



MINISTÈRE  
DE L'ÉDUCATION  
NATIONALE

EFE GIS 1

SESSION 2019

**CAPLP  
CONCOURS EXTERNE  
ET CAFEP**

**SECTION GÉNIE INDUSTRIEL :**

**Option Structures métalliques**

**ANALYSE D'UN PROBLÈME TECHNIQUE**

Durée : 4 heures

*Calculatrice électronique de poche - y compris calculatrice programmable, alphanumérique ou à écran graphique – à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.*

*L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.*

*Si vous repérez ce qui vous semble être une erreur d'énoncé, vous devez le signaler très lisiblement sur votre copie, en proposer la correction et poursuivre l'épreuve en conséquence. De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, vous devez la (ou les) mentionner explicitement.*

**NB : Conformément au principe d'anonymat, votre copie ne doit comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé consiste notamment en la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de la signer ou de l'identifier.**

**Tournez la page S.V.P.**

A

## INFORMATION AUX CANDIDATS

Vous trouverez ci-après les codes nécessaires vous permettant de compléter les rubriques figurant en en-tête de votre copie

Ces codes doivent être reportés sur chacune des copies que vous remettrez.

► **Concours externe du CAPLP de l'enseignement public :**

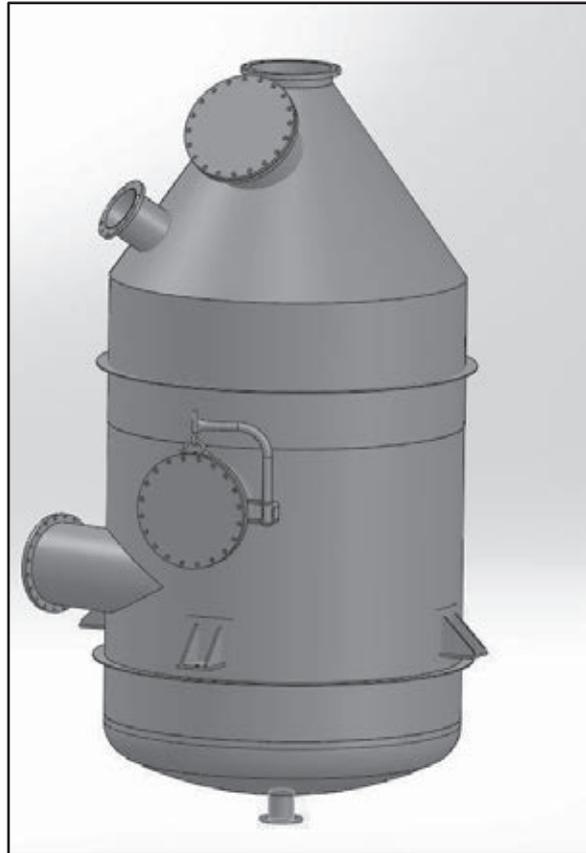
Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EFE	2400J	101	7397

► **Concours externe du CAFEP/CAPLP de l'enseignement privé :**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EFF	2400J	101	7397





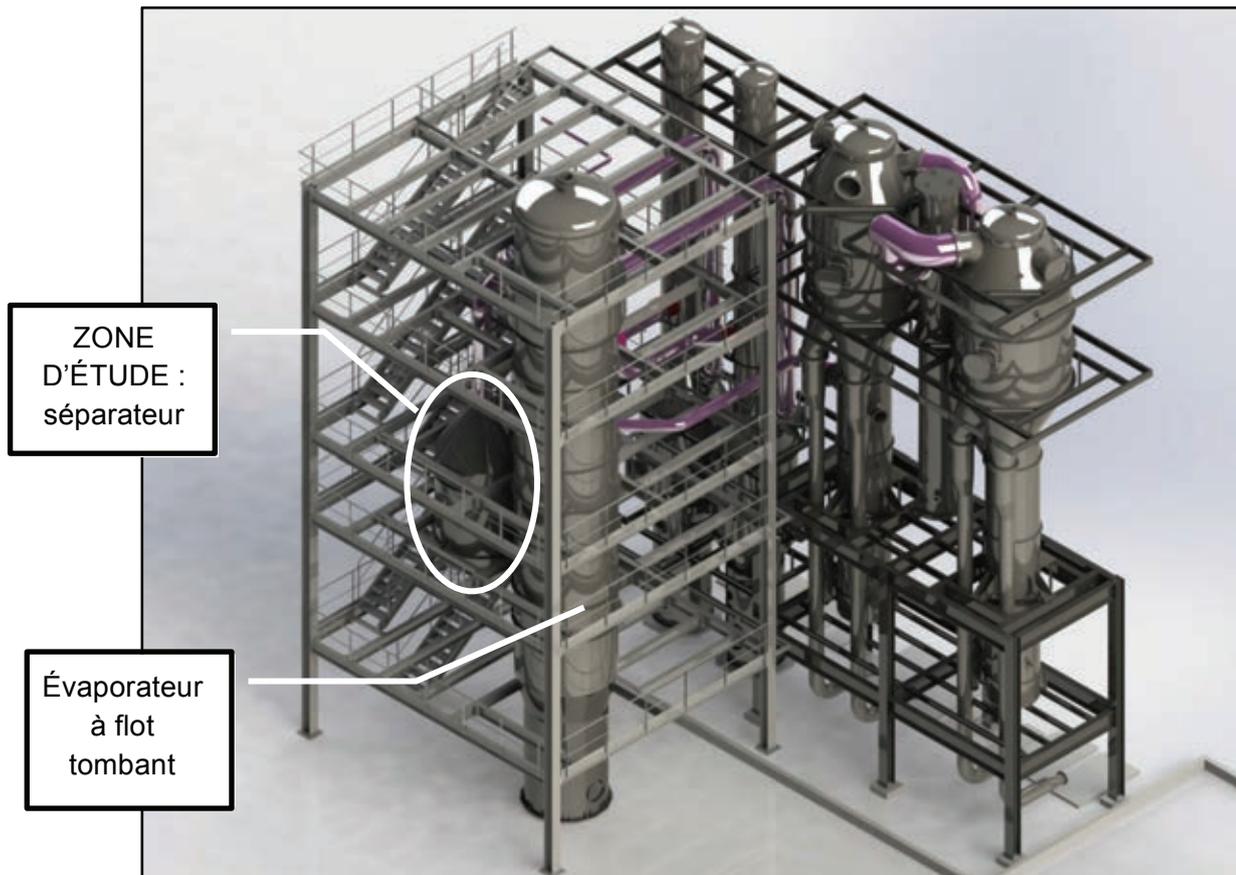


## SÉPARATEUR

**Dossier sujet : pages 1 à 6**

L'étude porte sur un séparateur intégré dans un processus industriel de distillation.

### Ensemble de distillation

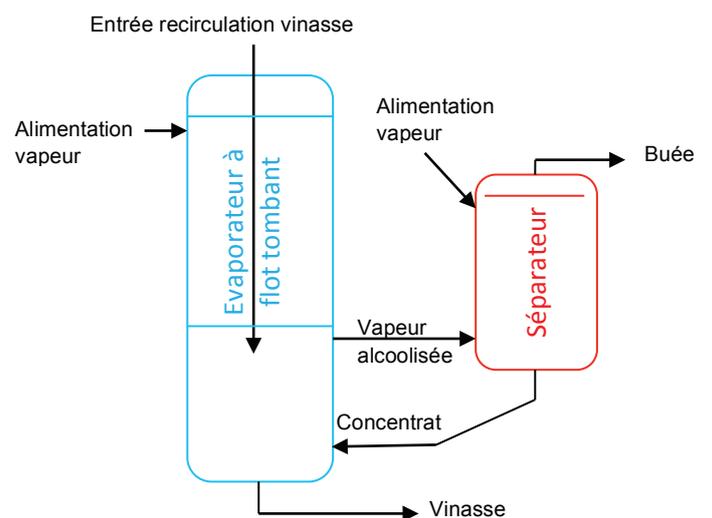


### Fonctionnement :

L'évaporateur est alimenté en vinasse en partie haute où de la vapeur y est également injecté. La vinasse circule par gravité dans les tubes d'échanges en créant un fin film liquide sur les parois intérieures. Ce film liquide est chauffé par les vapeurs.

Les vapeurs chargées en alcool entrent alors dans le séparateur via une gaine de liaison. Ce dernier va les réchauffer à son tour pour en éliminer l'eau sous forme de buée par l'intermédiaire d'un dévisiculaire (séparateur de gouttes) situé à l'intérieur du séparateur.

### Schéma de principe :



L'entreprise en charge de la réalisation de cet ensemble est une chaudronnerie qui fabrique des ensembles chaudronnés et réalise des travaux de constructions métalliques. Elle dispose d'un bureau d'études et de méthodes. Son parc machines est défini ci-après.

## Parc machines de l'entreprise :

### Logiciel :

- logiciel 3D et programme de développement de tôle.

### Débit :

- cisaille guillotine 4000 x 12 mm, col de cygne 400 mm ;
- banc d'oxycoupage et découpage plasma CN, torche montée avec une tuyère Ø 1.2 mm, capacité de la table 6000 x 2000;
- laser CO<sub>2</sub> Trumpf TRULASER L 3030, laser TRUFLOW 4000, capacité de découpage : acier de construction 20 mm, acier inoxydable 15 mm, aluminium 10 mm, capacité de la table 3000 x 1500 mm ;
- fraise scie Ø 300 mm ;
- scie à ruban horizontale permettant de couper des tubes Ø 400 mm ;
- chanfreineuse (CH 10 x 10) ép. 4 à 40 mm – Angle de 20° à 55°.

### Formage des tôles :

- presse plieuse 4000 x 400 t, 8 axes numériques ouverture 660 mm.

### Formage des profils :

- cintreuse à profil KOMAC 306, diamètre des galets 280 mm, puissance 7.5 kW, capacité de cintrage fer plat sur chant 100 x 20 mm, diamètre de cintrage mini 1200 mm.

### Roulage des tôles :

- rouleuse 3000 mm x 30 mm, à positionnement numérique (croqueuse) ;
- rouleuse 2000 mm x 10 mm, pyramidale.

### Mécanique générale :

- perceuse à colonne Ø maxi 50 mm ;
- perceuse radiale.

### Soudure :

- 5 postes TIG ; 5 postes MIG / MAG ; 5 postes EE ;
- 1 banc de soudage longitudinal intérieur soudage de viroles Ø 2500 et tôles planes longueur utile 4000 mm ;
- 3 têtes orbitales de soudure polysoudure Ø 8 mm ext à Ø 115 mm ext ;  
Torche TIG inclinable à 45° pour des soudures en Té de piquages ou de brides.

### Moyens de levage et manutention :

- 2 ponts roulants capacité 40 tonnes et capacité 20 tonnes sur 800 m<sup>2</sup> d'atelier ;
- 1 grue d'atelier capacité 2.5 tonnes ;
- 1 chariot élévateur capacité 4 tonnes ;
- 3 positionneurs capacité de 2.5 tonnes à 22 tonnes de 0.1 à 0.5 tr·min<sup>-1</sup> ;
- 4 paires de vireurs.

### Partie 1 : Lecture de plan.

- 1.1 À l'aide du schéma de principe, **compléter** les désignations manquantes de la nomenclature du document réponses **DR1**. **Préciser** s'il s'agit d'éléments d'entrées ou de sorties.

### Partie 2 : Étude de la ligne de tuyauterie.

*Vous devez réaliser la ligne de tuyauterie du « sous-ensemble 5 » se situant sous le séparateur et définie entre les plans de joints A et B. Le retrait de bride est de 5 mm et le jeu de soudage entre les éléments est de 0 mm (J= 0 mm).*

- 2.1 **Renseigner** le document réponses **DR1** qui liste les composants nécessaires à la réalisation de cette ligne de tuyauterie.
- 2.2 **Tracer** l'épure de cette ligne de tuyauterie sur le document réponses **DR2** à partir des dimensions indiquées sur les documents DT1 et DT2. **Calculer** sur feuille de copie la longueur du tube Rep. 14 et les angles des coudes Rep. 13 et Rep. 15.

### Partie 3 : Étude d'un piquage.

*Vous devez réaliser la fabrication de la gaine de liaison Rep. 9 et de la virole inférieure Rep. 3 à partir d'une tôle. Le retrait de bride est de 8 mm.*

- 3.1 **Rechercher** les paramètres nécessaires à la programmation du logiciel de traçage assisté par ordinateur pour la fabrication de la gaine de liaison Rep. 9 et de la virole inférieure Rep. 3 du séparateur afin de déterminer leurs développements. **Renseigner** le document réponses **DR3**.

### Partie 4 : Étude des procédés de découpage.

*L'entreprise dispose de deux procédés de découpage :*

- un banc de découpage plasma ;
- un banc de découpage laser.

*L'entreprise choisit de découper sur le banc de découpage plasma une série de 10 éléments de charnière mobile, cf. Rep. 62 indiqué sur le DT1*

- 4.1 À partir des documents DT2 et DT3, **calculer** le coût de fabrication pour cette série de 10 pièces. **Compléter** le document réponses **DR4** et **justifier** vos choix.

### Partie 5 : Ordonnancement.

*Vous devez réaliser un corps de séparateur. Les éléments Rep. 5, 6, 7, 9, 10 et 11 ne font pas partie de l'étude.*

- 5.1 **Renseigner** le document réponses **DR5** afin de déterminer la matière à commander en vue de la fabrication d'un corps de séparateur.
- 5.2 **Compléter** sur le document réponses **DR6**, le graphe d'ordonnancement de fabrication pour assembler le corps de séparateur.

## Partie 6 : Descriptif de modes opératoires de soudage (DMOS).

À partir des documents DT4 (1/2 et 2/2) et DT5 (1/3 à 3/3), sur le document réponse **DR7**, Procédé de soudage 141 en passe de fond et 135 pour le remplissage.

6.1 **Compléter** dans le DMOS les parties du tableau grisées afin d'effectuer l'assemblage des Rep. 2 « virole supérieure » et Rep. 3 « virole inférieure ».

## Partie 7 : Vérification d'un appareil à pression.

*Vous devez vérifier l'épaisseur de la virole constituée des Rep.2 et Rep.3. L'étude portera sur la vérification des épaisseurs suivant le CODAP 2010.*

*Caractéristiques de l'appareil :*

Matériau	Acier inoxydable austénitique X2CrNiMo17-12-2 (1.4404) A =40%	
Catégorie de construction	C	
Situation normale de service	Pression de calcul	2,6 bar
	Température de calcul	110 °C
Situation d'essai	Pression d'essai	4,1 bar
	Température d'essai	20 °C
Volume de la cuve	17.514 m <sup>3</sup>	
Fluide (vinasse)	Liquide, non dangereux	

*Données de fabrication :*

Amincissement dû au roulage	$c_2 = 0.1 \text{ mm}$
Tolérances sur l'épaisseur des tôles inoxydables à pression	$c_1 = \pm 0.2 \text{ mm}$
Surépaisseur de corrosion	$c = 0 \text{ mm}$

*Données sur les limites conventionnelles :*

- la limite conventionnelle d'élasticité  $R_{p1,0}$  à 110° = 195,5 MPa ;
- la limite conventionnelle d'élasticité  $R_{p1,0}$  à 20° = 260 MPa.

*Sur feuille de copie, à l'aide des documents DT6 (1/2 à 2/2) et DT7,*

7-1 **Déterminer** la contrainte nominale de calcul pour la virole

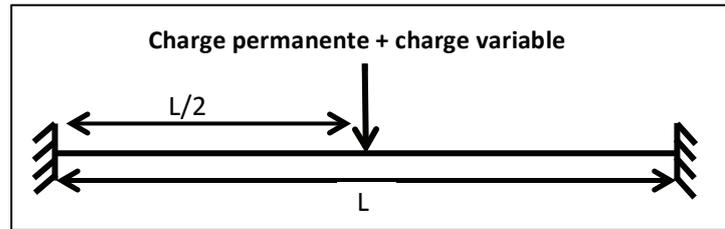
Pour la suite, on prendra  $f_{service} = 122 \text{ MPa}$ ,  $f_{essai} = 247 \text{ MPa}$ ,  $z_{service} = 0,7$ ,  $z_{essai} = 1$  et on utilisera les formules de la division 1 du CODAP, partie C (dossier technique DT6).

7-2 **Calculer** l'épaisseur minimale nécessaire de l'enveloppe cylindrique ( $D_e = 2400 \text{ mm}$ ) en situation normale de service, puis en situation d'essai de résistance.

7-3 **Calculer** l'épaisseur nominale de commande  $e_n$  et comparer avec celle du séparateur.

**Partie 8 : Vérification d'un élément de structure porteuse  
situé au niveau d'une chaise support**

Modélisation :



Données d'entrées :

Longueur de la poutre	2500 mm
Type de profilé	HEA 140
Masse à vide	8 Tonnes
Volume de fluide dans le réservoir	17514 litres
Fluide stocké dans la cuve	Poids volumique = 10 kN/m <sup>3</sup>
Matériau utilisé	S235 => Limite élastique $f_y = 235$ Mpa Module de Young $E = 210$ Gpa

Le dimensionnement de la poutre sera réalisé selon la norme EUROCODE 3 (NF-EN-1993-1-1). Elle est vérifiée suivant le critère état limite ultime (ELU).

- l'état limite de service (ELS) consiste à vérifier la structure en état de fonctionnement normal et également qu'elle ne subit pas de déformation irréversible sous charge et qu'elle ne présente pas de dégradation ;
- selon l'EUROCODE, la catégorie d'usage de la structure est classée en catégorie E2 pour un usage industriel ;
- la structure est soumise à des charges permanentes dues à son poids propre et à des charges d'exploitations variables (volume de liquide dans le réservoir).

Dans notre cas de figure les coefficients retenus pour l'état limite de service (ELS) sont :

- $\gamma_G = 1$  coefficient partiel pour les actions permanentes ;
- $\gamma_Q = 1$  coefficient partiel pour les actions variables ;
- $\Psi_0 = 1$  coefficient de valeur de combinaison.

Sur feuille de copie, à l'aide des documents DT8, DT9 (1/2 à 2/2) et DT10,

Vous devez calculer les actions caractéristiques à l'état limite de service (ELS) :

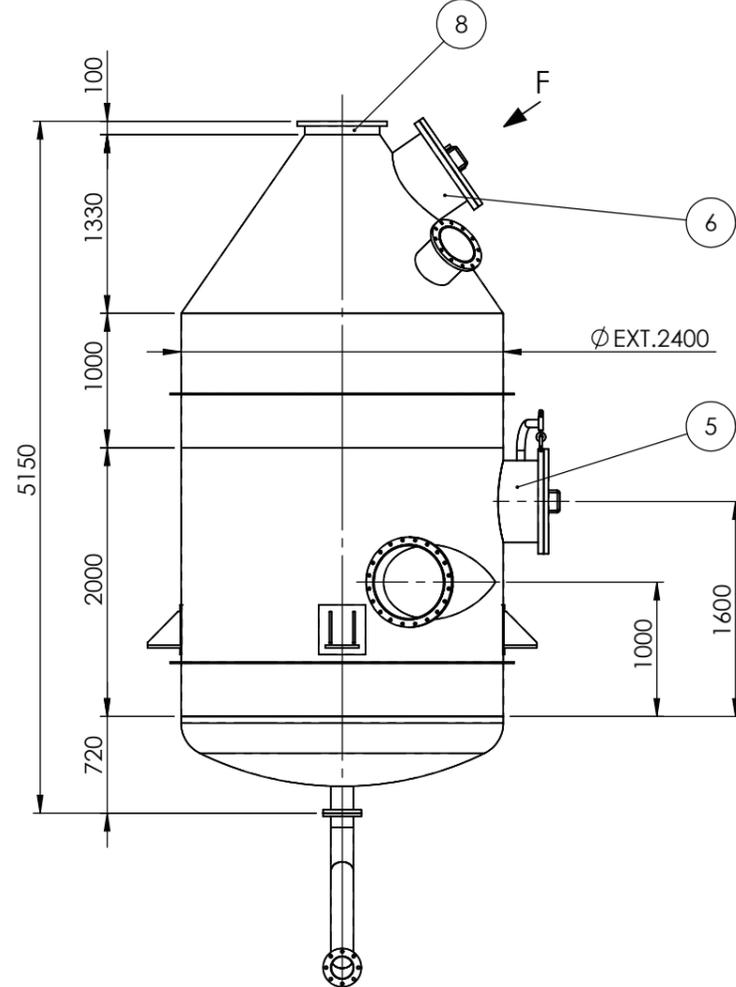
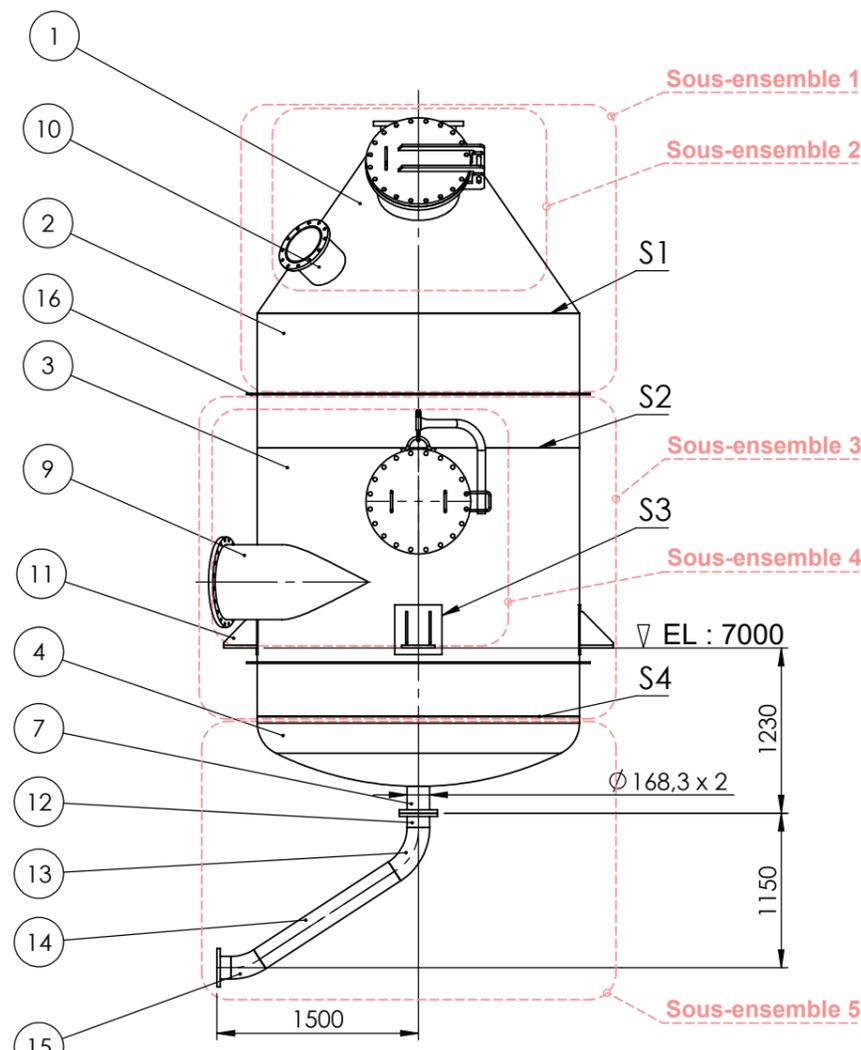
- 8-1 **Déterminer** les valeurs des actions (effort) et du moment dû à l'effort suivant le critère à l'état limite de service.

Vous devez vérifier la structure :

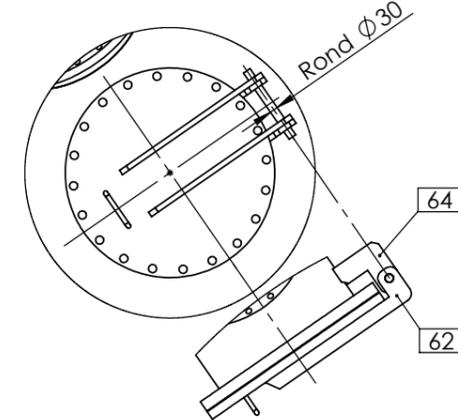
- 8-2 En précisant les valeurs limites maximales recommandée retenues, **vérifier** la structure à l'état limite de service (ELS), pour ce qui concerne la déformée (flèche à  $l/2$ ). **Conclure**.

## DOCUMENTS TECHNIQUES

DT1	Dessin d'ensemble du séparateur, format A3	1 page
DT2	Raccords inox à souder	1 page
DT3	Abaque de découpage plasma et format de tôles	1 page
DT4	Extrait – fiche d'information « le soudage des aciers inoxydables – procédé TIG »	2 pages
DT5	Extrait de « comment rédiger un DMOS » guidée par la norme NF EN ISO 15609	3 pages
DT6	Extraits du CODAP didactique, division 1, partie G, généralités	2 pages
DT7	Extraits du CODAP didactique, division 1, partie C, conception et calculs, section C1 – généralités	1 page
DT8	Table I.4 – Profils HEA	1 page
DT9	Extraits de la norme EUROCODE 3 (NF-EN -1993-1-1)	2 pages
DT10	Extrait de formulaire RDM Flexion	1 page

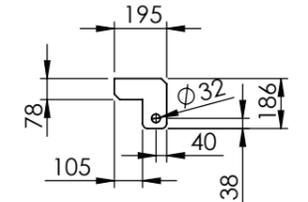


Vue de détail suivant F  
ECHELLE 1 : 25

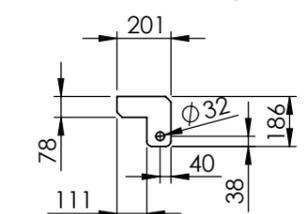


Éléments de charnière  
Epaisseur 20 mm

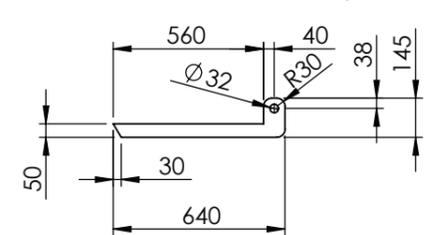
charnière fixe Rep. 64a



charnière fixe Rep. 64b

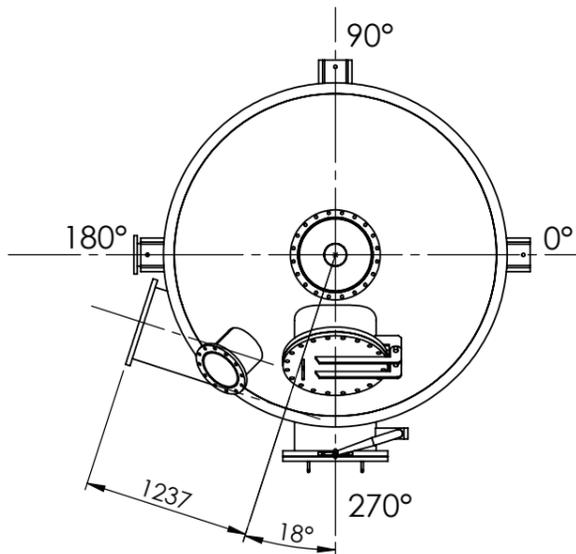


charnière mobile Rep. 62



PLAQUE DE FIRME  
MAT. 14307

CODE	CCOMP 2010	Rev: 1
CATEGORIE DE CONSTRUCTION	C	
COEFFICIENT DE SOUDURE	0.7	
N°	E 00	ANNEE 2017
TYPE D'INCENTE	CALANDRE	FLUIDE+SEPARATEUR
NATURE DU FLUIDE	LIQUIDE GR 2	LIQUIDE GR 2
CATEGORIE DE LEGISLATION	/	DESP ART 4.3
MATIERE	1.4404	1.4404
SURÉPAISSEUR DE CORROSION	0mm	0mm
PRESSION DE CALCUL	-1 / 0.5 BAR	-1 / 2.8 BAR
TEMPERATURE DE CALCUL	110°C	110°C
PRESSION D'EPREUVE	0.78 BAR	4.1 BAR
DATE D'EPREUVE	/ / 2017	/ / 2017
CONTROLE	SELON CODE	SELON CODE
TRAITEMENT THERMIQUE	/	/
CAPACITE (LITRES)	28 439	SJ 560H/1 514
MASSE TOTALE A VIDE (KG)	45 000	



16	2	Frette plat 80x10							X2CrNi18-9
15	1	Coude	168.3	2					X2CrNiMo17-12-2
14	1	Tube	168.3	2					X2CrNiMo17-12-2
13	1	Coude	168.3	2					X2CrNiMo17-12-2
12	2	Tube L= 100	168.3	2	150	10	01A		X2CrNiMo17-12-2
11	4	Chaise support							X2CrNi18-9
10	1	.....	323.9	3	300	10	01A		X2CrNiMo17-12-2
9	1	Gaine de liaison.....	559	4.78	600	10	01A		Alésée au Ø559
8	1	.....	559	8	600	10	01A		Alésée au Ø559
7	1	.....	168.3	2	150	10	01A		X2CrNiMo17-12-2
6	1	Trou d'homme	508	8	500	10	01A		BP+JOINT+Bis (ZN)
5	1	Trou d'homme à potence	610	8	600	10	01A		BP+JOINT+Bis (ZN)
4	1	Fond GRC	φ ext 2400	10					X2CrNiMo17-12-2
3	1	Virole inférieure	φ ext 2400	8					X2CrNiMo17-12-2
2	1	Virole supérieure	φ ext 2400	8					X2CrNiMo17-12-2
1	1	Cône supérieur		10					X2CrNiMo17-12-2

Rep	Nb	Désignation	Tube		Bride		Type	Observations
			Diam.	Ep.	DN	PN		

ECHELLE  
1 : 45

# SEPARATEUR

Dessiné par : **A3**

Le: **DT1**



# RACCORDS INOX À SOUDER

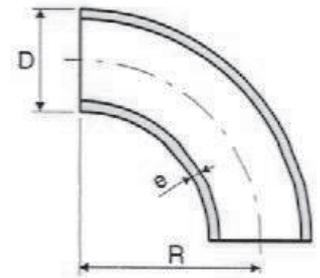
DT2

## RACCORDS À SOUDER

Nuances selon NF EN 10088-1 : 1.4307 (AISI 304L) et 1.4404 (AISI 316 L)

COUDES SOUDÉS 90 °  
PETIT RAYON  
SÉRIE MÉTRIQUE

COUDES SOUDÉS 90 °  
GRAND RAYON  
SÉRIE ISOMÉTRIQUE

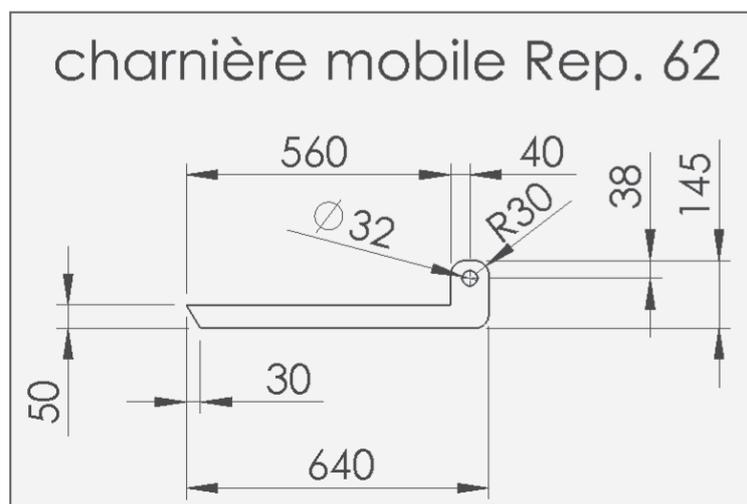


DIMENSIONS D x e mm	RAYON DE CINTRAGE (R) mm	MASSE UNITAIRE kg
23 x 1,5	30	0,04
28 x 1,5	37	0,05
33 x 1,5	45	0,08
43 x 1,5	60	0,15
53 x 1,5	75	0,22
63 x 1,5	90	0,32
73 x 1,5	105	0,40
83 x 1,5	120	0,62
103 x 1,5	150	1,10
123 x 1,5	200	1,73
153 x 1,5	300	2,50
54 x 2	75	0,29
64 x 2	90	0,38
74 x 2	95	0,54
84 x 2	120	0,83
104 x 2	150	1,45
129 x 2	250	2,30
154 x 2	300	3,30
204 x 2	300	6,00
254 x 2	375	7,00
304 x 2	450	11,20
354 x 2	500	14,60

DIMENSIONS D x e mm	RAYON DE CINTRAGE (R) mm	MASSE UNITAIRE kg
17,2 x 1,6	30	0,03
21,3 x 1,6	45	0,06
21,3 x 2	45	0,08
26,9 x 1,6	57	0,08
26,9 x 2	57	0,11
33,7 x 1,6	72	0,14
33,7 x 2	72	0,18
42,4 x 1,6	92	0,23
42,4 x 2	92	0,28
48,3 x 1,6	109	0,33
48,3 x 2	109	0,48
53 x 1,5	150	0,45
60,3 x 1,6	137	0,50
60,3 x 2	137	0,63
76,1 x 2	175	0,87
84 x 2	160	0,83
88,9 x 2	207	1,42
104 x 2	200	2,00
114,3 x 2	270	2,39
124 x 2	250	2,20
129 x 2	250	2,30
139,7 x 2	330	3,60
154 x 2	300	3,50
168,3 x 2	390	5,10
219,1 x 2	510	8,70

Certaines dimensions sont stockées  
en grand rayon : nous consulter.

## ZOOM DE LA CHARNIÈRE DU SÉPARATEUR



# ABAQUE DE DÉCOUPAGE PLASMA

DT3

Gamme	Diamètre de tuyère	Épaisseur	Acier S235	Acier inox	Alliage légers
			Vitesses en cm /min		
1	1	0.5	1500	1000	1000
		1	900	500	1000
		1.5	500	190	600
		2	300	140	400
		3	160	90	140
		4	90	70	80
		5	55	40	60
2	1.2	3	450	350	500
		4	300	260	400
		5	230	190	300
		6	160	140	200
		8	100	80	130
		10	70	60	70
		12	50	45	50
		15	30	25	
	20	15	15		

Temps pour travail élémentaire de découpage plasma en centième d'heure (ch)	
Réglages	2 ch
Montage d'une tuyère	4 ch
Mise en place et réglage d'une tôle	6 ch
Chargement programme	10 ch
Évacuation des pièces et des chutes (à ne compter qu'une fois par tôle)	20 ch
Allumage et amorçage de la coupe (démarrage machine)	2 ch
Temps de coupe par mètre	1.8 ch / m
Ébavurage de la pièce en ch / m	2 ch / m

## Tarification du découpage plasma et poinçonnage HT

Coût horaire du découpage HT (consommable, énergie, gaz, amortissement)	Plasma une torche	57 €/h
	Plasma deux torches	60 €/h
	Laser	75 €/h
Coût main d'œuvre	Plasma et laser	27 €/h

## FORMAT DE TÔLES

### Tôles laminées à chaud

1.4016 (430), 1.4301 (304), 1.4307 (304L), 1.4404 (316L), 1.4845 (310s), autres nuances nous consulter

Dimensions en mm	Épaisseur en mm												
	2	3	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30	40
1000 x 2000	32	48	64	80	96	128	160	192	240	320	400	480	640
1250 x 2500		75	100	125	150	200	250	300	375	500	625	750	1000
1500 x 3000		108	144	180	216	288	360	432	540	720	900	1080	1440
1500 x 4000		144	192	240	288	384	480	576	720	960	1200	1440	1920
2000 x 4000		192	256	320	384	512	640	768	960	1280	1600	1920	2560
1500 x 6000		216	288	360	432	576	720	864	1080	1440	1800	2160	2880
2000 x 6000		288	384	480	576	768	960	1152	1440	1920	2400	2880	3840

# Extrait – Fiche d'information DT4 1/2

## « le soudage des aciers inoxydables – procédé TIG »

### LE PROCÉDÉ

TIG est l'acronyme de Tungsten Inert Gas (soudage à l'arc en atmosphère inerte avec électrode de tungstène). Aux USA, on parle de GTAW (Gas Tungsten Arc Welding), en Allemagne de WIG (Wolfram Inert Gas). Auparavant, on utilisait également la dénomination Argon Arc. La théorie et la pratique de ce procédé sont décrits d'une façon détaillée dans le CD-ROM "Process 141" (dénomination suivant EN ISO 4063), qui a été mis au point à l'initiative et sous la responsabilité de l'Institut Belge de la Soudure avec des subside de la Communauté Européenne (programme Leonardo da Vinci). Lors du soudage TIG, un arc est tiré, dans une atmosphère inerte, entre une électrode réfractaire de tungstène et la pièce à souder. L'électrode, l'arc de soudage et le bain de fusion sont donc protégés par un gaz inerte de l'air environnant (figure 1). L'acier inoxydable est soudé en courant continu, l'électrode étant au pôle négatif.

Le procédé est principalement utilisé pour le soudage de l'acier inoxydable de faible épaisseur (tôle ou épaisseur de paroi allant jusque 3 mm environ) et pour le soudage en position de tubes. Pour des épaisseurs supérieures à 3 mm, on utilise uniquement le soudage TIG pour déposer les passes de fond. Au-dessus de cette épaisseur, il n'est plus responsable, d'un point de vue économique, d'utiliser le soudage TIG. On peut souder en courant continu ou en courant pulsé. Le soudage pulsé offre certains avantages:

- Dans le cas du soudage en position, on maîtrise mieux le bain.
- La forme de la soudure est influencée par le réglage du temps d'impulsion et l'intensité de courant.
- Le soudage pulsé est un procédé idéal pour le soudage mécanisé, pour le soudage en position et pour le soudage de tôles très fines.

Un exemple de pince pour le soudage orbital (mécanisé) est montré à la figure 2. Pour le

soudage de matériaux minces ou pour une soudure de pénétration, on peut souder avec ou sans métal d'apport (en fonction de la préparation du joint).

### ELECTRODES TIG

Lors du soudage TIG de l'acier inoxydable, on soude en courant continu avec l'électrode au pôle négatif. La majorité de la chaleur va donc vers la pièce à souder. Le matériau de l'électrode est généralement du tungstène avec 2% d'oxyde de thorium. Pour des raisons de santé, ce type d'électrode n'est presque plus utilisé (rayonnement radioactif minimal). Il existe des électrodes en tungstène qui sont alliées à ce qu'on appelle des 'terres rares' qui ont une durée de vie plus longue.

Il y a, entre autres, des électrodes de tungstène avec 2% d'oxyde de lanthane ( $\text{La}_2\text{O}_3$ ) ou avec 2% d'oxyde de cérium ( $\text{CeO}_2$ ). Un diamètre d'électrode trop petit entraîne une surchauffe ou la fusion de l'électrode, avec un grand risque d'avoir des

inclusions de tungstène dans la soudure.

Un trop grand diamètre provoque une instabilité de l'arc et/ou une pénétration insuffisante (mauvais rapport largeur-profondeur du bain de fusion).

Lors du soudage en courant continu, l'électrode doit être affûtée (figure 3). L'affûtage de l'électrode doit se faire dans la direction de la pointe et non être concentrique; le poli doit être aussi parfait que possible (la pointe doit être brisée – surface plane de 0,8 mm).

### GAZ DE PROTECTION

Dans la plupart des cas, on utilise l'argon comme gaz de protection. La tension d'amorçage avec ce gaz est relativement faible. La pureté du gaz doit être supérieure à 99,99%.

Compte tenu de la pureté souhaitée, il faut veiller à l'étanchéité de tout le système de conduite de gaz. Ceci va de la bouteille de gaz jusqu'à la torche.

Dans le cas de connexions insuffisamment étanches dans l'appareil, l'air peut s'y introduire ce qui peut influencer négativement la qualité de la soudure. L'addition de 2 à 5% d'hydrogène augmente la tension d'arc et donc la quantité de chaleur.

Le mélange gazeux a donc une action réductrice; on obtient ainsi une surface plus pure du cordon de soudure et de la tôle.

L'hydrogène se dissocie au contact de l'arc ce qui provoque une diminution de la chaleur dans l'arc.

Ce refroidissement provoque une striction de l'arc qui donne un bain de fusion plus chaud. Un mélange argon-hydrogène peut être utilisé pour le soudage mécanisé. Dans le cas de matériaux sensibles à l'hydrogène tels que les aciers duplex et les aciers inoxydables martensitiques, des mélanges argon/hélium peuvent être utilisés, par ex. dans une proportion 75/25 ou 70/30. Lorsqu'on utilise 100% d'hélium (He), l'arc s'amorce assez difficilement. Le soudage manuel avec 100% d'hélium est impossible et n'est donc pas appliqué. Comme la pression de l'arc est élevée, le bain de fusion

est repoussé. Durant le soudage, la pointe de l'électrode se trouvera au niveau de la tôle de façon à obtenir une pénétration correcte. On peut cependant appliquer un soudage mécanisé avec 100% He comme gaz de protection (soudage en courant continu, électrode négative); dans ce cas, la position du pistolet (distance par rapport à la pièce) doit être réglée par un servomoteur. Quand un joint d'angle doit être soudé où l'angle est trop petit pour que la torche ait accès au joint, on peut faire sortir l'électrode plus que d'habitude. Il faut alors monter une lentille de gaz dans le pistolet afin d'obtenir un flux de gaz laminaire et protéger ainsi le bain de fusion d'une façon optimale.

### BACKINGGAZ

Afin d'éviter que le bain de fusion ne s'oxyde à l'envers au contact de l'air (avec pour conséquence une diminution de la résistance à la corrosion), il faut appliquer une protection gazeuse de ce côté également. Plusieurs gaz ou mélanges gazeux entrent en ligne sous la dénomination de 'backinggaz':

- mélanges azote-hydrogène

- mélanges argon-hydrogène
- argon

La teneur en hydrogène peut varier de 5 à 20%. Lors du soudage des aciers inoxydables où la reprise en hydrogène est inadmissible (aciers duplex ou aciers inoxydables martensitiques) l'utilisation de mélanges gazeux à teneur en hydrogène doit être prosaïque.

Dans le cas de teneur en hydrogène supérieure à 10%, en raison de considérations de sécurité quant au risque d'explosion, il est nécessaire de laisser brûler le gaz qui sort. Lors de l'utilisation de backinggaz riche en argon, il faut tenir compte que l'argon est plus lourd que l'air. Dans le cas du soudage d'un tube horizontal, il existe le risque que, dans une position à '12 h', le backinggaz n'ait pas suffisamment refoulé l'air présent. L'argon et l'argon/hydrogène doivent être introduits par dessous et sortir par au-dessus (figure 4 – au-dessus).

Par contre, l'azote ou des mélanges azote/hydrogène qui sont plus légers que l'air, doivent être introduits par au-dessus et sortir par dessous (figure 4 – en dessous). L'argon pur a l'action la moins protectrice. L'évacuation de tout

l'air d'un système n'est pas simple.

En règle générale, on admet que, quand on veut rincer un volume V, il faut un volume quatre fois plus important de backinggaz. Prenons, par exemple, un volume de 15 litres, il faut donc rincer avec  $4 \times 15$  litres = 60 litres. Le gaz doit passer de façon laminaire: dans le cas de grands débits, des turbulences apparaissent ce qui ne permet pas d'éliminer tout l'oxygène. De façon optimale, il faudrait un débit de 2 à 4 litres/min.

Dans l'exemple, si on opte pour un débit de 3 litres/min, il faut donc rincer durant  $60 : 3$  litre/min = 20 minutes pour arriver à 20 ppm d'oxygène restant. Il est conseillé de mesurer la teneur en oxygène du gaz sortant lors d'applications critiques.

Voir également la figure 5 pour les couleurs de démarrage en fonction de la teneur en oxygène. En règle générale, on peut dire qu'il vaut mieux évacuer l'air présent plus longtemps à une faible vitesse d'écoulement plutôt que d'essayer de réduire le temps avec une vitesse d'écoulement élevée.

# Extrait – Fiche d'information DT4 2/2

## « le soudage des aciers inoxydables – procédé TIG »

### FORMES DE JOINT

Le Tableau 2 reprend les préparations de joint bout à bout pour le soudage TIG. La forme de joint n° 6 est spécifiquement destinée au soudage de tubes d'un seul côté. Le soudage TIG est souvent utilisé uniquement pour déposer la passe de fond. Bien qu'on puisse déposer la passe de fond sans métal d'apport, il est recommandé d'ajouter un peu de métal d'apport. Ceci limite le risque de formation de petites fissures à chaud dans la passe de fond, lors du soudage d'aciers duplex, l'utilisation d'un métal d'apport est nécessaire afin d'obtenir la microstructure souhaitée pour la soudure.

### PARAMETRES DE SOUDAGE

Le Tableau 3 reprend les valeurs pour le diamètre de l'électrode, le diamètre de la buse et l'intensité de courant en polarité directe (DCEN).

### PREPARATION DU JOINT

Le choix de la préparation du joint dépend du procédé de soudage, de la position de soudage, de l'épaisseur du matériau et du type de matériau à souder (acier, acier inoxydable, Al,...). La figure 6 donne un exemple d'une préparation de joint avec mention de la terminologie usuelle.

Le chanfrein sert à assurer une bonne accessibilité afin d'obtenir une soudure sans défauts, le méplat assure un support au bain de fusion. Sans méplat, on a une racine plus large.

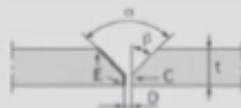
On obtient un méplat par traitement mécanique ou coupage (par ex. laser, plasma, jet d'eau...). Après la préparation du joint, il est recommandé d'éliminer tous les oxydes thermiques provenant de la préparation.

Tant le joint que la surface de la tôle à proximité de la soudure doivent être pués et propres avant de souder. Le tableau 4 donne la préparation du joint pour divers procédés de soudage et épaisseurs de tôle. □

N°	EPAISS. DU MATERIAU	DENOMINATION	SCHEMA DE LA FORME DU JOINT	REMARQUE S
1	<1	Joint à bords relevés (d'un seul côté)		<ul style="list-style-type: none"> <li>Soudage sans métal d'apport, avec backinggaz</li> <li>Pour tubes et tôles en toutes positions</li> </ul>
2	<2	Joint en T (d'un seul côté)		<ul style="list-style-type: none"> <li>Soudage avec ou sans métal d'apport, avec backinggaz</li> <li>Pour tubes et tôles en toutes positions</li> </ul>
3	<10	Joint en V (d'un seul côté et des deux côtés)		<ul style="list-style-type: none"> <li>Pour une soudure d'un seul côté, utilisation d'un backinggaz nécessaire</li> <li>Terminer la soudure avec des électrodes enrobées ou le MIG/MAG</li> </ul>
4	<3 (*) (**)	Joint en I (des deux côtés)		Si nécessaire, meuler le côté envers avant de souder à l'envers
5	4-6	Joint en tulipe (d'un seul côté)		<ul style="list-style-type: none"> <li>La passe de fond peut être déposée en manuel ou en automatique</li> <li>Backinggaz exigé</li> </ul>
6	>13	Joint en U (d'un seul côté)		<ul style="list-style-type: none"> <li>De préférence, déposer la passe de fond avec un métal d'apport, backinggaz exigé</li> <li>Mesure 3° fonction du diamètre de la buse</li> <li>Eventuellement, terminer la soudure avec des électrodes enrobées</li> </ul>

\* Le soudage automatique TIG avec ou sans fil d'apport permet une plus forte épaisseur de matériau  
 \*\* Le soudage des deux côtés en simultané jusqu'à une épaisseur de 6 mm environ est possible dans les positions verticale et horizontale-verticale. Il faut cependant tenir compte du fait que la résistance à la corrosion peut diminuer au contraire de l'apport polaritique qui augmente

### DESSIN DE PRINCIPE D'UNE PREPARATION DE JOINT



$\alpha$  = angle d'ouverture  
 $\beta$  = angle de chanfrein  
 C = méplat  
 D = écartement entre méplats  
 E = surface à souder  
 R = rayon (uniquement pour les joints en U et en J – voir tableau 4)  
 t = épaisseur de la tôle

### BIBLIOGRAPHIE

- Welding Handbook – Gas Tungsten Arc Welding
- Voorlichtingsbladen voor de Metaalindustrie (VM42) – lassen van roest- en hittevast staal
- The Avesta Welding Manual – Practice and products for stainless steel welding

### TABLEAU 3: VALEURS RECOMMANDEES

DIAMETRE ELECTRODE (MM)	BUSE – DIAMETRE INTERIEUR (MM)	INTENSITE DE COURANT (DCEN) (A)
0,25	6,4	tot 15
0,50	6,4	5-20
1,00	9,5	15-60
1,6	9,5	70-150
2,4	12,7	150-250
3,2	12,7	250-400
4,0	12,7	400-500

## Extrait de « comment rédiger un DMOS » DT5 1/3 (guidée par la norme NF EN ISO 15609)

1) Les paramètres et indications du DMOS :

1-1) Valeurs à titre d'information :

- **Lieu** : Il s'agit du centre où est réalisé la qualification du mode opératoire de soudage.
- **Référence** : C'est un numéro de référence fourni par l'entreprise.
- **Numéro de QMOS**
- **Constructeur/Fabricant** : Entreprise cliente de la QMOS
- **Nom du soudeur**.
- **Examineur ou organisme d'inspection** : Personne qui validera la QMOS (APAVE, VERITAS, SOCOTEC...)

1-2) Valeurs et paramètres concernant les matériaux et la préparation :

- **Mode de préparation du joint soudé et de nettoyage du joint soudé** : pour la préparation, on utilisera le meulage, le chanfreinage (avec chanfreineuse portative par exemple), le cisailage, l'usinage, le fraisage les procédés de découpe thermique (plasma, oxycoupage, laser) ou non-thermique (jet d'eau, poinçonnage grignotage).
- **Mode de nettoyage du joint soudé** : on peut utiliser le meulage, le brossage, le ponçage, le sablage, le grenailage, le dégraissage ou le décapage chimique.
- **Spécifications du matériau de base** (exemples courants) :
  - **W01** : Aciers non alliés à basse teneur en carbone, aciers faiblement alliés et aciers à grains fins de limite à l'élasticité  $Re$  inférieure ou égale à 355 N/mm<sup>2</sup>.
  - **W02** : Aciers résistant au fluage au Chrome et Molybdène (Cr/Mo) et Chrome, Molybdène et Vanadium (Cr/Mo/V).
  - **W03** : Aciers de construction à grains fins, normalisés, trempés et revenus et aciers à traitements thermomécaniques, de limite d'élasticité  $Re > 355$  N/mm<sup>2</sup> ainsi que les aciers aux conditions de soudage similaires contenant 2 à 5 % de Nickel.
  - **W04** : Aciers ferritiques ou martensitiques contenant 12 à 20 % de Chrome.
  - **W11** : Aciers inoxydables austéno-ferritiques et aciers inoxydables austénitiques (Cr/Ni) Définitions selon la norme EN 287-1-A1.

1-3) Valeurs et paramètres concernant les matériaux et la préparation (suite) :

- **Épaisseur du matériau de base** : épaisseur en mm du matériau à souder.
- **Diamètre du matériau de base** : pour une pièce circulaire, rond ou tube, on indique le diamètre en mm à souder.

## Extrait de « comment rédiger un DMOS » DT5 2/3 (guidée par la norme NF EN ISO 15609)

1-4) Informations relatives au joint soudé :

- **Procédé de soudage** : Numéro du procédé de soudage utilisé (ex : 135, 111, 141...).
- **Position de soudage de l'assemblage** :

a) Soudures bout à bout (tôles)		b) Soudures d'angles (tôles):		c) Soudures bout à bout (tubes)		d) Soudures en angle(tôles)	
	<b>PA Plat</b>		<b>PA Gouttière</b>		<b>PA (tube en rotation, axe horizontal, soudage à plat)</b>		<b>PB (tube en rotation, axe horizontal, soudage à plat)</b>
	<b>PC Corniche</b>		<b>PB Angle à plat</b>		<b>PC (tube fixe, axe vertical, soudage en corniche)</b>		<b>PF (tube fixe, axe horizontal, soudage vertical montant)</b>
	<b>PF Verticale en montant</b>		<b>PF Verticale en montant</b>		<b>PF (tube fixe, axe horizontal, soudage vertical montant)</b>		<b>PG (tube fixe, axe horizontal, soudage vertical descendant)</b>
	<b>PG Verticale en descendant</b>		<b>PG Verticale en descendant</b>		<b>PG (tube fixe, axe horizontal, soudage vertical descendant)</b>		<b>PD (tube fixe, axe vertical, soudage angle au plafond)</b>
	<b>PE Plafond</b>		<b>PD angle au Plafond</b>		<b>H-L045 (tube fixe, axe incliné, soudage vertical montant)</b>		<b>PB (tube fixe, axe vertical, soudage angle à plat)</b>

- **Type du joint soudé** :

Il s'agit d'une suite de symbolisations qui déterminent avec précision, le type de joint réalisé. Les variables suivantes seront utilisées :

### Codifications pour le type d'assemblage de soudage :

- **P** : Soudage sur tôle(Plate) ;
- **T** : Soudage sur tube ;
- **BW** : Soudage bout à bout ;
- **FW** : Soudage en angle.

### Codifications pour le mode d'assemblage :

- **ss** : Soudage d'un seul coté ;
- **bs** : Soudage de deux cotés ;
- **ng** : Sans gougeage par meulage ;
- **gg** : Avec gougeage par meulage d'apport utilisé ;
- **nb** : Soudage sans support envers ;
- **mb** : Soudage avec support envers.

- **Détail de gougeage ou support envers** : À indiquer si existant.

- **Extrait de « comment rédiger un DMOS » DT5 3/3**
  - **(guidée par la norme NF EN ISO 15609)**

1-5) Informations relatives au gaz, métal d'apport et électrodes :

**Métal d'apport** : Suivant codification, indiquer le métal

- **Marque et type du métal d'apport.**
- **Reprise spéciale ou séchage** : selon besoin, à indiquer.
- **Gaz de protection ou flux** : Par exemple Ar+CO<sup>2</sup> (envers et/ou endroit).
- **Débit de gaz de protection**: Indiquer en litres/min les débits pour la soudure envers et/ou endroit.
- **Dimension et type d'électrode non fusible (TIG) – Angle de la torche.**

1-6) Informations relatives au préchauffage, traitement thermique:

- **Température de préchauffage** : A indiquer si nécessaire.
- **Traitement thermique après soudage** : A indiquer si nécessaire.
- **Temps, température et méthode** : selon besoin, à indiquer.
- **Vitesse de montée en température et de refroidissement** : selon besoin.
- **Température entre passes** : selon besoin.

1-7) Informations particulières au TIG et PLASMA :

- **Fréquence, temporisation.**
- **Détail du soudage pulsé.**
- **Distance de maintien** : hauteur de l'arc.
- **Détails du plasma** : réglages supplémentaires dans le cas du soudage plasma.

1-8) Autres informations :

Par exemple, informations sur un éventuel balayage pendant le soudage. Ou des informations concernant d'éventuels contrôles de soudures.

1-9) Schémas du DMOS

**1-9-1) Dispositions des passes** : ce schéma représentera facilement le nombre de passes, le numéro de la passe, l'empilement, éventuellement la dimension de la pièce soudée et la gorge de la soudure.

**1-9-2) Schéma de la préparation avant soudage** : ce schéma représentera la préparation avant soudure. On notera les dimensions importantes tolérancées. Il peut s'agir des épaisseurs des éléments à souder, jeu de soudage, talon, angle du chanfrein.

# EXTRAITS DU CODAP DIDACTIQUE 2010 DT6 1/2

## Division 1 Partie G - Généralités

Tableau GA5.4-2 - Contraintes nominales de calcul et coefficients de soudure.

	Catégorie de construction			
	A	B1	B2	C
Contrainte nominale de calcul : $f$	$f_1$	$f_1$	$f_1$	$f_2$
Coefficient de soudure : $z$	$z = 1$	$z = 0,85$	$z = 0,85$	$z = 0,7$

Note : La différence entre B1 et B2 se situe au niveau de l'étendue des contrôles (voir page 168).

Tableau GA5.6.1-1 - Contrainte nominale de calcul pour une situation normale de service sans fluage du matériau.

Tôles, composants forgés, tubes et composants tubulaires

Matériau	Contrainte nominale de calcul $f$												
	$f_1$	$f_2$											
Aciers au carbone et carbone-manganèse, aciers faiblement alliés et aciers alliés (M2) Aciers inoxydables austénitiques (M3) avec $A < 30\%$	$\text{MIN}\left\{\left(\frac{R_{p0,2}^t}{1,5}\right)\left(\frac{R_m^t}{2,4}\right)\right\}$	$\text{MIN}\left\{\left(\frac{R_{p0,2}^t}{1,6}\right)\left(\frac{R_m^t}{2,7}\right)\right\}$											
Aciers inoxydables austénitiques (M3)	$\frac{R_{p1,0}^t}{1,5}$	$\frac{R_{p1,0}^t}{1,6}$											
	<p style="text-align: center;">Si seule <math>R_{p1,0}^t</math> est spécifiée :</p> <table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td><math>\frac{R_{p1,0}^t}{1,5}</math></td> <td><math>\frac{R_{p1,0}^t}{1,6}</math></td> </tr> </table> <hr/> <p style="text-align: center;">Si <math>R_{p1,0}^t</math> et <math>R_m^t</math> sont spécifiées :</p> <table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td><math>\frac{R_{p1,0}^t}{1,5}</math></td> <td><math>\frac{R_{p1,0}^t}{1,6}</math></td> </tr> <tr> <td>ou (Note 1)</td> <td>ou (Note 1)</td> </tr> <tr> <td><math>\text{MIN}\left\{\left(\frac{R_{p1,0}^t}{1,2}\right)\left(\frac{R_m^t}{3}\right)\right\}</math></td> <td><math>\text{MIN}\left\{\left(\frac{R_{p1,0}^t}{1,3}\right)\left(\frac{R_m^t}{3,25}\right)\right\}</math></td> </tr> <tr> <td>(Note 2)</td> <td>(Note 2)</td> </tr> </table> <hr/> <p style="text-align: center;">Si seule <math>R_m^t</math> est spécifiée :</p> <table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td><math>\left(\frac{R_m^t}{3}\right)</math></td> <td><math>\left(\frac{R_m^t}{3,25}\right)</math></td> </tr> </table>		$\frac{R_{p1,0}^t}{1,5}$	$\frac{R_{p1,0}^t}{1,6}$	$\frac{R_{p1,0}^t}{1,5}$	$\frac{R_{p1,0}^t}{1,6}$	ou (Note 1)	ou (Note 1)	$\text{MIN}\left\{\left(\frac{R_{p1,0}^t}{1,2}\right)\left(\frac{R_m^t}{3}\right)\right\}$	$\text{MIN}\left\{\left(\frac{R_{p1,0}^t}{1,3}\right)\left(\frac{R_m^t}{3,25}\right)\right\}$	(Note 2)	(Note 2)	$\left(\frac{R_m^t}{3}\right)$
$\frac{R_{p1,0}^t}{1,5}$	$\frac{R_{p1,0}^t}{1,6}$												
$\frac{R_{p1,0}^t}{1,5}$	$\frac{R_{p1,0}^t}{1,6}$												
ou (Note 1)	ou (Note 1)												
$\text{MIN}\left\{\left(\frac{R_{p1,0}^t}{1,2}\right)\left(\frac{R_m^t}{3}\right)\right\}$	$\text{MIN}\left\{\left(\frac{R_{p1,0}^t}{1,3}\right)\left(\frac{R_m^t}{3,25}\right)\right\}$												
(Note 2)	(Note 2)												
$\left(\frac{R_m^t}{3}\right)$	$\left(\frac{R_m^t}{3,25}\right)$												
Aluminium et alliages d'aluminium (M13)	$\text{MIN}\left\{\left(\frac{R_{p0,2}^t}{1,5}\right)\left(\frac{R_m^t}{2,4}\right)\right\}$	$\text{MIN}\left\{\left(\frac{R_{p0,2}^t}{1,6}\right)\left(\frac{R_m^t}{2,7}\right)\right\}$											
Cuivre et alliages de cuivre (M15)	$\frac{R_m^t}{4}$	$\frac{R_m^t}{4,25}$											

Note 1 : Au choix du Fabricant.

Note 2 : L'utilisation de cette valeur de  $f$  peut conduire lors de l'essai de résistance à des déformations permanentes qui bien que parfaitement acceptables en ce qui concerne la résistance de l'appareil peuvent être indésirables en raison d'impératifs fonctionnels. Si tel est le cas, il est recommandé de retenir la première détermination de la contrainte nominale de calcul.

**EXTRAITS DU CODAP DIDACTIQUE 2010 DT6 2/2**  
**Division 1 Partie G - Généralités**

**Tableau GA5.6.1-3 - Contrainte nominale de calcul  
pour une situation exceptionnelle de service ou d'essai de résistance.**

**Tôles, composants forgés, tubes et composants tubulaires**

Matériau		Contrainte nominale de calcul $f$
Aciers au carbone et carbone-manganèse, aciers faiblement alliés et aciers alliés (M2) Aciers inoxydables austénitiques (M3) avec $A < 30 \%$		$0,95 \times R_{p0,2}^t$
	$30 \leq A < 35 \%$	$0,95 R_{p1,0}^t$
Aciers inoxydables austénitiques (M3)	$A \geq 35 \%$	Si seule $R_{p1,0}^t$ est spécifiée : $\frac{0,95 R_{p1,0}^t}{\text{-----}}$ Si $R_{p1,0}^t$ et $R_m^t$ sont spécifiées : $0,95 R_{p1,0}^t$ ou (Note 1) $\frac{R_m^t}{2} \text{ (Note 2)}$ $\text{-----}$ Si seule $R_m^t$ est spécifiée : $\frac{R_m^t}{2}$
Aluminium et alliages d'aluminium (M13)		$0,95 \times R_{p0,2}^t$
Cuivre et alliages de cuivre (M15)		$\frac{R_m^t}{3}$

Note 1 : Au choix du Fabricant.

Note 2 : L'utilisation de cette valeur de  $f$  peut conduire lors de l'essai de résistance à des déformations permanentes qui, bien que parfaitement acceptables en ce qui concerne la résistance de l'appareil, peuvent être indésirables en raison d'impératifs fonctionnels. Si tel est le cas, il est recommandé de retenir la première détermination de la contrainte nominale de calcul.

# EXTRAITS DU CODAP DIDACTIQUE 2010 DT7

## Division 1 Partie C – Conception et calculs

### Section C1 - Généralités

#### C1.9.2 - Épaisseur utile

L'épaisseur utile est la *plus faible* épaisseur réelle possible – ou épaisseur minimale – de l'élément après disparition de la surépaisseur de corrosion, hors sous-épaisseurs locales éventuellement autorisées (voir F1.5); c'est donc *l'épaisseur minimale réellement disponible* pour la résistance de l'élément.

Cette épaisseur utile est égale à :

$$e_u = e_n - c - c_1 - c_2 \quad (C1.9.2)$$

où :

$e_n$  = Épaisseur nominale de commande du produit brut mis en œuvre pour la réalisation d'un élément d'appareil

$c$  = Surépaisseur de corrosion définie en C1.9.3

# EXTRAITS DU CODAP DIDACTIQUE 2010 Division 1

## Partie C – Conception et calculs

### Section C2 – Règles de calcul des enveloppes cylindriques soumises à une pression intérieure

#### C2.1.4 - Règle de calcul

a) L'épaisseur minimale nécessaire de l'enveloppe cylindrique est donnée par l'une ou l'autre des formules :

$$e = \frac{P \cdot D_i}{2f \cdot z - P} \quad (C2.1.4.1)$$

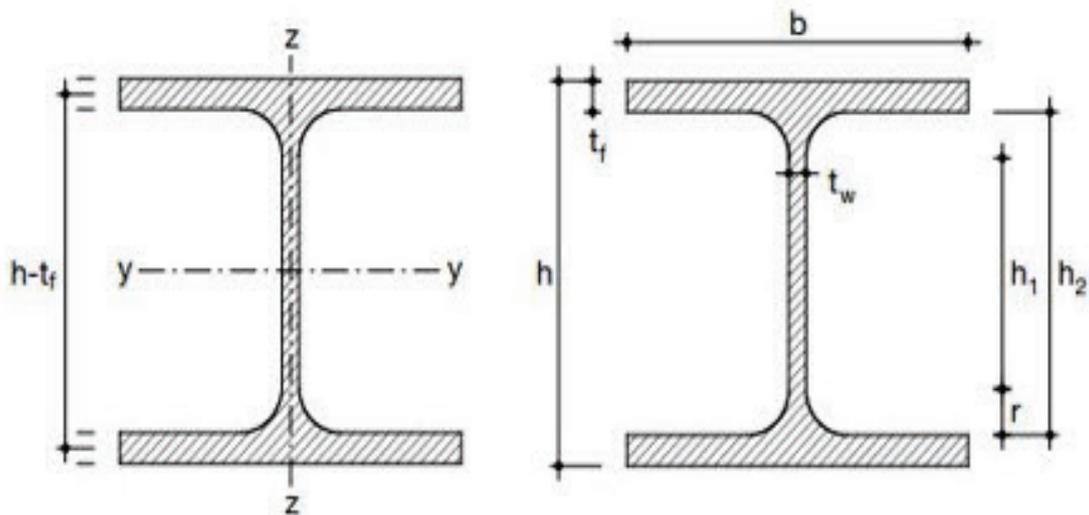
$$e = \frac{P \cdot D_m}{2f \cdot z} \quad (C2.1.4.2)$$

$$e = \frac{P \cdot D_e}{2f \cdot z + P} \quad (C2.1.4.3)$$

Table I.4- PROFILS HEA

DT8

Profil	Dimensions							Poids p (N/m)	Termes de section										
	h (mm)	b (mm)	t <sub>w</sub> (mm)	t <sub>f</sub> (mm)	r (mm)	d (mm)	u (mm)		Axe y-y				Axe z-z			I <sub>T</sub> (mm <sup>4</sup> )	I <sub>a</sub> (mm <sup>6</sup> )	S <sub>y</sub> (mm <sup>3</sup> )	
									A (mm <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> (mm <sup>4</sup> )	W <sub>y</sub> (mm <sup>3</sup> )	i <sub>y</sub> (mm)	I <sub>z</sub> (mm <sup>4</sup> )	W <sub>z</sub> (mm <sup>3</sup> )	i <sub>z</sub> (mm)				
HEA 100	96	100	5,0	8,0	12	56	561	164	21,2	349	73	40,6	134	27	25,1	4,83	2581	41,5	C
HEA 120	114	120	5,0	8,0	12	74	677	195	25,3	606	106	48,9	231	38	30,2	5,81	6472	59,7	C
HEA 140	133	140	5,5	8,5	12	92	794	242	31,4	1033	155	57,3	389	56	35,2	8,22	15060	86,7	C
HEA 160	152	160	6,0	9,0	15	104	906	298	38,8	1673	220	65,7	616	77	39,8	11,3	31410	123	C
HEA 180	171	180	6,0	9,5	15	122	1020	348	45,3	2510	294	74,5	925	103	45,2	14,7	60210	162	C
HEA 200	190	200	6,5	10,0	18	134	1140	415	53,8	3692	389	82,8	1336	134	49,8	19,2	108000	215	C
HEA 220	210	220	7,0	11,0	18	152	1260	495	64,3	5410	515	91,7	1955	178	55,1	28,0	193300	284	C
HEA 240	230	240	7,5	12,0	21	164	1370	592	76,8	7763	675	101	2769	231	60,0	39,4	328500	372	C
HEA 260	250	260	7,5	12,5	24	177	1480	669	86,8	10455	836	110	3668	282	65,0	47,8	516400	460	C
HEA 280	270	280	8,0	13,0	24	196	1600	749	97,3	13673	1010	119	4763	340	70,0	58,3	785400	556	C
HEA 300	290	300	8,5	14,0	27	208	1720	866	112,5	18263	1260	127	6310	421	74,9	77,7	1200000	692	C
HEA 320	310	300	9,0	15,5	27	225	1760	957	124,4	22928	1480	136	6985	466	74,9	105	1512000	814	C
HEA 340	330	300	9,5	16,5	27	243	1790	1030	133,5	27693	1680	144	7436	496	74,6	127	1824000	925	C
HEA 360	350	300	10,0	17,5	27	261	1830	1099	142,8	33090	1890	152	7887	526	74,3	152	2177000	1040	C
HEA 400	390	300	11,0	19,0	27	298	1910	1226	159,0	45069	2310	168	8564	571	73,4	197	2942000	1280	C
HEA 450	440	300	11,5	21,0	27	344	2010	1373	178,0	63722	2900	189	9465	631	72,9	265	4148000	1610	C
HEA 500	490	300	12,0	23,0	27	390	2110	1521	197,5	86975	3550	210	10367	691	72,4	347	5643000	1970	C
HEA 550	540	300	12,5	24,0	27	438	2210	1628	211,8	111932	4150	230	10819	721	71,5	398	7189000	2310	C
HEA 600	590	300	13,0	25,0	27	486	2310	178	226,5	141208	4790	250	11271	751	70,5	454	8978000	2680	C



# EXTRAITS DE LA NORME EUROCODE 3 DT9 1/2 (NF-EN-1993-1-1)

## 6.3 Valeurs de calcul

### 6.3.1 Valeurs de calcul des actions

(1) La valeur de calcul  $F_d$  d'une action  $F$  peut s'exprimer sous forme générale par :

$$F_d = \gamma_f F_{rep} \quad \dots (6.1a)$$

avec

$$F_{rep} = \psi F_k \quad \dots (6.1b)$$

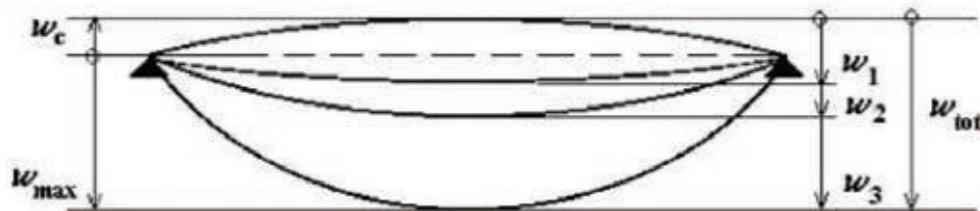
où :

$F_k$  est la valeur caractéristique de l'action ;

$F_{rep}$  est la valeur représentative appropriée de l'action ;

$\gamma_f$  est un coefficient partiel pour l'action, qui tient compte de la possibilité d'écarts défavorables des valeurs de l'action par rapport aux valeurs représentatives ;

$\psi$  est soit 1,00 soit  $\psi_0$ ,  $\psi_1$  ou  $\psi_2$ .



#### Légende

- $w_c$  Contreflèche dans l'élément structural non chargé
- $w_1$  Partie initiale de la flèche sous les charges permanentes de la combinaison d'actions correspondante selon les expressions (6.14a) à (6.16b).
- $w_2$  Partie à long terme de la flèche sous les charges permanentes.
- $w_3$  Partie additionnelle de la flèche due aux actions variables de la combinaison d'actions correspondante d'après les expressions (6.14a) à (6.16b).
- $w_{tot}$  Flèche totale, soit somme de  $w_1$ ,  $w_2$ ,  $w_3$ .
- $w_{max}$  Flèche résiduelle totale compte tenu de la contreflèche.

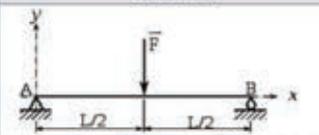
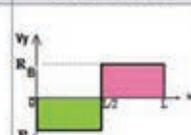
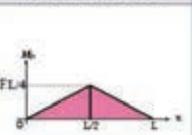
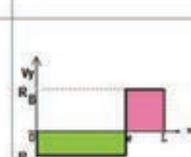
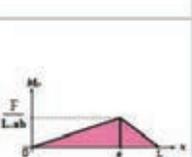
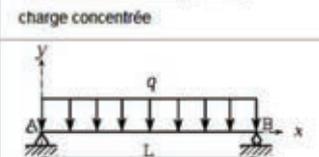
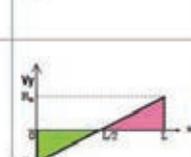
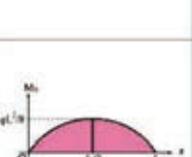
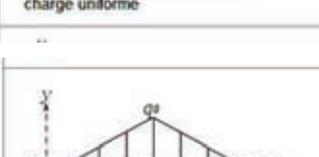
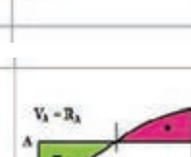
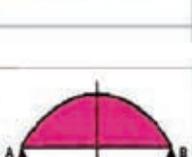
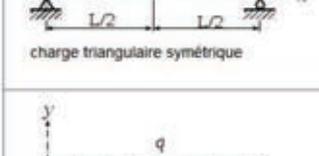
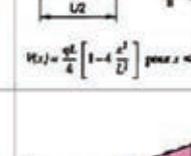
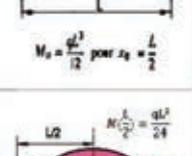
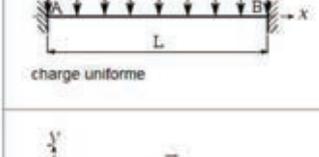
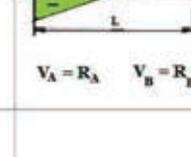
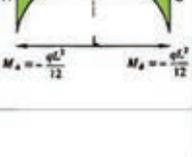
**Figure A1.1 — Définitions des flèches verticales**

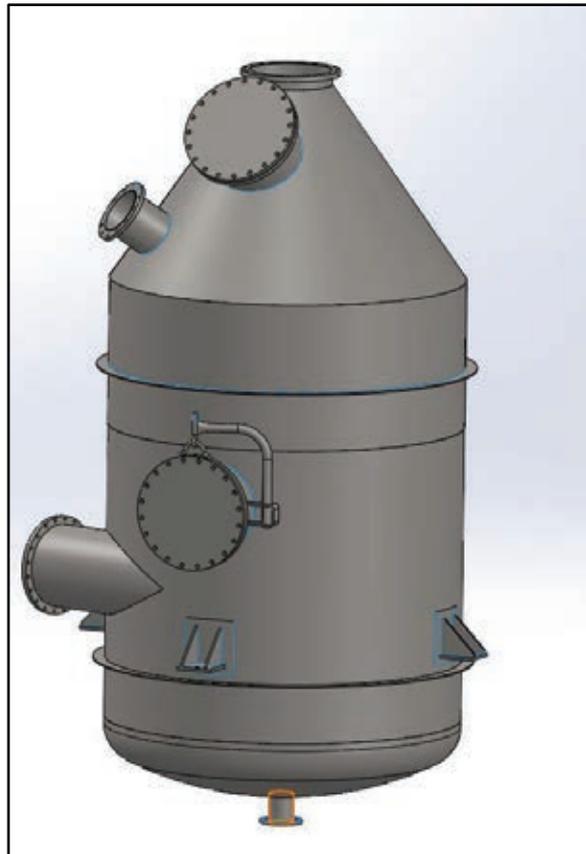
# EXTRAITS DE LA NORME EUROCODE 3 DT9 2/2 (NF-EN-1993-1-1)

**Tableau 1 — Valeurs limites maximales recommandées pour les flèches verticales**

Conditions	Limites (voir Figure 1)	
	$w_{max}$	$w_3$
Toitures en général <sup>a)</sup>	$L / 200$	$L / 250$
Toitures supportant fréquemment du personnel autre que le personnel d'entretien	$L / 200$	$L / 300$
Planchers en général <sup>b)</sup>	$L / 200$	$L / 300$
Planchers et toitures supportant des cloisons en plâtre ou en autres matériaux fragiles ou rigides	$L / 250$	$L / 350$
Planchers supportant des poteaux (à moins que la flèche ait été incluse dans l'analyse globale de l'état limite ultime) <sup>c)</sup>	$L / 400$	$L / 500$
Cas où $w_{max}$ peut nuire à l'aspect du bâtiment	$L / 250$	
Notes :		
a) On entend par toitures en général, les toitures non accessibles aux usagers. Ces toitures supportent, uniquement, le passage des personnes chargées de l'entretien.		
b) Pour les toitures à faible pente, il convient de considérer également l'alinéa ci-après relatif à l'accumulation d'eau de pluie.		
c) Les conditions d'utilisation de certaines machines peuvent nécessiter des flèches admissibles plus faibles que celles fixées par les règles générales ; ces limites sont alors à préciser dans les spécifications du marché.		
d) Cette limitation n'est à considérer que si la flèche de ces planchers a une influence sur le comportement de la structure supportée par ces poteaux. Dans le cas contraire, on se reportera aux limitations des deux cas précédents.		

# EXTRAIT DE FORMULAIRE DE RDM FLEXION DT10

Sollicitation	Actions aux liaisons	Effort tranchant	Moment fléchissant	Flèche à 1/2	Rotation aux appuis
 <p>charge concentrée au centre (flexion trois points)</p>	$R_A = R_B = \frac{F}{2}$			$\frac{FL^3}{48EI}$	$w_A = -\frac{FL^2}{16EI}$ $w_B = +\frac{FL^2}{16EI}$
 <p>charge concentrée</p>	$R_A = \frac{Fb}{L}$ $R_B = \frac{Fa}{L}$			$f_{l/2} = -\frac{Fb}{48EI}(3L^2 - 4b^2)$ $f_a = -\frac{Fa^2b^2}{3EI}$ $f_{max} = -\frac{Fb}{27EI}\sqrt{3(L^2 - b^2)^3}$	$w_A = -\frac{Fb}{6EI}(b^2 - L^2)$ $w_B = \frac{Fa}{6EI}(L^2 - a^2)$
 <p>charge uniforme</p>	$R_A = R_B = \frac{qL}{2}$			$f_{l/2} = -\frac{5qL^4}{384EI}$	$w_A = -\frac{qL^3}{24EI}$ $w_B = +\frac{qL^3}{24EI}$
 <p>charge triangulaire symétrique</p>	$R_A = R_B = \frac{qL}{4}$	 <p><math>w_{x=L/2} = \frac{qL^4}{4} \left[ 1 - 4 \frac{x^2}{L^2} \right]</math> pour <math>x = \frac{L}{2}</math></p>	 <p><math>w_x = \frac{qL^3}{12}</math> pour <math>x_0 = \frac{L}{2}</math></p>	$f_{max} = -\frac{qL^4}{120EI}$	$w_A = -\frac{5qL^3}{192EI}$ $w_B = +\frac{5qL^3}{192EI}$
 <p>charge uniforme</p>	$R_A = R_B = \frac{qL}{2}$	 <p><math>V_A = R_A</math>   <math>V_B = R_B</math></p>	 <p><math>M_{(L/2)} = \frac{qL^2}{24}</math>  <math>M_A = -\frac{qL^2}{12}</math>   <math>M_B = -\frac{qL^2}{12}</math></p>	$M_0 = \frac{qL^2}{24}$ $f_{max} = -\frac{qL^4}{384EI}$	$w_A = 0$ $w_B = 0$
 <p>charge concentrée au centre</p>	$R_A = R_B = \frac{F}{2}$ $M_A = -M_B = \frac{FL}{8}$	 <p><math>V_A = R_A</math>   <math>V_B = R_B</math></p>		$M_0 = \frac{FL}{8}$ $f_{max} = \frac{FL^3}{192EI}$	$w_A = 0$ $w_B = 0$



## DOCUMENTS RÉPONSES

DR1 à DR7









**NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE**

**DOCUMENT RÉPONSES : DR1**

**Partie 1**

16	2	Frette plat 80x10						X2CrNi18-9
15	1	Coude	168.3	2				X2CrNiMo17-12-2
14	1	Tube	168.3	2				X2CrNiMo17-12-2
13	1	Coude	168.3	2				X2CrNiMo17-12-2
12	2	Tube L= 100	168.3	2	150	10	01A	X2CrNiMo17-12-2
11	4	Chaise support						X2CrNi18-9
10	1	.....	323.9	3	300	10	01A	X2CrNiMo17-12-2
9	1	Gaine de liaison.....	559	4.78	600	10	01A	Alésée au $\phi$ 559
8	1	.....	559	8	600	10	01A	Alésée au $\phi$ 559
7	1	.....	168.3	2	150	10	01A	X2CrNiMo17-12-2
6	1	Trou d'homme	508	8	500	10	01A	BP+JOINT+BIs (ZN)
5	1	Trou d'homme à potence	610	8	600	10	01A	BP+JOINT+BIs (ZN)
4	1	Fond GRC	$\phi$ ext 2400	10				X2CrNiMo17-12-2
3	1	Virole inférieure	$\phi$ ext 2400	8				X2CrNiMo17-12-2
2	1	Virole supérieure	$\phi$ ext 2400	8				X2CrNiMo17-12-2
1	1	Cône supérieur		10				X2CrNiMo17-12-2
Rep	Nb	Désignation	Diam.	Ep.	DN	PN	Type	Observations
			Tube		Bride			

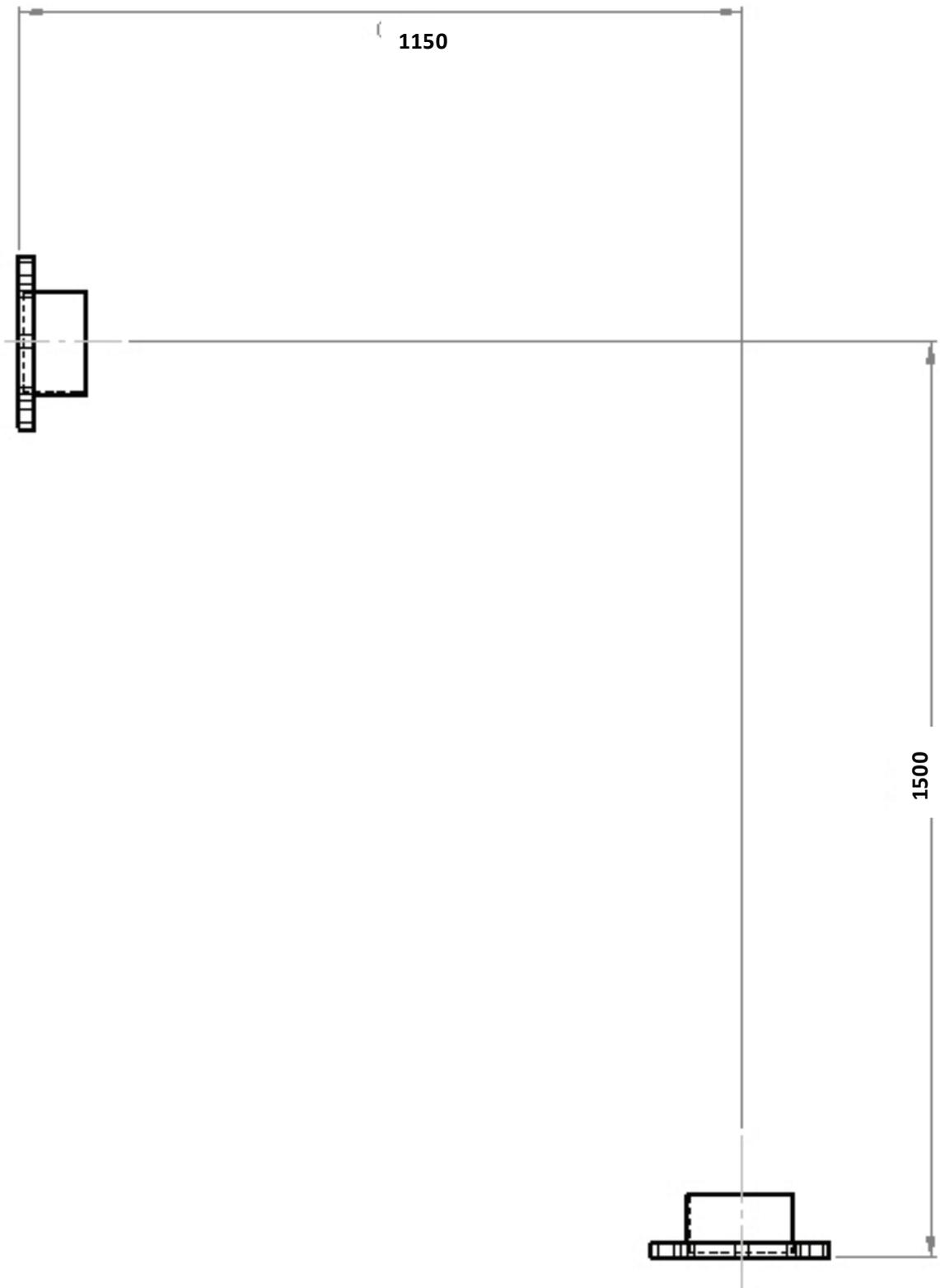
**DOCUMENT RÉPONSES : DR1**

**Partie 2**

Repères de tuyauterie	Désignation	Calcul	Choix d'un élément du commerce Références/angle/longueur
12		X	
13			
14			
15			

DOCUMENT RÉPONSES : DR2  
Partie 2

Epure de la ligne de tuyauterie  
Echelle 1:10



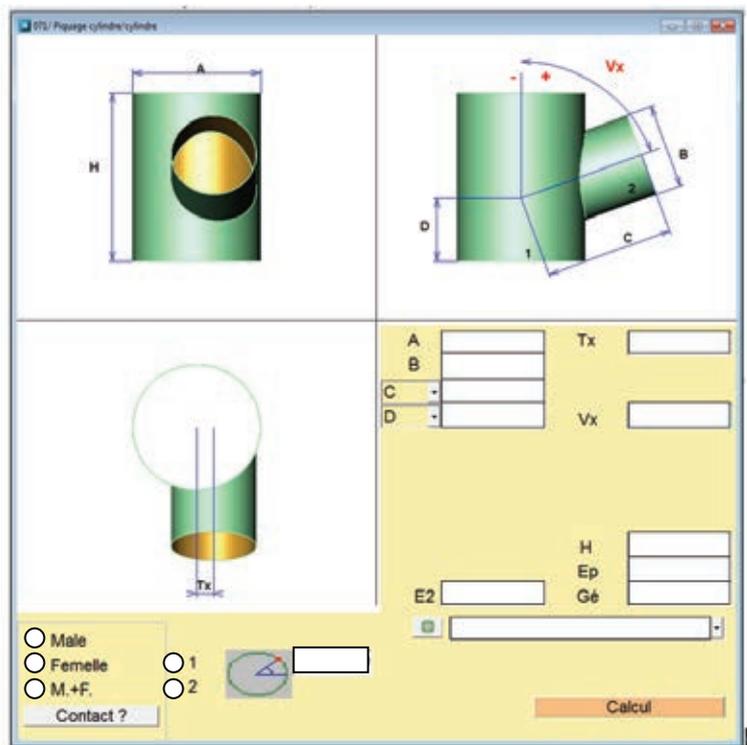
DR2



**NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE**

**DOCUMENT RÉPONSES : DR3**

**Partie 3**



Cote repérée	Détails des Calculs
A (cote A extérieure)	
B (cote B extérieure)	
C (cote C extérieure)	
D (cote D extérieure)	
Tx (cote horizontale entre les centres et les sections)	
Vx (angle Vx de la sortie dans la vue de gauche)	
E2 (épaisseur de la pièce 2)	
H (hauteur)	
Ep (épaisseur)	
Gé (nombre de génératrices)	
Contact (Indiquez mâle ou femelle ou M+F)	

**DOCUMENT RÉPONSES : DR4**  
**Partie 4**

Calcul du périmètre de la charnière mobile de trou d'homme Rep. 62.

Hypothèse de travail : périmètre de la charnière mobile de trou d'homme Rep. 62. : 1440 mm

**BANC DE DÉCOUPAGE PLASMA**

Vitesse de coupe	
Longueur de coupe	
Temps de coupe en CH pour la série	
Mise en place et réglage de la tôle	
Démarrage machine	
Chargement programme	
Montage des consommables	
Réglage du poste	
Évacuation	
Ébavurage des pièces	
TOTAL	

**DÉCOUPAGE PLASMA**

Coût horaire machine	
Coût main d'œuvre	
TOTAL	



NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

DOCUMENT RÉPONSES : DR5

Partie 5

Liste des composants du corps de séparateur

Rep	Nb	Type et dimensions de l'élément	Longueur/ Rectangle capable/ Référence	Format de tôle /Nb de tôles à commander
1	1	Cône supérieur Epaisseur :10 mm Hauteur : 1330 mm Diamètre inférieur : 2400 mm Diamètre supérieur : 559 mm	Cône en 2 parties Soit 2 flans capables 2553 mm x 2101 mm	



**DOCUMENT RÉPONSES : DR7**

**Partie 6**

**Descriptif de Mode Opératoire de Soudage Prévisionnel (DMOS-P)**

Lieu : Atelier SA LA CUVE INOX  
 N° DMOS-P du fabricant : AW 2019  
 N° PV-QMOS du fabricant : 305 V  
 Fabricant : SA LA CUVE INOX  
 Nom du soudeur : Monsieur X  
 Procédé de soudage :  
 Repères à assembler :  
 Type d'assemblage :

EXAMINATEUR OU ORGANISME D'INSPECTION : APAVE

Méthode de préparation et de nettoyage : Chanfreinage

Spécification du matériau de base :  
 Épaisseur du matériau de base :  
 Diamètre du matériau de base :  
 Position de soudage de l'assemblage :

Schéma de préparation	Disposition des passes

Paramètres de soudage : unités Ampère, Volt, cm/mn, kJ/cm

Passe	Procédé de soudage	Dimensions du matériau d'apport	Intensité (A)	Tension (V)	Type de courant polarité	Vitesse d'avance (cm/s)	Energie de soudage
1	141	1,6		12,5		0,75	
2	135	1,2	85	23	+ (pulsé)	***	***
3	135	1,2	120	24	+ (pulsé)	***	***

Désignation et marque du matériau d'apport		Autres informations par exemple :	
Etuvage ou séchage spécifique		Balayage largeur maximale de la passe :	
Gaz de protection / flux endroit		Oscillation : amplitude, fréquence, temps d'arrêt	
Envers		Soudage pulsé détails :	
Débit du gaz de protection endroit		Distance tube contact pièce :	
Envers		Détail du soudage plasma :	
Electrode de tungstène / dimension	WR 2 , Diamètre = 2 mm	Inclinaison de la torche	
Détail de gougeage ou du support envers			
Température de préchauffage			
Température entre passes			
Post chauffage			
Traitement thermique après soudage			
Temps température méthode			
Vitesses de montée en température et refroidissement			

Fabricant		Examineur ou organisme d'examen	
Nom date et signature		Nom date et signature	