

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : *Génie Mécanique*

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET :

*Etude de la Construction
d'un réservoir sphérique
de 1000 m³*

5 PLANS

Proposé par :

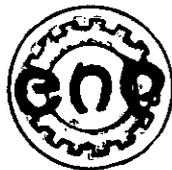
M. A. Eleod

Etudié par :

S. Mokhtari

Dirigé par :

A. Eleod



PROMOTION : *Juin 1984*

"Je ne suis quand même pas assez
insensé pour être tout à fait assuré
de mes certitudes."

- Jean Rostand -

DEDICACES .

A mes très chers parents

MON PERE

MA MERE

MES FRERES

MES SOEURS

je dédie cet humble travail .

REMERCIEMENTS

Nous remercions tout d'abord Monsieur Andräs ELEOD pour les conseils et les enseignements qu'il nous a prodigués durant tout ce semestre.

Nos remerciements vont ensuite à Monsieur Omar REDJIMI qui a contribué à l'accomplissement de notre travail.

Notre reconnaissance va également à tous mes amis, et en particulier, Messieurs Abdelmalek SADAoui et MECHTI pour nous avoir aidés dans notre tâche, ainsi que pour l'amitié qu'ils nous ont témoignée.

Qu'ils en soient tous remerciés.

Nom et prénom : MOKHTARI Salah

Département : Génie-Mécanique

Promotion : A.ELEOD

Résumé : Notre projet consiste en la construction d'un réservoir de forme sphérique d'une capacité de 1000 m³ destiné à une fonction spécifique ; le stockage de l'essence. Le but que nous nous proposons est le choix d'un matériau, base de toute construction métallique, la fabrication des éléments constituant le réservoir, leur emboutissage par déformation plastique, leur soudage ; c'est à dire le choix du procédé de soudage, le montage, et enfin le contrôle.

Summary : This project consist on the building "construction", of 1000 m³ spherical tank. This tank will be used for gas-oil storage. One the main goal we want te achieve is to choose the right material, and the different element in velved in the construction of the storage tank. Was also want to different be appropriate process plastic deformation material welding set up and non destructif control.

ملخص : ان دراستنا لهذا المشروع تحتوى على بناء لخزن ذو شكل كروي، وظيفته تكمن لتخزين البنزين . ان هدفنا هذا هو اختيار المادة المعدنية التي تعتبر أساسية في كل بناء معدني، و صناعة العناصر التي تكون هذا الخزن، و اعطائهم الشكل المناسب بطريقة التشوية البلاستيكي و تلحيمهم . اذن اختيار منهج التلحيم، التركيب، و أخيرا المراقبة بمفهومها الواسع.

INTRODUCTION	
I. Paramètres Généraux	1
1.1. - Selon la bibliographie internationale	1
1.2. - Avantages des réservoirs sphériques	3
1.3. - Difficultés de la technologie	3
1.4. - Exigences techniques	5
.....	
II. Calcul du réservoir	7
II.1. - Construction de réservoirs sphériques	7
II.2. - Forme et nombre de supports	8
II.3. - Choix du matériau	13
II.4. - Détermination de l'épaisseur théorique et réelle de la paroi du réservoir z	14
II.5. - Détermination de la soudabilité	20
II.6. - Calcul de la masse de la sphère	23
II.7. - Contrôle de l'épaisseur du point de vue de la rupture fragile	26
.....	
III. Fabrication du réservoir	33
III.1. - Gammes d'usinage des segments et des fonds	33
III.2. - Choix les paramètres de soudage	38
III.3. - Gamme de soudage	44
III.4. - Gamme de montage du réservoir	46
.....	
IV. Dimensionnement des différents éléments du réservoir	50
IV.1. - Détermination de la surface de la calotte sphérique	52
IV.2. - Dimensionnement du segment	52
IV.3. - Tracage du segment	52
IV.4. - Contrôle des cordons soudés	61
IV.5. - Contrôle des ouvertures	70
IV.6. - Contrôle non destructif des soudures	73
.....	
V. Organisation du travail par la méthode P.E.R.T.	70
V.1. - Détermination des tâches qui précèdent et succèdent une activité	70
V.2. - Détermination des dates au plus tôt et au plus tard	80
V.3. - Détermination du chemin critique	81
Diagramme de GANTT	82

BIBLIOGRAPHIE.

INTRODUCTION

Le temps que nous vivons est celui de l'industrie et de la technologie par excellence

Les recherches et les prospections scientifiques donnant chaque jour naissance à de nouvelles techniques pour une exploitation plus rationnelle des découvertes.

Cette rationalisation de l'exploitation répond à un besoin croissant de l'amélioration de la productivité tant que sur le plan quantitatif que qualitatif.

La qualité des produits est continuellement soumise à des analyses diverses pour être améliorée ou pour être maintenue à un certain niveau.

Là se pose le problème de stockage. Si pour bon nombre de produits le stockage ne semble pas poser de problèmes particuliers, il en est d'autres pour certains produits nécessitant un stockage dans des conditions particulières.

Comment stocker plus et mieux ?

L'amélioration des conditions de stockage ne concerne pas seulement la qualité mais surtout la sécurité pour certains nombres de produits dits à "risques". Ainsi donc pourrait se poser la question.

Nous assistons alors à l'élaboration et à la conception au fur et à mesure de l'avancement des sciences, de nouvelles techniques répondant à des besoins toujours plus précis. C'est le cas des produits pétrochimiques.

En effet pour les pays producteurs de produits pétrochimiques (Essence, butane, propane etc...) et qui ont sur place des raffineries comme l'ALGERIE se pose un problème. Ce problème est celui du stockage de ces produits

On est souvent amené à importer ou à construire par des firmes étrangères des réservoirs qui puissent néanmoins résoudre ce problème.

I. PARAMETRES GENERAUX DES RESERVOIRS SPHERIQUES.

I.1. SELON LA BIBLIOGRAPHIE INTERNATIONALE.

La réalisation des réservoirs globulaires nécessitent des paramètres essentiels pour leur construction dont :

- . le volume
- . le diamètre
- . la pression agissant sur les parois intérieures du réservoir
- . l'épaisseur des tôles formant ce réservoir
- . la température extérieure
- . le produit à stocker et sa composition chimique.

C'est ainsi que jusqu'à présent la capacité de ces réservoirs peut varier entre 100 et 20.000 m³ et le diamètre peut atteindre 34m. Pour la pression intérieure, elle peut atteindre une valeur allant jusqu'à 25 atm.

Vu le besoin extrêmement important des industries pétrolières et chimiques en matière de stockage et également de transport de ses produits, beaucoup de pays au monde font d'énormes progrès dans la construction de réservoirs dont les capacités ou plus généralement les paramètres varient d'un pays à un autre.

Dans ce travail on prendra quelques exemples de pays constructeurs de réservoirs sphériques seulement pour voir comment se fait la variation des paramètres généraux qui sont essentiellement le volume et la pression.

C'est ainsi qu'en :

URSS

En 1974, les volumes des réservoirs sphériques construits dans cette nation pouvaient varier entre 300 et 4000 m³ pour une pression intérieure allant de 2,5 à 18 atmosphères et une épaisseur de paroi variant entre 12 et 34 mm.

Pression d'essai = $0,6 \text{ N/mm}^2$

$$R_m = 793 \text{ N/mm}^2, \quad R_{eH} = 689 \text{ N/mm}^2.$$

. Calcul de la contrainte admissible.

$$\sigma_{adm_1} = \frac{R_{eH}}{\alpha_1} \quad \sigma_{adm_2} = \frac{R_m}{\alpha_2}$$

$$\sigma_{adm_1} = \frac{689}{1,6} = 430,625 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{adm_2} = \frac{793}{3} = 264,33 \text{ N/mm}^2$$

On choisira $\sigma_{adm} = 264,33 \text{ N/mm}^2$

$$\alpha = \frac{\sigma_{adm}}{R_m} = \frac{264,33}{793} = 0,33 \quad \text{Coefficient de sécurité.}$$

$\eta = 0,7$ coefficient de joint de soudure.

L'épaisseur nécessaire sera alors :

$$\alpha_r = \frac{P \cdot D_i}{4 R_m \cdot \alpha \cdot \eta - 0,4 P} = \frac{0,6 \cdot 12400}{4 \cdot 793 \cdot 0,33 \cdot 0,7 - 0,24}$$

$$\alpha_r = \underline{10,16 \text{ mm.}}$$

Nous donnerons plus tard une conclusion concernant les résultats trouvés.

II.4.2. DETERMINATION DE L'ÉPAISSEUR RÉELLE

D'après la documentation nous avons pu trouver une expression donnant directement l'épaisseur réelle de la paroi du réservoir en fonction de la contrainte admissible qui est elle-même fonction du choix du matériau.

Cette expression s'écrit :

$$e = \frac{P \cdot D_i}{4 \sigma_m} \quad [\text{mm}]$$

où :

D_i : Diamètre intérieur du réservoir [mm]

P : Pression d'essai en $[\text{N}/\text{mm}^2]$

Pour cause de corrosion du métal et de la tolérance des tôles utilisées cette épaisseur se voit corrigée et s'écrit enfin :

$$e_{\text{réelle}} = \frac{P \cdot D_i}{4 R_m \cdot x \cdot \eta - 0,4 P}$$

R_m : Résistance à la rupture du métal $[\text{N}/\text{mm}^2]$

x : coefficient de sécurité

η : coefficient de joint de soudure.

II.5. CONTRÔLE DE LA SOUDABILITE.

La soudabilité dépend de plusieurs facteurs dont on citera quelques uns

- Composition du métal de base.
- du métal d'apport.
- du procédé de soudage choisi.
- de l'épaisseur de la paroi.

des conditions constructives et technologiques.

Certaines propriétés telles la conductivité thermique et la dilatation linéaire provoquent une concentration de chaleur et une déformation des pièces soudées si

certaines mesures constructives ne sont pas prises. Donc on déterminera par le calcul le carbone équivalent dont la formule est la suivante :

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

Alors le carbone équivalent total s'écrit.

$$[C]_e = [C] [1 + 0,5e] \quad \text{où } e = \text{épaisseur [cm]}.$$

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

Si $[C]_e \geq 0,4$ l'acier est soudable avec préchauffage.

Dans le cas où le préchauffage sera nécessaire on calculera la température de préchauffage par la formule suivante dite Formule de SEFERIA.

$$T_p = 350 \sqrt{[C]_e - 0,25} \quad \text{en } ^\circ\text{C}$$

APPLICATIONS NUMERIQUES

1^{er} Cas Pour l'acier non allié A202A. ASTM.

$$[C] = 0,17 + \frac{1,125}{9} + \frac{0}{9} + \frac{0}{18} + \frac{0}{90} = 0,295$$

$$[C]_e = [C](1 + 0,5e) = 0,295(1 + 0,5 \cdot 1,6) = 0,53.$$

Donc $[C]_e \geq 0,4$, alors cet acier est soudable avec préchauffage.

2^{ème} Cas Pour l'acier faiblement allié A517A. ASTM.

$$[C] = 0,18 + \frac{0,95}{9} + \frac{0,665}{9} + \frac{0}{18} + \frac{0,23 \times 7}{90} = 0,3769.$$

$$[C]_e = [C](1 + 0,5e) = 0,3769(1 + 0,5 \cdot 1,01) = 0,56.$$

Donc $[C]_e \geq 0,4$, cet acier est également soudable avec préchauffage.

Dans ce cas on calculera les températures de préchauffage de ces deux aciers. à l'aide de la formule de SEFERIA.

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

Pour l'acier A202A. ASTM.

$$T_p = 350 \sqrt{0,53 - 0,25} = 185,20^\circ\text{C}$$

$$T_p = \underline{185,20^\circ\text{C}}$$

Pour l'acier A517A. ASTM.

$$T_p = 350 \sqrt{0,56 - 0,25} = 194,87^\circ\text{C}$$

$$T_p = \underline{194,87^\circ\text{C}}$$

Conclusion :

Les deux aciers nécessitent un préchauffage. Le premier acier aura une température de préchauffage de $185,20^\circ\text{C}$ le second une température de $194,87^\circ\text{C}$

Vu que le premier acier choisi est un acier non allié et que son prix de revient est de 1,5 fois moins élevé que celui de l'acier faiblement allié nous choisirons par conséquent l'acier A202A. ASTM d'épaisseur 16mm.

RFA

Le plus grand volume atteint dans ce pays très avancé techniquement est de l'ordre de 20.000 m^3 pour une épaisseur de paroi variant de 34 à 36 mm.

JAPON

Utilisant des techniques de pointe ce pays peut fabriquer des réservoirs pouvant atteindre une capacité de 20.000 m^3 et une épaisseur de paroi allant jusqu'à 22 mm.

HONGRIE

Ce pays produit également des réservoirs globulaires depuis quatre ou cinq années.

Le nombre de réservoirs produits annuellement varie entre 10 et 15 (Réservoirs).

La capacité des réservoirs produits varie entre 250 et 1000 m^3 pour une pression intérieure variant également entre 6 et 20 atmosphères.

ALGERIE

Dans notre pays, la construction de ce type de réservoir ne connaît pas un essor considérable.

On importe ces réservoirs en pièces détachées, c'est à dire que les éléments le constituant (segments, coupôles, poteaux) arrivent en ALGERIE déjà fabriqués et c'est à l'unité de REGHAÏA [GTP ex ALTRA] que revient le montage et le contrôle radiographique des soudures constituant ces réservoirs.

La capacité de ces réservoirs varie entre 250 et 1000 m^3 pour une épaisseur de paroi variant de 16 à 34 mm.

Les principaux utilisateurs de ces réservoirs sont SONATRACH et SONELGAZ.

I.2. AVANTAGES DES RESERVOIRS SPHERIQUES

Les avantages les plus importants des reservoirs spheriques sont:

- le stockage d'un plus grand volume pour une plus petite surface
- La sollicitation du reservoir est plus favorable par rapport au reservoir cylindrique par ce qu'il n'existe pas de moment de flexion (voir figure 1).
- La dispersion de la pression est plus homogène car $p_e = p_m = R$
R: rayon de la sphere .
- Le reservoir spherique du point de vue esthetique est meilleur que le reservoir cylindrique .

I.3. DIFFICULTES DE LA TECHNOLOGIE

La construction de ce type de reservoir (spherique) pose néanmoins quelques problemes, aussi elle necessite :

- d'une part une technologie de soudage parfaite, qui parfois doit être accompagnée par un traitement thermique.
- d'autre part par la mise en forme des éléments le constituant c'est à dire :

- Les segments
- Les fonds spheriques.

Cette mise en forme, c'est à dire l'emboutissage, necessite obligatoirement une matrice et un poinçon d'où creation d'une machine (Poinçonneuse), le choix des matériaux constituant les outils, les calculs relatifs qui suivent, en somme une haute technologie .

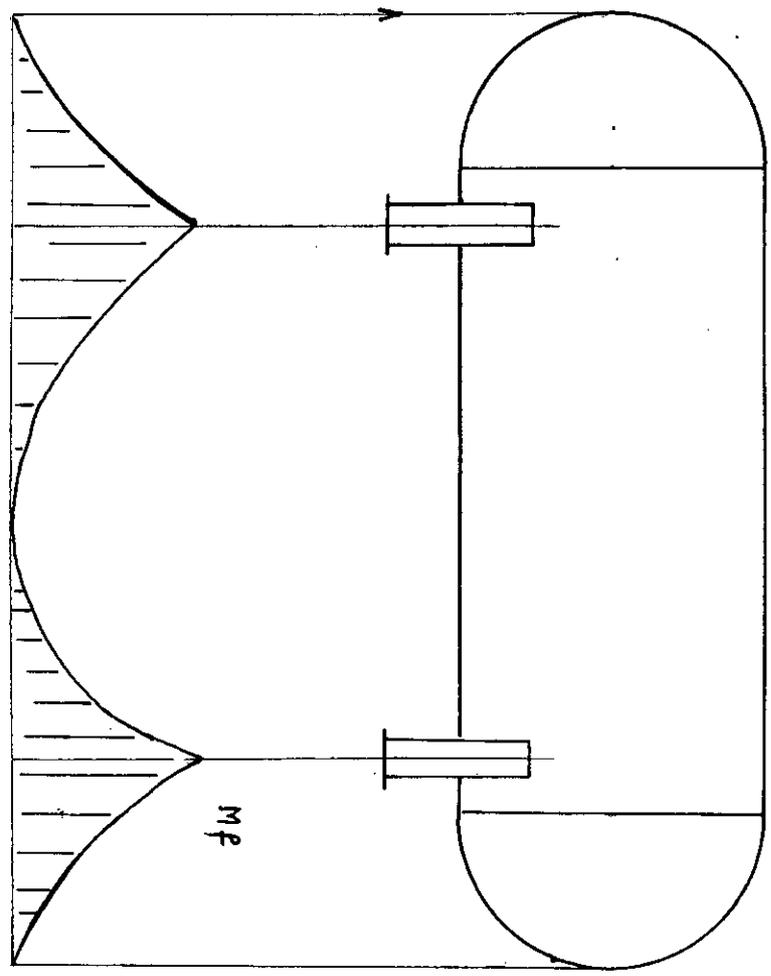
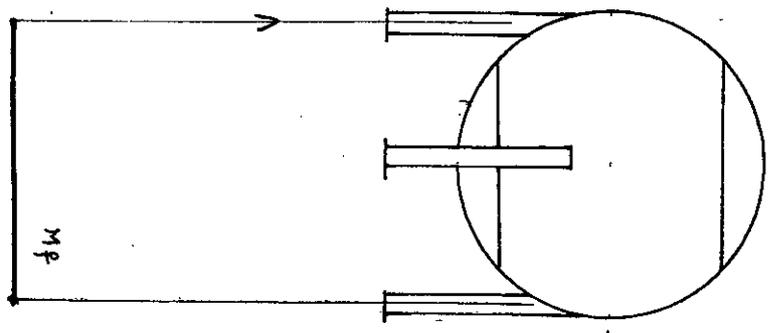


fig 1. Moment de flexion additionnel dans le cas d'un reservoir cylindrique.



. Reservoir spherique.

I.4. EXIGENCES TECHNIQUES ET SECURITE.

I.4.1 EXIGENCES TECHNIQUES.

Le réservoir doit être étudié et conçu en conformité avec les réglementations particulières de chaque pays. L'arrêté du 23 juillet 1943 stipule :

Article 1

- Le métal utilisé 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.
- Pour les parties en acier, les caractéristiques mécaniques du métal mesurées sur des éprouvettes prélevées des contraintes maxima, tous recuits ou traitements thermiques terminés devront satisfaire aux deux égalités suivantes.

$$R > 1050 \quad \text{et} \quad A > 14.$$

dans lesquelles R représente la résistance de rupture à la traction exprimée en Myriapieze, et A l'allongement relatif, exprimé en pourcentage.

Article 2

- Les matériaux entrant dans la construction des appareils à pression 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 à redouter et à défaut de surepaisseur suffisante, des précautions spéciales doivent être prises pour qu'elles ne puissent devenir une source de danger.
- Les joints, dispositifs de fermetures, et soupapes, doivent pouvoir être rendus étanches, sans comporter de matières susceptibles, dans les conditions d'emploi de s'enflammer ou de detonner sous l'action des fluides contenus.

I.4.2. SECURITE DU PERSONNEL

Precautions à prendre lors des visites des reservoirs.

Avant de penetrer dans un reservoir ayant contenu des vapeurs d'hydrocarbures, il faut d'abord le ventiler energiquement et verifier ensuite que l'atmosphere y est respirable.

Pendant toute la duree de la visite, le personnel est surveille de l'exterieur du reservoir.

Toutefois s'il n'est pas possible d'attendre que l'atmosphere soit completement degazee, les personnes chargees de la visite porteront des masques ou appareils respiratoires.

II. CALCUL DU RESERVOIR.

II.4. CONSTRUCTION DE RESERVOIRS SPHERIQUES.

Le volume, le poids et bien d'autres facteurs restent déterminants, pourquoi?

Ils sont à l'origine de la forme des parois et nous orientent sur un modèle bien précis de réservoir que l'on construira.

S'agissant de notre étude nous décrirons quelques modèles utilisés, c'est à dire concernant la disposition des tôles.

Disposition des tôles en fuseaux

• Deux calottes sphériques sont montées à chaque pôle.

• Le nombre de fuseaux est variable suivant le diamètre du réservoir

Disposition des joints types 3 noeuds. fig 1.

• Disposition en secteurs et zones sphériques

• suivant le diamètre du réservoir le nombre de zones et

secteurs sphériques sont variables.

Disposition des joints types 3 noeuds fig 2.

• La sphère est composée d'éléments

calottes monoblocs

• Zone formée d'éléments sphériques trapézoïdaux

• fuseaux

Disposition recommandée pour les réservoirs ayant à subir de fortes contraintes. fig 3

Application du type tétraédre fig 4

ce type de disposition a été utilisé pour la construction d'une sphère de grand diamètre (20m)

Il permet une économie sur la longueur des soudures ainsi que sur les chutes des tôles, comparativement à un réservoir de même diamètre construit en "tranches d'oranges"

Principe de type à 3 noeuds.

Si il existe des reservoirs globulaires ayant des constructions complexes et ce à cause des importantes quantités de produits qu'ils doivent contenir on peut également décrire le type de construction utilisé pour les faibles et moyens volume.

Les elements (segments, coupôdes) des reservoirs représentés par les figures 5, 6, 7, sont soudés suivant le plan meridien.

Le reservoir retenu pour notre étude est celui de la figure 7 vu qu'il aura une capacité de 1000m^3 , donc dans la catégorie des moyens volumes à comparer à ceux de 20000m^3 d'une part et sa simplicité et facilité de construction d'autre part.

III.2 OR FORMES ET NOMBRE DE SUPPORTS.

Les reservoirs globulaires, après construction, doivent être posés sur des supports. La forme des supports et leur nombre dependent de la masse qui doit reposer sur eux. Le nombre de support peut être égal ou supérieur à 3.

Il existe plusieurs types de position des bras sur le reservoir.

. Reservoir supporté par plusieurs bras soudés suivant l'équateur. fig 8

. Reservoir supporté par plusieurs paires de bras. fig 9

. Reservoir supporté par plusieurs triplés de bras. fig 10

. Reservoir supporté par des bras articulés lui permettant ainsi quelques mouvements homogenes à cause de la dilatation. fig 11.

Nous donnerons également quelques details de construction des bras qui nous permettra de voir la fixation du support sur le reservoir. fig 12. et 13

II.2.I DETERMINATION DU DIAMETRE DU RESERVOIR .

Notre reservoir spherique a une capacite de 1000m^3 nous pourrons par consequent determiner son diametre par l'expression suivante.

$$V = \frac{4}{3} \pi R_i^3 \quad \Rightarrow \quad R_i = \sqrt[3]{\frac{3V}{4\pi}}$$

$$\text{d'où } d_i = 2 R_i$$

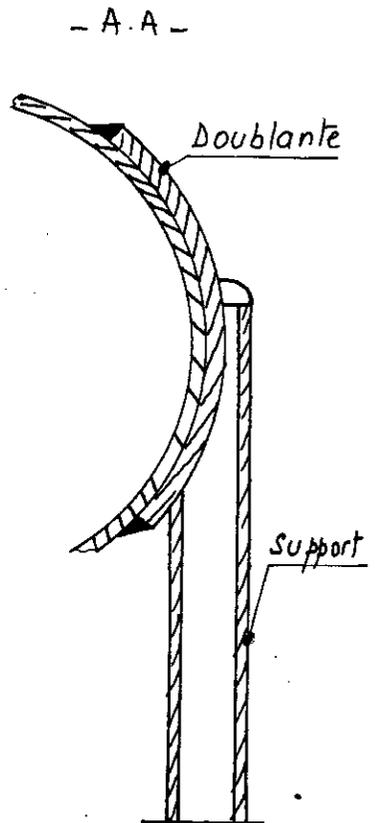
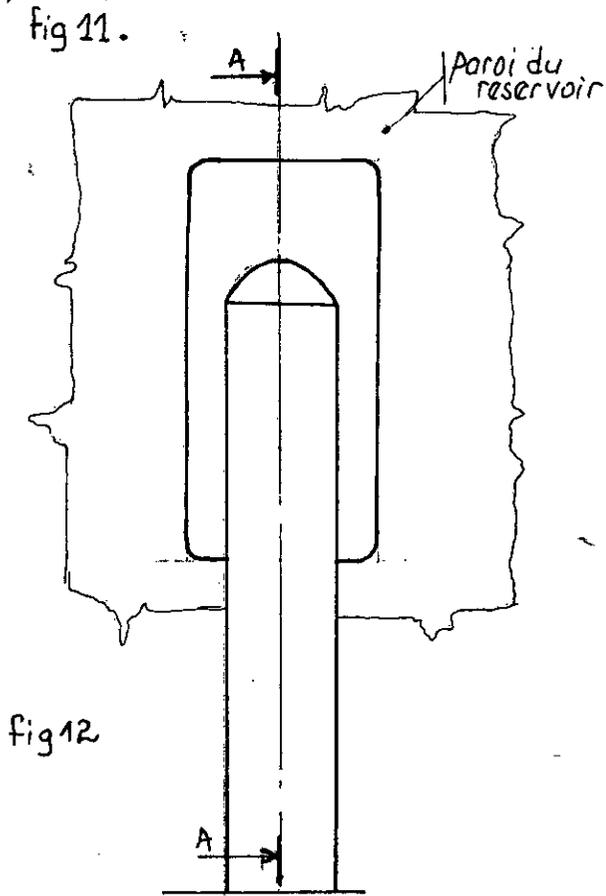
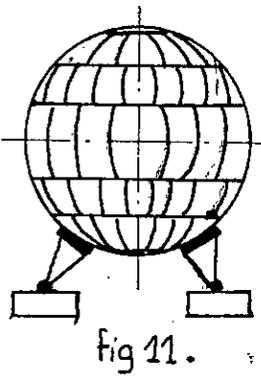
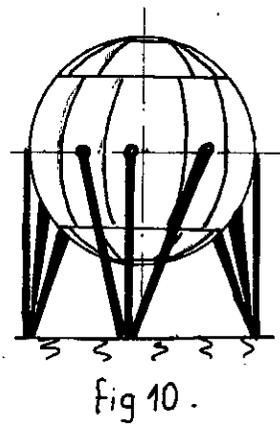
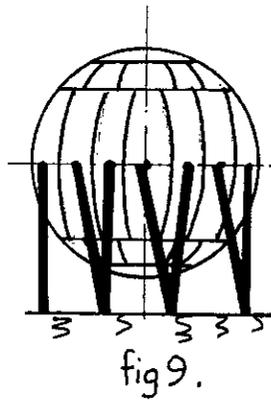
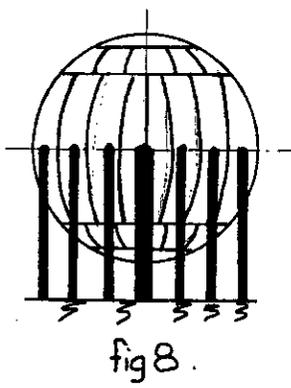
Application numérique :

$$R_i = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 1000}{4\pi}} = 6,20\text{m}$$

$$d_i = 2 R_i = 2 \times 6,20 = 12,40\text{m}$$

$$\underline{d = 12400\text{mm}} \quad ; \quad \underline{R_i = 6200\text{mm}}$$

FIGURES :



FIGURES :

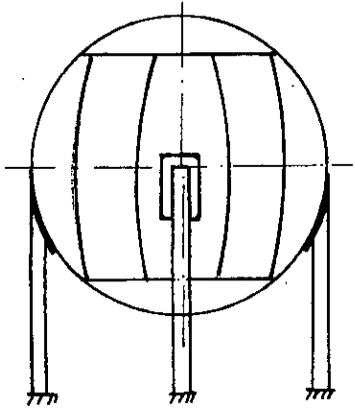


fig 1.

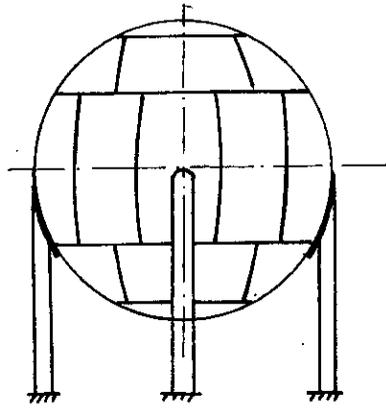


fig 2.

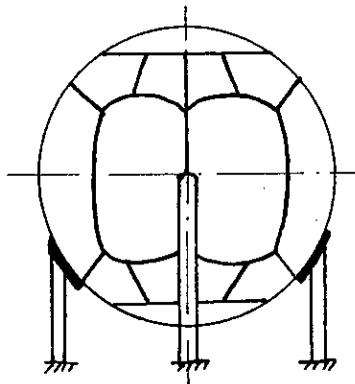


fig 3.

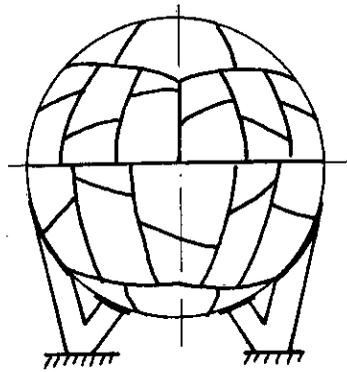


fig 4 : type tétraèdre

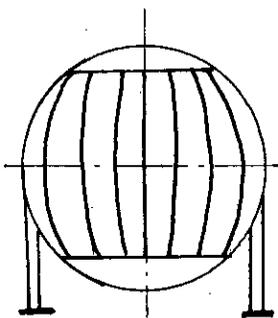


fig 5.

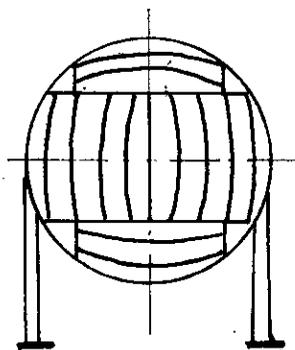


fig 6.

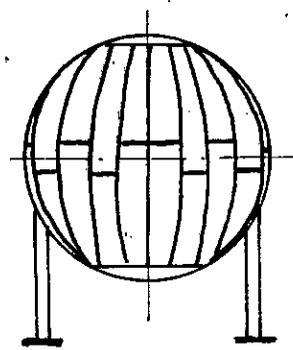


fig 7.

NORMES UTILISEES DANS LES ACIERS DE CONSTRUCTION

RFA	DIN. 17135 , 17155 , 17440 STAHL-EISEN WERSTOFFBLATTER 089 550, 590, 610, 620, 680.
USA	ASTM A202A ; -203 ; -204 ; -285 ; -298 -302 ; -353 ; -387 ; -455 ; -515 ; -516 ; -517 ; -533 ; -537 ; -542 ; -543 ; -553 .
GBR	BS 1501 ; 151 ; -161 ; -211 ; -313 ; -221 ; -224 ; -261 ; -271 ; -281 ; -282 ; -503 ; -509 ; -510 ; -620 ; -621 ; -622 .
HONGRIE	MSZ 6280-74 ; 1741-69
URSS	GOST 5050-65 ; 5520-62
FRANCE	AFNOR A35 ; -501 ; 36-201 ; -205 ; -206 -208 .

II.3 CHOIX DU MATERIAU.

Le choix du materiau que l'on utilisera pour la construction de notre reservoir spherique reste l'un des buts essentiels de notre projet.

C'est ainsi que l'on doit considerer la soudabilite d'un acier qui est fonction de la composition chimique et de ses caracteristiques mecaniques.

On evitera neanmoins de souder les aciers a forte teneur en carbone ou a pouvoir trempant excessif.

Dans les cas difficiles on adopte une energie de soudage suffisante et on complete le traitement par un prechauffage a maintien prolonge pour obtenir un refroidissement a vitesse moderee de la region soudee.

En dehors des risques de trampe qui peut les affecter, les aciers au carbone ou faiblement allies peuvent etre marques par une tendance plus ou moins prononcee au risques de rupture fragile.

Ce risque depend de la qualite du materiau : On evitera alors ce risque par un choix convenable de l'acier, par un trace correct de la construction et par une execution soignee des soudures.

Conclusion : Le choix doit etre fonction de :

- La resistance de ce materiau
- de la soudabilite (Est-il necessaire de proceder a un prechauffage ?).

De ce fait on choisira deux types d'aciers

- Acier de construction non alle
- Acier de construction faiblement alle.

Pour chacun des deux aciers on calculera l'épaisseur théorique et réelle.

II.4. DETERMINATION DE L'ÉPAISSEUR THÉORIQUE ET RÉELLE DE LA PAROI DU RÉSERVOIR.

Pour le calcul des réservoirs de révolution soumis à une pression intérieure symétrique par rapport à un axe et dont les parois n'ont pas de changements brusques d'inclinaison ou des formes angulaires, on peut utiliser la théorie de la membrane.

Selon cette théorie, la condition d'équilibre d'un élément de paroi (fig 1.a) en un point considéré donne lieu à une équation, équation de LAPLACE qui nous donnera les contraintes σ_t et σ_m respectivement, contrainte normale circonférentielle et contrainte méridienne.

Alors la formule de LAPLACE nous permettra de calculer l'épaisseur théorique de la paroi :

$$\frac{\sigma_t}{\rho_t} + \frac{\sigma_m}{\rho_m} = \frac{P}{e} \quad (1)$$

où : P : intensité de la pression intérieure qui est fonction

de : ρ : Poids spécifique du fluide contenu dans ce réservoir [daN/m^3]

R : Rayon de la sphère [mm]

e : épaisseur de la paroi

II.4.1. DETERMINATION DE L'ÉPAISSEUR THÉORIQUE

Dans le cas des réservoirs sphériques on a : $\rho_t = \rho_m = \rho$

où R est le rayon de la sphère.

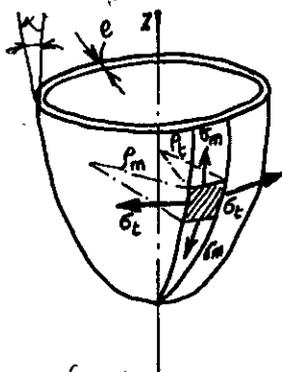
En vertu de la symétrie totale $\sigma_t = \sigma_m$.

donc en se référant à l'expression (1) sachant que

$\rho_m = \rho_t = \rho$ et $\sigma_t = \sigma_m$ alors :

$$\frac{2\sigma_m}{R} = \frac{P}{e}$$

FIGURES.



- fig 1.a.

Selon la theorie la condition d'équilibre d'un element de paroi en un point considéré degagé par des sections meridiennees et des sections perpendiculaires à celles ci infiniment voisines - fig 1.a - donne une equation equation de Laplace.

$$\frac{\sigma_t}{p_e} + \frac{\sigma_m}{p_m} = \frac{p}{e}$$

p_t = rayon de courbure des sections circonferentielles

p_m = rayon de courbure des sections meridiennees.

Applications numériques

A la base de ces applications numériques nous ferons le choix entre deux aciers de construction.

- Un acier de construction non allié de type A202 A. ASTM

- Un acier de construction faiblement allié de type A517 A ASTM.

et on calculera l'épaisseur réelle de chacun de ces deux aciers.

1^{er} Cas : Acier de construction non allié A202 A ASTM dont les caractéristiques mécaniques et la composition chimique sont :

$$R_m = 517 \div 621 \text{ N/mm}^2 \text{ (Résistance à la rupture)}$$

$$R_{eH} = 310 \text{ N/mm}^2 \text{ (limite élastique)}.$$

• Calcul de la contrainte admissible σ_{adm} de ce matériau.

$$\sigma_{adm} = \frac{R_{eH}}{\alpha_1} [\text{N/mm}^2] \quad \text{ou} \quad \sigma_{adm} = \frac{R_m}{\alpha_2} [\text{N/mm}^2]$$

avec :

$$\alpha_1 = 1,6$$

$$\alpha_2 = 3$$

; α_1 et α_2 étant des coefficients de sécurité.

$$\sigma_{adm} = \frac{310}{1,6} = 193,75 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{adm} = \frac{517}{3} = 172,33 \text{ N/mm}^2$$

on prendra $\sigma_{adm} = 172,33 \text{ N/mm}^2$

• Calcul de la pression hydrostatique.

$$P = 2 R \gamma^2$$

avec :

$$\gamma^2 = 650 \text{ daN/m}^3 = 6500 \cdot 10^{-9} \text{ N/mm}^3$$

$$R = 6200 \text{ mm}$$

$$P = 2 \cdot 6200 \cdot 6500 \cdot 10^{-9} = 0,08 \text{ N/mm}^2$$

donc la pression hydrostatique est petite devant la pression d'essai

$$P_{hydrost} = 0,08 \text{ N/mm}^2 \ll 0,6 \text{ N/mm}^2 = P_{essai}$$

• Calcul de l'épaisseur nécessaire.

$$e = \frac{P \cdot D_i}{4 R_m \alpha \cdot \eta - 0,4 P}$$

$D_i = 12400 \text{ m}$ (Diamètre du Reservoir)

$P_{\text{essai}} = 0,6 \text{ N/mm}^2$

$R_m = 517 \text{ N/mm}^2$

$$\alpha = \frac{\sigma_{adm}}{R_m} = \frac{172,33}{517} = 0,333$$

$\eta = 0,7$

$$e_r = \frac{0,6 \cdot 12400}{4 \cdot 517 \cdot 0,333 \cdot 0,7 - 0,4 \cdot 0,6} = 15,42 \text{ mm.}$$

On choisira une épaisseur $e_r = 16 \text{ mm}$.

N.B.

Composition chimique de ce matériau (A202A ASTM)

%C = 0,17

%Mn = 1 ÷ 1,25

%Si = 0,54 ÷ 0,96

%S = 0,040

%P = 0,035.

2^{ème} cas Acier de construction faiblement allié type A517A ASTM ayant les caractéristiques chimiques et mécaniques suivantes

A517A ASTM^{**}: Composition chimique.

%C = 0,13 ÷ 0,23

%Mn = 0,75 ÷ 1,15

%Si = 0,34 ÷ 0,86

%Cr = 0,46 ÷ 0,87

%Mo = 0,15 ÷ 0,31

%S = 0,040

%P = 0,035

A517A. ASTM : Caractéristiques mécaniques

$R_m = 793 \div 931 \text{ N/mm}^2$; $R_{eH} = 689 \text{ N/mm}^2$.

** VOIR TABLEAU DES MATERIAUX.

TABIEAU DES MATERIAUX .

Matière	%C	%Mn	%Si	%Cr	%Ni	%Mo	%V	%AL	%Cu	%S %P	R _m N/mm ²	R _{eH} N/mm ²
A 202 A ASTM	0,17	1- 1,25	0,54- 0,96							0,040 0,035	517- 621	310
A 203 A ASTM	0,17	0,7	0,13- 0,32		2,03- 2,57					0,040 0,035	448- 531	255
A 204 A ASTM	0,18	0,9	0,13- 0,32			0,41 0,64				0,040 0,035	448- 531	255
A 353 ASTM	0,13	0,9	0,13- 0,32		8,4- 9,6					0,040 0,035	689- 827	517
A 517A ASTM	0,13 - 0,23	0,75- 1,15	0,34- 0,86	0,46- 0,87		0,15- 0,31				0,040 0,035	793- 931	689
St 52-3 DIN	0,22	1,5 max.	0,55 max.							0,050 0,050	510- 608	353
TTS E 51 DIN	0,21	1,3 - 1,7	0,50 max.		0,4 - 0,7		0,1 - 0,2			0,035 0,030	608- 775	481
MSZ 52 D	0,20	1,0 - 1,5	0,25- 0,60					0,02 min		0,045 0,045	510- 608	353
MSZ 52 E	0,11	1,2	0,3	0,15	0,7		0,03	0,01	0,15	0,024 0,014	510- 608	353

II.6. CALCUL DE LA MASSE DE LA SPHERE CORRESPONDANT AUX EPAISSEUR DE 16mm ET 10,16mm.

On calculera le poids de la sphère sachant la masse volumique de l'acier soit 7800 kg/m^3

On considèrera le rayon intérieur et extérieur du réservoir ainsi que les deux épaisseurs trouvées précédemment.

- * $e = 16 \text{ mm}$. pour l'acier A202 A ASTM non allié
- * $e = 10,16 \text{ mm}$. pour l'acier A517A ASTM faiblement allié.

II.6.1. MASSE DE LA SPHERE CORRESPONDANT A L'ÉPAISSEUR $e = 16 \text{ mm}$.

Pour un volume de 1000 m^3 et un rayon de 6200 mm on aura :

$$R_e = R_i + e \quad \text{soit} \quad R_e = 6200 + 16 = 6216 \text{ mm.}$$

R_e est le rayon extérieur de la sphère.

$$\text{donc } V_e = \frac{4}{3} \pi R_e^3 \quad V_e = \frac{4}{3} \pi (6216)^3 = 1006 \text{ m}^3$$

alors le volume de l'acier composant la sphère sera :

$$V = V_e - V_i = 1006 - 1000 = 6 \text{ m}^3.$$

Masse de la sphère.

$$M_1 = \rho V \quad \Rightarrow \quad M_1 = 7800 \times 6 = 46800 \text{ kg.}$$

$$\text{soit } \underline{M_1 = 46,8 \text{ tonnes.}}$$

Cette masse correspond à l'épaisseur de paroi $e = 16 \text{ mm}$.

II.6.2. MASSE DE LA SPHERE CORRESPONDANT A L'ÉPAISSEUR $e = 10,16 \text{ mm}$.

Alors :

$$R_e = R_i + e \quad \text{soit} \quad R_e = 6200 + 10,16 = 6210,16 \text{ mm.}$$

on a :

$$V_i = 1000 \text{ m}^3$$

donc.

$$V_e = \frac{4}{3} \pi R_e^3 \quad \Rightarrow \quad V_e = \frac{4}{3} \pi (6210,16)^3 = 1003,22 \text{ m}^3$$

Volume de l'acier composant cette sphère.

$$V = V_e - V_i \quad \text{Soit} \quad V = 1003,22 - 1000 = 3,22 \text{ m}^3$$

Masse de la sphère. (masse des tôles composant cette sphère).

$$M = \rho V \quad \Rightarrow \quad M = 7800 \times 3,22 = 25130,33 \text{ kg.}$$

$$\underline{M = 25,130 \text{ tonnes.}}$$

Différence de masse entre le réservoir dont l'épaisseur de paroi est 16mm et celui dont l'épaisseur de paroi est 10,16mm.

$$\Delta M = M_1 - M_2 = 46,8 - 25,130 = 21,67 \text{ tonnes.}$$

A première vue nous dirons tout de suite qu'il vaut mieux pour nous utiliser le réservoir dont la masse est plus petite pour un même volume occupé, mais il y a un facteur déterminant c'est celui du prix de revient, prix de revient de l'acier.

Nous savons que le prix de revient d'un acier faiblement allié est approximativement 2 fois plus élevé que celui de l'acier non allié. Faisons une comparaison.

Acier non allié : $M = 46,8 \text{ tonnes.}$

Acier faiblement allié : $M = 25,130 \text{ tonnes.}$

Question prix de revient on a cet ordre de grandeur.

$$\begin{aligned} 46,8 \times 1 &= 46,8 \\ 25,130 \times 2 &= 50,26 \end{aligned}$$

Il se trouve alors que le prix de revient de l'acier non allié est préférable et en plus la technologie de soudage est la même. Il est à noter également que les aciers alliés, pour le soudage nécessite une électrode spéciale et qui dit spécial dit, difficultés et prix de revient élevé!

II.6.3. MASSE DES ELEMENTS COMPOSANT LA SPHERE.

II.6.3.1. MASSE DES COUPOLES.

Volume de la coupole.

$$V = S \cdot e = \pi \frac{D^2}{4} \cdot e.$$

$$\text{et } M = \rho V.$$

A.N.

$$V = \frac{\pi}{4} (625)^2 \cdot 16 \cdot 10^{-3} = 0,49 \text{ m}^3$$

$$M_c = 7800 \cdot 0,49 = 3822 \text{ kg.}$$

$$\underline{M_c = 3,822 \text{ tonnes}}$$

On a deux coupôles (inferieure et superieure).

Masse des deux coupôles. $M_{c_2} = 2 \times 3,822 = 7,644 \text{ tonnes.}$

On connait la masse de la sphere. $M_s = 46,8 \text{ tonnes}$

Masse de la sphere sans les coupôles.

$$M_r = M_s - M_{c_2} = 46,8 - 7,644 = 39,156 \text{ tonnes}$$

Puisqu'il existe 20 segments, nous calculerons la masse d'un seul segment.

$$M_{\text{seg}} = \frac{\text{Masse de la sphere sans les deux coupôles}}{\text{nombre de segments}}$$

$$M_{\text{seg}} = \frac{39,156}{20} = 1,95 \text{ tonnes}$$

II.7. CONTROLE DE L'ÉPAISSEUR DU POINT DE VUE DE LA RUPTURE FRAGILE.

II.7.1. DEFORMATION PLASTIQUE DANS UNE PIÈCE CONTENANT DES FISSURES.

L'étude des déformations plastiques accompagnant la mise en charge des pièces fissurées.

- Contribue à l'analyse des faciès de rupture et en particulier des transitions entre rupture "normale" et "inclinaée" qui dans les plaques sont associées respectivement au développement des conditions de déformation plane et de contrainte plane pour la déformation plastique.

- Permet de déterminer dans quelles conditions la zone de déformation plastique à la pointe de fissure est suffisamment petite pour justifier l'utilisation de la mécanique linéaire de la rupture et de calculer les corrections qui peuvent être nécessaires.

- Établit un lien entre la ténacité et les propriétés mécaniques conventionnelles des matériaux.

II.7.2. ÉTUDE DE LA ZONE PLASTIQUE À FOND DE FISSURE.

Dans ce sous chapitre nous allons étudier en détail la zone plastique à fond de fissure.

Pour cela nous étudierons le modèle d'IRWIN. Nous considérons une fissure de longueur $2a$ dans une plaque infinie en contrainte plane fig. 1.

Prenons pour origine le fond de la fissure réelle. La contrainte σ_y ou contrainte élastique est donnée par

$$\sigma_y = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi x}} \quad \text{avec} \quad K_I = \sigma_0 \sqrt{\pi a}$$

ou K_I est le facteur d'intensité de contrainte en $\text{MPa}\cdot\sqrt{\text{m}}$ et σ_0 contrainte moyenne dans une section éloignée.

Soit σ_Y la limite d'élasticité en monoaxial et soit r_y l'abscisse pour laquelle $\sigma_y = \sigma_Y$

$$\text{alors } r_y = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{K_I}{\sigma_Y} \right)^2$$

Si nous disons que $\sigma_y \leq \sigma_Y$ cela entraîne que le vrai profil de contrainte est celui de la figure 1.

$$\sigma_y = \sigma_Y \quad 0 < x < r_y$$

$$\sigma_y = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi x}} \quad x > r_y$$

Dans ce cas la force correspondant à l'aire hachurée c'est à dire :

$$\int_0^{r_y} \frac{K_I}{\sqrt{2\pi x}} dx$$

n'est plus transmise.

Donc le profil de contrainte σ_y ne peut pas être celui de la figure 1 car la zone plastique doit être supérieure à r_y et donc on supposera que la zone plastique réelle a une longueur R et comme IRWIN on supposera alors que la contrainte élastique pour $x > R$ est obtenue par translation du profil élastique initial B.E fig 2.

Le vecteur $\vec{BC} = \vec{OR} - O r_y$ est pour le moment inconnu.

Le profil de contrainte σ_y est:

$$\sigma_y = \sigma_Y \quad \text{pour } x < R$$

$$\sigma_y = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi(x - oo')}} \quad \text{pour } x > R$$

Comment déterminer oo' ?

Celui ci est déterminé en disant que l'aire sous tendue par ADCF est égale à celle sous tendue par GBE, qui est le profil théorique élastique.

donc : Aire RCF = Aire r_y BE

Aire GBry.O = Aire ACRO

Et l'aire ABry.O est commune à ces deux aires, on écrira que :

Aire GBA = Aire BCRPy.

Ces deux aires sont hachurées dans la figure. 2.

$$\int_0^{r_y} \frac{k_I}{\sqrt{2x}} dx - \sigma_Y r_y = \sigma_Y (R - r_y).$$

donc $\frac{k_I}{\sqrt{2x}} \cdot 2\sqrt{r_y} = \sigma_Y R \Rightarrow \sqrt{r_y} = \frac{1}{\sqrt{2x}} \left(\frac{k_I}{\sigma_Y} \right)$

$$r_y = \frac{1}{2x} \left(\frac{k_I}{\sigma_Y} \right)^2 \text{ avec } R = 2r_y.$$

et $R - r_y = r_y$ est le vecteur translation. fig 3

Le profil de contrainte est celui qui correspondrait à une fissure fictive de demi longueur $a + r_y$ tronquée de la valeur $\sigma_Y = \sigma_Y$. fig 3.

II.7.3. THEORIE DE LA DEFORMATION PLANE.

On pourrait donc raisonner de la même façon qu'a été traité le problème de la contrainte plane :

Mais dans ce cas les contraintes sont triaxiales; la contrainte σ_y dans la zone plastique est plus grande que σ_Y . ($\sigma_y > \sigma_Y$).

Pour cela on utilisera le critère de VON MISES appliqué au profil purement élastique qui nous donnera :

$$\sigma_y = \frac{1}{2x} \left(\frac{k_I}{\sigma_Y} \right)^2 \cos^2 \theta \left[(1 - 2\nu)^2 + 3 \sin^2 \theta \right]$$

où θ : est l'angle de flexion.

ν : le coefficient de Poisson.

Pour $\theta = 0$ $\sigma_y = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{k_I}{\sigma_y} \right)^2 (1-2\theta)^2 \Rightarrow \sigma_y = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{k_I}{\sigma_y(1-2\theta)} \right)^2$

On prendra pour contrainte de déformation plastique.

$$\bar{\sigma}_y = \frac{\sigma_y}{1-2\theta}$$

Pour $\theta = 0,3 \Rightarrow \bar{\sigma}_y = 2,5 \sigma_y$ selon le critère de VON MISES.

Comme on travaille sur le modèle d'IRWIN, la contrainte moyenne dans la zone plastique donne.

$$\bar{\sigma}_y = 8^{1/4} \sigma_y \quad \text{ou} \quad \bar{\sigma}_y = 1,68 \sigma_y$$

En déformation plane :

$$\sigma_y = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{1}{1,68} \right)^2 \left(\frac{k_I}{\sigma_y} \right)^2$$

d'où

$$\sigma_y = \frac{1}{6\pi} \left(\frac{k_I}{\sigma_y} \right)^2 \quad \text{et} \quad \sigma_y = R_{eH}$$

$$\sigma_y = \frac{1}{6\pi} \left(\frac{k_I}{R_{eH}} \right)^2 = \frac{R}{2}$$

La contrainte d'utilisation maximale pour avoir une fuite avant la rupture brutale est donnée par la relation

$$\sigma_{\max} = \frac{k_{Ic}}{2\sqrt{a}}$$

k_{Ic} : facteur d'intensité de contrainte critique. ($\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$).

a : épaisseur en m.

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 $R < \frac{a}{5}$.

R : taille de la zone plastique.

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

$$e^* = \frac{1}{2} \left(\frac{K_{IC}}{R_{eH}} \right)^2$$

application numérique :

$$R_{eH} = 310 \text{ MPa}$$

$$K_{IC} = 90 \text{ MPa}\cdot\sqrt{\text{m}}$$

$$a = 16 \text{ mm}$$

$$e^* = \frac{1}{2} \left(\frac{90}{310} \right)^2 = 0,042 \text{ m.}$$

$$e^* = 42 \text{ mm.}$$

donc l'inégalité $e \leq e^*$ est vérifiée.

FIGURES .

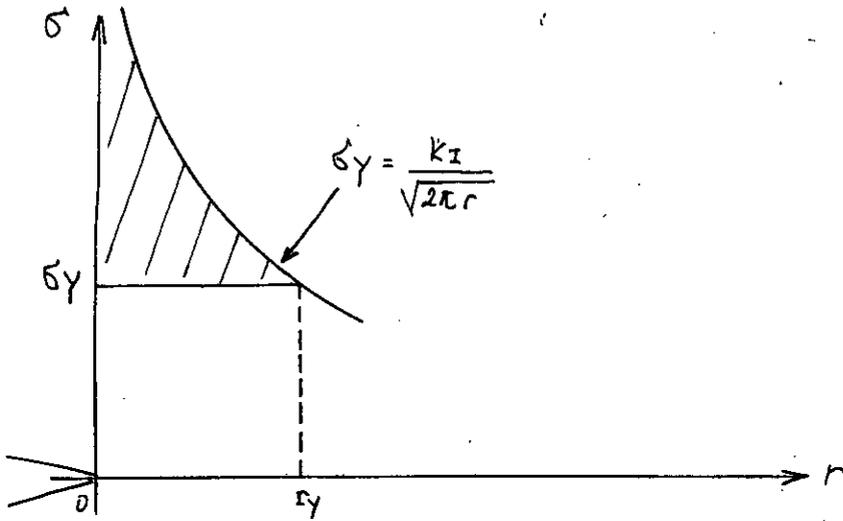


fig 1. Zone plastique définie par le critère $\sigma_y \leq \sigma_y$.

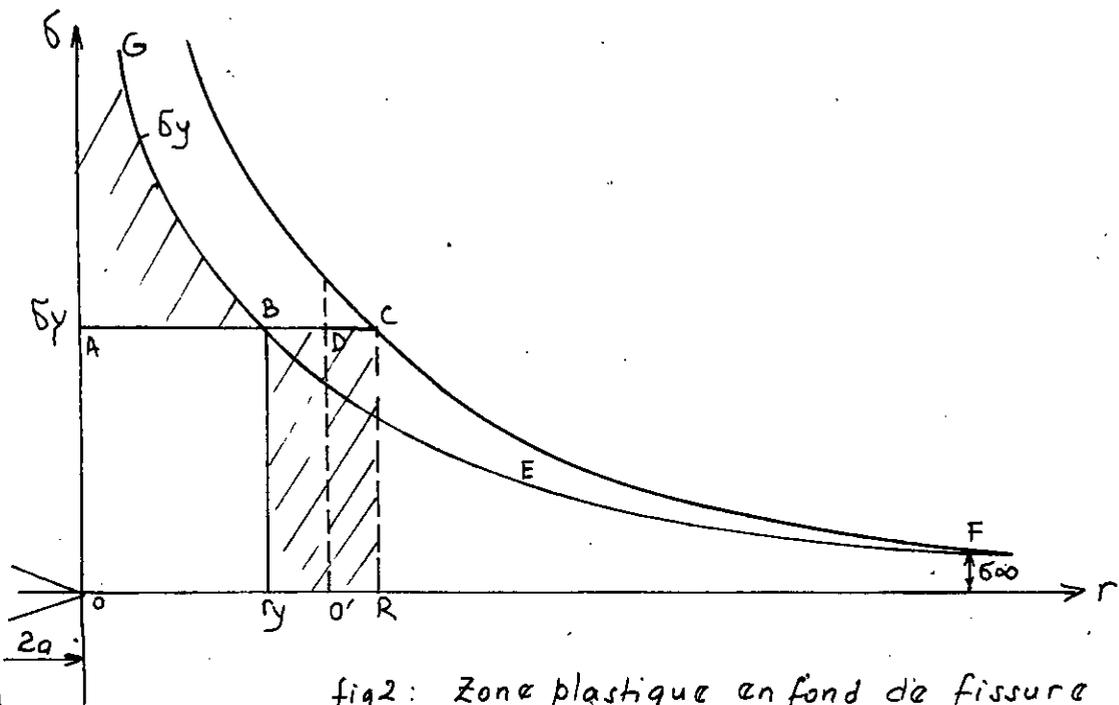
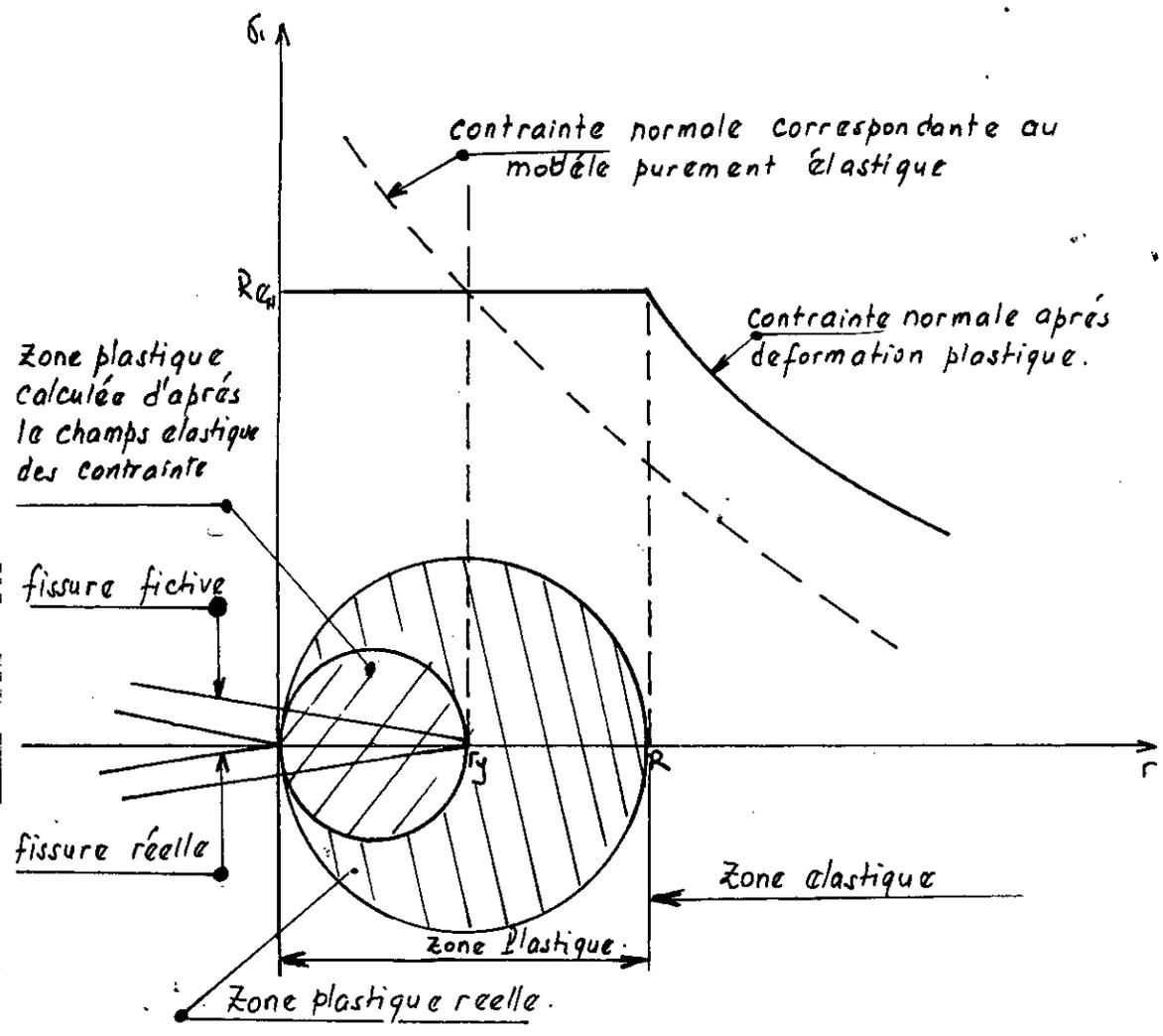


fig 2: Zone plastique en fond de fissure dans le modèle d'IRWIN.



- fig 3 -

- fissure fictive de demi longueur $a + r_y$ -

III. FABRICATION DU RESERVOIR.

III.I. GAMME D'USINAGE DES SEGMENTS ET DES FONDS.

III.I.I. TRACAGE

Cette opération consiste en la reproduction sur la tôle du développement réel du segment pour l'exécution de la pièce. Le traceur sera en possession du matériel nécessaire comportant, règles, équerres, compas etc.... Voir Planche A02.

III.I.2. DECOUPAGE.

Vue l'épaisseur assez importante de notre paroi ($e = 16\text{mm}$) nous utiliserons l'oxycoupage qui est une technique permettant de créer une saignée dans les pièces à découper par déplacement continu d'une zone localisée de combustion du métal dans un jet d'oxygène pur. (fig 1)

L'utilisation de l'oxycoupage est soumise à trois conditions.

- La réaction doit être exothermique.
- La température d'amorçage de la réaction de combustion doit être au plus égale à la température de fusion du métal à découper.
- La température de fusion des produits de la réaction de combustion doit être au plus égale à la température de fusion du métal des pièces à découper.

La régularité de la coupe nécessite l'automatisation du chalumeau oxycoupeur.

Cette technique permet également la préparation des chanfreins avec l'utilisation simultanée de plusieurs chalumeaux.

- fig 2 -

III.1.3. GAMME D'USINAGE.

La gamme d'usinage se décompose en plusieurs parties.

a) traçage du segment sur plat et obtention de la forme du segment.

b) Découpage du segment suivant les points déterminés au traçage (oxycoupage)

c) Découpage du segment en ses deux parties.

d) Emboutissage des parties du segment par une matrice et un poinçon approprié.

e) Préparation des fonds (traçage + découpage.)

f) Emboutissage des fonds avec serre flanc. - Voir fig 1/2

Pour tout ce qui est de l'opération emboutissage, elle se fera par déformation plastique à froid.

Cette déformation plastique à froid augmente considérablement les qualités du matériau et particulièrement sa résistance.

Il existe encore une opération très importante qui est le chamfreinage des tôles. Pour cela on doit faire le choix des chamfreins.

III.1.4. TYPE DE CHAMFREINS UTILISES.

Les chamfreins en X sont utilisés dans le cas des pièces d'épaisseur supérieure ou égale à 12 mm accessible des deux côtés.

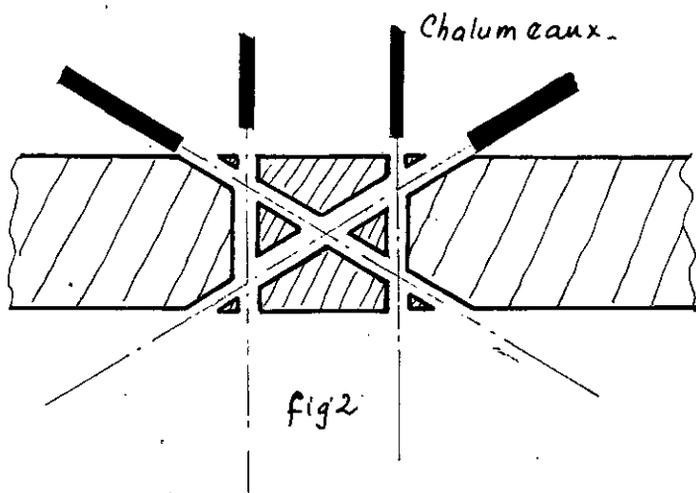
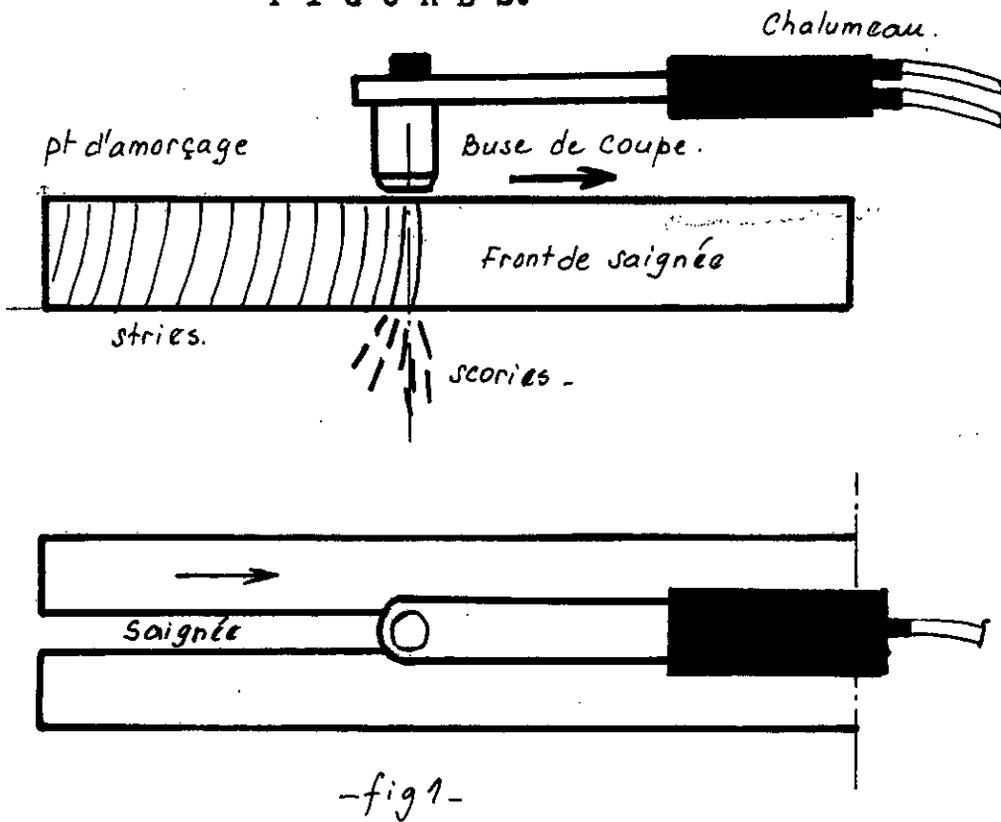
Le chamfrein en X présente par rapport au chamfrein en V l'avantage de réduire la quantité de métal déposé.

Il en résulte des réductions de coût et du retrait. Le remplissage symétrique du chamfrein élimine le retrait angulaire et réduit le retrait transversal qui est proportionnel à la largeur moyenne du joint.

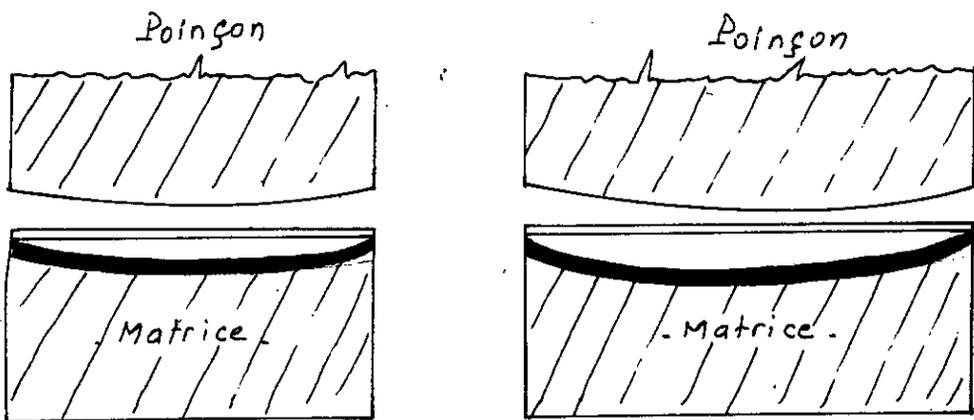
Le mode de Chamfreinage le plus courant est celui en X symétrique qui est présenté à la planche A00.

Dans ce cas, il est cependant recommandé qu'un seul soudeur commence par déposer les deux ou trois premières passes.

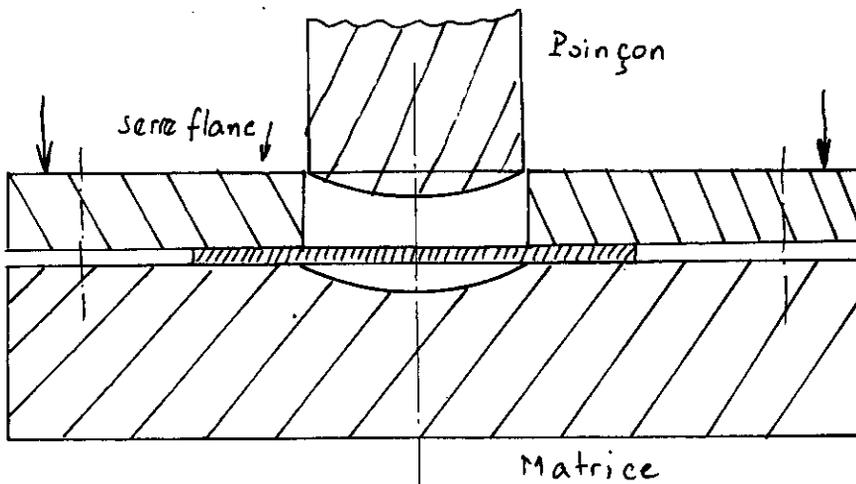
FIGURES.



Préparation d'un chamfrein en X



-fig 1- Operation emboutissage



-fig 2'-

III.2. CHOIX DES PARAMETRES DE SOUDAGE.

III.2.1. SOUDAGE A L'ARC ELECTRIQUE.

Dans ce procédé, la fusion du métal est obtenue par la chaleur qui est produite par un arc électrique entre une électrode et la ligne de soudure.

Pour un arc électrique, on peut utiliser du courant continu ou alternatif, mais dans ce cas, la fréquence doit être de 40 périodes au moins, et l'on doit employer des électrodes métalliques enrobées.

La nature de l'enrobage (basique, cellulosique, oxydant, acide et rutile) est fonction de la nature du métal à souder.

Cet enrobage a un rôle à la fois de protection mécanique et métallurgique.

III.2.2. NATURE DE L'ENROBAGE (ENROBAGE BASIQUE).

L'enrobage basique nécessite un arc court et donne une fusion en grosses gouttes avec court-circuit, ce qui impose plus d'exigence en ce qui concerne le courant de soudage. Cet enrobage est à base de carbonate de chaux avec addition de fluorure de calcium pour fluidifiant.

Le laitier est calcaire. Celui-ci constitue un excellent desulfurant. Il diminue sensiblement le risque de fissuration à chaud du métal déposé mais diminue le pouvoir pénétrant de l'arc de soudage. Ces enrobages ont une faible teneur en hydrogène, chose indispensable quand risque de fissuration à froid s'impose dans la zone altérée par la chaleur. Ces enrobages présentent de meilleures caractéristiques mécaniques, et sont utilisés pour les assemblages de haute sécurité.

Avantages du procédé.

- Soudage de tous les types de joints.
- Soudage en toutes positions
- Soudage de toutes les épaisseurs.
- faible coût en équipement.

Inconvénients du procédé

- Productivité du soudage à l'arc avec électrodes enrobées faible.
- vitesse de soudage inférieure à celle des procédés automatiques.
- Remplacement fréquent de l'électrode donc perte de temps.
- grande qualification du soudeur.

III.2.3. SOUDAGE AUTOMATIQUE SOUS FLUX SOLIDE.

La chaleur est produite par un arc électrique amorcé entre un fil électrode et les pièces à assembler.

Le courant peut être alternatif ou continu. Son intensité varie entre 200 et 2000 A. L'énergie dissipée est comprise entre 6 et 80 kw.

Le métal d'apport est un fil électrode plein dont le diamètre varie entre 2,5 et 6 mm.

Le soudage automatique sous flux est utilisé pour l'assemblage des aciers non alliés, faiblement alliés. Ce procédé permet également le soudage de toutes les épaisseurs à partir de 5 mm.

Applications industrielles.

- fabrication de réservoirs.
- tuyaux soudés hélicoïdaux
- véhicules lourds
- constructions navales.

Avantages du procédé

- Vitesse de soudage élevée.
- aspect de soudure très esthétique.
- le laitier se détache facilement.
- fumées produites peu abondantes.
- aucune protection du soudeur.

Inconvénients du procédé

- La préparation des pièces à assembler doit être faite avec grande précision pour éviter tous défauts tels que :
 - manque de pénétration
 - effondrement.
- Position de soudage limitée par la viscosité du laitier.

III.2.4. COMMENT CHOISIR UNE ELECTRODE?

Bon nombre de facteurs peuvent déterminer ce choix. Ces facteurs sont d'ordre

- Mécanique
- chimique
- Opératoire.

Il est évident que les deux premiers facteurs sont déterminants dans le choix d'une électrode. Ils dépendent de la nature du métal à assembler. C'est à dire de sa composition chimique et de ses propriétés mécaniques qui déterminent l'importance des contraintes que la pièce peut subir en service sans risque de rupture.

III.2.4.1. CHOIX DE L'ELECTRODE POUR LE SOUDAGE A L'ARC ELECTRIQUE MANUEL.

On choisira le type OK FEMAX 38.65 dont les caractéristiques sont les suivantes.

diamètre de l'enrobage: $d = 4 \text{ mm}$ (voir graphe $\alpha = f(d)$.
 Longueur de l'électrode: $L = 450 \text{ mm}$.
 Intensité du courant: $I = 170 \text{ à } 240 \text{ A}$
 tension: $U = 40 \text{ V}$ (tension d'arc).

Cette électrode est à enrobage basique au Zirconium,
(voir définition de l'enrobage basique)

Cette électrode a la classification suivante.

AFNOR E51 4/3 B 170 36 H.

où

E: Electrode enrobée.

51: designation de l'électrode.

4: température correspondant à une énergie d'impact minimale de $1\text{kv} = 28\text{J}$.

3: température correspondant à une énergie d'impact minimale de $1\text{kv} = 47\text{J}$.

B: type de l'enrobage. Basique

170: Rendement nominal: 165%

3: Position de soudage

6: courant de soudage

H: teneur en hydrogène diffusible (ml/100g).

H $5 < T < 10$

Le métal déposé a une haute limite élastique, une charge de rupture, une résilience élevées.

- Caractéristiques du métal déposé:

$$R_{eH} = 420 - 460 \text{ N/mm}^2$$

$$R_m = 520 - 560 \text{ N/mm}^2.$$

- Composition chimique.

C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo
0,1	1,0	0,4,			

III.2.5. CHOIX DU FIL POUR LE SOUDAGE AUTOMATIQUE SOUS FLUX SOLIDE.

Pour ce qui est de l'assemblage des segments du réservoir en atelier on aura à utiliser le soudage automatique sous flux solide.

De ce fait on a choisi un fil datype OK Flux. 10.70 avec flux aggloméré manganésant dont l'indice de basicité est de 1,7. couplé avec les fils $S_1 - S_2$.

Applications

- Recommandé pour les tôles dont l'épaisseur est supérieure à 15mm.
- Le métal déposé présente une bonne résilience et résistance à la rupture.
- Soudage des aciers de construction courants dont aciers pour réservoir à pression, construction navales.
- Utilisable en courant alternatif et continu.

Composition moyenne du flux:

$Al_2O_3 + MnO$ 40%

$CaO + MgO$ 30%

CaF_2 20%

$SiO_2 + TiO_2$ 5%

Composition moyenne du métal déposé.

Fils	C	Si	Mn
S_1	0,07	0,4	1,4
S_2	0,07	0,5	1,7

Caractéristique du fil

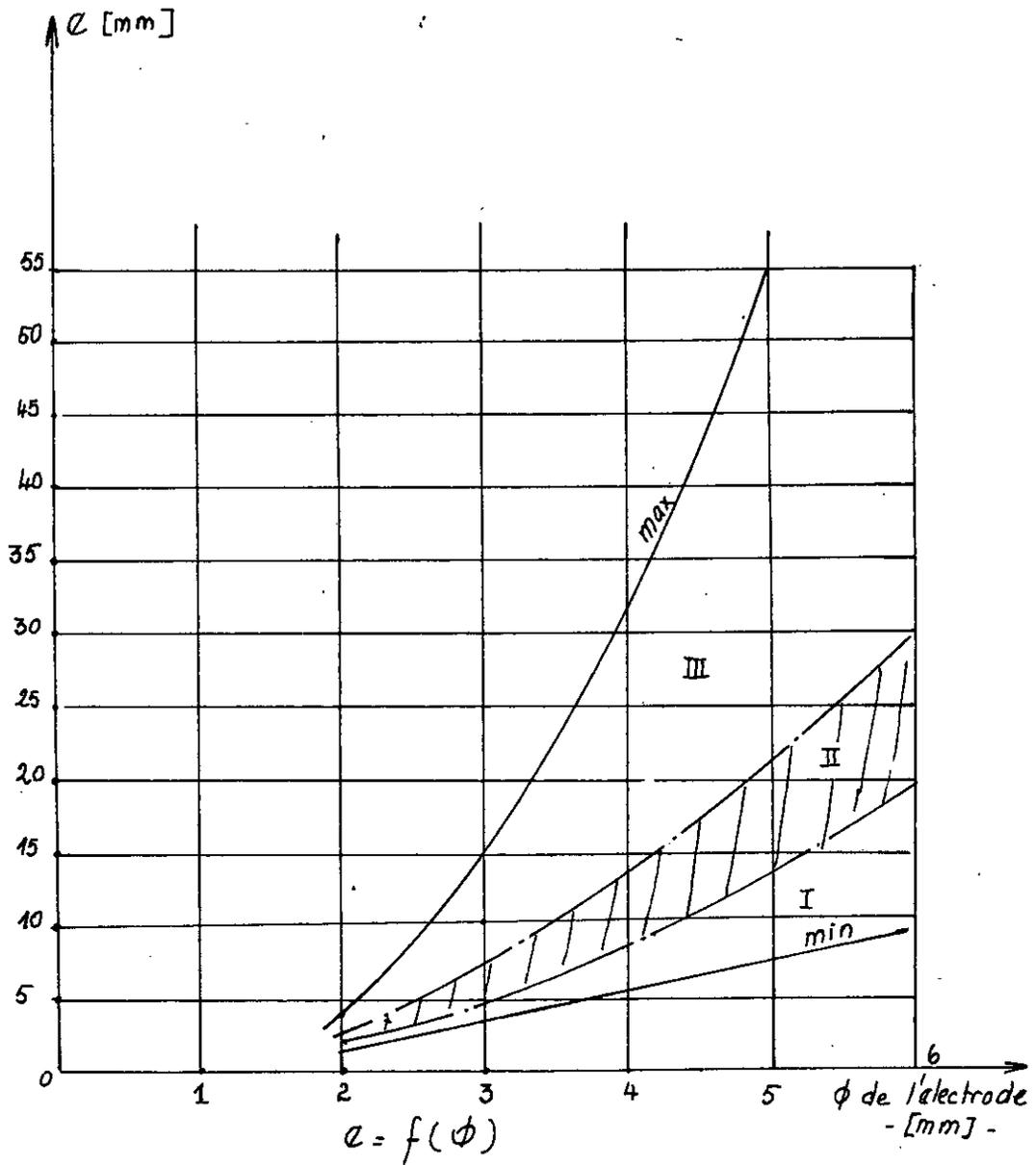
Fil S_1 ; diamètre 5mm.

densité de courant : $I = 200 \text{ à } 250 \text{ A/mm}^2$.

$R_{eH} = 440 \text{ N/mm}^2$

$R_m = 540 \text{ N/mm}^2$.

Classification : DIN 13ay 598.
AWS F 72 EL 12.



I : faible densité de courant ($i < 100 \text{ A/mm}^2$)

II : densité normale de courant.

III : forte densité de courant ($i > 100 \text{ A/mm}^2$)

III. 3. GAMME DE SOUDAGE.

Dans le cadre de la construction de notre réservoir sphérique nous avons utilisé deux types de soudure

- Soudure à l'arc électrique manuel
- Soudure automatique sous flux.

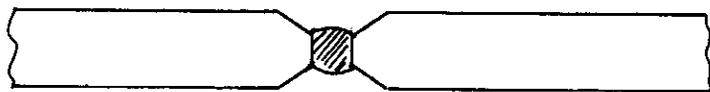
La soudure à l'arc électrique manuel est utilisée à la fois au chantier et à l'atelier

Quant à la soudure automatique sous flux elle est utilisée uniquement à l'atelier, vue l'impossibilité de soudage à la verticale montante ou descendante.

Ce type de soudage est utilisé pour l'assemblage des parties du segment et des éléments prefabriqués.

Quelles sont les différentes phases de soudage ?

1. Pointage à l'intérieur.



2. Soudage à l'extérieur 3 passes



3. Gougeage à l'intérieur

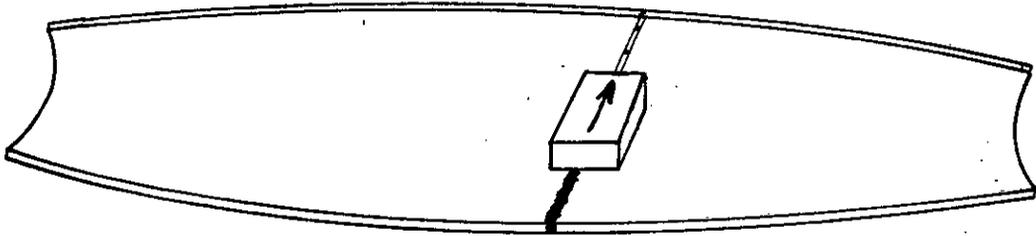


4. Soudage à l'intérieur 3 passes.



Soudage Automatique sous flux.

a) - Assemblage des parties de segment.



b) - Assemblage de deux segments.



Ce type de soudage se fait à l'atelier.

III.4. GAMME DE MONTAGE DES DIFFERENTS ELEMENTS DE LA SPHERE.

La disposition des éléments constituant la sphère nécessite un ordre chronologique de montage.

C'est ainsi qu'au chantier arriveront plusieurs groupe de secteurs préalablement soudés et chaque groupe se composera de trois segments soudés les uns aux autres sur lesquels sont également soudés des poteaux au nombre de deux (02). (voir ordre chronologique de montage.)

On transportera au chantier les segments intermediaires, la coupôle inferieure et la coupôle superieure ainsi que les escaliers.

III.4.I. ORDRE CHRONOLOGIQUE DE MONTAGE.

1/ Mise en place des secteurs A, B, C prefabriqués. Les poteaux sont provisoirement bloqués sur leur assise à l'aide de boulons de scellement. - fig 1 -

2/ Mise en place du deuxième ensemble de secteurs. Ces deux secteurs seront haubanés à l'aide de cables, Puis on placera la tôle intermediaire D à laquelle on fera subir un epinglage, clamage, puis un pointage, après la mise en place des echaffaudages permettant toutes ces operations. - fig 2 -

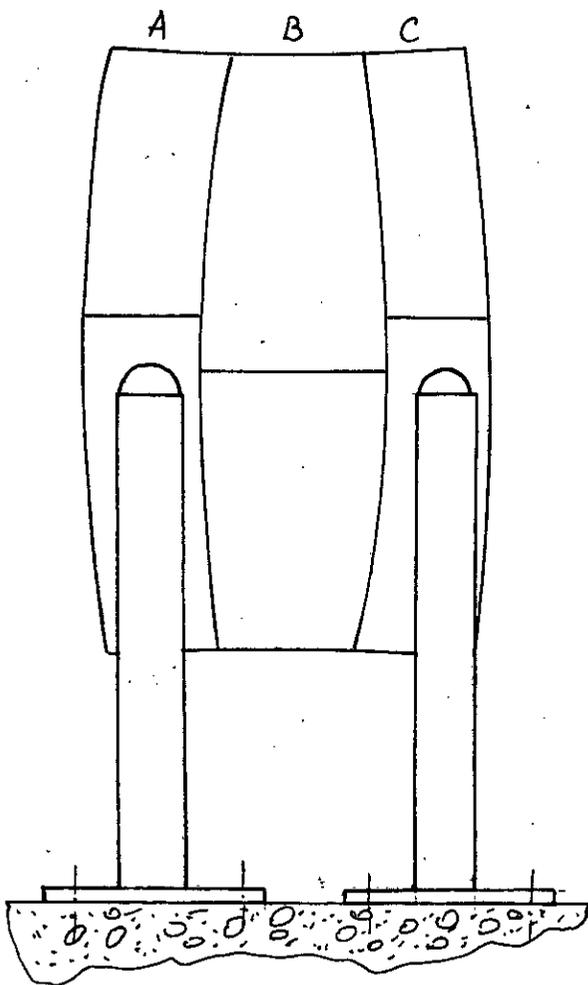
3/ On procédera de la même façon pour tous les autres groupes de secteurs, jusqu'au moment où la sphère se refermera.

4/ Maintenir l'ensemble des secteurs à l'aide d'un mât porte verins. Ces verins serviront pour le réglage horizontal et vertical qui doit être des plus rigoureux. - fig. 3 -

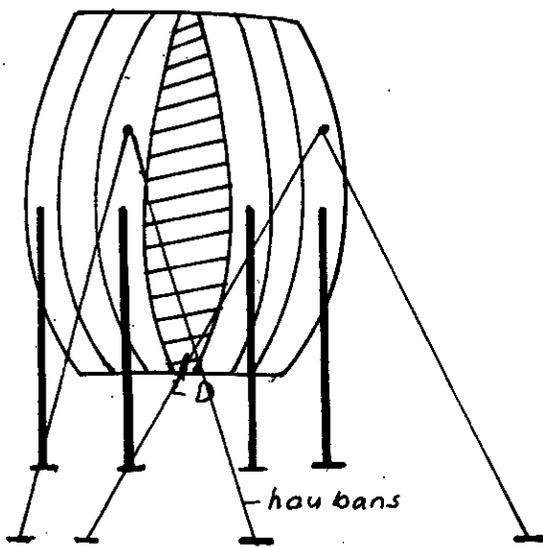
5/ Les calottes seront livrées avec leurs accessoires. Elles seront livrées au chantier coupées et chamfreinées. Elles seront également épinglées, clamées puis pointées. Le réglage se fera à l'aide de verins. - fig 3 -

6/ Pour éviter les balancements par périodes de grand vent et équilibrer l'ensemble, le réservoir est assuré par des contreventements fixés entre les poteaux. Voir planche A00. La mise en place des escaliers, échelle de visite, tubulures d'entrée et de sortie se fera par la suite.

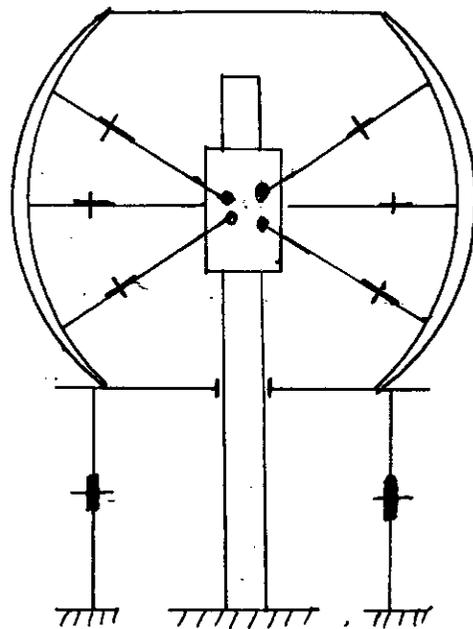
Il est à noter que tous les accessoires seront montés et soudés en respectant les règles de construction se rapportant à ce genre de réservoir.



- fig 1. - élément préfabriqué..



- fig 2 -



- fig 3 - verins.

IV. DIMENSIONNEMENT DES DIFFERENTS ELEMENTS DU RESERVOIR

IV.I. DETERMINATION DE LA SURFACE DE LA CALOTTE SPHERIQUE

D'après la théorie, la surface de la calotte sphérique peut être déterminée par la relation suivante :

$$S_c = \left(\frac{D_1^2}{2} + H^2 \right) \pi$$

où H : Hauteur de fond

D_1 : diamètre de fond

Voir fig 1.

IV.I.1. DETERMINATION DU DIAMETRE DE FOND D_1 .

Sur la figure 1 on considère le triangle hachuré. On peut déterminer par le biais du théorème de Pythagore le diamètre

D_1 noté sur la figure 2

On pourra écrire ainsi :

$$R^2 = \frac{D_1^2}{2} + (R-H)^2$$

$$\text{d'où } D_1 = 2 \sqrt{R^2 - (R-H)^2}$$

application numérique :

$$R = 6200 \text{ mm} ; H = 400 \text{ mm}$$

$$D_1 = 2 \sqrt{6200^2 - (6200 - 400)^2} = 4381,78 \text{ mm}$$

$$\underline{D_1 = 4,382 \text{ m}}$$

$$S_c = \left[\frac{(4381,78)^2}{2} + 400^2 \right] \pi = 30661937 \text{ mm}^2$$

$$\underline{S_c = 30,67 \text{ m}^2}$$

IV.I.2. DIAMETRE DE LA TOLE A EMBOUTIR POUR FORMER LA CALOTTE.

La surface de la calotte étant connue nous pourrions par conséquent déterminer le diamètre D'_1 (figure 3).

$$S_c = \frac{\pi D_1'^2}{4}$$

$$D_1' = \sqrt{\frac{4 S_c}{\pi}}$$

Application numérique :

$$D' = \sqrt{\frac{4 \cdot 30,67}{\pi}} = 6,250 \text{ m}$$

IV.I.3. DETERMINATION DU NOMBRE DE SEGMENTS.

On considère que $S_s = 0,7S_c$ où :

S_s : Surface d'un segment

S_c : Surface de la calotte.

Soit S' la surface de la sphère diminuée de la surface des deux calottes :

$$S' = S - 2S_c$$

S : Surface totale de la sphère

donc l'expression donnant le nombre de segments sera :

$$K = \frac{S'}{0,7S_c}$$

application numérique :

Surface de la sphère $S = 4\pi R^2$

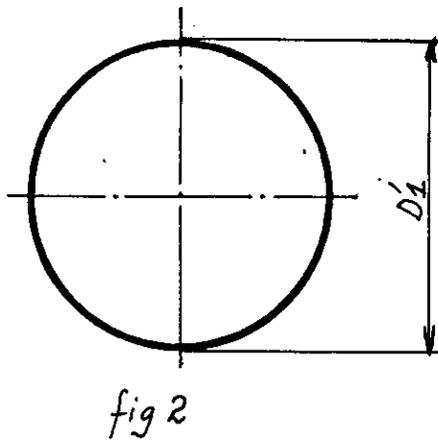
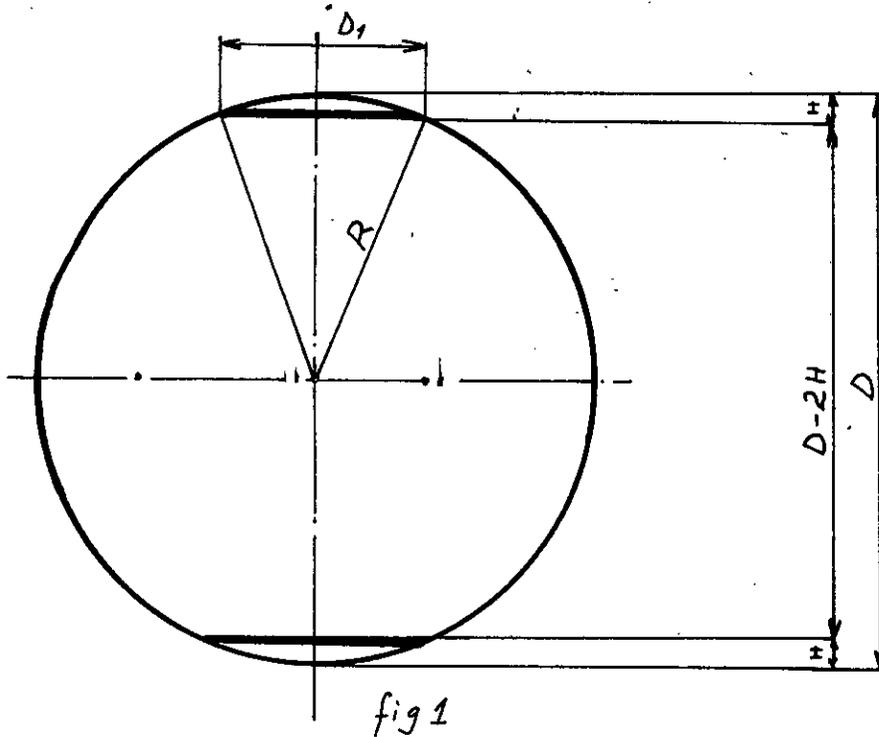
$$S = 4\pi \cdot 6200^2 = 483051286,4 \text{ mm}^2 = 483,051 \text{ m}^2$$

$$S' = 483,051 - 2 \cdot 30,67 = 422,37 \text{ m}^2$$

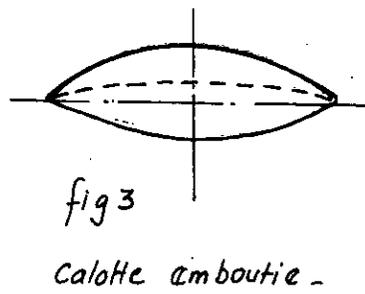
Nombre de segments.

$$K = \frac{S'}{0,7S_c} \Rightarrow K = \frac{422,37}{0,7 \cdot 30,67} = 20 \text{ segments}$$

FIGURES.



Diametre de la tôle à emboutir
pour former la calotte.



IV. 2. DIMENSIONNEMENT DU SEGMENT.

IV. 2.1. DETERMINATION DE LA LONGUEUR DE L'ARC AB (FIG. I.)

Soit l'angle au centre α interceptant l'arc $AB = L_{ARC}$. On peut écrire que. $\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{R-H}{R}$ et $L_{ARC} = R\alpha$, α rad.

Application numérique :

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{62 - 0,4}{6,2} = 0,9355 \quad \Rightarrow \quad \frac{\alpha}{2} = 69,3091^\circ$$

$$\alpha = 138,6181^\circ$$

$$\alpha_{rad} = \frac{138,6181 \times \pi}{180} = 2,4193 \text{ rd.}$$

$$L_{arc} = R\alpha_{rad} \Rightarrow L_{arc} = 6200 \cdot 2,4193 = 15000 \text{ mm.}$$

$$\underline{\underline{L_{arc} = 15000 \text{ mm}}}$$

IV. 2.2. DETERMINATION DE LA LARGEUR EQUATORIALE DU SEGMENT.

Le segment vu sa grande longueur se composera deux parties comme l'indique la figure 2.

On calculera donc cette largeur juste à l'équateur et vu qu'on a 20 segments on pourra écrire l'expression suivante.

$$L_{arc} = \frac{2\pi R}{k} \quad k: \text{nombre de segments.}$$

application numérique

$$L_{arc} = \frac{2\pi \cdot 6200}{20} = 1947,78 \text{ mm}$$

$$\underline{\underline{L_{arc} = 1947,78 \text{ mm}}}$$

IV. 3. TRACAGE DU SEGMENT.

Cette partie de l'étude nous permettra de déterminer les points x_i et y_i nous donnant un tracé correct du segment à l'atelier. fig 3.

Comment se présentent les choses?

Dans le plan équatorial : fig 4.

$$\alpha = \frac{360}{K} \Rightarrow \alpha = \frac{360}{20} = 18^\circ$$

Dans ce cas $\alpha = \beta_1$, alors $\text{Larc}_1 = R\beta_1 = R\alpha = \frac{2\pi R}{K}$

Dans un autre plan autre que le plan équatorial.

$$\text{Larc}_i = R\beta_i$$

$$\text{Larc}_i = R\gamma_i$$

IV.3.I. DETERMINATION DE β_i ET γ_i .

$$\text{Soit } R'_i = R \cos \gamma_i = R \sqrt{1 - \sin^2 \gamma_i}$$

$$\text{Or } \sin \gamma_i = \frac{x_i}{R} \quad \text{donc, } R'_i = R \sqrt{1 - \left(\frac{x_i}{R}\right)^2}$$

$$\underline{\underline{\gamma_i = \text{Arsin} \frac{x_i}{R}}} \quad \underline{\underline{R'_i = \sqrt{R^2 - x_i^2}}} \quad \text{voir fig 5.}$$

γ_i varie de 100 à 100 mm.

Les plans dans lesquels sont représentés les angles α_i et β_i se verront sur la figure 7.

$$\text{De ce fait, } \frac{y_i}{2} = R'_i \sin \frac{\alpha}{2} \Rightarrow y_i = 2R'_i \sin \frac{\alpha}{2}$$

$$\text{et } y_i = 2R \sin \frac{\beta_i}{2} \quad \text{donc:}$$

$$2R \sin \frac{\beta_i}{2} = 2R'_i \sin \frac{\alpha}{2}$$

$$\Rightarrow \sin \frac{\beta_i}{2} = \frac{R'_i}{R} \sin \frac{\alpha}{2} \Rightarrow \underline{\underline{\beta_i = 2 \text{Arsin} \left(\frac{R'_i}{R} \sin \frac{\alpha}{2} \right)}}$$

Jusqu'à présent on a travaillé jusqu'au point "i". que se passe-t-il au point "i+1"?

La figure 6 nous montre que :

$$R'_{i+1} = \frac{D_1}{2} \quad ; \quad \sin \alpha_i = \frac{R-H}{R} = 1 - \frac{H}{R}$$

$$\Delta = R'_{i+1} - R'_{i+1} \cos \frac{\alpha}{2} = R'_{i+1} \left(1 - \cos \frac{\alpha}{2} \right)$$

$$\text{donc : } \operatorname{tg} \alpha_{i+1} = \frac{R-H}{R_{i+1}-\Delta}$$

$$\alpha_{i+1} = \operatorname{Arctg} \frac{R-H}{R_{i+1}-\Delta}$$

$$\alpha_{i+1} = 69,5398^\circ$$

De ce fait on obtient x_{i+1} .

$$x_{i+1} = R \sin \alpha_{i+1}$$

Applications numériques.

$$\frac{D_1}{2} = R'_{i+1} = \frac{4382}{2} = 2190,9 \text{ mm.}$$

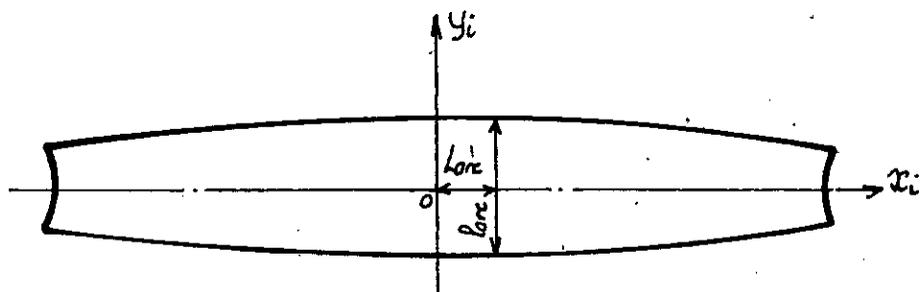
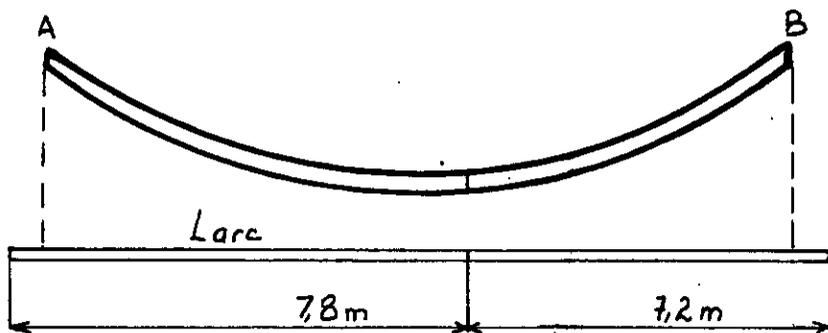
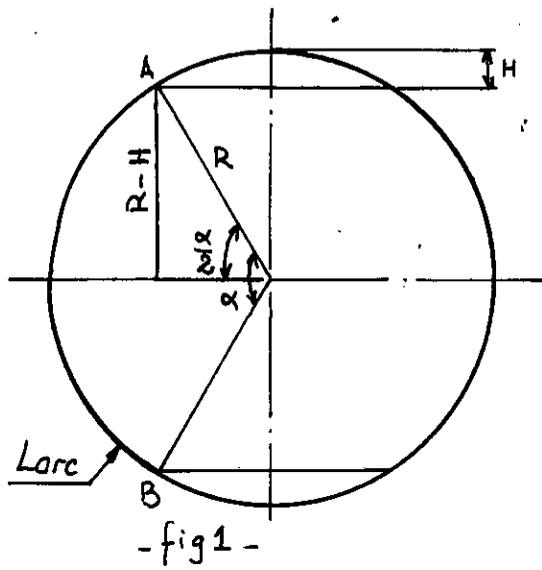
$$\alpha_i = 69,3063^\circ$$

$$\Delta = R'_{i+1} (1 - \cos 9^\circ) = 2190,9 (1 - \cos 9^\circ) = 26,97 \text{ mm.}$$

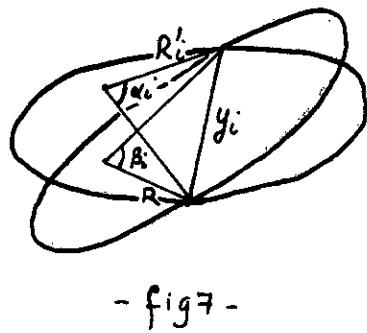
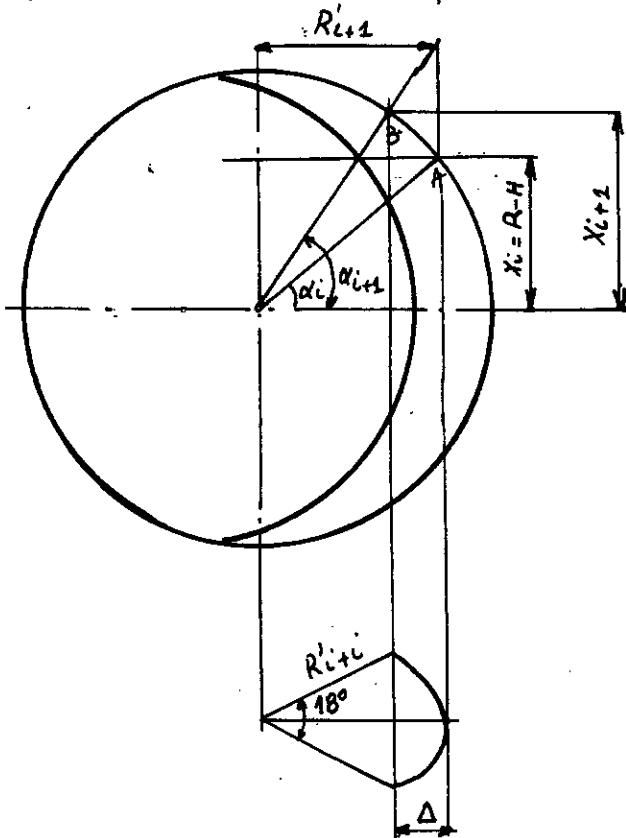
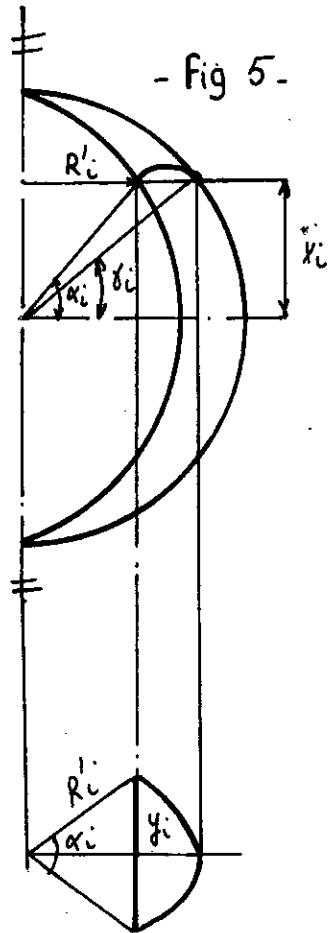
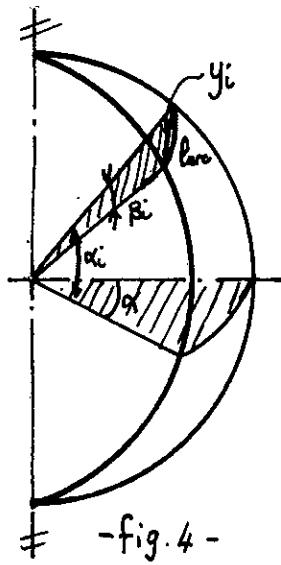
Conclusion:

Pour avoir un tracé correcte, on est obligé d'établir un programme (voir programme) qui nous permettra de nous donner plusieurs valeurs de L_{arc} , l_{arc} et R'_i (rayon de courbure). voir tableau des valeurs et programme.

FIGURES.



FIGURES.



X_i (mm)	Y_i (RAD)	R_i'' (mm)	R_i' (mm)	β_i (RAD)	L_i' mm
100	0,0161	100,03	6199,19	0,3141	1947,53
200	0,0323	200,03	6196,77	0,3140	1946,76
300	0,0484	300,11	6192,77	0,3138	1945,48
400	0,0646	400,28	6187,08	0,3135	1943,69
500	0,0807	500,54	6179,80	0,3131	1941,39
600	0,0969	600,94	6170,89	0,3127	1938,56
700	0,1131	701,50	6160,35	0,3121	1935,23
800	0,1294	802,23	6148,17	0,3115	1931,37
900	0,1457	903,19	6134,33	0,3108	1926,98
1000	0,1620	1004,38	6118,82	0,3100	1922,07
1100	0,1784	1105,84	6101,63	0,3090	1916,63
1200	0,1948	1207,62	6082,76	0,3082	1910,65
1300	0,2112	1309,71	6062,17	0,3071	1904,14
1400	0,2278	1412,18	6039,86	0,3060	1894,07
1500	0,2444	1515,03	6015,81	0,3048	1889,46
1600	0,2610	1618,31	5989,99	0,3034	1881,29
1700	0,2778	1722,05	5962,38	0,3020	1872,55
1800	0,2946	1826,29	5932,95	0,3005	1863,24
1900	0,3115	1931,07	5901,69	0,2989	1853,34
2000	0,3285	2036,41	5868,56	0,2972	1842,86
2100	0,3455	2142,38	5833,53	0,2954	1831,78
2200	0,3627	2248,94	5796,55	0,2936	1820,10
2300	0,3801	2356,31	5757,60	0,2916	1807,77
2400	0,3975	2464,38	5716,64	0,2895	1794,82
2500	0,4150	2573,24	5673,62	0,2873	1781,22
2600	0,4327	2682,95	5628,49	0,2850	1766,96
2700	0,4506	2793,57	5581,22	0,2826	1752,01
2800	0,4686	2905,14	5531,73	0,2801	1736,37
2900	0,4867	3017,75	5479,96	0,2774	1720,02
3000	0,5051	3131,45	5425,86	0,2747	1702,93
3100	0,5236	3246,31	5369,35	0,2718	1680,08
3200	0,5423	3362,41	5310,36	0,2688	1666,46
3300	0,5613	3479,84	5248,81	0,2656	1647,03
3400	0,5804	3598,69	5184,59	0,2624	1626,76
3500	0,5998	3719,05	5117,61	0,2590	1605,62
3600	0,6195	3821,03	5047,71	0,2554	1583,60
3700	0,6395	3964,74	4974,93	0,2517	1560,62
3800	0,6597	4090,32	4898,97	0,2478	1536,66
3900	0,6803	4217,90	4819,75	0,2438	1511,69
4000	0,7012	4347,65	4737,08	0,2396	1485,64
4100	0,7225	4479,73	4650,80	0,2352	1458,45
4200	0,7442	4614,34	4560,70	0,2307	1430,07
4300	0,7664	4751,69	4466,54	0,2259	1400,42
4400	0,7890	4892,05	4368,07	0,2209	1369,41
4500	0,8122	5035,67	4264,97	0,2156	1336,96
4600	0,8360	5182,90	4156,92	0,2102	1302,96

X_i (mm)	γ_i (RAD)	P_i'' (mm)	R_i' (mm)	β_i (RAD)	l_i' (mm)
4700	0,8603	5334,11	4043,51	0,2044	1267,29
4800	0,8854	5489,73	3924,29	0,1984	1229,80
4900	0,9113	5660,28	3798,68	0,1920	1190,32
5000	0,9381	5816,38	3666,06	0,1853	1148,63
5100	0,9659	5988,79	3525,62	0,1781	1104,51
5200	0,9949	6168,43	3376,38	0,1706	1107,65
5300	1,0252	6356,48	3217,14	0,1625	1007,65
5400	1,0572	6554,44	3046,31	0,1539	954,03
5600	1,0910	6764,30	2861,82	0,1445	896,16
5600	1,1272	6988,81	2660,82	0,1344	833,12
5700	1,1664	7231,91	2439,26	0,1232	763,65
5800	1,2096	7499,68	2190,81	0,1106	685,81

Détermination du rayon de courbure R_i , de la largeur l_i
 et de la longueur L_i des arcs du segment par un programme
 sur calculatrice HEWLETT PACKARD 33E.

1	I	01-		I
2	0	02-		0
3	0	03-		0
4	STO+I	04-	23 5I	I
5	RCL I	05-	24	I
6	RCL \emptyset	06-	24	0
7	\div	07-		7I
8	$g(\sin^{-1})$	08-	15	7
9	F(RAD)	09-	14	5
10	R/S	10-		74
11	RCL \emptyset	11-	24	0
12	X	12-		6I
13	R/S	13-		74
14	RCL \emptyset	14-	24	0
15	$g(x^2)$	15-	15	0
16	RCL I	16-	24	I
17	$g(x^2)$	17-	15	0
18	—	18-		4I
19	$F(\sqrt{x})$	19-	14	0
20	R/S	20-		74
21	RCL \emptyset	21-	24	0
22	\div	22-		7I
23	9	23-		9
24	f(SIN)	24-	14	7
25	x	25-		6I
26	$g(\sin^{-1})$	26-	15	7
27	2	27-		2
28	x	28-		6I
29	f(RAD)	29-	14	5
30	R/S	30-		74
31	RCL \emptyset	31-	24	0
32	x	32-		6I
33	RCL \emptyset	33-		74
34	0	34-		0
35	R/S	35-		74
36	GTO \emptyset I	36-		I

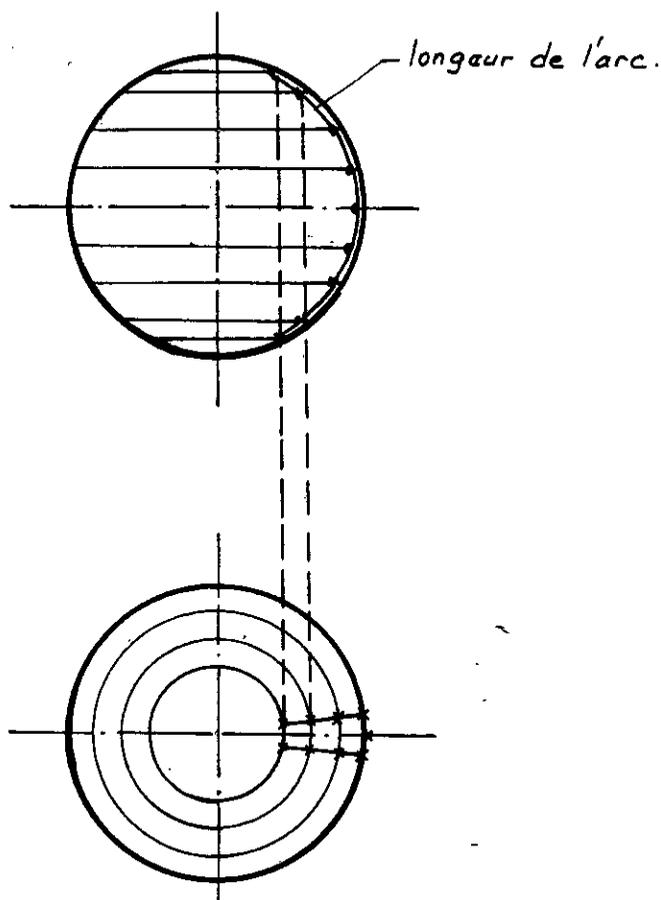
Initialisation

6200 STO \emptyset

IV.3.1.1. METHODE DE DETERMINATION DES LONGEURS D'ARCS
POUR L'ETABLISSEMENT DU DESSIN D'ENSEMBLE.

On determinera la longueur des arcs points par points par la methode suivante.

- Tracer des plans équatoriaux sur la vue de face.
- Les représenter sur la vue de dessus après avoir tracé les segments
- L'intersection des plans équatoriaux, sur la vue de dessus, avec le segment nous donne à chaque fois deux points.
- Chaque point par sa fuyante correspondrait exactement à un point de la longueur de l'arc. Voir exemple ci dessus.



IV.4. CONTROLE DES CORDONS SOUDES DES RESERVOIRS.

Il existe des règles normalisées qui sont basées sur un critère de rupture expérimentale. Ces règles ne sont d'application que pour les aciers soudables de construction courants dont la limite élastique est inférieure ou égale à 355 N/mm^2 dont notre cas.

Ces règles exigent que les cordons de soudure soient correctement réalisés, sans défaut trop important risquant d'amorcer une rupture fragile.

De ce fait on fera le calcul de vérification suivant.

Soit un cordon en "X" (déjà choisi) où on considère la section de gorge comme l'indique la fig 2.

Les contraintes agissant sur cette section sont les suivantes.

n : contrainte normale agissant perpendiculairement à l'axe longitudinal du cordon et qui est égale à la contrainte méridienne.

t_{\perp} : contrainte tangentielle agissant perpendiculairement à l'axe longitudinal du cordon et qui est égale à la contrainte radiale.

t_{\parallel} : contrainte tangentielle agissant parallèlement à l'axe longitudinal du cordon et qui est égale à la contrainte σ_t
- Voir fig 3 -

Les contraintes σ_{\perp} , τ_{\perp} , τ_{\parallel} peuvent être déduites des contraintes n , t_{\perp} , t_{\parallel} par simple projection de ces dernières.

perpendiculairement et parallèlement à la section de gorge.

On aura ainsi :

$$\sigma_{\perp} = n \cos \theta + t_{\perp} \sin \theta$$

$$\tau_{\perp} = -n \sin \theta + t_{\perp} \cos \theta$$

$$\tau_{\parallel} = t_{\parallel}$$

Or dans notre cas $\theta = 0$ donc :

$$\sigma_{\perp} = n, \quad \tau_{\perp} = t_{\perp} \quad \text{et} \quad \tau_{\parallel} = t_{\parallel}.$$

mais :

$$n = \sigma_m ; t_{II} = \sigma_t \text{ et } t_I = \sigma_r$$

avec $\sigma_t = \sigma_m$ et $\left. \begin{array}{l} \sigma_r = 2R\gamma^e \\ \text{- Fig 1 -} \end{array} \right\}$ (γ^e : poids spécifique du liquide stocké).

On pourra alors donner l'expression de la contrainte de compression

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_m^2 + 1,8(\sigma_r^2 + \sigma_t^2)} \leq \frac{R_{eH}}{\alpha}$$

où α est un coefficient de sécurité.

applications numériques

$$\sigma_r = 2R\gamma^e = 2 \cdot 6200 \cdot 6500 \cdot 10^{-9} = 0,08 \text{ N/mm}^2$$

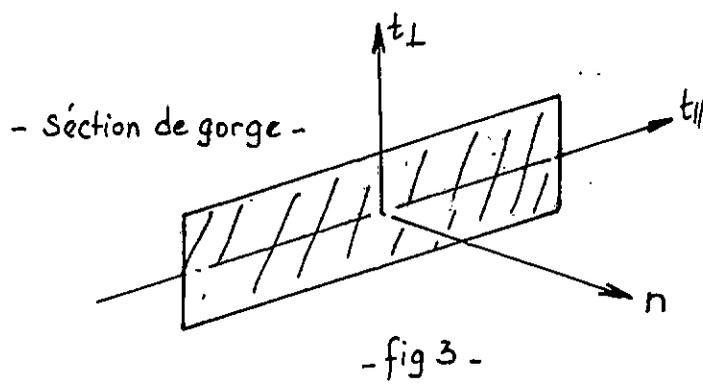
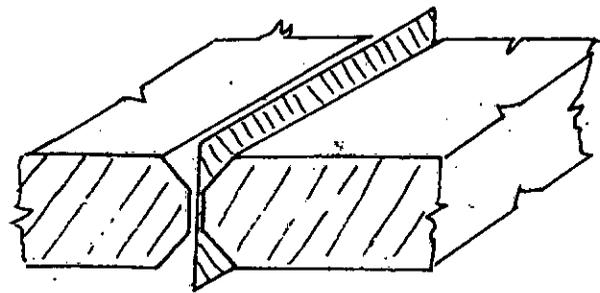
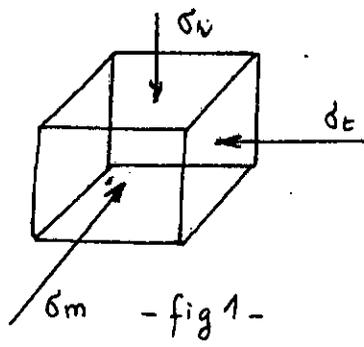
$$\sigma_m = \sigma_t = \frac{PR}{2e} = \frac{0,6 \cdot 6200}{2 \cdot 16} = 116,25 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c = \sqrt{116,25^2 + 1,8(0,08^2 + 116,25^2)} = 194,5 \text{ MPa}$$

$$\text{et } \alpha = \frac{R_{eH}}{\sigma_c} = \frac{310}{194,5} = 1,6$$

Les cordons soudés du réservoir sont vérifiés.

FIGURES.



IV.4.1. CALCUL DE LA SOLLICITATION DES POTEAUX.

Vue la masse importante du réservoir, les poteaux seront alors soumis à un cisaillement, un cisaillement qui provoquera la rupture du cordon de soudure liant la doublante du poteau au réservoir.

Pour cette raison on fera la vérification des poteaux soumis à cette contrainte.

Le poids du réservoir P se décomposera en deux forces F' et F'' - fig 1 - d'où les expressions suivantes.

$$\begin{aligned} F' &= F \sin \alpha & \text{at} & \quad F = \frac{P}{n} \text{ où } n \text{ est le nombre de} \\ F'' &= F \cos \alpha & & \quad \text{poteaux.} \end{aligned}$$

La longueur utile du cordon de soudure sera donnée par cette expression

$$l_u = 2d + \frac{2x'}{\cos \alpha}$$

d : diamètre du poteau

x' : arc formant le cordon de soudure au niveau de la doublante fig 2. et voir cote sur planche A00

IV.4.2. CALCUL DE LA RESISTANCE DU CORDON DES POTEAUX AU CISAILLEMENT MAXIMUM.

Le critère du cisaillement maximal est défini par l'inégalité suivante

$$\tau_{\max} \leq R_{MD} = \frac{R_{eMD}}{t} \approx \frac{0,57 R_{eH} \cdot x}{t}$$

où :

R_{MD} : contrainte admissible au cisaillement du métal déposé.

t : coefficient de sécurité

R_{eMD} : limite d'élasticité en cisaillement du métal déposé

R_{eH} : limite d'élasticité du métal de base

x : coefficient de joint de soudure.

IV.4.3. CALCUL DE LA RESISTANCE DES BOULONS DU POTEAU.

Les boulons se trouvant sur le socle du poteau sont soumis à la traction. On écrira alors:

$$F'H = F_t \left(\frac{d}{2} + \frac{d'}{2} \right) \quad \text{fig 3.}$$

$$\text{d'où} \quad F_t = \frac{F' \cdot H}{(d/2 + d'/2)}$$

On déterminera également la résistance à la traction du boulon le plus chargé, ainsi que la résistance à la traction de la tôle.

-fig 4-

$$\text{tg } \psi = \frac{F_p}{\lambda_b} \quad , \quad \text{tg } \varphi = \frac{F_p}{\lambda_t}$$

$$F_s = F_t \frac{1}{1 + \frac{\text{tg } \psi}{\text{tg } \varphi}}$$

F_p = Force précontrainte.

F_s : Force supplémentaire

F_t : Force de traction.

On prendra $\frac{\text{tg } \psi}{\text{tg } \varphi} = 5$.

alors $F_s = \frac{1}{6} F_t$ et $F_{\max} = F_p + F_s$.

on choisira un boulon de qualité 8.8 dont les caractéristiques mécaniques sont les suivantes:

$$R_m = 800 \text{ MPa.}$$

$$R_{eH} = 640 \text{ MPa}$$

$$F_p = 250 \text{ kN.}$$

et l'on doit vérifier que: $\sigma_{\max} = \frac{4 F_{\max}}{\pi d_2^2} \leq R_{eH}/2$.

$$\text{or } \sigma_{\max} = \frac{F''}{a \cdot l_u} \leq \frac{0,57 R_{eH} \cdot x}{i}$$

a: distance à la racine $\leq e$

applications numériques :

Masse du réservoir plein d'eau.

$$M = 1000 \cdot 10^3 + 46,8 \cdot 10^3 = 1046,8 \cdot 10^3 \text{ kg.}$$

Poids du réservoir.

$$P = Mg = 1046,8 \cdot 10^3 \cdot 9,81 = 10269,1 \text{ kN}$$

$$F = \frac{P}{n} = \frac{10269,1}{10} = 1026,91 \text{ kN.}$$

$$F' = F \cdot \sin \alpha = 1026,91 \times 0,1736 = \underline{178,27 \text{ kN}}$$

$$F'' = F \cdot \cos \alpha = 1026,91 \times 0,9848 = \underline{1011,30 \text{ kN.}}$$

Détermination de la longueur utile.

$$l_u = 2d + \frac{2x'}{\cos \alpha} \quad \begin{array}{l} d = 625 \text{ mm} \\ x' = 1225 \text{ mm.} \end{array}$$

$$l_u = 2 \cdot 625 + \frac{2 \cdot 1225}{0,9848} = 3737,8 \text{ mm.}$$

Cependant on doit vérifier les cordons des poteaux au cisaillement par :

$$\sigma_{\max} = \frac{F''}{a \cdot l_u} \leq \frac{0,57 R_{eH} \cdot x}{i}$$

$$R_{eH} = 310 \text{ N/mm}^2$$

$$i = 2$$

$$\alpha = 0,8$$

$$\sigma_{\max} = \frac{F''}{a \cdot l_u} = \frac{1011,30 \cdot 10^3}{12 \cdot 3737,8} = 22,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{0,57 R_{eH} \cdot x}{i} = \frac{0,57 \cdot 310 \cdot 0,8}{2} = 70,68 \text{ N/mm}^2$$

donc : $22,5 \text{ N/mm}^2 \leq 70,68 \text{ N/mm}^2$.

Les poteaux sont alors vérifiés au cisaillement.

Applications numériques

$$F_t = \frac{F' H}{\left(\frac{d}{2} + \frac{d'}{2}\right)}$$

$$F' = 178,27 \text{ kN}$$

$$H = 7450 \text{ mm}$$

$$\left. \begin{array}{l} d/2 = 750 \text{ mm} \\ d'/2 = 218,75 \text{ mm} \end{array} \right\} \text{fig. 3-}$$

$$d_2 = 48 \text{ mm} \quad \text{Car: Boulon d'ancrage M48.1250.}$$

$$F_t = \frac{178,27 \cdot 7450}{750 + 218,75} = 1370,96 \text{ kN}$$

$$F_s = \frac{F_t}{6} \Rightarrow F_s = \frac{1370,96}{6} = 228,5 \text{ kN}$$

$$F_p = 250 \text{ kN}$$

$$F_{\max} = 250 + 228,50 = 478,5 \text{ [kN]}$$

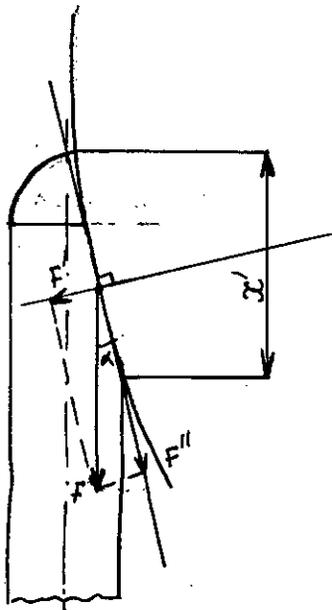
donc:

$$\frac{4 F_{\max}}{\pi d_2^2} = \frac{4 \cdot 478,5 \cdot 10^3}{\pi \cdot (48)^2} = 264,43 \text{ N/mm}^2$$

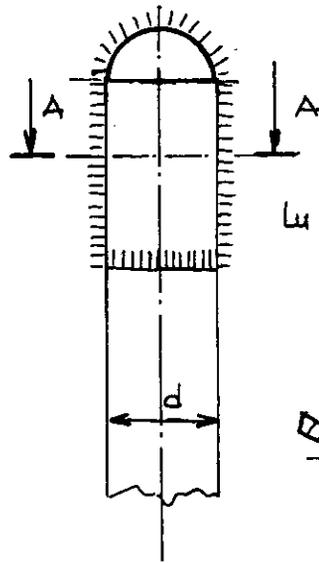
$$\frac{R_{eH}}{2} = \frac{640}{2} = 320 \text{ N/mm}^2$$

donc $\frac{4 F_{\max}}{\pi d_2^2} \leq \frac{R_{eH}}{2}$ est vérifiée, par conséquent les boulons du poteaux sont vérifiés à la traction.

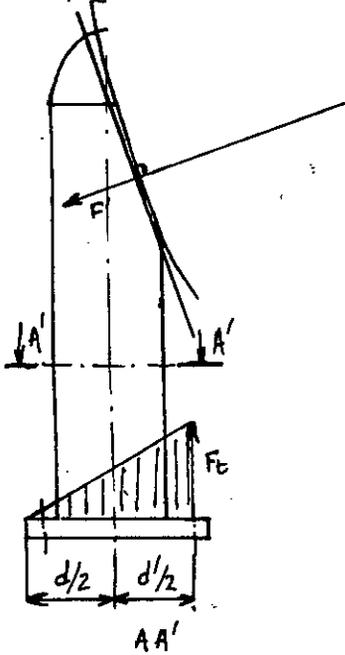
FIGURES.



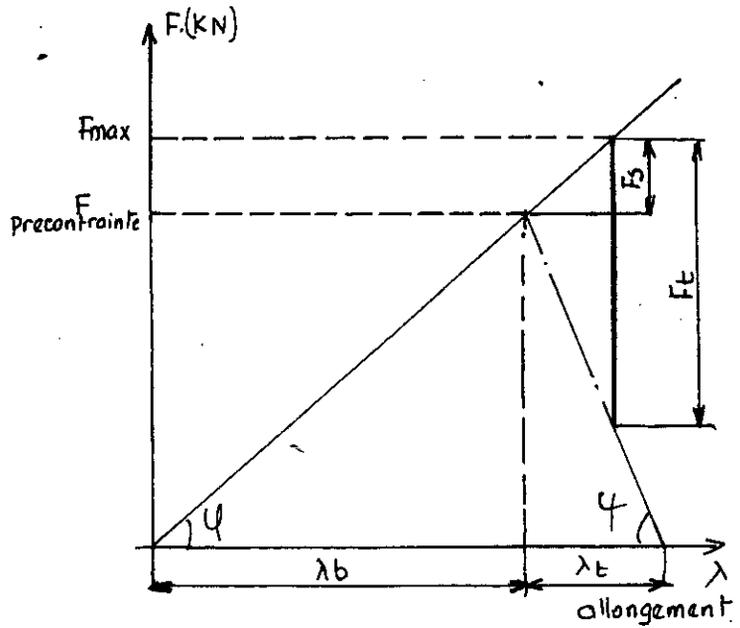
- fig.1 -



- fig.2 -



- fig.3 -



- fig.4 -

IV.4.4. CONTROLE DES POTEAUX AU FLAMBAGE.

Une pièce cylindrique ou prismatique soumise d'une charge "P" parallèle à son axe, peut travailler de deux façons.

Si la pièce est courte comparée à sa plus petite dimension transversale, elle travaille en compression simple. Mais si la pièce est longue elle travaillera au flambage.

Vue la longueur assez importante de nos poteaux, ils travailleront au flambage que si $F' > P_c$.

avec: P_c : charge critique d'Euler.

P : charge appliquée à l'extrémité libre

$$\text{et } P_c = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$$

En considérant que notre poteau est une tige encastree avec extrémité libre. telle que $L = 2l$. où:

L : longueur fictive du poteau.

l : longueur réelle du poteau.

Application numérique.

$$E = 2,1 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2 \quad D = 500 \text{ mm}, \quad d = 400 \text{ mm.}$$

$$I = \frac{\pi (D^4 - d^4)}{64} = \frac{\pi (500^4 - 400^4)}{64} = 1,76 \cdot 10^9 \text{ mm}^4 = 1,764 \cdot 10^5 \text{ cm}^4$$

$$L = 2l = 2 \cdot 7450 = 14900 \text{ mm.}$$

$$P_c = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 1,76 \cdot 10^5}{(14900)^2} = 1,66 \cdot 10^6 \text{ kg}$$

$$P_c = 1660 \text{ tonnes.}$$

$$P_c = 16600 \text{ kN}$$

$$\text{or } F' = 178,27 \text{ kN}$$

$$\text{alors : } F' < P_c.$$

donc nous pouvons dire que le poteau n'est pas soumis au flambage.

IV.5. CONTROLE DES OUVERTURES.

IV.5.1. LES OUVERTURES.

Un réservoir de quelque forme soit-il nécessite des ouvertures, soit pour l'arrivée ou le départ d'un fluide, pour permettre la visite ou le nettoyage intérieur ou alors pour fixer un organe de contrôle. Tous ces accessoires cause un affaiblissement de la paroi.

Une discontinuité engendre toujours des contraintes supplémentaires. Il est nécessaire parfois ou même très souvent de renforcer convenablement ces parties fragiles du réservoir.

Pour ce qui est des ouvertures on ne fera que le contrôle. C'est à dire ceux des renforcements concernant:

- a) les ouvertures d'entrée et de départ du fluide.
- b) l'ouverture de nettoyage.
- c) l'ouverture nécessaire pour placer un organe de contrôle.

a) Ouverture d'entrée ou de départ du fluide.

Pour voir si un renforcement est nécessaire on doit vérifier l'inégalité suivante.

$$d \leq 0,14 \sqrt{D_m \cdot e}$$

e : épaisseur totale de la paroi (y compris les renforts).

$$e = e_0 + e_{\text{renf}} = e_0 + \frac{e_0}{2} = \frac{3}{2} e_0$$

e_0 : épaisseur minimal de la paroi du corps sans renforcement.

$$d = d_m + e_t$$

d : diamètre de l'ouverture.

e_t : épaisseur de la tubulure

d_m : diamètre moyen de l'ouverture.

$$d_m = d_s + e_t$$

d_s : diamètre de sortie.

$$D_m = D_i + e_o$$

D_i : diamètre intérieur du réservoir.

applications numériques.

$$d_m = d_s + e_t ; \quad d_s = 200 \text{ mm} ; \quad e_t = 10 \text{ mm.}$$

$$d_m = 200 + 10 = 210 \text{ mm.}$$

$$d_m = 210 \text{ mm.}$$

$$D_m = D_i + e_o \Rightarrow D_m = 12400 + 16 = 12416 \text{ mm.}$$

$$e = \frac{3}{2} e_o = \frac{3}{2} \cdot 16 = 24 \text{ mm.}$$

$$d = d_m + e_t = 210 + 10 = 220 \text{ mm.}$$

alors $d \leq 0,14 \sqrt{D_m \cdot e}$ (1)

$$0,14 \sqrt{12416 \cdot 24} = 76,42 \text{ mm.}$$

et $d = 220 \text{ mm.}$ donc: $d \geq 0,14 \sqrt{D_m \cdot e}$

l'inégalité (1) n'est pas vérifiée donc l'existence d'un renforcement est nécessaire.

Pour plus de sécurité on mettra en place un renforcement intérieur. Voir planche A00 (detail).

b/ ouverture de nettoyage. (trou d'homme supérieur).

On placera un trou de nettoyage sur la coupole supérieure.

Nous choisirons un trou de visite circulaire de diamètre 500mm, et nous allons vérifier s'il sera nécessaire de placer un renforcement.

$$e = \frac{3}{2} e_o$$

d : diamètre de l'ouverture. $d = d_m + e_t$.

$$D_m = D_i + e_o ; \quad d_m = d_s + e_t$$

d_s : diamètre de sortie.

Nous vérifierons de la même façon que a/ l'inégalité (1).

Applications numériques.

$$D_m = 12416 \text{ mm.} ; \quad e = \frac{3}{2} e_0 = 24 \text{ mm.} ; \quad e_L = 10 \text{ mm.}$$

$$d_m = 500 + 10 = 510 \text{ mm.}$$

$$d = 510 + 10 = 520 \text{ mm.}$$

$$0,14 \sqrt{D_m \cdot e} = 0,14 \sqrt{12416 \cdot 24} = 76,42 \text{ mm.}$$

$$d = 520 \text{ mm.} \quad \text{donc} \quad d \geq 0,14 \sqrt{D_m \cdot e}.$$

Un renforcement est alors nécessaire. Voir planche A00. (détail)

c) Ouverture nécessaire pour placer un organe de contrôle.

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

$$d \leq 0,14 \sqrt{D_m \cdot e} \quad \Rightarrow \quad 14 \leq 76,42 \text{ mm.}$$

Ras de renforcement.

IV.6. CONTROLE NON DESTRUCTIF DES SOUDURES.

IV.6.1. CONDITIONS GENERALES.

L'examen des soudures au moyen de radiations "ionisantes" est le terme donné à certaines manifestations d'énergie radiantes dont font partie les rayons "X", Gammas, utilisés pour le contrôle des soudures.

Il est évident qu'avant de savoir comment contrôler, on doit se préoccuper de ce que l'on doit contrôler.

Il existe une considérable variété de défauts dans les soudures. Le contrôle de joints soudés présente donc une certaine complexité, celle par exemple de distinguer les différents types de défauts.

IV.6.2. METHODES D'EXAMEN ADOPTEES DANS LE CONTROLE DESTRUCTIF DES SOUDURES.

Le contrôle des soudures est exécuté par les examens non destructifs suivants.

- a - Examen radiographique
- b - Examen par ULTRA-SONS.
- c - Examen par particules magnétiques
- d - Examen par ressuage.

a) Examens radiographiques -

Concernant ces examens, on fait passer à travers le joint soudé des rayons X ou Gammas et les résultats sont enregistrés sur des films.

La compacité du matériau du joint joue un rôle, car le degré d'absorption des rayons en dépend.

De ce fait les zones de forte et faible densité sont facilement détectables ce qui rend compte de l'hétérogénéité du joint. Pour ce qui est des caractéristiques de chaque procédé on se référera aux tableaux ci après.

Rayons X

Avantages	Inconvénients.
<ul style="list-style-type: none"> - Haute sensibilité. - Adaptation aisée des tensions, d'alimentation aux différentes épaisseurs. - Facilité d'interruption du courant. - Application possible à tous les matériaux. 	<ul style="list-style-type: none"> - Coûts d'investissement et de remplacement élevés. - Difficultés de transport, fragilité. - Encombrement important. - Nécessite une source d'énergie électrique.

Rayons Gamma

Avantages	Inconvénients.
<ul style="list-style-type: none"> - Robustesse - Bon pouvoir de pénétration. - Coûts d'investissement, de fonctionnement et d'entretien modérés. - fonctionnement sans source d'énergie complémentaire. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sensibilité moindre - rayonnement continu avec grand risques. - Durées d'exploitation plus longues.

b/ Contrôle ou examen par ULTRA-SONS

Ce contrôle est particulièrement indiqué pour l'examen de pièces de grandes épaisseurs et pour des vérifications particulières. Le tableau suivant nous donne les avantages et les inconvénients de ce procédé.

ULTRA-SONS	
Avantages	Inconvénients
<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 haute expérience de l'opérateur. - Absence d'enregistrement des résultats du contrôle.

c/ Contrôle par particules magnétiques.

Ce contrôle est indiqué pour déterminer les défauts apparaissant à la surface ou localisés un peu au dessous d'elle.

Cette méthode est réservée surtout aux matériaux ferro magnétiques.

d) Contrôle par Ressuage.

Il est indiqué pour la détermination des défauts apparaissant à la surface des pièces à examiner.

Conclusion

Après comparaison des différentes méthodes de contrôle nous avons choisi le contrôle radiographique et le contrôle par ULTRASONS.

IV.6.3. ETUDE DE CERTAINS DEFAUTS.

On entend souvent affirmer "defauts acceptables". Mais on accepte jamais un défaut!!

Egalement l'affirmation "aucun défaut souvent employée pour indiquer qu'un joint est complètement sain n'est pas exacte.

Un contrôle plus sensible prouverait probablement le contraire.

Concernant les défauts, ils représentent les discontinuités qui sont considérées dangereuses pour la totalité du joint.

Il existe alors quelques types de discontinuités dont:

- a). discontinuités géométriques.
- b). discontinuités structurelles.
- c). discontinuités physiques.
- d). discontinuité des soudures.

a) Discontinuités géométriques.

Elles sont caractérisées par des variations de la forme du joint.
-fig 1-

b) Discontinuités structurelles.

Elles sont caractérisées par des variations de la structure métallurgique (zone thermiquement altérée d'une soudure)-fig 2-

c) Discontinuités physiques.

Elles sont représentées par des manques de matériaux qui forment des vides interrompant la continuité des joints.

d) Discontinuités des soudures.

Elles peuvent être groupées en trois parties.

- 1- discontinuité du profil fig (3a, 3b, 3c).
- 2- fissuration - fig 4 -
- 3- inclusion - fig 5.

L'application des contrôles radiographiques et des contrôles par échographie nous permet de détecter certains défauts.

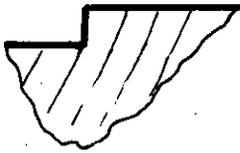
Le tableau donné ci après en résume les principaux domaines d'application concernant le contrôle de ces défauts.

DEFAUTS	ESSAIS
<ul style="list-style-type: none"> - Inclusions gazeuses et solides - défauts de fusion - défauts de pénétration - Fissures internes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Radiographiques Ultrasons Radiographiques Radiographiques et Ultrasons.

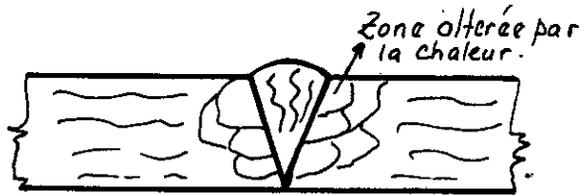
Essais hydrauliques :

Ils sont obligatoires pour tous les réservoirs. Dans ce type d'essai on remplit d'eau le réservoir dont la masse volumique est supérieure à celle du produit stocké et on soumet ainsi les soudures et leurs abords à la pression de l'eau.

FIGURES.



- fig 1 - Discontinuité géométrique.



- fig 2 - Discontinuité structurelle

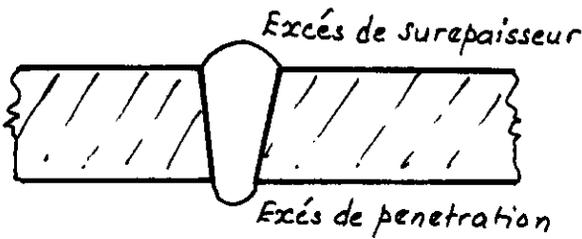
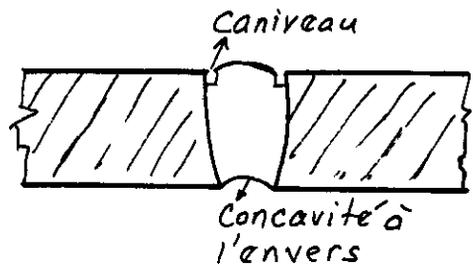
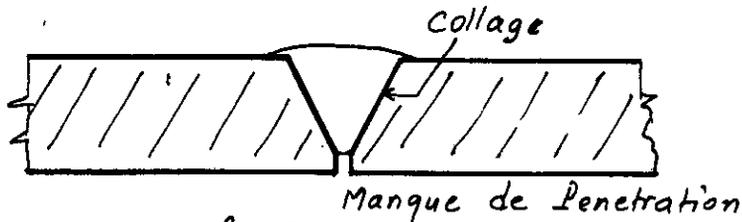


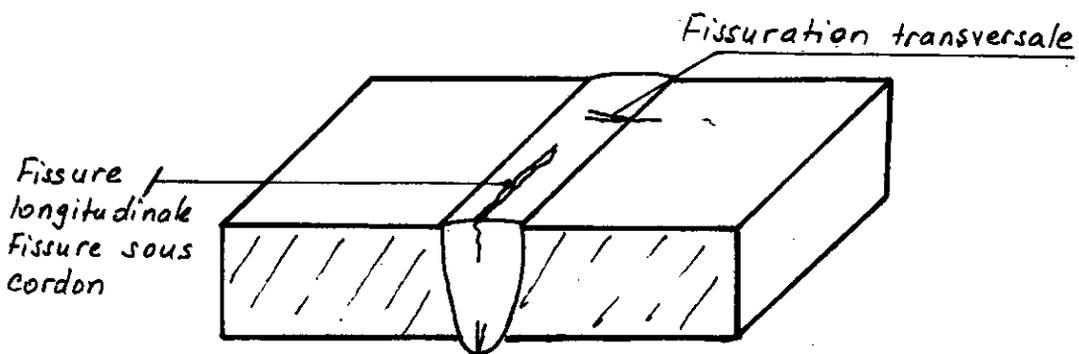
fig 3a : Discontinuité du profil.



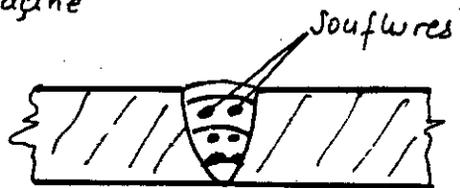
- fig 3b -



- fig 3c -



- fig 4 -



- fig 5 -

V. ORGANISATION DU TRAVAIL PAR LA METHODE P.E.R.T .

Qu'est ce que le P.E.R.T. ?

Le P.E.R.T est une methode consistant à mettre en ordre, sous forme de réseau plusieurs tâches qui grâce à leur dependance et à leur chronologie concourent à l'obtention d'un produit fini.

P.E.R.T : Programm Evaluation and Review Technic, c'est à dire technique d'ordonnancement des tâches permettant l'obtention du produit fini.

V.I .DETERMINATION . DES TACHES QUI PRECEDENT ET SUCCEDENT UNE ACTIVITE .

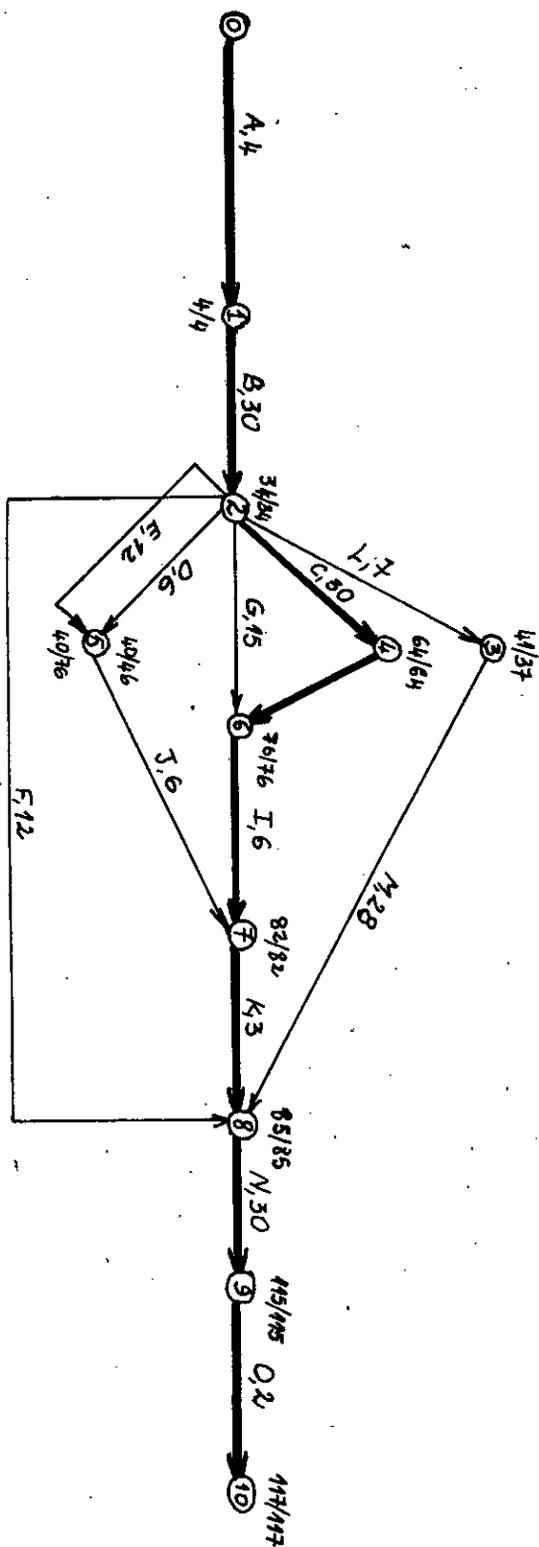
Symboles	Activités	Précédent	Succédent
A	Determination des paramètres.	—	B
B	Planification	A	C, D, E, F, G, L.
C	Fabrication des segments.	B	H
D	Fabrication des fonds	B	J
E	Fabrication des ouvertures	B	J
F	Fabrication de l'escalier	B	K
G	Fabrication des poteaux	B	I
H	Preparation des segments	C	I
I	Assemblage des éléments	H, G	K
J	Preparation des fonds	D	K
K	transport	I, F, M, J	N
L	preparation du terrain	B	M
M	Betonnage	L	N

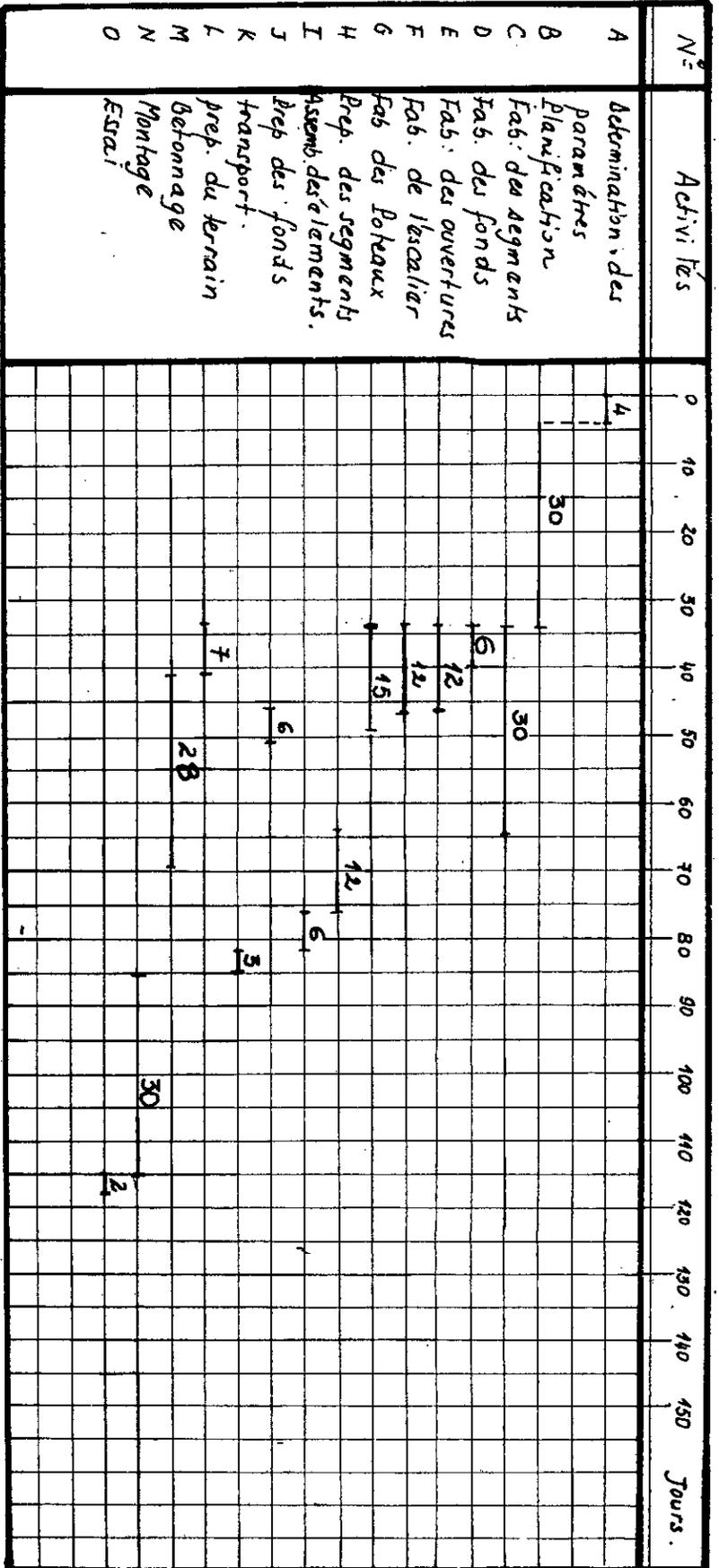
N	Montage	K	O
O	Essai	N	-

V.2 DETERMINATION DES DATES AU PLUS TÔT ET AU PLUS TARD

N°	Activités	Délais (Jours)	date au plus tôt	date au plus tard	temps de réserve. (Jours)
			commencement après le démarrage.		
1	Détermination des paramètres	4	-	4	-
2	Planification	30	4	4	-
3	Fab. des segments	30	34	34	-
4	Fab. des fonds	6	34	70	36
5	Fab. des ouvertures	12	34	64	30
6	Fab. de l'escalier	12	34	73	29
7	Fab. des poteaux	15	34	61	27
8	Prép. des segments	12	64	64	-
9	Assemblage des éléments.	6	76	76	-
10	Prép. des fonds	6	46	76	30
11	transport	3	82	82	-
12	Prép. du terrain	7	34	50	16
13	Bétonnage	28	41	57	16
14	Montage	30	85	85	-
15	Essai	2	115	115	-

V.3 DETERMINATION DU CHEMIN CRITIQUE .





- Diagramme de GANTT -

Conclusion:

L'Algérie est en train de faire de gros progrès dans le domaine de la construction de réservoirs. Dans ce sens elle y est obligée vu qu'elle est un pays producteur de produits pétrochimiques, d'où nécessité de stockage.

Pour l'heure actuelle, notre pays importe de l'étranger les éléments des réservoirs déjà fabriqués et le montage se fait chez nous grâce au concours de la GTP (ex ALTRA SONATRACH).

Dans notre étude nous avons essayé de mettre en évidence un plan de construction du réservoir sphérique avec les grandes lignes que l'étude comporte.

Mais une étude plus détaillée exigerait plus de temps qu'on ne peut y consacrer dans le cadre de ce mémoire.

Je souhaiterais que mon travail soit complété en ajoutant toute la partie Génie civil soit l'étude au séisme (devenue systématique depuis ELASNAM.80), l'étude au vent, l'étude à la neige, ainsi que le calcul des fondations.

Je souhaiterais en plus la réalisation de ce projet avec le concours des entreprises concernées.

Symboles et notations.

- ρ_t : Rayon de courbure de l'arc meridien;
- ρ_m : Rayon principal.
- R : Taille de la zone plastique.
- η : Coefficient de joint de soudure.
- R_m : Resistance à la rupture.
- R_{el} : Limite elastique.
- γ : Poids spécifique du liquide stocké.
- α_1, α_2 : Coefficient de joint de soudure .
- σ_{adm} : Contrainte admissible .
- σ_y : Contrainte elastique .
- σ_{y_0} : Limite d'elasticité en monoaxial .
- n : Contrainte normale agissant perpendiculairement à l'axe longitudinale.
- t_{\perp} : Contrainte tangentielle agissant perpendiculairement à l'axe longitudinale ;
- t_{\parallel} : Contrainte agissant parallelement à l'axe longitudinale.
- θ : Angle de flexion .
- ν : Coefficient de Poisson .
- K_I : Facteur d'intensité de contrainte .
- K_{Ic} : " " " " " critique .
- e : Epaisseur de la paroi du reservoir .
- e_0 : Epaisseur minimale de la paroi du reservoir sans renforcement .
- σ_m : Contrainte meridienne.
- σ_t : Contrainte circonferentielle .

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

PROBLEMES DE RESISTANCE DES MATERIAUX.

I.MIROLIOBOV Edition MIR MOSCOU .

RESISTANCE DES MATERIAUX .

V. FEODOSSIEV .Edition MIR MOSCOU .

PRECIS DE SOUDAGE ,BRASAGE ET TECHNIQUES CONNEXES .

R. LEGOUIC.Edition EYROLLES . 1978 .

LES PROCEDES DE SOUDAGE .

P.T. HOULDCROFT .DUNOD . PARIS .

SOUDAGE , ELEMENTS DE CONCEPTION ET DE REALISATION .

R. VARISELLAZ .DUNOD .1982 .

R . RYBAKOV . Edition MIR MOSCOU . COUPAGE ET SOUDAGE DES
METAUX .

RUPTURE DES METAUX .

D.FRANCOIS .L.JOLY

APPLICATION DU SOUDAGE AU METAUX .

R.BAUSS et W. CHAPEAU .

AIDE MEMOIRE DUNOD .CONCEPTION EN CM .1978 .

GUIDE DU DESSINATEUR INDUSTRIEL .1969 .

ENCYCLOPEDIE SOVIETIQUE .1951 .

ENCYCLOPEDIE QUILLET .1974 .

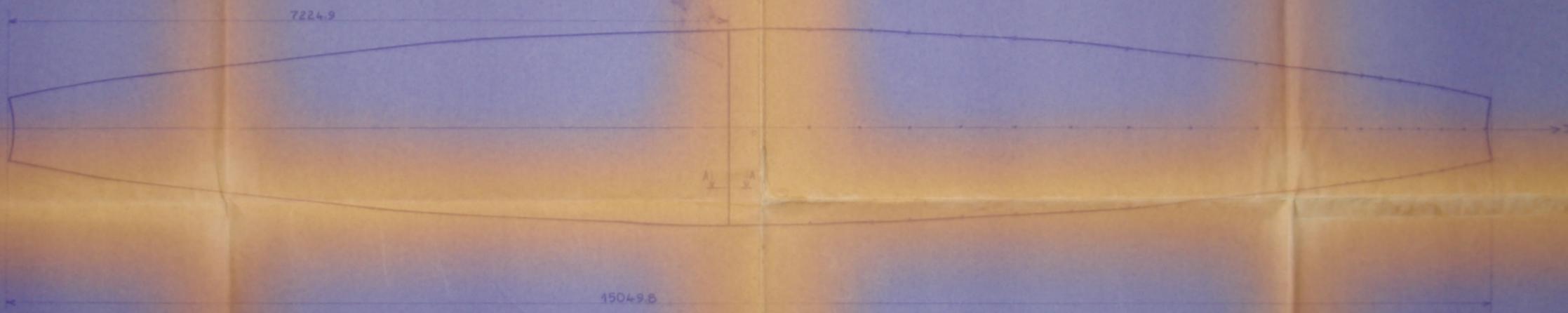
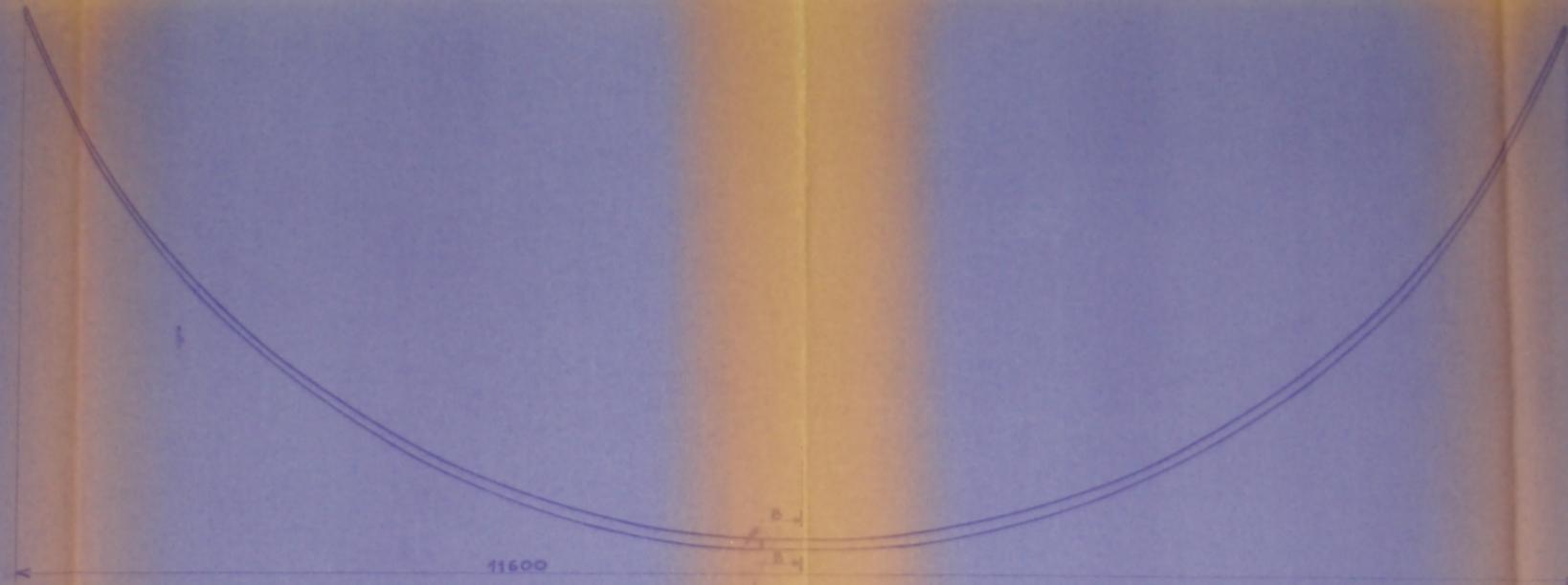
PRATIQUE DE LA METHODE P/E.R.T.

PIERRE POGGIOLI .1970 .

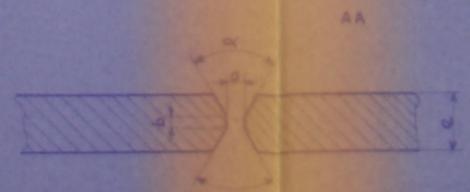
PRODUIT S.N.S. ALGERIE .

CATALOGUE DE VISSERIE . BOULONNERIE SONACOMME ALGERIE .

CATALOGUE DE SOUDURE . ECOLE DE SOUDURE ALTRA ALGERIE .



X	500,54	1004,4	1515,05	2036,4	2578,5	3151,5	3755,1	4387,7	5057	5761,4	6498,5	7266,4	8063,5	8898,5	9770,5	10678,5	11622,5	0
Y	1561,4	1322,0	1089,5	864,5	648,2	450,5	280,5	140,5	0	-140,5	-280,5	-450,5	-648,2	-864,5	-1089,5	-1322,0	-1561,4	0



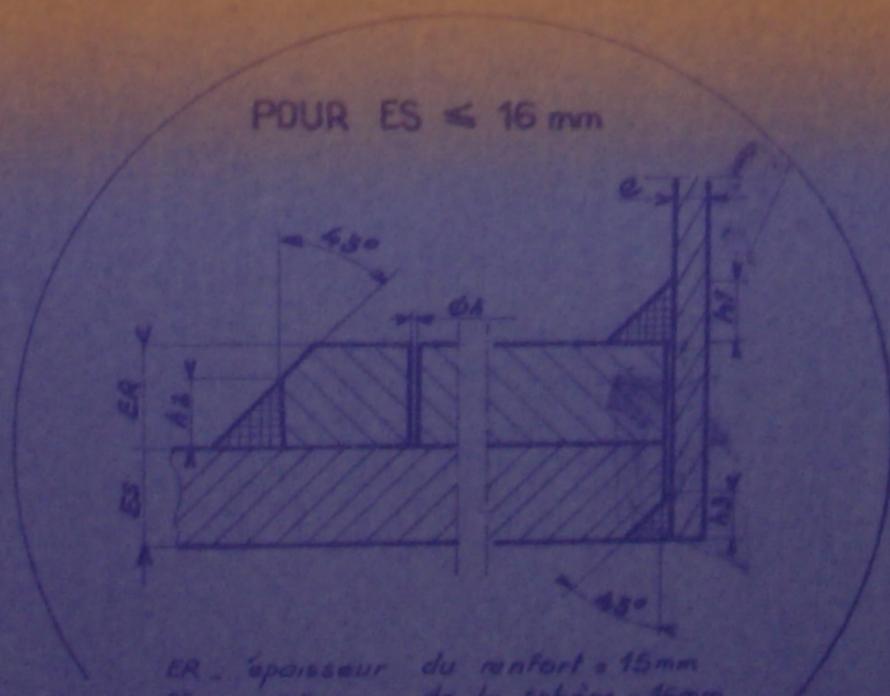
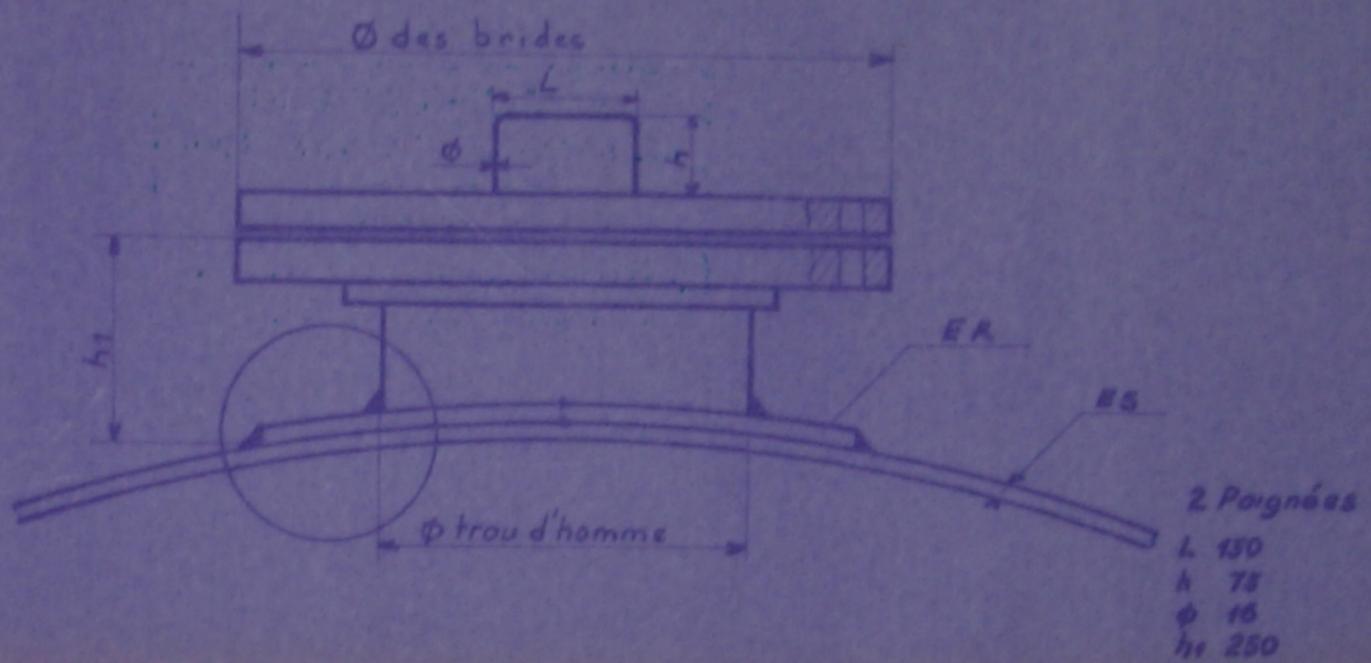
Détail du profil des bords. ECH: 1/4
 Pour $c > 12\text{mm}$
 $\alpha = 60^\circ$
 $a = 5\text{mm}$
 $b = 3\text{mm}$

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
 BIBLIOTHEQUE

PM02484
 APR 21
 (1)

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Echelle	1:25	Phase	2.6.2	SEGMENT DE SPHERE	ENPA
Étudiant		Pratiquant			
Pratiquant		ÉLÈVE		A202A	AB1



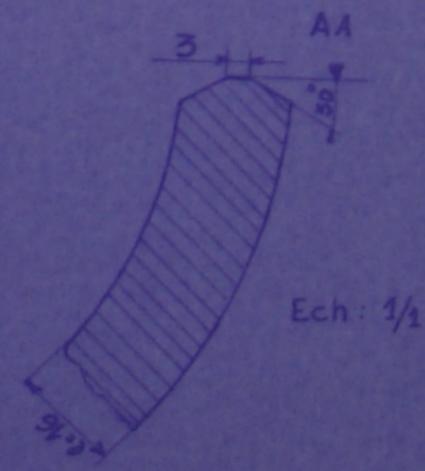
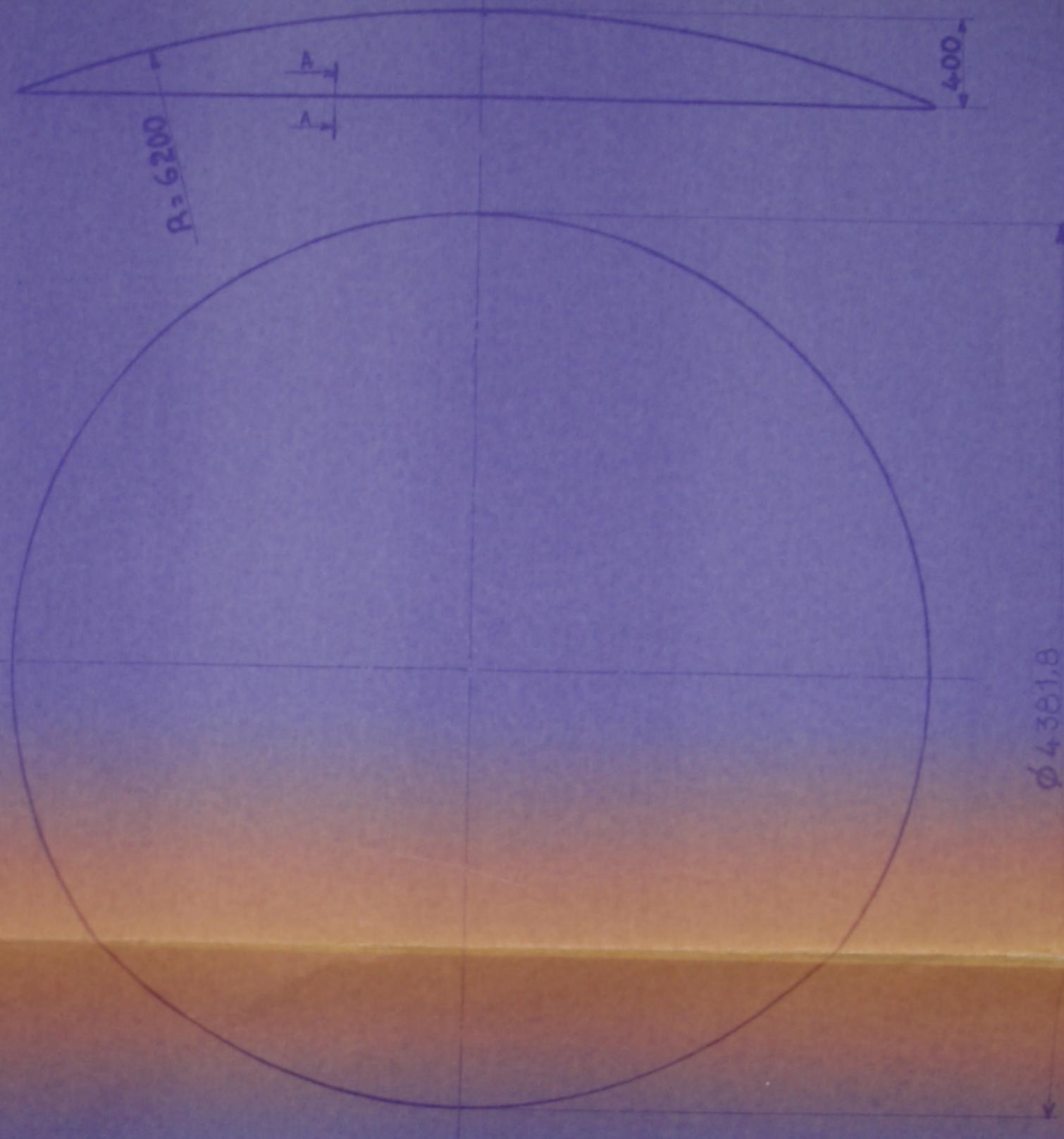
EA - épaisseur du renfort = 15 mm
 ES - " de la sphère = 16 mm
 e - " de la tubulure = 10 mm
 h - 1,5 de ES ou 1,5 de e
 h1 - e/7 EA
 h2 - 1,5 de e ou 0,5 de ES
 h3 - 0,5 de EA

Le trou de diamètre A est fileté, il permet de contrôler l'étanchéité du renfort ainsi que l'évacuation des gaz pendant l'opération de soudage.

الجامعة الوطنية للتكنولوجيا
 المكتبة
 ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
 BIBLIOTHÈQUE

PM02484
 Après p. 2A
 -2-

ÉCHELE NATIONALE POLYTECHNIQUE			
Echelle	Masse	⊕	DETAIL DE CONSTRUCTION SOUDEE
Etudiant	Makhlouf		ENPA
Promoteur	M. ELLOU		Dept. Mécanique
Chef. Dépt			A202A
Pres. Jury			A03

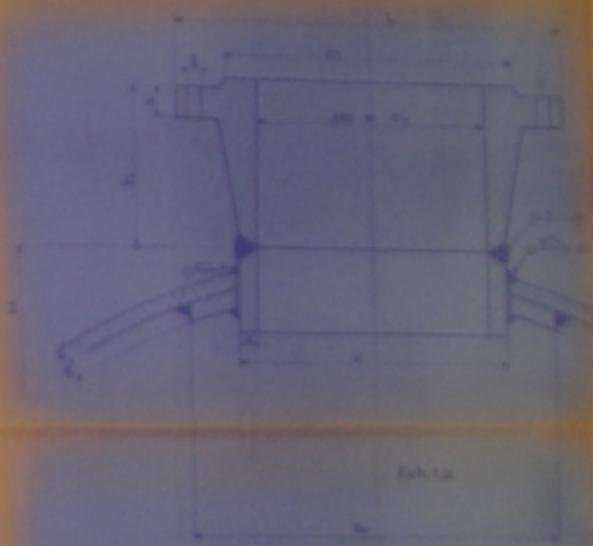
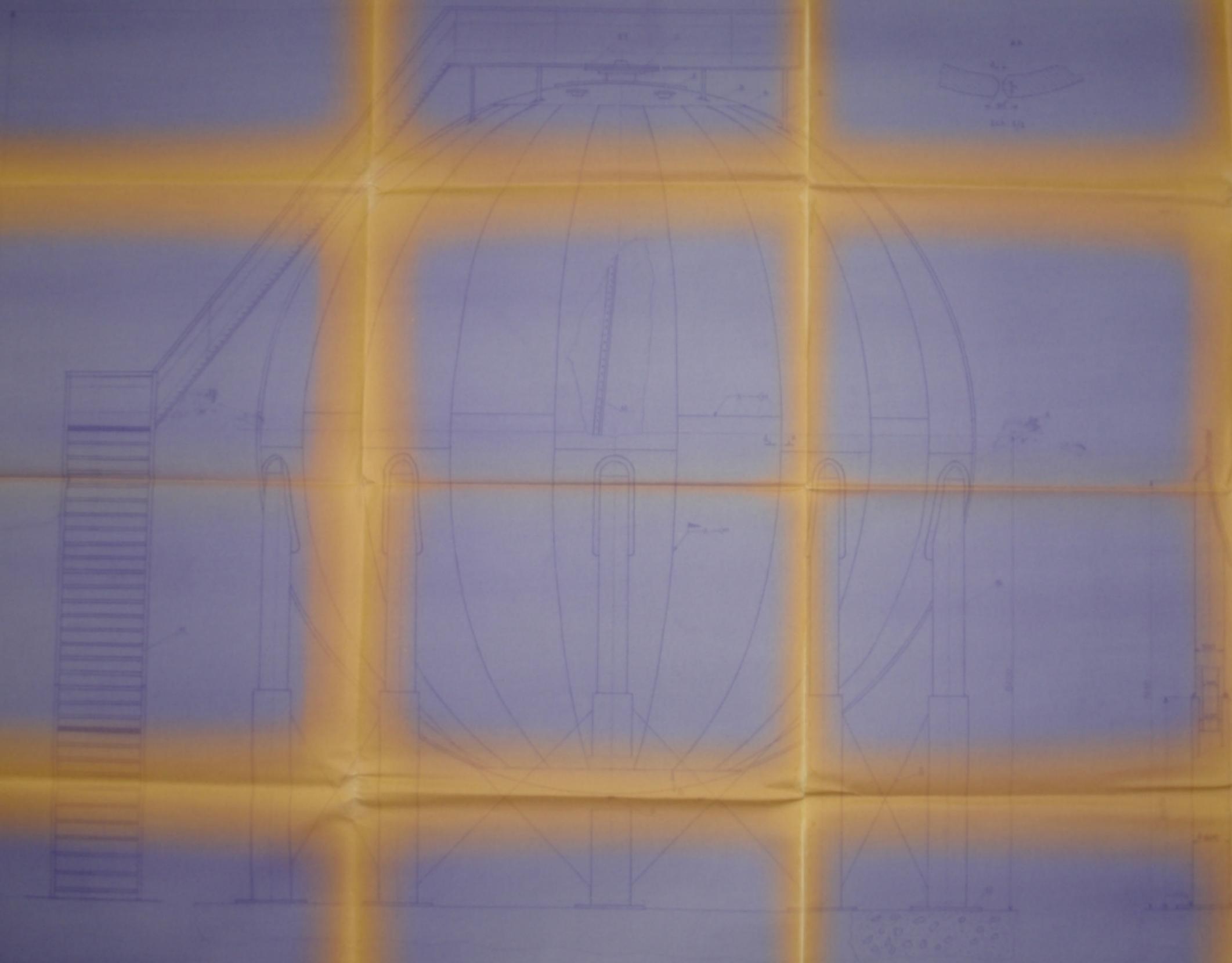


المكتبة الوطنية للعلوم الهندسية
 المكتبة

 ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
 BIBLIOTHÈQUE

PMo 24 84
 Après p. 21
 - 3 -

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE			
Echelle	Masse	□ ⊙	COUPOLE INFÉRIEURE
1/25	3,83t		
Étudiant	Mokhtouf		ENPA Dep ^E Mécanique
Promoteur	N°ELEOD		
Chef dep ^t			A02
Pres. Jury			



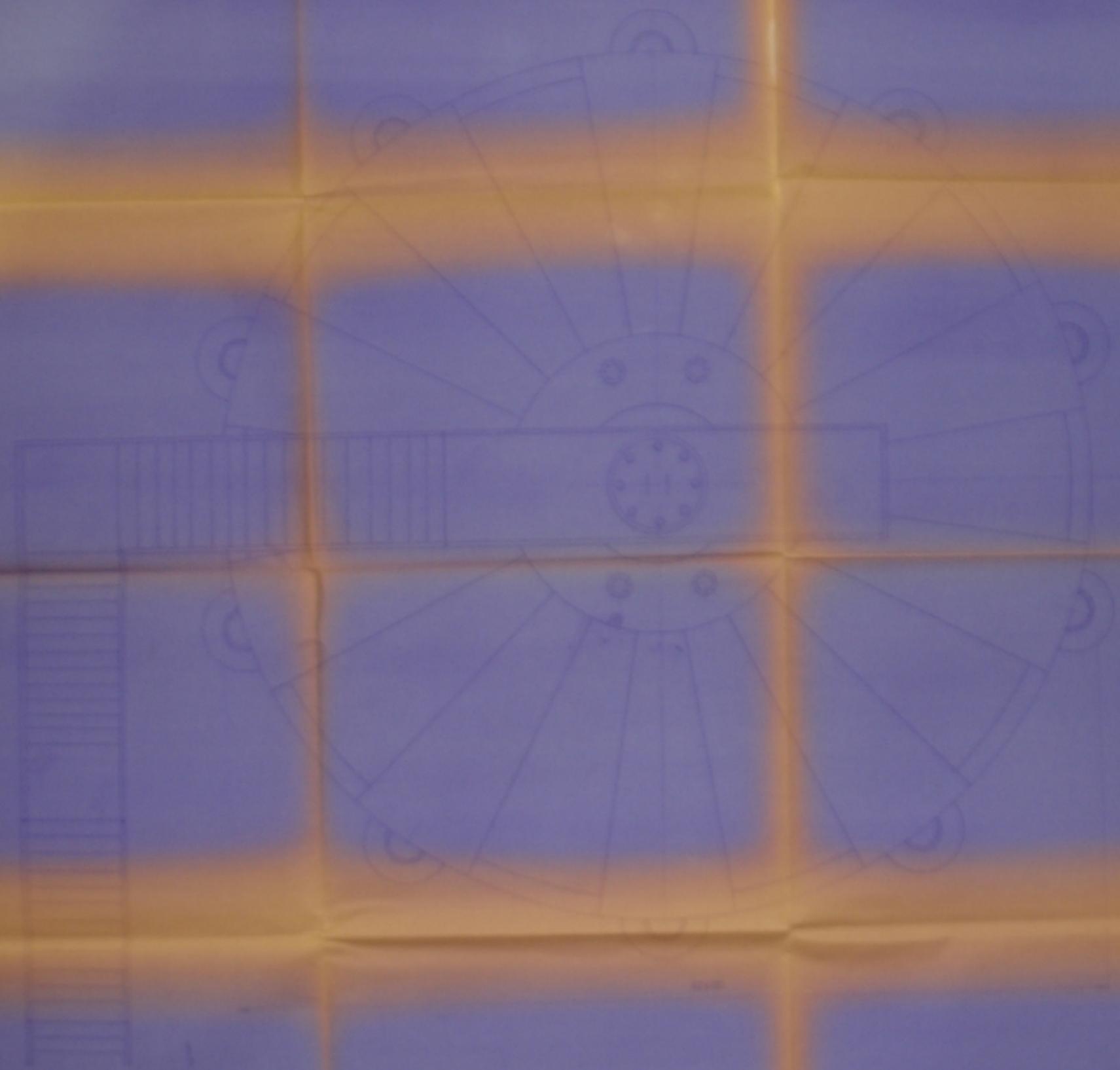
№	Вид	Материал	Объем	Масса
1	Купол	Бетон	1000	25000
2	Столбы	Бетон	200	5000
3	Столбы	Бетон	200	5000
4	Столбы	Бетон	200	5000
5	Столбы	Бетон	200	5000
6	Столбы	Бетон	200	5000
7	Столбы	Бетон	200	5000
8	Столбы	Бетон	200	5000
9	Столбы	Бетон	200	5000
10	Столбы	Бетон	200	5000

Масштаб
1:100

№	Вид	Материал	Объем	Масса
1	Купол	Бетон	1000	25000
2	Столбы	Бетон	200	5000
3	Столбы	Бетон	200	5000
4	Столбы	Бетон	200	5000
5	Столбы	Бетон	200	5000
6	Столбы	Бетон	200	5000
7	Столбы	Бетон	200	5000
8	Столбы	Бетон	200	5000
9	Столбы	Бетон	200	5000
10	Столбы	Бетон	200	5000

Институт
Инженерно-строительный
Москва

ГОС. НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ЦЕНТР НАЦИОНАЛЬНОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА
ИМ. М. В. ЛОМОНОСОВА
Институт
Инженерно-строительный
Москва



Handwritten text or a stamp, possibly a date or a signature, located in the bottom right corner of the page.

