \text{ kN/m}^2$
 $q_s = 1,13 \cdot 2,575 = 2,91 \text{ kN/m}$

$$\Delta = \frac{5 \cdot q_s \cdot l^4}{384 \cdot 210000 \cdot I_y} \leq \frac{l}{150} \Rightarrow I_y \geq \frac{5 \cdot 150 \cdot 2,91 \cdot 5000^3}{384 \cdot 210000} = \dots = 338 \text{ cm}^4$$

Profil IPE 140 – $I_y = 541,2 \text{ cm}^4$

Profil retenu: IPE 140 – S 235

3.5 – Vérification d'une lisse continue : (question subsidiaire non posée)

(les actions caractéristiques du vent $q_z = 2,3 \text{ kN/m}$ et $q_y = 0,2 \text{ kN/m}$ étaient données, ainsi qu'un formulaire de la poutre sur 4 appuis)

3.5.1 – Vérification ELU : IPE 100 S235 → Section de classe 1 flexion

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \right]^\beta \leq 1 \quad \text{avec} \quad \alpha = 2 \quad \beta = 1 \quad \text{section I ou H}$$

Combinaison ELU : 1,35G + 1,5W soit $q_{uz} = 1,5 \cdot 2,3 = 3,45 \text{ kN/m}$
 $q_{uy} = 1,35 \cdot 0,2 = 0,27 \text{ kN/m}$

Section la plus sollicitée: appui intermédiaire

$$M_{y,Ed} = 0,1 \cdot q_{uz} \cdot l^2 = 0,1 \cdot 3,45 \cdot 5^2 = 8,625 \text{ kN.m} \quad M_{z,Ed} = 0,1 \cdot q_{uy} \cdot l^2 = 0,1 \cdot 0,27 \cdot 5^2 = 0,675 \text{ kN.m}$$

$$M_{y,Rd} = W_{ply} \cdot f_y = 39,4 \cdot 235 = \dots = 9,259 \text{ kN.m} \quad M_{z,Rd} = W_{plz} \cdot f_y = 9,1 \cdot 235 = \dots = 2,138 \text{ kN.m}$$

$$\text{Vérification: } (8,625/9,259)^2 + (0,675/2,138) = 0,868 + 0,315 = 1,18 > 1!$$

Vérification ELU non satisfaite

(avec un lien intermédiaire, on diminue sensiblement la flexion/axe faible)

3.5.2 – Vérification ELS:

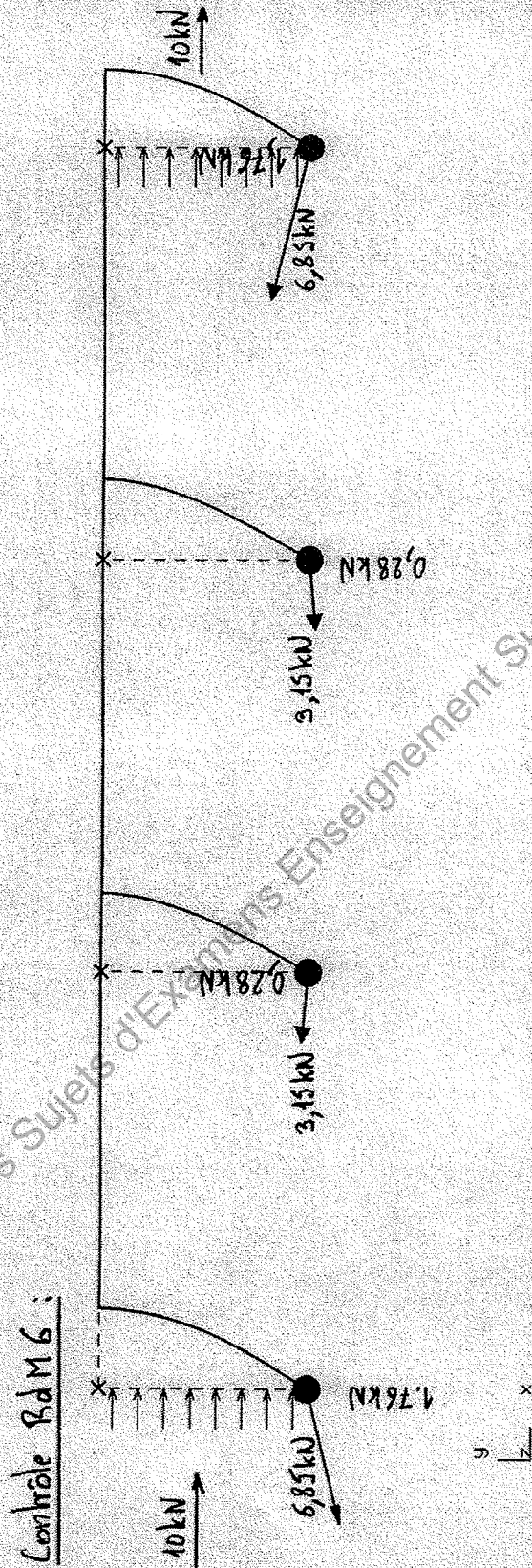
Critère ELS: $w_{\max} \leq w_{\text{adm}} = l/150 = 33,33 \text{ mm}$ sous la combinaison G + W

Flèche calculée au milieu de la travée de rive

$$\text{Flèche horizontale : } w_z = \frac{27 \cdot q_z \cdot l^4}{4000 \cdot E \cdot I_y} = \frac{27 \cdot 2,3 \cdot 5000^4}{4000 \cdot 210000 \cdot 171 \cdot 10^4} = 27,02 \text{ mm}$$

$$\text{Flèche verticale : } w_y = \frac{27 \cdot q_y \cdot l^4}{4000 \cdot E \cdot I_z} = \frac{27 \cdot 0,2 \cdot 5000^4}{4000 \cdot 210000 \cdot 15,91 \cdot 10^4} = 25,25 \text{ mm}$$

Vérification ELS satisfaite si on dispose un lien pour neutraliser w_y



Cas de charge 1

Base Nationale des Sujets d'Examens Enseignement Supérieur réseau SCEREN