

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

8/83

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
« HOUARI BOUMEDIENNE »

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Département de Génie Mécanique



THEME

CONSTRUCTION D'UN RESERVOIR
SOUDÉ A AIR COMPRIMÉ DE
HAUTE PRESSION

2 PLANCHES

Proposé et suivi par :

M. ELEOD ANDRAS

Maître de conférences :

Etudié par :

M. BEKKOUCHE Nacer

Promotion Juin 1983

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
« HOUARI BOUMEDIENNE »

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Département de Génie Mécanique

PROJET DE FIN D'ETUDE

THEME

**CONSTRUCTION D'UN RESERVOIR
SOUDÉ A AIR COMPRIMÉ DE
HAUTE PRESSION**

Proposé et suivi par :

M. ELEOD ANDRAS

Maître de conférences :

Etudié par :

M. BEKKOUCHE Nacer

Promotion Juin 1983

D E D I C A C E S

- à mon très cher Grand-père B.H.
- à mes chers Parents
- à tous les membres de ma Famille
- à tous mes Amis

Je dédie ce modeste travail

x

R E M E R C I E M E N T S

Je saisis cette occasion pour remercier
Monsieur ELEOD, Maître de conférences à l'E.N.P.A.
pour ses judicieux conseils et son suivi lors de
mon travail.

Je remercie aussi l'ensemble des enseignants
qui ont contribué à ma formation d'ingénieur.

Mes remerciements sont aussi adressés à toutes
les personnes qui m'ont apporté leur concours.

II A B L E D E S /) /) A T I E R E S

INTRODUCTION

I. GENERALITES

- I.1 - Etude de construction des réservoirs soudés.
- I.2 - Utilisation de l'air comprimé.
- I.3 - Exigences techniques

II. BUT DE L'ETUDE

III. DIMENSIONNEMENT DU RESERVOIR.

III.1 - Choix du matériau

III.1.1 - Température dans le réservoir.

III.1.2 - Caractéristiques du matériau

III.2 - Dimensions fondamentales

III.2.1 - Calcul de la longueur et du diamètre

III.2.2 - Calcul de l'épaisseur

III.2.2.1 - Théorie des parois minces

III.2.2.2 - Théorie des parois épaisses

III.2.2.3.- Etude de la zone plastique

III.2.2.4 - Calcul des ouvertures

IV. CALCUL DES ASSEMBLAGES SOUDES.

IV.1 - Cas des sollicitations statiques

IV.2 - Cas des sollicitations variables.

V. TECHNOLOGIE D'EXECUTION

V.1 - Le planage

V.2 - Le traçage

V.3 - Le découpage

V.4 - La mise en forme.

V.4.1 - Exécution de la virole du réservoir

V.4.2 - Exécution du fond du réservoir

V.5 - Le soudage

V.5.1 - Etude de la soudabilité

V.5.2 - Les phénomènes de fissuration dans les assemblages soudés.

V.5.3 - Choix du procédé de soudage

V.5.4 - Préparation des joints

V.5.5 - Défauts et contrôles des joints soudés

V.5.6 - Critère d'acceptabilité des défauts

V.6 - Essais à la pression hydraulique.

APPENDICES

SCHEMAS ET FIGURES

CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIES

I N T R O D U C T I O N

Les applications de la technique de soudage qui n'ont débuté pratiquement qu'au vingtième siècle, ont pris une grande ampleur dans le domaine industriel au cours des trente dernières années. Cette évolution a fait du soudage un des facteurs importants qui conditionnent notre vie moderne.

Malgré les accidents survenus dans le passé et leurs conséquences psychologiques, les erreurs se sont avérées fécondes en enseignements. Les recherches des causes ont permis à la technique de soudage d'avancer progressivement au service de l'homme et son industrie.

Chez nous, notre industrie est en pleine mutation.

Les besoins toujours croissants de nos usines exigent la maîtrise des problèmes délicats de la soudabilité des matériaux.

Vu les besoins extrêmement importants de notre industrie pétrolière et chimique en matière de moyens de stockage et de transport de ses produits nous sommes persuadés que le développement de la construction soudée des réservoirs dans notre pays et d'une nécessité économique sans doute indiscutable.

I. GENERALITES.

I.1. Etudes de construction des réservoirs soudés.

Plusieurs types de réservoirs existent dont on peut citer :

- Les réservoirs sphériques
- Les réservoirs cylindriques.

I.1.1. - Les réservoirs sphériques

Les réservoirs sphériques à épaisseur de paroi égale, donnent une meilleure résistance à la pression, néanmoins la mise en forme constitue le grand inconvénient. Ces réservoirs sont utilisés pour le stockage des gazs liquifiés à basse température.

I.1.2. - Les réservoirs cylindriques

Bien que la forme sphérique représente une meilleure résistance à la pression, on préfère généralement la forme cylindrique pour sa facilité de réalisation et malgré son épaisseur qui doit être le double de la sphère de même diamètre soumis à la même pression.

Dans l'exécution des réservoirs cylindriques, on utilise des fonds emboutis. Plusieurs types peuvent exister :

- 1. Réservoirs cylindriques à fond plat
- 2. Réservoirs cylindriques à fond bombé normal
- 3. Réservoirs cylindriques à fond bombé à grand rayon carré
- 4. Réservoirs cylindriques à fond bombé à coupe elliptique
- 5. Réservoirs cylindriques à fond bombé renversé
- 6. Réservoirs cylindriques à fond bombé conique.

Le premier est réservé pour les basses pressions alors que les autres sont destinés pour les hautes pressions, mais il est à signaler que le troisième résiste mieux à la pression après le fond demi-sphérique.

L'assemblage des différentes parties d'un réservoir peut se faire par rivetage ou soudage.

Le second procédé est préféré surtout pour les hautes pressions.

L'assemblage des viroles peut être fait par recouvrement simple, par couvreur joint, ou par soudage bout à bout.

Les deux premiers types d'assemblage sont interdits sur les fonds emboutis. Il s'agit d'éviter toutes les soudures travaillant à la flexion. Pour l'assemblage de la virole et des fonds la disposition de la figure 1 est bonne.

En général, les procédés de soudage les plus utilisés dans la construction des réservoirs sont le soudage par pression (électrique par recouvrement) ou le soudage par fusion locale des pièces à souder (soudage à l'arc, soudage sous poudre Union Melt). Le choix du procédé de soudage dépend de beaucoup de facteurs dont les dimensions des pièces et les propriétés physico-chimiques du matériau.

I.2 - Utilisation de l'air comprimé.

I.2.1 - Historique.

La première utilisation de l'air comprimé fut de souffler sur les braises pour ~~renforcer~~ le feu. Ensuite on commença à l'utiliser pour fondre les métaux aux environs de l'an 3000 avant J.C. En 1800, on l'utilisa comme moyen de transmission. On l'utilisa dans l'horloge pneumatique, les ascenseurs d'immeubles, moteurs pneumatiques d'entraînement des machines outils, des presses, ...etc. L'air est aussi utilisé pour la surveillance le contrôle et la régulation.

En conclusion, c'est l'économie globale apportée par un système qui importe et non son rendement. Sur cette base l'air comprimé rivalise avec l'énergie électrique dans de nombreux domaines d'applications et c'est un complément indispensable dans beaucoup d'autres d'où l'importance vitale de l'air dans l'industrie moderne.

I.2.2 - Constantes physiques de l'air.

Poids moléculaire	28,86	KG/Kmole
Densité à 158, sous 1 bar	1,21	Kg/m ³
Point d'ébullition, sous 1 bar	78,8	° K
Point de congélation, sous 1 bar	57,61	° K
Constante du gaz	287	J / Kg ° K
Pression critique, sous 1 bar	37,7	bars
Température critique	132,5	° K

I.2.3 - Composition de l'air

COMPOSANT	% EN VOLUME	% EN MASSE
- Azote	78,09	75,51
- Oxygène	20,95	23,15
- Argon	0,93	1,28
- Anhydride carbonique	0,03	0,046
- Autres gaz rares	reste	reste

I.2.4 - Loi générale des gazs

En combinant la loi de BOYLE $\frac{V_2}{V_1} = \frac{P_1}{P_2}$ et celle de CHARLES $\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1}$, on trouve : $\frac{PV}{T} = \text{constante.}$

Cette constante dépend du gaz et du système d'unités choisi.

(R = 8314 J./Kmole . K)

$PV = mr T$

avec : P = la pression absolue en pascal
V = le volume en m³
m = la masse du gaz en Kg
T = la température du gaz en °K
r = la constante du gaz en J/Kg.°K

I.3 - Exigences techniques

Les réservoirs doivent être étudiés en conformité avec les réglementations particulières de chaque pays.

L'arrêté ministériel du 23 Juillet 1943 stipule :

- Article 3

1. Les matériaux entrant dans la construction des appareils doivent par leur nature opposer dans les conditions d'utilisation prévues, une résistance suffisante aux actions chimiques des corps qu'ils sont appelés à contenir.

Dans le cas où une attaque est néanmoins à redouter, et à défaut d'une sur épaisseur suffisante, des précautions spéciales doivent être prises pour qu'elle ne puisse devenir une source de danger, notamment par l'éloignement des appareils, l'établissement de dispositifs de protection, ...etc.

2. Les joints, dispositifs de fermeture et soupapes, doivent pouvoir être rendus étanches, sans comporter de matière susceptible dans les conditions d'emploi; de s'enflammer ou de détoner sous l'action des fluides continus.

- Article 4.

1. Le métal doit être exempt de fragilité, à la température et à la pression d'épreuve, d'une part, dans le domaine des pressions et des températures de service d'autre part.
2. Pour les parties en acier, les caractéristiques mécaniques du métal mesurées sur des éprouvettes prélevées des contraintes maxima, tous recuits, recuits ou traitements thermiques terminés, devront satisfaire aux deux égalités :

$$R > 1050$$

$$A > 14$$

Dans lesquelles R représente la résistance de rupture à la traction exprimée en myriapièze, et A l'allongement relatif, exprimé en centièmes (Allongement mesuré sur des éprouvettes dont la section droite S et la distance entre repère L, exprimés dans le même système d'unités, répondant à la condition :

$$L = 5,65 \sqrt{S} \quad \text{ou } L = 5 \sqrt{S} \text{ (pour des éprouvettes circulaires).}$$

3. Le taux de travail du métal doit être inférieur au tiers de la résistance à la rupture, sous l'action et à la température maxima susceptibles d'être atteintes en service.

II. BUT DE L'ETUDE.

Le but de notre étude est l'élaboration du plan pour la construction d'un réservoir à air comprimé, soudé, qui sera utilisé dans l'industrie pétrochimique (comme le montre le schéma 2.)

Les données du problèmes sont les suivantes ;

- volume : $0,4 \text{ m}^3$
- Compression : $P_{\text{max}} = 25 \text{ MPa}$
 $P_{\text{min}} = 20 \text{ MPa}$
- Volume nécessaire d'air à la sortie $0,005 \text{ m}^3/\text{s}$
- Vitesse maximale de l'air à la sortie 10 m/s

Vu tout ce qu'il avait été dit auparavant, nous constatons que notre réservoir sera soumis à des hautes pressions et doit répondre aux exigences techniques. Il doit être en un matériau possédant des propriétés relatives à l'utilisation envisagée. L'autre considération importante est le coût et la disponibilité du matériau. En plus, la technologie qui sera utilisée doit être la plus facile et la plus économique possible.

Notre réservoir qui sera de la forme cylindrique à fond bombé à coupe elliptique, comporte (comme le montre la figure 3), une tubulure de remplissage une tubulure de soutirage, un trou pour le nettoyage, un manomètre, une soupape de sécurité et une purge avec robinet à cause de l'accès de l'air dans le compresseur avec une certaine humidité.

III. DIMENSIONNEMENT DU RESERVOIR

III.1 - Choix du matériau.

III.1.1 - Température dans le réservoir.

Le diagramme (P.V.) (voir figure 4) nous montre l'évolution de l'air pendant sa compression. Au dessous du point critique E l'air passe par un pallier (transformation isobare) et se liquifie. Au dessus du point E, l'air ne se liquifie pas et son évolution se rapproche d'une isotherme.

Nous sommes au deuxième cas, la transformation est proche d'une compression isothermique, la température dans le réservoir sera proche de celle de l'entrée du compresseur. Vu l'importance des pressions, notre compresseur sera doté d'un circuit de refroidissement (voir appendices).

La température dans le réservoir est inférieure à 100°C , donc la limite élastique R_e sera constante (figure 5.a)

III.1.2 - Caractéristiques du matériau.

Pour qu'un acier soit facilement soudable, il faut qu'il contienne moins de 0,2 % de carbone, 0,04 % de soufre et 0,04 % de phosphore. Le matériau choisi est un acier doux faiblement allié

(Ni 5 % , 16 N 20, recuit)

C = 0,16 % , Ni = 5 %

Les caractéristiques mécaniques de ce matériau sont les suivantes :

CARACTERISTIQUES	NOTATION	VALEUR
Limite d'élasticité	R_e MPa	500
L'allongement	A %	22
Résistance à la propagation des fissures	R MPa	650
Résilience	da $\frac{\text{K}}{\text{J/cm}^2}$	20
Dureté Brinell	da $\frac{\text{HB}}{\text{N/mm}^2}$	190
Module d'élasticité	E N/mm^2	$210 \cdot 10^3$

III.2 - Dimensions fondamentales.

III.2.1 - Calcul de L et Di.

La figure 5 représente l'ensemble des côtes nécessaires pour le dimensionnement du réservoir.

Il est recommandé de prendre : $L = (1,8 + 2,2)Di$.

Dans le cas d'un fond bombé à coupe élliptique, les deux relations suivantes doivent être vérifiées (d'après éléments de construction à l'usage de l'ingénieur Tome 7).

$$\begin{aligned} 0,2 De &\leq h_1 \leq 0,5 De \\ 0,0025 &\leq e_f \leq 0,08 De \end{aligned}$$

- Volume de la virole : V_v

$$V_v = \frac{\pi Di^2}{4} \cdot l$$

- Volume du fond : V_f

$$V_f = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{Di}{2} \right)^2 h_1 + \frac{\pi}{4} Di^2 \cdot h_2$$

- Volume total : V_t

$$V_t = V_v + 2 V_f$$

- Soit :

$$L = 2 Di$$

$$l = Di$$

$$h_1 = \frac{Di}{3}$$

$$h_2 = \frac{Di}{6}$$

En remplaçant dans la formule du volume total, on trouve :

$$V_t = \frac{4}{9} \pi Di^3, \text{ on tire :}$$

$$Di = \sqrt[3]{\frac{9}{4} \frac{V_t}{\pi}}$$

- Applications numériques :

donnée : $V_t = 0,4 \text{ m}^3$

$$\bullet \text{ Di} = \sqrt[3]{\frac{9}{4} \cdot \frac{0,4}{\pi}} = 0,659221 \text{ m}$$

$$\text{Di} = 659,221 \text{ mm}$$

$$\bullet \text{ l} = \text{Di} = 659,221 \text{ mm}$$

$$\bullet \text{ h1} = \frac{\text{Di}}{3} = \frac{659,221}{3} = 219,74 \text{ mm}$$

$$\bullet \text{ h2} = \frac{\text{Di}}{6} = \frac{659,221}{6} = 109,87 \text{ mm}$$

$$\bullet \text{ L} = 2 \text{ Di} = 2 \times 659,221 = 1318,442 \text{ mm}$$

On prend :

$$\text{Di} = 660 \text{ mm}$$

$$\text{h1} = 220 \text{ mm}$$

$$\text{h2} = 110 \text{ mm}$$

$$\text{L} = 1320 \text{ mm.}$$

III.2.2 - Calcul de l'épaisseur :

III.2.2.1 - Théorie des parois minces

Dans cette partie, nous tentons de voir les forces dues à la pression agissant sur notre réservoir (voir figure 5). D'après les problèmes de résistance des matériaux de I. MIROLIUBOV & COLL.

a) La contrainte tangentielle : σ_t

La poussée F est donnée par :

$$F = \int_{-\pi/2}^{\pi/2} P r l \cos \alpha d\alpha$$

$$F = \text{Di} \cdot P \cdot l$$

où P : pression relative de calcul
 D_i : diamètre intérieur de la virole
 l : longueur de la partie cylindrique.

L'équilibre de la partie coupée exige deux efforts tangentiels égaux ($\sigma_t = \sigma_{t_1} = \sigma_{t_2}$) opposés à la poussée F ; alors la contrainte tangentielle dans chaque section $A_1 = A_2 = e \cdot l$ sera :

$$\sigma_t = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot e} \quad (1)$$

b) La contrainte axiale : σ_{ax}

La poussée axiale due à la pression intérieure sur le fond du réservoir est :

$$\sigma_{ax} = \frac{P \cdot D_i}{4 \cdot e} \quad (2)$$

nous remarquons que $\sigma_t = 2 \sigma_{ax}$.

c) La contrainte radiale : σ_r

Chaque élément de la surface intérieure est soumis à la pression intérieure P_i ($P = P_i$), donc la contrainte de compression ou radiale est :

$$\sigma_r = -P \quad (3)$$

En pratique, nous utilisons pour le calcul de l'épaisseur en tenant compte de certains paramètres :

- la corrosion et la variation de l'épaisseur
- la contrainte dans le cordon ne doit pas dépasser la contrainte admissible du matériau.

* Pour la virole : e_v

D'après l'hypothèse du cisaillement maximale (critère de GUEST . TRESCA), le métal commence à subir une déformation plastique lorsque la contrainte maximale de cisaillement est égale à la limite d'elasticité, c'est à dire :

$$\sigma_t - \sigma_r = Re$$

$$\frac{P \cdot Di}{2 \cdot e_m} + \frac{P}{2} = f \cdot z \quad \text{avec } f = \frac{Re}{X1}$$

$$e_m = \frac{P \cdot Di}{2 fZ - P}$$

e_m : épaisseur minimale sans surépaisseur.

$$e_v = \frac{P \cdot Di}{2 fZ - P} + K$$

avec : P : Pression de calcul

Di : Diamètre intérieur

K : surépaisseur de corrosion (K = 1 + 3 mm)

elle est négligeable pour un acier inoxydable ou si les parois sont protégées contre la corrosion

- . Z : coefficient de résistance d'une région de la paroi comportant une ligne de soudure ou une ouverture (Z = 0,8 + 0,9)
- . f : contrainte nominale de calcul.
- . Re : limite élastique à la température de calcul
- . X₁ : coefficient de sécurité.

* Pour le fond : e_f

$$e_f = \frac{P \cdot D_e}{2 f} \cdot C + K$$

avec : $D_e = D_i + 2e_v$, D_e étant le diamètre extérieur
c'est donné par la figure 8

$$\left(C = f \frac{h^1}{D_e} \right)$$

- Applications numériques

. Epaisseur de la virole :

$$e_v = \frac{P D_i}{2 f Z - P} + K$$

$$P = 25 \text{ MPa}$$

$$D_i = 660 \text{ mm}$$

$$Re = 500 \text{ MPa}$$

$$X_1 = 1,6$$

$$Z = 0,9$$

$$K = 2 \text{ mm}$$

$$f = \frac{Re}{X_1} = \frac{500}{1,6} = 312,6 \text{ MPa}$$

$$e_v = \frac{25 \times 660}{2 \cdot 312,6 \cdot 0,9 - 25} + 2 = \underline{\underline{33 \text{ mm}}}$$

* épaisseur du fond : e_f

$$e_f = \frac{P \cdot D_e \cdot C}{2 f} + K$$

$$D_e = D_i + 2 \text{ ev}$$

$$D_i = 660 \text{ mm}$$

$$\text{ev} = 33 \text{ mm}$$

$$D_e = 660 + 2 \cdot 33 = 726 \text{ mm.}$$

$$h_1 = 220$$

$$\frac{h_1}{D_e} = \frac{220}{726} = 0,3$$

$$\frac{e}{D_e} = \frac{33}{726} = 0,045$$

$$C = 0,825$$

$$K = 2 \text{ mm}$$

$$e_f = \frac{25 \cdot 726 \cdot 0,825}{2 \times 312,6} + 2 = \underline{26 \text{ mm}}$$

III.2.2.2 - Théorie des parois épaisses

D'après les problèmes de résistance des matériaux de I.MIROLIOUBOV & COLL, les contraintes tangentielle (σ_t) et radiale (σ_r) sont données respectivement par les relations suivantes :

$$\sigma_t = \frac{P_i \cdot r_i^2 \left(1 + \frac{r_e^2}{r_i^2} \right) - P_e \cdot r_e^2 \left(1 + \frac{r_i^2}{r_e^2} \right)}{r_e^2 - r_i^2}$$

$$\sigma_r = \frac{P_i \cdot r_i^2 \left(1 - \frac{r_e^2}{r_i^2} \right) - P_e \cdot r_e^2 \left(1 - \frac{r_i^2}{r_e^2} \right)}{r_e^2 - r_i^2}$$

Nous pouvons remarquer (voir figure 9) que σ_r est toujours négatif, néanmoins le signe σ_t dépend du rapport de P_1 et P_2 .

1) si $P_i > \frac{P_e}{2} \left(\frac{r_e^2}{r_i^2} + 1 \right)$ alors $\sigma_t > 0$

2) si $P_i > \frac{2P_e}{\left(1 + \frac{r_i^2}{r_e^2} \right)}$ alors $\sigma_t < 0$

Dans notre cas, $P_2 = 0$ et $P_1 = 25$ MPa, nous sommes dans le cas 1.

Le diagramme (figure 9) nous donne la variation des contraintes en fonction de l'épaisseur.

$$\sigma_t = \frac{P_i r_i^2 \left(1 + \frac{r_e^2}{r_i^2} \right)}{r_e^2 - r_i^2}$$

$$\sigma_r = \frac{P_i r_i^2 \left(1 - \frac{r_e^2}{r_i^2} \right)}{r_e^2 - r_i^2}$$

En posant $a_1 = \frac{r_i}{r_e} = \frac{D_i}{D_e}$ et $P_i = P_{max}$,

on obtient :

$$\sigma_{tmax} = \frac{\sigma_t}{\rho = r_i} = \frac{P_{max} (1 + a_1^2)}{1 - a_1^2} = \sigma_1$$

$$\sigma_{rmin} = \frac{\sigma_r}{\rho = r_i} = - P_{max} = \sigma_3$$

D'après MOHR, la contrainte résultante

$$\sigma_{red} \text{ est : } \sigma_{red} = \sigma_{tmax} - \sqrt{\sigma_{rmin}}$$

avec $\sqrt{\quad} = \begin{matrix} (\sigma_{traction}) \\ (\sigma_{compression}) \end{matrix}$

si $\nu = 1$

$$\sigma_{red} = \delta_1 - \delta_3$$

$$\sigma_{red} = P_{max} \left(\frac{1 + a_1^2}{1 - a_1^2} + 1 \right)$$

la contrainte axiale σ_{ax} est

$$\sigma_{ax} = \frac{F}{A} = \frac{P_{max}}{\pi (r_e^2 - r_i^2)} \cdot \frac{\pi D_i^2}{4}$$

$$\sigma_{ax} = P_{max} \cdot \frac{D_i^2}{4 (r_e^2 - r_i^2)}$$

Enfin la contrainte maximale sera :

$$\sigma_{max} = \sqrt{\sigma_{red}^2 + \sigma_{ax}^2}$$

Deux cas peuvent se présenter en pratique (figure 5b)

b) $\sigma_{max} < 0,9 Re$

c) $\sigma_{max} \geq Re$, en pratique $\sigma_{max} = (1,1 \cdot 1,2) Re$

Dans le cas c, le métal subit une déformation plastique.

Applications numériques :

* cas b)

$$P_{\max} = 25 \text{ MPa} \quad ; \quad Re = 500 \text{ MPa}$$

$$\text{soit } a_1 = \frac{r_i}{r_e} = \frac{330}{358}$$

$$\delta_3 = -25 \text{ MPa} \quad ; \quad \delta_1 = 307 \text{ MPa}$$
$$\sigma_{\text{red}} = \delta_1 - \delta_3 = 307 + 25 = 332 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{ax}} = P_{\max} \times \frac{D_i^2}{4(r_e^2 - r_i^2)} = \frac{25 \cdot (660)^2}{4((358)^2 - (330)^2)} = 141 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{max}} = \sqrt{\sigma_{\text{red}}^2 + \sigma_{\text{ax}}^2} = \sqrt{(332)^2 + (141)^2} = 360 \text{ MPa}$$

Vérification :

$$\sigma_{\text{max}} < 0,9 Re$$
$$360 < 0,9 \cdot 500 = 450$$

On peut prendre $e_{v2} = e_{f2} = r_e - r_i = 358 - 330 = 28$

$$e_{v2} = e_{f2} = 28 \text{ mm}$$

* cas c)

$$a_1 = \frac{r_i}{r_e} = \frac{330}{348}$$

$$\delta_3 = -25 \text{ MPa} \quad ; \quad \delta_1 = 471 \text{ MPa}$$
$$\sigma_{\text{red}} = \delta_1 - \delta_3 = 471 + 25 = 496 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{ax}} = P_{\max} \frac{D_i^2}{4(r_e^2 - r_i^2)} = 25 \frac{(660)^2}{4((348)^2 - (330)^2)}$$

$$\sigma_{\text{ax}} = 223 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\max} = \sqrt{\sigma_{\text{red}}^2 + \sigma_{\text{ax}}^2} = \sqrt{(496)^2 + (223)^2} = 544 \text{ MPa}$$

Vérification :

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_{\max} \geq Re \\ 544 \geq 500 \end{array} \right\} \sigma_{\max} = 1,1 Re$$

Nous pouvons prendre: $e_{v3} = e_{f3} = r_e - r_i = 348 - 300 = 18 \text{ mm}$

$$e_{v3} = e_{f3} = 18 \text{ mm}$$

Cette valeur de l'épaisseur est choisie pour une facilité de réalisation technologique et l'économie du métal.

A partir de cette valeur, nous calculons les autres dimensions du réservoir.

$$- D_e = D_i + 2 e_v$$

$$D_e = 660 + 2 \times 36 = 696 \text{ mm}$$

$$- L_t = L + 2 e_f$$

$$L_t = 1320 + 2 \times 18 = 1356 \text{ mm}$$

$$- l = D_i$$

$$l = 660 \text{ mm}$$

$$- D_{fi} = 2 \sqrt{x^2 + R_i^2} = 2 (x + h_1 - e_f)$$

(voir figure 6)

$$x = \frac{R_i^2 - e_f^2 + 2e_f h_1 - h_1^2}{2 (h_1 - e_f)}$$

Pour $R_i = 330 \text{ mm}$; $e_f = 18 \text{ mm}$; $h_1 = 220 \text{ mm}$

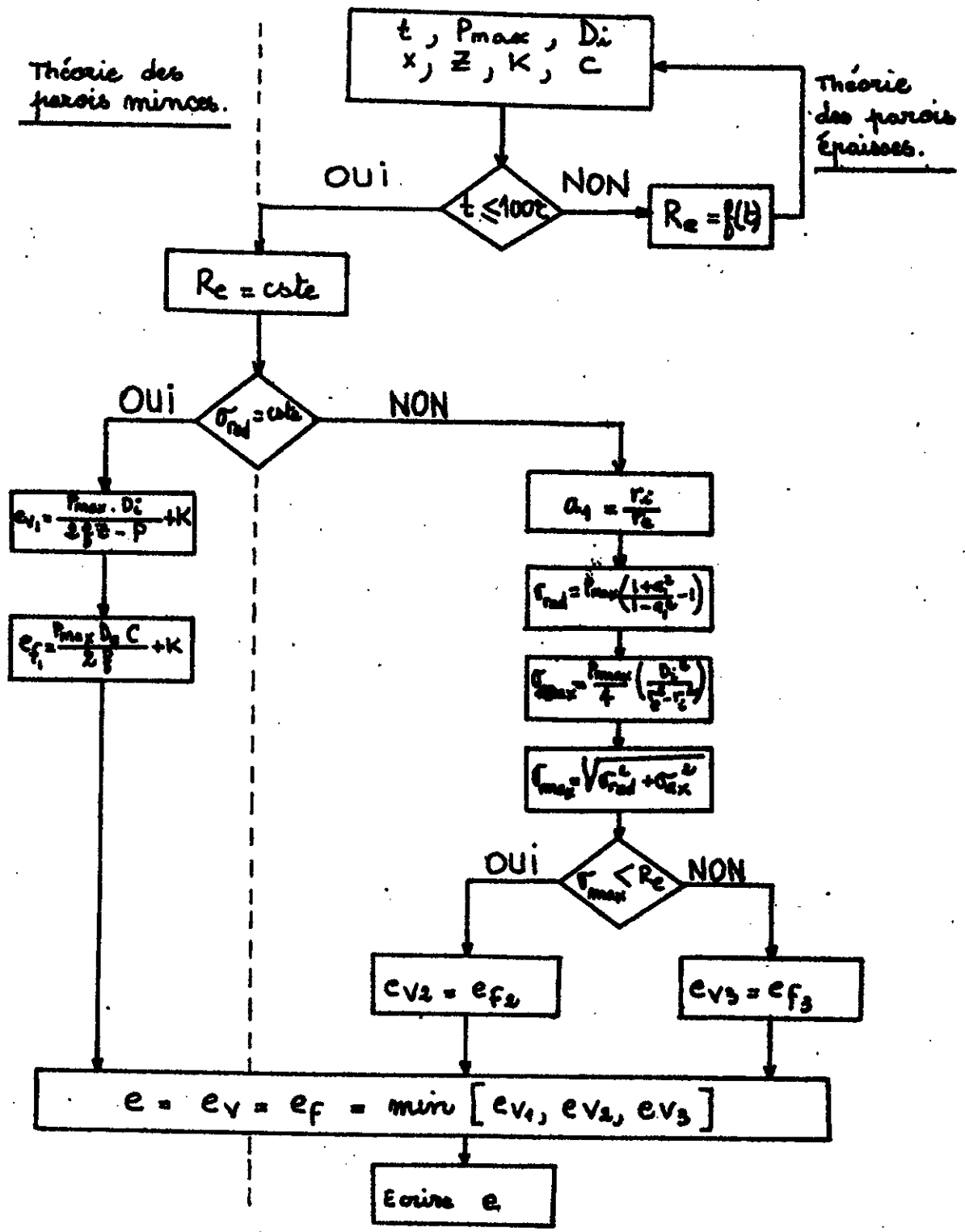
on a $x = 168,55 \text{ mm}$ d'où $D_{fi} = 741 \text{ mm}$.

T A B L E A U R E C A P I T U L A T I F

DES DIMENSIONS DU RESERVOIR

DESIGNATION	VALEUR (mm)
D_i	660
D_e	696
e_v	18
e_f	18
h_1	220
h_2	110
l	660
L	1320
L_t	1356
D_{fi}	747

Organigramme pour le calcul de l'épaisseur



III-2.2.3. ETUDE DE LA ZONE PLASTIQUE :

La répartition des contraintes au voisinage du fond de la fissure est illustrée par le modèle d'IRWIN (voir figure 10). Monsieur IRWIN a supposé que la zone plastique est circulaire de rayon R et que la contrainte normale est égale à la limite d'élasticité R_e .

Il a supposé en plus que le profil des contraintes élastiques hors de la zone plastique est le même que celui que l'on détermine dans l'analyse purement élastique si on le décale d'une quantité r_0 .

Ce modèle est approximatif à cause du choix de la forme circulaire mais très utile du point de vue pratique car il sert à déterminer KIC qui caractérise quantitativement la résistance du matériau à la propagation initiale d'une fissure, KIC est indépendant de la géométrie de l'entaille et l'éprouvette. D'après la figure (11), l'axe OX est principal, on a $\xi_{rx} = \xi_{Ox} = \tau_{rx} = \tau_{Ox} = 0$.

Ainsi $\sigma_x = \nu (\sigma_r + \sigma_t)$ où ν est le coefficient de poisson, c'est le cas de la déformation plane. Celui-ci est étendu au cas du cylindre long soumis à des forces normales à l'axe Ox.

Dans ce cas on n'a pas $\xi_x = 0$ mais $\xi_x = \text{constante}$.

Le rayon de la zone plastique en déformation plane est donnée par :

$$r_p = \frac{1}{6\pi} \left(\frac{KI}{R_e} \right)^2 = \frac{R}{2}$$

- où : KI : facteur d'intensité de contrainte, en $\left[\frac{\text{Mpa} \sqrt{\text{m}}}{\text{m}} \right]$
- R_e : limite élastique en traction uniaxiale, en $\left[\text{Mpa} \right]$
- R : la taille de la zone plastique, en $\left[\frac{\text{m}}{2} \right]$

La contrainte d'utilisation maximale pour avoir une fuite avant la rupture brutale est donnée par la relation (d'après la rupture des métaux de François D) :

$$\sigma_{\max} = \frac{K_{IC}}{2 \sqrt{e}}$$

- où : K_{IC} : facteur d'intensité de contrainte critique, en $\left[\frac{\text{Mpa} \sqrt{\text{m}}}{\text{m}} \right]$
- e : épaisseur, en $\left[\text{m} \right]$

Une approche similaire consiste à estimer d'après les expériences faites que la contrainte plane est suffisamment tenace pour assurer une sécurité convenable. Le mode de déformation dans la zone plastique en avant de la fissure passe approximativement de la déformation plane à la contrainte plane quand $R < \frac{e}{5}$

En utilisant la relation entre R et KI, la rupture en déformation plane ne se produira si $KI \leq K_{IC}$ pour une épaisseur $e \leq e^*$, où e^* représente l'épaisseur critique

$$\frac{1}{3\pi} \left(\frac{K_{IC}}{Re} \right)^2 \geq \frac{e^*}{5}$$

$$e^* \leq \frac{1}{2} \left(\frac{K_{IC}}{Re} \right)^2$$

Dans notre cas, en utilisant les indications de la rupture des métaux de français D.

- Application numérique : $K_{IC} = 180 \text{ Mpa } \sqrt{\text{m}}$

$$Re = 500 \text{ MPa}$$

$$e = 18 \text{ mm} = 0,018 \text{ m}$$

$$e^* \geq \frac{1}{2} \left(\frac{K_{IC}}{Re} \right)^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{180}{500} \right)^2 = 0,0648 \text{ m}$$

$$e^* \geq 64,8 \text{ mm}$$

donc $e = 18 \text{ mm}$ vérifie l'inégalité $e \leq e^*$

III.2.2.4. LES OUVERTURES :

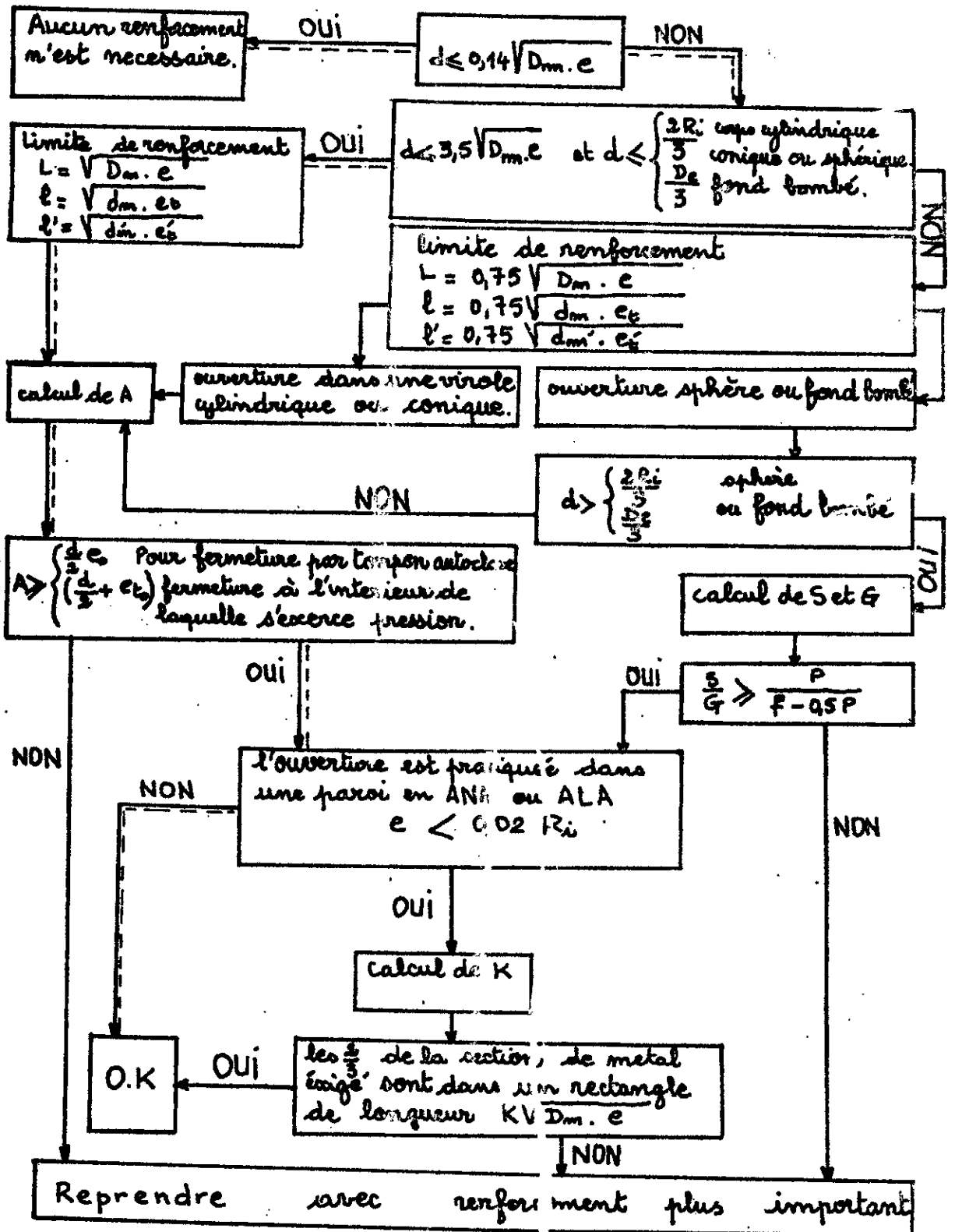
Une ouverture pratiquée sur la paroi d'un appareil, pour une arrivée ou un départ de fluide, pour permettre la visite ou nettoyage intérieur, ou pour fixer un organe de contrôle,...etc, cause un affaiblissement de cette paroi,.

Une discontinuité qui engendrent toujours des contraintes supplémentaires. Il est donc nécessaire très souvent de renforcer convenablement cette partie. Cependant, même avec renforcement adéquat, une ouverture est toujours un des points les plus délicats d'un appareil à pression.

Le calcul des ouvertures dans des parois soumises à des pressions intérieures n'est correct que si les conditions de forme et d'emplacements suivants sont remplies (d'après le code 1969 de construction des appareils à pression non soumis à l'action de la flamme) :

- C1 : les ouvertures sont circulaires, elliptiques, ovales : le rapport du plus grand au plus petit diamètre étant petit rayon de courbure n'est pas inférieur au $\frac{1}{8}$ du plus grand diamètre.
- C2 : Le centre de l'ouverture est à une distance au moins égale à $\frac{d}{2} + \sqrt{Dm}$ e de toute la ligne de raccordement avec une autre forme d'enveloppe (d étant le diamètre de l'ouverture).
- C3 : Si l'ouverture est celle d'une tubulure soudée, l'axe de la tubulure n'est incliné de plus de 15° par rapport à la normale à la paroi, au centre de l'ouverture.
Les épaisseurs e_t et e'_t de la tubulure ne dépasse pas 1,2 fois l'épaisseur du corps à l'endroit du passage (càd, y compris l'épaisseur des tôles de renforts plaquées sur la paroi, s'il en y a).
- C4 : En outre, pour les fonds elliptiques ou en anse de panier, les règles ne s'appliquent qu'aux ouvertures situées dans la partie centrale du fond, de telle sorte qu'en projection, leur distance de leurs renforts à la partie cylindrique ne soit pas inférieure à 0,1 Dc.

Organigramme de l'étude du renforcement local d'une ouverture isolée.



NOTATION : (voir figures 12 et 13)

e - épaisseur totale de la paroi (y compris renforts)

e_o - épaisseur minimale de la paroi du corps sans joint, ni ouverture, nécessaire pour la résistance à la pression intérieure.

e_t - épaisseur de la tubulure.

e_t' - épaisseur de la tubulure avec renfort intérieur.

e_{to} - épaisseur minimale de la tubulure nécessaire pour la résistance à la pression intérieure.

L, l, l' - longueurs qui déterminent les limites de renforcement.

L' - Longueur totale de renforcement

K - Constance

$$K = 1 + \frac{100e}{ri}$$

$$4,5$$

Calcul :

1. Ouverture de sortie (dans le fon bombé) :

$$Q_s = S_s V_s$$

où : Q_s : débit de sortie, en [m³/s]

S_s : Section circulaire de sortie, en [m²]

V_s : Vitesse de sortie, en [m/s]

Le diamètre de sortie d_s est :

$$D_s = \sqrt{\frac{4 Q_s}{\pi V_s}}$$

- Application numérique : $Q_s = 0,005 \text{ m}^3/\text{s}$; $V_s = 10 \text{ m/s}$

$$ds = \frac{\sqrt{4 \cdot 0,005}}{10} = 0,025 \text{ m} \quad ; \quad ds = 25 \text{ mm}$$

- Le diamètre moyen : $dm = d_s + e_t$

$$\text{la contrainte tangentielle, } \sigma_t = \frac{ds \cdot P_{\max}}{2 \cdot e_t}$$

$$\text{la contrainte radiale : } \sigma_r = - P_{\max}$$

Si nous négligeons la contrainte axiale dans le tube, la contrainte maximale sera égale **red.**

$$\sigma_{\max} = \sigma_{\text{red}} = \sigma_t - \sigma_r = P_{\max} \left(1 + \frac{ds}{2 \cdot e_t} \right)$$

Pour un acier à 0,2 %C laminé à chaud, matériau des tubulures, la limite d'élasticité $R_e = 280 \text{ Mpa}$. Et sachant que $\max = \frac{R_e}{S}$

on a l'épaisseur minimale e_{t_0} :

$$e_{t_0} = \frac{ds}{\frac{R_e}{S \cdot P_{\max}} - 1}$$

- Application numérique :

$$R_e = 280 \text{ MPa} \quad ; \quad d_s = 25 \text{ mm} \quad ; \quad S = 1,6 \quad ; \quad P_{\max} = 25 \text{ Mpa}$$

$$e_{t_0} = \frac{25}{\left[\frac{280}{1,6 \cdot 25} - 1 \right]} = 4,16 \text{ mm}$$

$$e_{t_0} = 5 \text{ mm}$$

on prend $e_t = 2 \text{ et } e_{t_0}$

$$e_t = 10 \text{ mm}$$

- Le diamètre moyen de l'ouverture :

$$dm = ds + e_t$$

$$dm = 25 + 10 = 35 \text{ mm}$$

$$dm = 35 \text{ mm}$$

- Diamètre de l'ouverture :

$$d = d_m + e_t$$

$$d = 35 + 10 = 45 \text{ mm}$$

$d = 45 \text{ mm}$

- Diamètre moyen du fond :

$$D_m = D_i + e_o$$

$$D_m = 741 + 18 = 759 \text{ mm}$$

$D_m = 759 \text{ mm}$

$$* 0,14 \sqrt{D_m \cdot e}$$

$$e = e_o + e_{\text{renf}} = e_o + \frac{e_o}{2} = \frac{3}{2} e_o$$

$$e = \frac{3}{2} e_o = \frac{3}{2} \times 18 = 27 \text{ mm}$$

$$D_m = 759 \text{ mm}$$

$$0,14 \sqrt{D_m \cdot e} = 20$$

$$d = 40 \text{ mm} > 0,14 \sqrt{D_m \cdot e} = 20$$

donc le renforcement est nécessaire

$$\left\{ \begin{array}{l} 3,5 \sqrt{D_m \cdot e} = 501 \\ \frac{D_e}{3} = \frac{D_m + e_o}{3} = 259 \end{array} \right.$$

Nous remarquons que : $d < 3,5 \sqrt{D_m \cdot e}$

et

$$d < \frac{D_e}{3}$$

- Limites de renforcement :

En prenant $e_t = e't$ et $d_m = d_m'$; on obtient :

$$\left\{ \begin{array}{l} L = \sqrt{D_m \cdot e} = 144 \text{ mm} \\ l = \sqrt{d_m \cdot e_t} = 18,7 \text{ mm} \\ l' = \sqrt{d'_m \cdot e'_t} = 18,7 \text{ mm} \end{array} \right.$$

- Surface de compensation A :

$$A = \left[(d + L)^2 - (d)^2 \right] \frac{\pi}{4}$$

- Application numérique : $d = 40 \text{ mm}$; $L = 144 \text{ mm}$

$$A = \left((40 + 144)^2 - (40)^2 \right) \frac{\pi}{4} = 25334 \text{ mm}^2$$

- Vérification :

$$* \left(\frac{d}{2} + e_{to} \right) e_o = \left(\frac{40}{2} + 5 \right) 18 = 450 \text{ mm}^2$$

$$A > \left(\frac{d}{2} + e_{to} \right) e_o$$

$$* e > 0,02 Ri$$

$$27 > 0,02 \cdot 370,5 = 7,41.$$

- Conclusion : Le renforcement est valable

2 - OUVERTURE D'ENTREE (dans le fond bombé)

Le remplissage se fait normalement si le débit d'entrée est supérieur à celui de la sortie pour une même vitesse, on peut prendre le diamètre d'entrée supérieur à celui de la sortie.

$$\text{soit } d_e = 30 \text{ mm}$$

$$d'où \quad d_m = d_e + e_t = 30 + 10 = 40 \text{ mm}$$

$$d = d_m + e_t = 40 + 10 = 50 \text{ mm}$$

par analogie avec le calcul de sortie, on a :

$$d > 0,14 \sqrt{D_m e} = 20 \text{ donc le renforcement est nécessaire.}$$

$$d < 3,5 \sqrt{D_m \cdot e} = 501 \text{ mm}$$

$$d < \frac{D_e}{3} = 259 \text{ mm}$$

- Limites de renforcement :

$$L = \sqrt{D_m \cdot e} = \sqrt{759.27} = 144 \text{ mm}$$

$$l = \sqrt{d_m \cdot e_t} = \sqrt{40.10} = 20 \text{ mm}$$

$$l' = \sqrt{d'_m \cdot e_t} = \sqrt{40.10} = 20 \text{ mm}$$

- La surface de compensation :

$$A = \frac{\pi}{4} \left[(d + L)^2 - d^2 \right]$$

$$A = \frac{\pi}{4} \left[(50 + 144)^2 - (50)^2 \right] = 27596 \text{ mm}^2$$

- Vérification :

$$* \left(\frac{d}{2} + e_{t_0} \right) e_0 = \left(\frac{50}{2} + 5 \right) 18 = 540 \text{ mm}^2$$

$$A > \left(\frac{d}{2} + e_{t_0} \right) e_0$$

$$* e = 27 > 0,02 R_i = 0,02 \times 370,5 \approx 7,41$$

Conclusion : Le renforcement est valable.

3 - TROU DE NETTOYAGE : (dans le cylindre)

Nous choisissons un trou circulaire de diamètre

$$d = 100 \text{ mm car : } D = 660 \text{ mm et } L = 1,32 \text{ m}$$

$$D < 800 \text{ mm et } L < 2,50 \text{ m}$$

$$d > 0,14 \sqrt{D_m \cdot e} = 0,14 \sqrt{678.27} = 19 \text{ mm}$$

donc le renforcement est nécessaire

$$d < 3,5 \sqrt{D_m \cdot e} = 474 \text{ mm}$$

$$d < \frac{2R_i}{3} = 220$$

- L'épaisseur minimale du tube :

$$e_{t_0} = \frac{d_i}{\left(\frac{Re}{S_{pmax}} - 1 \right)}$$

$$e_{t_0} = \frac{165}{\frac{280}{1,6 \cdot 25} - 1} = 10,83 \text{ mm}$$

on prend $e_t = e_{t'} = 17,5 \text{ mm}$

- diamètre moyen :

$$d_m = d_h = d - e_t = 100 - 17,5 = 82,5 \text{ mm}$$

- limites de renforcement :

$$L = \sqrt{D_m \cdot e} = \sqrt{678,27} = 136 \text{ mm}$$

$$l = \sqrt{d_m \cdot e_t} = \sqrt{82,9 \cdot 17,5} = 38 \text{ mm}$$

$$l' = \sqrt{d_m \cdot e_{t'}} = \sqrt{82,5 \cdot 17,5} = 38 \text{ mm}$$

- Calcul de la surface de compensation :

$$A = \frac{\pi}{4} \left[(d + L)^2 - d^2 \right]$$
$$A = \frac{\pi}{4} \left[(100 + 136)^2 - (100)^2 \right] = 35889 \text{ mm}^2$$

$$- \left(\frac{d}{2} + e_{t_0} \right) e_o = \left(\frac{100}{2} + 10,83 \right) 18 = 1095 \text{ mm}^2$$

Nous remarquons que :

$$A > \left(\frac{d}{2} + e_{t_0} \right) e_o$$

et

$$e = 27 \text{ mm} > 0,02 R_i = 0,02 \cdot 330 = 6 \text{ mm}$$

Conclusion : le renforcement est valable

4 - LES TROUS DE SECURITE ET CONTROLE : (Soupape-manomètre-purge)

Les diamètres des ouvertures de contrôle et sécurité sont normalisés soit $d = d_s = d_m = d_p = 14 \text{ mm}$

$$d \ll 0,14 \sqrt{D_m \cdot e} = 0,14 \sqrt{678,18} = 15,46 \text{ mm}$$

donc le renforcement n'est pas nécessaire.

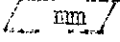

- L'épaisseur minimale du tube :

$$e_{t_0} = \frac{d_i}{\left(\frac{Re}{SP_{\max}} - 1 \right)} = \frac{4}{\left(\frac{280}{1,6 \cdot 25} - 1 \right)} = 0,66 \text{ mm}$$

On prend $e_t = 5 \text{ mm}$

TABLEAU RECAPITULATIF DES DIMENSIONS

FONDAMENTALES DES OUVERTURES

OUVERTURES	D  mm	L  mm	e _R (mm)
ENTREE	50	144	9
SORTIE	45	144	9
TROU DE NETTOYAGE	100	136	9
SOUPAPE	14	/	0
MANOMETRE	14	/	0
PISTON	14	/	0

IV. CALCUL DES ASSEMBLAGES BOUDES :IV. 1. Cas des sollicitations statiques :

Deux méthodes sont envisagées pour le calcul des assemblages soudés en sollicitations statiques. La première est celle des règles normalisées basées sur des essais de rupture, respectant les conditions suivantes :

- Les règles de bonne pratiques relatives à la conception et à l'exécution des assemblages sont observées.
- Les caractéristiques mécaniques du métal déposé sont au moins équivalentes à celle du métal de base.
- Les règles permettant d'éliminer le risque d'apparition de ruptures fragiles sont respectées.

Pour les soudures en bout à bout, il suffit de respecter les règles de bonne pratique, tandis que pour les soudures d'angle il faut utiliser les expressions des contraintes de comparaison σ_c

$$\sigma_c \leq \sigma_{adm}$$

En mettant en évidence, les contraintes dans la section de gorge du cordon en projetant les sollicitations extérieures on a :

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_{\parallel}^2 + k \left[\sigma_{\perp}^2 + \lambda (\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2) \right]}$$

où k, λ sont des paramètres expérimentaux.

Cette formule a été simplifiée par l'institut international de soudure après essais

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 1,8(\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)}$$

Il est important de signaler que les règles normalisées basées sur le critère de rupture expérimental, ne sont applicables que pour les aciers de construction soudables dont la limite d'élasticité est inférieure ou égale à 355 MPa.

L'autre méthode est celle basée sur le critère de cisaillement maximal.

Soient 1, 2, 3, les contraintes principales et R''_e la limite d'élasticité au cisaillement du matériau. Les conditions de plasticité s'écrivent sous la forme suivante :

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_c = \sigma_1 - \sigma_3 = 2 R''_e \quad (\text{Tresca - Guest}) \\ \sigma_c = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2} = 3 R''_e \\ \sigma_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \end{array} \right. \quad (\text{HENCKY - Von mises})$$

La condition de résistance est :

$$\tau_{\max} < R''_{MD} = \frac{R''_{eMD}}{S}$$

où : R''_{MD} : est la contrainte admissible au cisaillement du métal déposé.

R''_{eMD} : est la limite d'élasticité au cisaillement du métal déposé.

S : est le coefficient de sécurité de la soudure.

$$(S = 1 \text{ à } 1,5)$$

Nous vous proposons de déterminer les gorges des soudures qui vérifient les conditions de résistance (voir figure 14)

1 - Les soudures bout à bout :

a) Le cordon circulaire : (N° 1 - figure 14)

Dans ce cas :

$$\sigma_1 = \sigma_{t_{\max}}$$

$$\sigma_3 = \sigma_r$$

$$\sigma_2 = \sigma_{ax}$$

La contrainte admissible du métal de base :

$$\sigma_{\text{adm}} = \frac{R_e}{X} = \frac{500}{0,85} = 588 \text{ MPa}$$

X étant le coefficient de sécurité du métal de base.

- La contrainte de cisaillement admissible est donné en pratique à partir de la contrainte de traction par la relation : $\tau_{adm} = 0,65 \cdot \sigma_{adm}$

$$\tau_{adm} = 0,65 \times 388 = 382 \text{ MPa}$$

- La limite d'élasticité au cisaillement du métal déposé :

$$Re_{MD} = \tau_{adm} \text{ cordon} = Z \cdot \tau_{adm}$$

où Z est le coefficient de qualité de la soudure.

Dans notre cas Z = 0,9 d'où :

$$Re_{MD} = 0,9 \cdot 382 = 344 \text{ MPa}$$

- La contrainte de cisaillement maximale :

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_t - \sigma_r}{2} = \frac{\sigma_{t \text{ max}} + \sigma_r}{2}$$

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_{t \text{ max}} = 388 \text{ MPa} \\ \sigma_r = 25 \text{ MPa} \end{array} \right\} \tau_{max} = 207 \text{ MPa}$$

En prenant le coefficient de sécurité de la soudure

$$S = 1,1$$

$$\tau_{max} \leq \frac{Re_{MD}}{S}$$

$$207 \leq 313$$

Conclusion : En prenant la gorge de la soudure circulaire de la virole égale à l'épaisseur e du réservoir (e = 16 mm), la condition de résistance sera vérifiée malgré que le cordon sera soumis aux forces maximales.

b) Le cordon longitudinal (n° 2 figure 14)

Dans ce cas : $\sigma_1 = \sigma_{ax}$

$$\sigma_2 = \sigma_t$$

$$\sigma_3 = -\sigma_r$$

. La contrainte de cisaillement maximale :

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{\sigma_{ax} + \sigma_r}{2}$$

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_{ax} = 223 \text{ MPa} \\ \sigma_r = 25 \text{ MPa} \end{array} \right\} \tau_{\max} = 124 \text{ MPa}$$

Conclusion : En prenant la gorge de la soudure longitudinale égale à l'épaisseur e du réservoir ($e = 18 \text{ mm}$), la condition de résistance sera vérifiée.

$$\tau_{\max} \ll \frac{R_{eH}}{S}$$

$$124 \ll 313$$

Remarque : Pour les assemblages bout à bout, le cordon circulaire est le plus dangereux.

2°) LES SOUDURES D'ANGLE :

a) Les cordons de sortie : (N° 3 figure 14)

Données : $d_s = 25 \text{ mm}$

$$d = 45 \text{ mm}$$

$$e_t = 10 \text{ mm}$$

$$e_o = 18 \text{ mm}$$

$$e_r = 9 \text{ mm}$$

$$L = 144 \text{ mm}$$

$$P = 25 \text{ MPa}$$

- L'effort agissant :

$$F = P \left[(d+2L)^2 - d_s^2 \right] \frac{\pi}{4}$$

- La contrainte maximale de cisaillement :

$$\tau_{\max} = 0,85 \frac{F}{A}$$

A est la section totale des soudures. En supposant que nous n'avons pas de cratères.

$$A = 2 (0,7 e_t l_t) + (0,7 e_r l_r)$$

$$A = 2 \left[0,7 e_t \pi d \right] + \left[0,7 e_r \pi (d+2L) \right]$$

$$\tau_{\max} = 0,85 \frac{P \left[(d+2L)^2 - d_s^2 \right] \frac{\pi}{4}}{2 \left[0,7 e_t \pi d \right] + \left[0,7 e_r \pi (d+2L) \right]}$$

- Application numérique :

$$\tau_{\max} = 0,85 \frac{25 \left[(45 + 2 \times 144)^2 - (25)^2 \right] \frac{\pi}{4}}{2 \left[0,7 \cdot 10 \cdot \pi \cdot 45 \right] + \left[0,7 \cdot 9 \cdot \pi (45 + 2 \times 144) \right]}$$

$$\tau_{\max} = 214 \text{ MPa}$$

Conclusion : La condition de résistance est vérifiée

$$\tau_{\max} \leq \frac{R_{eH}}{S}$$

$$214 \leq 313$$

b) Les cordons d'entrée : (N° 4 fig. 14)

données :

$$d_e = 30 \text{ mm}$$

$$d = 50 \text{ mm}$$

$$e_t = 10 \text{ mm}$$

$$e_o = 18 \text{ mm}$$

$$e_r = 9 \text{ mm}$$

$$L = 144 \text{ mm}$$

$$P = 25 \text{ MPa}$$

- La contrainte maximale de cisaillement :

$$\tau_{\max} = 0,85 P \frac{\left[(d + 2 L)^2 - d_e^2 \right] \frac{\pi}{4}}{2 \left[0,7 e_t \pi d \right] + \left[0,7 e_r \pi (d + 2 L) \right]}$$

- Application numérique :

$$\tau_{\max} = 0,85 \cdot 25 \frac{\left[(50 + 2 \times 144)^2 - (30)^2 \right] \frac{\pi}{4}}{2 \left[0,7 \cdot 10 \cdot \pi \cdot 50 \right] + \left[0,7 \cdot 9 \cdot \pi (50 + 2 \times 144) \right]}$$

$$\tau_{\max} = 213 \text{ MPa}$$

Conclusion : La condition de résistance est vérifiée :

$$\tau_{\max} < \frac{Re_{MO}}{S}$$

$$213 < 313$$

c) Les cordons du trou de nettoyage : (N° 5 figure 14)

données :

- d = 100 mm
- e_t = 18 mm
- e_o = 18 mm
- e_r = 9 mm
- H = 136 mm
- d_i = 65 mm
- P = 25 MPa

• La contrainte maximale de cisaillement :

$$\tau_{\max} = 0,85 P \frac{\left[(d + 2 L)^2 - (d_i)^2 \right] \frac{\pi}{4}}{2 \left[0,7 e_t \pi d \right] + \left[0,7 e_r \pi (d + 2 L) \right]}$$

• Application numérique :

$$\tau_{\max} = 0,85 \cdot 25 \frac{\left[(100 + 2 \times 136)^2 - (65)^2 \right] \frac{\pi}{4}}{2 \left[0,7 \cdot 18 \cdot \pi \cdot 100 \right] + \left[0,7 \cdot 9 \cdot \pi (100 + 2 \times 136) \right]}$$

$$\tau_{\max} = 147 \text{ MPa}$$

Conclusion : La condition de résistance est vérifiée

$$\tau_{\max} < \frac{Re_{MD}}{S}$$

$$147 < 313$$

d) Les cordons des tuyauteries de contrôle, sécurité et purge :
(N° 6, 7, 8 figure 14)

données : $d_i = 4 \text{ mm}$
 $d = 14 \text{ mm}$
 $e_t = 5 \text{ mm}$
 $P = 25 \text{ MPa}$

. La contrainte maximale de cisaillement.

$$\tau_{\max} = \frac{0,85 P \left[d^2 - d_i^2 \right] \frac{\pi}{4}}{0,7 e_t \cdot \pi \cdot d}$$

. Application numérique :

$$\tau_{\max} = \frac{0,85 \cdot 25 \left[(14)^2 - (4)^2 \right] \frac{\pi}{4}}{0,7 \cdot 5 \cdot \pi \cdot 14}$$

$$\tau_{\max} = 19,5 \text{ MPa}$$

Conclusion : La condition de résistance est vérifiée

$$\tau_{\max} < \frac{R_{eH}}{S}$$

$$19,5 < 313$$

Remarque : Pour les soudures d'angle, le cordon de sortie
(N° 3) est le plus dangereux.

TABLEAU DES VALEURS DES CONTRAINTES DE CISAILLEMENT MAXIMALES

N° DES CORDONS	TYPE DE CORDON	LA CONTRAINTE MAXIMALE [MPa]	CONTRAINTE ADMISSIBLE DE CISAILLEMENT DU METAL DEPOSE [MPa]
1	Bout à bout	207	313
2	bout à bout	124	313
3	angle	214	313
4	angle	213	313
5	angle	147	313
6	angle	19,5	313
7	angle	19,5	313
8	angle	19,5	313

IV.2. CAS DES SOLLICITATIONS VARIABLES :

Dans ce paragraphe, nous nous proposons d'étudier les ruptures par fatigue dues aux sollicitations variables. Il spectre (figure 15) est la fonction du temps décrivant les contraintes que l'assemblage subit en service. En pratique, dans le domaine de la construction mécanique et métallique, on se contente de préciser les valeurs des paramètres $\bar{\sigma}_{\max}$ (la plus grande valeur algébrique de la contrainte variable subie par l'assemblage) et R_s (le rapport algébrique de la contrainte maximale à la contrainte minimale).

Pour les très faibles fréquences telles qu'on rencontre dans certaines constructions chaudronnées comme les réservoirs à pression, on peut obtenir des contraintes élevées qui sont appliquées qu'un faible nombre de fois au cours de la vie de la construction. Si ces contraintes sont suffisamment élevées pour conduire au phénomène de la fatigue, on parle alors de fatigue oligocyclique. La résistance à la fatigue $\bar{\sigma}_N$ est la valeur de la contrainte $\bar{\sigma}_{\max}$ pour laquelle l'éprouvette présente une durée de vie de N cycles. A chaque valeur de R_s correspond une valeur de la résistance à la fatigue $\bar{\sigma}_N$.

La limite d'endurance $\bar{\sigma}_D$ est la plus grande valeur de $\bar{\sigma}_{\max}$ pour laquelle l'éprouvette présente une durée de vie infinie.

La résistance en fatigue $\Delta \bar{\sigma}_N$ dépend :

- de la durée de vie N de l'assemblage
- de la classe à laquelle appartient l'assemblage.
- du type de spectre auquel il est soumis et qui est caractérisé par le facteur de forme P.

La manière cohérente d'introduire la sécurité, quelle que soit la durée de vie N est d'adopter $\bar{\sigma}_N = \Delta \bar{\sigma}_D$.

Pour les courbes de WOELLER correspondant à des spectres de contraintes d'amplitudes constantes, le facteur de forme $P = 1$ (d'après application du sondage aux constructions R. BAUS et W. CHAPEAU). Dans notre cas, nous avons la classe F pour un assemblage bout à bout réalisé par soudage automatique sous flux.

- Pour $N = 2 \cdot 10^6$ cycles et le facteur de forme $P = 1$ et d'après la figure 16.

$$\frac{\Delta \bar{\sigma}_{NP} = 2,5 \%}{\Delta \bar{\sigma}_{DP} = 2,5 \%} = 1$$

Nous avons la classe F, donc $\Delta \bar{\sigma}_{DP} = 2,5 \% = 61 \text{ MPa}$

on déduit $\Delta \bar{\sigma}_{NP} = 2,5 \% = 61 \text{ MPa}$

- La contrainte agissante $\Delta \bar{\sigma}_F = P_{\max} - P_{\min}$

$$\Delta \bar{\sigma}_F = 25 - 20 = 5 \text{ MPa}$$

On introduit la résistance sous forme de minoration de la résistance en fatigue.

$$\Delta \bar{\sigma}_{Dadm} = \frac{\Delta \bar{\sigma}_{DP} = 2,5 \%}{S}$$

S : Le coefficient de minoration pour la sécurité en prenant $S = 1,32$.

$$\Delta \bar{\sigma}_{D adm} = \frac{61}{1,32} = 46,2 \text{ MPa}$$

$$\Delta \bar{\sigma}_{Nadm} = \Delta \bar{\sigma}_{Dadm} = 46,2 \text{ MPa}$$

On conclue que la condition de résistance et sécurité est vérifiée :

$$\Delta \bar{\sigma}_F \leq \Delta \bar{\sigma}_{N adm}$$
$$5 \text{ Mpa} \leq 46,2 \text{ MPa}$$

Nous pouvons calculer la durée de vie minimale garantie A.

$$A = \frac{N}{f}$$

où : N -- le nombre de cycles

f -- la fréquence des efforts répétés.

En supposant que la température dans le réservoir reste sensiblement constante.

$$P_{\max} \cdot V1 = P_{\min} \cdot V2$$

$$V2 = \frac{P_{\max} \cdot V1}{P_{\min}}$$

$$\text{La fréquence est donnée par } f = \frac{Qs}{V2} = \frac{Qs \cdot P_{\min}}{P_{\max} \cdot V1}$$

Q_s étant le débit à la sortie du réservoir .

- Application numérique :

$$P_{\max} = 25 \text{ MPa}$$

$$P_{\min} = 20 \text{ MPa}$$

$$V_1 = 0,4 \text{ m}^3$$

$$Q_s = 0,005 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$f = Q_s \frac{P_{\min}}{P_{\max} V_1}$$

$$f = 0,005 \frac{20}{25 \cdot 0,4} = 0,01 \text{ cycle /s}$$

$$f = 315360 \text{ cycles/an}$$

La durée de vie minimale garantie :

$$A = \frac{N}{f}$$

$$A = \frac{2 \cdot 10^6}{315360} = 6,34 \text{ ans}$$

$$A = 6,34 \text{ ans.}$$

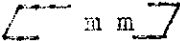
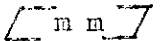
V. TECHNOLOGIE D'EXECUTION :

L'exécution de la construction du réservoir comporte les opérations suivantes :

1. Le planage.
2. Le traçage.
3. Le découpage.
4. La mise en forme.
 - 4.1. L'exécution de la virole du réservoir.
 - 4.2. L'exécution des fonds bombés du réservoir.
5. Le soudage.
6. Le contrôle.

V.1. Le planage :

Cette opération est nécessaire avant d'entamer toute autre opération (surtout pour les tôles minces) afin d'éliminer toutes les déformations possibles lors du transport et la manutention. Dans notre cas, nous pouvons choisir la planeuse de type SP4-170, qui possède les caractéristiques suivantes :

Largeur maximale  m m	2 500
épaisseur maximale  m m	22
Nombre de cylindre	9

V.2. Le traçage :

Cette opération consiste en la reproduction sur la tôle du développement réel ou indispensable pour exécuter les éléments de la pièce. Le traceur sera en possession du matériel nécessaire comprenant des règles, des équerres, des compas, d'un rapporteur, etc.

V.3. Le découpage : (cisailage)

Cette opération consiste à affranchir les bords de la tôle ou couper la partie superflue à partir de la tôle de commerce de trop grande dimension.

La capacité de la machine est définie par la largeur comprise entre les montants et l'épaisseur maximale à couper donnée le constructeur pour un matériau de caractéristiques bien déterminées et qui ne doit jamais être dépassée. Vu la grandeur des dimensions des tôles utilisées, une cisaille mécanique ne conviendrait, ceci nous mène de choisir le plasma-coupage.

Ce procédé nous permet d'avoir une coupe rapide et une qualité qui nécessite pas des retouches de finition.

Pour le découpage des aciers alliés, l'appareil du type UPR-201, convient très bien et a pour caractéristiques :

épaisseur maximale à découper [mm]	40
tension du réseau [volts]	380-400-415
intensité [A]	150 - 200
tension à vide [volts]	180
gaz-utilisé	air
dimension [mm]	1065 X 816 X 940
Vitesse de découpage [mm/min]	1200

En cas, d'inexistence de cet appareil, on peut faire usage du chalumeau coupeur.

V.4. LA MISE EN FORME :

V.4.1. L'exécution de la virole du réservoir :

La virole du réservoir peut-être obtenue par deux méthodes (cintrage ou roulage, étirage), mais la première est largement utilisée dans la construction des réservoirs. Le cintrage des tôles s'effectue sur des machines à trois rouleaux (figures 17.a.b). En a, Les rouleaux entraineurs A_1 , A_2 ont leurs axes fixes et sont commandés par le même engrenage. C'est le cintreur C qui se déplace verticalement pour donner la courbure de la tôle.

En b, les deux rouleaux entraineurs sont A_1 , A_2 . A_1 seul est commandé, A_2 pince la tôle par pression verticale produite par des vis à ses extrémités. C'est le cintreur qui se déplace obliquement.

Les diamètres des rouleaux sont fonction des efforts de flexion à supporter au cours de l'opération de cintrage.

Le cintrage de la tôle s'obtient par une suite de mouvements de va et vient mais les extrémités doivent être amorcées préalablement.

Il existe des machines à quatre rouleaux qui permettent l'amorçage (figure 18).

Le cintrage peut se faire à froid après recuit ou à chaud. Dans notre cas, le métal est recuit, cela nous réduit l'érouissage qui se produit à froid pour des rayons de courbures réduits.

La machine à cintrer choisie est une cintreuse à 4 rouleaux du type 376 P ayant les caractéristiques suivantes :

Epaisseur maximale	[mm]	25
Largeur maximale	[m m]	2500
Rayon minimum	[m m]	300
Vitesse	[m / m]	7,15
Puissance	[kW]	58,2
Dimensions	[m m]	7695X2350X2015
Nombre de cylindre		4

V.4.2. Exécution des fonds bombés du réservoir :

Les fonds sont obtenus par emboutissage, en utilisant une presse. Ce procédé est le formage des corps creux par déformation plastique des métaux en feuille. Certaines forges sont spécialisées dans la fabrication des formes courantes. Les étapes de cette opération sont décrites par la figure 19 ; celle-ci est suivie d'une variation de l'épaisseur. La forme de la pièce est représentée dans la figure 19. Le diamètre du flan est donnée par la formule [d'après le livre déformation plastique des tôles de R. QUARTREMER]

$$D = \sqrt{d^2 + 4 [h_1^2 + h_2^2]}$$

Application numérique :

$$d = 660 \text{ mm} , h_1 = 220 \text{ mm} , h_2 = 110 \text{ mm}$$

$$D = \sqrt{(660)^2 + 4 [(220)^2 + (110)^2]} = 823 \text{ mm}$$

$$D = 823 \text{ mm}$$

V.5. LE SOUDAGE :

V.5.1. Etude de la soudabilité :

La soudabilité est l'aptitude du métal de former des assemblages rigides dont les propriétés physico-chimiques et mécaniques peuvent être proches de celles du métal de base. Elle dépend surtout de la composition du métal de base, du procédé de soudage choisi, du métal d'apport, de l'épaisseur, et des conditions **constructives et technologiques**. Les aciers alliés et les aciers spéciaux ont une conductivité thermique moins grande et un coefficient de dilatation linéaire agrandi. Ces propriétés provoquent respectivement une concentration de chaleur et une déformation des pièces soudées, si des mesures constructives ne sont pas prises (jeu entre pièces, bridage rigide avant soudage). Si la teneur de carbone dépasse 0,2 %, la soudabilité de l'acier diminue rapidement.

La formule empirique suivante donne une équivalence de soudabilité par rapport au carbone appelée carbonné équivalent.

$$[C] = C + \frac{Mn}{9} + \frac{Cr}{9} + \frac{Ni}{18} + \frac{7 Mo}{90}$$

Le carbonné équivalent total de l'épaisseur du métal à souder e en [cm]

$$[C]_e = [C] (1 + 0,5 e)$$

si $[C]_e \leq 0,4$; l'acier est soudable sans précaution spéciale

si $[C]_e > 0,4$; l'acier est soudable avec préchauffage.

La température de préchauffage est donnée par formule de SEFERIAN :

$$T_p = 350 \sqrt{[C]_e - 0,25}$$

dans notre cas : l'acier à la composition

$$C = 0,16 \% , Ni = 5 \% ; e = 1,8 \text{ cm}$$

d'où : $[C] = 0,437$

$$[C]_e = 0,83$$

$[C]_e \leq 0,4$ donc le préchauffage est nécessaire.

$$T_p = 266^\circ\text{C}$$

Le préchauffage est utilisé pour éviter la formation de structures fragiles dans la zone thermiquement affectée. Cette opération nous permet de réduire les contraintes résiduelles en diminuant les gradients thermiques et permet la diminution de la vitesse de transformation V_t de telle sorte que $V_t < V_{\text{critique}}$ sinon la structure devient martensitique. Cette opération doit être menée lentement et progressivement sur toute la masse.

Pour les aciers alliés conçus pour la construction des réservoirs à pression.

$$\text{a) } \left\{ \begin{array}{l} C \leq 0,13 \% \\ Ni \leq 9,5 \% \end{array} \right.$$

$$\text{b) } \left\{ \begin{array}{l} C \leq 0,25 \% \\ Ni \leq 4 \% \end{array} \right.$$

À partir de ces 2 exemples où le préchauffage a été négligé nous avons jugé possible de négliger le préchauffage.

V.5.2. Les phénomènes de fissuration dans les assemblages soudés :

les constructions soudées sont exposées à la fissuration à cause des régimes thermiques de soudage. L'étude des causes et mécanismes de fissuration ainsi que l'étude des moyens d'empêcher leur apparition représente une importance fondamentale.

Les principaux types de fissuration qui peuvent se présenter dans les assemblages soudés sont :

- a) Fissuration à froid,
- b) Fissuration à chaud,
- c) Fissuration au réchauffage,
- d) Phénomènes d'arrachement lamellaire.

Dans notre cas, les deux types de fissuration qui peuvent se présenter sont la fissuration à froid et la fissuration à chaud.

a) La fissuration à froid :

Ce mode apparaît à basse température dans la zone thermiquement affectée et survient parfois quelques heures après exécution du joint. Les principaux types de fissures à froid sont schématisés à la figure 20. La fissuration à froid dépend de la présence d'hydrogène, de la présence d'une structure fragilisable et de l'état de contrainte de la zone affectée thermiquement.

Pour remédier à cela, divers précautions peuvent être prises :

- Diminuer l'hydrogène diffusible dans le bain de fusion,
- Séchage et protection des cordons contre la pluie.

b) La fissuration à chaud :

Deux type de fissuration sont envisagées :

- Fissuration à chaud dans le métal fondu,
- Fissuration à chaud dans le métal non fondu.

Le premier type peut être dû au soudage à faible apport calorifique (soudage manuel à l'arc) ou à fort apport calorifique (soudage automatique à arc) ; tandis que le second type peut être rencontré dans les aciers quand on a la présence d'un constituant de bas point de fusion ou des constituants non métalliques de dimensions suffisantes.

V.5.3. Choix du procédé de soudage :

V.5.3.1. Les soudures bout à bout : (cordons longitudinaux et circulaires).

Dans ce cas, le procédé de soudage choisi est le soudage automatique sous flux électro-conducteur "procédé unionmelt". Ce procédé réalise l'assemblage des pièces à souder par fusion simultanée des bords et d'un ou plusieurs électrodes fournissant un métal d'apport.

L'énergie nécessaire est produite par un courant électrique passant entre les électrodes et la pièces à souder à travers un laitier résultant de la fusion d'un flux en poudre recouvrant l'extrémité passant entre les électrodes,

l'arc et le bain de fusion [figure 21.7]. Ce procédé ne s'applique qu'au soudage des aciers au carbone alliés ou faiblement allié, et des aciers inoxydables ou réfractaires.

a) Caractéristiques principales du procédé union melt :

* Avantages :

- Grandes vitesses d'exécution obtenues par l'emploi des intensités élevées, bons prix de revient du mètre de soudure, la qualité du métal à apporter est faible par rapport aux autres procédés.
- Pouvoir de pénétration élevée.
- Déformation faible,
- Soudure de très bel aspect,
- Arc invisible, l'opérateur peut travailler sans masque.
- Soudage des tôles minces et épaisses.
- Obtention des joints ayant de bonnes caractéristiques mécaniques.

* Limites :

- Le procédé ne s'applique qu'aux aciers,
- Le procédé ne peut sauf dispositions particulières, exécuter des soudures dans un plan horizontal.
- Le procédé ne peut souder des tôles très minces.

b) Constitution d'une installation :

L'installation est constituée essentiellement de :

- La tête union melt.
- Le générateur de courant.
- L'appareil de récupération du flux non fondu.

L'installation est complétée par des matériels assurant de positionnement de la tête de soudage, de la pièce et de leur déplacement relatif (potences, vireurs, positionneur, tours de soudage, mandrin motorisée).

c) Choix du poste de soudage automatique

1. Choix du poste d'alimentation :

On choisit un transformateur du type TAP 1005 qui possède les caractéristiques suivantes :

Transformateur monophasé 50HZ, volts	220, 230, 240
Intensité de soudage (A)	340 + 1200
Tension maximale desoudage	44
Dimensions (mm)	1200 x 830 x 1200

2. Choix de la soudeuse automatique

On choisit une soudeuse du type ADS 1002 ayant les caractéristiques suivantes :

Intensité du courant (A)	340 \div 1200
Diamètre du fil électrode (mm)	3,0 \div 6,0
Vitesse de sondage (m/h)	15 \div 70
Vitesse du déroulement du fil (m/h)	30 \div 120
Nombre de fil. électrode possible	1 \div 2
Mode de réglage	automatique

d) Choix du couple fil-flux :

Nous choisissons sur la base du guide de soudage automatique Union melt, le flux du type sillico-Alumino-calciqne n° 80, et un fil destiné au soudage des aciers faiblement allié dont les caractéristiques dimensionnelles et de composition sont respectivement :

DIAMÈTRE	Section en (mm ²)	Poids au mètre (g)
4	12,5	96

TYPE	C	Mn	Si	S	P	Mo
40	0,12	2	0,05	0,02	0,02	0,5

Le combinaison fil-flux donne les caractéristiques suivantes d'après AR NOR (A - monofil).

REP	Combinaison				traction	
	Fil	flux	R*(MPa)	E*(MPa)	A% 5d	Striction %
A	40	80	620	550	4	60

e) Choix du positionneur :

Le positionneur POSISAF à rotation motorisée peuvent recevoir des poids variant de quelques centaines de kilos à plusieurs dizaines de tonnes.

f) Choix du vireur :

On choisit un vireur à galet du type PR4 ayant les caractéristiques suivantes :

Diamètre possible à souder (mm)	500 - 4000
Vitesse de marche (m/min)	13
Vitesse de rotation (m/h)	17 + 68
Poids (tonnes)	10

V.5.3.2. Les paramètres de soudage mono-fil :

La connaissance, le réglage et le contrôle de la valeur des paramètres de soudage sont essentiels pour l'exécution dans de bonnes conditions, de soudures correctes. Nous nous contentons de citer :

a) Influence du diamètre du fil électrode :

La pénétration varie en raison inverse du diamètre du fil, la largeur est proportionnelle avec le diamètre du fil, tandis que la surépaisseur varie peu.

b) Influence de la vitesse de soudage :

La pénétration et la largeur sont inversement proportionnelles à la vitesse de soudage.

c) Influence de l'intensité de soudage :

La pénétration est directement proportionnelle à l'intensité de soudage. Elle a peu d'influence sur la largeur et sur la surépaisseur du cordon.

d) Influence de la tension d'arc :

La tension d'arc a peu d'influence sur la pénétration, la largeur du cordon est proportionnelle à la tension. La consommation du flux augmente avec l'augmentation de la tension.

- Les autres paramètres **sont** : la polarité, la partie terminale, la granulométrie du flux, la densité du courant, l'emplacement de la masse de courant et l'énergie de soudage.

V.5.3.3. Les soudures d'angle :

Vu la qualité de soudure exigée $Z = 0,9$, et la complexité du montage d'exécution, nous avons été obligé d'utiliser un procédé coûteux qui est le procédé MIG. C'est un procédé de soudage électrique avec flux auxiliaires, où l'on utilise la chaleur produite par un arc électrique jaissant dans une atmosphère d'argon entre une électrode de tungstène et les pièces à assembler (girure 22). Dans ce soudage, l'énergie calorifique élevée et concentrée permet de réduire les déformations. Parmi les avantages de ce procédé, nous pouvons citer la stabilité de l'arc et sa facilité d'allumage, et la protection de la zone fondu et évite l'emploi d'un flux décapant tandis que pour les inconvénients, nous pouvons citer la nécessité d'une distance limitée de la source de courant.

a) Matériel :

Le matériel nécessaire comprend :

- Un générateur de courant de soudage continu avec stabilisateur d'arc (pâte négatif à la torche),
- Une torche portant l'électrode en tungs, la tuyauterie d'argon, les tuyauteries d'eau de refroidissement de la torche, les arrivées de courant.
- Une bouteille d'argon comprimé munie d'un détendeur débitmètre qui détend l'argon et donne le débit en litres / minute réglé par un robinet.
- Les organes auxiliaires, commandé à distance, contrôle, protection, etc.

b) Les paramètres choisis : d'après le livre "manuel pour industrie de la machine".

Epaisseur	Delec	Intensité (A)	V (volts)	Vitesse de l'électrode	Besoin d'argon l/mm
5	1,6	150	20	3 + 4	12 - 15
10	1,6+2,4	220	24	5 + 6	15 - 18

V.5.4. Préparations des joints :

Il est souhaitable d'opérer sur des tôles propres, débarrassées d'impuretés telles que par exemple.

- Rouille,
- matière grasses,
- humidité,

La préparation est constituée des étapes suivantes :

- a) La préparation des chauffeins en Υ pour les soudures de bout à bout en soudage automatique sous flux, et en V pour la soudure de bout à bout en soudage manuel.
- b) Maintenir solidement les tôles en place pendant l'opération de soudage.
- c) Il est parfois indispensable d'exécuter la première passe à l'arc manuel pour servir de soutien pour le premier cordon déposé sous flux. Il convient de piquer soigneusement le laitier résultant de cette passe manuelle. Pour éviter la tendance à retenir l'humidité atmosphérique, on exécute sans trop tarder les passes de soudures sous flux.

* La figure (23) représente la soudure en Y dont on donne les caractéristiques.

e (mm)	passes	a (mm)	(°)	∅ fil (mm)	Intensité (A)	tension (volts)	Vitesse (mm/min)
18	2	10	60	4	750	33	45
	3				800	34	

La première passe est faite à l'arc manuel avec des électrodes du type Ni 55 à enrobage mince destinés aux aciers de haute limite d'élasticité.

∅ ELECTRODE	INTENSITE (A)
4	190

Néanmoins il est possible d'utiliser des électrodes de diamètre ∅ 3,15 afin d'augmenter la pénétration.

V.5.5. Défauts et contrôles des joints soudés :

V.5.5.1. Les défauts :

En pratique, les défauts rencontrés sont dus à une exécution des joints. Parmi les défauts on trouve :

- a) Les inclusions gazeuses : (sous formes de soufflures sphériques ou vermiculaire) (voir figure 24.a).

Ces inclusions sont dus au gaz qui peut exister dans l'enrobage ou à l'humidité sur les tôles avant soudure. Pour y remédier, il faut tester les électrodes et sécher les pièces avant soudage.

b) Les inclusions solides ou le laitier :

Ces inclusions sont dûes aux restes de laitier ou d'autres matières étrangères au joint qui peuvent se mettre entre les passes (figure 24.b), pour y remédier, il faut un contrôle visuel durant le soudage et un nettoyage des cordons et outils et l'utilisation d'électrode dont le diamètre s'adapte à l'épaisseur.

c) Défauts de fusion :

Ces défauts sont caractérisés par une discontinuité du métal (figure 24, c), pour y remédier, il faut contrôler visuellement lors du soudage, un dépôt de cordons suffisamment plats, et un choix judicieux de l'intensité de courant et de la vitesse d'avancement.

d) Défauts de pénétration :

Ces défauts sont caractérisés par l'absence de métal à la racine des chanfreins et sont dus à l'utilisation ^(voir figure 24.d) d'électrodes de grand diamètre, à la faiblesse de l'intensité, à la mauvaise préparation des joints et à la fixation lors de l'exécution.

e) Les sillons et les caniveaux :

Ces défauts sont dûes à la forte intensité de courant de soudage, la mauvaise position de l'électrode et aux températures élevées des pièces (figure 24.e).

f) Rétassures de cratères :

Ce sont des cavités à l'extrémité des cordons, souvent remplies de laitier (fig. 24 f). Pour y remédier il faut interrompre l'arc en fin d'exécution, ou de prévoir un surplus de métal de base puis on procède à l'enlèvement des extrémités par oxycoupage après essai de traction (exemple : soudure longitudinale de la virole).

V.5.5.2. Les contrôles :

Le but des contrôles est soit de vérifier la soudabilité de l'acier utilisé, soit la qualité des joints réalisés dans la construction. Il existe les contrôles visuels, les contrôles non destructifs et les contrôles mécaniques.

- Les contrôles visuels s'effectuent pendant et après le soudage, en contrôlant les conditions d'exécution pour réduire le risque d'obtention des défauts apparents et l'aspect extérieur des joints.

- Les contrôles mécaniques ont pour but de leur résistance et l'homogénéité. Les principaux types sont : la traction, la pureté, la résilience et les divers fissurations.

- Les contrôles non destructifs nous permet de contrôler la qualité interne des joints soudés. Les principaux essais sont :

- a/. Les essais radiographiques,
- b/. Les essais par ultrasons,
- c/. Les essais magnétiques,
- d/. Les essais par ressuage.

Nous essayons de donner plus de détails pour les deux premiers essais qui nous intéressent dans notre travail à cause des types de défauts que l'on peut rencontrer dans notre cas.

a) Les essais radiographiques :

Dans ces essais, on fait passer à travers le joint soudé des rayons ou des rayons gamma et on enregistre les résultats de l'opération sur des films. Le degré d'absorption des rayons, au cours de leurs passages à travers le matériau du joint dépend de la compacité de ce dernier. Cela permet de détecter les zones de forte densité, et celles de faible densité et enfin de mettre en évidence l'hétérogénéité du joint. Le tableau suivant nous donne les caractéristiques de chaque procédé.

RAYONS X	
AVANTAGES	INCONVENIENTS
<ul style="list-style-type: none">- Haute sensibilité- adaptation aisée des tensions d'alimentation aux différentes épaisseurs.- Facilité d'interuption du courant- Application possible à tous les matériaux.	<ul style="list-style-type: none">- Coûts d'investissements et de remplacements élevées.- Difficultés de transport, fragilité, poids encombrant important.- Nécessité d'une source d'énergie électrique.

RAYONS GAMMA	
AVANTAGES	INCONVENIENTS
<ul style="list-style-type: none">- Poids encombrant important- Robustesse,- Bon pouvoir de pénétration,- Coûts d'investissements, de fonctionnement et entretien modérés.- Fonctionnement sans source d'énergie complémentaire.	<ul style="list-style-type: none">- Sensibilité moindre,- Impossibilité d'adapter le pouvoir d'adaptation.- Rayonnement continu avec les risques qui en découlent.- Durée d'exploitation plus longues.

b) Essais par ultrasons : (figure 25)

Dans ces essais, on fait passer à travers les joints **soudés** un rayon étroit ultrasonore, émis par un palpeur. Les ondes ultrasonores présentent les mêmes caractéristiques que les ondes acoustiques mais ayant des fréquences plus élevées. Ces ondes sont produites par le passage des pulsations électriques dans le cristal qui, aux fréquences de raisonnance le font vibrer à la fréquence naturelle. Les fréquences utilisées pour le contrôle de soudure sont de l'ordre de 1 à 5 MC/sec. Un récepteur recueille les réflexions de l'énergie ultrasonore sous formes d'échos.

Ces derniers sont mis en évidence dans un tube à rayons cathodiques, ils permettent de déceler les défauts des soudures et variation de la compacité du métal.

Dans ses essais, il faut que le palpeur puisse se déplacer sur une surface régulière.

Le tableau suivant résume les avantages et les inconvénients de ce procédé.

AVANTAGES	INCONVENIENTS
<ul style="list-style-type: none">- Equipement compact et portatif- Absence d'interruption des travaux lors du contrôle.- Disponibilité immédiate des résultats des essais.	<ul style="list-style-type: none">- Haute qualification et expérience de l'opérateur.- Absences d'enregistrement des résultats des essais.

- L'application de ces essais (radiographiques et ultrasons) nous permet de détecter certains défauts. Le tableau suivant en résume les principaux domaines d'application.

ASSEMBLAGES	DEFAUTS	ESSAIS
Assemblages bout à bout	<ul style="list-style-type: none">- Inclusions gazeux et solides- Défauts de fusion- Défauts de pénétration- Fissures internes	<ul style="list-style-type: none">- essais radiographiques- essais par ultrasons- essais radiographiques.- Essais radiographiques ou par ultrasons.
Assemblages par cordons d'angle.	<ul style="list-style-type: none">- Défaut de pénétration- Fissures voisines de la surface.	<ul style="list-style-type: none">- essais radiographiques.- essais par ultrasons

V.5.6. Critère d'acceptabilité des défauts :

Les critères d'acceptabilité des défauts a fait l'objet de nombreuses études expérimentales qui ont permis de résoudre un certain nombre de problèmes tels que le choix de l'acier afin d'éviter les ruptures fragiles, et ont préciser l'influence des défauts sur la résistance à la fatigue et même de déterminer la nature et les dimensions acceptables de ces défauts.

L'Institut International de la soudure a proposé trois niveaux de qualités (a : qualité ordinaire ; b : qualité bonne ; s : qualité spéciale), la qualité spéciale est constituée de trois types (So, S1, S2) selon la sévérité des sollicitations variables.

La qualité S est exigé dans les constructions où le risque de rupture fragile est grand, les températures de service sont ambiantes et l'apaisseur importante.

D'après les données de notre problème, la qualité exigée est So.

Risque de rupture fragile	Sévérité des sollicitations variables	Qualité exigée
Important	faible	So

Les défauts admissibles de la qualité S_0 sont :

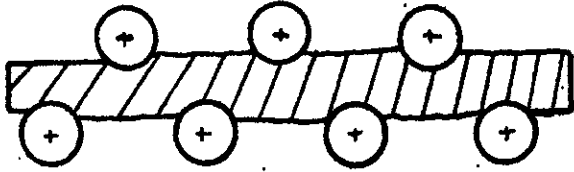
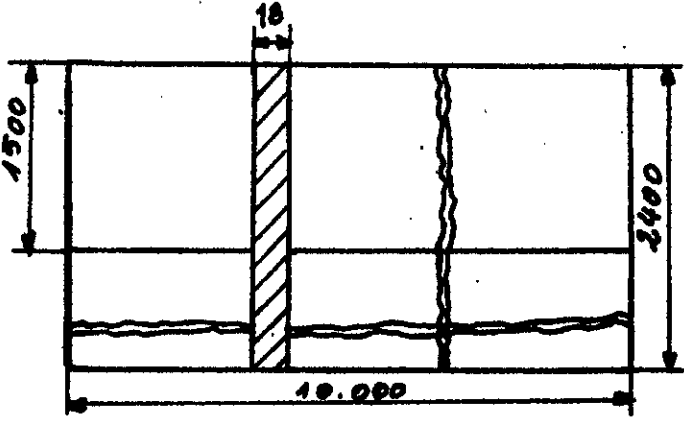
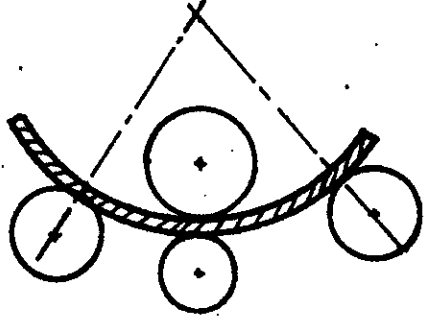
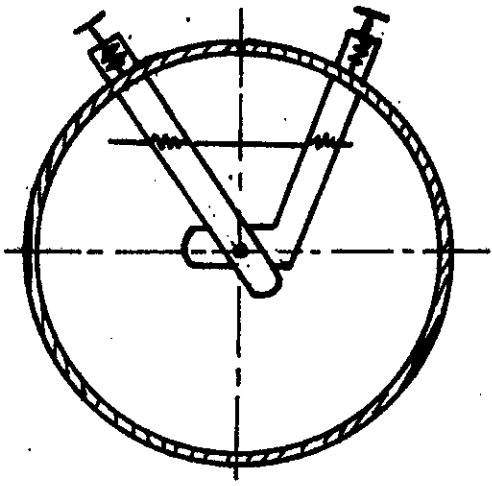
- Les inclusions solides quelque soit leur longueur mais leur dimension transversale par rapport aux contraintes mesurées suivant l'épaisseur des pièces assemblées soit inférieure à 5 mm pour des épaisseurs allant jusqu'à 20 mm.
- Les inclusions gazeuses de forme sphéroïdale dont l'influence sur la rupture fragile est négligeable, tandis que pour les autres la somme des diamètres des défauts doit être inférieure à 3 mm.

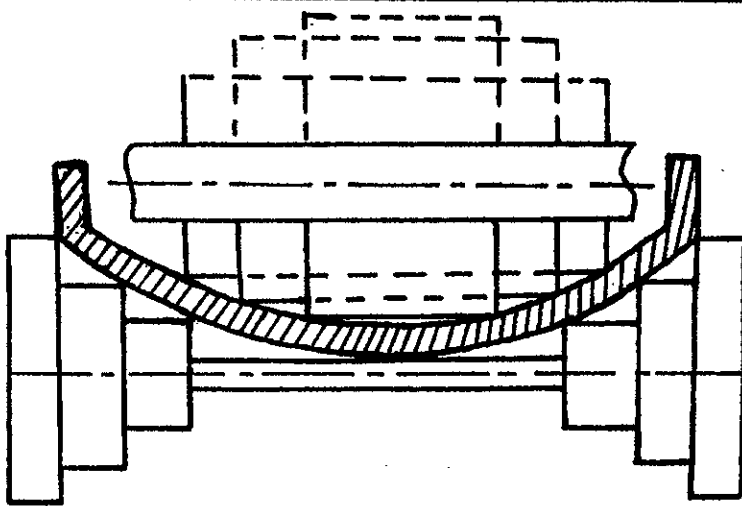
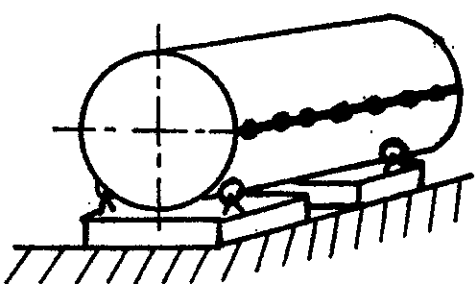
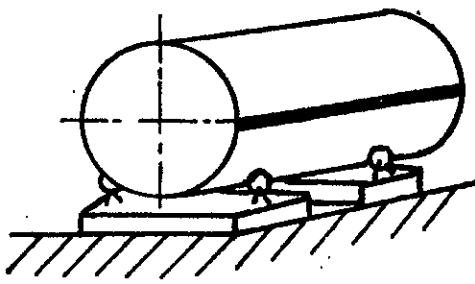
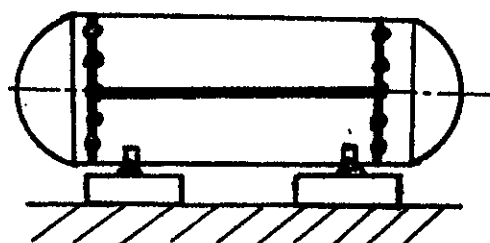
- Pour les manques de pénétration égale à la hauteur h , les valeurs admises sont $3h$ dans le cas interne et $1,5h$ dans le cas externe. Pour le soudage sous flux, aucun manque de pénétration n'est permis.
- Le manque de fusion est le même que pour le manque de pénétration.
- La résilience doit être supérieure à 35 J/cm^2 à la température de 20°C .

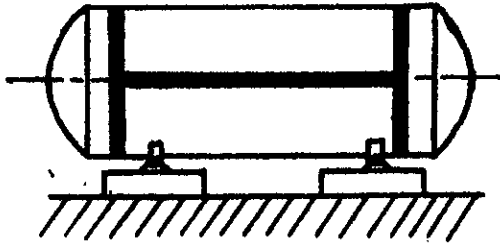
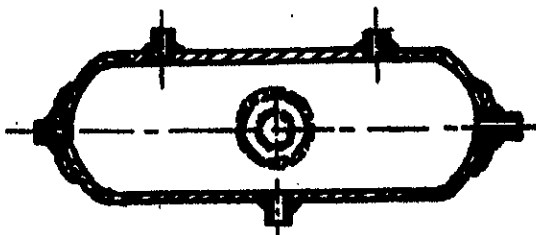
V.6. Essais à la pression hydraulique :

Ces essais sont obligatoires pour tous les réservoirs devant fonctionner sous pression. Dans ces essais, on remplit d'eau le récipient et on comprime celle-ci au moyen d'une pompe appropriée après purge complète, à une pression généralement égale à une fois et demi la pression de service, et on soumet les soudures et leurs abords à un martelage rapide et énergique au moyen d'un marteau. Vu l'importance de notre pression, il est recommandé de mettre le réservoir dans une cuve pleine d'eau afin d'éviter les risques d'une éventuelle explosion, lors des essais. Après essais des services compétents, il est appliqué une médaille poinçonnée avec indications de pression d'essai et de marche et la date d'épreuve.

- GAMME D'USINAGE -

Phase	Opé.	Désign.	Schema	Matériel
10	1	Planage des tôles.		- Machine à planer type SP4-170.
20	2	Travaux sur tôles 18 x 1600 x 1600 et 18 x 2400 x 1600 et découpage $\phi_{\text{tr}} = 100 \text{ mm}$ $3 \phi = 14 \text{ mm}$ (sur vis) et $d = 45 \text{ mm}$ $d = 50 \text{ mm}$ (sur fond) et prépar. des bords.		- Table équerre - compas - règle - Poste de découpage type UPR 201.
30	3	cintrage tôles à un diamètre intérieur $D_i = 660 \text{ mm}$		- Machine à cintrer de 4 rouleaux type 376 P.
40	4	Serrage des bords de la tôle.		- Dispositif de serrage manuel calibré pour contrôler l'écart entre bords.

Phase	Opé.	Désign.	Schéma	Matériel
50	5	Exécution des fonds et découpage		<ul style="list-style-type: none"> - Une Presse. - Poste de découpage type UPR 201.
60	6	Assemblage et pointage de la tôle.		<ul style="list-style-type: none"> - Transformateur Arcotec de type 200. - électrode enroulé $\Phi = 4$ mm. - Vireur à galet de type PR4.
70	7	Soudage bout à bout (extérieurs) et découpage de l'excès après essai de traction		<ul style="list-style-type: none"> - Transformateur type TAF 1005 soudeuse automatique de type ADS 1002 - Vireur à galet de type PR4. - Poste de découpage.
80	8	Assemblage et pointage des fonds sur la virole.		<ul style="list-style-type: none"> - Transformateur Arcotec de type 200. - électrode enroulé $\Phi = 4$ mm. - Vireur à galets type PR4. - Positionneur Poirisaf.

Phase	Opé.	Désign.	Schéma	Matériel
90	9	Soudage bout à bout des fonds sur la virole. (extérieur)		<ul style="list-style-type: none"> - Transformateur de type TAF 1005 - Soudeuse automatique ADS 1002. - Vireux à galets de type PR4. - Positionneur rotatif.
100	10	Soudage des trous et renforcement sur le réservoir.		<ul style="list-style-type: none"> - Installation du procédé MIG.
			<p style="text-align: center;">Contrôle.</p>	

APPENDICES :

1. Calcul thermodynamique :

1.1. Compresseurs refroidis :

Il existe plusieurs méthodes de réfrigération d'un fluide en cours de compression. Ce sont les suivantes :

1. Réfrigération discontinue par refroidissement entre étages.
2. Réfrigération continue en enveloppe interne.
3. Refroidissement pour injection et vaporisation du liquide.

Nous choisissons la première méthode pour le calcul de la température du réservoir. Pour avoir l'économie maximale il faut que :

(d'après Marcel Sedille -ventilateurs, compresseurs centrifuges et axiaux).

$$\frac{W_t}{Q} = C_p (T_1 + T_2 + T_3 - 3 T_a)$$

si $(T_1 + T_2 + T_3)$ est minimum, W_t est minimum d'autre part :

$$\frac{T_1 \cdot T_2 \cdot T_3}{T_a^3} = \left(\frac{P_3}{P_a} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

$T_1 \cdot T_2 \cdot T_3 = \text{cste}$ et leur somme est minimale si

$$T_1 = T_2 = T_3$$

Donc

$$T_1 = T_2 = T_3 \quad \text{et} \quad \epsilon_1 = \epsilon_2 = \epsilon_3$$

En pratique, il faut tenir compte de deux faits suivants :

- a) La température du fluide à la sortie du réfrigérant est toujours supérieure à celle de l'eau dont on dispose.
- b) Cette dernière peut elle même être différente de la température t_a du gaz à comprimer à l'aspiration du compresseur.
Les diverses phases de compression s'échelonnent et le rapport de compression effectué par le premier groupes de roues soit en général supérieur à celui des groupes de roues suivantes de manière à équilibrer la charge thermique des divers réfrigérants.

1.2. Calcul :

Nous supposons la température dans le réservoir T_R et nous essayons de voir si le refroidissement dans ce cas est possible et économique.

- Soient la température dans le réservoir $t_R = 300 \text{ }^\circ \text{K}$
- la pression dans le réservoir $P_R = 250 \text{ bars}$
 - la température ambiante $t_a = 288 \text{ }^\circ \text{K}$
 - La pression atmosphérique $P_a = 1 \text{ bars}$

* Le taux de compression global : ρ

$$\rho = \frac{P_R}{P_a} = \frac{250}{1} = 250$$

* Le nombre d'étage du compresseur.

$$\sqrt[n]{\frac{P_R}{P_a}} = A$$

$A = 6 \div 7$, on prend $A = 6$, d'où

$$n = \frac{\ln \frac{P_R}{P_a}}{\ln A} = \frac{\ln 250}{\ln 6} = 3$$

Nous avons a/. une basse pression avec $P_1 = \frac{P_1}{P_a}$

b/. Une moyenne pression avec $P_2 = \frac{P_2}{P_1}$

c/. Une haute pression avec $P_3 = \frac{P_R}{P_2}$

avec $\rho = \rho_1 \cdot \rho_2 \cdot \rho_3$.

La figure 26 montre les différentes phases de compression.

a) La basse pression :

soit : $C_p = 1000 \text{ J/Kg } ^\circ\text{K}$

$$\eta_c = 0,85$$

$$e_1 = 6,5$$

$$\gamma = 1,4$$

- Puissance du compresseur par unité de débit :

$$\frac{P_1}{Q} = WC_1 = \frac{C_p}{\eta_c} T_{ta} \left[\frac{\gamma - 1}{(e_1)^\gamma - 1} \right]$$

$$\text{avec } T_{ta} = T_a + \frac{1}{2} \frac{V_a^2}{C_p} ; (V_a \simeq 0)$$

$$T_{ta} = T_a$$

$$\text{on trouve } WC_1 = 239585 \text{ J/Kg}$$

- Température totale de sortie dans le cas idéal :

$$\frac{T_{t1}}{T_{ta}} = (e_1)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}}$$

$$\text{avec } T_{ta} = T_a \quad \text{on a } T_{t1} = 492^\circ\text{K}$$

- Température totale de sortie dans le cas réel :

$$\frac{T_{t1}}{T_{ta}} = 1 + \frac{WC_1}{C_p T_{ta}}$$

$$T_{t1} = 528^\circ\text{K}$$

- Température statique réelle de sortie :

$$T_1 = T_{t1} = \frac{1}{2} \frac{V_1^2}{C_p} \simeq T_{t1}$$

Pratiquement la température statique réelle est égale à température totale réelle car la température d'arrêt à un effet négligeable.

$$T_1 = 528^\circ\text{K}$$

- La chaleur cédée par l'air par unité de masse lors du refroidissement : Q_1 .

$$Q_1 = C_p (T_a - T_1)$$

$$Q_1 = - 240.000 \text{ J/Kg}$$

- Masse d'eau nécessaire par unité de débit :

$$m_1 = \frac{Q_1}{C_{p \text{ eau}} (T_s - T_a)}$$

avec $T_s = 323 \text{ °K}$

$$C_{p \text{ eau}} = 4180 \text{ J/Kg °K}$$

$$\text{on a : } m_1 = 1,64 \frac{\text{Kg d'eau}}{\text{Kg d'air}}$$

b) La moyenne pression :

soit $P_2 = 6,2$

$$C_p = 1000 \text{ J/Lg °K}$$

$$\eta_c = 0,85$$

$$\gamma = 1,4$$

- Puissance du compresseur par unité de débit :

$$WC_2 = \frac{P}{\eta_c} T_R \left[\left(P_2 \frac{\gamma-1}{\gamma} - 1 \right) \right]$$

$$WC_2 = 241 \text{ 488 J/Kg}$$

- Température totale de sortie dans le cas idéal :

$$T'_{t2} = T'_{tR} (P_2)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

$$T'_{t2} = 505 \text{ °K}$$

- Température totale de sortie dans le cas réel :

$$- T_{t2} = T_{tR} \left(1 + \frac{WC_2}{C_p T_{tR}} \right)$$

$$- T_{t2} = 541 \text{ °K}$$

- Température statique réelle :

$$T2 = Tt2 - \frac{1}{2} \frac{V2^2}{Cp}$$

$$T2 = Tt2 = 541 \text{ °K}$$

- Chaleur cédée par l'air par unité de masse : Q2

$$Q2 = Cp_{\text{air}} (TtR - T2)$$

$$Q2 = - 241 \text{ 000 J/Kg}$$

- Masse d'eau nécessaire par unité de débit :

$$m2 = \frac{|Q2|}{Cp_{\text{eau}} (Ts - Tr)}$$

$$\text{avec } Ts = 323 \text{ °K}$$

$$Cp_{\text{eau}} = 4180 \text{ J/Kg °K}$$

$$\text{on a : } m2 = 2,5 \frac{\text{Kg d'eau}}{\text{Kg air}}$$

c) La haute pression :

$$\text{soit : } p3 = 6,2$$

$$\gamma = 1,4$$

$$\eta_c = 0,85$$

$$Cp = 1000 \text{ J/Kg °K}$$

- Puissance du compresseur par unité de débit :

$$WC3 = \frac{Cp}{\eta_c} T_{tr} \left(p3^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right)$$

$$WC3 = 241 \text{ 488 J/kg}$$

- Température totale de sortie dans le cas idéal :

$$Tt3' = Ttr \left(p3 \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

$$Tt3' = 505 \text{ °K}$$

- Température total de sortie dans le cas réel :

$$T_{t3} = T_{tR} \left(1 + \frac{WC3}{Cp T_{tR}} \right)$$

$$T_{t3} = 541^\circ K$$

- Température statique réelle :

$$T3 = T_{t3} - \frac{1}{2} \frac{v3^2}{Cp}$$

$$T3 = T_{t3} = 541^\circ K$$

- Masse d'air nécessaire par unité de masse :

$$m3 = \frac{\dot{Q}3}{Cp \text{ eau } (Ts - Tr)}$$

$$\text{avec : } Ts = 323^\circ K$$

$$Cp \text{ eau} = 4180 \text{ J/Kg }^\circ K$$

$$\text{on a : } m3 = 2,5 \text{ Kg d'eau/kg d'air}$$

En conclusion, nous avons jugé que les quantités d'eau pour le refroidissement sont acceptables. Donc nous avons pris la température dans le réservoir

$$T_R = 300^\circ K, \text{ c'est-à-dire } t_R = 27^\circ C$$

2. Calcul de bride - joint - chapeau du trou de nettoyage :

2.1. La bride :

Les brides sont normalisées (d'après éléments de constructions aide mémoire, calcul et construction, tome 2)/

Pour une pression $P = 200$ bars et un diamètre $d = 65$ mm le nombre de boulons $n = 8$ du type M27. Nous avons les dimensions suivantes (voir figure 27) pour un acier doux A48.

$d = 65$ mm ; $D1 = 203$ mm ; $D2 = 167$ mm ; $L = 120$ mm ;
 $r = 8$ mm ; $S = 25$; $\Delta = 28$ mm ; $f = 3$ mm ; $B = 48$ mm ;
 $t_{gx} = 1 + 2,5$; $\theta = 30$; $a = 1,5$ mm.

2.2. Le joint :

Le joint choisi est en cuivre dont les caractéristiques sont :

$t_{max} = 300$ °C (température maximale)
 $p_{max} = 400$ bars (pression maximale)
 $D_j = 96$ mm (diamètre du joint)
 $B = 15,5$ mm (largeur du joint).

2.3. Le chapeau :

Le calcul de l'épaisseur du chapeau se fait à partir des deux formules empiriques suivantes :

$$s_{max} = 0,3 \frac{(D_b)^2}{S} p$$
$$S \geq 0,55 D_b \sqrt{\frac{p}{[\sigma]}} + C$$

D_b - diamètre des boulons en cm

p = la pression de calcul, en bars

S = l'épaisseur du chapeau, en cm

$[\sigma]$ = contrainte admissible du matériau, en bars

C = Surépaisseur de corrosion, en cm.

Pour un acier doux A48 dont la contrainte admissible $[\sigma] = 2000$ bars et en prenant $S = 3$ cm, avec $D_b = 2,7$ cm et $P = 250$ bars et $C = 1$, on a : $\sigma_{max} = 61$ bars

$$S \geq 1,53 \text{ cm}$$

La flèche de déformation du chapeau est donnée par la formule empirique :

$$f = 0,046 \cdot \frac{Db^4}{ES^3} \cdot P$$

avec : $Db = 2,7$ cm

$S = 3$ cm

$E = 2,1 \cdot 10^6$ bars

$P = 250$ bars

On a : $f = 10,8 \cdot 10^6$ cm

- La force exercée par les boulons sur le chapeau :

$$Q = \pi \cdot D_m \cdot B \cdot q_p + Q_p$$

avec :

D_m - diamètre moyen du joint cm

B - largeur du joint cm

q_p - pression spécifique exprimant les propriétés s'étanchéité du joint.

$$q_p = \frac{n \cdot P}{\sqrt{B}} \quad (\text{Kg F}) ; B \text{ en cm}$$

n - coefficient exprimant les propriétés physiques du joint.

Q_p - force due à la pression

$$Q_p = \pi \cdot \frac{D_m^2}{4} \cdot p$$

Application numérique :

Pour le cuivre $n = 5$

Le diamètre moyen du joint $D_m = d + \frac{B}{2} = 72,75$ mm

$$q_p = 1004 \text{ Kgf/cm}^2$$

$$Q_p = 10392 \text{ Kg F}$$

$$Q = 45959 \text{ Kg F}$$

La force exercée par 1 boulon sur le chapeau :

$$Q_{1, n} = \frac{Q}{n}$$

$$Q_{1, n} = 5745 \text{ Kgf}$$

Les boulons sont en acier faiblement allié 2 C20

$$(0,2 \% \text{ C}, 5 \% \text{)}, \quad Q_{1, n} = 7600 \text{ Kgf}$$

Nous remarquons que la condition de résistance est vérifiée

$$Q_{1, n} \leq [Q_{1, n}]$$

pour la vérification de l'encombrement :

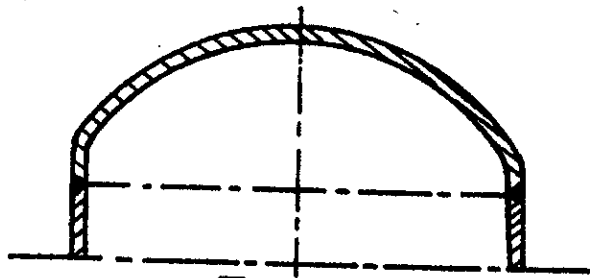
$$\hat{c} = \frac{\pi}{8} D_1 = 79,72 \text{ mm}$$

$2,5 D_b \leq \hat{c} \leq 5 D_b$

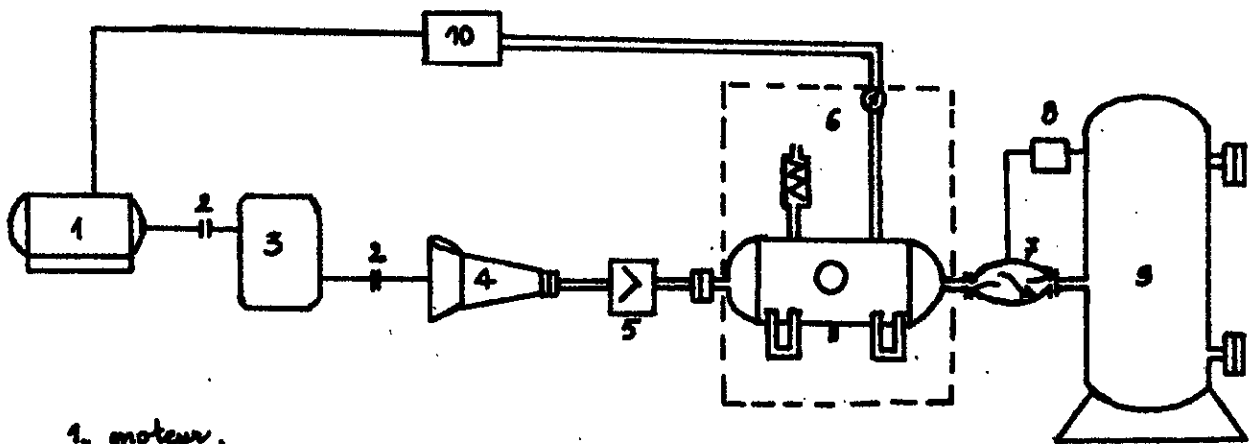
$$D_b = 27 \text{ mm}$$

$$\text{donc : } 67,5 \text{ mm} < 79,72 \text{ mm} < 135 \text{ mm}$$

SCHEMAS ET FIGURES

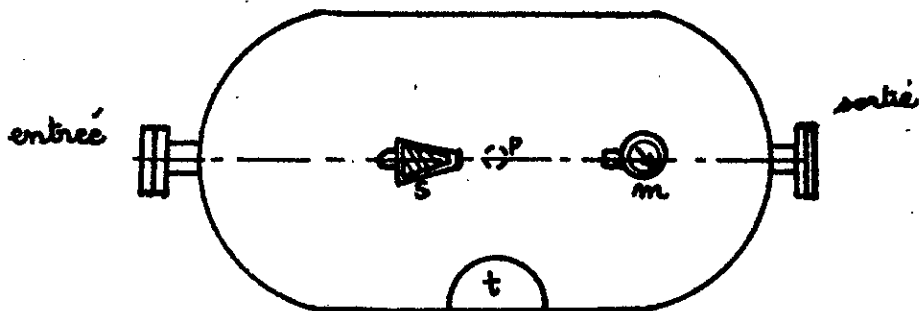


- FIG.1-

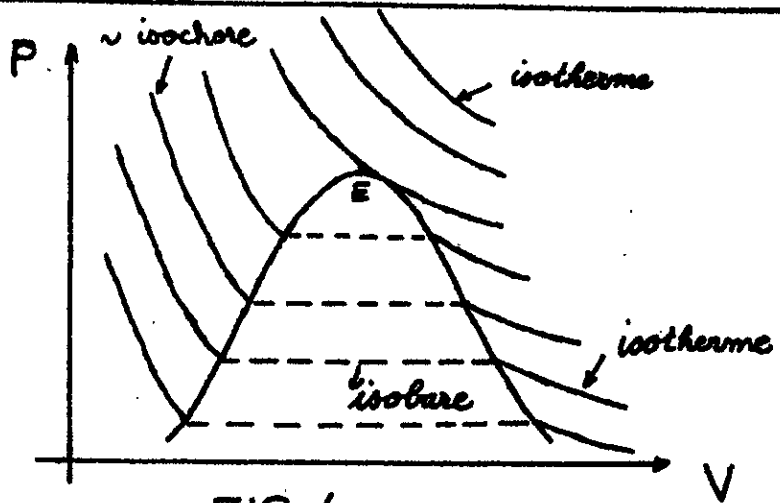


- 1- moteur.
- 2- Accouplement.
- 3- multiplicateur.
- 4- turbo-compresseur.
- 5- soupape droite.
- 6- Reservoir.
- 7- vanne.
- 8- instrument de réglage du volume.
- 9- chambre de réaction.
- 10- démarreur.

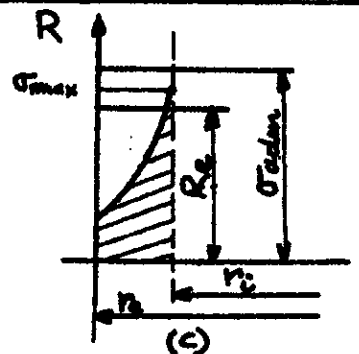
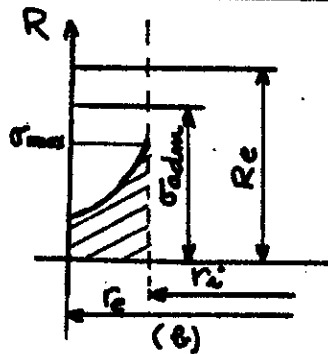
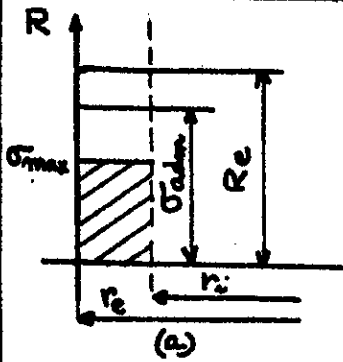
- FIG.2-



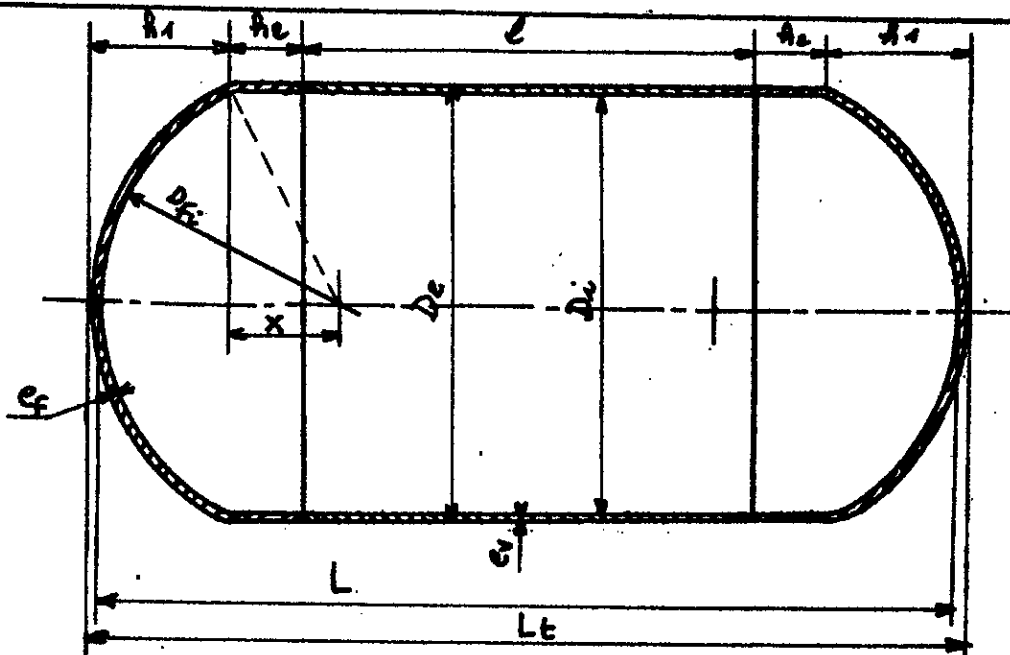
- FIG.3-



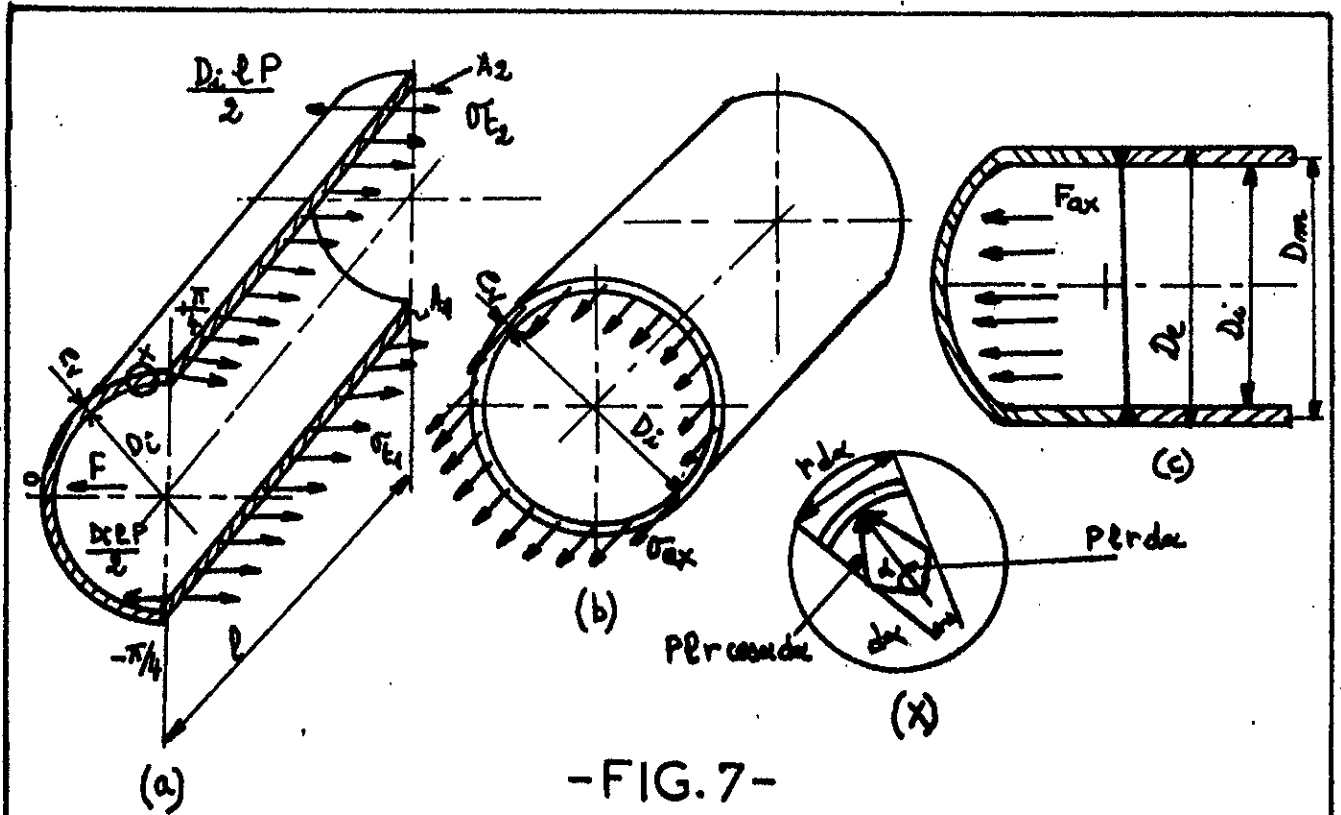
-FIG.4-



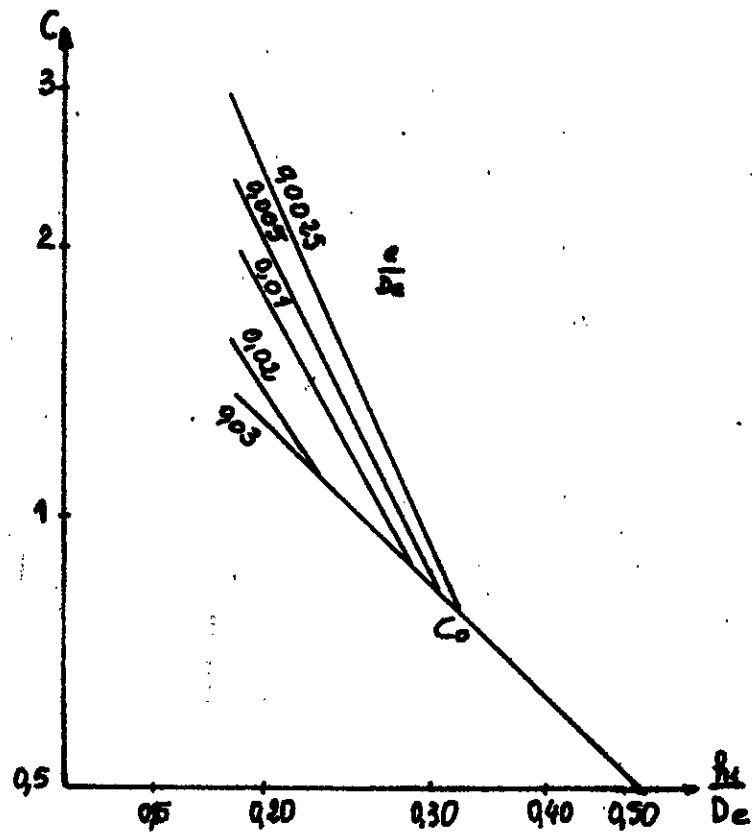
-FIG.5-



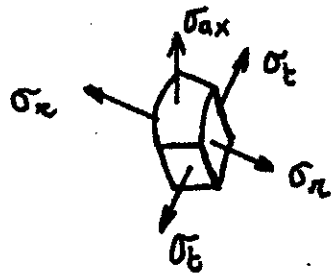
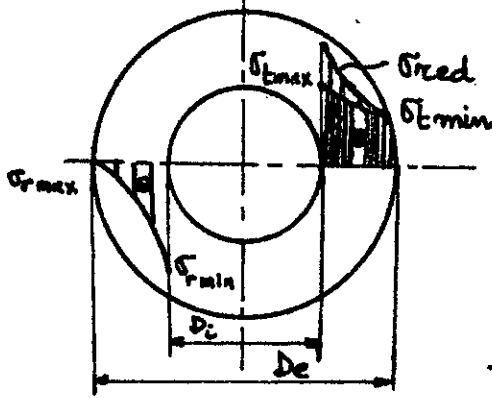
-FIG.6-



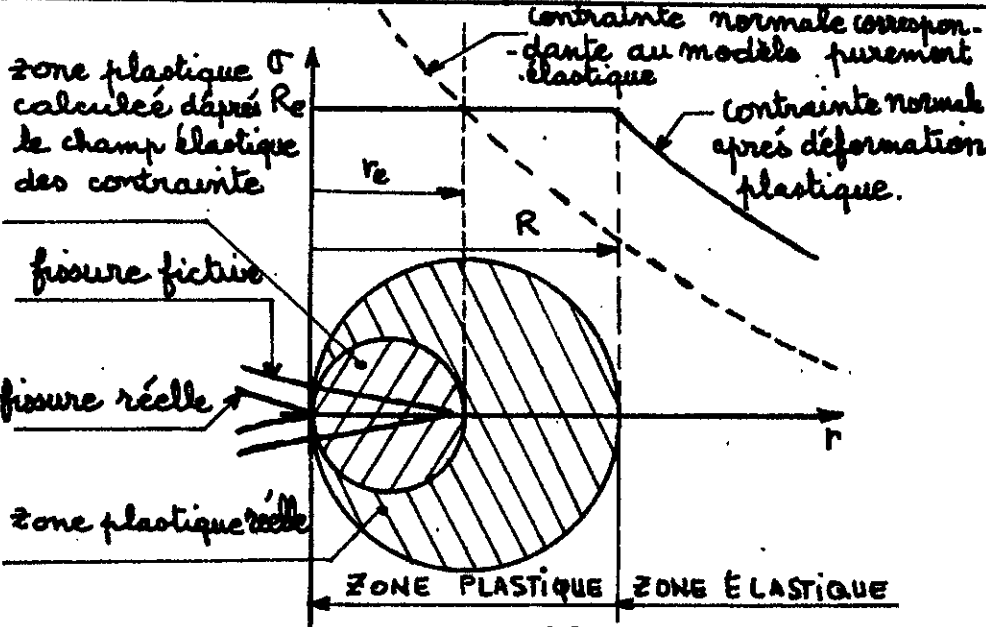
-FIG. 7-



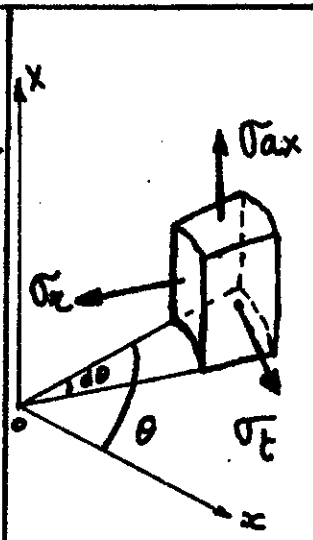
-FIG. 8-



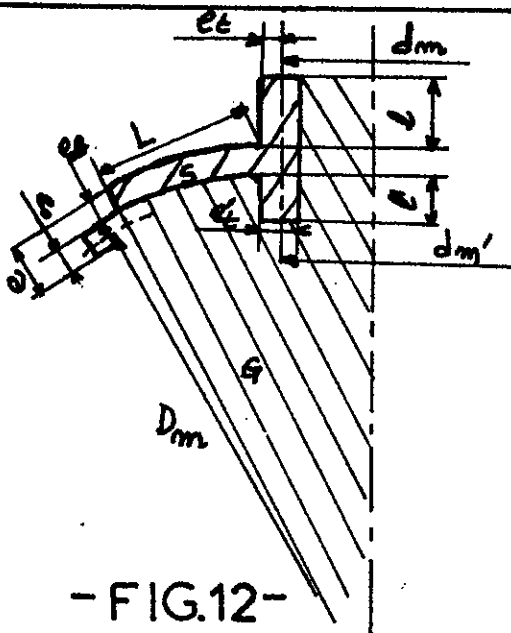
-FIG.9-



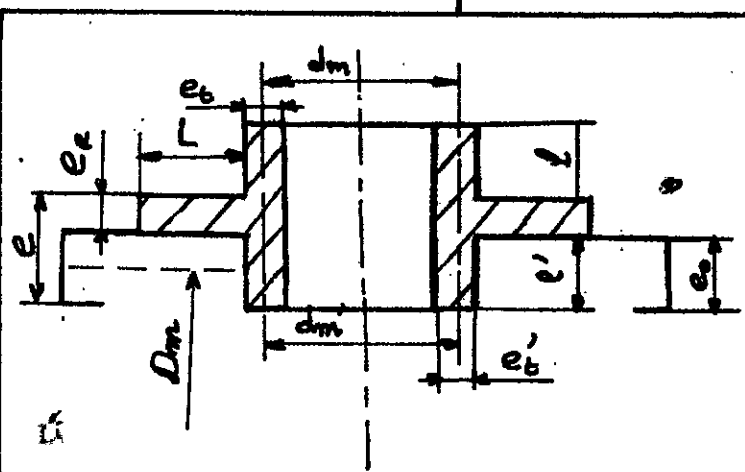
-FIG.10-



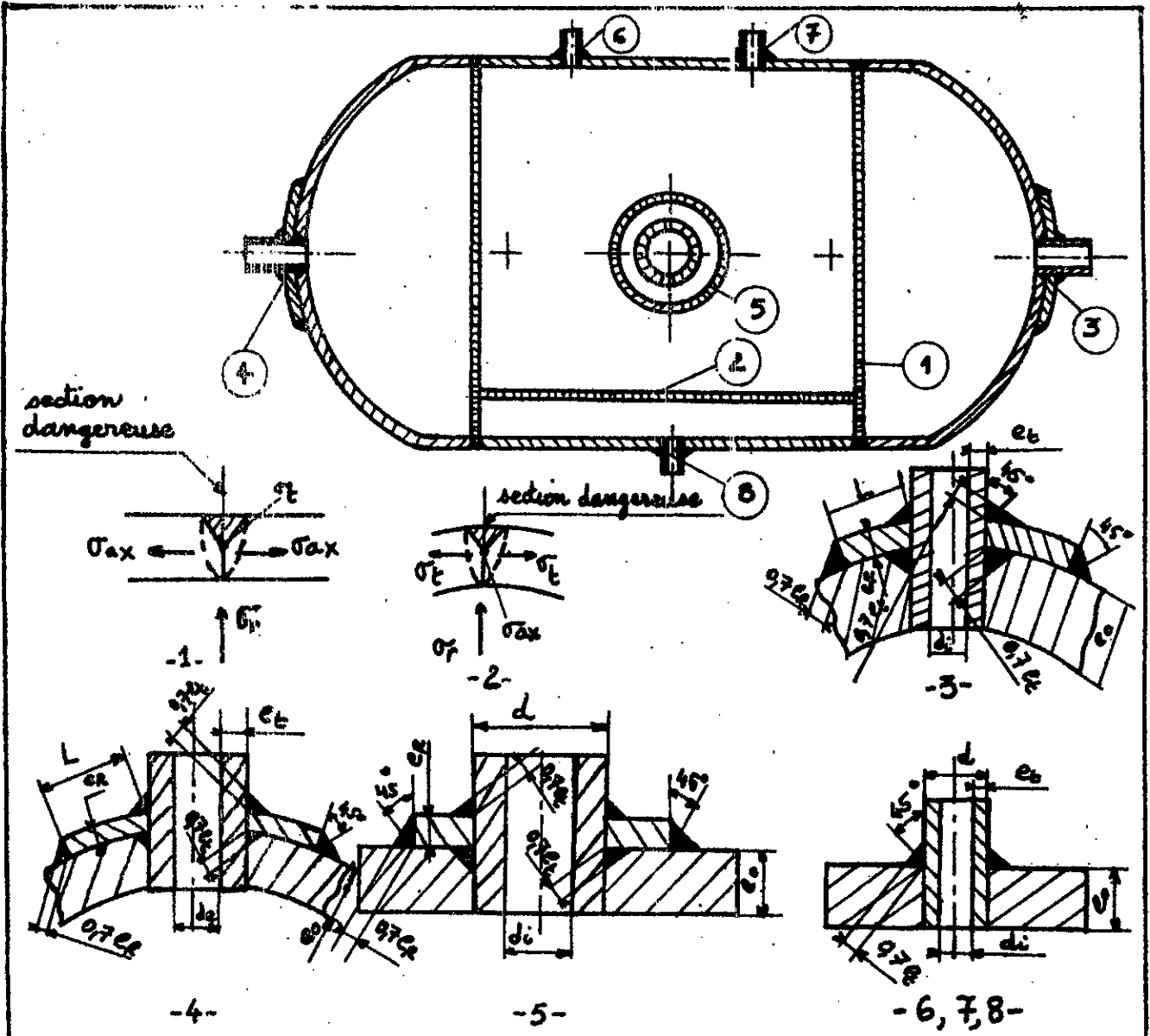
-FIG.11-



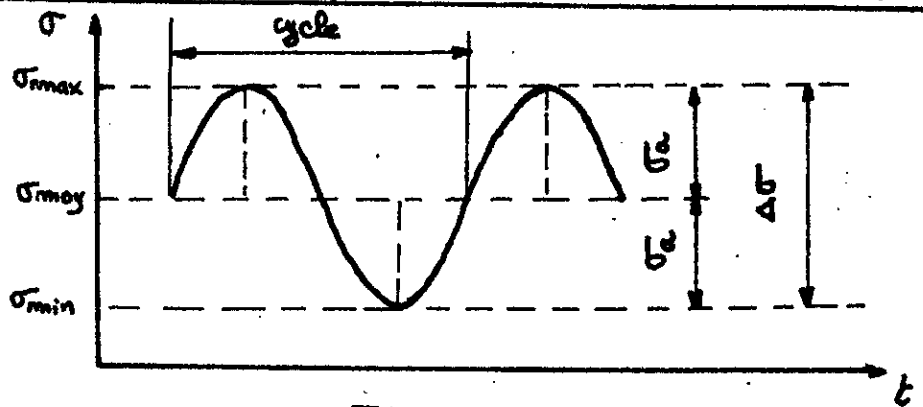
-FIG.12-



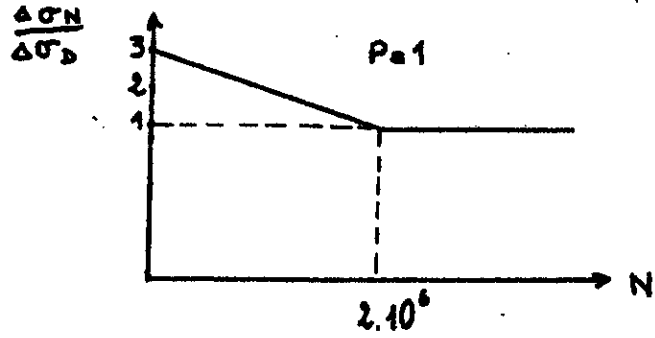
-FIG.13-



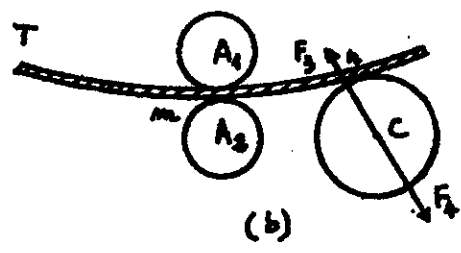
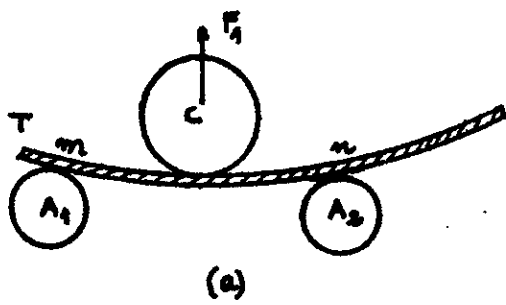
-FIG.14-



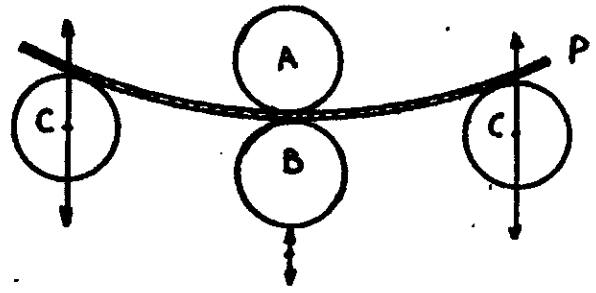
-FIG.15-



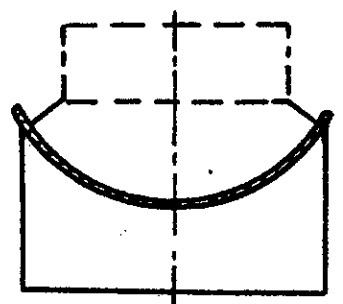
-FIG.16-



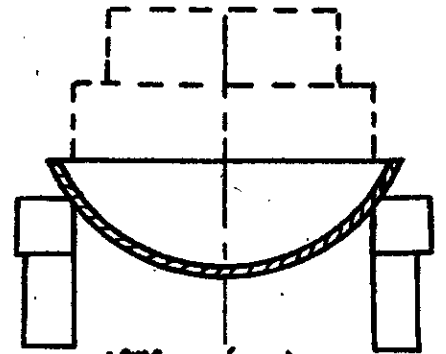
-FIG.17-



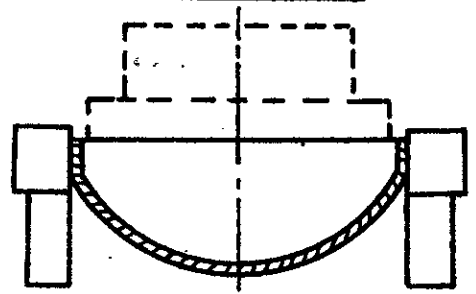
-FIG.18-



1^{ère} OPÉRATION.

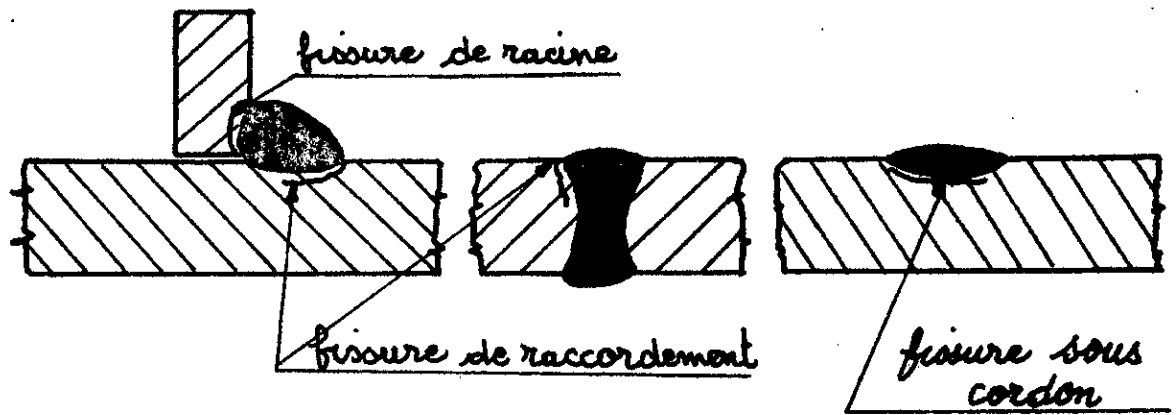


2^{ème} OPÉRATION.

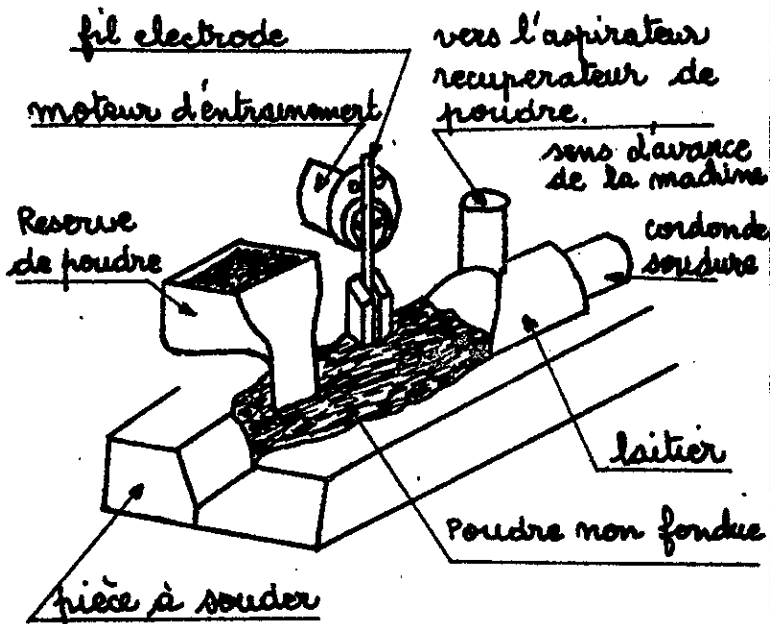


3^{ème} OPÉRATION.

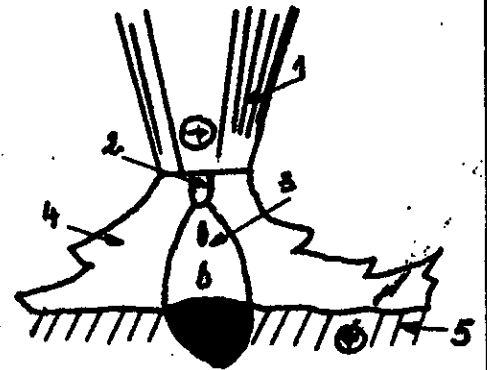
-FIG.19-



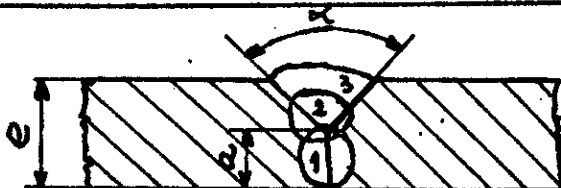
- FIG. 20 -



- FIG. 21 -



- FIG. 22 -



- FIG. 23 -



inclusions sphériques



inclusions vermiculaires

(a)



inclusions de matières étrangères

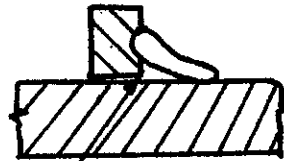


inclusion de laitier

(b)



défaut de fusion
(c)



défaut de pénétration
(d)

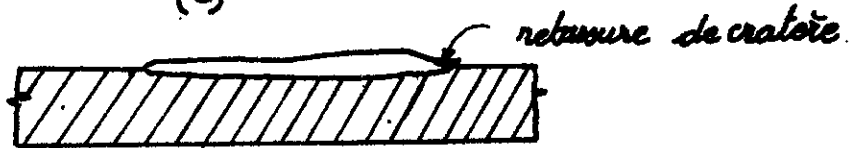


sillons



caniveaux

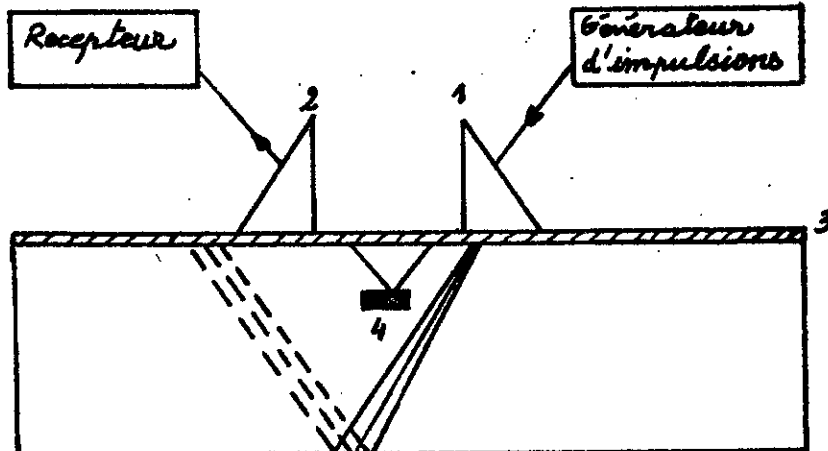
(e)



retard de cratère

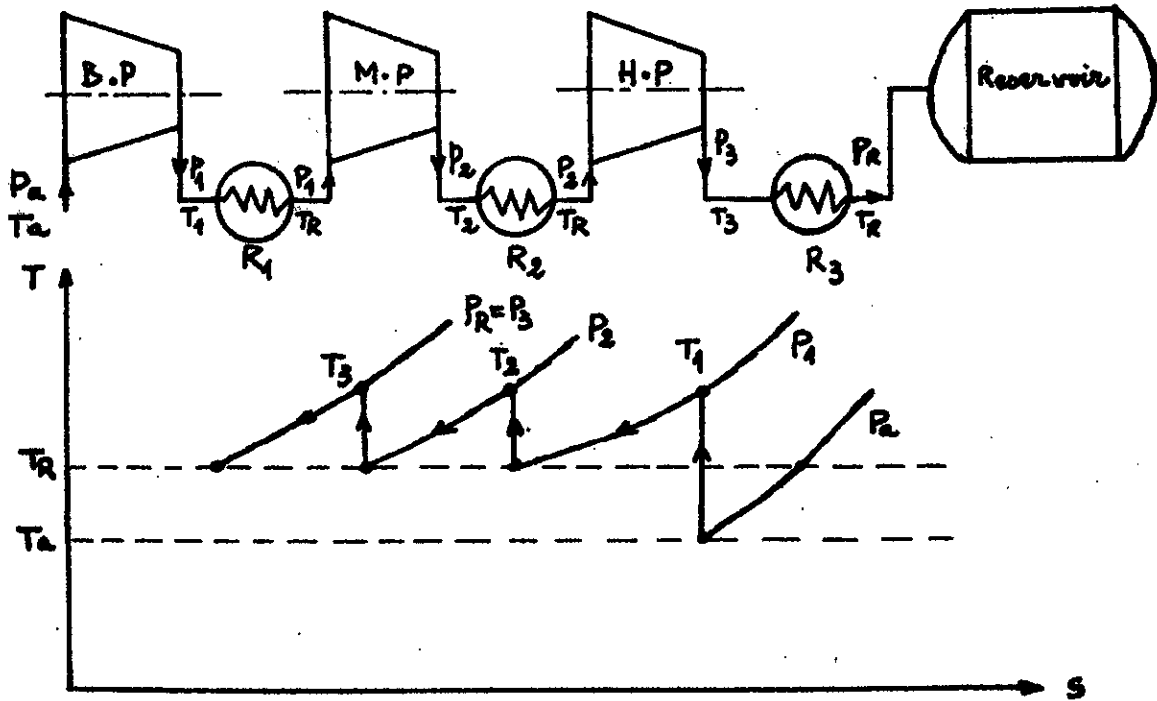
(f)

-FIG.24-

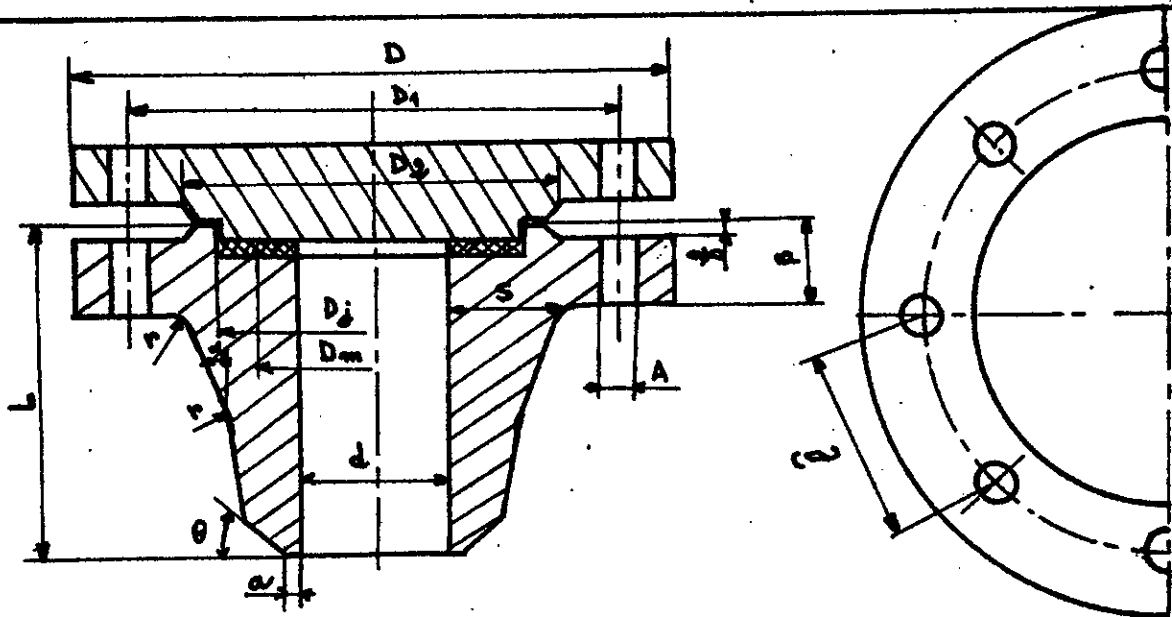


1-2 - Palpeur
à plaque piézoélectrique;
3 - liquide de liaison;
4 - défaut.

-FIG.25-



-FIG.26-



-FIG.27-

CONCLUSION

=====

La production des réservoirs en Algérie a connu un net progrès, mais les besoins de plus en plus croissants quantitativement et qualitativement en ce type de produit exigent de nous plus de travail et de recherche dans ce domaine.

Dans notre étude, nous avons tenté de faire ressortir les lignes directrices d'un plan de construction d'un réservoir soudé à haute pression. Nous avons utilisé un équipement provenant de l'Union Soviétique, à cause des bonnes relations économiques et scientifiques qui nous relie avec ce pays. La haute pression de notre réservoir nous a obligé de choisir des procédés de soudage (Union melt, MIG) coûteux afin d'atteindre un coefficient de qualité de soudure élevé pour une meilleure sécurité et résistance et une méthode de calcul basée sur la plasticité pour une économie du métal et une technologie plus facile. Si le prix de revient est important, la production en serie le réduira.

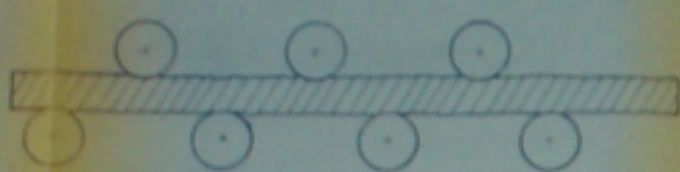
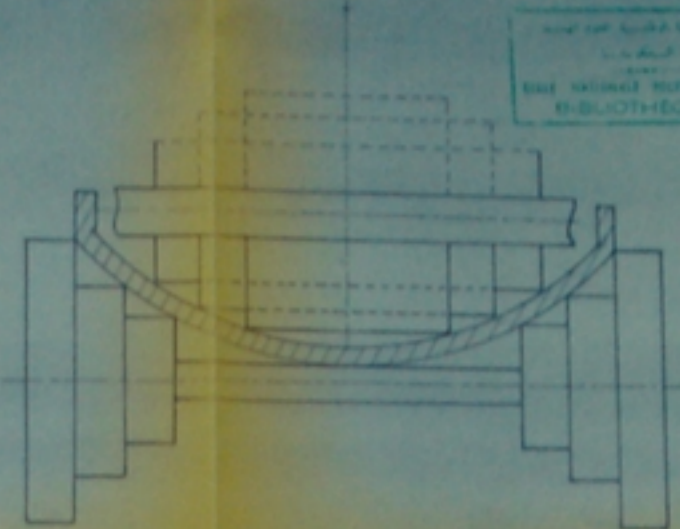
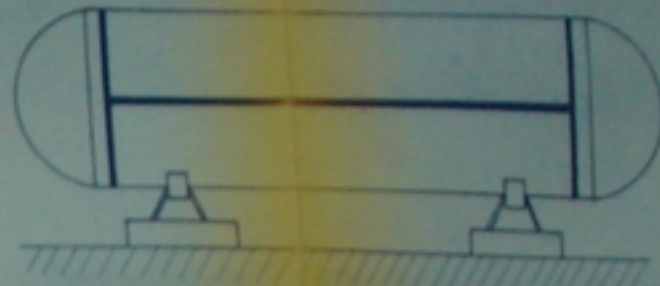
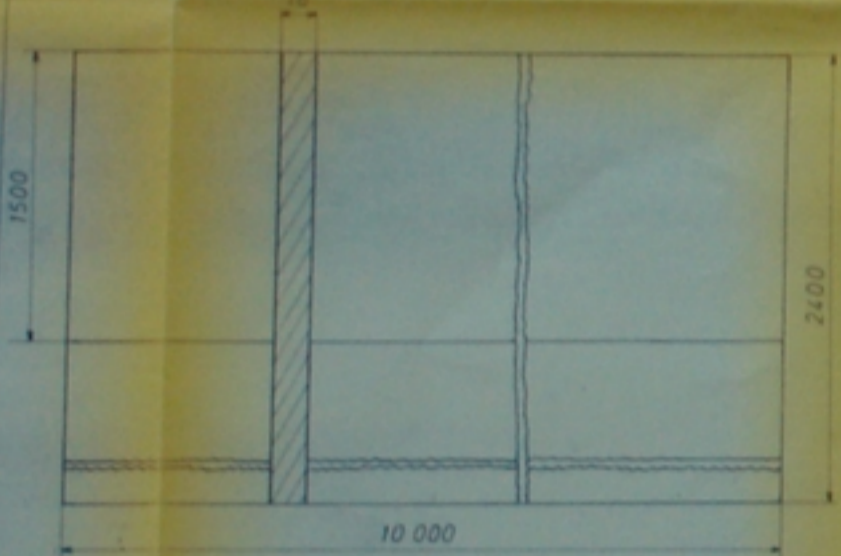
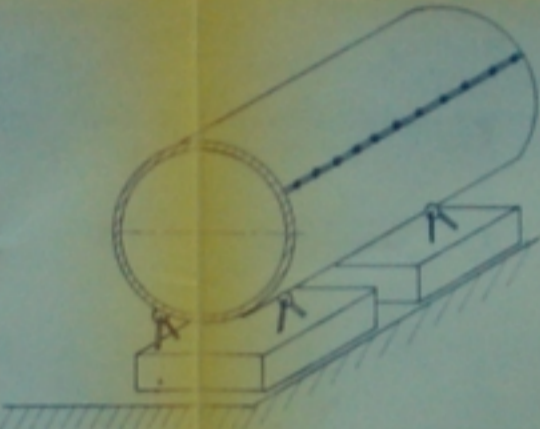

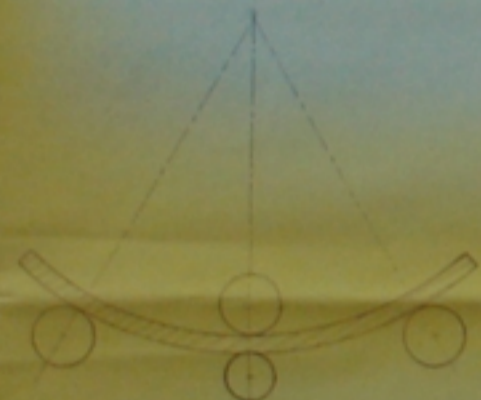
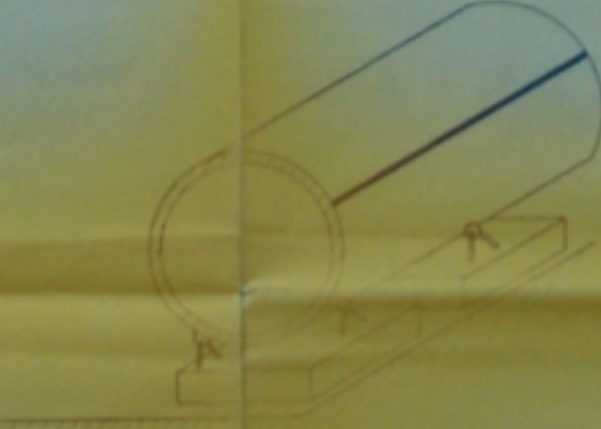
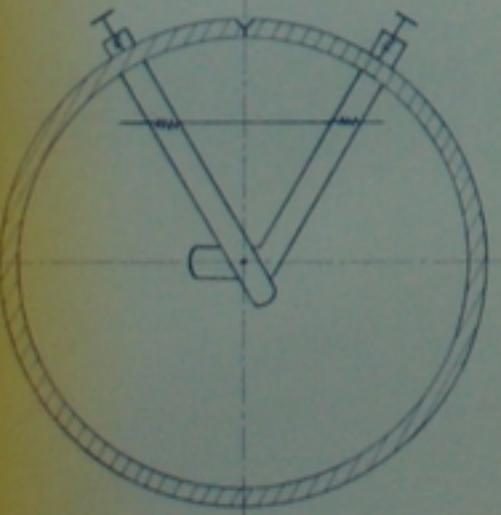
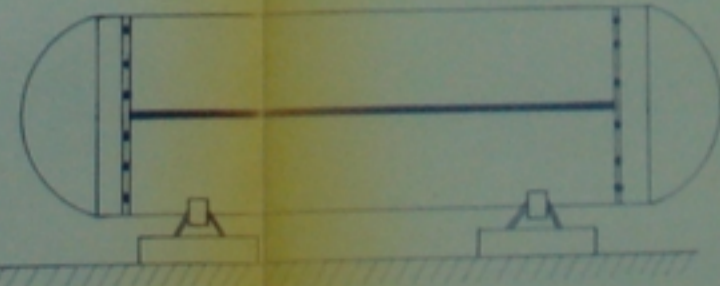
Une étude complete et détaillée exigerait plus de temps et d'efforts qu'on ne peut y consacrer dans le cadre de ce mémoire.

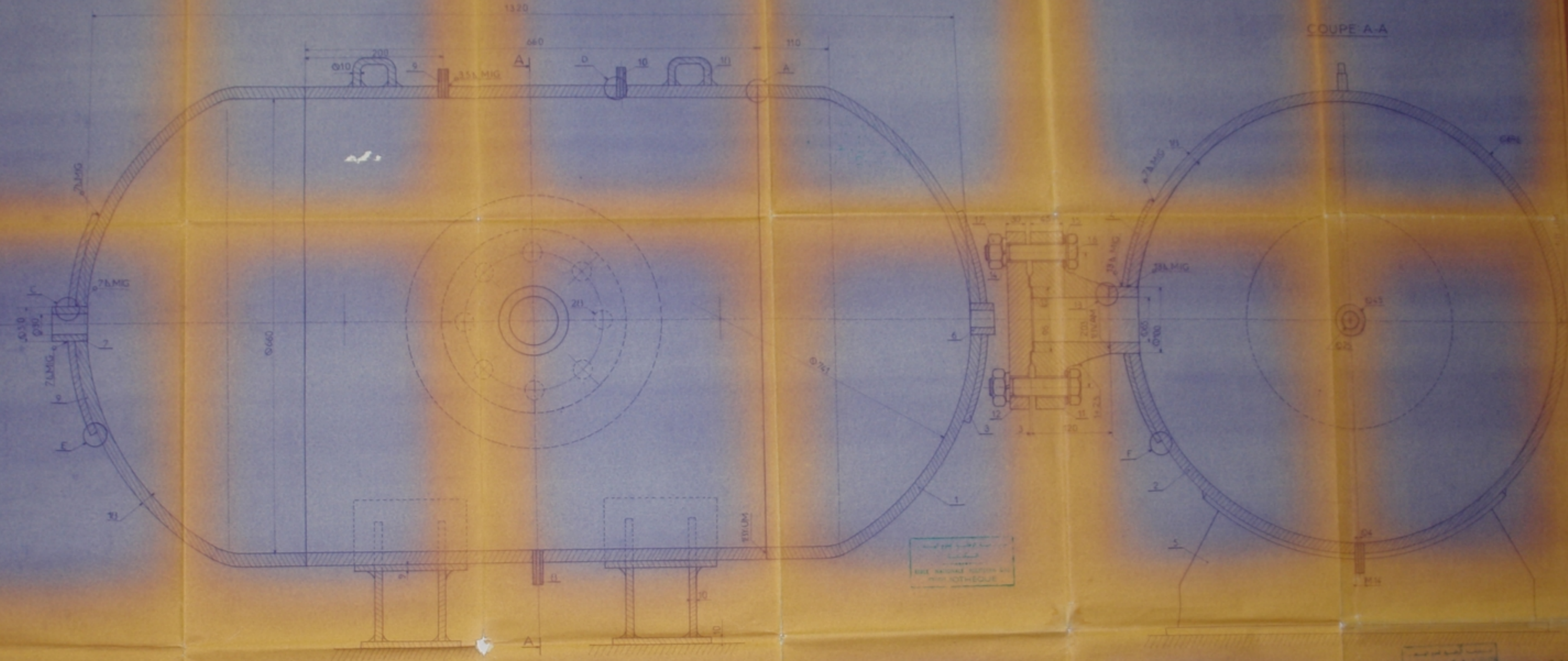
Je souhaiterai que mon travail soit complete en ajoutant d'autres éléments (la flexion, la déformation, le calcul de la gamme d'usinage) et pourquoi pas la réalisation avec le concours des entreprises concernées issues de la restructuration des sociétés nationales (S.N.S., S.N. METAL, SONATRACH).

B I B L I O G R A P H I E

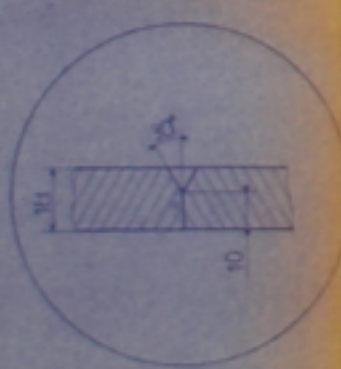
=====

- * Les problèmes de résistances des matériaux de I. MIROLIOUBOU et COLL
Edition de MOSCOU
- * Manuel de ATLAS COPCO - année 1977.
- * La sciences des matériaux de l'ingénieur de C.W. RICHARD - DUNOD
Edition PARIS
- * Les procédés de soudage de P.T. HOULDCROFT. DUNOD . PARIS 1971
- * Applications du sondage aux constructions. R.BAUS et W.CHAPEAU EYROLLES
Editeur 1978
- * Elements de construction à l'usage de l'ingénieur; (Tome 7). F. BERNARD
A.L. TOURANCHEAU ; A. BRU. DUNOD PARIS 1971
- * Ventilateurs, compresseurs centrifuges et axiaux de MARCEL SINDILLE
- * Elements de construction. Aide mémoire. Calcul et construction (Tome 2)
sous la direction DE N.S. ATCHERKAN 3ème édition 1968
- *CCode 1969 de construction des appareils à pression non soumis à l'action
de la flamme.
- * Rupture des métaux de FRANCOIS D.
- * Evaluation de l'utilisation des Butane-Propane dans les foyers ruraux de
M.BOUKARI Département Génie Mécanique session
Janvier 1983
- * Les réservoirs en aciers Allies de M. HARKAT . Département Génie Mécanique
Session Janvier 1982
- * Pour le chaudronnier de M.DARCY. DUNOD Editeur 1962
- * Manuel pour industrie de la machine. HONGRIE
- * Guide de soudage automatique. Union melt (S.A.F.) 1976
- * Résistance des matériaux (tome 2). BASQUIN
- * Guide du dessinateur industriel. A.CHEVALIER. EDITION 1980.

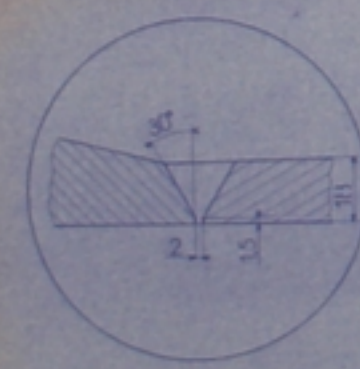
Pha	Opé	Désignation	Schema	Matériel	Pha	Opé	Désignation	Schema	Matériel	Pha	Opé	Désignation	Schema	Matériel
10	1	Planage des tôles.		Machine à planer du type SP4-170.	50	5	Exécution des fonds et découpage.		- Presse de découpage type UPR 101.	90	9	Soudage bout à bout des fonds sur la virole (extérieur).		- Transform. de type T&F 1005. - Soudeuse automatique de type AOS 1002. - Vireur à galets de type PR4. - Positionneur Posissaf.
20	2	Tracé sur tôles: 18x1500x10000 18x2400x10000 et découpage d_{tr} 100mm $d_{s, m, p}$ 14mm (sur virole) et d_s 45mm d_g 50mm (sur fonds) et préparation des bords.		Compas Table Equerre Règle Passe de découpage type UPR 201.	60	6	Assemblage et pointage de la virole.		- Transform. Arcotex de type 200. Electrode enrobée S4. Vireur à galets de type PR4.	100	10	Soudage des trous et renforcements sur le réservoir.		- Installation du procédé MTG. - Positionneur Posissaf.
30	3	Cintrage tôle à un diamètre intérieur $D_i = 660$ mm.		Machine à cintrer de rouleaux type 376 P.	70	7	Soudage bout à bout (extérieur) et découpage de l'excès après essai de traction.		- Transform. type T&F 1035. - Soudeuse automatique de type AOS 1002. - Presse de découpage type UPR 101.			CONTRÔLE		
40	4	Serrage des bords de la tôle.		- Dispositif de serrage manuel calibré pour contrôler l'écart entre bords.	80	8	Assemblage et pointage des fonds sur la virole.		- Transform. Arcotex de type 200. Electrode enrobée S4. Vireur à galets de type PR4. Positionneur Posissaf.					



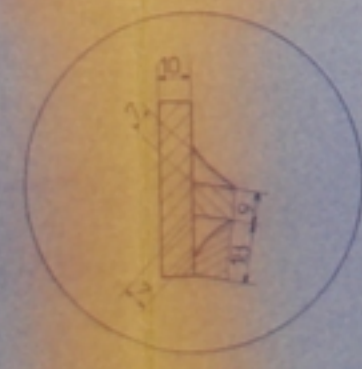
ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DE
BÉTON-BOULONNERIE



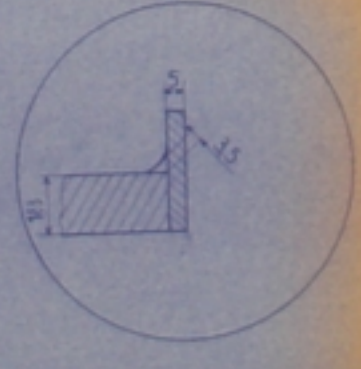
A



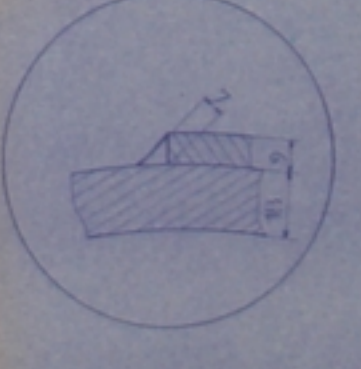
B



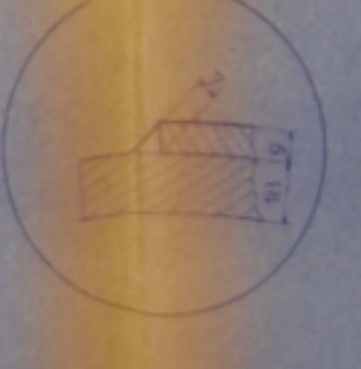
C



D



E



F

#140555
- L -

N°	Quantité	Description	Matériau	Norme
2	2	Arceau de montage	XC 20	E 24
3	1	Embr. H. 27	2 C 20	NF E 27 41
4	1	Vis HCO M27	2 C 20	NF E 27 31
5	1	Rivetele à part de montage	XC 20	NF E 27 85
6	1	Rivetele GROUPE	XC 20	NF E 27 81
7	1	Joint	Cu	Du 95
8	1	Chapeau	A Deux A41	Se 3
9	1	Arête	A Deux A41	Se 3
10	1	Tube de montage	XC 20	E 48
11	1	Tube de support	XC 20	E 41
12	1	Tube de purge	XC 20	E 41
13	1	Tube d'entrée	XC 20	E 41
14	1	Tube de sortie	XC 20	E 41
15	1	Support	XC 20	E 48
16	1	Rafraîchissement	SN 20	205/160
17	2	Rafraîchissement	SN 20	205/160
18	1	Vis	SN 20	A
19	1	Rond Elliptique	SN 20	R

Matériau: XC 20
Norme: NF E 27 41

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DE
BÉTON-BOULONNERIE

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DE
BÉTON-BOULONNERIE

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DE
BÉTON-BOULONNERIE

