

CM

ECOLE NATIONALE DES TRAVAUX PUBLICS

Examen de charpentes métalliques

Promotion : 4^{ème} année

Date : 28 février 2007

VARIANTE B

Nom :

Prénom :

Groupe :

Exercice 1

Un abri pour véhicules est réalisé par un auvent horizontal, constitué d'une suite de poutres métalliques identiques recevant une couverture légère.

Chaque poutre a une extrémité noyée dans un mur en béton armé et l'autre libre. Elle est en profil IPE 360, de nuance S235 (ou E24), de longueur $l_0 = 3,8$ m et supporte à son extrémité libre, une charge d'exploitation $S = 2800$ daN, appliquée au centre de gravité de la section (voir figure ci après). Le poids propre de l'auvent est négligeable ; $CP \approx 0$ daN.

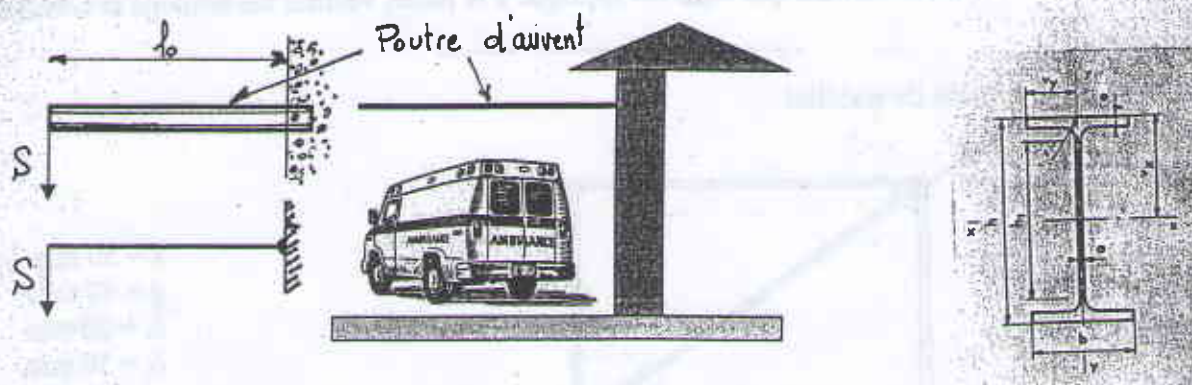


Schéma de la poutre

Vue de l'abri

Section de la poutre

Les dimensions et caractéristiques géométriques du profil IPE360 sont:

$$h = 360 \text{ mm}$$

$$b = 170 \text{ mm}$$

$$e = 12,7 \text{ mm}$$

$$a = 8 \text{ mm}$$

$$I_{xx} = 16270 \text{ cm}^4$$

$$(I/v)_{xx} = 904 \text{ cm}^3$$

$$i_{xx} = 15 \text{ cm}$$

$$A = 72,7 \text{ cm}^2$$

$$I_{yy} = 1043 \text{ cm}^4$$

$$(I/v)_{yy} = 123 \text{ cm}^3$$

$$i_{yy} = 3,79 \text{ cm}$$

A. Résistance et stabilité de chaque poutre.

1. Quelle est la condition de résistance réglementaire à vérifier pour cette poutre.
2. Effectuer toute pondération et combinaison d'actions nécessaire à la vérification de cette condition.
3. Vérifier la résistance et stabilité de cette poutre.

B. Déformation de la poutre.

4. Quelle est la condition de déformation à vérifier.
5. Faire combinaison nécessaire à cette vérification.
6. En posant comme flèche admissible pour cette poutre $f_{adm} = l_0 / 200$, vérifier cette condition de déformation.

C. Conclusion

7. En tenant compte des conclusions obtenues aux paragraphes précédents, faire une conclusion générale pour cette poutre.

Exercice 2

Une palée de stabilité se compose d'une barre métallique soumise à une force extérieure de traction. La barre, une plaque de largeur $b = 100 \text{ mm}$ et d'épaisseur $e = 15 \text{ mm}$, en acier de nuance S235 (ou E24), est assemblée à ses extrémités par boulonnage au moyen de 4 boulons ordinaires M12 (diamètre $\varnothing = 12 \text{ mm}$, $A_r = 84 \text{ mm}^2$), de classe 6.8, logés dans des trous de diamètre $D = 13 \text{ mm}$ et disposés comme indiqué sur la figure ci après.

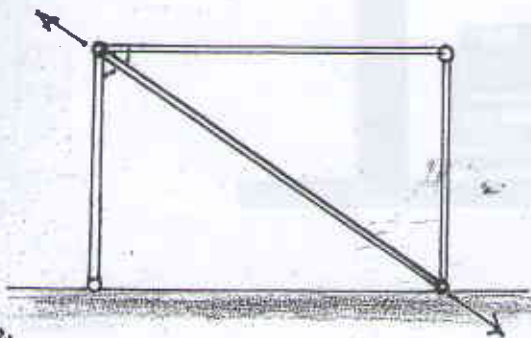
A. Résistance de la barre

1. Quelle est la condition de résistance de cette barre.
2. Calculer l'aire nette A_n de la section critique de cette barre.
3. Déterminer l'effort maximal de traction, N_{\max} que peut supporter cette barre.

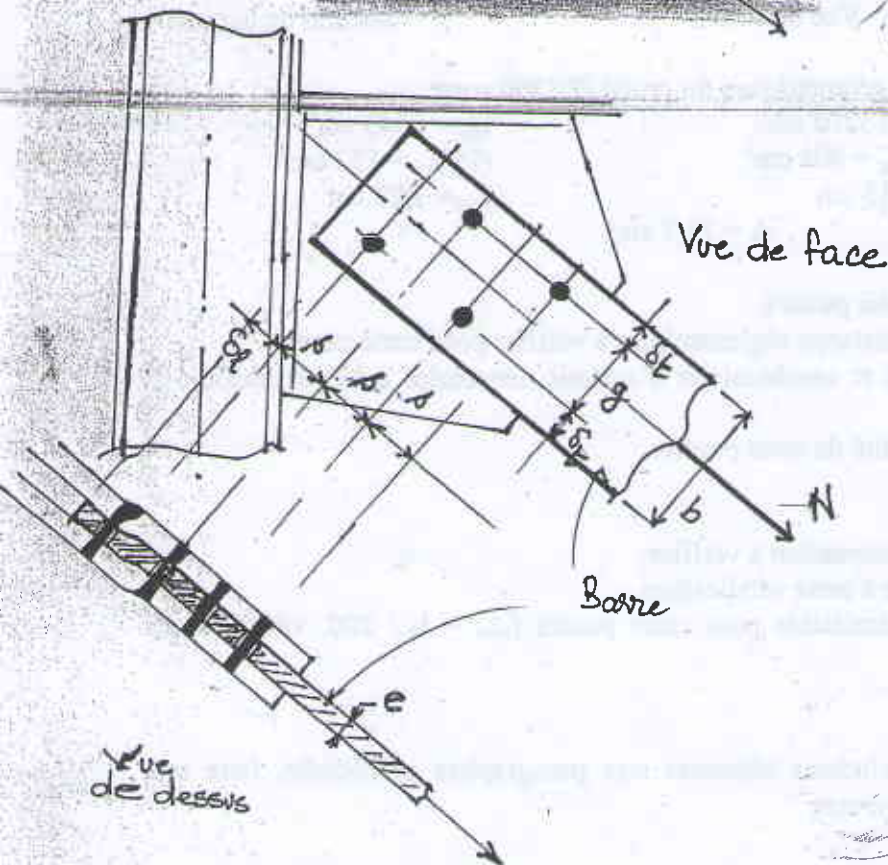
B. Résistance de l'assemblage.

4. Quelle est la condition à vérifier pour les boulons.
5. En admettant que N_{\max} est appliqué à la barre, vérifier les boulons et conclure.

Palée de stabilité



$$\begin{aligned}s &= 30 \text{ mm} \\ g &= 40 \text{ mm} \\ \delta_l &= 20 \text{ mm} \\ \delta_t &= 30 \text{ mm}\end{aligned}$$



Exercice 1:

CP \approx 0 daN.

A. Résistance et stabilité de chaque poutre.

1. La condition de résistance supplémentaire à vérifier pour cette poutre est donnée par la relation suivante.

$$k_d \cdot \sigma_f \leq \sigma_e$$

ou k_d : coefficient de déversement
 σ_f : Contrainte pondérée maximale de flexion
 σ_e : Résistance limite d'élasticité = 24 daN/mm²

2. Pondération et combinaison de charges

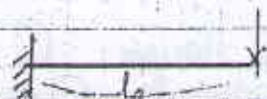
Service normal

$$\frac{4}{3} CP + \frac{3}{2} S$$

$$\frac{4}{3} (0) + \frac{3}{2} (2800) = 4200 \text{ daN.}$$

3. Vérification de la résistance et stabilité de la poutre.

1. Détermination de la contrainte de flexion

Calcul de la sollicitation de flexion M_f .

$$M_f = P \cdot l_0 = 4200 \cdot 4 = 16800 \text{ daN} \cdot \text{m}$$

Calcul de la contrainte σ_f

$$\sigma_f = \frac{M_f}{I_x} = \frac{16800}{114} = 147,3 \text{ daN/mm}^2$$

2. Étude de la stabilité de la semelle comprimée (isolée) vis à vis du flambement latéral.



- Caractéristiques de la semelle

$$I_{xx} = \frac{e b^3}{12} = \frac{1,27 \cdot 17^3}{12} = 520 \text{ cm}^4$$

$$A_s = e \cdot b = 1,27 \cdot 17 = 21,59 \text{ cm}^2$$

$$i_{xx} = \sqrt{\frac{I_{xx}}{A_s}} = \sqrt{\frac{520}{21,59}} = 4,91 \text{ cm}$$

①
B

$kT \leq \sigma_e$ ✓ 0,5
 k : Coefficient de flambement
 T : Embrante ponctuelle de compression dans la semelle $T = \sigma_f$
 σ_e : Résistance limite d'élasticité (24 daN/mm²)

Déterminer le coefficient de flambement k

$k = f(\lambda)$
 Elancement lateral λ_{xx}

$$\lambda_{xx} = \frac{l_{fx}}{i_{xx}}$$

Longueur de flambement l_{fx}
 $l_{fx} = 2 \cdot l_0 = 7,5 \text{ m}$ (Semelle (poutre) en console)

Elancement $\lambda_{xx} = \frac{l_{fx}}{i_{xx}} = \frac{750}{491} \approx 154,8$ ✓ 0,5

Coefficient de flambement k

$k = f(154,8) \rightarrow \text{Tableau} \rightarrow k = 3,90$ ✓ 0,5

Vérification de la résistance de la semelle

$$kT = k\sigma_f = 3,90 \times 17,55 = 68,3 \text{ daN/mm}^2 > \sigma_e (24 \text{ daN/mm}^2)$$

En conclusion la semelle comprimée de la poutre ne résiste pas au flambement lateral \Rightarrow la poutre peut déverser.

3. Vérification de la stabilité au déversement

Poutre en console

a. Calcul du coefficient de charge C
 Charge appliquée à l'extrémité $C = 2,77$ ✓ 0,5

b. Calcul du coefficient de déversement k_d
 La charge S étant appliquée au centre de gravité.

$$\begin{aligned}
 k_d &= 0,1 + 2,2 \frac{l_s}{1000 C} \cdot \frac{h}{b \cdot e} \cdot \frac{\sigma_e}{24} \quad (l_s = 2l_0 = 1600 \text{ mm}) \\
 &= 0,1 + 2,2 \left(\frac{1600}{1000 \times 2,77} \cdot \frac{360}{170 \times 127} \right) \times \frac{24}{24} = 1,106 \quad \text{✓ 1}
 \end{aligned}$$

c. Vérification de la stabilité et résistance de la poutre

$$k_d \sigma_f = 1,106 \times 17,55 = 19,52 \text{ daN/mm}^2 < \sigma_e (24 \text{ daN/mm}^2)$$

En conclusion la condition de résistance est satisfaite. ✓ 0,5

1
 B

B. Déformation de la poutre

4. Condition de déformation à vérifier

$$f_{cal} \leq f_{adm.}$$

5. Combinaison des actions

$$CP + S$$

$$0 + 2800 = 2800 \text{ dans } (1)$$

6. Vérification de la condition de déformation

$$f_{cal} = \frac{S l^3}{3 E I_{xx}}$$

$$= \frac{2800 \times [3,8 \cdot 10^3]^3}{3 \times 21000 \times 16270 \cdot 10^4} = 15 \text{ mm}$$

$$f_{adm.} = \frac{l_0}{200} = \frac{3800}{200} = 19 \text{ mm.}$$

$$f_{cal} = 15 \text{ mm} < f_{ad} = 19 \text{ mm}$$

En conclusion, la condition est vérifiée

C. Conclusion générale

Les 2 conditions réglementaires, celle de résistance et celle de déformation, étant vérifiées, on conclut que la poutre adoptée est satisfaisante.

Exercice 2:

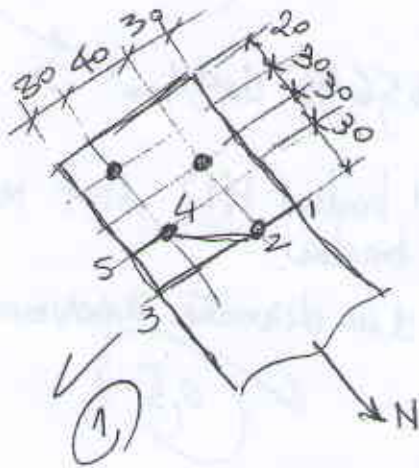
A. Resistance de la barre

- Condition de resistance
la barre étant tendue, la condition de resistance réglementaire est donnée par la relation suivante.

$$\sigma \leq \sigma_e \quad \text{ou} \quad \sigma \text{ est la contrainte pondérée de traction}$$

σ_e est la résistance limite d'élasticité (kg/mm²)

- Calcul de l'aire nette A_n de la section critique.



Secteurs à considérer

• Section droite 1.2.3

$$A_{n1} = b_{n1} \cdot e$$

$$= (100 - 13) \cdot 15 = 1305 \text{ mm}^2 \quad (1)$$

• Section boudé

$$A_{n2} = b_{n2} \cdot e$$

$$b_{n2} = b - \sum D + \sum \frac{d^2}{4g}$$

$$= 100 - 2 \times 13 + \frac{30^2}{4 \times 40} = 79,6$$

$$A_{n2} = b_{n2} \times e$$

$$= 79,6 \times 15 = 1194 \text{ mm}^2$$

$$A_n \text{ critique} = \min(A_{n1}, A_{n2})$$

$$= 1194 \text{ mm}^2 \quad (0,5)$$

- Effort de traction maximal que peut supporter la barre
N_{max} est donnée par la relation $\sigma_{\max} = \sigma_e = \frac{N_{\max}}{A_n}$
d'où $N_{\max} = \sigma_e \cdot A_n$

$$= 24 \times 1194 = 28656 \text{ kgw.} \quad (1)$$

B. Resistance de l'assemblage.

- Condition à vérifier pour les boulons
La barre est sollicitée en traction, les boulons travaillent au cisaillement.
d'où la condition de résistance d'un boulon est

$$1,54 \frac{T}{A_r} \leq \sigma_e \quad (1)$$

T: effort de cisaillement par boulon
A_r: Aire de la section résistante
σ_e: Résistance élastique du boulon.

5. Vérification des boulons.

• Calcul de l'effort de cisaillement par boulon.

Il y a 4 boulons dans cet assemblage d'où

$$T_b = \frac{N_{\max}}{4} = \frac{28655}{4} = 7163.75 \text{ daN} \quad \checkmark \text{ (1)}$$

• Vérification de la résistance du boulon.

Chaque boulon travaille au double cisaillement

$$1,54 \frac{T_b}{2 \times A_r} \leq \sigma_{es} \quad (\text{Boulon classe 6.8}) \quad \text{(1)}$$

$$1,54 \cdot \frac{7163.75}{2 \times 84} = 656.93 \text{ daN/mm}^2 > 48 \text{ daN/mm}^2$$

En Conclusion les 4 boulons M12 sont insuffisants.

- Ajouter un 5^e boulon

ou - Prendre 4 boulons d'un diamètre supérieur, M14.
et réviser. $\checkmark \text{ (0,5)}$

Entourer le caractère alphabétique se trouvant à gauche de la bonne réponse.

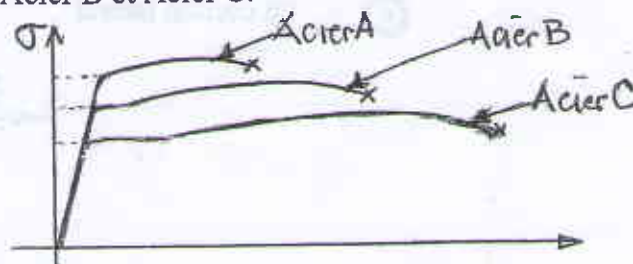
Barème :

- une bonne réponse, vaut + 0,5 point.
- pas de réponse, vaut 0 point.
- une mauvaise réponse, vaut - 0,5 point.

Questions de cours

I. Sur les Aciers de construction

1. Un acier de nuance S235 (E24) possède des valeurs de résistances mécaniques
 - a supérieures à celles d'un acier de nuance S355(E36).
 - b qui ne sont pas satisfaisantes.
 - ☒ c inférieures à celles d'un acier de nuance S355 (E36).
2. Un acier de nuance S355 (E36) possède une rigidité matérielle (c'est-à-dire un module d'élasticité longitudinale ou module de Young)
 - ☒ a égale à celle d'un acier de nuance S235 (E24)
 - b plus élevée que celle d'un acier de nuance S235 (E24)
 - c de valeur instable.
3. Un acier de nuance et qualité S355 JR (E36-2) possède
 - a des caractéristiques mécaniques supérieures à celles d'un acier de nuance et qualité S355 JO (E36-3).
 - b des caractéristiques mécaniques inférieures à celles d'un acier de nuance et qualité S355 JR (E36-3).
 - c des performances, vis-à-vis de la résistance à la rupture fragile, meilleures qu'un acier de nuance et qualité S355 JO (E36-3)
4. La ductilité d'un acier de construction est, sa capacité à subir, avant la rupture, de
 - ☒ a grandes déformations plastiques sans pertes de résistance.
 - b grandes déformations élastiques sans augmentation de résistance.
 - c grandes pertes de résistance sans déformations plastiques.
5. Compte tenu des diagrammes de traction, donnés ci-dessous, se rapportant à 3 aciers de différentes nuances, notés simplement Acier A, Acier B et Acier C.
 - a l'acier A est le plus ductile.
 - ☒ b l'acier C est le plus ductile.
 - c l'acier B est plus ductile que l'acier C et moins ductile que l'acier A



II. Sur les bases de calcul des charpentes

6. La pondération des actions extérieures s'appliquant à un ouvrage, a pour but principal
 - ☒ a de garantir la sécurité de cet ouvrage.
 - b de faciliter la réalisation de cet ouvrage.
 - c d'assurer la durabilité de cet ouvrage.

7. Pour vérifier la condition de résistance d'un élément métallique, il faut pondérer, c'est-à-dire majorer les actions extérieures quand l'ouvrage auquel appartient cet élément se trouve

- a hors service.
- b en situation climatique exceptionnelle.
- ☒ c en service normal

8. En service normal, dans la combinaison des actions incluant 1 action permanente et 3 actions variables, le coefficient de pondération des 3 actions variables groupées vaut

- ☒ a 4/3.
- b 3/4
- c 2/3.

III. Sur les composants et les instabilités

9. L'aire nette de la section d'une barre intervient dans les calculs de vérification quand

- a cette barre est tendue et assemblée par soudage.
- ☒ b cette barre est comprimée et assemblée par boulonnage.
- c cette barre est tendue et assemblée par boulonnage

10. Le voilement des parois des poutres peut affecter

- ☒ a les parois comprimées des barres et poutres.
- b les parois trouées des barres tendues.
- c les parois tendues des poutres fléchies.

11. Une instabilité a pour conséquence

- a d'amplifier la ductilité de l'acier de construction.
- ☒ b d'amplifier les contraintes générées par les actions extérieures.
- c de réduire la soudabilité de l'acier de construction.

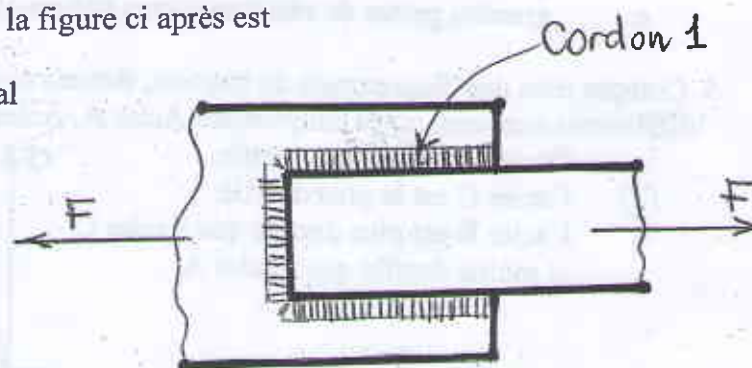
12. La condition de résistance d'une barre comprimée est donnée par la relation

- a $k_d \cdot \sigma \leq \sigma_e$
- ☒ b $k \cdot \sigma \leq \sigma_e$
- c $k \cdot \sigma_e \leq \sigma$

IV. Sur les assemblages

13. Le cordon de soudure 1 de la figure ci après est

- a un cordon frontal
- b un cordon minimal
- ☒ c un cordon latéral



14. Les boulons à haute résistance peuvent être employés dans les assemblages

- a travaillant par cisaillement.
- b travaillant par déformation.
- ☒ c travaillant par frottement.



Date: 15 Février 2000

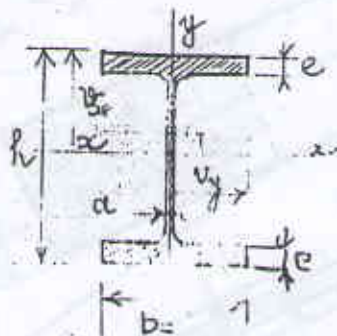
EXERCICE 1

Une poutre IPE 360 en console, de longueur $l_0 = 4\text{ m}$ (voir schéma), de poids propre négligeable ($CP \approx 0$), supporte à son extrémité libre, une charge d'exploitation $S = 3000\text{ daN}$, appliquée au centre de gravité de la section.



La nuance d'acier et les caractéristiques géométriques de la section transversale de la poutre sont les suivantes:

- Acier E 24
- Section transversale:



$$\begin{aligned} h &= 360\text{ mm} \\ e &= 12,7\text{ mm} \\ b &= 170\text{ mm} \\ t &= 8\text{ mm} \end{aligned}$$

$$A = 72,7\text{ cm}^2$$

$$I_{xx} = 16270\text{ cm}^4$$

$$\left(\frac{I}{v}\right)_{xx} = 904\text{ cm}^3$$

$$i_{xx} = 15\text{ cm}$$

$$I_{yy} = 1043\text{ cm}^4$$

$$\left(\frac{I}{v}\right)_{yy} = 123\text{ cm}^3$$

$$i_{yy} = 3,79\text{ cm}$$

A. RESISTANCE et STABILITE de la poutre.

1. Quelle est la condition de résistance à vérifier pour cette poutre?
2. Faire la pondération et combinaison de charges nécessaires à la vérification de cette condition?
3. Déterminer la sollicitation et la contrainte pondérées s'exerçant sur la poutre ^{qui sont} nécessaires à la vérification de cette condition?
 1. Vérifier la stabilité au flambement latéral de la semelle comprimée supposée isolée et seule. (On admettra que la contrainte de compression σ sur la semelle est égale à la contrainte de flexion sur la poutre.)

— 5. Vérifier la stabilité au déversement de la poutre. —

B. RIGIDITÉ de la Poutre.

6. Quelle est la condition de déformation à vérifier pour cette poutre ?

7. Faire la combinaison de charges nécessaire à cette vérification ?

8. En posant comme flèche admissible $f_{adm} = \frac{l_0}{200}$, vérifier la condition de déformation ?

C. CONCLUSION

Compte tenu des réponses de A) et de B), que conclure pour cette poutre ?

EXERCICE 2

Soit une barre tendue soumise à un effort N . Elle est assemblée à son extrémité par 3 boulons M20 (diamètre 20 mm) logés dans des trous de diamètre $\phi = 22$ mm et la disposition est indiquée sur la figure suivante.

Assemblage

$\delta = 60$ mm

$g = 50$ mm

$\delta_p = \delta_t = 30$ mm

$e = 20$ mm.

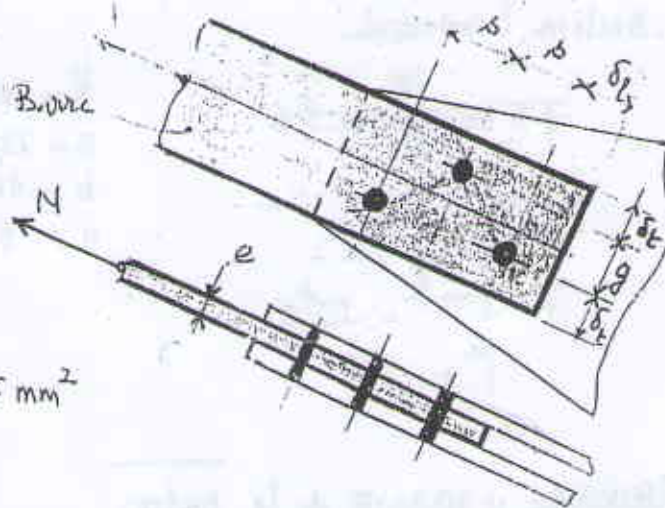
Barre

$A_{br} \approx 24$

Boulons

classe 6.8

section résistante $A_r = 245 \text{ mm}^2$



Questions:

A. BARRE

1. Quelle est la condition de résistance à vérifier pour cette barre ?

2. Calculer l'aire nette A_n ?

3. Calculer l'effort de traction maximal " N_{max} " que peut supporter cette barre.

B. ASSEMBLAGE:

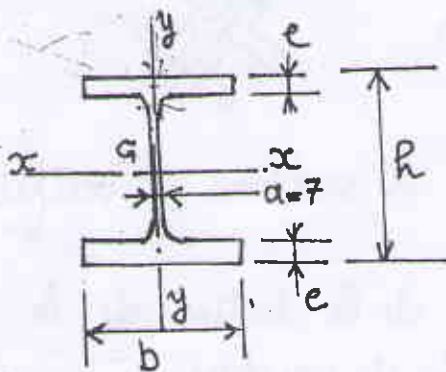
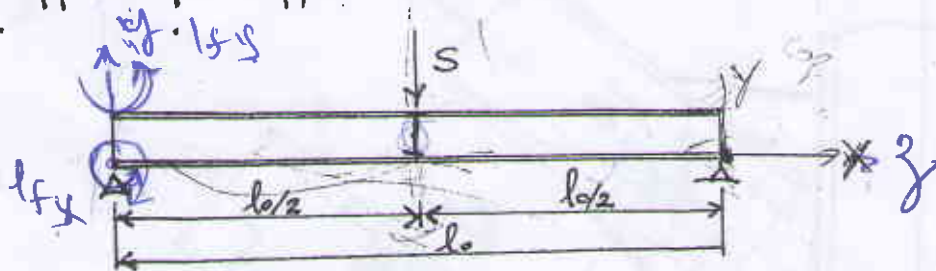
4. Quelle est la condition de résistance à vérifier pour les boulons ?

5. En admettant que " N_{max} " est appliqué à la barre, vérifier les boulons et conclure.

SYNTHÈSE DE C.M.

EXERCICE 1:

Une poutre métallique en acier E24, d'une portée $l_0 = 6\text{ m}$, dont la section transversale est représentée sur la figure ci-après, supporte une charge d'exploitation $S = 2\,000\text{ daN}$, appliquée à mi-portée et au niveau de la semelle supérieure. Le poids propre de la poutre est négligeable d'où on peut considérer $CP \approx 0$. Les liaisons aux extrémités de la poutre sont telles que l'on ait des appuis par rapport à Gx et des encastresments par rapport à Gy .



$$\begin{aligned} R &= 250 \text{ mm} & I_{xx} &= 4070 \text{ cm}^4 \\ b &= 100 \text{ mm} & (I_{yy})_x &= 3256 \text{ cm}^3 \\ e &= 12 \text{ mm} & I_y &= 200 \text{ cm}^4 \\ a &= 7 \text{ mm} & (I_{yy})_y &= 20 \text{ cm}^3 \\ J &= 14,1 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

Vérification de la poutre selon les règles R66

1/ Faire les pondérations et combinaison d'action nécessaires pour la vérification de la condition de résistance.

2/ Calculer la contrainte maximale pondérée de flexion.

Vérification de la stabilité de la poutre.

3/ Vérifier le flambement latéral de la semelle comprimée isolée et conclure

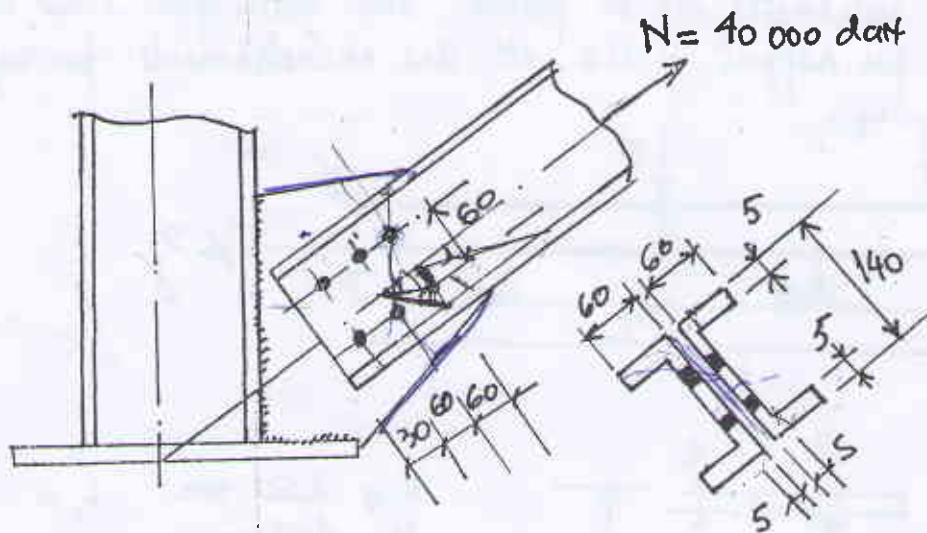
4/ Vérifier la condition de résistance et stabilité et conclure

Vérification de la déformabilité de la poutre

5/ Vérifier la condition de déformation (en admettant une flèche admissible $1/300$) et conclure.

EXERCICE 2:

La diagonale d'une palée de stabilité est soumise à un effort normal de traction pondue de 40 000 daN. Elle est assemblée à son extrémité (voir figure) au moyen de 6 boulons ordinaires de Classe 6.4. et de diamètre $D = 20$ mm. Les trous pour boulons sont percés à un diamètre $\phi = D + 2$ mm. La diagonale est composée de 2 cornières en U : $\text{UL } 140 \times 60 \times 5$ en acier E24.



$$A_r = 245 \text{ mm}^2$$

Toutes les cotes
sont en mm.

- 1° Quelle est la condition de résistance à vérifier pour la diagonale.
- 2° Calculer l'aire nette de la section de la diagonale.
- 3° Vérifier la diagonale et conclure.
- 4° Quelle est la condition de résistance à vérifier pour les boulons.
- 5° Vérifier les boulons de l'assemblage et conclure.