

# CONCEPTION DES APPAREILS

## Sous-épreuve U41-A

<h3>CODES ET RÈGLEMENTS</h3>
------------------------------

Temps conseillé : 2h

DOCUMENT INDISPENSABLE : CODAP didactique 2000

DOCUMENTS FOURNIS :

Texte du sujet : Documents **DS1** U41-A, **DS2** U41-A.

Ressources techniques :

- Plan de détails : **DT1** U41-A.
- Matériaux, extraits de la norme NF EN 10088-2 : **DT2** U41-A et **DT3** U41-A.
- Extraits du CODAP : Enveloppes cylindriques, sphériques, coniques et fonds bombés soumis à une pression intérieure et comportant des ouvertures voisines : **DT4** U41-A, **DT5** U41-A et **DT6** U41-A.

**Toutes les réponses seront rédigées sur feuilles de copie réglementaires.**

## CODES ET RÈGLEMENTS

### MISE EN SITUATION :

L'installation est située dans une usine de teinturerie.

Des bobines de fil sont descendues dans une cuve pour y subir un bain colorant. L'opération se déroule sous une pression de 0,55 MPa, à une température de 140°C.

Pour augmenter les capacités du bain, l'entreprise envisage la fabrication d'une cuve d'un volume supérieur en gardant le même principe de fonctionnement.

### CARACTÉRISTIQUES : Voir document DT U41-A-B

Une première étude technique et économique préconise la fabrication d'une cuve à partir d'un fond bombé GRC de 2000 mm de diamètre extérieur et d'une épaisseur de 10 mm. Celui-ci est en un seul élément conforme à la norme NF E 81-102 pour laquelle  $R = D_e$  et  $r = D_e/10$ .

Afin de faciliter le nettoyage entre deux bains différents, il est imposé

- d'aligner les surfaces intérieures du fond et de la virole
- de monter des piquages sans débordement intérieur.

MATÉRIAU : Acier inoxydable austénitique X2CrNiMo17-12-2 (1.4404).

### DONNÉES DE CONCEPTION :

Catégorie de construction	B	
Type de réception	$r_2$	
Contrainte nominale de calcul	$f = f_2$	
Coefficient de soudure	$z = 0,85$	
situation normale de service	Pression de calcul	0,55 MPa
	Température de calcul	140 °C
Température d'essai	20 °C	
Surépaisseur de corrosion	0 mm	
Diamètre extérieur du fond	2000 mm	
Épaisseur nominale de commande du fond	$e_n = 10$ mm	

### DONNÉES DE FABRICATION :

Amincissement dû au roulage	Négligé
Tolérances sur les épaisseurs des tôles	+0,5
	-0,3
Tolérances sur les épaisseurs des tubes	+ 15% de l'épaisseur de commande
	-12,5% de l'épaisseur de commande
Fabrication des fonds	Compte tenu des tolérances sur les tôles et de la fabrication: en tout point du fond l'épaisseur garantie ne peut être inférieure à 85% de l'épaisseur nominale de commande.

DS1 U41-A

TRAVAIL DEMANDÉ :

- 1) Le but est de déterminer la pression d'essai suivant la partie I.13 du CODAP 2000.

En supposant la situation normale de service proposée comme étant la plus pénalisante en pression :

1.1) Calculer  $f_E$  et  $f^t$ .

1.2) Calculer la pression d'essai hydraulique de l'appareil.

Nota : pour la suite on supposera la pression d'essai égale à 1 MPa

- 2) Le but est de déterminer l'épaisseur du fond bombé du couvercle en situation d'essai.

2.1) En se plaçant dans le cas le plus défavorable (en fin de vie avec le minimum de matière), calculer l'épaisseur utile ( $e_u$ ) du fond retenu et son diamètre intérieur ( $D_i$ ).

2.2) Pour la suite des calculs, on prendra  **$D_i = 1985\text{mm}$**  et  **$P = 1\text{ MPa}$**

2.2.1) Calculer la contrainte  $f$  pour la situation d'essai.

2.2.2) Déterminer l'épaisseur minimale nécessaire du fond en situation d'essai.

2.2.3) Conclure.

- 3) Le but est de déterminer l'épaisseur de la virole cylindrique en situation normale de service.

3.1) Calculer l'épaisseur minimale nécessaire de la virole.

3.2) En déduire l'épaisseur nominale de commande.

Nota : pour la suite on prendra  $f = 110\text{ MPa}$

- 4) Le but est vérifier les piquages 1 et 2 dans les conditions les plus défavorables.

4.1) En vous aidant des documents DS1 U41-A, DT1 U41-A, des extraits DT4 à DT6 U41-A et du chapitre C5.1 du CODAP didactique, calculer les valeurs de  $R$ ,  $e$ ,  $e_{t1}$ ,  $e_{t2}$  et  $d_2$ .

4.2) Vérifier si les piquages "1" et "2" doivent être considérés comme des ouvertures voisines.

4.3) Le piquage "1" étant supposé ouverture isolée, est-il nécessaire de le renforcer ? On se limitera à la situation normale de service.

Vous préciserez les différentes vérifications qui vous autorisent à effectuer les calculs.

Pour simplifier les calculs on donne si besoin:

$$S = 1568\text{ mm}^2$$

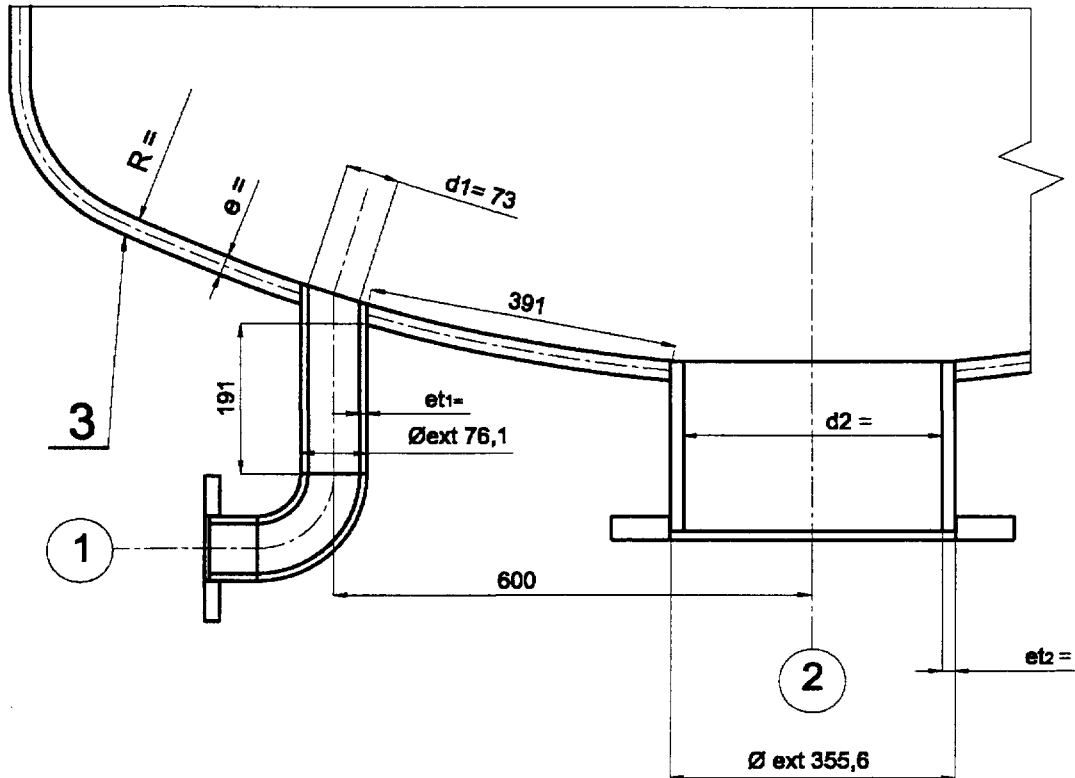
$$S_t = 76\text{ mm}^2$$

$$G = 226316\text{ mm}^2$$

$$f = 110\text{ MPa}$$

DS2 U41-A

A-A



**Nota:** pour rendre plus lisible le détail:  
 les hachures ne sont pas représentées  
 les proportions des pièces ne sont pas respectées

3		Fond GRC Ø ext 2000 ép 10	1.4404	
2		Piquage Ø 355,6 ép 8	1.4404	
1		Piquage Ø 76,1 ép 3,6	1.4404	Entrée fluide
Rep	Nb	Désignation	Matière	Observations
		BTS Réalisation d'ouvrages chaudronnés		
		Conception des appareils Codes et Réglements		
				DT1 U41-A

Extrait de la norme NF EN 10088-2 (Aciers inoxydables)  
Caractéristiques mécaniques à température ambiante des aciers austénitiques

Désignation de l'acier		Produit <sup>2)</sup>	Épaisseur mm max	Limite d'élasticité		Résistance à la traction R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>	Allongement à la rupture	
Symbolique	Numérique			R <sub>p0.2</sub>	R <sub>p1.0</sub>		A <sub>80 mm</sub> <sup>5)</sup> < 3 mm d'épais. % min (tr.)	A <sup>6)</sup> ≥ 3 mm d'épais. % min (tr.)
<b>Nuances standardisées</b>								
X10CrNi18-8	1.4310	C	6	250	280	600 à 950	40	40
X2CrNi18-7	1.4318	C	6	350	380	650 à 850	35	40
		H	12	330	370			
		P	75	330	370	630 à 830	45	45
X2CrNi18-9	1.4307	C	6	220	250	520 à 670	45	45
		H	12	200	240			
		P	75	200	240	500 à 650		
X2CrNi19-11	1.4306	C	6	220	250	520 à 670	45	45
		H	12	200	240			
		P	75	200	240	500 à 650		
X2CrNi18-10	1.4311	C	6	290	320	550 à 750	40	40
		H	12	270	310			
		P	75	270	310			
X5CrNi18-10	1.4301	C	6	230	260	540 à 750	45 <sup>9)</sup>	45 <sup>9)</sup>
		H	12	210	250	520 à 720		
		P	75	210	250		45	45
X8CrNiS18-9	1.4305	P	75	190	230	500 à 700	35	35
X6CrNiTi18-10	1.4541	C	6	220	250	520 à 720	40	40
		H	12	200	240			
		P	75	200	240	500 à 700		
X4CrNi18-12	1.4303	C	6	220	250	500 à 650	45	45
X2CrNiMo17-12-2	1.4404	C	6	240	270	530 à 680	40	40
		H	12	220	260			
		P	75	220	260	520 à 670	45	45
X2CrNiMoN17-11-2	1.4406	C	6	300	330	580 à 780	40	40
		H	12	280	320			
		P	75	280	320			

DT2 U41-A

Extrait de la norme NF EN 10088-2 (Aciers inoxydables)  
Valeurs minimales de limite d'élasticité à 0,2% et 1% des aciers austénitiques à température élevée

Désignation de l'acier		État de traitement thermique <sup>1)</sup>	R <sub>p0,2</sub> min (N/mm <sup>2</sup> ) à une température (en °C) de										R <sub>p1,0</sub> min (N/mm <sup>2</sup> ) à une température (en °C) de								
			100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	100	150	200	250	300	350	400	450	
<b>Nuances standardisées</b>																					
X10CrNi18-8	1.4310	AT	210	200	190	185	180	180	—	—	—	—	230	215	205	200	195	195	—	—	
X2CrNi18-7	1.4318	AT	265	200	185	180	170	165	—	—	—	—	300	235	215	210	200	195	—	—	
X2CrNi18-9	1.4307	AT	147	132	118	108	100	94	89	85	81	80	181	162	147	137	127	121	116	112	
X2CrNi19-11	1.4306	AT	147	132	118	108	100	94	89	85	81	80	181	162	147	137	127	121	116	112	
X2CrNi18-10	1.4311	AT	205	175	157	145	136	130	125	121	119	118	240	210	187	175	167	161	156	152	
X5CrNi18-10	1.4301	AT	157	142	127	118	110	104	98	95	92	90	191	172	157	145	135	129	125	122	
X6CrNiTi18-10	1.4541	AT	176	167	157	147	136	130	125	121	119	118	208	196	186	177	167	161	156	152	
X4CrNi18-12	1.4303	AT	155	142	127	118	110	104	98	95	92	90	188	172	157	145	135	129	125	122	
X2CrNiMo17-12-2	1.4404	AT	166	152	137	127	118	113	108	103	100	98	199	181	167	157	145	139	135	130	
X2CrNiMoN17-11-2	1.4406	AT	211	185	167	155	145	140	135	131	128	127	246	218	198	183	175	169	164	160	
X5CrNiMo17-12-2	1.4401	AT	177	162	147	137	127	120	115	112	110	108	211	191	177	167	156	150	144	141	
X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571	AT	185	177	167	157	145	140	135	131	129	127	218	206	196	188	175	169	164	160	
X2CrNiMo17-12-3	1.4432	AT	166	152	137	127	118	113	108	103	100	98	199	181	167	157	145	139	135	130	
X2CrNiMo18-14-3	1.4435	AT	165	150	137	127	119	113	108	103	100	98	200	180	165	153	145	139	135	130	
X2CrNiMoN17-13-5	1.4439	AT	225	200	185	175	165	155	150	—	—	—	255	230	210	200	190	180	175	—	
X1NiCrMoCu25-20-5	1.4539	AT	205	190	175	160	145	135	125	115	110	105	235	220	205	190	175	165	155	145	

DT3 U41-A

EXTRAIT du CODAP 2000

**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 :

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

**C5.2.2.4 - 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).

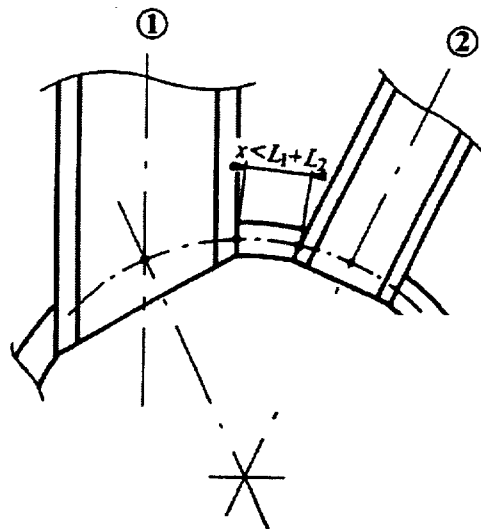


Figure C5.2.2.4

DT4 U41-A

C5.2.3 – NOTATIONS

$D_{m,1}$ ,  $D_{m,2}$  = diamètres moyens de l'enveloppe au droit de chaque ouverture :

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

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

$d_{m,1}$ ,  $d_{m,2}$  = diamètres moyens des tubulures :

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

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

$d'_{m,1}$ ,  $d'_{m,2}$  = 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 :

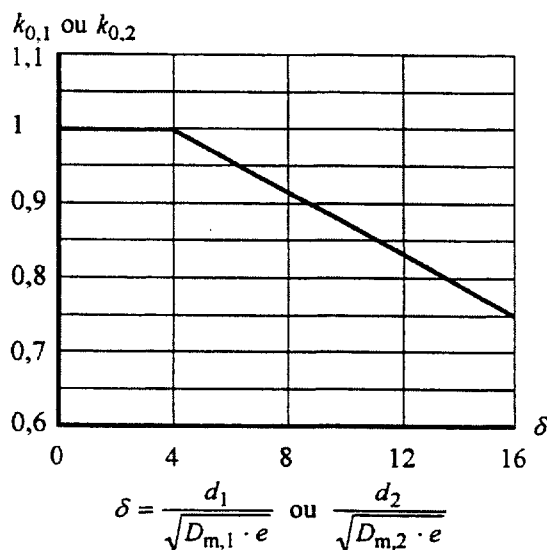
$$L' = x' + k' (L_1 + L_2)$$

$k_{0,1}, k_{0,2}$  = coefficients donnés par le graphique C5.2.3.

$F$  = coefficient égal à :

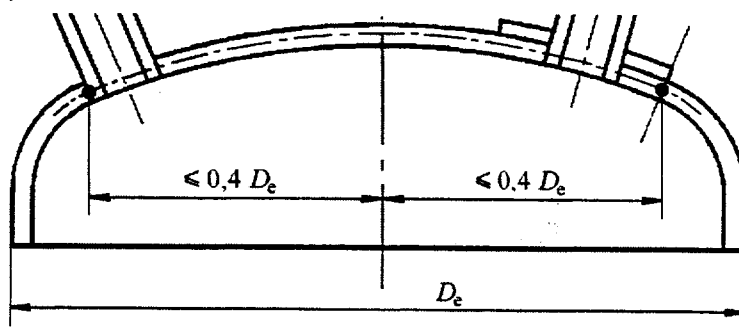
- 1 pour des ouvertures voisines dans une enveloppe conique, une enveloppe sphérique ou un fond bombé ou sur la même génératrice d'une enveloppe cylindrique.

- $\frac{1 + \cos^2 \theta}{2}$  pour des ouvertures voisines dans une enveloppe cylindrique et non situées sur la même génératrice.



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

Figure C5.1.2.2 / - Position d'une ouverture dans un fond bombé elliptique ou torisphérique.  
(pour une ouverture avec anneau-renfort rapporté, voir aussi C5.1.2.5b)



DT5 U41-A



- le paragraphe complet C5.1.2.3**C5.1.2.3 - Tubulures soudées**

a) Les règles du présent chapitre s'appliquent aux ouvertures de tubulures soudées suivantes :

- tubulure soudée sur une enveloppe cylindrique, dont l'axe et celui de l'enveloppe sont concourants ou non, et dont l'angle de l'axe avec un plan perpendiculaire à l'axe de l'enveloppe n'est pas supérieur à  $45^\circ$  (fig. C5.1.2.3a et b).

Si l'axe de la tubulure et celui de l'enveloppe cylindrique ne sont pas concourants, la position de la tubulure doit satisfaire à la condition indiquée par la figure C5.1.2.3b.

- tubulure soudée sur une enveloppe conique, dont l'axe et celui de l'enveloppe sont concourants et dont l'angle de l'axe avec la normale à

la paroi au centre de l'ouverture n'est pas supérieur à  $45^\circ$  (fig. C5.1.2.3c).

- tubulure soudée sur une enveloppe sphérique ou sur un fond bombé, dont l'angle de l'axe avec la normale à la paroi au centre de l'ouverture n'est pas supérieur à  $45^\circ$  et dont la position satisfait à la condition indiquée par la figure C5.1.2.3d.

b) Les épaisseurs admises  $e_t$  et  $e'_t$  d'une tubulure soudée ne doivent pas être supérieures à :

$$k_t \cdot e$$

La valeur du coefficient  $k_t$  est donnée par le graphique C5.1.2.3.

L'épaisseur de la tubulure doit aussi respecter les limitations indiquées, en fonction du type d'assemblage tubulure-enveloppe, à l'Annexe FA1.

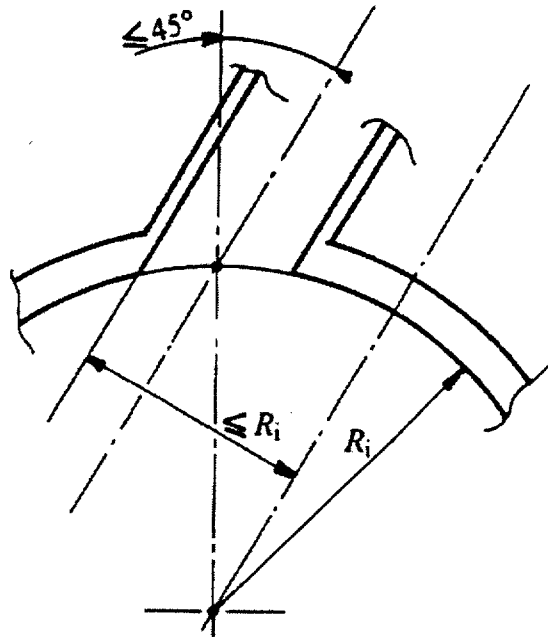


Figure C5.1.2.3d - Tubulure soudée obliquement sur une enveloppe sphérique ou un fond bombé.

DT6 U41-A