

# CONCEPTION DES APPAREILS

Sous épreuve U41-A

## **CODES ET REGLEMENTS**

**Documents autorisés : CODAP didactique 2000  
Calculatrice réglementaire**

Temps conseillé : 2h

Documents fournis :

**Présentation : Documents DT1-A-B, DT2-A-B**

**Texte du sujet : Documents DS1-A, DS2-A**

**Ressources Technique : Schéma du bas de colonne : DT1-A  
Extraits du Codap 2000 : DT2-A à DT5 -A**

**Documents réponse : Schéma d'implantation des piquages : DR1-A**

Documents à rendre :

**Schéma d'implantation des piquages complété DR1-A**

**Toutes les autres réponses s'effectueront sur feuilles de copie réglementaires**

L'évaluation du travail portera sur :

- l'exactitude de la démarche conduisant aux réponses
- l'exactitude des réponses
- la qualité de la présentation du travail

## Epreuve E41

## CODES ET REGLEMENTS

L'étude portera sur la colonne verticale D 85. Les calculs seront effectués suivant les règles du Codap 2000

**Paramètres de calcul :**

- Pression de service au niveau du remplissage haut : 1,9 bar
- Pression de calcul au niveau du remplissage haut : 2 bar
- Pression en situation exceptionnelle de service : 3,95 bar
- Température de service : 160° C
- Température de calcul : 170° C
- Température en situation exceptionnelle de service : 215° C
- Appareil de classe C
- Coefficient soudure : 0,85
- Acier inoxydable austénitique X2 Cr Ni 19 11 dont :
  - $R_p^{1\%} = 270 \text{ N/mm}^2$  à 170°
  - $R_m = 500 \text{ N/mm}^2$  à 215 °
- Surépaisseur de corrosion = 0
- Fluide contenu : acide acétique, densité 0,89
- Ø extérieur de la tubulure D 85 V1 TH1 = 60,3 mm, épaisseur de commande 4 mm
- Ø extérieur de la tubulure D 85 V1 TH2 = 48,3 mm, épaisseur de commande 4 mm
- Tolérance sur l'épaisseur des tubes  $\pm 15\%$  avec un mini de 0,5.
- Tolérance sur les fonds elliptiques : e garantie = 85% de l'épaisseur de commande
- On prendra  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

**Travail demandé :****1. Calcul des pressions :**

- 1-1 Calculer la hauteur (en m) de la colonne de liquide qui exerce une pression hydrostatique **au pied de la virole** (ligne de soudure) repère D 85 V1.  
(Voir doc. DT1-A-B et DT1-A)
- 1-2 Trouver la valeur de la pression générée par cette colonne de liquide (en MPa)  
(Rappel :  $P = \rho \cdot g \cdot h$ )
- 1-3 En déduire la pression totale de calcul en situation normale de service au pied de la virole.

## 2. Calcul des contraintes :

- 2.1 Calculer la contrainte  $f_2$  en situation normale de service.
- 2.2 Calculer la contrainte  $f_2$  en situation exceptionnelle de service.

## 3. Vérification d'ouvertures

On vous demande de vérifier si les piquages D 85 V1 TH1 et D 85 V1 TH2 doivent être considérés comme voisins dans le calcul de la vérification des renforcements d'orifices. On prendra 5 mm pour l'épaisseur admise de la virole  $\varnothing 410$  D 85 V1.

Suivre la chronologie suivante :

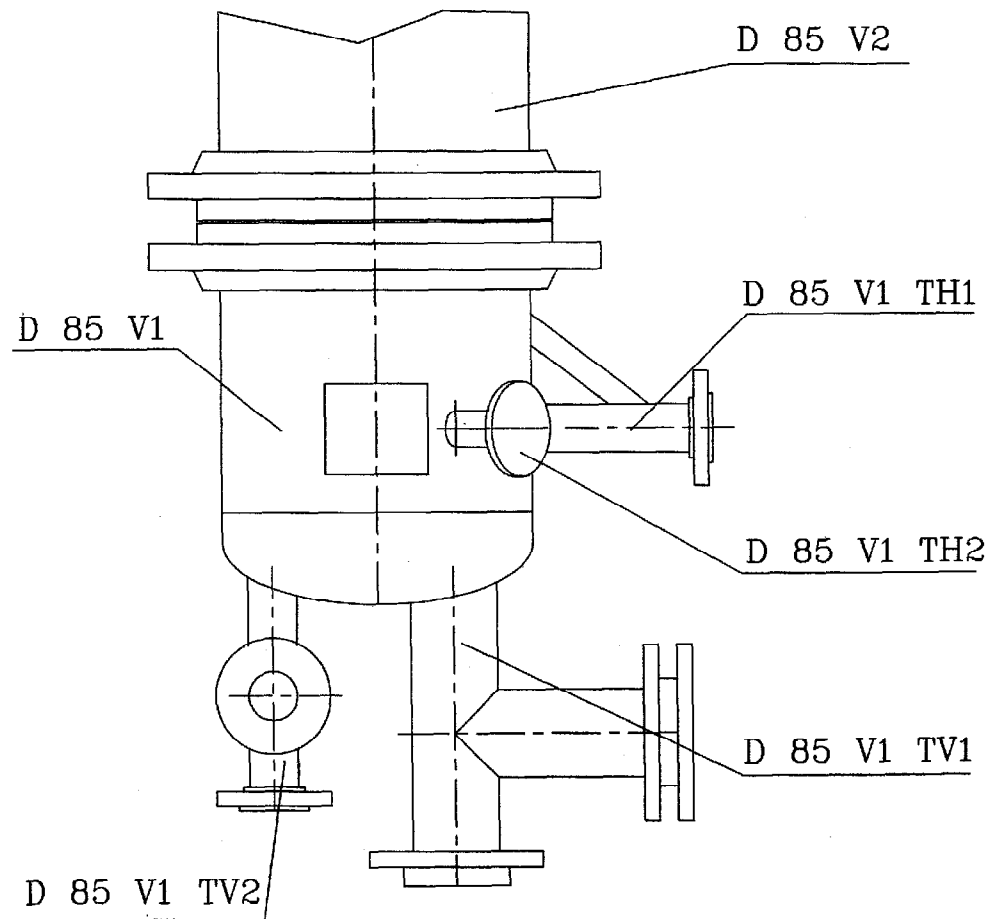
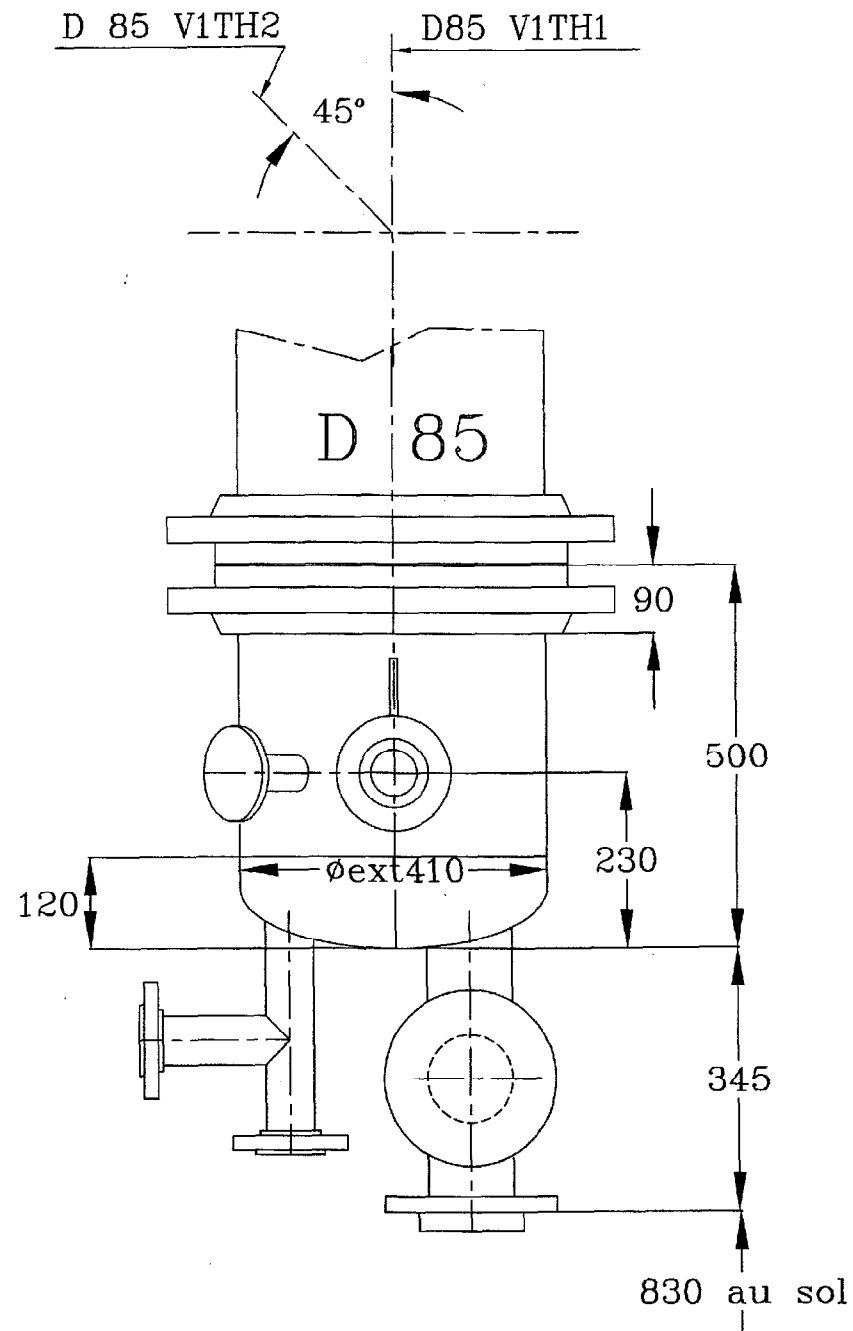
- Indiquer la valeur des cotes du schéma **document DR1-A**
- Calculer L1 puis L2 (d'après C5.2.2.2)
- Calculer x (document DR1 -A)
- Comparer L1 et L2 avec x
- Quelle conclusion peut-on en tirer ?

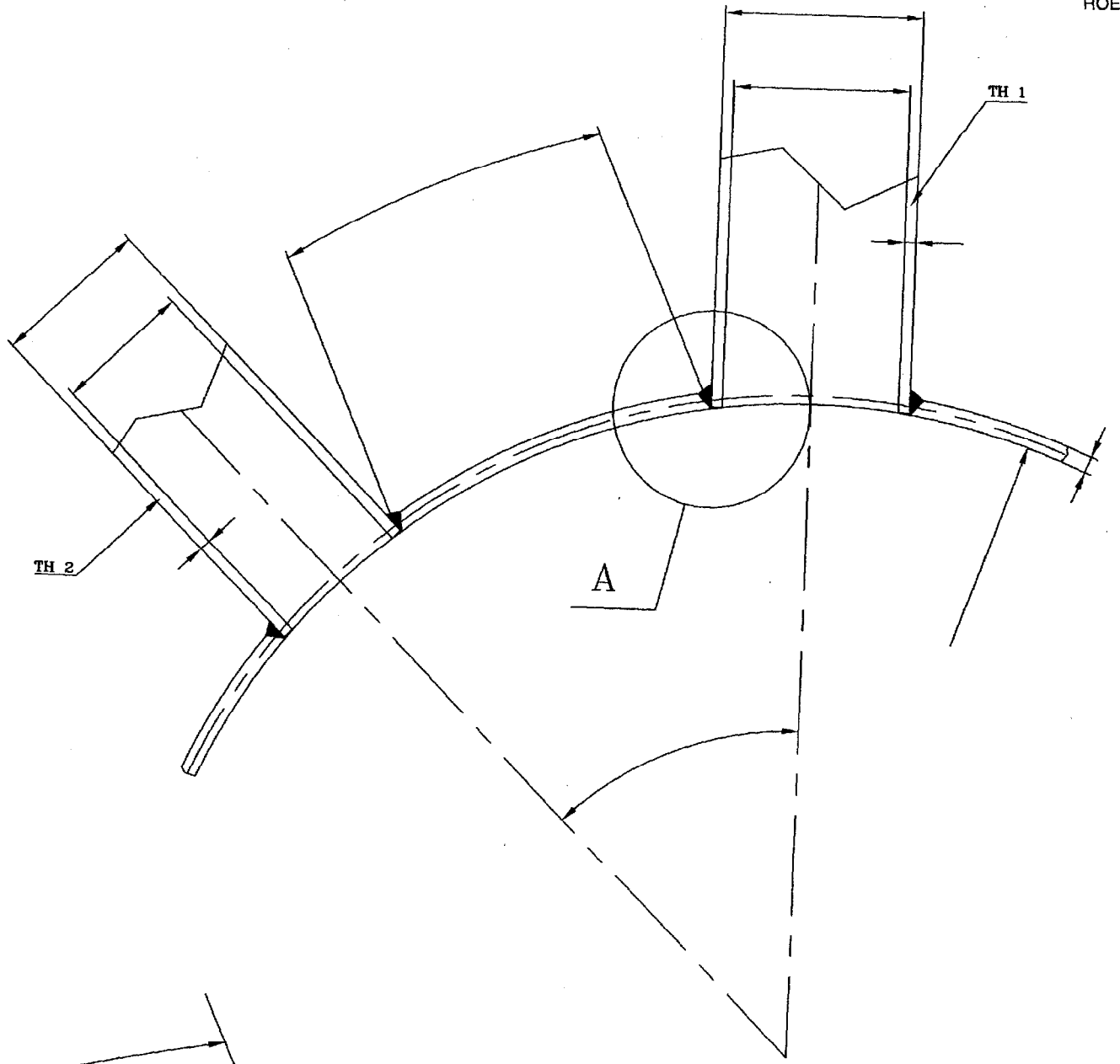
## 4. Vérification des épaisseurs

**On admet maintenant pour la suite des calculs que la contrainte  $f_2$  en situation normale de service = 165 MPa et la pression de calcul = 3,5 bars au bas du réservoir.**

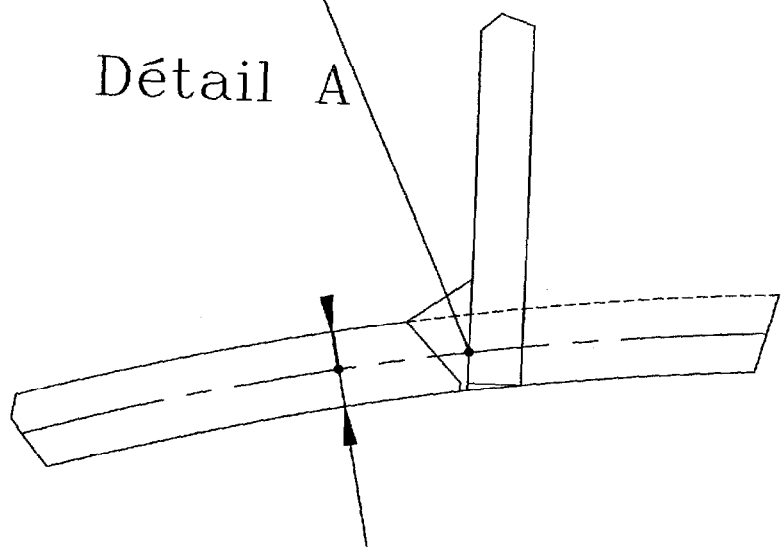
L'épaisseur nominale de commande du fond elliptique inférieur est de 5 mm.  
(fond normalisé NF E 81.103)

- 4.1 Vérifier si cette épaisseur est suffisante.
- 4.2 Vérifier les conditions d'application.
- 4.3 Si en situation exceptionnelle de service on trouve  $e = 4,3$  mm quelles conclusions devrez vous en tirer ?





Détail A



COLLER L'ÉTIQUETTE A CET EMPLACEMENT

## C5.2 - ENVELOPPES CYLINDRIQUES, SPHÉRIQUES, CONIQUES ET FONDS BOMBÉS SOUMIS À UNE PRESSION INTÉRIEURE ET COMPORTANT DES OUVERTURES VOISINES

### C5.2.1 - OBJET ET DOMAINE D'APPLI- CATION

Les règles du présent chapitre permettent de vérifier la résistance des enveloppes soumises à une pression intérieure et comportant des ouvertures voisines.

Deux ouvertures doivent être considérées comme voisines lorsque leur distance  $x$ , mesurée à mi-épaisseur de la paroi comme l'indiquent les figures C5.2.2.2, 3 et 4 et C5.2.4 est inférieure à :

$$L_1 + L_2$$

Les présentes règles s'appliquent :

- aux enveloppes cylindriques de section droite circulaire,
- aux enveloppes sphériques,
- aux enveloppes coniques de révolution,
- aux fonds bombés elliptiques, torisphériques ou hémisphériques,
- aux fonds à calotte sphérique boulonnés,

satisfaisant respectivement aux conditions dimensionnelles indiquées en C2.1, C2.2, C2.3, C3.1 et C3.4.

Elles concernent les ouvertures suivantes :

- ouvertures de tubulures de section droite circulaire fixées sur l'enveloppe par des soudures résistantes,
- trous de tubes, mandrinés ou vissés, avec ou sans soudure d'étanchéité,
- ouvertures obturées par un tampon autoclave.

Ces ouvertures doivent, individuellement, satisfaire aux conditions indiquées en C5.1.2.1 à C5.1.2.4.

Les présentes règles doivent être appliquées même si :

$$d_1 \leq 0,14 \sqrt{D_{m,1} \cdot e}$$

ou

$$d_2 \leq 0,14 \sqrt{D_{m,2} \cdot e}$$

Le renforcement d'une enveloppe comportant des ouvertures voisines peut être réalisé par une augmentation générale ou locale de son épaisseur, par l'adjonction d'anneaux-renforts rapportés ou, s'il s'agit d'ouvertures de tubulures, par augmentation de l'épaisseur de ces tubulures. Ces modes de renforcement peuvent être associés ; ils doivent satisfaire aux conditions indiquées en C5.1.2.5.

Les règles du présent chapitre couvrent les modes de défaillance par déformation excessive, par rupture par fluage et par déformation progressive sous l'effet de la pression intérieure.

### C5.2.2 - CONDITIONS D'APPLICATION DES RÈGLES

#### C5.2.2.1 - Distance entre ouvertures voisines

Les règles du présent chapitre ne s'appliquent qu'aux ouvertures telles que :

$$(x - x_{0,1} - x_{0,2}) \geq \text{MAX} \left\{ \begin{array}{l} \left( 0,2 \sqrt{\frac{D_{m,1} + D_{m,2}}{2}} e \right), \\ \left( \frac{d_{\min}}{2} \right) \cdot (3e) \end{array} \right\}$$

relation dans laquelle :

$$d_{\min} = \text{MIN} \{ (d_1), (d_2) \}$$

#### C5.2.2.2 - Ouvertures voisines dans une enveloppe cylindrique

Les règles du présent chapitre s'appliquent sans limitation aux ouvertures voisines dont les centres sont situés sur la même génératrice de l'enveloppe cylindrique (voir exemple sur la figure C5.2.2.2a).

Elles s'appliquent aussi aux ouvertures dont les centres ne sont pas sur la même génératrice de l'enveloppe cylindrique. S'il s'agit de tubulures soudées, leurs axes doivent être dans des plans perpendiculaires à l'axe de l'enveloppe (voir figure C5.2.2.2b).

#### C5.2.2.3 - Ouvertures voisines dans une enveloppe conique

Les règles du présent chapitre s'appliquent aux ouvertures situées sur la même génératrice de l'enveloppe conique (voir exemple sur la figure C5.2.2.3).

#### C5.2.2.4 - Ouvertures voisines dans une enveloppe sphérique ou un fond bombé

S'il s'agit de tubulures soudées, leurs axes doivent être dans un même plan (voir figure C5.2.2.4).

**C5.2.2.5 - Sollicitations autres que la pression**

Les règles du présent chapitre ne prennent en compte que l'action de la pression intérieure.

Elles ne tiennent pas compte de l'action des forces et moments extérieurs pouvant s'exercer sur les tubulures.

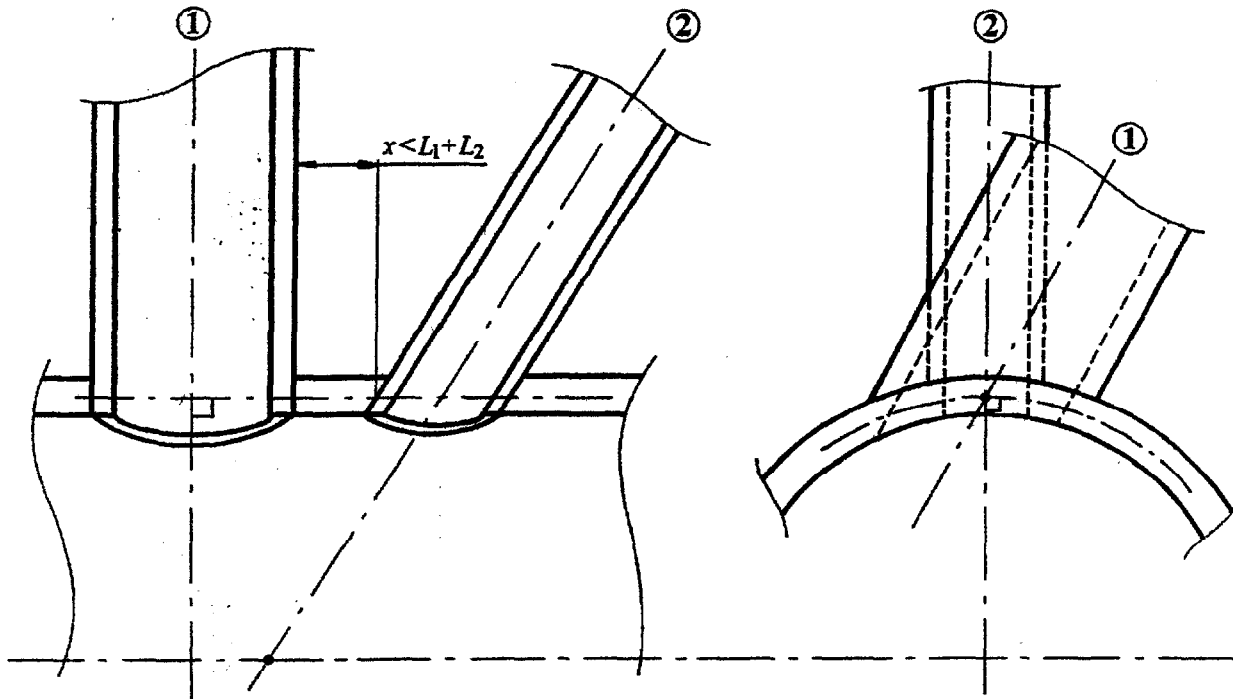


Figure C5.2.2.2 a - Ouvertures voisines de tubulures soudées obliques situées sur la même génératrice d'une enveloppe cylindrique.

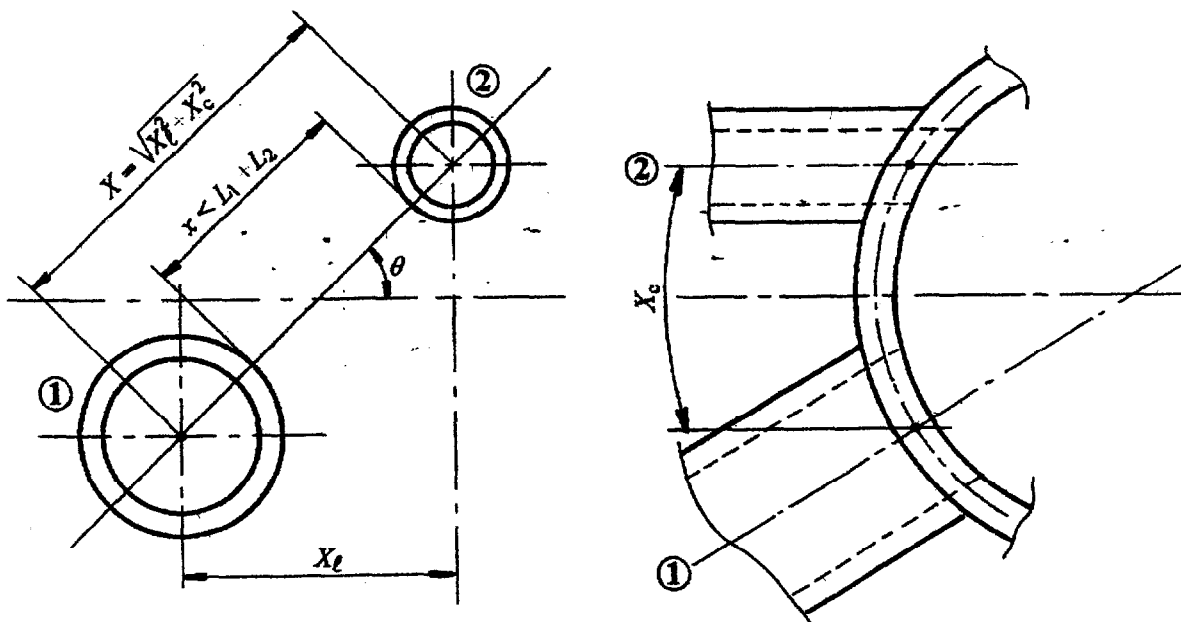


Figure C5.2.2.2 b - Ouvertures voisines de tubulures soudées, non situées sur la même génératrice d'une enveloppe cylindrique, axes dans des plans perpendiculaires à l'axe de l'enveloppe.

**C5.2.3 - NOTATIONS**

$e$  = épaisseur admise de l'enveloppe au voisinage des ouvertures voisines.

$e_{t,1}$  = épaisseurs admises des tubulures.

$e_{t,2}$  Si l'épaisseur des tubulures n'est pas constante,  $e_{t,1}$  ou  $e_{t,2}$  est l'épaisseur moyenne admise, respectivement sur la longueur  $l_1$  ou  $l_2$ .

$e'_{t,1}$  = épaisseurs admises du dépassement intérieur des tubulures.

$e'_{t,2}$  Si l'épaisseur du dépassement n'est pas constante,  $e'_{t,1}$  ou  $e'_{t,2}$  est l'épaisseur moyenne admise, respectivement sur la longueur  $l'_1$  ou  $l'_2$ .

$R_i$  = rayon intérieur d'une enveloppe cylindrique ou sphérique ou d'un fond bombé au droit des ouvertures voisines.

Pour un fond elliptique le rayon  $R_i$  est le rayon intérieur du fond torisphérique équivalent :

$$R_i = 0,45 D_i \frac{D_i}{2h_2}$$

Pour un fond elliptique conforme à la norme NF E 81-103 :

$$R_i = 0,855 D_i$$

$R_{i,1}$  = rayons intérieurs d'une enveloppe conique au droit de chaque ouverture, mesurés comme l'indique la figure C5.2.2.3.

$D_{m,1}$  = diamètres moyens de l'enveloppe au droit de chaque ouverture :

- pour une enveloppe cylindrique ou sphérique ou un fond bombé :

$$D_{m,1} = D_{m,2} = 2 R_i + e$$

- pour une enveloppe conique :

$$D_{m,1} = 2R_{i,1} + e$$

$$D_{m,2} = 2R_{i,2} + e$$

$D_i$  = diamètre intérieur d'un fond bombé.

$d_1, d_2$  = diamètres des ouvertures voisines, mesurés comme l'indiquent les figures C5.2.4c et d.

Lorsqu'une ouverture est celle d'une tubulure soudée en bout d'une collerette extrudée, ou renforcée par une pièce forgée ou celle d'une tubulure vissée, ou lorsque son diamètre n'est pas constant dans l'épaisseur

de la paroi, il y a lieu, pour mesurer  $d_1$  ou  $d_2$ , de tenir compte des indications données en C5.1.3.

Lorsqu'une ouverture n'est pas circulaire,  $d_1$  ou  $d_2$  est la plus grande dimension de l'ouverture mesurée dans un plan passant par les centres des deux ouvertures.

$d_{i,1}$  = diamètres intérieurs des tubulures.

$d_{i,2}$  = diamètres moyens des tubulures :

$$d_{m,1} = d_{i,1} + e_{t,1}$$

$$d_{m,2} = d_{i,2} + e_{t,2}$$

$d'_{m,1}$  = diamètres moyens du dépassement intérieur des tubulures :

$$d'_{m,1} = d_{i,1} + e'_{t,1}$$

$$d'_{m,2} = d_{i,2} + e'_{t,2}$$

$h_2$  = flèche intérieure d'un fond elliptique.

$L_1, L_2$  = distances, mesurées à mi-épaisseur de l'enveloppe, sur lesquelles s'étend l'influence des ouvertures :

$$L_1 = k_{0,1} \sqrt{D_{m,1} \cdot e}$$

$$L_2 = k_{0,2} \sqrt{D_{m,2} \cdot e}$$

$L'$  = longueur d'enveloppe, mesurée à mi-épaisseur de la paroi comme l'indiquent les figures C5.2.4d, participant à la résistance de deux ouvertures voisines avec ligament peu résistant :

$$L' = x' + k'(L_1 + L_2)$$

$l_1, l_2$  = longueurs de tubulures participant à la résistance de l'enveloppe :

$$l_1 = \text{MIN} \left\{ \left( \sqrt{d_{m,1} \cdot e_{t,1}} \right), (l_{t,1}) \right\}$$

$$l_2 = \text{MIN} \left\{ \left( \sqrt{d_{m,2} \cdot e_{t,2}} \right), (l_{t,2}) \right\}$$

$l'_1, l'_2$  = longueurs du dépassement intérieur des tubulures participant à la résistance de l'enveloppe :

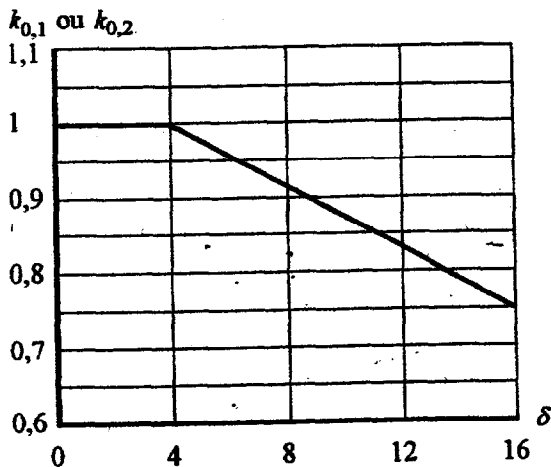
$$l'_1 = \text{MIN} \left\{ \left( 0,5 \sqrt{d'_{m,1} \cdot e'_{t,1}} \right), (l'_{t,1}) \right\}$$

$$l'_2 = \text{MIN} \left\{ \left( 0,5 \sqrt{d'_{m,2} \cdot e'_{t,2}} \right), (l'_{t,2}) \right\}$$

$l_{t,1}, l_{t,2}$  = longueurs des tubulures mesurées comme indiqué en C5.1.3.



- $l'_{t,1}$ ,  $l'_{t,2}$  = longueurs du dépassement intérieur des tubulures.
- $x$  = distance entre deux ouvertures voisines, mesurée à mi-épaisseur de l'enveloppe comme l'indiquent les figures C5.2.2.2, 3 et 4 et C5.2.4.
- $x'$  = distance définie par les figures C5.2.4d1 et d2.
- $x_{0,1}$ ,  $x_{0,2}$  = distances définies, pour chacune des ouvertures voisines, par les figures C5.1.3 h
- $X$  = distance mesurée à mi-épaisseur de l'enveloppe, entre les centres de deux ouvertures voisines dans une enveloppe cylindrique, non situées sur la même génératrice.  $X$  est définie par la figure C5.2.2.2b.
- $\theta$  = angle défini par la figure C5.2.2.2b.
- $k_{0,1}$ ,  $k_{0,2}$  = coefficients donnés par le graphique C5.2.3.
- $F$  = coefficient égal à :
  - 1 pour des ouvertures voisines dans une enveloppe conique, une enveloppe sphérique ou un fond bombé ou sur la même génératrice d'une enveloppe cylindrique.
  - $\frac{1 + \cos^2 \theta}{2}$  pour des ouvertures voisines dans une enveloppe cylindrique et non situées sur la même génératrice.



$$\delta = \frac{d_1}{\sqrt{D_{m,1} \cdot e}} \text{ ou } \frac{d_2}{\sqrt{D_{m,2} \cdot e}}$$

- Pour  $4 \leq \delta \leq 16$  :  $k_{0,1}$  ou  $k_{0,2} = \frac{13}{12} - \frac{\delta}{48}$
- Graphique C5.2.3 - Valeurs des coefficients  $k_{0,1}$  ou  $k_{0,2}$ .

- $k'$  = coefficient à utiliser pour le calcul de  $L'$  :
    - si  $L_1 + L_2 < x' \leq 2(L_1 + L_2)$  :
 
$$k' = 2 - \frac{x'}{L_1 + L_2}$$
    - si  $x' \leq L_1 + L_2$  :  $k' = 1$
  - $P$  = pression de calcul.
  - $f, f_{t,1}, f_{t,2}, f_r$  = contrainte nominale de calcul, respectivement du matériau de l'enveloppe, de chaque tubulure, de l'anneau-renfort.
  - $z$  = coefficient de soudure.
- Pour les situations exceptionnelles de service ou d'essai de résistance, prendre  $z = 1$ .*

**C5.2.4 - RÈGLES DE VÉRIFICATION DE LA RÉSISTANCE D'UNE ENVELOPPE COMPORTANT DES OUVERTURES VOISINES**

a) Chaque ouverture, considérée comme isolée, doit satisfaire aux règles de C5.1.4.

b) Aucune vérification n'est à effectuer pour des ouvertures dans une enveloppe cylindrique ou sphérique ou un fond bombé, entièrement ou partiellement situées à l'intérieur d'un cercle de diamètre :

$$2\sqrt{(2R_i + e) e}$$

et dont la somme des diamètres n'excède pas :

$$0,2\sqrt{(2R_i + e) e}$$

pour autant qu'aucune autre ouverture ne soit voisine d'une des ouvertures concernées.

c) Pour les ouvertures non concernées par la règle b, la résistance du ligament séparant deux ouvertures voisines doit être vérifiée en s'assurant que la relation :

$$\frac{S(f - 0,5P) + S_{t,1}(f_{t,1} - 0,5P) + S_{t,2}(f_{t,2} - 0,5P) + S_r(f_r - 0,5P)}{S_r(f_r - 0,5P)} \geq P(G \cdot F + G_1 + G_2) \quad \text{(relation C5.2.4c1)}$$

est satisfaite.

Lorsque  $f_{t,1}$  ou  $f_{t,2}$  ou  $f_r$  sont supérieures à  $f$ , prendre  $f_{t,1}$  ou  $f_{t,2}$  ou  $f_r = f$  pour la vérification de cette relation.

Les surfaces  $S, S_{t,1}, S_{t,2}, S_r, G, G_1$  et  $G_2$  sont définies par les figures C5.2.4c1 à c6 qui illustrent quelques-unes des configurations les plus usuelles à partir desquelles il est possible, en s'aidant au besoin des figures C5.1.4b, de traiter les autres configurations couvertes par les règles.