

Date : 22 décembre 2005

Heure : 9h30 - 12h00

Notes : Toute documentation permise

L'usage de calculatrices programmables ou non est permis

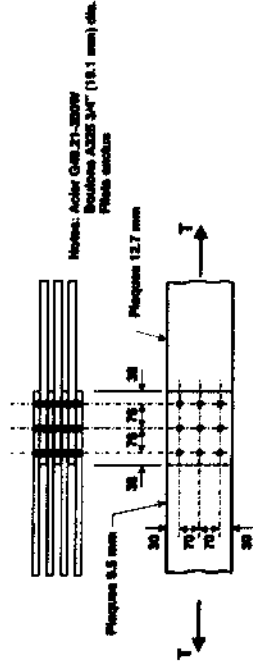
**QUESTION 1 (6 points)**

Répondre brièvement aux questions suivantes :

- Déterminer de combien sera réduite la résistance au glissement d'un assemblage boulonné anti-glissement si les boulons doivent transmettre un effort de traction égal au quart de l'effort de pré-tension minimum requis.
- Relativement à la conception des poutres mixtes, donner une situation pour laquelle l'utilisation d'une action mixte partielle permettrait de réduire les coûts par rapport à une poutre avec action mixte totale.
- Lorsque l'on fait la conception d'un assemblage, on se doit de vérifier tous les états limites le long du cheminement des efforts. Quelle est la seconde règle importante à respecter dans ce travail de conception?
- Lorsque l'on évalue la résistance d'un assemblage boulonné concordance en cisaillement comprenant plusieurs boulons, on suppose que l'effort à transmettre est distribué également entre tous les boulons. Quelle est la propriété de l'acier qui permet de faire cette hypothèse?
- Plusieurs paramètres influencent la résistance d'une poutre au déversement. Certains sont liés au matériau (E, F<sub>y</sub>, contraintes résiduelles, déformations initiales), d'autres aux propriétés de la section (I<sub>y</sub>, J, C<sub>w</sub>). Donnez deux autres paramètres qui peuvent aussi avoir une influence sur la résistance d'une poutre au déversement.
- Pour les assemblages des structures en acier, donner la principale raison pour laquelle on cherche à concentrer les opérations de soudage en usine.

**QUESTION 2 (2 points)**

Pour l'assemblage ci-dessous, déterminer la résistance pondérée T, correspondant aux deux états limites ultimes suivants : 1) cisaillement des boulons; 2) écrasement de l'acier contre les boulons.



**QUESTION 3 (5 points)**

Un plancher est fait de poutres parallèles W410x74 qui sont régulièrement espacées de 2.8 m o/c. Les poutres supportent une dalle de béton pleine ayant une épaisseur constante de 180 mm (pas de tablier métallique). Les poutres sont simplement appuyées à leurs deux extrémités et ont une longueur de 10 m. Les propriétés de l'acier, du béton, des goulons et de la section d'acier sont données ci-dessous.

- Vérifier que la résistance en flexion des poutres mixtes, M<sub>u</sub>, est égale à 984 kN-m si on adopte une action mixte totale.
- Déterminer le nombre total de goulons requis pour une poutre pour développer la résistance M<sub>u</sub> calculée en a).
- Quel est le nombre total de goulons requis pour une action mixte partielle de 70%?
- Calculer la résistance pondérée à l'effort tranchant des poutres mixtes.

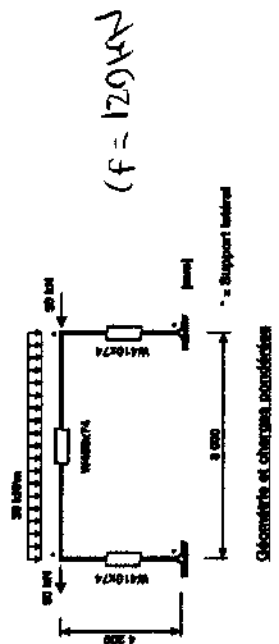
Acier : CSA-G40.21-350W  
Béton : f<sub>c</sub> = 20 MPa, E<sub>c</sub> = 20 000 MPa  
Goulons : 19 mm de diamètre, q = 74.6 kN / goujon

W410x74 : A = 9540 mm<sup>2</sup>      I<sub>y</sub> = 15.6x10<sup>8</sup> mm<sup>4</sup>  
 I<sub>x</sub> = 275x10<sup>8</sup> mm<sup>4</sup>      r<sub>y</sub> = 40.4 mm  
 S<sub>x</sub> = 1330x10<sup>3</sup> mm<sup>3</sup>      C<sub>w</sub> = 614x10<sup>6</sup> mm<sup>6</sup>  
 Z<sub>x</sub> = 1510x10<sup>3</sup> mm<sup>3</sup>      W = 9.7 mm  
 r<sub>x</sub> = 170 mm

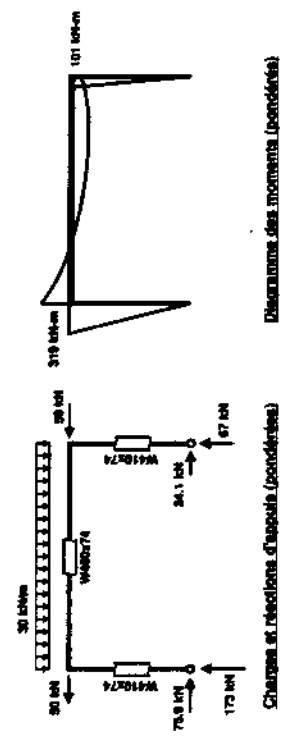
**QUESTION 4 (7 points)**

On utilise une section d'acier W410x74 dont les propriétés sont données au numéro 3 pour construire les poteaux du portique montré ci-dessous. L'acier est de type CSA-G40.21-350W. Les deux poteaux sont supportés latéralement à leurs deux extrémités (il n'y a aucun autre support entre les deux extrémités). Noter également que ce sont les poteaux qui assurent la stabilité latérale de l'ouvrage. Les efforts montrés sont des efforts pondérés. ~~La question ne porte que sur le poteau de gauche.~~

- a) Pourquoi le poteau de gauche est-il le plus critique des deux poteaux?
- b) Vérifier que le poteau de gauche est de classe 1.
- c) Vérifier la stabilité hors du plan de flexion du poteau de gauche.



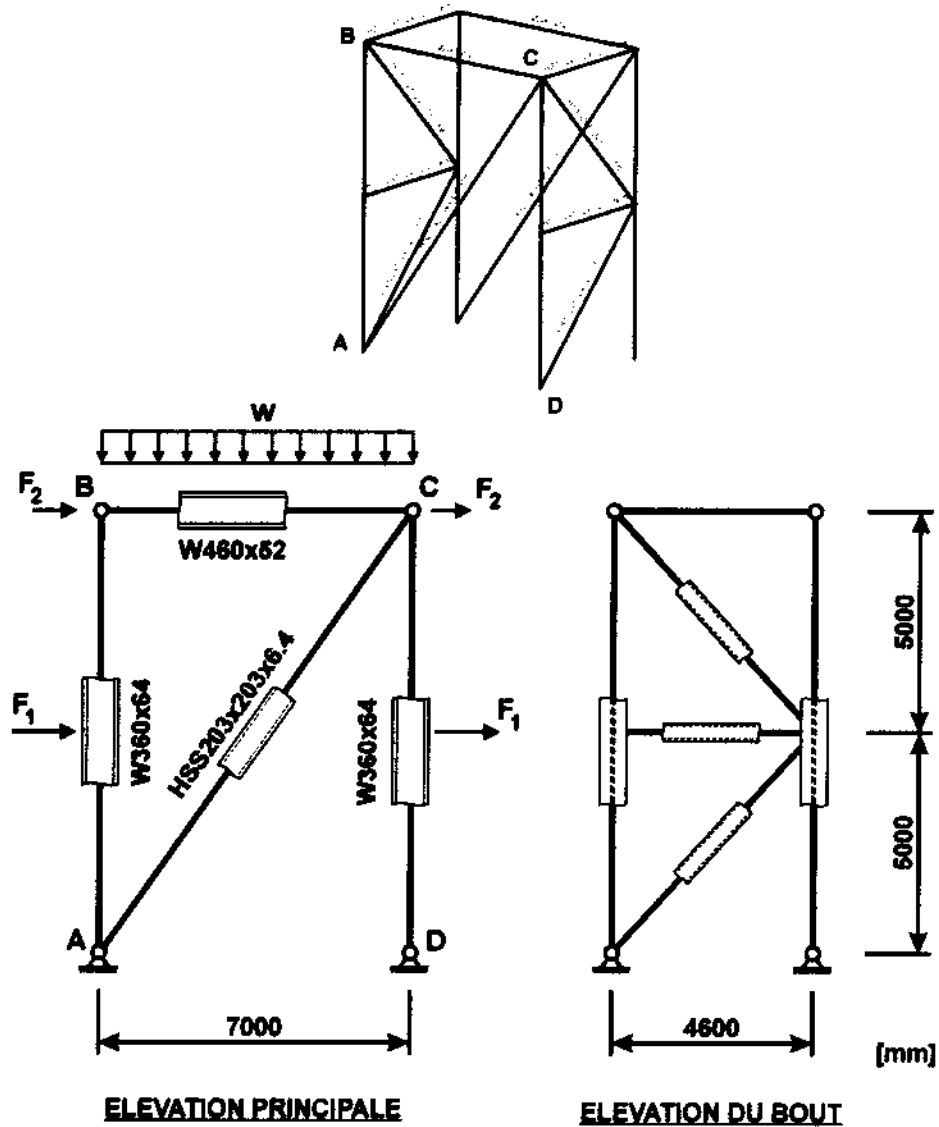
Dimension et charges pondérées



Bonne chance!  
Robert Tremblay, professeur

## STRUCTURE ÉTUDIÉE

Les questions 2 à 5 portent sur les membrures et assemblages du cadre A-B-C-D de la structure ci-dessous.



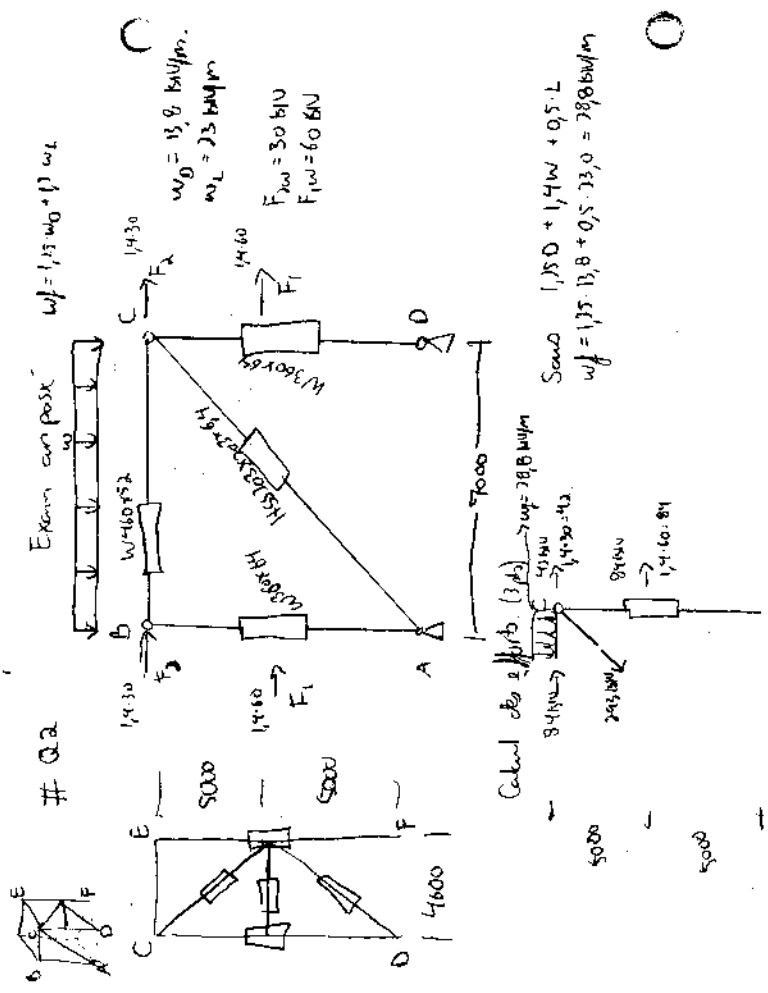
Les charges sur un cadre de la structure sont les suivantes :

$$w_D = 13.8 \text{ kN/m}$$

$$w_L = 23.0 \text{ kN/m}$$

$$F_{2W} = 30 \text{ kN (en haut, peut agir dans les deux directions)}$$

$$F_{1W} = 60 \text{ kN (à la mi-hauteur, peut agir dans les deux directions)}$$



- a) expliquer d'où vient effet compression 24 kN dans poutre B-C (1 pt)  
 - B est la seule travée posée,  $143 = 84$
- b) déterminer que l'effet pondéral de traction dans le diagonale AC est égal à 245 kN  
 $\theta = \arctan\left(\frac{19}{7}\right) = 55^\circ$   
 $T_f = \frac{2 \cdot 84}{\cos 55} = 293 \text{ kN}$
- c) vérifier efforts pondéraux  $M_f$ ,  $V_f$  et  $M_d$  dans le poutre D-C  
 $M_f = 245 \text{ kN}$   
 $V_f = 245 \text{ kN}$   
 $M_d = 245 \text{ kN}$

Q3 Diagonale A-C (4 pts)

a) vérifie que la section HS305280S24 relève pour le design structuré en compression.  
 Supposer profilé tubulaire 1500 mm (1 pt)  
 $A = 4420 \text{ mm}^2$ ,  $t = 5,72 \text{ mm}$ ,  $r_x = 202 \text{ mm}$  (2 pts)

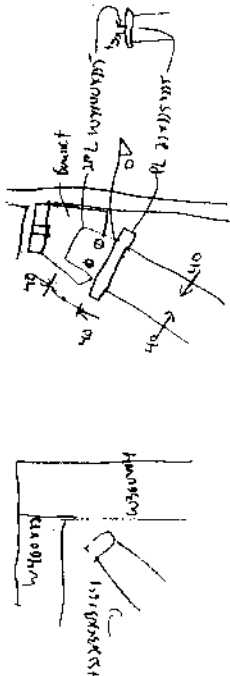
$N_L = 7003 + 10000 = 17010$   $\frac{N_L}{A} = \frac{17010}{4420} = 3,85 \text{ MPa} < 4,200 \text{ MPa}$

$\lambda = \frac{L}{r} = \frac{17010}{202} = 84,2$   $C_r = \varphi \cdot A \cdot F_y (1 + \lambda^2)^{0,5}$

Vérifier  $\frac{N_L}{A} \leq \frac{C_r}{\gamma_{M5}}$   $n = 203 - 4 \cdot 5,72$   
 $w = 3,72$

b) Deux plaques 101100R235 sont soudées à une plaque 221115R35 qui est soudée au bout du profilé HS3. L'épaisseur entre les deux plaques 101100R235 est égal à l'épaisseur de la plaque du gousset soudés au poteau  $t_g$ . Une fois le diagonale en place, on utilise deux barres pour assembler les deux plaques 101100R235 au gousset. On vous demande (4 pts)

1. vérifier la capacité de barreaux
2. déterminer l'épaisseur du gousset  $t_g$ , pour prévenir l'écroulement des barreaux et la déchirure du gousset
3. déterminer la longueur du cordon de soudure  $D$  pour franchir des deux plaques 101100R235 à la plaque du bout du HS3 (PL 221115R35)



Aren caudat 6,40 21-300...

04. poteau DC. section W360 x 64

stabilité à la mi-hauteur contre  
déversement et le flambement

$$1,40 + 0,5 \cdot L + 1,4W$$

Vérifier la stabilité hors du plan de flexion du poteau sous  
cette combinaison.

Poutres flexie  
3 fois

W360 x 64

$$A = 8140 \text{ mm}^2$$

$$I_x = 178 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$S_x = 1030 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$Z_x = 1140 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$r_x = 148 \text{ mm}$$

$$b = 203 \text{ mm}$$

$$t = 13,5 \text{ mm}$$

$$h = d = 347 \text{ mm}$$

$$w = 7,7 \text{ mm}$$

$$I_y = 18,8 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$r_y = 48,1 \text{ mm}$$

$$C_w = 574 \times 10^6 \text{ mm}^6$$

$$J = 436 \times 10^3 \text{ mm}^4$$

Classe = ?

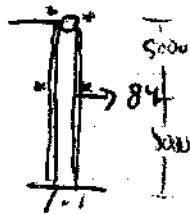
flexion simple :  $\frac{b_0}{t} = \frac{203}{13,5} = 7,52 \leq \frac{145}{\sqrt{345}} = 7,81$  CL 1.

Poutre compression efflech-  
cure

$$\frac{h}{w} = \frac{347 - 2 \cdot 13,5}{7,7} = 41,6 \leq \frac{1100}{\sqrt{345}} \left( 1 - 0,39 \frac{(341)}{(0,9) \cdot (0,345) \cdot (8140)} \right) = 56,1 \Rightarrow \text{Classe CL}$$

Section CL 1.

Stabilité hors plan de flexion



$$\frac{C_d}{C_r} + \frac{0,85 U_{1x} \cdot M_{1x}}{M_{rx}} \leq 1,0$$

$$C_r = C_{ry 5000} \left( \frac{KL}{r} \right) = \frac{5000}{48,1} = 104 < 200$$

$$\lambda_y = 104 \sqrt{\frac{345}{0,2 \cdot 20000}} = 1,37$$

$$C_r = 0,9 \cdot 8140 \cdot 345 \left( 1 + 1,37^{2,00} \right)^{1/1,37}$$

$$C_r = 1077610$$

Sur  $L_y = 5000$  - Pas dans pendule

$$\Rightarrow w_1 = 0,6 - 0,4k \quad \& \quad b = 0$$

$$w_1 = 0,6$$

$$C_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{10000 \cdot L^2} = \frac{\pi^2 \cdot 20000 \cdot 178 \times 10^6}{10000^2} = 3514 \text{ bin}^2$$

pression  $\rightarrow$   
normalise  
elle aussi

$$U_1 = \frac{0.6}{1 - \frac{241}{3514}} = 0.66 \text{ mais } U_1 > 1.0$$

$$M_{ue} = \frac{1.1 \cdot 1.35}{3000} \cdot \int \sqrt{E I_y \cdot 0.5 + \frac{(\pi E)^2}{5000}} \cdot I_y \cdot \omega = 584 \text{ kNm}$$

Cl.1  $M_p = 7 F_y = 393.6 \text{ kNm}$

$$M_{ue} > \frac{2}{3} M_p \Rightarrow M_r = 1.15 \cdot 0.6 M_p \left( 1 - \frac{0.2 M_p}{M_{ue}} \right) = 330.6 \text{ kNm}$$

$$\frac{3 \cdot 11}{1007} + \frac{0.25 \cdot 10 \cdot 210}{350} = 0.33 + 0.54 = 0.87 < 0.94 p = 354 < 10 \text{ ok!}$$

Ainsi il faut vérifier

$$\frac{M_r}{M_{rx}} + \frac{M_y}{M_{ry}} \leq 1.0 \text{ où } M_{rx} \text{ avec } L_y = 0$$

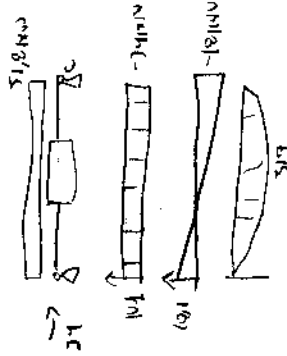
$$M_{ry} \text{ avec } L_x = 0$$

$$\text{Et } \frac{210}{350} = 0.6 < 1.0 \text{ ok!}$$

QS 3pts. écartement et flambement entre l'axe fort et l'axe faible sont comparés

a) Vérifier la résistance pondérée de la poutre à l'effort horizontal

$$1.35 D + 1.5 L = 49.4 \text{ kN}$$



b) Mécanisme et vérifier la stabilité hors plan de l'axe de la poutre

c) lequel critère le plus critique. résistance de la section au stabilité dans plan  $M_{r,1.0}$

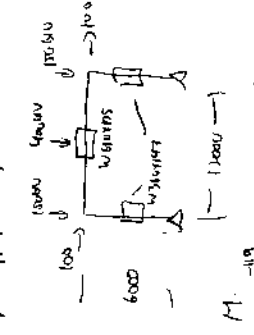
$$\frac{C_f}{C_c} + 0.25 U_1 \cdot \frac{M_r}{M_{r,1.0}} \leq 1.0$$

$\left. \begin{array}{l} \text{Cr. si Résist} \\ \text{Cr. pour stabilité} \end{array} \right\}$  Tous deux l'axe fort Cf

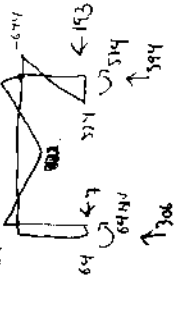
→ pas petit dans plan critique.

0.4 5 pts bar 2025

c) charge ponctuelle 4000N vérifie flambage. applique largeur 200mm ( $N=200\text{mm}$ )



b) déterminer classe pour  $W_{pl,y}$



c) Vérifier stabilité hors plan pour  $\lambda_y$  grande déformée (10cm)

$A = 15800$	$b = 219$	$I_y = 3533 \times 10^4$
$I_x = 905 \times 10^4$	$t = 19.6$	$C_w = 3450 \times 10^6$
$S_x = 3210 \times 10^3$	$d = 610$	$\bar{y} = 1540 \times 10^{-3}$
$Z_x = 3678 \times 10^3$	$\omega = 11.9$	