

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

CONCEPTION ET RÉALISATION EN CHAUDRONNERIE INDUSTRIELLE

SESSION 2017

E4 – CONCEPTION ET RÉALISATION EN CHAUDRONNERIE INDUSTRIELLE

U 41 – DIMENSIONNEMENT ET VÉRIFICATION D'OUVRAGES

Durée : 4 heures - Coefficient : 3

Éléments de correction

CODE ÉPREUVE : CLE4DVO	EXAMEN : BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR	SPÉCIALITÉ : CONCEPTION ET RÉALISATION EN CHAUDRONNERIE INDUSTRIELLE	
SESSION 2017	CORRIGÉ	ÉPREUVE : ÉTUDE ET RÉALISATION D'UN ENSEMBLE CHAUDRONNÉ, DE TÔLERIE OU DE TUYAUTERIE U 41- DIMENSIONNEMENT ET VÉRIFICATION D'OUVRAGES	
Durée : 4h	Coefficient : 3	Corrigé N°07ED14	Page : 1/11

PARTIE 1 : CODES ET RÈGLEMENTS

1 Déterminer la catégorie de risque et la division du CODAP concernée pour l'appareil. En déduire la catégorie de construction.

Gaz, groupe 2 ↪ division 2

V = 3000 litres et P = 1.5 bar ↪ catégorie de risque III

Risque III, défaillance moyenne ↪ catégorie de construction B₂

2 Déterminer la contrainte nominale de calcul pour la virole en situation de service ainsi que le coefficient de soudure.

Catégorie B₂ ↪ f = f₁ et z = 0.85

$$\text{Acier inoxydable austénitique avec A > 35 \% } f_1 = \frac{R_{p1,0}^{140}}{1,5} = \frac{(181 + \frac{18}{50} \cdot 10)}{1.5} = 123 \text{ MPa}$$

f_{service} = 123 MPa

3 Déterminer la contrainte nominale de calcul pour la virole en situation d'essai.

$$f = 0.95 R_{p1,0}^{20} = 0.95 \times 260 = 247 \text{ MPa}$$

$$\text{ou } f = 0.5 R_m^{20} = 0.5 \times 530 = 265 \text{ MPa}$$

choix : f_{essai} = 247 MPa

Pour la suite, on prendra f_{service} = 123 MPa et f_{essai} = 247 MPa et on utilisera les formules de la division 1 du CODAP.

4 Calculer la pression d'essai hydraulique (voir partie CE2 du CODAP)

$$P_{\text{essai}} \gg \max \left\{ 1.43 \text{ PS} ; 1.25 \text{ PSr} \frac{f_E}{f_r^t} \right\}$$

$$P_{\text{essai}} \gg \max \left\{ 1.43 \times 1.5 ; 1.25 \times 1.5 \times \frac{247}{123} \right\}$$

$$P_{\text{essai}} \gg 3.76 \text{ bar}$$

Choix : P_{essai} = 3.8 bar

5 Calculer l'épaisseur minimale nécessaire de l'enveloppe cylindrique ($D_e = 1500$ mm) en situation de service.

$$e = (P \cdot D_e) / (2 \cdot f \cdot z + P) = (0.15 \times 1500) / (2 \times 123 \times 0.85 + 0.15) = 1.08 \text{ mm}$$

$e = 1.08 \text{ mm}$

6 Calculer l'épaisseur minimale nécessaire de l'enveloppe cylindrique en situation d'essai (on prendra $P = 3.8$ bar).

$$e = (P \cdot D_e) / (2 \cdot f \cdot z + P) = (0.38 \times 1500) / (2 \times 247 \times 1 + 0.38) = 1.15 \text{ mm}$$

$e = 1.15 \text{ mm}$

7 Calculer l'épaisseur de commande et comparer à celle indiquée sur le plan.

$$e_n \gg e + c + c_1 + c_2$$

$$e_n \gg 1.15 + 0.2 + 0.1$$

$$e_n \gg 1.46 \text{ mm}$$

$3 \text{ mm} > 1.46 \text{ mm}$ donc épaisseur de commande correcte.

8 Calculer l'épaisseur utile sur la virole.

$e_u = 3 - 0.2 - 0.1 = 2.7 \text{ mm}$

9 Vérification de la résistance de la virole au voisinage du piquage « trou d'inspection » en situation d'essai ($P = 3.8$ bar). Pour cette partie, on prendra :

$$e_t = 2.465 \text{ mm} \quad e = 2.7 \text{ mm.}$$

9.1 Justifier l'épaisseur admise $e_t = 2.465$ mm indiquée ci-dessus

Tube inox X2CrNiMo 17-12-2 sans soudure

$\varnothing_{\text{ext}} = 355.6$ mm , épaisseur = 2.9 mm

Tolérance sur l'épaisseur +22.5% / - 15% car $T < 0.05D$ (voir note c de la norme NF EN 10216-5)

Donc $e_t = 0.85 \times 2.9 = 2.465 \text{ mm}$

9.2 Vérifier les conditions d'application des règles (diamètre de l'ouverture, position de l'ouverture, inclinaison de l'ouverture, épaisseur tube)

$$d = d_i = d_e - 2 e_t = 355.6 - 2 \times 2.465 = 350.67 \text{ mm}$$

$$D_m = D_e - e = 1500 - 2.7 = 1497.3 \text{ mm}$$

Condition 1 : diamètre d'ouverture

$$d \leq \min (D_m ; 16\sqrt{D_m \cdot e})$$

$$\min (1497.3 ; 16\sqrt{1497.3 \times 2.7})$$

$$\min (1497.3 ; 1017.3) = 1017.3$$

$$350.67 < 1017.3 \text{ condition vérifiée}$$

Condition 2 : position de l'ouverture

$$x - x_0 \gg \max \{ (0.2 \sqrt{D_m \times e}) ; (3e) \}$$

$$x_0 = 0$$

$$x = 317 \text{ mm (voir plan, raccordement fond plat)}$$

$$317 > \max (12.72 ; 8.1) \text{ condition vérifiée}$$

Condition 3 : inclinaison tube de piquage

$$\Theta = 0^\circ < 45^\circ \text{ condition vérifiée}$$

Condition 4 : épaisseur tube

$$e_t < k_t \cdot e$$

$$d/D_m = 350.67/1497.3 = 0.23$$

$$k_t = 2.5 (1 - d/D_m) = 1.915$$

$$2.465 < 1.915 \times 2.7 \text{ condition vérifiée}$$

9.3 Vérifier si un renfort est nécessaire. Si oui, proposer des dimensions (on prendra $f = f_t = f_r = 247 \text{ MPa}$).

$$d = 350.67 \text{ mm}$$

$$0.14 \sqrt{D_m \cdot e} = 8.9 \text{ mm}$$

$$350.67 > 8.9 \text{ donc vérification obligatoire}$$

Vérification sans anneau :

$$\text{Il faut que : } S (f - 0.5 P) + S_t (f - 0.5 P) \geq P \cdot G$$

☞ calcul de S :

$$S = e \times L$$

$$\text{Détermination de } k_0 : \delta = \frac{d}{\sqrt{D_m e}} = 350.67 / (\sqrt{1497.3 \times 2.7}) = 5.52$$

$$K_0 = 13/12 - 5.52/48 = 0.97$$

$$K_0 \sqrt{Dm \times e} = 0.97 \sqrt{1497.3 \times 2.7} = 61.68$$

$$x = 317 > 61.68 \quad \text{donc } L = 61.68 \text{ mm}$$

$$\text{et } \underline{S = 61.68 \times 2.7 = 166.54 \text{ mm}^2}$$

☞ Calcul de St :

$$St = (l + e) \cdot et$$

$$l = \min \{(\sqrt{Dm \times et}) ; l_t\} \quad \text{avec } dm = de - et = 355.6 - 2.465 = 353.135 \text{ mm}$$

$$l = \min \{(\sqrt{353.14 \times 2.465}) ; 150\} \quad (150 \text{ mm : voir plan})$$

$$l = 29.5 \text{ mm}$$

$$\text{donc } St = (29.5 + 2.7) \times 2.465$$

$$\underline{St = 79.373 \text{ mm}^2}$$

☞ Calcul de G :

$$G = 0.5 D_i \times (L + 0.5de) + 0.5d_i \times (e + l) \quad \text{avec } D_i = D_e - 2e = 1494.6 \text{ mm}$$

$$G = 0.5 \times 1494.6 \times (61.68 + 0.5 \times 355.6) + 0.5 \times 350.67 \times (2.7 + 29.5)$$

$$G = 184\,609,2 \text{ mm}^2$$

Vérification :

$$(S + St) \cdot (f - 0.5P) = (166.54 + 79.373) \cdot (247 - 0.5 \times 0.38) = 60694 \text{ N}$$

$$PG = 0.38 \times 184609.2 = 70151.5 \text{ N}$$

Donc anneau renfort nécessaire

$$Sr = (70151.5 - 60694) / (247 - 0.5 \times 0.38) = 38.4 \text{ mm}^2$$

Choix possible : er = 2.7 mm et lr = 50 mm

PARTIE 2 : MÉCANIQUE

10.1 On isole la potence 6

Bilan des actions mécaniques :

Force	P.A	Dir	Sens	Int (N)
\vec{P}	E	Verticale	Vers le bas	450
$\vec{O}_{7/6}$	O	Horizontale	?	?
$\vec{A}_{7/6}$	A	?	?	?

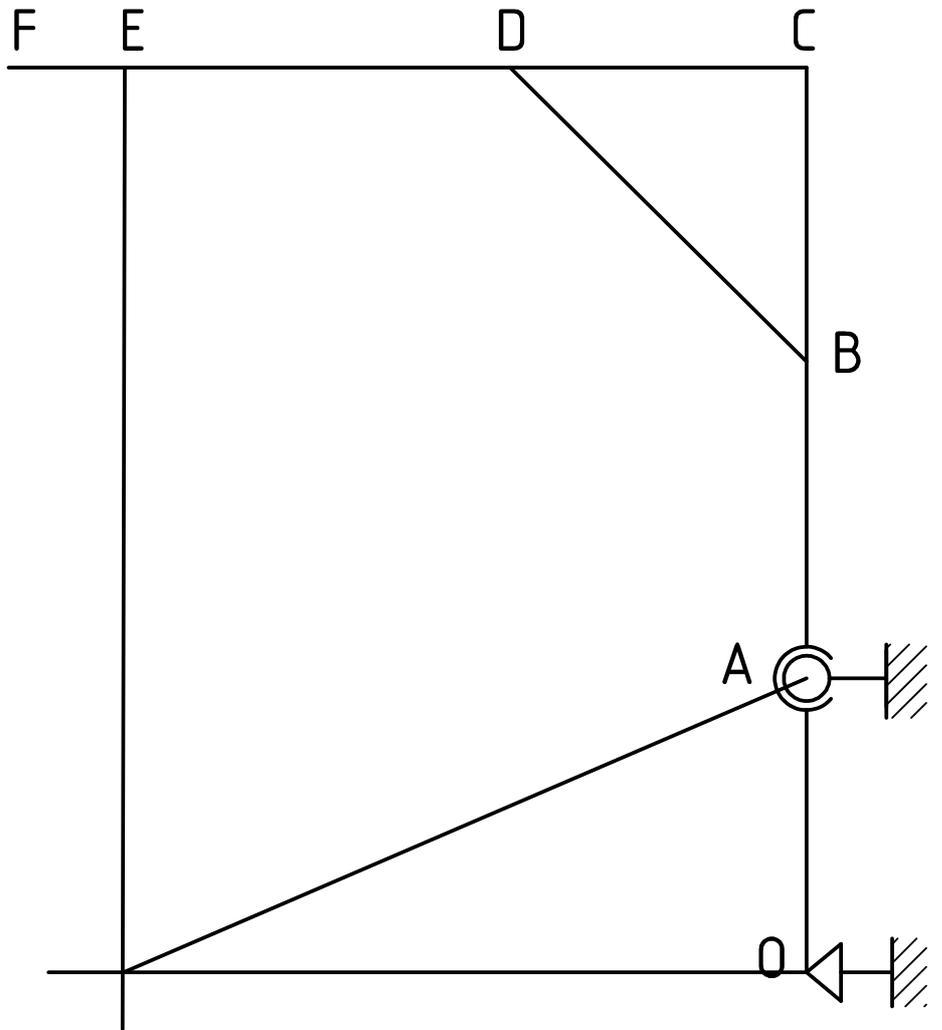
10.2 La potence (6) est en équilibre sous l'effet de trois actions mécaniques.

D'après le principe fondamental de la statique on a :

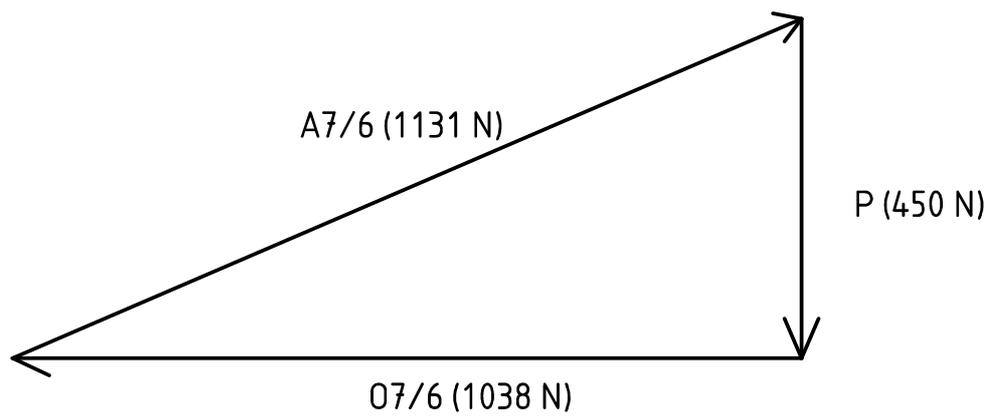
- Directions des trois actions concourantes
- Dynamique des forces fermée

Voir le tracé page suivante.

Force	P.A	Dir	Sens	Int (N)
\vec{P}	E	Verticale	Vers le bas	450
$\vec{O}_{7/6}$	O	Horizontale		1038 N
$\vec{A}_{7/6}$	A			1131 N



Echelle des forces : 10 N : 1 mm



Document réponse

$$11.1 \text{ Pression} = \frac{450}{\frac{\pi}{4}(42.4^2 - 36^2)} = \underline{1.14 \text{ MPa} < 2 \text{ MPa}} \text{ (pièces mobiles/épaulement)}$$

11.2.1 On isole la poutre

La poutre est en équilibre, on applique le PFS :

$$Y_C + Y_D = 450 \text{ } (\Sigma \text{ forces en projection sur } y)$$

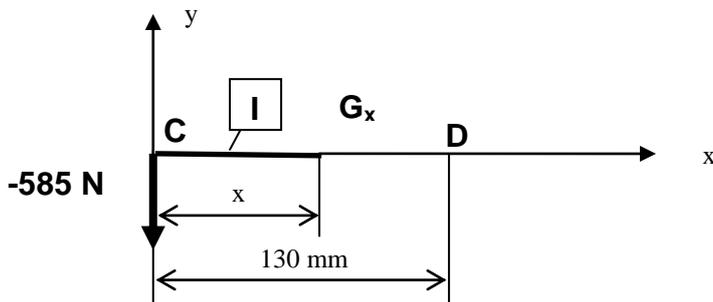
$$130.Y_D - 299.450 = 0 \text{ } (\Sigma \text{ des moments sur } z)$$

On trouve : $\underline{Y_D = 1035 \text{ N}}$

$$\underline{Y_C = -585 \text{ N}}$$

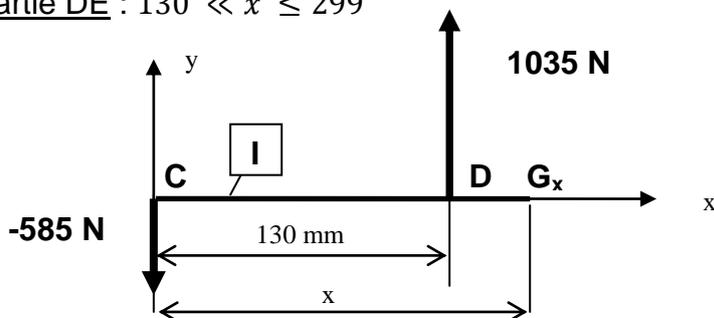
11.2.2 Torseurs de cohésion :

Partie CD : $0 \ll x \ll 130$



$$\{\tau_{coh}\} = -\{\tau_{ext/I}\} = \begin{matrix} & \begin{matrix} 0 & 0 \end{matrix} \\ G(x) \begin{matrix} +585 \\ 0 \end{matrix} & \begin{matrix} 0 \\ -585x \end{matrix} \end{matrix}$$

Partie DE : $130 \ll x \leq 299$



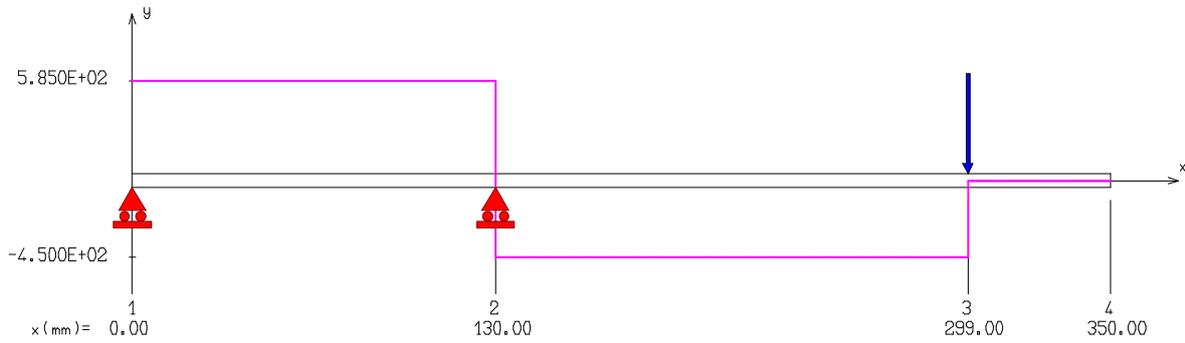
$$\{\tau_{coh}\} = \begin{matrix} & \begin{matrix} 0 & 0 \end{matrix} \\ G(x) \begin{matrix} 450 \\ 0 \end{matrix} & \begin{matrix} 0 \\ 450x - 134550 \end{matrix} \end{matrix}$$

Partie EF : $299 \leq x \leq 350$

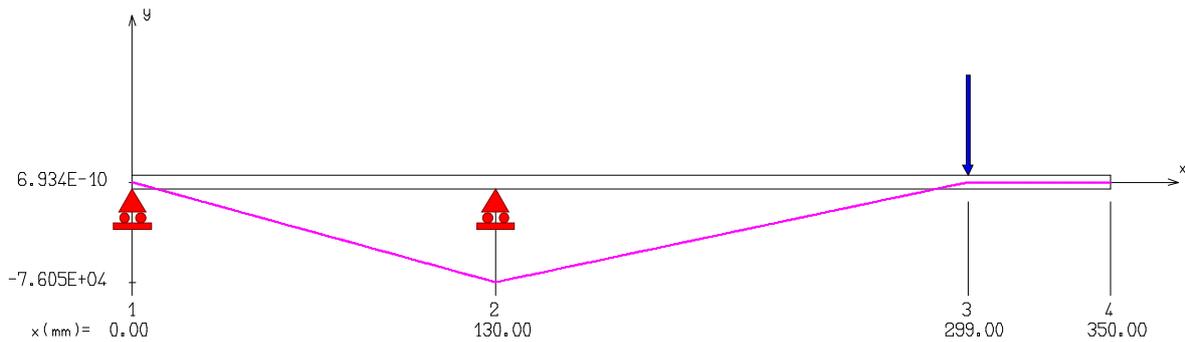
$$\{\tau_{coh}\} = \{0\}$$

11.2.3

EFFORT TRANCHANT [N]



MOMENT FLECHISSANT [N.mm]



11.2.4 Contrainte maxi en D :

$$\begin{aligned}\sigma_{max} &= \frac{Mfz_{max}}{I_{Gz}} \cdot y_{max} \\ \sigma_{max} &= \frac{76050}{25100} \times 16.85 \\ \sigma_{max} &= 51 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$\sigma_e = 220 \text{ MPa}$ donc coefficient de sécurité supérieur à 4

Pour la partie supérieure, du nœud 4 (point C) au nœud 5 (point D), on constate une variante des diagrammes des moments fléchissants entre les deux modèles ; cela s'explique par les liaisons internes type encastrement sur le modèle ossature qui génèrent des moments (sur le modèle poutre on a des liaisons ponctuelles). Du nœud 5 au nœud 7, on retrouve la même allure avec la valeur maxi de 76050 N.mm pour le moment fléchissant.

On constate également que le moment maxi dans la potence est dans la partie verticale entre les nœuds 2 et 3 : 134550 N.mm

$$11.2.5 \quad \sigma_{\max} = (134550/25100) \cdot 16.85 = 90.4 \text{ MPa} < 220 \text{ MPa}$$

11.2.6 On a un déplacement vertical de 1.87 mm et horizontal de 1.13 mm au niveau du nœud 6. Ce déplacement correspond aussi à celui de la bride pleine par rapport à la bride plate lors de la mise en position des boulons pour le maintien. Le jeu entre le diamètre des boulons et celui des alésages et la mobilité au niveau des oreilles nous permet de dire que la déformation est acceptable.

$$11.3.1 \quad N_{//} = 0$$

$$N_n = N_{\perp} = (T / 2) \cdot (\sqrt{2} / 2) = (338/2) \cdot 0.707 = 119.5 \text{ N}$$

$$\sigma = N_n / S = 119.5 / (22 \cdot 3) = 1.81 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = N_{\perp} / S = 119.5 / (22 \cdot 3) = 1.81 \text{ MPa}$$

11.3.2

$$\sqrt{1.81^2 + 3 \cdot 1.81^2} \ll \frac{530}{1 \times 1.25} \quad \text{vérifié}$$

$$1.81 \leq \frac{530}{1 \times 1.25} \quad \text{vérifié}$$

11.4.1

T = 338 N effort pondéré par plan de cisaillement (voir page 13/18)

$$F_{V,Rd} = \frac{0.5 \times 500 \times 36.6}{1.25} = 7320 \text{ N}$$

338 < 7320 donc pas de cisaillement

Proposition de barème :

- 1) 2 points
- 2) 2 points
- 3) 2 points
- 4) 2 points
- 5) 2 points
- 6) 2 points
- 7) 2 points
- 8) 1 point
- 9) 9.1) 2 points
 - 9.2) Condition 1 : 2 points
 - Condition 2 : 2 points
 - Condition 3 : 1 point
 - Condition 4 : 2 points
 - 9.3) vérification obligatoire : 2 points
 - Calcul de S : 3 points
 - Calcul de St : 3 points
 - Calcul de G : 3 points
 - Vérification si anneau : 2 points
 - Dimensions anneau : 2 points
- 10) 10.1) 3 points
- 10.2) 4 points
- 11) 11.1) 2 points
 - 11.2) 11.2.1) 3 points
 - 11.2.2) 5 points
 - 11.2.3) 3 points
 - 11.2.4) 2 points
 - 11.2.6) 2 points
 - 11.2.7) 2 points
 - 11.3) 11.3.1) 4 points
 - 11.3.2) 2 points
 - 11.4) 11.4.1) 4 points

Total : / 75 points