

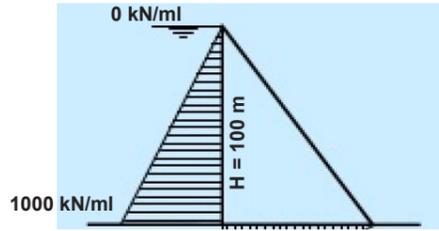
# EXAMEN - STRUCTURE I

Année 2015-2016 - Marc Leyral - Sylvain Ebodé

Nom: \_\_\_\_\_ Prénom: \_\_\_\_\_ N° de carte étudiant : \_\_\_\_\_

## PREMIERE PARTIE (5 pts): QUESTIONNAIRE A CHOIX MULTIPLES (QCM)

Question 1 - Voici un barrage poids. Déterminer la force ponctuelle équivalente à la force linéique proposée:



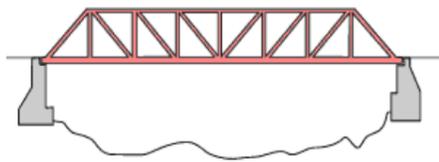
- 1 - force d'intensité de 25 000 kN, placée au milieu du barrage
- 2 - force d'intensité de 25 000 kN, placée à un tiers du sol
- 3 - force d'intensité de 25 000 kN, placée à un tiers de la surface
- 4 - force d'intensité de 50 000 kN, placée au milieu du barrage
- 5 - force d'intensité de 50 000 kN, placée à un tiers du sol
- 6 - force d'intensité de 50 000 kN, placée à un tiers de la surface

Question 2 - En quel matériau a été réalisée la coupole de ce monument :



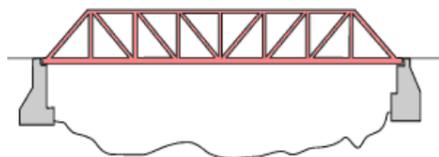
- 1 - Pierre
- 2 - Pierre armée
- 3 - Béton
- 4 - Béton armé

Question 3 - Quel est ce type de treillis ?



- 1 - Town
- 2 - Pratt
- 3 - Howe
- 4 - Fink

Question 4 - Dans une utilisation normale du pont, comment fonctionnent les diagonales ?



- 1 - Traction
- 2 - Compression
- 3 - Flexion
- 4 - Torsion

Question 5 - Quels appuis faut-il mettre sur la poutre pour qu'elle soit isostatique ?



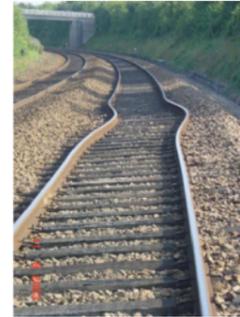
- 1 - Encastrement - Rotule
- 2 - Appui simple - Appui simple
- 3 - Rotule - Appui simple
- 4 - Rotule - Rotule
- 5 - Encastrement - Encastrement

## DEUXIEME PARTIE (5pts): QUESTIONS DE COURS.

Question 1 - Expliquer pourquoi les éléments des poutres treillis fonctionnent uniquement en traction ou en compression.

Question 2 - Décrire la rotule : degrés de liberté, réactions, schéma statique et dessin rapide d'une liaison réelle.

Question 3 - Qu'est-il arrivé à ce rail ? Que proposeriez-vous pour éviter un tel phénomène ?



Question 4 - Comment calcule-t-on le degré de staticité d'une structure ? Que donne le résultat de ce calcul ?

Question 5 - D'où vient cette équation et que signifie-t-elle ?

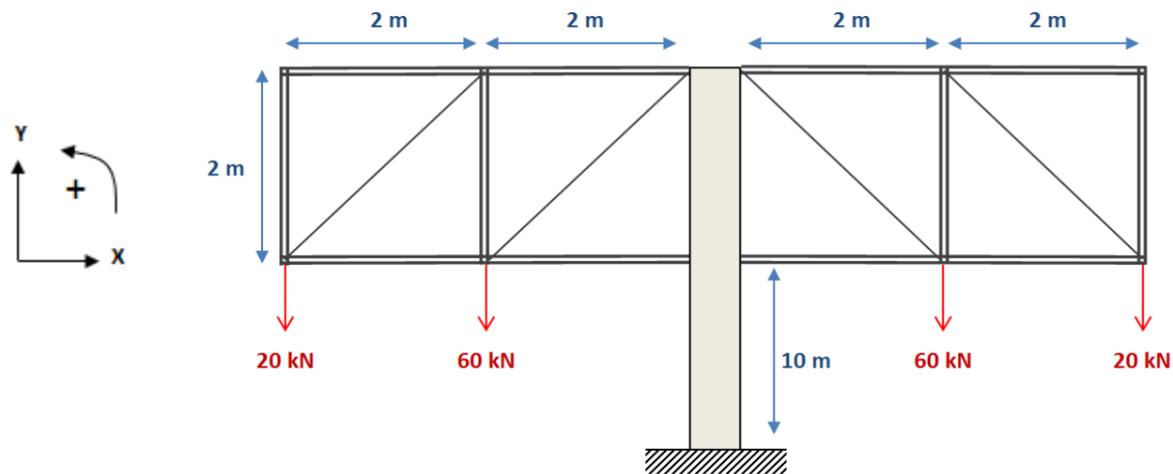
$$\sum \vec{F} = \vec{0}$$

**TROISIEME PARTIE: PROBLEME.**



On étudie un pont tournant dans le style du Pont de Caronte (photo ci-dessus).

On observe le pont en position d'équilibre, à l'arrêt et on néglige le degré de liberté de rotation du pont autour de sa pile pour simplifier. L'élévation simplifiée du problème simplifié est donné ci-dessous :



**QUESTIONS :**

- 1 - Faire une hypothèse argumentée sur la liaison de la pile au sol. (1 pt)
- 2 - Réaliser le schéma statique du problème. (1 pt)
- 3 - Calculer le degré de staticité de la structure. (1 pt)
- 4 - Quelles réactions entre la pile et le sol sont nulles dans le cas du problème ? Pourquoi ? Utilisez le PFS, en le citant avec précision, pour démontrer que la réaction verticale vaut 160 kN. (1 pt)
- 5 - Dimensionner la pile à sa base en choisissant un tube en acier S235 (n'oubliez pas le flambement en admettant que le poteau est rotulé-encasté). (2 pts)
- 6 - Formuler une hypothèse sur le mode de fonctionnement des diagonales. Comment s'appelle un treillis fonctionnant ainsi ? (1 pt)
- 7 - Calculer les efforts par la méthode de votre choix (en cas d'utilisation de la méthode graphique, des valeurs approchantes à 10% seront considérées comme justes) dans toutes les barres du treillis. (2 pts)  
Au vu du résultat, proposez une idée pour faire des économies (bonus +0.5 pt).
- 8 - Dimensionner la barre la plus tendue en rond (= tube plein) acier S235, sachant que l'effort de traction dans cette barre vaut 113.1 kN. (1 pt)

**FORMULAIRE :**

**Acier S235 :**

Limite d'élasticité :  $\sigma_s = 235 \text{ MPa}$   
 Module d'Young :  $E = 210\,000 \text{ MPa}$   
 $1 \text{ MPa} = 1 \text{ MN} / 1 \text{ m}^2 = 1 \text{ N} / 1 \text{ mm}^2$

**Equations**

Force critique d'Euler :  $F = \pi^2 EI / l_f^2$   
 Contrainte :  $\sigma = F/S$   
 Section d'un tube plein de rayon  $r$  :  $S = \pi r^2$

**Catalogue de profilés :**

Profilé 1 (tube 76.1x3.2 mm) -  $S = 7.33 \text{ cm}^2$  ;  $I = 48.80 \text{ cm}^4$   
 Profilé 2 (tube 152.4x3 mm) -  $S = 14.10 \text{ cm}^2$  ;  $I = 393 \text{ cm}^4$   
 Profilé 3 (tube 508x6.3 mm) -  $S = 99.25 \text{ cm}^2$  ;  $I = 31230.6 \text{ cm}^4$

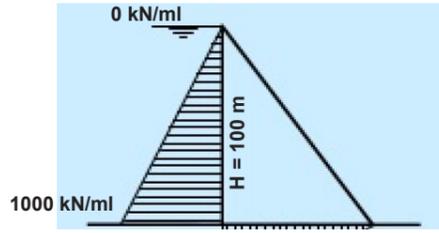
# EXAMEN - STRUCTURE I / CORRIGE

Année 2015-2016 - Marc Leyral - Sylvain Ebodé

Nom: Prénom: N° de carte étudiant :

## PREMIERE PARTIE (5 pts): QUESTIONNAIRE A CHOIX MULTIPLES (QCM)

Question 1 - Voici un barrage poids. Déterminer la force ponctuelle équivalente à la force linéique proposée:



5 - force d'intensité de 50 000 kN, placée à un tiers du sol

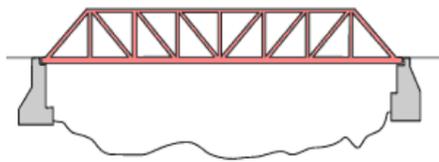
Question 2 - En quel matériau a été réalisée la coupole de ce monument :



3 - Béton

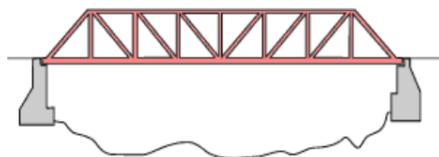
Il s'agit du Panthéon de Rome, la coupole est construite en béton de pouzzolane et de calcaire

Question 3 - Quel est ce type de treillis ?



2 - Pratt

Question 4 - Dans une utilisation normale du pont, comment fonctionnent les diagonales ?



1 - Traction

Question 5 - Quels appuis faut-il mettre sur la poutre pour qu'elle soit isostatique ?



3 - Rotule - Appui simple

$$h = i - n = (2 + 1) - 3 = 0$$

## DEUXIEME PARTIE (5pts): QUESTIONS DE COURS.

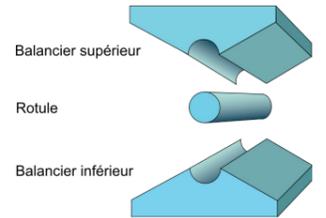
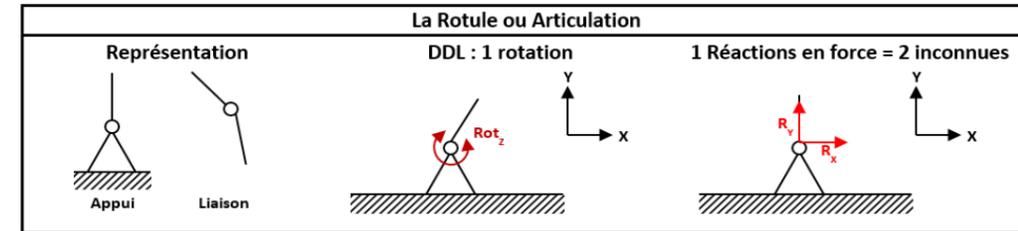
Question 1 - Expliquer pourquoi les éléments des poutres treillis fonctionnent uniquement en traction ou en compression.

Les rotules laissent libre la rotation. Les moments peuvent donc s'exprimer : ils ne sont pas bloqués et, donc, pas transmis d'une barre à une autre.

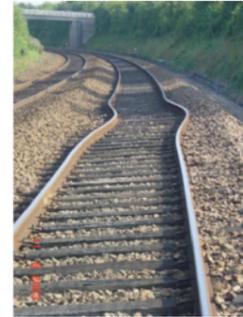
Les efforts tranchants étant liés au moment au niveau des appuis subissent le même sort.

Au final tous les efforts se décomposent en efforts normaux dans les différentes barres.

Question 2 - Décrire la rotule : degrés de liberté, réactions, schéma statique et dessin rapide d'une liaison réelle.



Question 3 - Qu'est-il arrivé à ce rail ? Que proposeriez-vous pour éviter un tel phénomène ?



Lors d'un épisode de forte chaleur, le rail a voulu se dilater.

Mais étant bloqué, il n'a pas pu : sont donc apparues des forces de compression dans le rail.

Lorsque la force de compression a dépassé la force critique d'Euler, le rail a subitement flambé. On appelle cela un *kink sun*.

Il faudrait mettre un joint pour les rails puissent librement se dilater.

Nb : une technique plus moderne est celle des LRS (longs rails soudés)

Question 4 - Comment calcule-t-on le degré de staticité d'une structure ? Que donne le résultat de ce calcul ?

Le degré de staticité  $h$  vaut  $h = i - n$

$i$  est le nombre d'inconnues statiques au niveau des nœuds

$n$  est le nombre d'équations disponibles pour les éléments de la structure :

Chaque élément de la structure permet de connaître 3 équations.

Si  $h < 0$  : système hypostatique Trop peu d'appuis ou trop de DDL Équilibre instable / mécanisme, il faut ajouter des blocages

Si  $h = 0$  : système isostatique Juste assez d'appuis et de DDL, Équilibre stable/économies, calcul facile

Si  $h > 0$  : système hyperstatique Plus d'appuis que nécessaire ou pas assez de DDL, plusieurs équilibres stables / sécurité, calcul difficile

Question 5 - D'où vient cette équation et que signifie-t-elle ?

$$\sum \vec{F} = \vec{0}$$

Il s'agit du théorème de la résultante statique du Principe Fondamental de la Statique.

C'est la condition nécessaire et suffisante pour que la structure ne subisse pas de glissement.

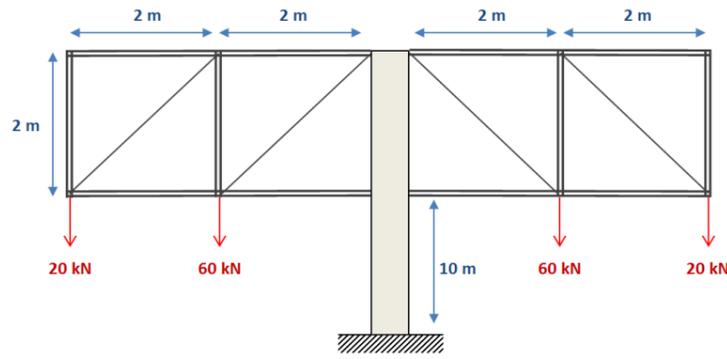
Le glissement est le déplacement en translation d'une structure. Il est dû à l'action des forces.

Pour qu'une structure ne glisse pas, il faut et il suffit donc que la somme des vecteurs forces qui s'exercent sur la structure soit nulle.

# EXAMEN - STRUCTURE I / CORRIGE

Année 2015-2016 - Marc Leyral - Sylvain Ebodé

## TROISIEME PARTIE: PROBLEME.



On étudie un pont tournant dans le style du Pont de Caronte (photo ci-dessus).

On observe le pont en position d'équilibre, à l'arrêt et on néglige le degré de liberté de rotation du pont autour de sa pile pour simplifier. L'élévation simplifiée du problème simplifié est donné ci-dessus.

### QUESTIONS :

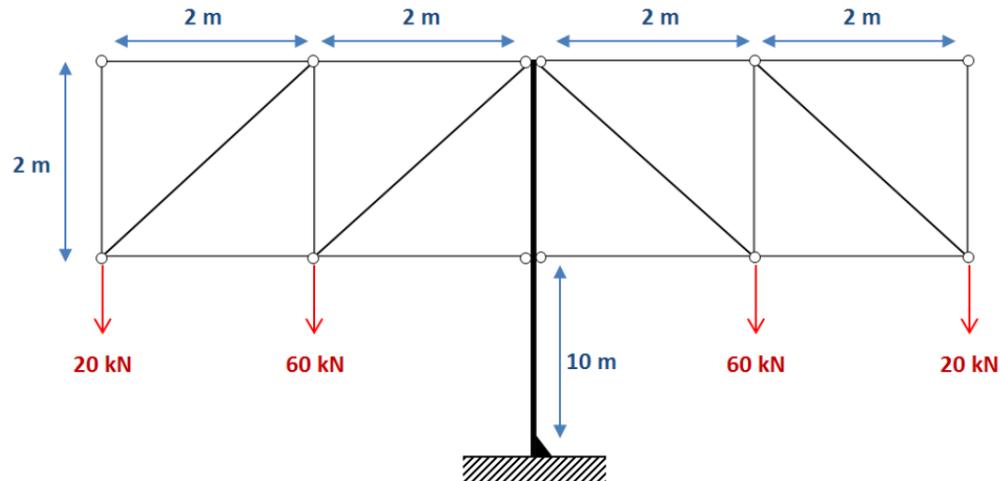
- 1 - Faire une hypothèse argumentée sur la liaison de la pile au sol. (1 pt)
- 2 - Réaliser le schéma statique du problème. (1 pt)
- 3 - Calculer le degré de staticité de la structure. (1 pt)
- 4 - Quelles réactions entre la pile et le sol sont nulles dans le cas du problème ? Pourquoi ? Utilisez le PFS, en le citant avec précision, pour démontrer que la réaction verticale vaut 160 kN. (1 pt)
- 5 - Dimensionner la pile à sa base en choisissant un tube en acier S235 (n'oubliez pas le flambement en admettant que le poteau est rotulé-encasté). (2 pts)
- 6 - Formuler une hypothèse sur le mode de fonctionnement des diagonales. Comment s'appelle un treillis fonctionnant ainsi ? (1 pt)
- 7 - Calculer les efforts par la méthode de votre choix (en cas d'utilisation de la méthode graphique, des valeurs approchantes à 10% seront considérées comme justes) dans toutes les barres du treillis. (2 pts)
- 8 - Dimensionner la barre la plus tendue en rond (= tube plein) acier S235, sachant que l'effort de traction dans cette barre vaut 113.1 kN. (1 pt)

### QUESTIONS :

- 1 - Faire une hypothèse argumentée sur la liaison de la pile au sol. (1 pt)

Le problème est en équilibre comme une balance. Cependant si un poids, même léger, venait à changer cette équilibre, il ne faudrait pas que le pont s'effondre. Pour éviter ce problème il est nécessaire d'encastrer la pile dans le sol.

- 2 - Réaliser le schéma statique du problème. (1 pt)



### FORMULAIRE :

#### Acier S235 :

Limite d'élasticité :  $\sigma_s = 235 \text{ MPa}$   
 Module d'Young :  $E = 210\,000 \text{ MPa}$   
 $1 \text{ MPa} = 1 \text{ MN} / 1 \text{ m}^2 = 1 \text{ N} / 1 \text{ mm}^2$

#### Equations

Force critique d'Euler :  $F = \pi^2 EI / l^2$   
 Contrainte :  $\sigma = F / S$   
 Section d'un tube plein de rayon  $r$  :  $S = \pi r^2$

#### Catalogue de profilés :

Profilé 1 (tube 76.1x3.2 mm) -  $S = 7.33 \text{ cm}^2$  ;  $I = 48.80 \text{ cm}^4$   
 Profilé 2 (tube 152.4x3 mm) -  $S = 14.10 \text{ cm}^2$  ;  $I = 393 \text{ cm}^4$   
 Profilé 3 (tube 508x6.3 mm) -  $S = 99.25 \text{ cm}^2$  ;  $I = 31230.6 \text{ cm}^4$

- 3 - Calculer le degré de staticité de la structure. (1 pt)

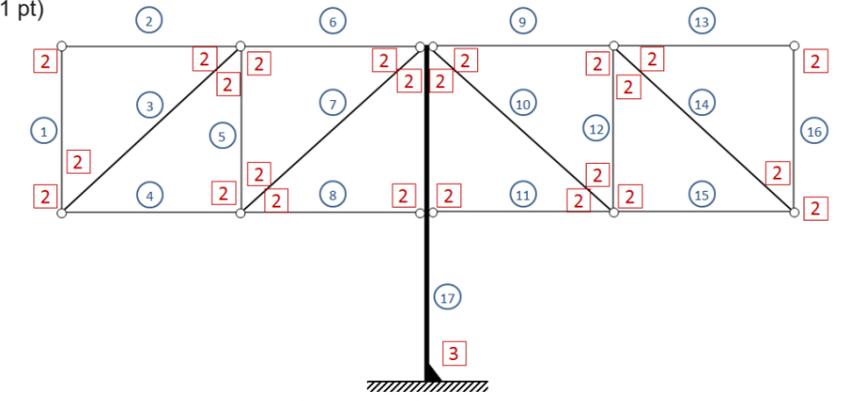
$$h = i - n$$

$$h = 3 + 24 \times 2 - 17 \times 3$$

$$h = 51 - 51$$

$$h = 0$$

Structure isostatique



- 4 - Quelles réactions entre la pile et le sol sont nulles dans le cas du problème ? Pourquoi ? Utilisez le PFS, en le citant avec précision, pour démontrer que la réaction verticale vaut 160 kN. (1 pt)

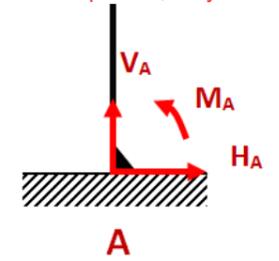
Le problème ne contient pas de forces horizontales, il est donc trivial que le PFS en X donnerait que  $H_A = 0$  (réaction horizontale de la pile). De même, le système est équilibré comme une balance (par symétrie) : dans cette configuration très spéciale, il n'y a donc pas de moment en pied ( $M_A = 0$ ).

Il reste la réaction verticale  $V_A$  : on applique le Principe Fondamental de la Statique en Y :

$$\sum F_Y = 0$$

$$-20 \text{ kN} - 60 \text{ kN} - 60 \text{ kN} - 20 \text{ kN} + V_A = 0$$

$$V_A = 160 \text{ kN}$$



- 5 - Dimensionner la pile à sa base en choisissant un tube en acier S235 (n'oubliez pas le flambement en admettant que le poteau est rotulé-encasté). (2 pts)

La pile est soumise à une force  $F = 160 \text{ kN}$

Dimensionnement à la compression simple :

$$\sigma = F / S \leq 235 \text{ MPa} \text{ donc } S = F / 235 = 160\,000 / 235 = 681 \text{ mm}^2$$

Dimensionnement au flambement :

$$\text{Force critique d'Euler : } F = \pi^2 EI / l^2 \text{ donc } I = F l^2 / \pi^2 E = 160\,000 \cdot (0.7 \cdot 10000)^2 / \pi^2 \cdot 210000 = 3\,786\,500 \text{ mm}^4$$

Le profilé n°2 (1=tube 152.4x3 mm) est donc qui résiste tout en étant le plus économique.

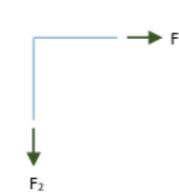
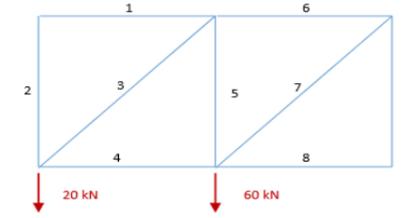
- 6 - Formuler une hypothèse sur le mode de fonctionnement des diagonales. Comment s'appelle un treillis fonctionnant ainsi ? (1 pt)

Les diagonales fonctionnent en traction : les treillis de type Pratt sont ainsi faits.

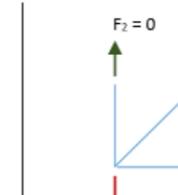
- 7 - Calculer les efforts dans toutes les barres du treillis. (2 pts).

Proposez une idée pour faire des économies (bonus +0.5 pt).

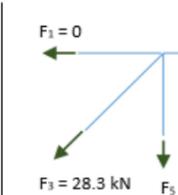
Le problème étant symétrique, on n'étudie que la moitié des barres.



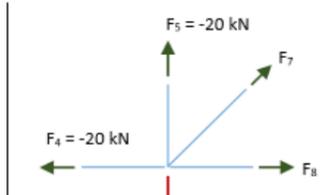
PFS en X :  
 $F_1 = 0 \text{ kN}$   
 PFS en Y :  
 $F_2 = 0 \text{ kN}$



PFS en Y :  
 $F_2 + F_3 \sin(45^\circ) - 20 \text{ kN} = 0$   
 $F_3 = \frac{20}{\sqrt{2}/2} = 28.3 \text{ kN}$   
 PFS en X :  
 $F_4 + F_3 \cos(45^\circ) = 0$   
 $F_4 = -20 \text{ kN}$



PFS en Y :  
 $-F_5 - F_3 \sin(45^\circ) = 0$   
 $F_5 = -20 \text{ kN}$   
 PFS en X :  
 $-F_3 \cos(45^\circ) + F_6 = 0$   
 $F_6 = 20 \text{ kN}$



PFS en Y :  
 $F_5 - 60 \text{ kN} + F_7 \sin(45^\circ) = 0$   
 $F_7 = \frac{60 + 20}{\sqrt{2}/2} = 113.1 \text{ kN}$   
 PFS en X :  
 $-F_4 + F_8 + F_7 \cos(45^\circ) = 0$   
 $F_8 = -20 - 80 = -100 \text{ kN}$

Les barres 1 et 2 n'étant pas chargées, on pourrait s'en passer pour faire des économies de matière.

- 8 - Dimensionner la barre la plus tendue en rond (= tube plein) acier S235, sachant que l'effort de traction dans cette barre vaut 113.1 kN. (1 pt)

Dimensionnement à la traction simple :  $\sigma = F / S = F / \pi r^2 \leq 235 \text{ MPa}$  donc  $r = \sqrt{F / 235\pi} = \sqrt{113\,100 / 235\pi} = 12.4 \text{ mm}$