

# BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

## CONCEPTION ET RÉALISATION EN CHAUDRONNERIE INDUSTRIELLE

**SESSION 2018**

**E41 – ÉTUDE ET RÉALISATION D'UN  
ENSEMBLE CHAUDRONNÉ, DE TOLERIE OU  
DE TUYAUTERIE**

**U 41 – DIMENSIONNEMENT ET  
VÉRIFICATION D'OUVRAGES**

Durée : 4 heures – Coefficient : 3

**Documents et matériels autorisés :**

**CODAP DIDACTIQUE 2010**

**Moyens de calculs autorisés :**

L'usage de tout modèle de calculatrice, avec ou sans mode examen,  
est autorisé.

Le sujet comporte 15 pages, numérotées de 1/15 à 15/15.

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il soit complet.

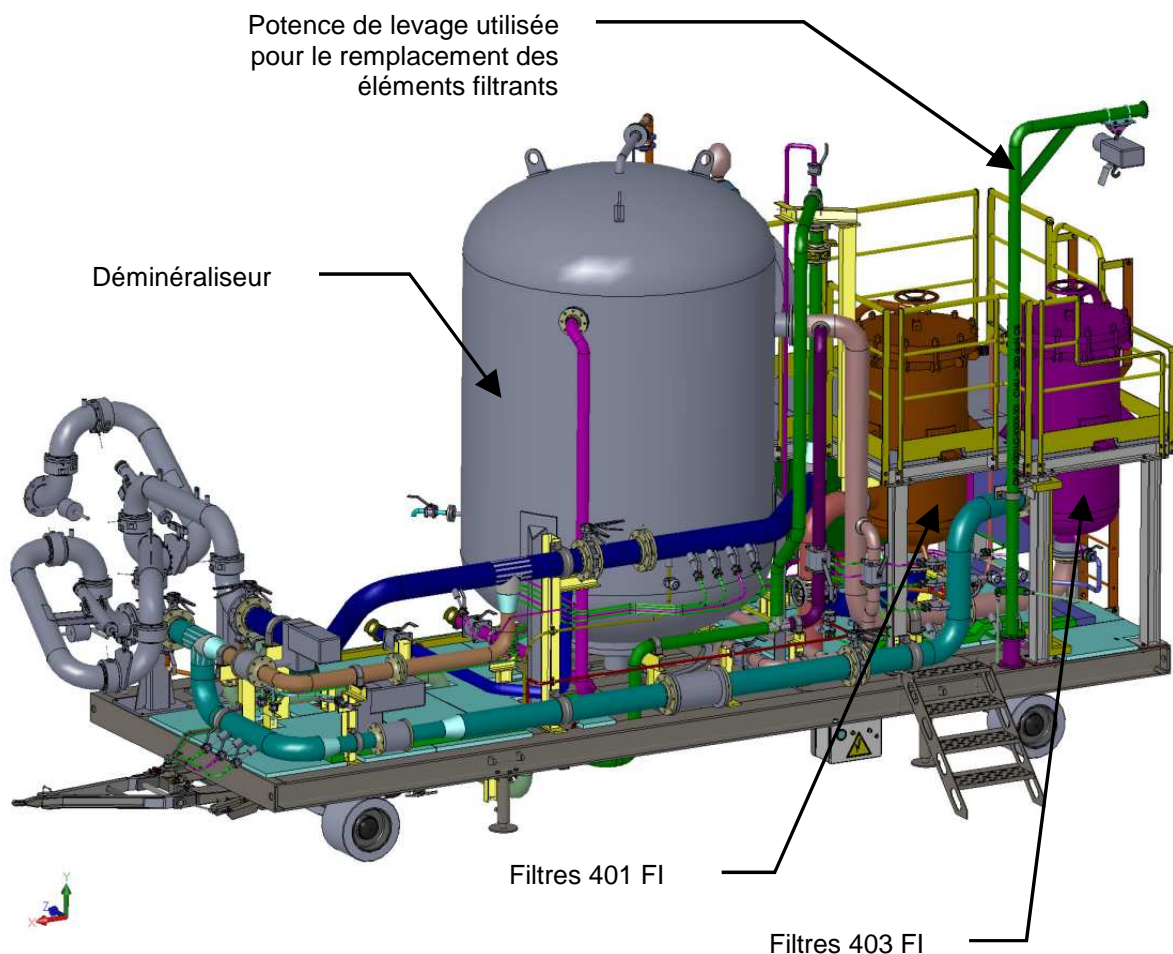
<b>CODE ÉPREUVE :</b> 1806CLE4DVO	<b>EXAMEN :</b> BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR	<b>SPÉCIALITÉ :</b> CONCEPTION ET RÉALISATION EN CHAUDRONNERIE INDUSTRIELLE	
<b>SESSION</b> 2018	<b>SUJET</b>	<b>ÉPREUVE :</b> ÉTUDE ET RÉALISATION D'UN ENSEMBLE CHAUDRONNÉ, DE TOLERIE OU DE TUYAUTERIE U41 – DIMENSIONNEMENT ET VÉRIFICATION D'OUVRAGES	
<b>Durée :</b> 4h	<b>Coefficient :</b> 3	<b>SUJET N°</b> 01ED17	<b>Page</b> 1/15

# PRÉSENTATION

## Objet de l'étude :

L'étude portera sur une station mobile d'épuration utilisée dans les centrales nucléaires 1300 MW.

La station mobile d'épuration a pour rôle de purifier l'eau du circuit secondaire. Avec un débit de 200 m<sup>3</sup>/heure, elle apportera aux équipes de la centrale un gain de temps lors du nettoyage du circuit secondaire, qui est effectué à chaque arrêt de tranche, réalisé tous les 10 à 12 mois, lors du changement de combustible.



L'ensemble est constitué d'une remorque munie de deux essieux dont l'avant est directionnel, sur laquelle sont installés deux filtres (401 FI et 403 FI) et un déminéraliseur à résines échangeuses d'ions.

Une tubulure articulée (sur l'avant de l'ensemble) permet le raccordement au réseau secondaire de la centrale nucléaire.

De façon périodique, lors de l'utilisation de la station, des opérations de maintenance sont prévues : remplacement des éléments filtrants contenus dans les filtres 401 FI et 403 FI, et régénération des couches de résines échangeuses d'ion du déminéraliseur.

**DT1**

## Objectifs de l'étude :

- **Objectif N°1 :**

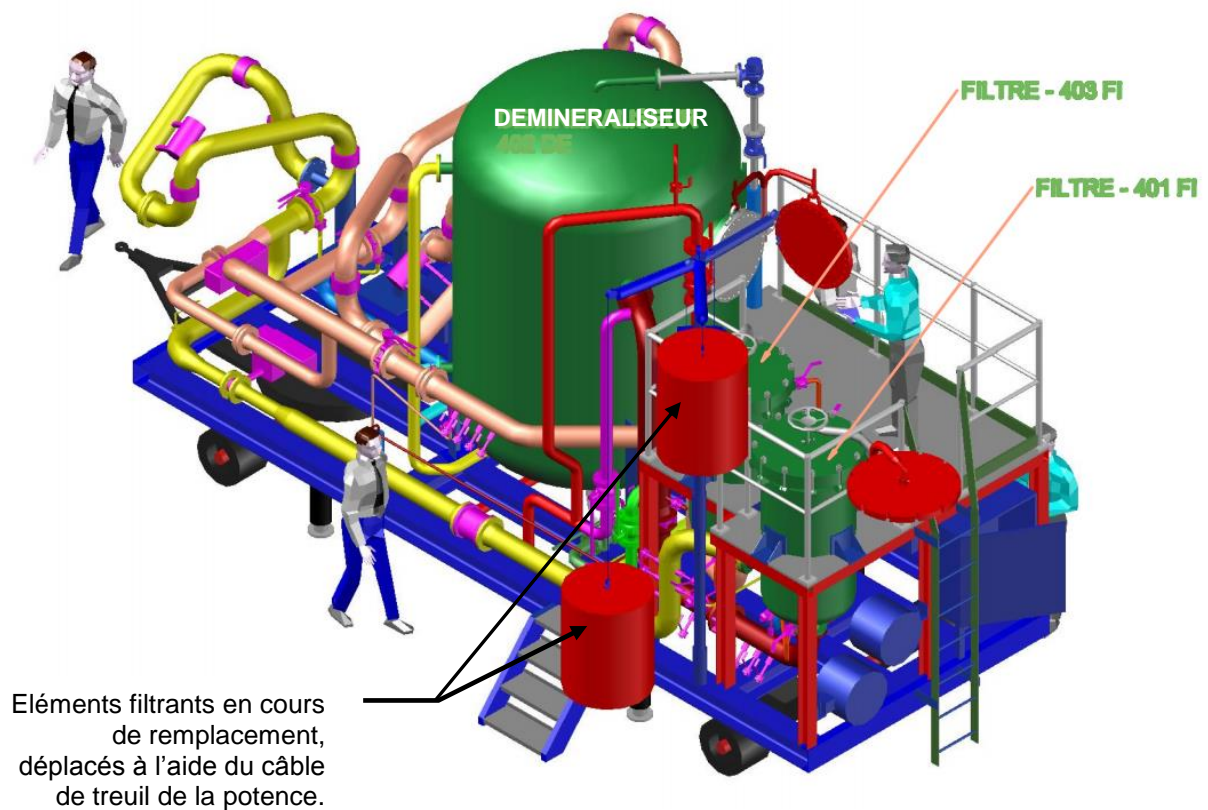
Détermination selon le CODAP 2010 des épaisseurs de la virole et des fonds elliptiques du déminéraliseur.

- **Objectif N°2 :**

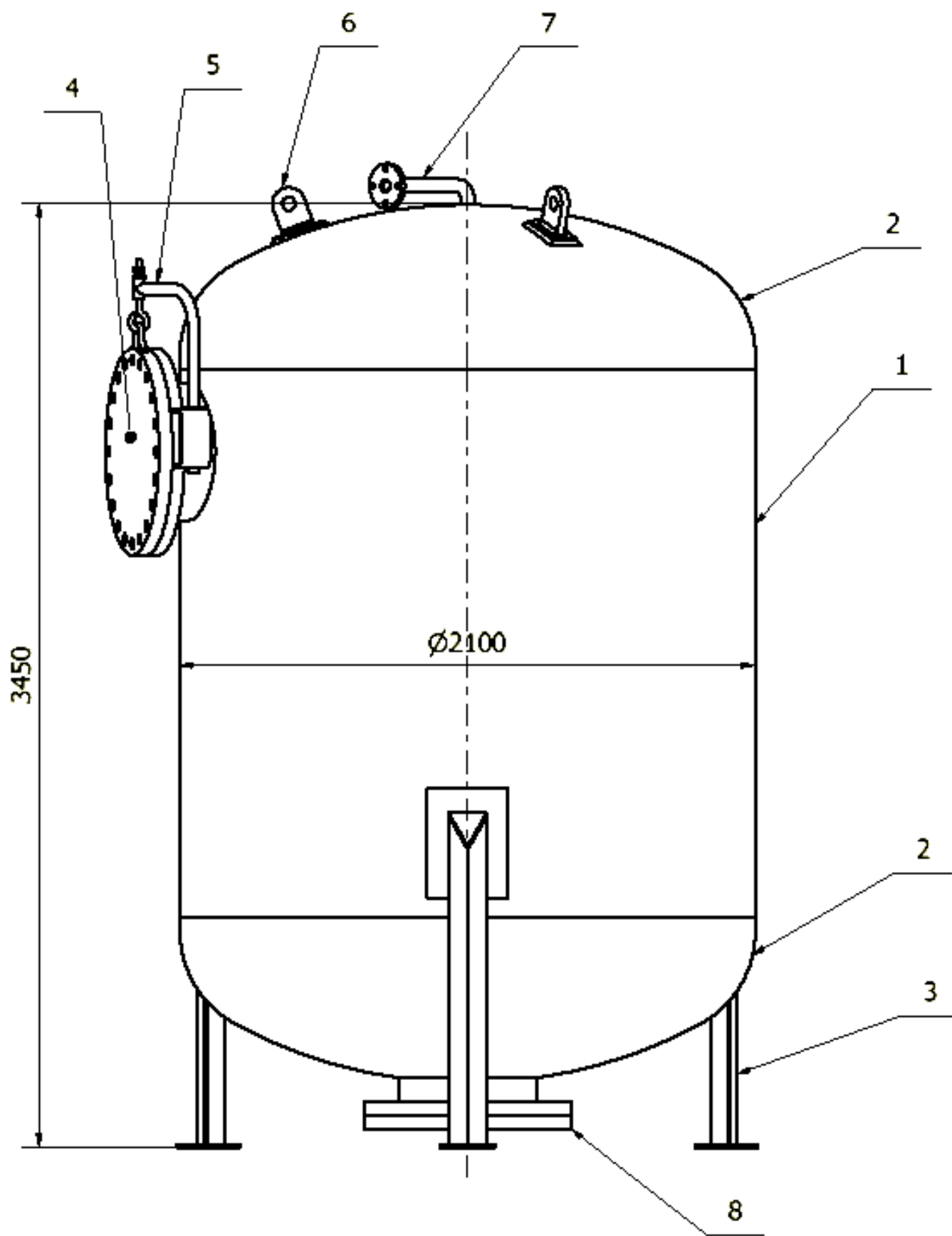
Vérification selon l'Eurocode 3 des cordons de soudure des oreilles de levage du déminéraliseur.

- **Objectif N°3 :**

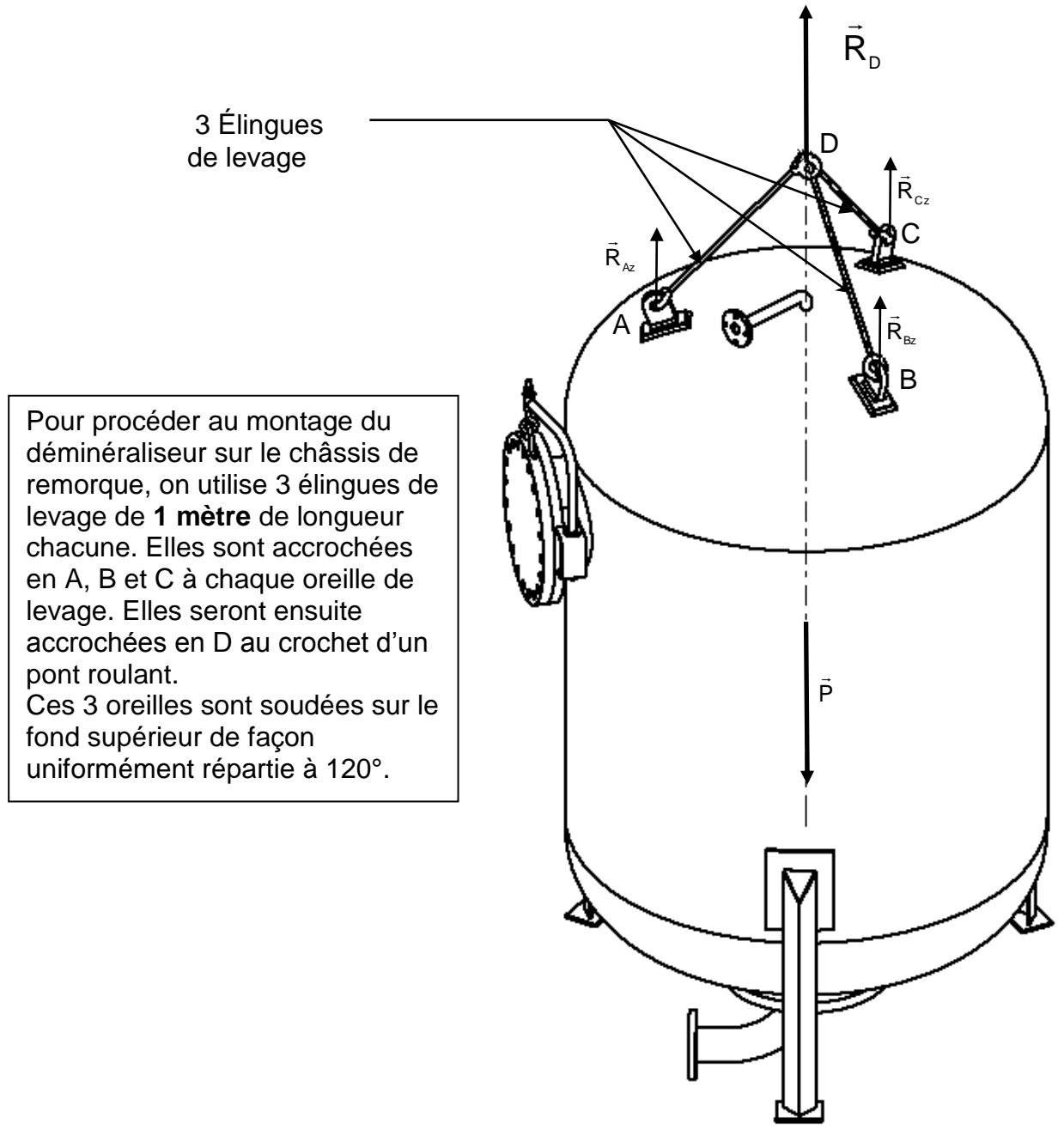
Dimensionnement du tube de la potence de levage des éléments filtrants.



**DT2**



8	8	Piquage inférieur	X2 Cr Ni 18-09	DN500
7	1	Piquage supérieur	X2 Cr Ni 18-09	DN50
6	3	Oreille de levage	X2 Cr Ni 18-09	
5	1	Potence de TH	X2 Cr Ni 18-09	
4	1	Trou d'homme	X2 Cr Ni 18-09	DN500
3	3	Pied support	X2 Cr Ni 18-09	
2	2	Fond elliptique	X2 Cr Ni 18-09	Norme NF E 81-103
1	1	Virole	X2 Cr Ni 18-09	Ø2100 ; Lg = 2000
Rep	Nb	Désignation	Matière	Observations



Pour procéder au montage du déminéraliseur sur le châssis de remorque, on utilise 3 élingues de levage de **1 mètre** de longueur chacune. Elles sont accrochées en A, B et C à chaque oreille de levage. Elles seront ensuite accrochées en D au crochet d'un pont roulant.  
Ces 3 oreilles sont soudées sur le fond supérieur de façon uniformément répartie à 120°.

DT3

# Objectif N°1

## Détermination selon le CODAP 2010 des épaisseurs de la virole et des fonds elliptiques du déminéraliseur

### DONNÉES D'INGÉNIERIE :

- Calculs suivant : **CODAP 2010**
- Construction suivant : **97/23/CE**
- Fluide : **Eau**
- Évaluation globale des facteurs potentiels de défaillance et des conséquences d'une défaillance éventuelle est considérée comme : **Moyenne**
- Pression de service : **12 bars**
- Pression de calcul : **15 bars**
- Pression d'épreuve ou d'essai de résistance : **18 bars**
- Température de fonctionnement en situation normale de service : **20° C**
- Température d'épreuve ou d'essai de résistance : **20° C**
- Fonds elliptiques NF E81-103,  $D_e = D_i = 2100$  mm sans soudure
- Virole roulée soudée  $D_e = 2100$  mm
- Amincissement dû au roulage : 0,1 mm
- L'épaisseur minimale garantie du fond ne peut être inférieure à 85 % de l'épaisseur nominale de commande  $e_n$
- Épaisseurs de tôles laminées à chaud (**P**) disponibles sur stocks : 5 ; 6 ; 7 ; 8 ; 9 ; 10 ; 12 ; 14 ; 15 ; 16 ; 18 ; 20
- Épaisseurs de fonds disponibles sur stocks : 5 ; 6 ; 7 ; 8 ; 9 ; 10 ; 12 ; 14 ; 15 ; 16 ; 18 ; 20
- Tolérances sur les tôles de classe B selon la norme NF EN 10029

### TRAVAIL DEMANDÉ :

#### 1. Détermination de la catégorie de construction

1-1 : **Estimer** le volume approximatif en eau du déminéraliseur à l'aide des documents DT3 et DT4 (On prendra le diamètre extérieur pour la virole).

1-2 : **Déterminer** la catégorie de risque (suivant annexe GA5). (Le volume de la cuve sera arrondi à 10 000 litres).

1-3 : **Déterminer** la catégorie de construction et la valeur du coefficient de soudure.

#### 2. Détermination de la contrainte nominale de calcul

Par la suite on prendra une catégorie de construction C ( $f_2$  et  $z = 0,7$ ).

2-1 : **Déterminer** la contrainte nominale de calcul en situation normale de service.

2-2 : **Déterminer** la contrainte nominale en situation d'essai de résistance.

#### 3. Détermination de l'épaisseur de la virole en situation normale de service

On prendra  $f = 150$  MPa en situation normale de service.

3-1 : **Calculer** l'épaisseur minimale de la virole et vérifier la condition d'application.

**DS1**

3-2 : **Déterminer** l'épaisseur nominale de commande. (Choisir une épaisseur de tôle parmi celles disponibles)

**4. Détermination de l'épaisseur de la virole en situation d'essai de résistance**

**On prendra  $f = 230$  MPa** en situation d'essai de résistance.

4-1 : **Calculer** l'épaisseur minimale de la virole. Comparer cette valeur avec celle trouvée en situation normale de service. Que peut-on en conclure ?

**5. Détermination de l'épaisseur des fonds en situation normale de service**

**On prendra  $f = 150$  MPa** en situation normale de service.

5-1 : **Calculer** l'épaisseur minimale du fond bombé.

5-2 : **Déterminer** l'épaisseur nominale de commande. (Choisir une épaisseur de fond parmi ceux disponibles).

**DS2**

## Objectif N°2

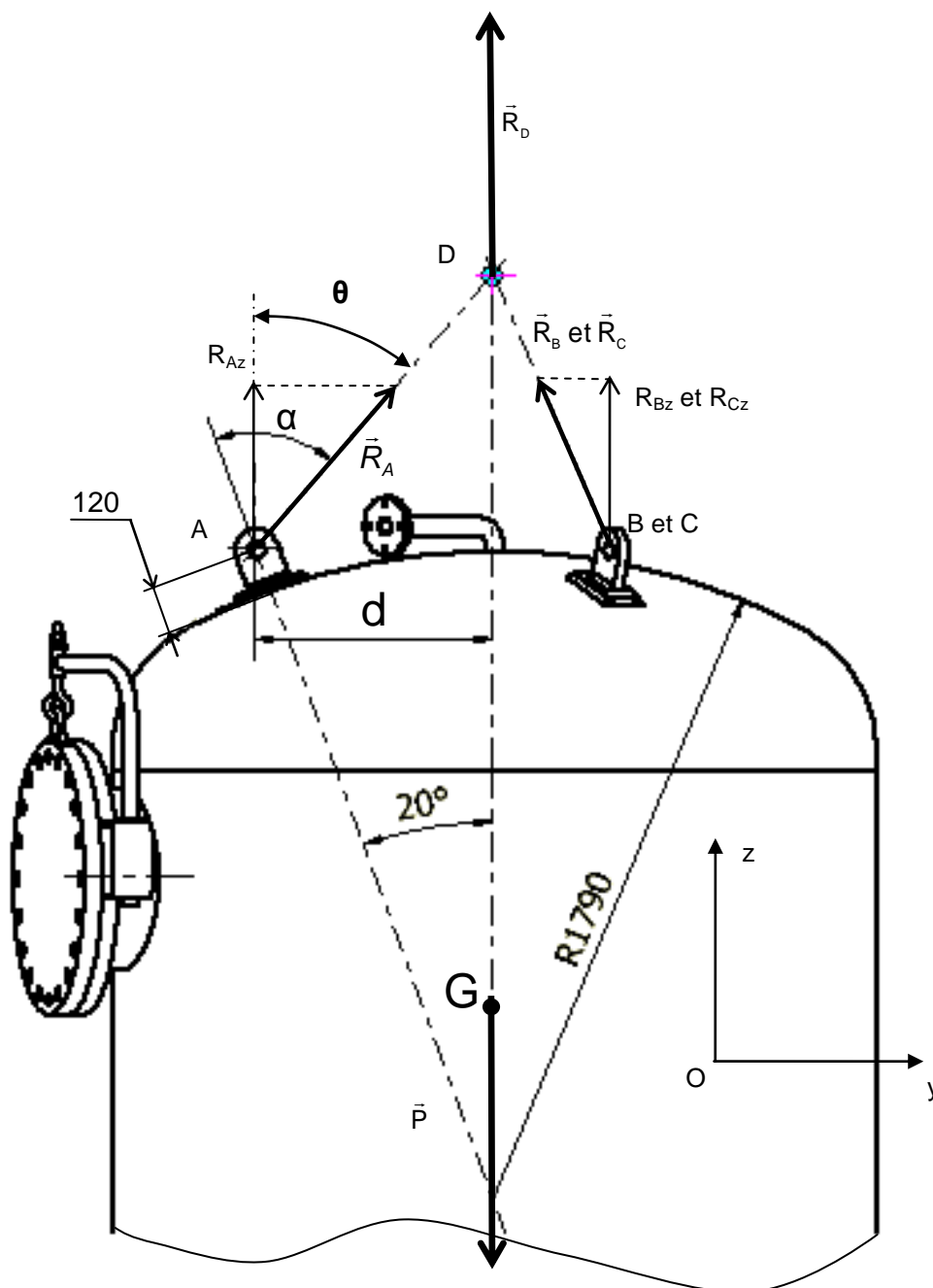
### Vérification des soudures des 3 oreilles de levage du déminéraliseur

La vérification des cordons de soudures des oreilles de levage sera faite selon l'EUROCODE 3. (Voir DT7)

#### TRAVAIL DEMANDÉ :

1-1 : **Calculer** la cote « d » de position des oreilles de levage (Utiliser les cotes du dessin ci-dessous).

1-2 : Sachant que la longueur AD de l'élingue est de 1 m, **déterminer** la valeur de l'angle  $\theta$ . **En déduire** la valeur de l'angle  $\alpha$ .



DS3

1-3 : Le poids  $\vec{P}$  de l'ensemble à soulever est de 36 000 N.

1-3-1 : **Déterminer** la valeur de la réaction  $\vec{R}_D$  exercée par le crochet du pont roulant. (Le poids des élingues est négligé)

1-3-2 : **En déduire** la valeur de chacune des 3 projections verticale  $R_{Az} = R_{Bz} = R_{Cz}$  des tensions dans chaque élingue.

1-3-3 : **Déterminer** alors la valeur des tensions  $\|\vec{R}_A\| = \|\vec{R}_B\| = \|\vec{R}_C\|$  dans chaque élingue.

1-4 : Le document DT7, est un extrait de l'EUROCODE 3. Il permet de vérifier les soudures des oreilles de levage.

- On prendra comme valeur pour la force pondérée  $\vec{F}$  de tension d'une élingue sur une oreille de levage :  $\|\vec{F}\| = 24\,000\text{ N}$ .
- On prendra comme valeur de l'angle  $\alpha = 60^\circ$ .
- Les cordons de soudures ont une longueur  $l_u = 100\text{ mm}$  et un apothème de  $a = 10\text{ mm}$ .

1-4-1 : **Calculer** les contraintes  $\sigma$ ,  $\tau_{\perp}$  et  $\tau_{//}$  qui règnent dans les cordons de soudures.

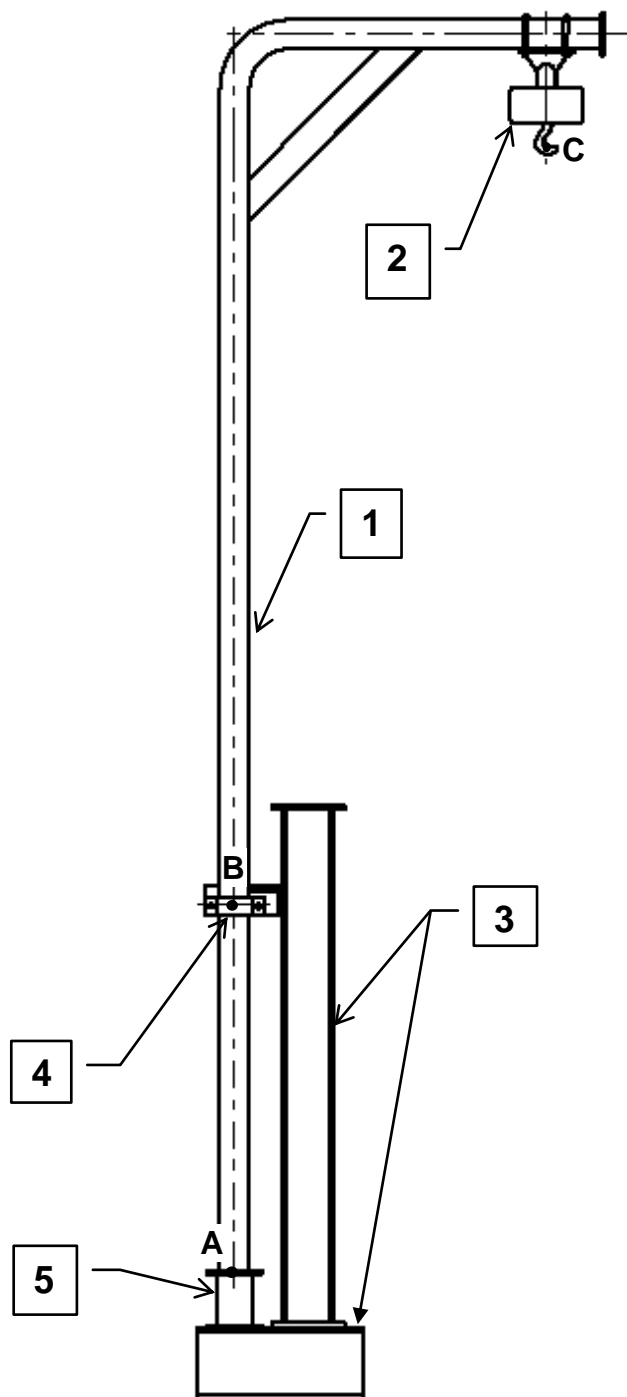
1-4-2 : **Appliquer** la condition de résistance (selon l'EUROCODE 3) et **conclure**.

On prendra pour cette question  $\sigma = 4,3\text{ MPa}$ ,  $\tau_{\perp} = 4,3\text{ MPa}$ ,  $\tau_{//} = 10,5\text{ MPa}$



## Objectif N°3

### Dimensionnement du tube de la potence de levage des éléments filtrants



5	1	Boitier de rotation	X2 Cr Ni 18-9
4	1	Articulation Oméga	X2 Cr Ni 18-9
3		Éléments châssis remorque	Profilés IPE
2	1	Treuil de levage	
1	1	Potence tubulaire (NF A 49-501)	S235
Rep	Nb	Désignation	Matière

Le dessin ci-contre représente la potence de levage utilisée pour sortir les éléments filtrants des filtres 401FI ou 403FI.

Un treuil électrique à câble permettra de les soulever.

La potence peut pivoter manuellement autour de son axe vertical AB, pour se positionner à la verticale d'un des deux filtres et tourner vers l'extérieur de la station de traitement pour décharger l'élément filtrant usagé (voir DT2).

Une charge verticale  $\vec{F}_C$  est appliquée sur le crochet du treuil en C.

Elle est due au poids de l'élément filtrant et à la résistance au décollement des joints.

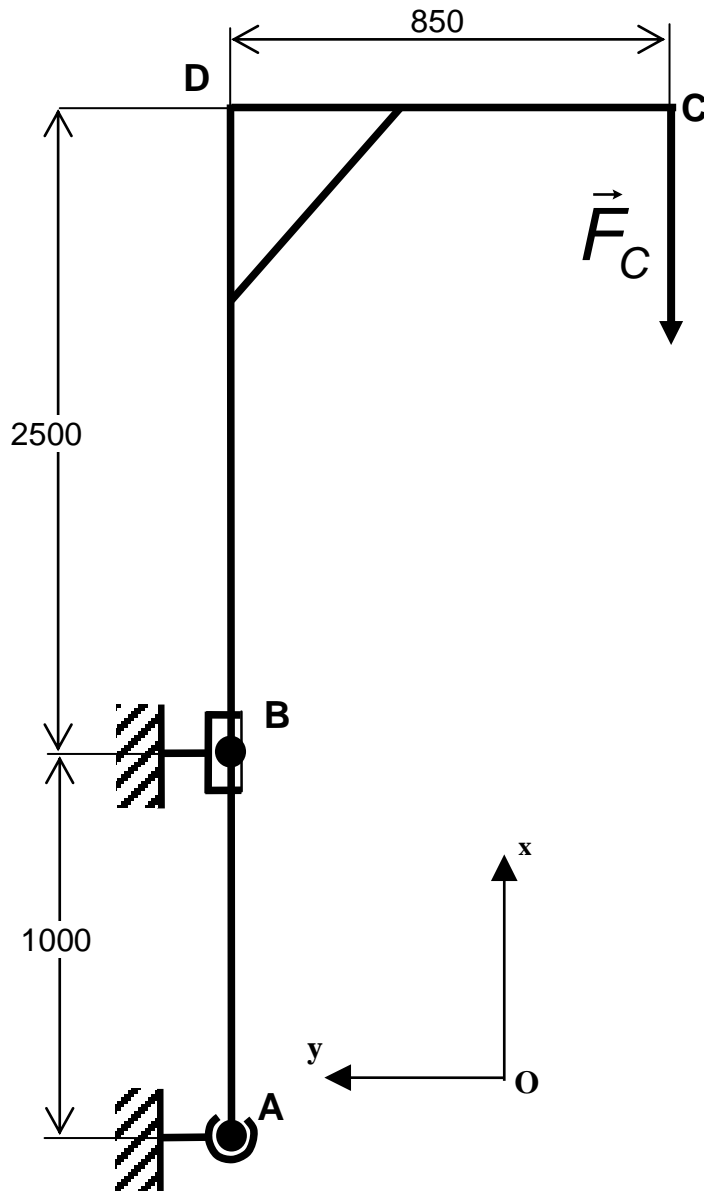
Elle sera estimée à  $\|\vec{F}_C\| = 2\,000\text{ N}$

**DS5**

## TRAVAIL DEMANDÉ :

### 1. Détermination des efforts extérieurs agissant sur la potence en A et B

#### Modélisation de la potence



Attention le schéma n'est pas à l'échelle

- La liaison en A entre le boîtier de rotation lié au châssis est une liaison rotule.
- La liaison en B avec le châssis est une liaison linéaire annulaire d'axe  $\vec{x}$ .

1-1: **Déterminer** par le calcul, les actions mécaniques de liaison  $\vec{R}_A$  et  $\vec{R}_B$  agissant en A et B.

**DS6**

## 2. Détermination des dimensions du tube de potence

Par la suite, on prendra  $\vec{R}_A \begin{vmatrix} 2000 \\ -1700 \\ 0 \end{vmatrix}$  et  $\vec{R}_B \begin{vmatrix} 0 \\ 1700 \\ 0 \end{vmatrix}$  en N dans (O, x, y, z)

2-1 : **Exprimer** en fonction de x, le torseur de cohésion régnant le long de la poutre, dans la zone allant de A à B et de B à D.


Tracer les diagrammes N et Mf du point A au point D.

2-2 : **Calculer** le Mf en B pour x = 1000 mm et **donner** la valeur de l'effort normal N.

2-3 : **Exprimer** la contrainte normale de flexion maxi  $\sigma_{\text{Maxi}}$ .

2-4 : En prenant un coefficient de sécurité s = 1,5, **déterminer** alors la valeur du module de flexion  $\left(\frac{I}{v}\right) = W$ . (On donne  $M_{f\text{Maxi}} = 1,7 \cdot 10^6$  N.mm)

2-5 : **Choisir** dans le tableau suivant le tube qui convient.

		Épaisseur	Masse par mètre	Aire de la section	Moment d'inertie de torsion	Constante de torsion	Moment d'inertie de flexion	Module d'inertie de flexion	Rayon de giration
		t	P	A	J	C	I	W	i
	Diamètre extérieur en mm	mm	kg/m	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm
<b>PROFILS CREUX RONDS FINIS À CHAUD NFA 49-501 DE LIMITE ÉLASTIQUE 235 MPa</b>	Ø 21,3	2,3	1,08	1,373	1,257	1,180	0,6286	0,5902	0,6767
	Ø 26,9	2,3	1,40	1,778	2,713	2,017	1,356	1,008	0,8735
	Ø 33,7	2,9	2,20	2,806	6,714	3,984	3,357	1,992	1,094
	Ø 42,4	2,9	2,82	3,599	14,11	6,657	7,056	3,328	1,400
	Ø 48,3	2,9	3,25	4,136	21,40	8,861	10,70	4,431	1,608
	Ø 60,3	3,2	4,51	5,740	46,94	15,57	23,47	7,784	2,022
	Ø 76,1	3,2	5,75	7,329	97,56	25,64	48,78	12,82	2,580
	Ø 88,9	3,2	6,76	8,616	158,4	35,64	79,21	17,82	3,032
	Ø 101,6	3,6	8,70	11,08	266,5	52,46	133,2	26,23	3,467
	Ø 114,3	3,6	9,83	12,52	384	67,19	192	33,59	3,916
	Ø 139,7	4	13,4	17,06	785,7	112,5	392,9	56,24	4,800
	Ø 168,3	4,5	18,2	23,16	1554	184,7	777,2	92,36	5,793

2-6 : **Calculer** la contrainte normale  $\sigma_N$  due à l'effort normal N.

2-7 : **Calculer** la contrainte totale due à Mf et à N :  $\sigma_T$ . Cette valeur est-elle acceptable ?

### Fabrication de fonds elliptiques suivant la norme NF E 81 -103

De	E		R (mm) ≈ pour E mini	r (mm) ≈ pour E mini	h1 (mm)	h2 (mm) pour E	Volume (dm <sup>3</sup> ) pour E mini	*M (Kg/mm)
	de	à						
200	3	20	171.2	36.6	25	51	1.4	0.4
250	3	20	214	45.7	25	64	2.5	0.7
300	3	30	256,8	54.9	25	77	4.2	0.9
350	3	35	299.6	64	25	90	6.5	1.2
400	3	40	342,4	73.2	25	104	9.5	1.6
450	3	40	385.2	83.3	25	117	13.2	2.1
500	4	50	428	91.5	40	129	17.5	2.6
550	4	50	470.8	100.6	40	142	23	3.1
600	4	60	513.6	109.8	40	156	29.8	3.6
650	4	60	556.4	119	40	169	37.5	4.2
700	4	70	599.2	128	40	182	46.5	4.9
750	4	70	642	137.2	40	195	56.8	5.5
800	4	80	684.8	146.4	40	208	68.8	6.2
850	4	80	727.6	155.5	40	222	82	7
900	4	80	770.4	164.7	40	235	97	7.8
950	4	80	813.2	173.8	40	248	113.5	8.7
1000	4	80	856	183	40	261	131.7	9.6
1050	4	80	898.8	192.1	40	274	152	10.5
1100	4	80	941.6	201.3	40	287	174	11.5
1150	4	80	984.4	210.4	40	300	198.3	12.5
1200	4	80	1027.2	219.6	40	314	225.4	13.6
1250	4	80	1070	228.7	40	326	253.2	14.7
1300	4	80	1112.8	237.9	40	340	285	15.9
1350	4	80	1155.6	247.5	40	353	318.3	17.1
1400	4	80	1198.4	256.2	40	366	354.3	18.3
1450	4	80	1241.2	265.3	40	379	392.7	19.6
1500	4	80	1284	274.5	40	393	435	21
1550	4	80	1328.8	283.6	40	406	479	22.3
1600	4	80	1369.6	292.8	40	419	526	23.8
1650	4	80	1412.4	302	40	432	575.9	25.2
1700	4	80	1455.2	311.1	40	445	628.8	26.7
1750	4	80	1498	320.2	40	458	684.9	28.3
1800	4	80	1540.8	329.4	40	472	745.8	29.9
1850	4	80	1583.6	338.5	40	484	806.8	31.5
1900	4	80	1626.4	347.7	40	493	865.9	33
1950	4	80	1669.2	356.8	40	511	944.3	34.9
2000	4	80	1712	366	40	523	1015.7	36.5
2100	6	80	1797.6	384.3	40	549	1168.8	40.2
2200	6	80	1883.2	402.6	40	576	1343.8	44.1
2300	6	80	1968.8	420.9	40	602	1532.8	48.1
2400	6	80	2054.4	439.2	40	628	1738.8	52.3
2500	6	80	2140	457.5	40	655	1965.4	56.7

Nota : la masse est donnée à titre indicatif pour une épaisseur de 1mm, elle doit être multipliée par l'épaisseur nécessaire.

Tableau 9 – Caractéristiques mécaniques à températures ambiante et énergie de rupture en flexion par choc à 196°C  
Des aciers austénitiques à l'état hypotrempe<sup>a)</sup> et résistance à la corrosion intergranulaire

Nuance d'acier	Forme de produit <sup>b)</sup>	Épaisseur mm max	Limite conventionnelle d'élasticité		Résistance à la traction	Allongement après rupture		Énergie de rupture en flexion par choc (ISO-V)			Résistance à la corrosion		
			0,2%	1%		$R_{p0,2}$	$R_{p1,0}$	$R_m$	$A_{80mm}^{e)}$	$A^{f)}$	à 20°C (long)	à -196°C (tr)	à l'état de livraison
Désignation Symbolique	Désignation Numérique			MPa min	MPa min	MPa	< 3 mm d'épaisseur % min	$\geq 3$ mm d'épaisseur % min	KV	J min			
Nuances austénitiques résistant à la corrosion													
X2CrNi18-7	1.4318	C	8	350	380	650 à 850	35	40	90	60	-	oui	Oui
		H	13.5	330	370								
		P	75	330	370								
X2CrNi18-9	1.4307	C	8	220	250	520 à 700	45	45	100	60	60	Oui	Oui
		H	13.5	200	240								
		P	75	200	240								
X2CrNi19-11	1.4306	C	8	220	250	520 à 700	45	45	100	60	60	Oui	oui
		H	13.5	200	240								
		P	75	200	240								
X5CrNi19-9	1.4315	C	8	290	320	550 à 750	40	40	100	60	60	(oui) <sup>h)</sup>	Non <sup>g)</sup>
		H	13.5	270	310								
		P	75	270	310								
EN 10028-7	C = Bande laminée à froid					H = Bande laminée à chaud						P = Tôle laminée à chaud	(à suivre)

**Tableau 1 — Tolérances sur l'épaisseur**

Dimensions en millimètres

Épaisseur nominale <i>t</i>	Tolérances sur l'épaisseur nominale (voir 6.1.1)							
	Classe A		Classe B		Classe C		Classe D	
	inférieure	supérieure	inférieure	supérieure	inférieure	supérieure	inférieure	supérieure
$3 \leq t < 5$	- 0,3	+ 0,7	- 0,3	+ 0,7	0	+ 1,0	- 0,5	+ 0,5
$5 \leq t < 8$	- 0,4	+ 0,8	- 0,3	+ 0,9	0	+ 1,2	- 0,6	+ 0,6
$8 \leq t < 15$	- 0,5	+ 0,9	- 0,3	+ 1,1	0	+ 1,4	- 0,7	+ 0,7
$15 \leq t < 25$	- 0,6	+ 1,0	- 0,3	+ 1,3	0	+ 1,6	- 0,8	+ 0,8
$25 \leq t < 40$	- 0,7	+ 1,3	- 0,3	+ 1,7	0	+ 2,0	- 1,0	+ 1,0
$40 \leq t < 80$	- 0,9	+ 1,7	- 0,3	+ 2,3	0	+ 2,6	- 1,3	+ 1,3
$80 \leq t < 150$	- 1,1	+ 2,1	- 0,3	+ 2,9	0	+ 3,2	- 1,6	+ 1,6
$150 \leq t < 250$	- 1,2	+ 2,4	- 0,3	+ 3,3	0	+ 3,6	- 1,8	+ 1,8
$250 \leq t \leq 400$	- 1,3	+ 3,5	- 0,3	+ 4,5	0	+ 4,8	- 2,4	+ 2,4

Ces tolérances sur l'épaisseur s'appliquent hors des zones meulées (voir 6.1.2)

Au moment de l'appel d'offres et de la commande, l'acheteur doit indiquer si la classe A, B, C ou D de tolérance est demandée (voir 4.1 et 4.2). Si aucune classe n'est indiquée, la classe A s'applique.

**6.1.2** Pour les limites admissibles des défauts de surface et les exigences de réparation, l'EN 10163-1 et l'EN 10163-2 s'appliquent.

## Calcul des cordons de soudure selon l'Eurocode 3

L'application des 3 formules suivantes permet de calculer les contraintes normales et de cisaillement qui règnent dans les **deux** cordons de soudure de l'oreille de levage.

$$\sigma = \frac{\sqrt{2} \cdot F \cdot \cos \alpha}{4 \cdot a \cdot l_u}$$

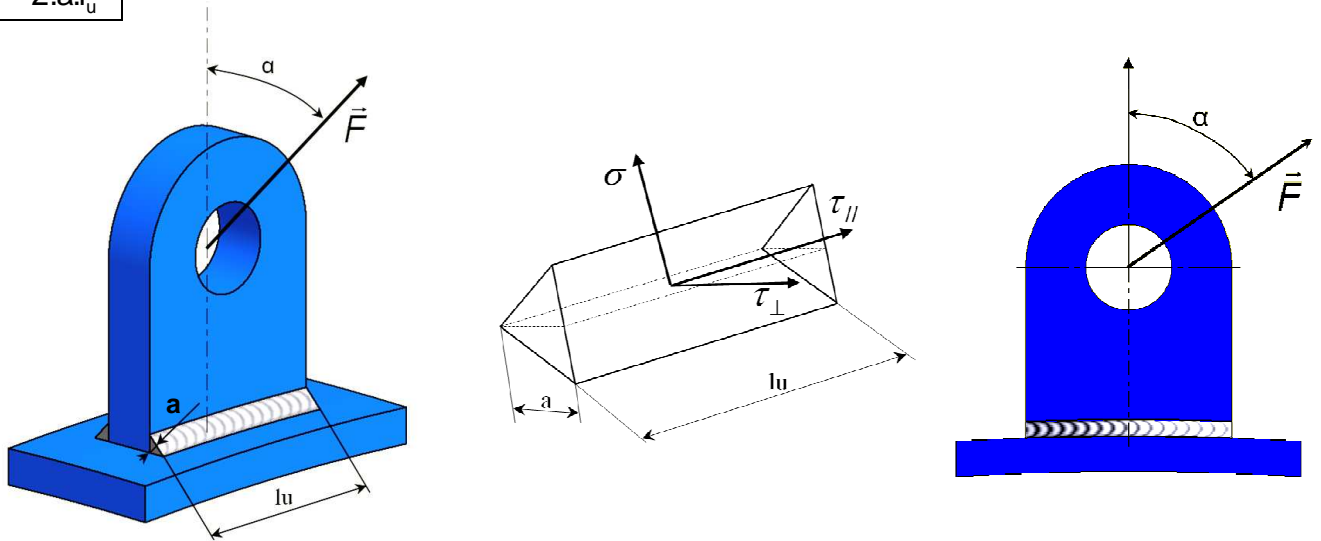
Contrainte normale à la section du cordon de soudure ( $a \cdot l_u$ )

$$\tau_{\perp} = \frac{\sqrt{2} \cdot F \cdot \cos \alpha}{4 \cdot a \cdot l_u}$$

Contrainte tangentielle perpendiculaire au cordon de soudure dans le plan de la section du cordon

$$\tau_{//} = \frac{F \cdot \sin \alpha}{2 \cdot a \cdot l_u}$$

Contrainte parallèle au cordon de soudure dans le plan de la section du cordon



La formule suivante est la **condition de résistance** qui permet de vérifier les cordons de soudure.

$$\beta_w \sqrt{\sigma^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{//}^2)} \leq \frac{R_m}{\gamma_{Mw}}$$

Nuance d'acier	Re (MPa)	Rm (MPa)	$\gamma_{Mw}$	$\beta_w$	$\beta_w \cdot \gamma_{Mw}$
S235	235	430	1.25	0.80	1.00
S275	275	460	1.30	0.85	1.10
S355	355	510	1.35	0.90	1.20
X2 Cr Ni 18-9	220	500	1.45	0.95	1.35

**DT7**