

CONCEPTION DES APPAREILS

Sous-épreuve U41-A

CODES ET RÈGLEMENTS

Temps conseillé : 2h

DOCUMENT INDISPENSABLE : CODAP didactique 2005

DOCUMENTS FOURNIS :

<u>Texte du sujet</u> :	DS1 U41-A	Page 6 / 18
	DS2 U41-A	Page 7 / 18

Ressources techniques :

- Plan d'ensemble	DT1 U41-A-B	Page 3 / 18
- Plan de détail	DT2 U41-A-B	Page 4 / 18
- Matériaux NF EN 10028 – 2	DT3 U41-A	Page 8 / 18
	DT4 U41-A	Page 9 / 18
- Tolérance /épaisseur NF EN 10 – 029	DT5 U41-A	Page 10 / 18
- Plan de détail	DT6 U41-A	Page 11 / 18

Toutes les réponses seront rédigées sur feuilles de copie réglementaires.

Caractéristiques de l'appareil :

- Type : Échangeur à faisceau de tubes en « U », travaillant en position horizontale (Voir **DT1 U41-A-B** et **DT2 U41-A-B**)
- Matière : Calandre, boîte d'extrémité et fonds torisphériques : P265GH (voir **DT3 U41-A** et **DT4 U41-A**)
Tubes : TU 37 C (131 épingles Ø 17G2)
- Catégorie de construction : B2
- Quantité de fioul contenue dans l'appareil : 0,26m³
- Volume de vapeur contenu dans l'appareil : 0,10m³

Localisation		Extra tubulaire	Intra tubulaire
Fluide		Fioul	Vapeur
Pression de service	MPa	0,95	4
Pression de calcul (PC)	MPa	0,95	4
Pression d'épreuve	MPa	1,5	6
Température d'essai de résistance	°C	20	20
Température de calcul en situation normale de service	°C	225	365

- Surépaisseur de corrosion intérieure : 2 mm
- Tôles (calandre et virole de boîte d'extrémité) :
 - Amincissement dû au roulage : 0,1 mm
 - Tolérances sur les épaisseurs : tôles classe A (voir **DT5 U41-A**)
- Fond torisphérique :
 - non normalisé (R = 457,2 mm; r = 90 mm)
 - réalisé en un seul élément
 - compte tenu des tolérances sur les tôles et des pertes d'épaisseur en cours de fabrication, l'épaisseur minimale garantie du fond ne peut être inférieure à 80% de l'épaisseur nominale de commande e_n
- Épaisseurs de tôles et fonds disponibles : 3 – 3,5 – 4 – 4,5 – 5 – 5,5 – 6 – 6,5 – 7 – 7,5 – 8 – 8,5 – 9 – 9,5 – 10 – 10,5 – 11 – 11,5 – 12 – 12,5 – 13 – 13,5 – 14 – 14,5 – 15 – 16 – 18 – 20 – 22 – 24

DS1 U41-A

1. Pour l'échangeur, déterminez la catégorie de risque et la division du CODAP concernée :
 - 1.1. au niveau de la calandre.
 - 1.2. au niveau de la boîte d'extrémité.
2. Pour la boîte d'extrémité, déterminez la contrainte nominale de calcul (utilisez les documents **DT3 U41-A** et **DT4 U41-A**) :
 - 2.1. en situation normale de service.
 - 2.2. en situation d'essai de résistance.

(Pour la suite des calculs, on prendra $f = 90$ MPa en situation normale de service et on utilisera la division 1 du CODAP, les formules étant valides malgré l'appartenance de l'appareil à la division 2)

3. Épaisseur de la virole de la boîte d'extrémité.
 - 3.1. Calculez l'épaisseur minimale de la virole.
 - 3.2. Proposez en justifiant votre choix et en vous aidant du **DT5 U41-A**, l'épaisseur nominale de commande (choisir une épaisseur de tôle parmi celles disponibles).
 - 3.3. Calculez l'épaisseur utile.
4. Épaisseur du fond de la boîte d'extrémité.

(On admettra pour ce calcul que : $D_i = D_e = 457,2\text{mm}$; $R = D_e$; $r = 90$ mm)

 - 4.1. Calculez l'épaisseur minimale nécessaire du fond.
 - 4.2. Déterminez l'épaisseur nominale de commande (choisir une épaisseur du fond parmi celles disponibles).
5. Vérification de la résistance de la calandre au voisinage de l'ouverture de diamètre 8" ($\varnothing 219,1$ mm) (voir **DT6 U41-A**) :

Prendre : $f = f_r = f_t = 105$ MPa

 - 5.1. Vérifiez les conditions d'application des règles.
 - 5.2. Vérifiez la résistance de l'enveloppe sans anneau renfort.
 - 5.3. Proposez, si nécessaire, un dimensionnement pour un anneau renfort en tenant compte de l'espace disponible.

DS2 U41-A

Tableau 3 : Caractéristiques mécaniques (valables pour les éprouvettes transversales)

Nuance d'acier		État normal de livraison 1)	Épaisseur de produit mm		Limite d'élasticité 2) R_{eH} N/mm ² min	Résistance à la traction R_m N/mm ²	Allongement à la rupture ($L_0 = 5,65 \sqrt{S_0}$)		Énergie de rupture par choc (éprouvette à entaille en V) KV	
Désignation symbolique	Désignation numérique		de >	à ≤			A %	min	Température d'essai °C	Moyenne sur 3 éprouvettes J min
P235GH	1.0345	N 3)		16	235	360 à 480	25 5)	0	27	
			16	40	225					
			40	60	215					
			60	100	200	350 à 480	24			
			100	150	185					
			150		4)					
P265GH	1.0425	N 3)		16	265	410 à 530	23 6)	0	27	
			16	40	255					
			40	60	245					
			60	100	215	400 à 530	22			
			100	150	200					
			150		4)					
P295GH	1.0481	N 3)		16	295	460 à 580	22	0	27	
			16	40	290					
			40	60	285					
			60	100	260	440 à 570	22			
			100	150	235					
			150		4)					

2) Jusqu'à l'harmonisation des critères de limite d'élasticité dans les divers codes nationaux, on peut remplacer la détermination de R_{eH} par une détermination de $R_{p0,2}$. Pour $R_{p0,2}$ les valeurs minimales sont inférieures de 10 N/mm².

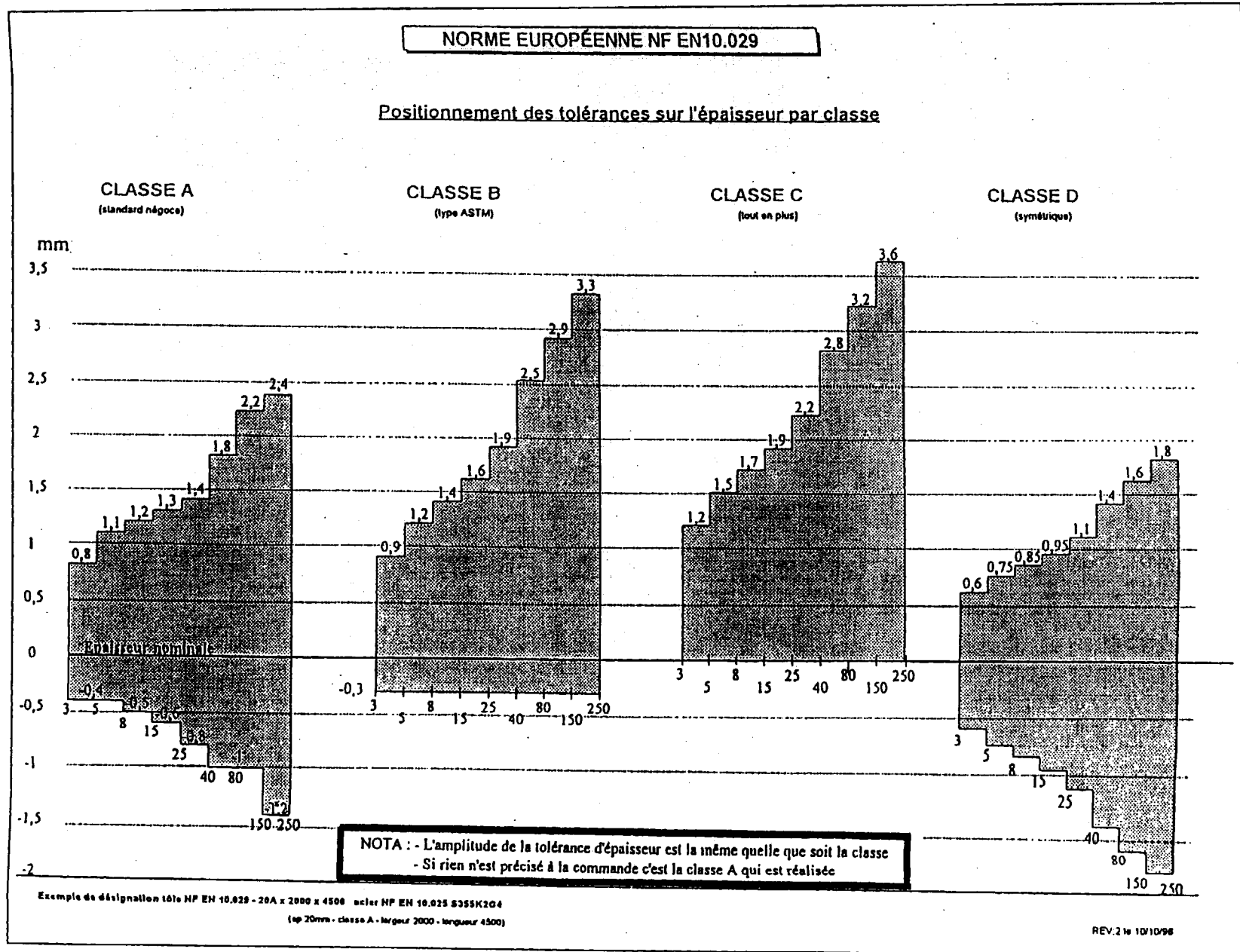
Tableau 4 : Limite conventionnelle d'élasticité à 0,2 % à températures élevées ¹⁾

Nuance d'acier		Épaisseur du produit		Limite conventionnelle d'élasticité à 0,2 %, min. en N/mm ² pour une température en °C de									
Désignation symbolique	Désignation numérique	de >	à ≤	R _{po,2} ¹									
				50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
P235GH	1.0345		60	206	190	180	170	150	130	120	110	—	—
		60	100	191	175	165	160	140	125	115	105	—	—
		100	150	176	160	155	150	130	115	110	100	—	—
P265GH	1.0425		60	234	215	205	195	175	155	140	130	—	—
		60	100	207	195	185	175	160	145	135	125	—	—
		100	150	192	180	175	165	155	135	130	120	—	—
P295GH	1.0481		60	272	250	235	225	205	185	170	155	—	—
		60	100	249	230	220	210	195	180	165	145	—	—
		100	150	226	210	200	195	185	170	155	135	—	—
P355GH	1.0473		60	318	290	270	255	235	215	200	180	—	—
		60	100	298	270	255	240	220	200	190	165	—	—
		100	150	278	250	240	230	210	195	175	155	—	—
16Mo3	1.5415		60	—	—	—	215	200	170	160	150	145	140
		60	100	—	—	—	200	185	165	155	145	140	135
		100	150	—	—	—	190	175	155	145	140	135	130
13CrMo4-5	1.7335		60	—	—	—	230	220	205	190	180	170	165
		60	100	—	—	—	220	210	195	185	175	165	160
		100	150	—	—	—	210	200	185	175	170	160	155
10CrMo9-10	1.7380		60	—	—	—	245	230	220	210	200	190	180
		60	100	—	—	—	225	220	210	195	185	175	165
		100	150	—	—	—	215	205	195	185	175	165	155
11CrMo9-10	1.7383		100	—	—	—	—	255	235	225	215	205	195

1) Les valeurs de limite conventionnelle d'élasticité à 0,2 % figurant dans ce tableau n'ont pas été calculées par les méthodes de dérivation indiquées dans la norme ISO 2605-3.

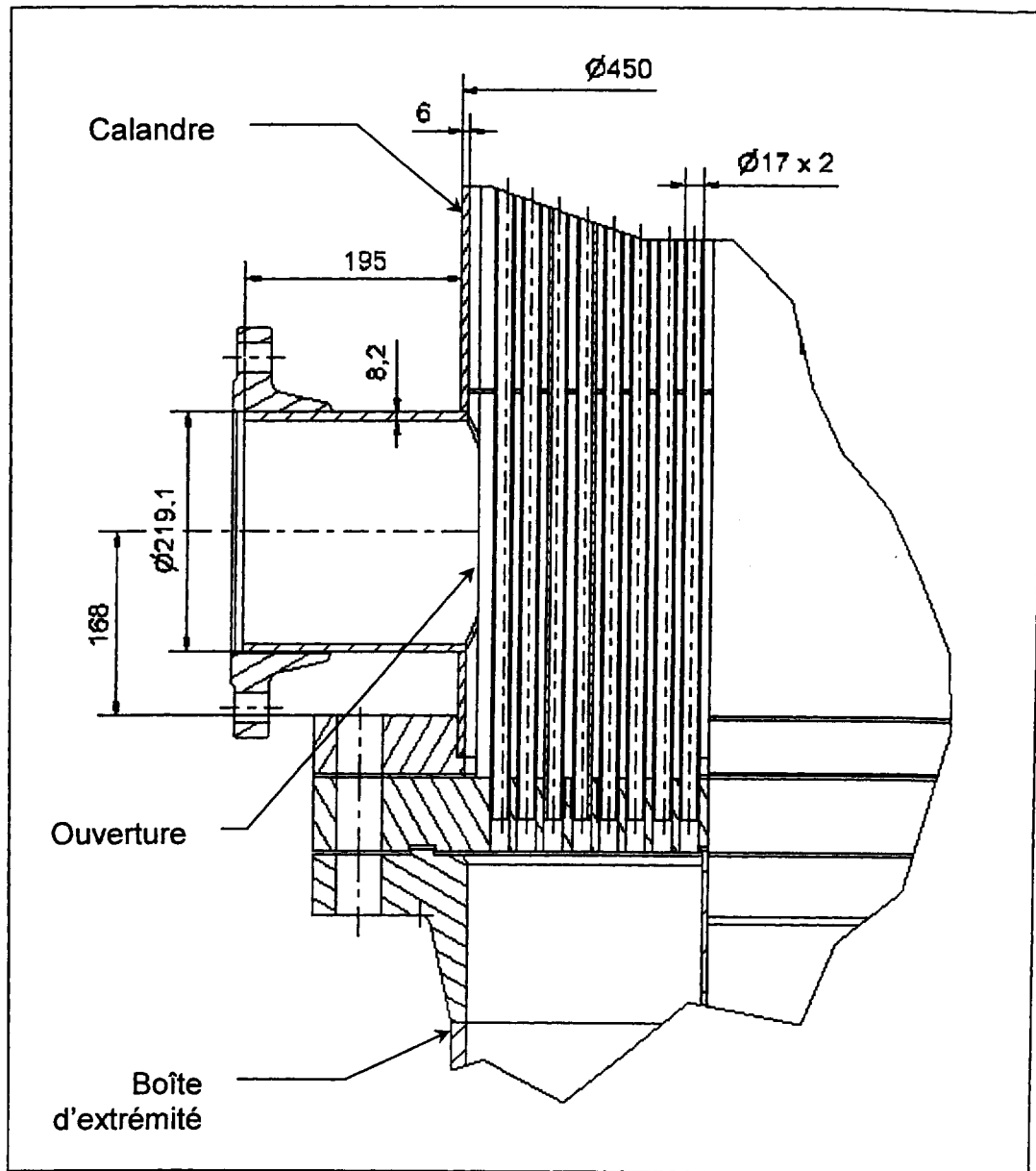
DT4 U41-A

DT5 U41-A



Vérification de la résistance de la calandre au voisinage de l'ouverture de diamètre 8" ($\varnothing 219,1$ mm).

Détail de l'assemblage :



DT6 U41-A

CONCEPTION DES APPAREILS

Sous-épreuve U41-B

MÉCANIQUE ET RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX

DOCUMENTS FOURNIS :

<u>Texte du sujet :</u>	DS1 U41-B	Page 13 / 18
	DS2 U41-B	Page 14 / 18
	DS3 U41-B	Page 15 / 18

Ressources techniques :

- Plan d'ensemble	DT1 U41-A-B	Page 3 / 18
- Plan de détail	DT2 U41-A-B	Page 4 / 18
- Modélisation	DT3 U41-B	Page 17 / 18
- Poutrelles UAP	DT4 U41-B	Page 18 / 18

<u>Document réponse :</u>	DR1 U41-B	Page 16 / 18
---------------------------	-----------	--------------

Toutes les réponses seront rédigées sur feuilles de copie réglementaires.

Mise en situation

Lors de la livraison de l'appareil, celui-ci sera posé sur un châssis afin de faciliter sa manutention par élingues et son colisage (transport). L'étude consistera à dimensionner ce support et à positionner les points d'ancrage.

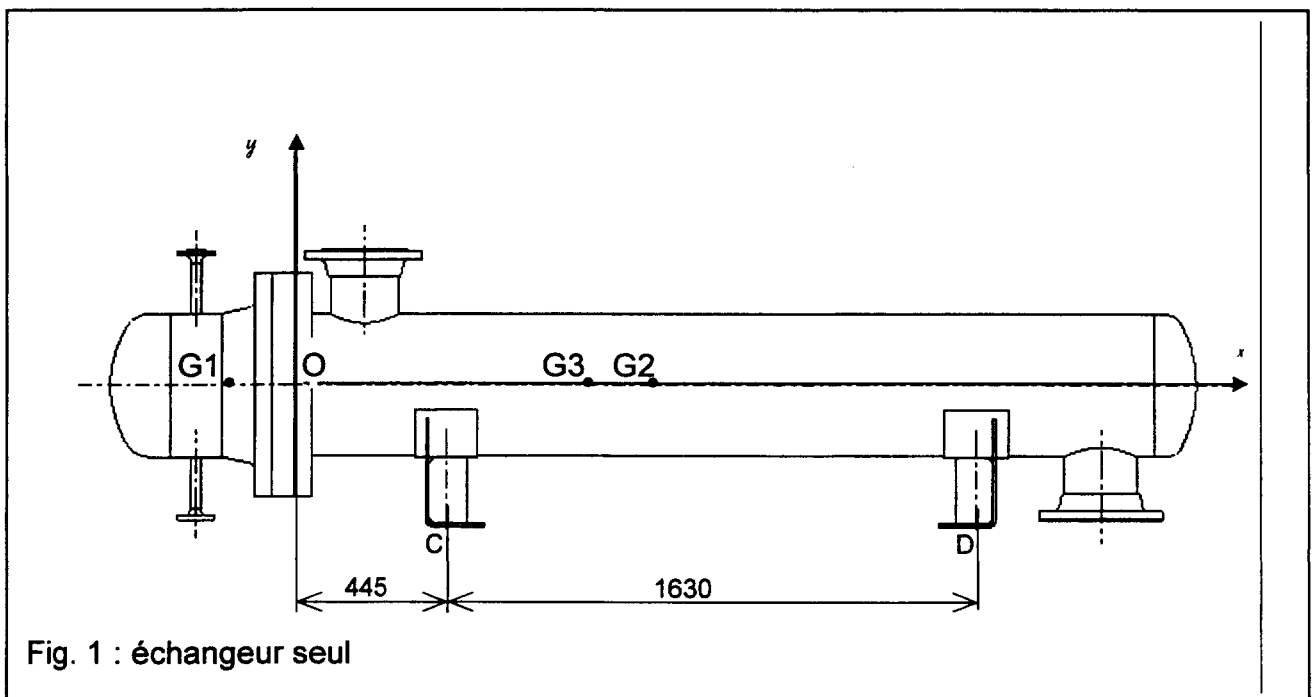
Travail demandé

1. Étude de la stabilité de l'échangeur :

- 1.1. Stabilité à vide : en exploitant les données ci-dessous, définissez la position $x_{G_{vide}}$ du centre de gravité de l'échangeur. - La stabilité est-elle assurée ? (voir fig. 1 ci-dessous)

Partie de l'appareil	Masse de la partie	Abscisse de son centre de gravité dans le repère (O,x,y)
Boîte d'extrémité	M1 = 202 kg	$x_{G1} = - 216$ mm
Calandre vide	M2 = 368 kg	$x_{G2} = 1080$ mm
Faisceau tubulaire	M3 = 596 kg	$x_{G3} = 958$ mm

(Pour la suite des calculs, on prendra $P_{vide} = 11660$ N et $x_{G_{vide}} = 800$ mm)



DS1 U41-B

1.2. Déterminez analytiquement les actions $\overline{R1}$ en C et $\overline{R2}$ en D exercées par le châssis sur le réchauffeur.

1.3. Stabilité en fonctionnement :

1.3.1. En vous servant des documents **DT1 U41-A-B** et **DT2 U41-A-B**, calculez le poids du fioul contenu dans le corps de l'appareil sachant que sa masse volumique est : $\rho_{fioul} = 850 \text{ kg/m}^3$.

Hypothèse simplificatrice : on assimilera l'appareil à un cylindre de longueur 2800 mm à fond droit (plat) et le faisceau composé de 131 épingles de diamètre $\varnothing_{ext.} = 17 \text{ mm}$ (la longueur moyenne développée d'une épingle est de 5500 mm).

1.3.2. En négligeant le poids de la vapeur, définissez la position X_G du centre de gravité de l'échangeur, en fonctionnement, dans le repère (O,x,y).

Faites un commentaire quant à la stabilité de l'échangeur.

2. Étude de la manutention :

Répondre sur le document **DR1 U41-B**

La manutention de l'ensemble (réchauffeur + châssis) se fera à vide, par 4 élingues identiques, de même longueur, de même inclinaison, accrochées en E et ancrées au support en A, d'abscisse x_A à déterminer et en B, d'abscisse $x_B = 1750 \text{ mm}$. L'étude statique sera effectuée dans le plan de symétrie de l'appareil (voir fig.2, **DR1 U41-B**)

Remarque : le poids du châssis est négligé.

2.1. Quelle position doit occuper le point d'accrochage E des élingues afin que l'ensemble reste en position horizontale durant la manœuvre ? (voir fig.2, **DR1 U41-B**). - Justifiez votre réponse.

2.2. L'angle minimal d'inclinaison d'élingue α étant de 45° , choisissez dans le tableau ci-après une longueur d'élingue remplissant cette condition. Justifiez votre choix.

2.3. Calculez la valeur de l'angle α en fonction de votre choix en question 2.2.

2.4. Construisez graphiquement à l'échelle le point E sur la figure 2 et positionnez le point A. (voir fig.2, **DR1 U41-B**)

DS2 U41-B

2.5. Définissez graphiquement sur le document **DR1 U41-B**, les actions exercées par les élingues sur le châssis. Choisissez dans le tableau ci-après une référence d'élingue répondant à toutes ces exigences.

Référence des élingues en fonction de leur longueur et de la charge maxi

Longueur d'élingue en mm	Charge maxi 300 kg	Charge maxi 500 kg	Charge maxi 1000 kg
1000	EMH 10 – 3	EMH 10 - 5	EMH 10 – 10
1500	EMH 15 – 3	EMH 15 - 5	EMH 15 – 10
2000	EMH 20 – 3	EMH 20 - 5	EMH 20 – 10
2500	EMH 25 - 3	EMH 25 - 5	EMH 25 - 10

3. Dimensionnement d'une poutre du châssis support

3.1. Le châssis support sera modélisé par 1 poutre longitudinale dont le poids propre est négligé (fig. 3, **DT3 U41-B**). Déterminez dans la zone CB, le torseur de cohésion en fonction de l'abscisse x. Prendre pour cette question :

$$\begin{array}{c|c} \vec{FA} & \begin{array}{c} 2300 \\ 2915 \\ 0 \end{array} \\ \hline \end{array} ; \begin{array}{c|c} \vec{FB} & \begin{array}{c} -2300 \\ 2915 \\ 0 \end{array} \\ \hline \end{array} ; \begin{array}{c|c} -R1 & \begin{array}{c} 0 \\ -4720 \\ 0 \end{array} \\ \hline \end{array} ; \begin{array}{c|c} -R2 & \begin{array}{c} 0 \\ -1110 \\ 0 \end{array} \\ \hline \end{array}$$

3.2. Situez la section droite la plus sollicitée en utilisant la fig.4 du **DT3 U41-B** et calculez la valeur du $M_{f_{\max}}$.

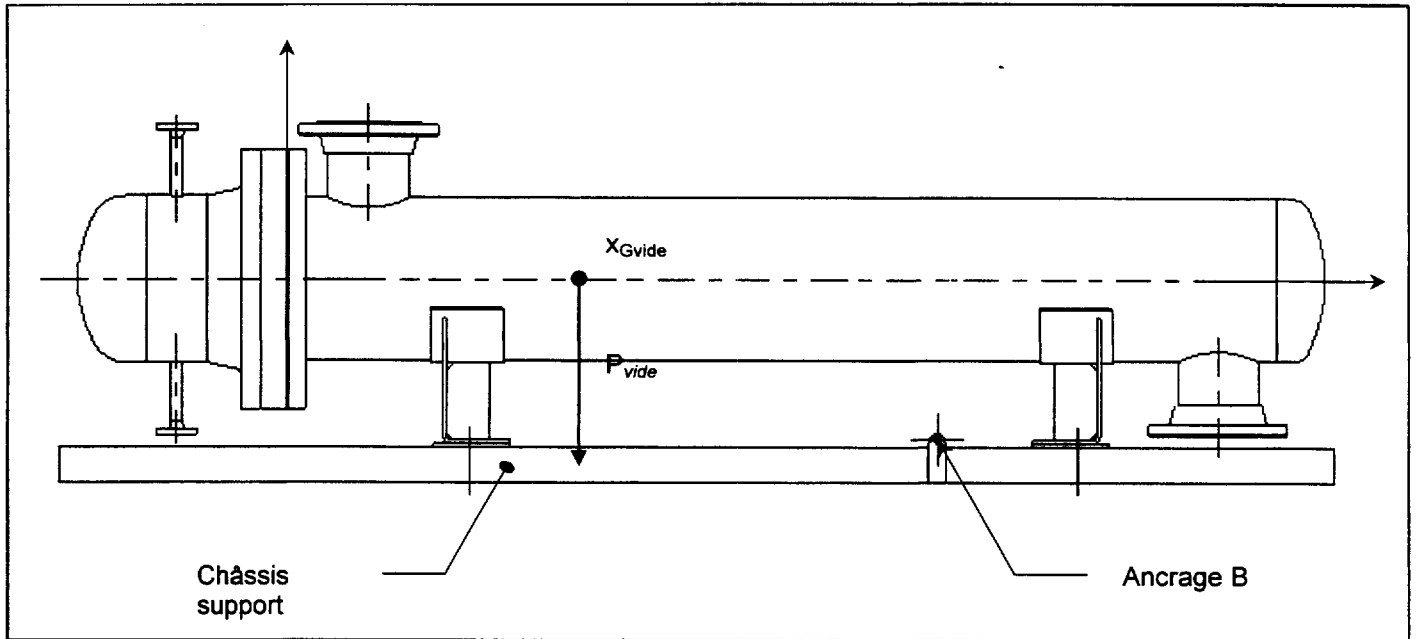
3.3. Déterminez le module de flexion minimal nécessaire de la poutre.

(Prendre $M_{f_{\max}} = 1900 \text{ N.m}$ et adopter un coefficient de sécurité de 4, l'acier de construction est du S 235)

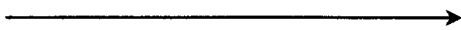
3.4. Choisissez en utilisant le document **DT4 U41-B**, le profilé de type UAP qui convient et calculez la contrainte maxi. (Lors de votre choix, tenez également compte du poids du profilé.)

DS3 U41-B

Fig. 2 : Étude de la manutention :



Résolution graphique



Ech. : 1 mm \longrightarrow 250 N

2.1. Condition à remplir :

.....

.....

2.2. Abscisse du point A :

.....

.....

.....

2.4 Référence d'élingue :

DR1 U41-B

Fig. 3 : Modélisation d'une poutre du châssis support

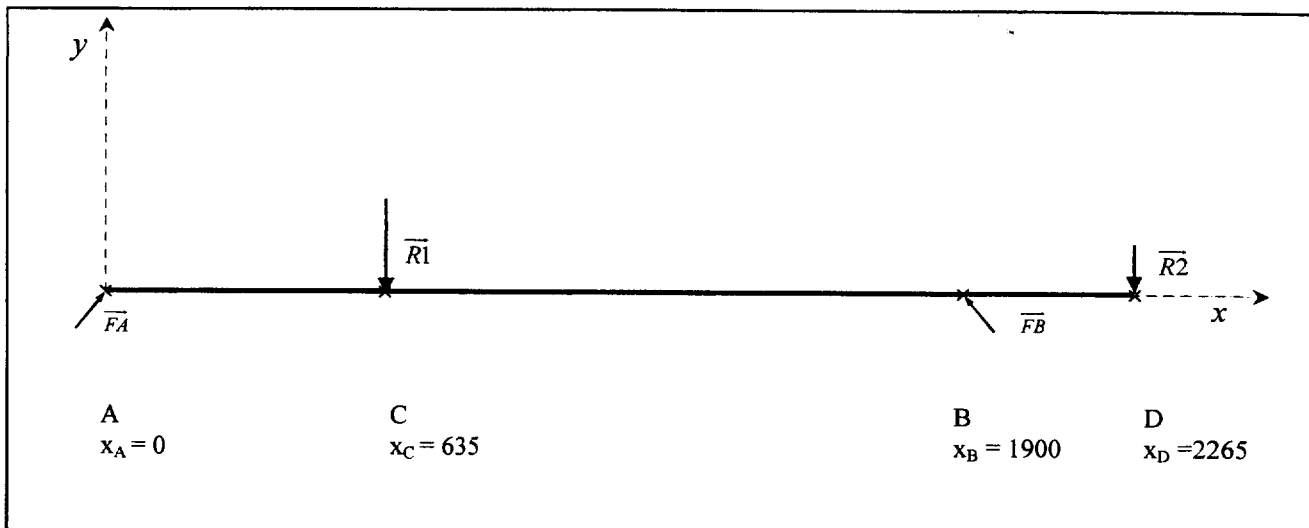
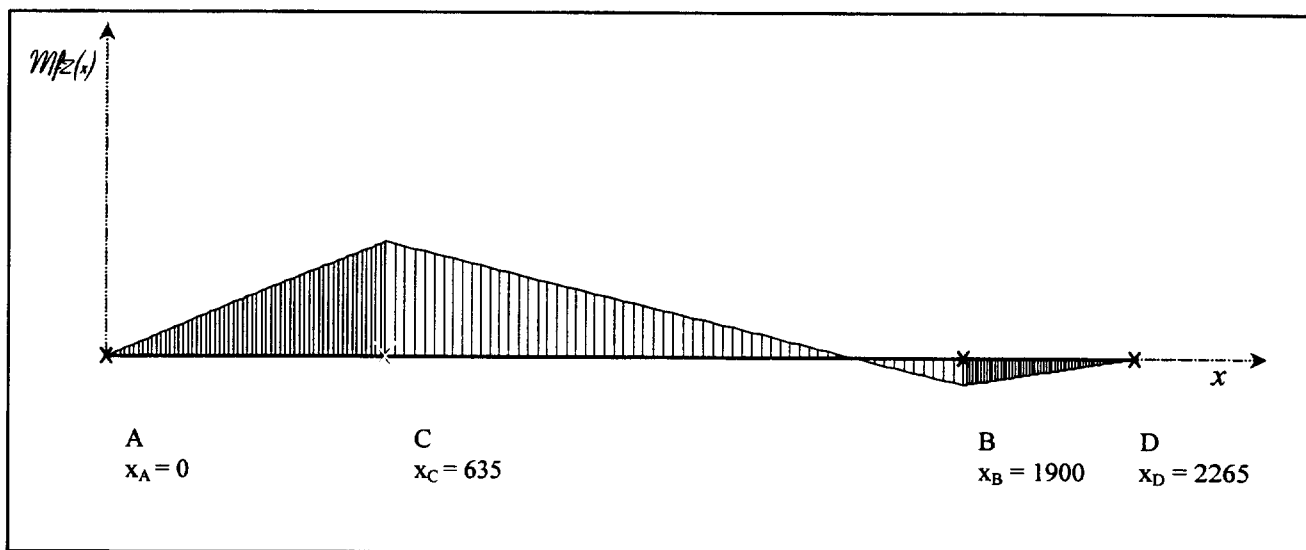
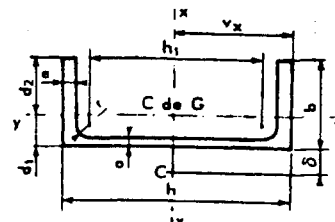


Fig. 4 : Diagramme des moments fléchissants



DT3 U41-B

POUTRELLES UAP



Normes de référence :
dimensions : NF A 45-255
tolérances : NF A 45-255

Profils	Dimensions						Masse par mètre P kg	Section A cm ²	Surface de peinture	
	h mm	b mm	a mm	e mm	r mm	Partie droite de l'âme h ₁ mm			m ² /m	m ² /t
80	80	45	5	8	8	48	8,38	10,7	0,330	38,4
100	100	50	5,5	8,5	8,5	66	10,5	13,4	0,389	36,4
130	130	55	6	9,5	9,5	92	13,7	17,5	0,468	33,6
150	150	65	7	10,25	10,25	109	17,9	22,9	0,546	30,0
175	175	70	7,5	10,75	10,75	132	21,2	27,0	0,615	28,6
200	200	75	8	11,5	11,5	154	25,1	32,0	0,684	26,9
220	220	80	8	12,5	12,5	170	28,5	36,3	0,744	25,7
250	250	85	9	13,5	13,5	196	34,4	43,8	0,822	23,6
300	300	100	9,5	16	16	236	46	58,6	0,981	21,0

Profils	Position du centre de gravité		Caractéristiques rapportées à l'axe neutre									Moment d'inertie de torsion J cm ⁴	Distance du centre de flexion pure à la face externe de l'âme δ cm
	d ₁ cm	d ₂ = v _y cm	I _x cm ⁴	I _y cm ⁴	i _x cm	Moment statique S cm ³	Distance des centres cm	e _x cm	I _x cm ⁴	I _y cm ⁴	i _y cm		
80	1,61	2,89	107	26,8	3,16	15,9	6,72	3,20	21,3	7,38	1,41	1,98	1,56
100	1,70	3,30	209	41,9	3,97	24,8	8,45	3,99	32,8	9,95	1,57	2,76	1,68
130	1,78	3,72	459	70,7	5,13	41,8	11,0	5,16	51,3	13,8	1,71	4,34	1,79
150	2,05	4,45	797	106	5,90	62,6	12,7	5,92	93,3	21,0	2,02	6,76	2,09
175	2,12	4,88	1 272	145	6,86	85,7	14,8	6,84	126,4	25,9	2,16	8,75	2,20
200	2,22	5,28	1 946	195	7,80	115	16,9	7,77	169,7	32,1	2,30	11,69	2,31
220	2,40	5,60	2 710	247	8,64	145	18,7	8,67	222,3	39,8	2,48	15,12	2,54
250	2,45	6,05	4 136	331	9,72	196	21,1	9,62	296,7	49,1	2,61	21,30	2,58
300	2,96	7,04	8 170	545	11,81	320	25,6	11,85	562,1	79,8	3,10	38,46	3,20

DT4 U41-B