

SESSION 2010

**CAPLP
CONCOURS EXTERNE
ET CAFEP**

**Section : GÉNIE INDUSTRIEL
Option : STRUCTURES MÉTALLIQUES**

SCIENCES ET TECHNIQUES INDUSTRIELLES

Durée : 6 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.

Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.

De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.

NB : Hormis l'en-tête détachable, la copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.

CUVE AGROALIMENTAIRE

MISE EN SITUATION :

Plusieurs exemplaires de la cuve, objet de l'étude, sont implantés dans une fromagerie industrielle. Ce type de cuve participe à la préparation de différents fromages au lait pasteurisé. L'entreprise désire modifier le temps consacré à cette préparation en augmentant la capacité de chaque cuve et en réduisant le temps de son chargement et de son nettoyage.

Pour cela il est envisagé :

- d'augmenter, de 1200 à 2000 mm, le diamètre extérieur de la cuve ;
- d'augmenter, de 80° à 110°, l'amplitude de l'angle d'ouverture du couvercle actionné par un vérin hydraulique ;
- de remplacer le nettoyage manuel de la cuve par un nettoyage automatique avec une solution aqueuse sous une pression de 8 bars et à une température de 140° C (ce nouveau dispositif impose la mise en place d'un piquage DN 500 sur la virole et l'allongement des pieds).

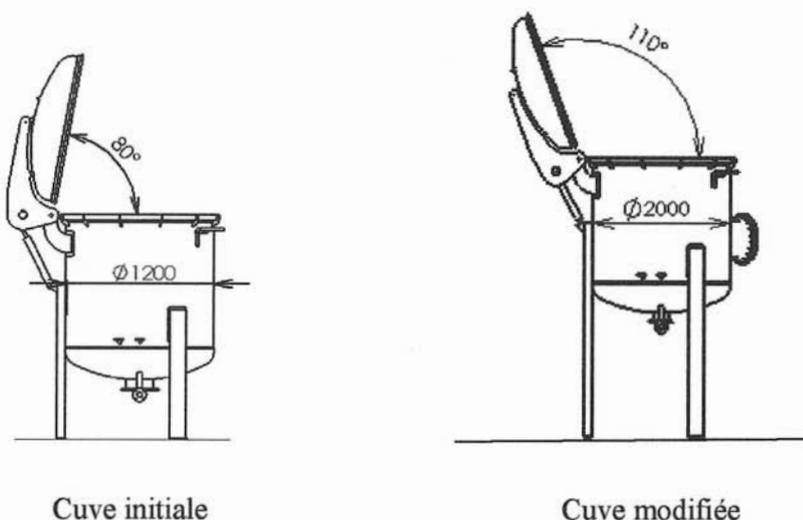


figure 1

Ces modifications demandent plusieurs vérifications, notamment :

1. Vérification de l'épaisseur de commande des tôles de la cuve
2. Vérification du vérin hydraulique
3. Vérification de l'attache du vérin
4. Vérification de la résistance de la charnière
5. Vérification de la résistance au flambage des pieds

HYPOTHESES (voir DT 1 et DR)

- La charnière est articulée en A par rapport à la virole.
- Le vérin est incliné de 8° par rapport à l'axe de cuve lorsque le couvercle est fermé.
- Le vérin est articulé en F par rapport à la charnière et en E par rapport à la virole.
- Le sol exerce une action ponctuelle sur les 3 pieds en R, S et T.
- Les liaisons sont sans frottement.
- Pour l'étude statique, on suppose le couvercle en début d'ouverture : décollement du couvercle. Cette situation est considérée comme étant la plus défavorable.
- Le rôle du contact ponctuel unilatéral au point B entre la charnière et le couvercle est d'éviter le basculement de ce dernier lors de la manœuvre d'ouverture. En position couvercle fermé, aucune action ne s'exerce au point B.

DONNEES

- Dimensions de la nouvelle cuve (virole et fond) : $\varnothing 2000 \times 10$, voir DT 1
- Accélération de la pesanteur : $g = 10 \text{ m/s}^2$

- Matériau utilisé pour l'ensemble de la structure : 1.4404 (X2CrNiMo 17-12-2)
à 20°C : $\sigma_e = R_{p0,2} = 220 \text{ MPa}$, $E = 205\,000 \text{ MPa}$
à température élevée : voir DT 2
- Pression de calcul dans la situation exceptionnelle du nettoyage : 8 bar
- Température de calcul dans la situation exceptionnelle du nettoyage : 140°C
- Contrainte nominale de calcul en situation exceptionnelle : $f = 0,95 R_{p1,0}^t$
($R_{p1,0}^t = R_{p1,0}$ à température de calcul)
- Epaisseur minimale nécessaire de la virole calculée : $e = 4,55 \text{ mm}$
- Epaisseur minimale nécessaire du fond GRC calculée : $e = 8,58 \text{ mm}$
- Surépaisseur de corrosion (virole et fond) : 0 mm
- Tolérance sur l'épaisseur des tôles : classe A, voir DT 3
- L'épaisseur minimale garantie du fond : 80% de l'épaisseur nominale de commande e_n
- Réduction d'épaisseur de la virole due au roulage : 0,5 mm

- Poids du couvercle $\|\vec{C}\| = 4000 \text{ N}$, appliqué en C. voir DT 5
- Poids de l'ensemble charnière $\|\vec{P}\| = 1250 \text{ N}$, appliqué en Ga.
- \vec{F} : action du vérin sur la charnière

- Cordons de soudure attache/pied (voir DT 6) : $f_u = 460 \text{ MPa}$; $\gamma_{MW} = 1,3$; $\beta_w = 0,85$;
gorge 4 mm ; longueur utile $l_u = 130 \text{ mm}$ pour un cordon horizontal et $l_u = 120 \text{ mm}$
pour un cordon vertical.

- Longueur de flambement des pieds $L_{KX} = L_{KY} = 1820 \text{ mm}$.

TRAVAIL DEMANDE

1 Vérification de l'épaisseur de commande des tôles de la cuve

- 1-1 **Déterminer** la contrainte nominale de calcul en situation exceptionnelle f .
- 1-2 **Déterminer** l'épaisseur nominale de commande de la virole en_v.
Remarque : les épaisseurs nominales de commande se calculent dans les cas les plus défavorables de résistance en fin de vie des appareils.
- 1-3 **Conclure** sur l'épaisseur choisie.
- 1-4 **Déterminer** l'épaisseur nominale de commande du fond en_f.
- 1-5 **Conclure** sur l'épaisseur choisie.

2 Vérification du vérin hydraulique

La modification envisagée nécessite une ouverture du couvercle à 110° par rapport à la position fermée.

Dans un premier temps, on choisit de conserver le vérin hydraulique d'origine, soit le modèle référencé 705/6 (voir DT 4).

Sur le document DR, pour tracer l'ensemble charnière en position ouverte (couvercle à 110°):

- 2-1 **Tracer** la nouvelle position du point F (appelée F_1) et **déterminer** la longueur EF_1 .
- 2-2 **Déterminer** la course utile du vérin.
- 2-3 **Conclure** sur le choix du vérin modèle 705/6.

On décide d'utiliser un autre vérin : le modèle 705/7.

Une recommandation d'utilisation précise que le vérin ne doit en aucun cas servir de butée mécanique (réserve de 10mm).

Le point d'attache du vérin sur la virole peut glisser le long du pied parallèlement à l'axe de la cuve.

- 2-4 **Tracer** la nouvelle position du point E (appelée E_1) lorsque le couvercle est ouvert à 110° , la tige du vérin étant rentrée au maximum. **Déterminer** la longueur EE_1 .

2-5 **Vérifier** la course utile de ce nouveau vérin.

2-6 **Conclure** sur le choix du vérin modèle 705/7.

Le vérin étant choisi, nous allons déterminer sa pression d'alimentation, en début d'ouverture et sans contact en B (*voir DT 5*).

2-7 **Déterminer** par le calcul les actions nécessaires en A et F.

2-8 **Calculer** la pression d'alimentation nécessaire du vérin en utilisant un taux de charge de 0,7.

2-9 **Déterminer** à l'aide du graphique (*Voir DT4*) l'action maximale en F sachant que la pression d'alimentation maximale fournie par le groupe hydraulique est de 180 bar.

3 Vérification de l'attache du vérin

Au point E, la liaison du vérin avec le pied de la cuve se fait à l'aide d'une pièce usinée appelée attache (*voir DT 6*) assemblée à un des trois pieds par soudure. La simulation numérique donnant la répartition des contraintes au sein du matériau de cette attache soumise à la charge maximum est fournie sur le document *DT7*.

Cette charge maximum résulte d'un effort pondéré, appliqué en E : $\|\vec{E}\| = 50\,000\text{ N}$.

3-1 **Analyser** les résultats de *DT7* et **conclure**.

Proposer une solution constructive si nécessaire.

Pour l'assemblage soudé sur le pied, les éléments de réduction du torseur des actions de l'attache/pied s'écrit au point G :

$$\left\{ \tau_{attache \rightarrow pied} \right\}_G = \begin{Bmatrix} N & Mx \\ Vy & My \\ Vz & Mz \end{Bmatrix}_{(x,y,z)}$$

Pour notre étude, on considère que $Vy = 0$, $Mx = 0$ et $Mz = 0$

Pour simplifier les calculs, on admet que :

- N se répartit uniformément entre tous les cordons.
- Vz est uniquement supporté par les cordons verticaux.
- My est uniquement supporté par les cordons horizontaux

On limite l'étude aux cordons horizontaux. (Voir DT6)

Pour chacun de ces cordons :

- 3-2 **Déterminer** l'effort $\vec{S1}$ qui participe à l'équilibre du moment M_y .
- 3-3 **Déterminer** l'effort $\vec{N1}$ qui participe à l'équilibre de l'effort normal N .
- 3-4 **Préciser** l'effort dans le cordon le plus sollicité.
- 3-5 **Vérifier** ce cordon en utilisant l'extrait de l'Eurocode 3 (voir DT 8).

Indépendamment des résultats aux questions précédentes, on prendra pour ce calcul un effort dans le cordon égal à 40 000 N

4 Vérification de la résistance de la charnière

Cette étude vise à valider la résistance de la charnière permettant d'ouvrir le couvercle.

Pour simplifier les calculs, la charnière est modélisée par une poutre droite, de section variable, dont le poids est négligé (voir figure 2).

Hypothèses : les contraintes de cisaillement sont négligées.

\vec{P} est le poids du couvercle.

$S(x)$ est une section droite de la poutre à une abscisse x .

$h(x)$ est la hauteur de la section droite à une abscisse x .

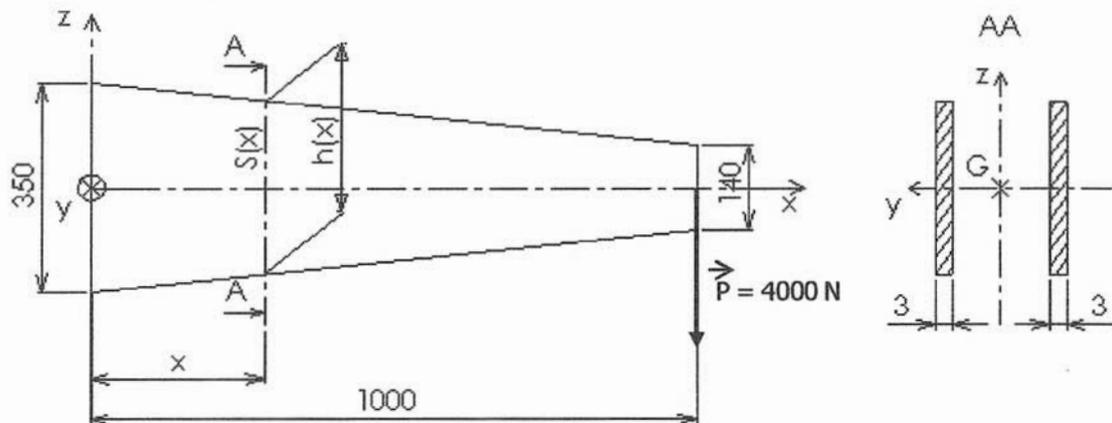


figure 2

- 4-1 **Déterminer** la hauteur $h(x)$, pour une section $S(x)$ d'abscisse x .
- 4-2 **Calculer** le moment quadratique par rapport à \vec{Gy} de la section $S(x)$ en fonction de x .

4-3 **Déterminer** $\frac{I_{Gy}}{v}$, valeur du module de flexion par rapport à \vec{Gy} en fonction de x.

4-4 **Donner** l'expression de la norme du moment fléchissant dans la section S(x).

4-5 **Donner** l'expression de la norme de la contrainte normale de flexion dans la section S(x).

4-6 **Déterminer** la position de la contrainte normale maximale de flexion et la **calculer**.

4-7 **Vérifier** la valeur de la contrainte normale maximale de flexion et sa position, en utilisant le traitement informatique *voir DT9*.

5 Vérification de la résistance au flambage des pieds

Dans ce but on isole l'ensemble cuve (*voir schématisation DT 10 et le tableau des caractéristiques ci-dessous*).

CARACTERISTIQUES (CdG = CENTRE DE GRAVITE)	
VIROLE V	
CdG	Gv
φ EXT	2000 MM
POIDS	5000 N
FOND D	
CdG	Gf
ELEVATION	1800 MM
POIDS	4000 N
COUVERCLE C	
CdG	Gc
ELEVATION	4250 MM
POIDS	4000 N
CHARNIERE A	
CdG	Ga
ELEVATION	4458 MM
POIDS	1250 N
PIQUAGE B	
CdG	Gb
ELEVATION	2800 MM
POIDS	2700 N
PIEDS R, S, T	
φ IMPLANTATION	2000 MM
POIDS	NEGLIGES

5-1 **Calculer** les coordonnées $\vec{OGa'}$ et $\vec{OGc'}$.

Ga' et Gc' étant les positions de Ga et Gc lorsque le couvercle est ouvert (110°).

5-2 **Ecrire** les torseurs associés aux actions mécaniques aux points Ga' et Gc' .

5-3 **Ecrire** les torseurs des actions transmissibles par les liaisons sol/pied en R, S et T.

5-4 **Calculer** au point O, les torseurs appliqués en Gb et T.

5-5 **Appliquer** le Principe Fondamental de la Statique en O et **résoudre** les équations qui en découlent.

On donne les torseurs suivants, déplacés en O :

$$\left\{ \tau_{P \text{ charnière}} \right\} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -2158750 \\ -1250 & 0 \end{Bmatrix}_{(x,y,z)} \quad \left\{ \tau_{P \text{ virole}} \right\} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -5000 & 0 \end{Bmatrix}_{(x,y,z)}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \tau_{P \text{ couvercle}} \\ \phantom{\tau_{P \text{ couvercle}}} \\ \phantom{\tau_{P \text{ couvercle}}} \end{array} \right\}_o = \left\{ \begin{array}{cc} 0 & 0 \\ 0 & -7196000 \\ -4000 & 0 \end{array} \right\}_{(x,y,z)}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \tau_{P \text{ fond}} \\ \phantom{\tau_{P \text{ fond}}} \\ \phantom{\tau_{P \text{ fond}}} \end{array} \right\}_o = \left\{ \begin{array}{cc} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -4000 & 0 \end{array} \right\}_{(x,y,z)}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \tau_{\text{soll piedS}} \\ \phantom{\tau_{\text{soll piedS}}} \\ \phantom{\tau_{\text{soll piedS}}} \end{array} \right\}_o = \left\{ \begin{array}{cc} 0 & 866 \text{ ZS} \\ 0 & -500 \text{ ZS} \\ \text{ZS} & 0 \end{array} \right\}_{(x,y,z)}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \tau_{\text{soll piedR}} \\ \phantom{\tau_{\text{soll piedR}}} \\ \phantom{\tau_{\text{soll piedR}}} \end{array} \right\}_o = \left\{ \begin{array}{cc} 0 & 0 \\ 0 & 1000 \text{ ZR} \\ \text{ZR} & 0 \end{array} \right\}_{(x,y,z)}$$

Les résultantes des forces sont exprimées en N
Les moments résultants sont exprimés en N.mm

5-6 **Préciser** quel est le pied le plus sollicité et quelle est sa charge.

5-7 **Vérifier** ce pied au flambement. (voir DT 7 et DT 11)

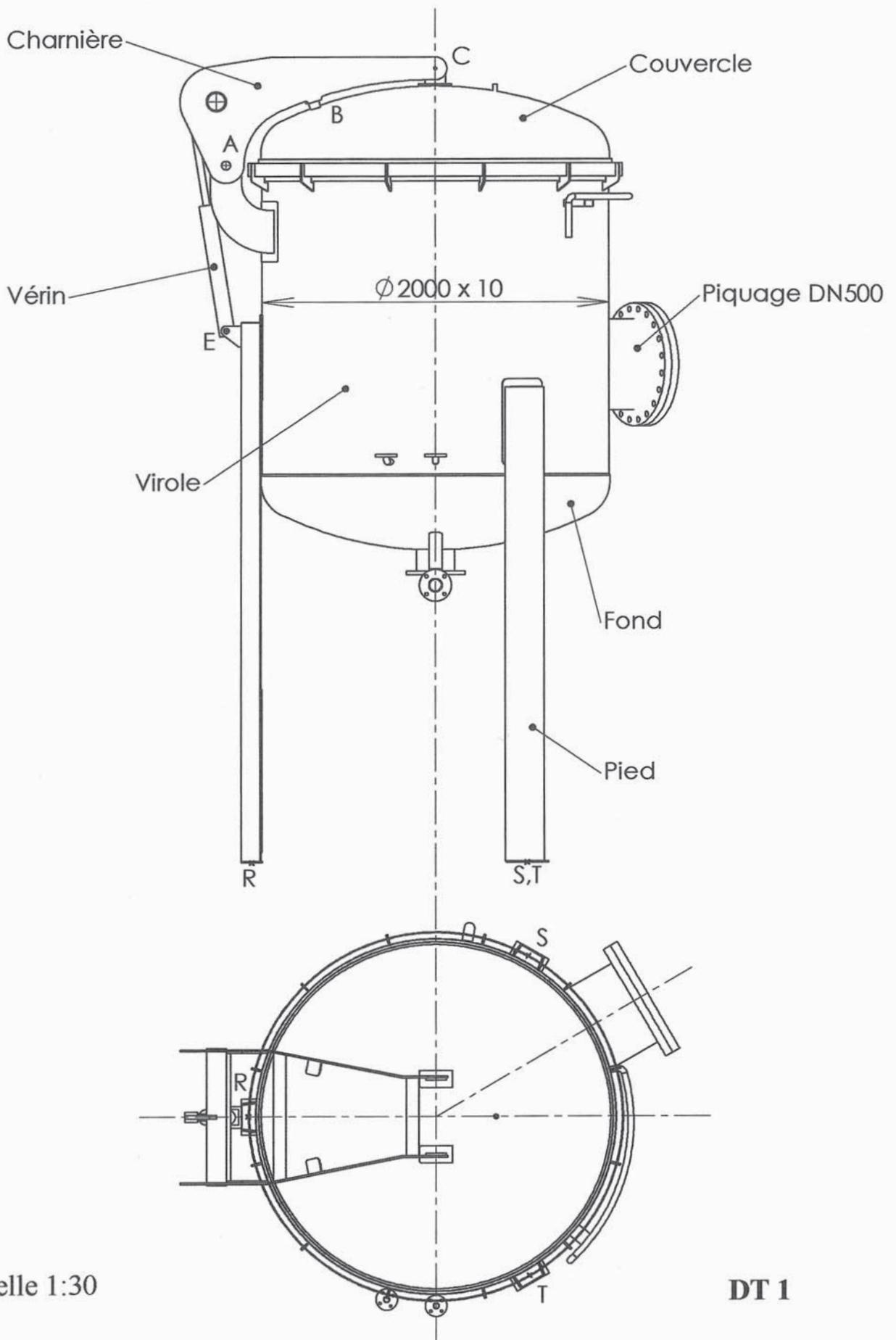
Indépendamment du résultat obtenu en 5-6, on prendra un effort égal à 10 000 N.

Nota 1 : $i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$ et $i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$

Nota 2 : pour déterminer le coefficient k_0 , on utilisera le tableau ci-dessous

$\bar{\lambda}$	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.2	1.00	1.01	1.01	1.02	1.02	1.03	1.03	1.04	1.04	1.05
0.3	1.05	1.06	1.06	1.07	1.07	1.08	1.09	1.09	1.10	1.10
0.4	1.11	1.12	1.12	1.13	1.14	1.15	1.15	1.16	1.17	1.18
0.5	1.19	1.19	1.20	1.21	1.22	1.23	1.24	1.25	1.26	1.27
0.6	1.28	1.29	1.30	1.31	1.32	1.33	1.34	1.36	1.37	1.38
0.7	1.39	1.40	1.42	1.43	1.44	1.46	1.47	1.48	1.50	1.51
0.8	1.53	1.54	1.56	1.57	1.59	1.60	1.62	1.64	1.65	1.67
0.9	1.69	1.70	1.72	1.74	1.76	1.77	1.79	1.81	1.83	1.84
1.0	1.86	1.88	1.90	1.92	1.94	1.96	1.98	2.00	2.02	2.04
1.1	2.06	2.08	2.10	2.12	2.15	2.17	2.19	2.21	2.24	2.26
1.2	2.28	2.31	2.33	2.35	2.38	2.40	2.43	2.45	2.48	2.50
1.3	2.53	2.56	2.58	2.61	2.64	2.66	2.69	2.72	2.75	2.77
1.4	2.80	2.83	2.86	2.89	2.92	2.95	2.98	3.00	3.03	3.06
1.5	3.09	3.11	3.15	3.19	3.22	3.25	3.28	3.31	3.35	3.38
1.6	3.41	3.45	3.48	3.52	3.55	3.59	3.63	3.66	3.70	3.73
1.7	3.77	3.81	3.85	3.88	3.92	3.96	4.00	4.04	4.07	4.11
1.8	4.15	4.19	4.23	4.26	4.30	4.34	4.38	4.42	4.46	4.50
1.9	4.54	4.58	4.62	4.66	4.70	4.74	4.78	4.82	4.86	4.90
2.0	4.94	4.98	5.02	5.07	5.11	5.15	5.19	5.24	5.28	5.32
2.1	5.36	5.41	5.44	5.49	5.53	5.59	5.64	5.69	5.73	5.78
2.2	5.82	5.87	5.92	5.97	6.02	6.06	6.11	6.16	6.21	6.26
2.3	6.31	6.36	6.41	6.46	6.51	6.56	6.61	6.66	6.72	6.77
2.4	6.82	6.87	6.92	6.97	7.02	7.07	7.12	7.17	7.22	7.27
2.5	7.32	7.37	7.42	7.48	7.53	7.59	7.65	7.69	7.74	7.79

Cuve agroalimentaire



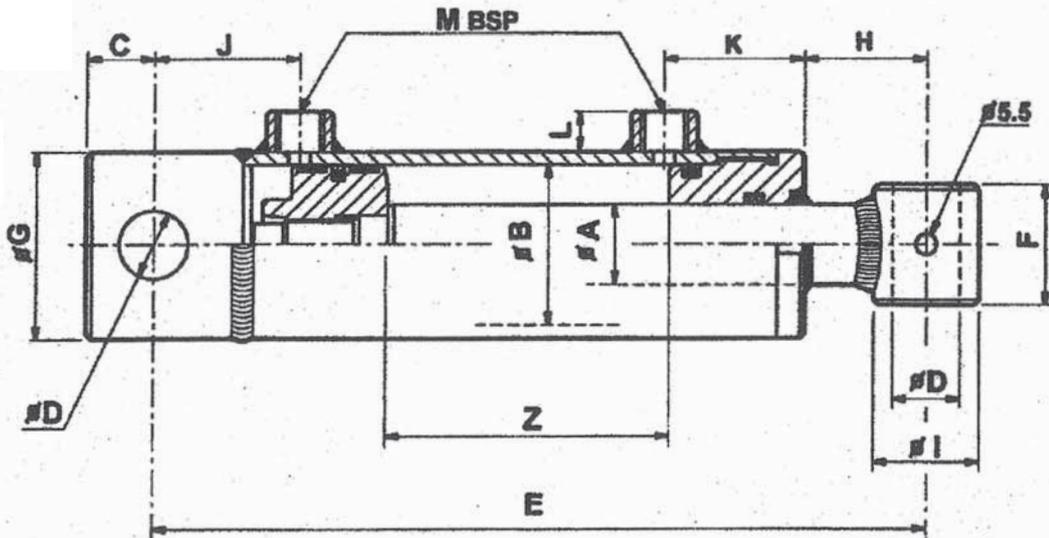
Tolérances sur l'épaisseur des tôles

Epaisseur nominale	Tolérance sur l'épaisseur nominale *										Différence maximale d'épaisseur dans une même tôle					
	Classe A		Classe B		Classe C		Classe D		Largeur nominale de la tôle							
	Ecart inférieur	Ecart supérieur	Ecart inférieur	Ecart supérieur	Ecart inférieur	Ecart supérieur	Ecart inférieur	Ecart supérieur	≥600 <2000	≥2000 <2500	≥2500 <3000	≥3000 <3500	≥3500 <4000	≥4000		
≥3 <5	-0.4	+0.8	-0.3	+0.9	0	+1.2	-0.6	+0.6	0.8	0.9	0.9	-	-	-		
≥5 <8	-0.4	+1.1	-0.3	+1.2	0	+1.5	-0.75	+0.75	0.9	0.9	1.0	1.0	-	-		
≥8 <15	-0.5	+1.2	-0.3	+1.4	0	+1.7	-0.85	+0.85	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2		
≥15 <25	-0.6	+1.3	-0.3	+1.6	0	+1.9	-0.95	+0.95	1.0	1.1	1.2	1.2	1.3	1.4		
≥25 <40	-0.8	+1.4	-0.3	+1.9	0	+2.2	-1.1	+1.1	1.1	1.2	1.2	1.3	1.3	1.4		
≥40 <80	-1.0	+1.8	-0.3	+2.5	0	+2.8	-1.4	+1.4	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6		
≥80 <150	-1.0	+2.2	-0.3	+2.9	0	+3.2	-1.6	+1.6	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.7		
≥150 <250	-1.2	+2.8	-0.3	+3.3	0	+3.6	-1.8	+1.8	1.4	1.5	1.6	1.6	1.7	-		

* ces tolérances d'épaisseur s'appliquent hors des zones meulées

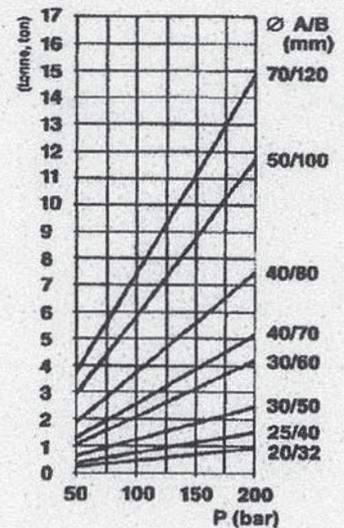


**VERIN DOUBLE EFFET
DOUBLE ACTING CYLINDER
DOPPELTWIRKENDE ZYLINDER**

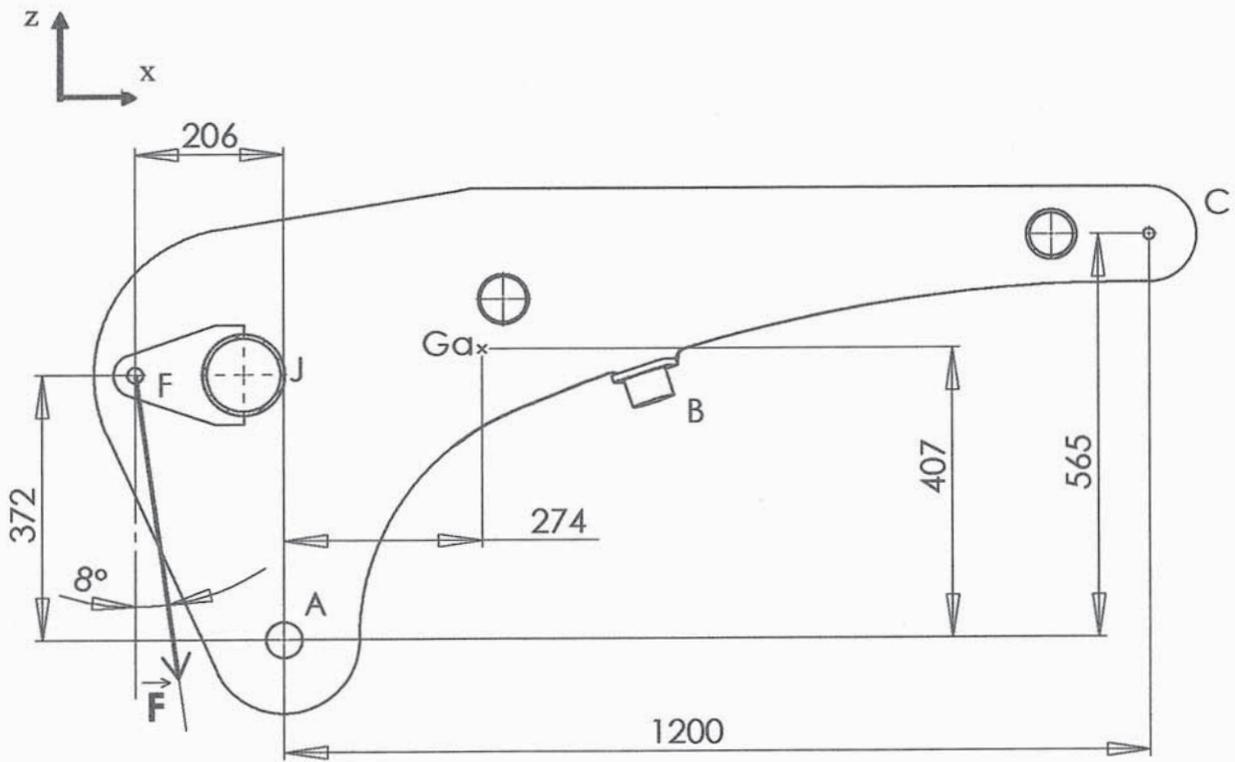


REF. ARTIKEL Nr	ØA	ØB	Z COURSE STROKE HUB	E	C	D	F	G	H
704/2	40	70	200	410	28	30.5	55	80	82
704/3			300	510	28	30.5	55	80	82
704/4			400	610	28	30.5	55	80	82
704/5			500	710	28	30.5	55	80	82
704/6			600	810	28	30.5	55	80	82
704/7			700	910	28	30.5	55	80	82
705/2			40	80	200	410	28	30.5	55
705/3	300	510			28	30.5	55	90	70
705/4	400	610			28	30.5	55	90	70
705/5	500	710			28	30.5	55	90	70
705/6	600	810			28	30.5	55	90	70
705/7	700	910			28	30.5	55	90	70
706/3	50	100			300	525	28	30.5	70
706/4			400	625	28	30.5	70	115	75
706/5			500	725	28	30.5	70	115	75
706/7			700	925	28	30.5	70	115	75
706/9			900	1125	28	30.5	70	115	75

**FORCE DE TRACTION
TRACTIVE EFFORT
ZUGKRAFT**

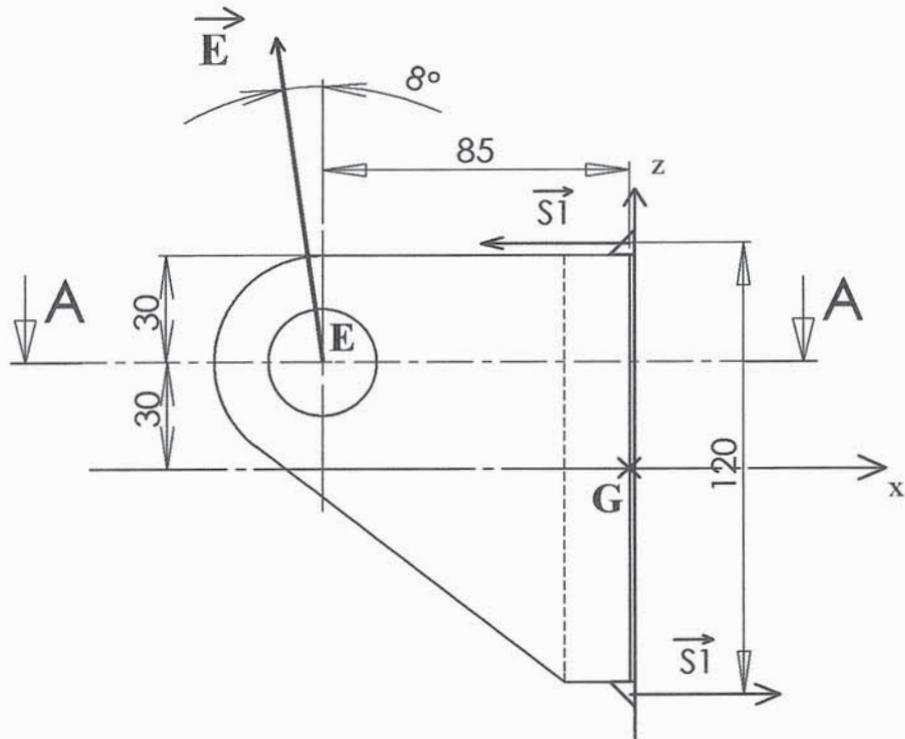


Ensemble charnière isolé

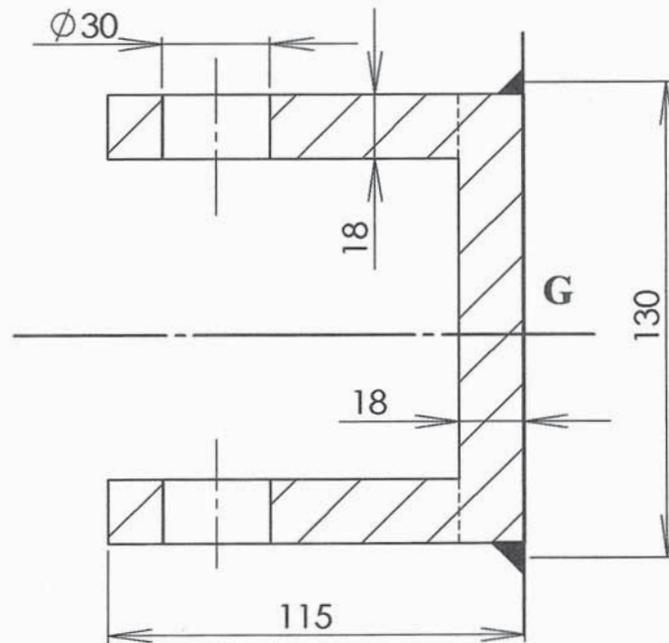


DT5

Attache du vérin en E



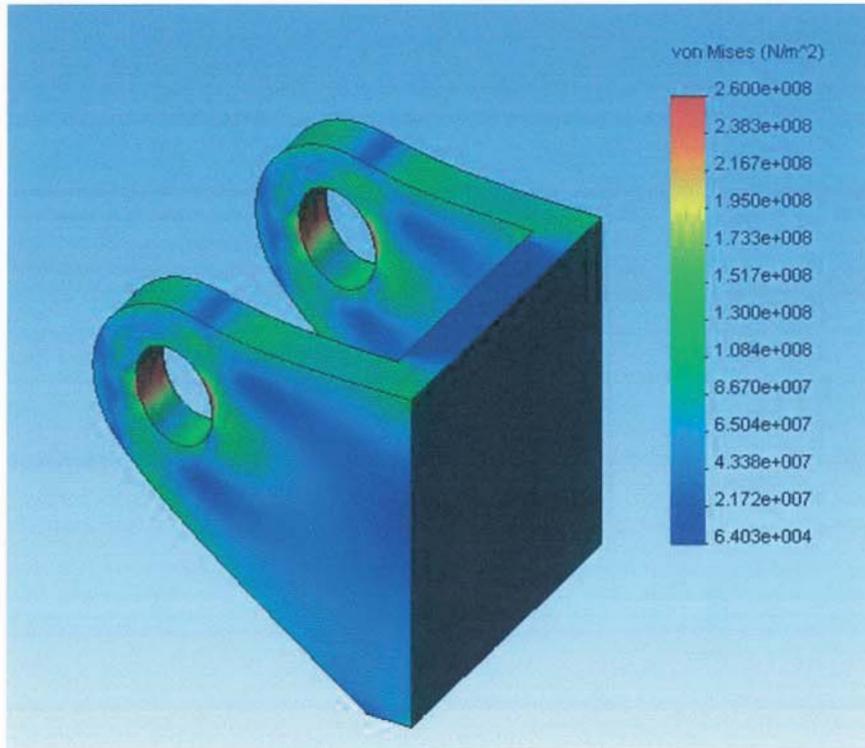
A.A



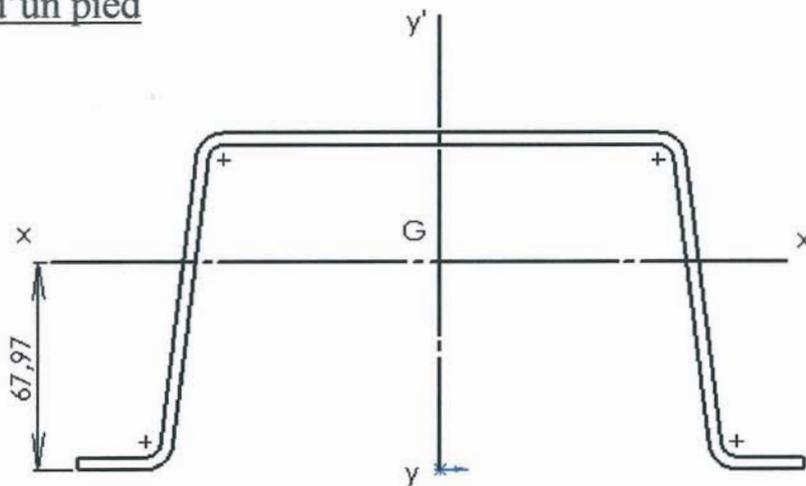
DT 6

Simulation numérique

Répartition des contraintes dans l'attache



Section d'un pied



Aire de la section : $A = 1666 \text{ mm}^2$

Moments principaux d'inertie de la section en son centre de gravité :
 $I_x = 2\,862\,519 \text{ mm}^4$ $I_y = 9\,400\,277 \text{ mm}^4$

Contrainte dans un cordon de soudure (Eurocode 3)

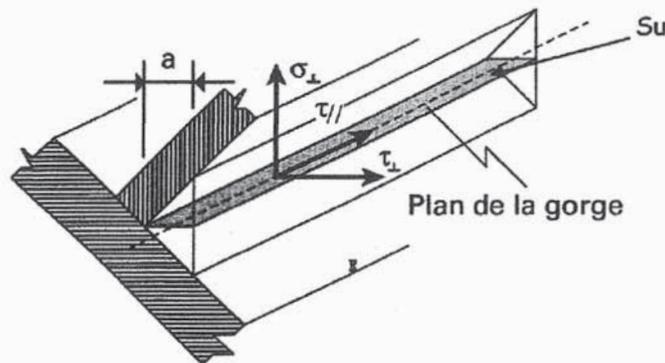
La résistance d'un cordon de soudure peut être établie en se référant aux contraintes moyennes dans le plan de la gorge, malgré le fait que le plan de rupture ne soit pas forcément le plan de la gorge.

Pour décrire l'état de contrainte dans la gorge d'un cordon de soudure, les contraintes suivantes sont utilisées :

σ_{\perp} : Contrainte normale perpendiculaire au plan de la gorge de la soudure,

τ_{\perp} : Contrainte de cisaillement dans le plan de la gorge, perpendiculaire à l'axe de la soudure,

$\tau_{//}$: Contrainte de cisaillement dans le plan de la gorge, parallèle à l'axe de la soudure.



$$\sigma_w = \beta_w \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \gamma(\tau_{\perp}^2 + \tau_{//}^2)} \leq \sigma_{lim} = \frac{f_u}{\gamma_{MW}}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{MW}}$$

Limite de résistance σ_{lim}

il s'agit de la résistance ultime en traction de l'acier de base divisée par un coefficient partiel de sécurité : $\frac{f_u}{\gamma_{MW}}$.

Coefficient γ

Il a été décidé de prendre la valeur de 3 afin de retrouver l'expression du critère de Von Mises.

Coefficient β_w

Le coefficient β_w a une valeur qui dépend de la nuance de l'acier de base et varie de 0,7 à 1,8

Résultats informatique : vérification de la charnière

MODELISATION

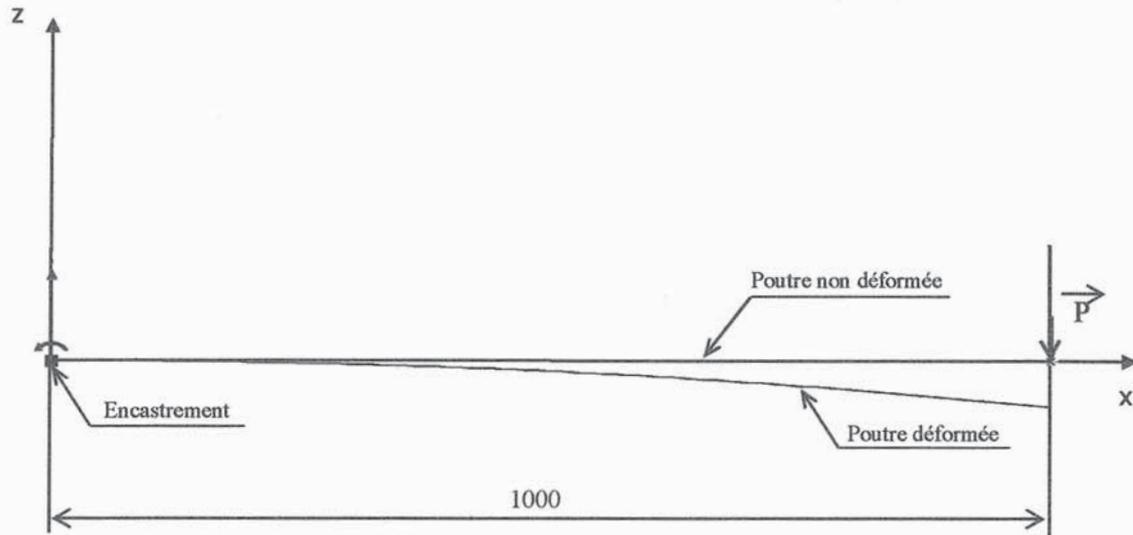
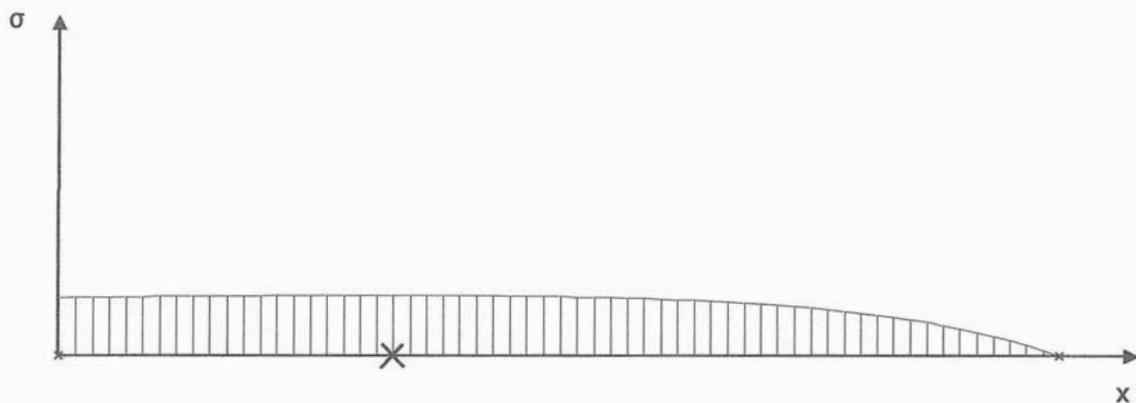


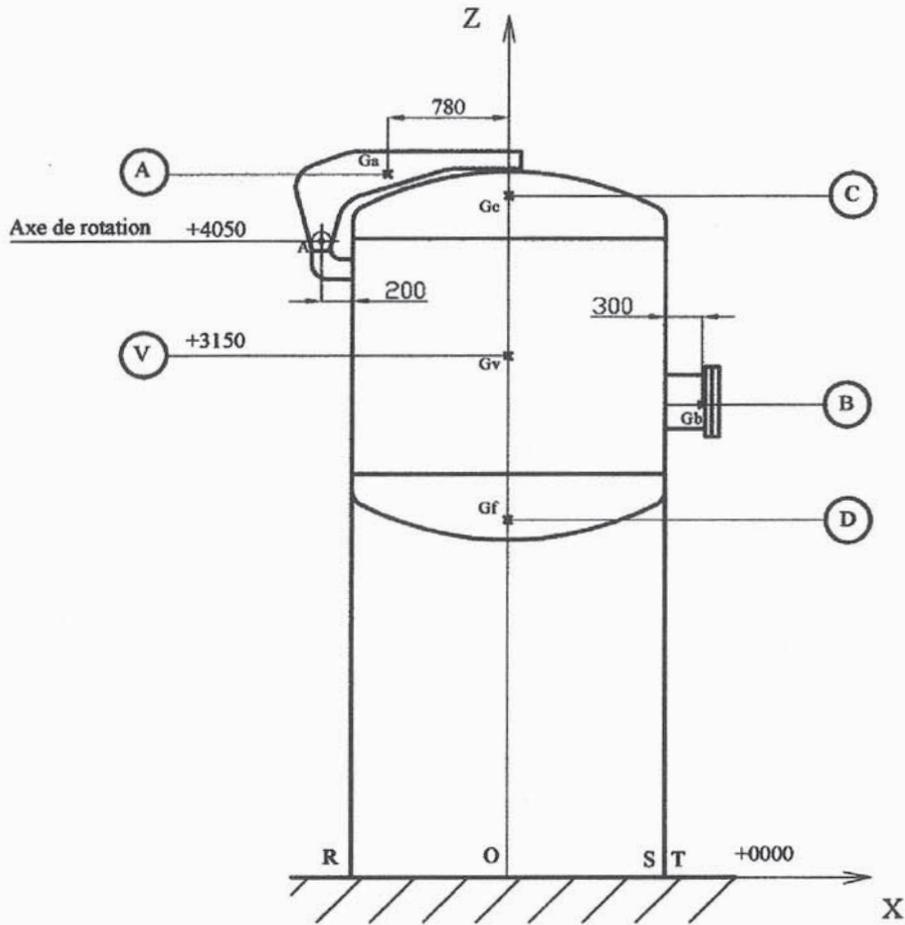
DIAGRAMME DES CONTRAINTES NORMALES



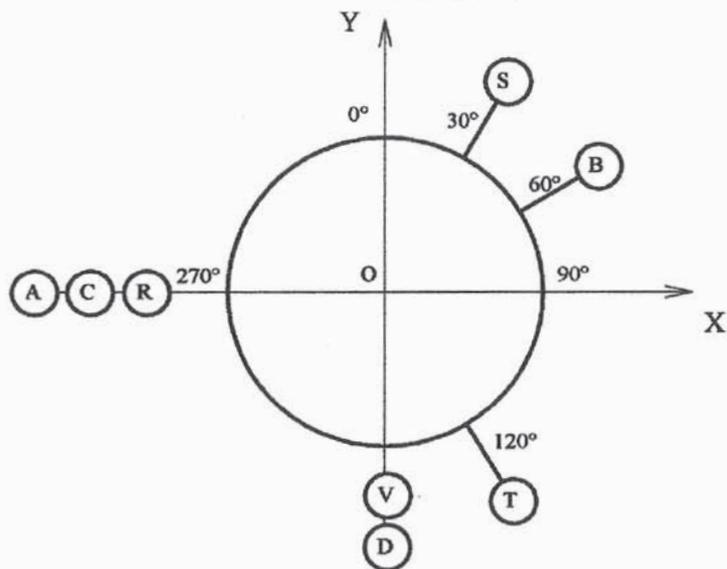
Module de la contrainte normale ($M_f + N$) : max = 34.01 MPa
Pour $X = 333,33$ mm

Schématisation de la cuve

Vue en élévation

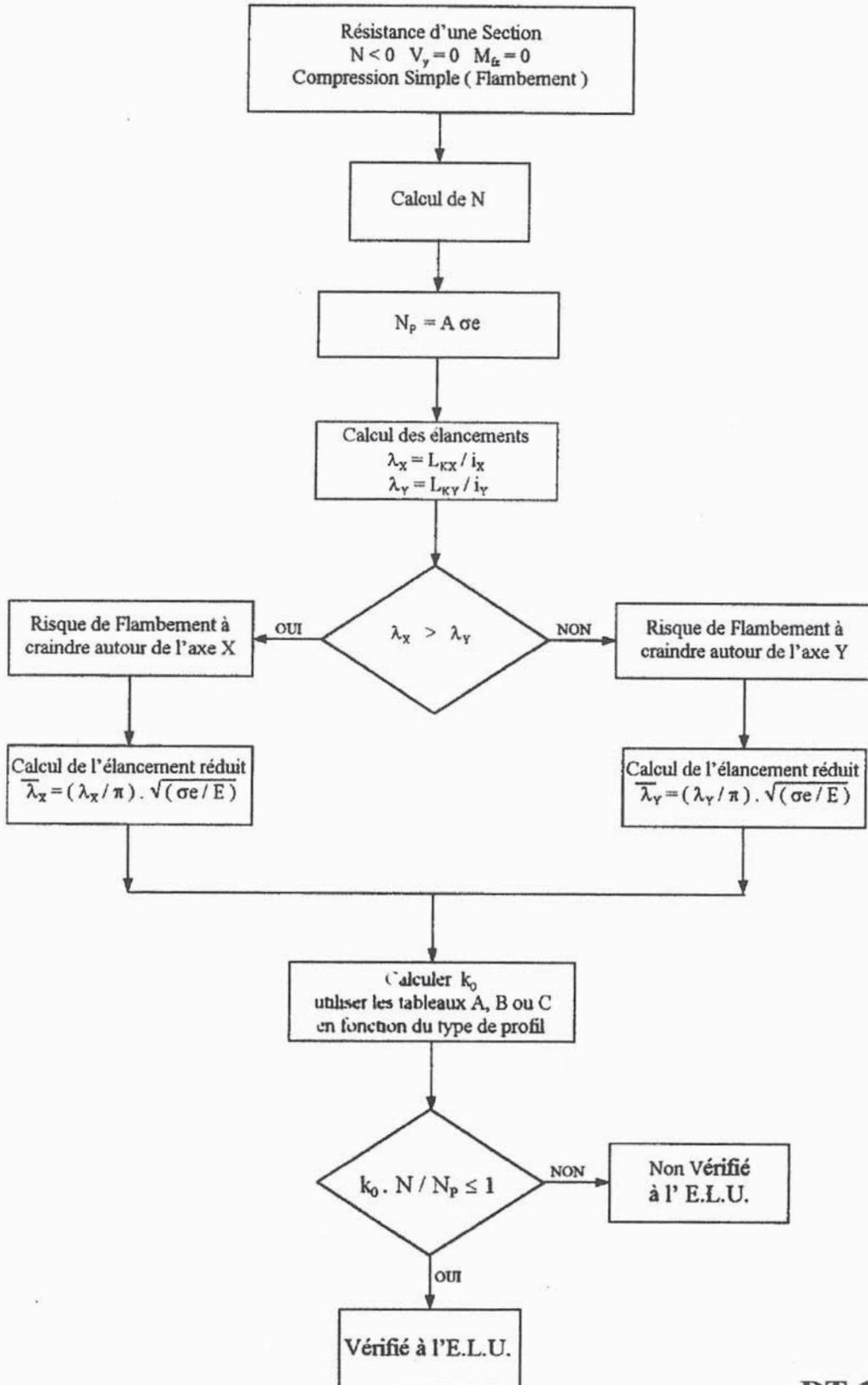


Rose d'orientation



DT 10

Vérification au flambement



NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

Académie : _____ Session : _____

Concours : _____

Spécialité/option : _____ Repère de l'épreuve : _____

Intitulé de l'épreuve : _____

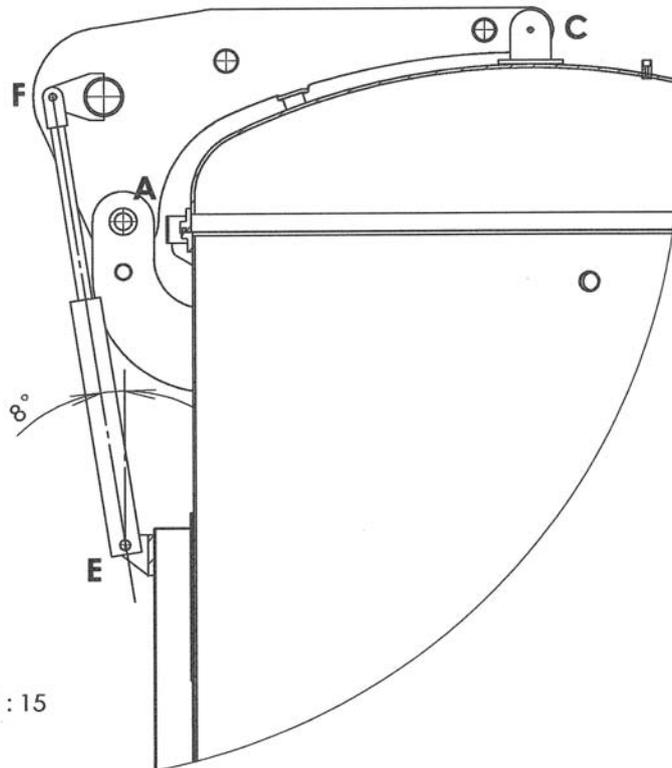
NOM : _____

Prénoms : _____ N° du candidat

(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)
(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

EFE GIS 1

Ouverture du couvercle



DÉTAIL
ECHELLE 1 : 15

DR

(D)