

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

4/81

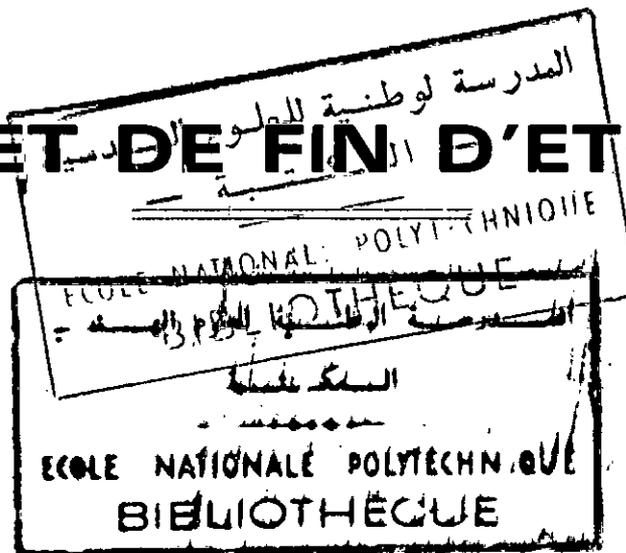
U. S. T. H. B.

Lex

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DÉPARTEMENT GENIE - MÉCANIQUE

PROJET DE FIN D'ÉTUDES



FABRICATION DES RÉSERVOIRS
CYLINDRIQUES SOUDÉS EN
ACIER ALLIÉ

Proposé et suivi par :

- E. BARDOKHINE

Maitre de Conférence à l'E.N.P.

Étudié par :

- Y. HARKAT

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

U. S. T. H. B.

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT GENIE - MECANIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

FABRICATION DES RESERVOIRS
CYLINDRIQUES SOUDES EN
ACIER ALLIE

Proposé et suivi par :

E. BARDOKHINE

Maître de Conférence à l'E.N.P.

Etudié par :

- Y. HARKAT

PROMOTION JANVIER 1981

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

سُبْحَانَكَ يَا عَلِيمُنَا يَا

مُتَعَلِّمُنَا يَا عَلِيمُنَا يَا عَلِيمُنَا يَا

عَلِيمُنَا يَا عَلِيمُنَا يَا

«صِدْقُ اللَّهِ الْعَظِيمِ»

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

- Je tiens à remercier vivement Monsieur E. BARDOKHINE Maître de conférence à l'Ecole Nationale Polytechnique pour m'avoir suivi tout au long de ce travail et pour tous ses conseils qui m'ont été d'une grande utilité.

Qu'il trouve ici ma meilleure sympathie.

- Je tiens également à remercier tous les professeurs qui ont participé de près ou de loin à ma formation.

D E D I C A C E S

J e d é d i e c e m o d e s t e t r a v a i l à :

- Mes professeurs

- Mes amis

- Tous mes frères et soeurs

- Mes PARENTS qui n'ont ménagé aucun effort afin que ma formation aboutisse dans les meilleures conditions.

TABLE DES MATIERES

Pages

Introduction	1
I-Généralités	
I-1-Etude des conditions de fonctionnement des réservoirs...	2
I-2-Etude de construction des réservoirs	3
I-3-Exigences techniques	3
II-Téchnologie d'exécution	
II-1-Choix du métal de base	9
II-1-1-Comment les éléments d'addition influent sur les proprié- -tés de l'acier.....	11
II-1-2-Etude métallurgique.....	14
II-1-3-Soudabilité	16
II-1-4-Contrôle du métal de base	18
II-2-Choix du procédé de soudage	19
II-2-1-Soudage manuel à l'arc	19
II-2-1-1-Choix du courant de soudage.....	20
II-2-1-2-Choix du matériau de soudage	21
II-2-2-Soudage automatique sous flux solide.....	27
II-3-Calcul du régime de soudage.....	36
II-3-1-Soudage manuel	36
II-3-2-Soudage automatique	38
II-3-3-Précautions à prendre pour réaliser de bonnes soudures	41
II-3-4-Côntrole desodes soudures.....	44
II-4-Choix d'équipement	47
II-5-Elaboration de technologie d'exécution	51
II-6-Hygiène et sécurité	51
III-Organisation de production	59
III-1-Calcul des quatités d'équipement du personnel	59
III-2-Plan d'atelier pour le programme.....	
Conclusion	74
Bibliographie.....	

INTRODUCTION

Les progrès des technologies de soudage accomplis dans les dernières années témoignent d'un essor important dans ce domaine;

Avec les besoins toujours croissants des usines dans notre pays? va de pair l'étude des problèmes délicats de soudabilité des matériaux hétérogènes ,de rupture fragile sous l'action des charges' de fiabilité des produits en différents régimes, etc...etc.

Les propriétés de la soudure que le calcul a prises pour base n'étaient que supposées et rarement vérifiées. Les erreurs de technologie et les défauts de soudure devaient être compensés par des correctifs dont on attendait au moins une certaine marge de sûreté.

Les accomplissements d'un tel objectif dépend de l'optimisation des joints de soudage et des zones voisines . Leurs caractéristiques résultent cependant de la somme des contraintes , aussi bien que des entailles risquant de compromettre la durée de vie du matériel .

Vu le tonnage extrêmement important des produits pétroliers et produits chimiques , on est persuadé que le développement de la construction soudée des réservoirs dans un pays comme l'Algérie est d'une nécessité économique sans doute indiscutable .

N'oublions pas toutefois que la réalisation d'un réservoir à pression moderne est le fruit de solutions intégrées qui ne sauraient résulter que d'une coopération étroite entre les bureaux d'études et les bureaux et des méthodes .

I-GENERALITES

I-1 Etude des conditions de fonctionnement des réservoirs .

D

Divers types de réservoirs , de forme généralement cylindrique , sont utilisés pour le stockage des produits pétroliers et des produits chimiques . Leurs dimensions sont souvent importantes .

Ainsi , les réservoirs destinés aux produits pétroliers , ont vu leur capacité passer de 30.000m³ à 100.000m³ (90m de ϕ et 16m de hauteur) , pendant ces 3 dernières décennies . Cette capacité a été rendue possible grâce à l'emploi d'acier à haute limite d'élasticité .

De nombreux réservoirs de moindres dimensions sont utilisés dans la plupart des usines : réservoirs à mazout , à pétrole , réservoirs et bouteilles à butane , réservoirs d'air comprimé , etc ...

Ces réservoirs étant destinés à contenir des produits pétroliers et des produits chimiques sont soumis en grande partie à l'effet corrosif d'un milieu neutre ou faiblement acide ~~et imp~~ . Dans ces conditions , un choix judicieux de l'acier s'impose . Pour cela , des aciers faiblement alliés à faible teneur en chrome conviennent bien. [7]

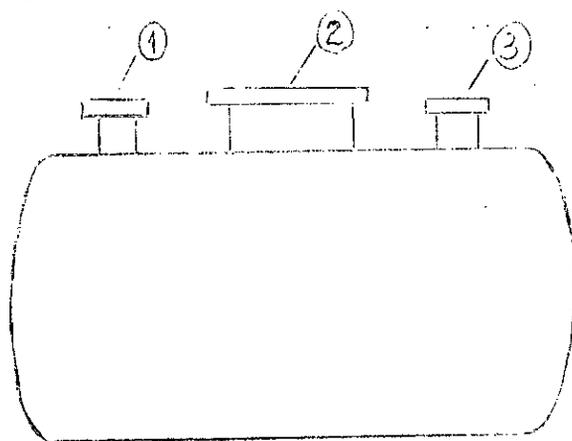
I-2 Etude de construction des réservoirs :

Plusieurs types de réservoirs peuvent exister .

- réservoirs sphériques
- réservoirs cylindriques
- Réservoirs sphériques : A épaisseur de paroi égale , la forme sphérique permet d'obtenir une meilleure résistance à la pression que la forme cylindrique .
En outre , elle forme la plus petite surface extérieure pour une capacité déterminée .
Pour ces raisons et malgré l'inconvénient d'une mise en oeuvre plus complexe des éléments constituant la coque , les réservoirs sphériques sont plus particulièrement destinés au stockage des gaz liquéfiés qui doivent être maintenus à basse température .
- Réservoirs cylindriques :
Bien que la forme sphérique présente la meilleure résistance à la pression on lui préfère en général la forme cylindrique pour sa facilité de réalisation et malgré son épaisseur qui doit être double de la sphère de même diamètre soumise à la même pression .
Le réservoir le plus simple est le ballon dont la coque , constituée d'une virole cylindrique et deux fonds bombés est munie de tubulures pour le raccordement avec les circuits de remplissage et de soutirage du produit contenu .

Il comporte également un orifice de visite (imposé par la réglementation

et appelé trou d'homme) qui permet d'effectuer des visites périodiquement pour s'assurer du bon état de la surface et de la paroi. (Fig1)



- 1-Tubulure de soutirage
- 2-Trou d'homme
- 3-Tubulure de remplissage

Fig1 Schema d'un réservoir cylindrique

Les réservoirs destinés aux industries chimiques et aux usines productrices d'énergie ont en général la même forme extérieure cylindrique mais comportent à l'intérieur des parois annexes assurant la transformation des fluides (tubes d'échangeurs, de condenseurs ou d'évaporateurs, plaques de colonnes de distillation). Ces réservoirs peuvent également présenter des formes plus complexes, celles-ci se limitant souvent à des combinaisons de surfaces de révolution (cylindres, sphères, cônes et tores). Dans ce cas ils sont souvent appelés Réacteurs.

Ceci relève d'une étude approfondie et bien détaillée des réacteurs qui sortent du domaine de notre projet.

I-3 Exigences techniques:

Les réservoirs destinés à contenir des fluides sous pression doivent respecter une réglementation légale qui impose, pour assurer une bonne étanchéité et une meilleure solidité, des règles de calcul précises.

Ces règles sont d'autant plus sévères que les dangers dus au risque d'éclatement sont importants, le critère de risque étant l'énergie élastique susceptible d'être libérée en cas de rupture.

d'eclatement sont plus importants, le critère de risque étant l'énergie élastique susceptible d'être libérée en cas de rupture .

L'épaisseur de la paroi d'une capacité soumise à une pression intérieure est calculée d'une part:

- Fonction de cette pression

-Fonction des caractéristiques du matériau , et d'autre part:

6 Fonction de la forme de la paroi.

Comme nous l'avons déjà mentionné, prenons un réservoir cylindrique à fonds bombés.

Le réservoir est alors soumis à:

1- Contrainte tangentielle:

Le calcul de l'épaisseur de paroi des enveloppes soudées est basé sur la plus grande contrainte principale qui est la contrainte tangentielle.

On admet généralement la sollicitation statique.

La poussée hydrostatique P sur la moitié de virole isolée (Fig 2) vaut:

$$(1) \quad P = p \cdot d_i \cdot l \quad [1]$$

p=pression relative intérieure

d_i =Diamètre intérieur de la virole.

l=Longueur de la partie cylindrique

L'équilibre de la partie coupée exige deux(2) efforts normaux $N_1=N_2$

opposés à la poussée P. La contrainte tangentielle dans chaque section d'aire $A_1=A_2=el$, devient :

$$(2) \quad \sigma_t = \frac{p \cdot d_i}{2 \cdot e} \quad [1]$$

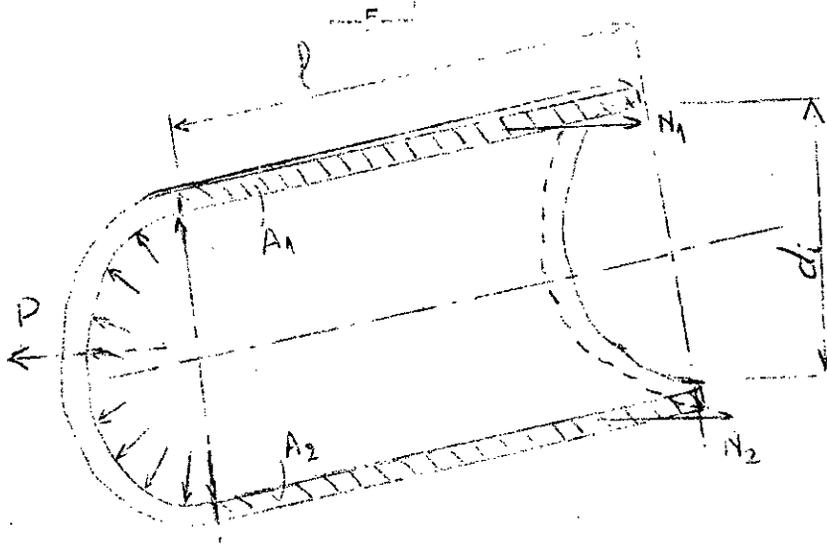


Fig2- Contrainte Tangentielle

2 - Contrainte Axiale

Comme la pression intérieure agit sur le fond des réservoirs, les poussées axiales dans une section transversale valent:

$$(3) \quad P_a = p \cdot \frac{\pi \cdot d_i^2}{4}$$

et l'équilibre du tronçon du réservoir exige évidemment $N_a = P_a$

La contrainte de traction dans la section $A = \pi \cdot d \cdot e$ s'obtient par (Fig 3)

$$(4) \quad \sigma_a = \frac{P_a}{A} = p \cdot \frac{d_i^2}{4 \cdot d \cdot e}$$

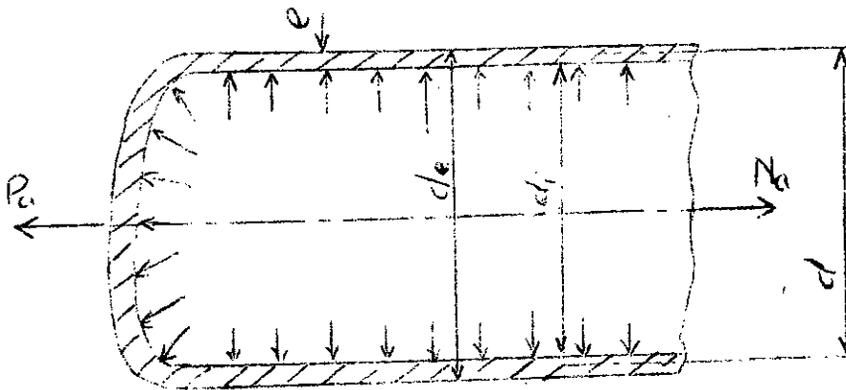


Fig 3- Contrainte axiale dans l'enveloppe

Comme $d \approx d_i$, l'expression devient:

$$(5) \quad \sigma_a = \frac{p \cdot d_i}{4 \cdot e}$$

3- Contrainte radiale

Chaque élément de surface intérieure est soumis à l'action de la pression intérieure p_i . La contrainte de compression ou contrainte

3- CONTRAINTE RADIALE

Chaque élément de surface intérieure est soumis à l'action de la pression intérieure p_i ; La contrainte de compression ou contrainte radiale est :

$$(6) \quad \sigma_r = -p_i$$

Cette contrainte est négligeable vis-à-vis des contraintes calculées ci-dessus

4- Epaisseur de la paroi de l'enveloppe cylindrique

La contrainte dans le cordon de soudure ne devra pas dépasser la contrainte admissible pour la qualité de tôle utilisée. On augmente l'épaisseur de la tôle ordinaire de 1mm pour tenir compte de la corrosion et de la variation d'épaisseur .

L'épaisseur se calcule cependant par la formule suivante:

$$(7) \quad e = \frac{p \cdot d_i \cdot \nu_B}{2 \cdot \sigma_B \cdot \nu} + \alpha$$

avec :

- α : supplément pour la corrosion fixé à 1mm sauf:

a) pour les réservoirs à vapeur et réservoirs sous pression dont les parois sont exposées à la corrosion , les suppléments doivent être augmentés jusqu'à 2mm .

b). Il n'ya pas de supplément pour les matériaux inoxydables ou si les parois sont protégées d'une manière efficace contre la corrosion .

- ν_B : coefficient de sécurité

= 3,2 pour l'eau et les autres liquides à une température inférieure à 120°C

= 3,6 pour les gaz à une température inférieure à 120°C

= 4 pour l'eau , les autres liquides et gaz , à une température supérieure à 120°C ; pour les vapeurs en général.

Pour les températures supérieure à 350°C , l'épaisseur calculée d'après la limite de viscosité du matériau doit correspondre à un coefficient de sécurité d'au moins 1,5 .

v=coefficient de qualité de soudure selon le tableau I-3-1

σ_B =résistance pour le calcul selon le tableau I-3-2

Tableau I-3-1

Execution de la soudure	Soudage d'un seul côté v	Soudage de deux côtés v	Soudage d'angle v
Par usine autorisée	0,45	0,75	0,55 à 0,5
Par soudeur agréé	0,60	0,85	0,60 à 0,55
Par soudeur agréé suivi d'un recuit	0,65	0,90	0,65 à 0,6
Par soudeur agréé suivi d'un recuit et d'un examen radiographique	---	0,95	---
Pour construction spéciales sous réserves de conditions) ---	1,00	---

Le choix du coefficient de qualité est basé sur le principe que le constructeur possède du personnel expérimenté , travaillant sous surveillance de personnes compétentes , et utilise une installation appropriée. Le coefficient de qualité de soudure peut être plus élevé dans les cas suivants:

- Soudeur spécialement qualifié
- Pièces entièrement recuites après soudage afin d'éliminer les tensions internes.
- Soudage pratiquement irréprochable : La preuve est faite par des examens

-Soudage pratiquement irréprochable : la preuve est faite par des examens aux ultra-sons sur la longueur totale des cordons de soudure, accompagnés d'examen radiographiques portant sur 10% de la longueur totale et à chaque point de croisement .

Tableau I-3-2

Tôles suivant Normes V.S.M et prescriptions de l'A.S.P.C	Résistance daN/mm ²		Limite de viscosité en daN/mm ²			
	de calcul		3500	4000	4500	5000
Tôles ordinaire	32		Non utilisables pour les températures supérieures à 120°C			
Tôle de construction	36					
Tôle MI	38	23à21	14,5	10,5	7,5	4,5
Tôle MII	42	26à24	15,5	11,5	8	5
Tôle MIII	44	28à26	16,5	12	8,5	5
Tôle MIV	47	29à27	18,5	13,5	9,5	5,5

Résistance des aciers pour enveloppes soudées

. Application numérique pour le calcul de l'épaisseur

Comme nous l'avons déjà vu , l'épaisseur est donnée par la formule suivante :

$$E = \frac{p \cdot d_i \cdot \sqrt{v_B}}{2 \sigma_B \cdot v} + \alpha$$

Compte-tenu des conditions de fonctionnement de notre réservoir de diamètre intérieur $d_i = 300 \text{ mm}$, on prend les valeurs suivantes :

$$p = 3 \text{ bars}$$

Extrait du tableau donnant les caractéristiques avec leurs longueurs maximales [m]. [10]

Epaisseur des tôles (mm)	Largeurs des tôles (mm)											
	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400	2500	2600
5	45	45	45	45	45	45	45	42	42	40	-	-
6	15	15	15	15	15	15	15	12	10	10	10	-
7	15	15	15	15	15	15	15	12	10	10	10	10
8	16	16	16	16	16	16	16	15	15	12	12	10
9	16	16	16	16	16	16	16	16	15	15	12	10
10	18	18	18	17	16	16	16	16	16	16	15	12
12	19	20	20	20	19	18	18	17	16	16	16	16
14	19	20	20	20	19	19	18	18	18	17	16	16
15	19	20	20	20	19	19	18	18	18	17	16	16
16	20	20	20	20	20	20	19	19	19	18	16	16
18	20	20	19	19	19	19	18	18	16	16	16	16
20	20	20	20	20	20	20	20	20	19	19	17	16
22	20	20	20	20	20	20	19	19	19	18	17	16
25	20	20	20	18	18	18	18	18	18	17	16	16
28	20	19	19	18	18	18	18	18	16	16	16	16
30	18	18	17	16	16	16	16	16	16	16	16	15
32	18	18	17	16	16	16	16	16	16	16	16	15
35	16	16	16	16	16	16	16	15	15	15	15	14
38	16	16	16	16	16	15	15	14	14	14	13	13
40	16	16	16	16	16	15	15	14	13	13	12	12

Dans notre étude, on choisit des tôles de dimensions 5x2400x10.000

$\sqrt{B} = 3,2$ pour eau et autres liques à une température inférieure à 120°C

$\sigma_B = 470 \text{ daN/cm}^2 = 470 \text{ N/cm}^2$ pour tôle de type MIV

$V = 0,85$ soudage de deux côtés par soudeur agréé.

$$e = \frac{0,3 \times 2000 \times 3,2^2}{2 \times 470 \times 0,85} + 1,5 = 5 \text{ mm}$$

On prend des tôles d'épaisseur normalisée $e=5\text{mm}$.

et dans notre étude ; on prendra des tôles de dimensions :

Tôles : $5 \times 2400 \times 10.000$ pour virèle cylindrique

Tôles : $5 \times 5000 \times 5000$ pour fonds bombés

II - Téchnologie d'exécution

II-1 Choix du métal de base :

En construction métallique, on utilise généralement de l'acier qui contient essentiellement du fer, du carbone jusqu'à 1,2% ainsi que d'autres éléments d'addition en proportions variables dont l'addition est susceptible de donner des modifications aux propriétés de base.

On utilise deux sortes d'acier :

- L'acier obtenu par fusion au convertisseur thomas ne nécessite beaucoup de précautions lors du soudage.
- L'acier obtenu au four Martin ou au four électrique est un acier haute qualité, convient mieux pour les travaux de soudage mais il est très coûteux.

Dans le cas des réservoirs destinés à contenir des produits pétroliers et certains produits chimiques faiblement acides, des aciers faiblement alliés au chrome conviennent le mieux.

Dans des constructions pareilles et des conditions sus-citées généralement les aciers suivants sont utilisés :

- acier à 0,5% Cr : applications diverses
- Le même en nuance peu carburée, avec addition de 0,5% de Mn : pour les éléments de tuyauterie et d'appareils pour vapeur surchauffée

- Acier à 1%Cr avec addition de V, M_n, M_n ou M_n-M_o : Aciers de construction propres au soudage et à résistance élevée, pièces de forges importantes.
- Acier à 2% Cr et 1% AL: Acier de construction, présentant une certaine résistance à la corrosion en milieu neutre .
- Acier à 3-4% Cr avec ou sans additions diverses :
Industrie du pétrole et de synthèse et présentant une bonnerésistance à la corrosion .

De la norme française NF A 36-206 concernant des tôles pour chaudières et appareils de pression , on retient les aciers alliés suivants :

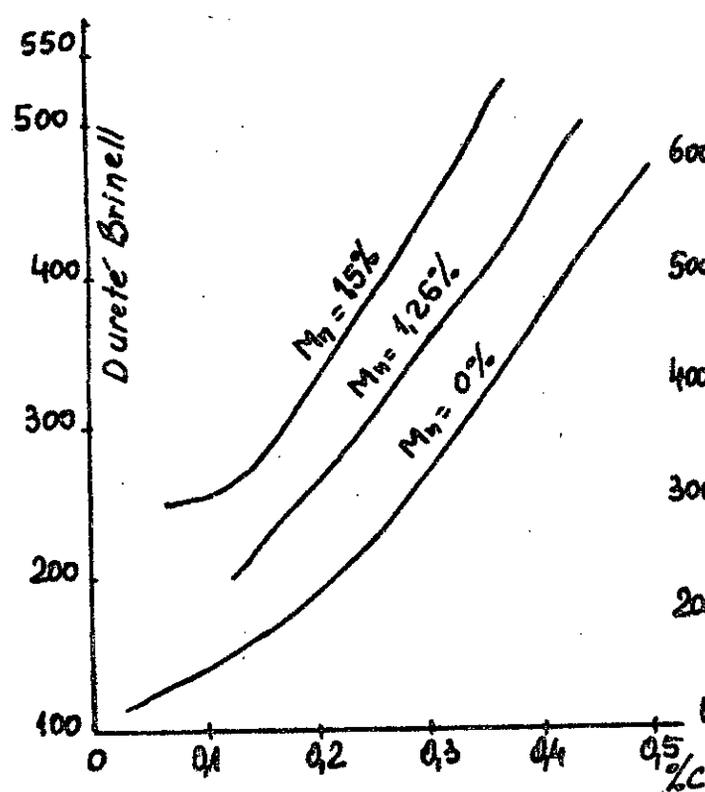
Composition Chimique en %									
N°	Nuances	C _{max}	Si	M _n	P _{max}	S _{max}	Cr	M _o	V
1	15 D 3	0,18	0,15-0,30	0,5-0,8	0,035	0,030	0,30	0,25- 0,35	0,04
2	18MD 4.05	0,20	0,15-0,35	0,9-1,4	0,030	0,030	0,30	0,4- 0,6	0,04
3	15MDV 4.05	0,18	0,15-0,35	0,9-1,4	0,030	0,030	0,30	0,4- 0,6	0,04- 0,08
4	15CD 2.05	0,28	0,15-0,30	0,5-0,9	0,030	0,030	0,4- 0,6	0,4- 0,6	0,04
5	15CD 4.05	0,18	0,15-0,35	0,4-0,8	0,030	0,030	0,8- 1,20	0,4- 0,6	0,04
6	10CD 9.10	0,15	0,15-0,35	0,4-0,8	0,030	0,030	2-2,5	0,9- 1,10	0,04

		CARACTERISTIQUES MECANIQUES				
N°	Nuances	R Kgf/mm ²	E Kgf/mm ²		Resilience K eq daJ/cm ² à 20°C.	
			e < 60 mm	e < 30 mm		30 < e < 60 mm
1	15D 3	44-54	27	25	23	6
2	18 MD 4.05	52-62	35	21	20	6
3	15MDV4.05	52-62	35	21	20	6
4	15CD2.05	48-56	28	25	23	6
5	15CD4005	48-58	30	23	22	6
6	10CD9.10	52-62	30	22	21	6

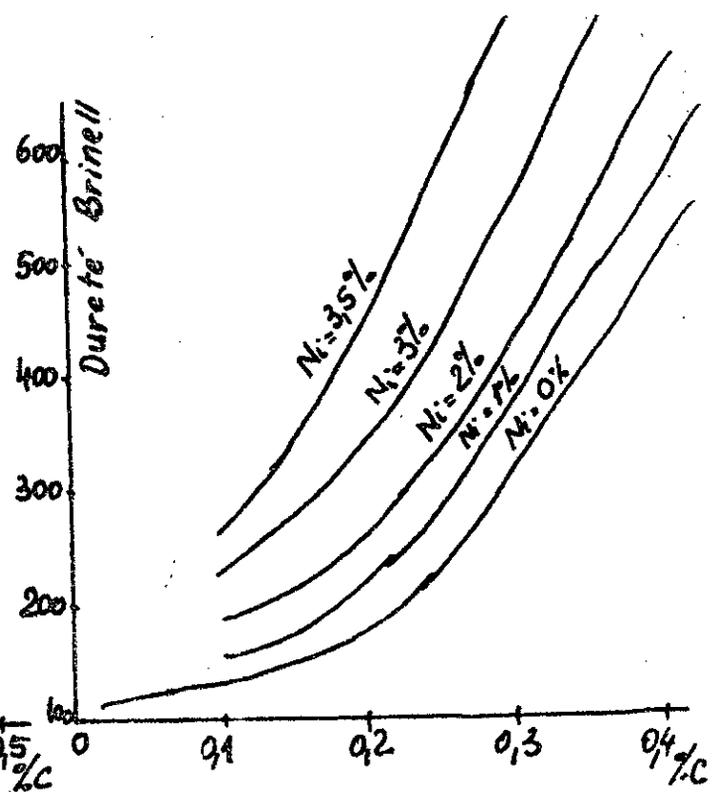
II-1-1 Influence des principaux éléments d'addition sur les propriétés de l'acier:

- . Le carbone reste toujours l'élément de base fixant l'aptitude au soudage des aciers . Le soudage des pièces de forte épaisseur ou dont la teneur en carbone est élevée sera effectuée avec préchauffage ce qui permettra de réduire sensiblement la dureté sous cordon et d'écartier le risque de fissuration . Cette opération n'est en général pas nécessaire lorsque la teneur en carbone est inférieure à 0,25%.
- . Le manganèse est élément gammagène qui favorise la trempe de l'acier, C'est pourquoi, bien qu'il ait une action désoxydante importante et une action nécessaire pour l'élimination du soufre , il est recommandé de limiter sa teneur à des valeurs de l'ordre de 1,5%_p pour l'emploi d'un acier sans précautions particulières.
- . Le silicium est élément alphagène, désoxydant de l'acier comme le manganèse. En tant qu'élément d'alliage, il rend le métal sensible à la fissuration; On limite donc sa teneur en général à 0,5%.

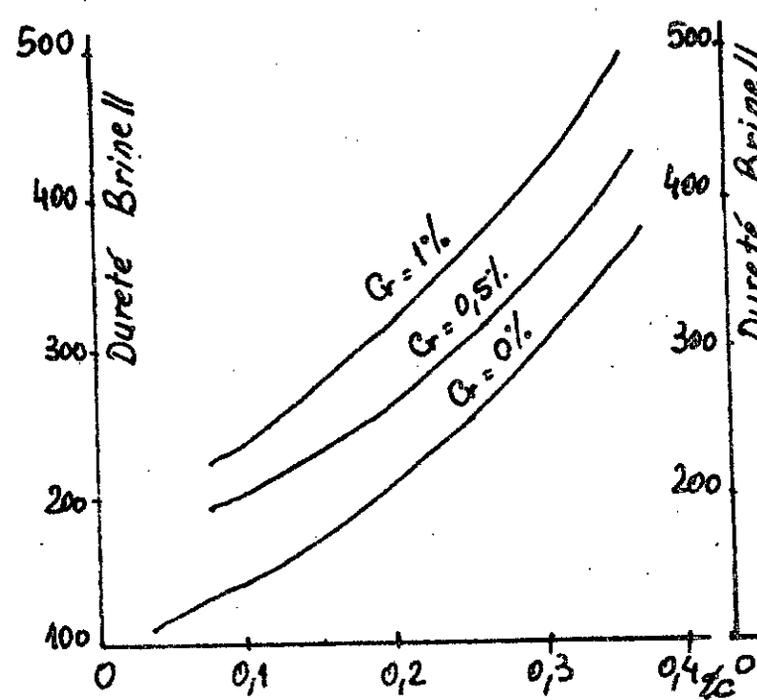
Influence des principaux éléments d'addition sur les propriétés de l'acier



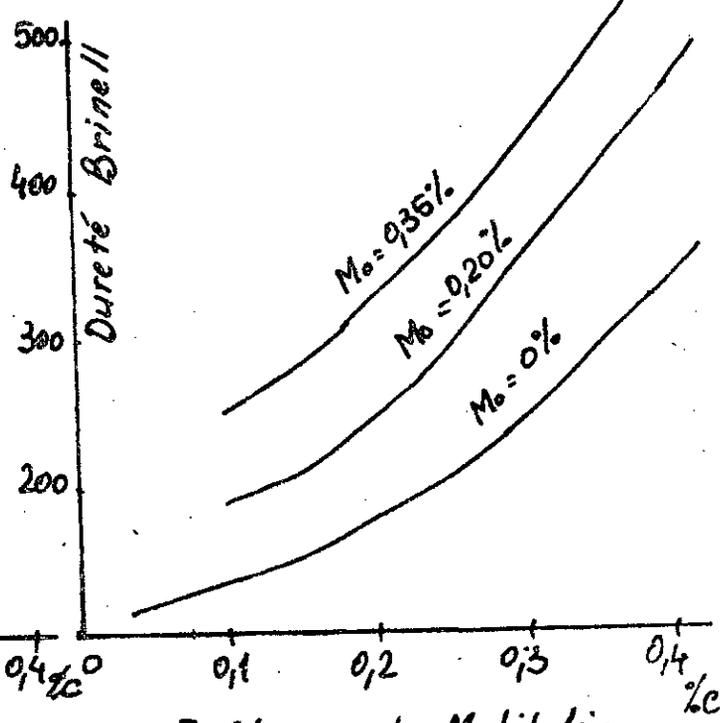
Influence du Manganèse



Influence du Nickel



Influence du Chrome



Influence du Molybdène

. Le chrome est en général associé à d'autres éléments, nickel, Molybdène, dans les aciers faiblement alliés de construction.

L'élimination de l'oxyde de chrome étant facilitée par le laitier basique, les éléments à bases en acier au chrome doivent être de préférence de type basique .

. Le molybdène augmente le pouvoir trempant de l'acier, sa teneur est en général limitée 0,25+0,35%. Pour les aciers chargés en carbone, le molybdène même à faible concentration confère aux aciers une résistance plus grande à chaud et à cet égard, il présente un très grand intérêt comme élément d'addition dans les aciers faiblement alliés .

Influence des impuretés :

. Le soufre: Lors du réchauffage dû à l'opération de soudage, on observe pour les aciers chargés en soufre la formation d'un eutectique fer/sulfure de fer sous forme d'un film entre les grains .

Il en résulte une plus grande fragilité à chaud et la possibilité de fissuration, fonction d'ailleurs du degré de bridage ainsi que de la teneur en éléments favorisant la trempe.

. Le phosphore: Il agit en augmentant la fragilité par formation de phosphure de fer Fe_3P , ce dernier favorisant en plus l'augmentation de grosseur de grain du métal fondu.

La teneur en phosphore est limitée à 0,05% pour les aciers de construction soudés .

D'après la norme française NF A 36-296, l'acier faiblement allié 15CP 4.05 ne nécessite pas de grandes précautions lors du soudage. Cet acier a la composition chimique suivante :

0,35% de Carbone .

1% de Chrome

0,5% de molybdène

Influence des éléments d'addition sur les propriétés des aciers

[2]

Éléments	Contrainte de Rupture σ_R	Contrainte de limite élastique σ_e	Allongement pour cent A%	Dureté H	Résilience K	Résistance à la fatigue	Soudabilité	Résistance à la corrosion
Carbone	++	+	=	++	-	+	-	0
Manganèse	+	+	-	+	-	0	0	+
Silicium	+	+	-	+	=	0	-	+
Nickel	+	+	0	+	+	0	+	+
Chrome	+	+	0	+	+	0	+	+
Cuivre	0	0	0	0	0	0	0	++
Niobium	++	++	-	+	0	+	+	0
Vanadium	+	+	-	+	0	++	+	+
Molibdène	+	+	-	+	0	++	+	+
Bore	++	++	-	+	-	+	+	0
Titane	+	+	0	+	-	0	+	0
Aluminium	0	0	0	0	-	0	0	0
Soufre	-	-	0	-	-	0	=	0
Phosphore	+	+	=	+	=	0	-	0
Azote	+	+	=	++	=	-	-	0
Oxygène	=	=	=	+	=	=	=	-

- + : augmentation des propriétés
 ++ : forte augmentation des propriétés
 - : Diminution des propriétés
 = : forte diminution des propriétés
 0 : Neutre

0,15% de silicium

0,4% de Manganèse

Des traces de cuivre .

et les caractéristiques mécanique :

$R = 50 \text{ kgf /mm}^2$ Résistance à la rupture

$E = 30 \text{ kgf /mm}^2$ Module d'élasticité

$K = 6 \text{ HgI /mm}^2$ Résilience

$A\% = 23$ Allongement pour cent

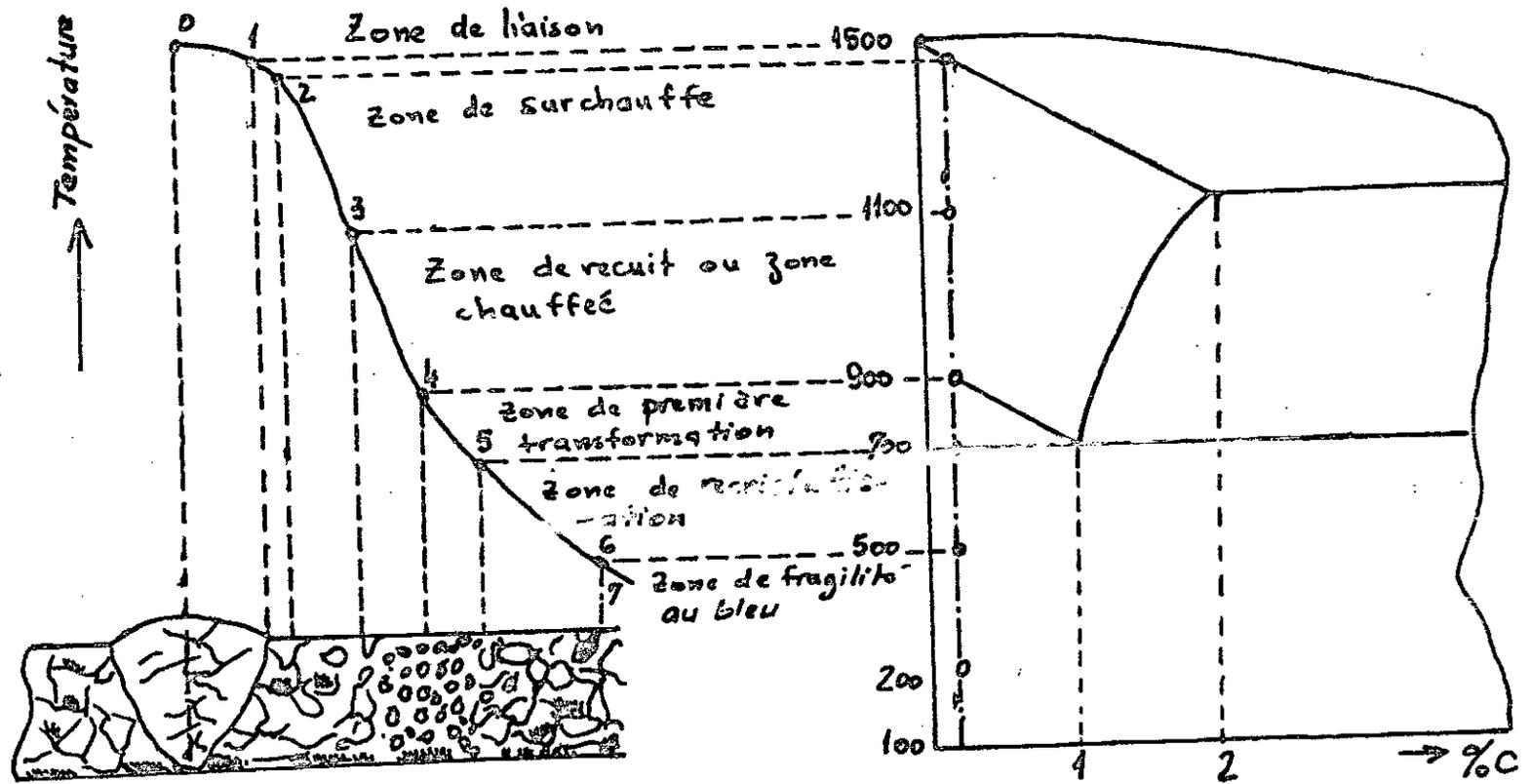
II-1-2 Etude métallurgique

Les températures atteintes dans les diverses zones de transformation sont accompagnées de vitesses de refroidissement beaucoup plus grandes conduisant à des trempes plus énergiques.

Pratiquement, les diverses zones se trouvent groupées dans un volume très faible, établies sur 4 à 5 mm du bord du chanfrein; quelle que soit l'épaisseur des tôles . La structure de la soudure après solidification et la température au cours du soudage d'un acier est représentée sur la figure 4. Le métal rechargé (secteur 0-1 de la courbe) est voisin de la zone de liaison (1-2). Dans la zone de liaison, on observe la transition de la structure du métal rechargé à la structure du métal de base. Cette zone est le siège d'une fusion incomplète du métal qui formait, pendant un certain temps, un mélange de phases liquide et solide .

La zone de liaison voisine avec le secteur 2-3, où le métal est très chauffé, ce qui conditionne le grossissement des grains et la formation d'une structure aciculaire . C'est la partie de la soudure la plus fragile et par conséquent, l'endroit le plus vulnérable de l'assemblage .

Dans le secteur 3-4, la température du métal est inférieure à 1100°C on assiste ici à la normalisation de l'acier accompagnée par la formation d'une structure fine . Ceci s'explique par le fait que la température de



15

fig 4 - Transformation de l'acier dans la zone réchauffée

chauffe de courte durée n'est pas beaucoup plus élevée que celle du point de Ac_3 . Dans cette zone le métal possède des propriétés mécanique plus élevées par rapport à celles du métal de base qui n'a pas subi l'action de l'échauffement.

La zone 4-5 est siège de la première transformation qui est caractérisée par une recristallisation incomplète de l'acier.

Dans la zone 5-6, il ne se produit pas de transformation de structure du métal de base, si celui-ci n'a pas subi avant le soudage des déformations plastiques.

Dans le secteur 6-7 qui s'appelle zone de fragilité au bleu, la structure du métal est la même que celle du métal de base.

Les transformations de structure qui se produisent dans la zone de surchauffe influent peu sur les propriétés mécaniques de l'acier, quelque soit le procédé de soudage. Mais pour certaines nuances des aciers ~~les~~ structure de construction, la zone de surchauffe peut être le siège où se forment les structures de trempe qui réduisent sensiblement les propriétés plastiques des soudures et provoquent souvent la fissuration.

II-1-3 Soudabilité

La soudabilité est l'aptitude de former de bons assemblages rigides (soudés) avec des propriétés indiquées d'avance. La soudabilité des métaux et alliages dépend surtout de leurs propriétés physiques et chimiques et du procédé de soudage choisi.

La propriété complexe des métaux et alliages, appelée soudabilité, se rattache aux trois aspects principaux suivants :

Soudabilité opératoire :

Par ce fait, on cherche à définir le comportement du métal à la fusion, et la possibilité de réaliser l'assemblage avec ou sans artifices opératoires. Emploi d'un flux décapant, préchauffage, assemblages hétérogènes...

Soudabilité métallurgique :

On veut mettre en évidence les transformations physico-chimiques du métal de base sous l'effet du cycle thermique de soudage .

. Soudabilité Constructive :

On l'appelle aussi soudabilité globale et on cherche ici à mettre en évidence, soit la sensibilité de la soudure à la fissuration, soit la sensibilité à l'effet d'entaille. Cette soudabilité peut revêtir différentes formes, suivant l'épaisseur et la nature de l'acier .

Au moment de la solidification d'une soudure exécutée par fusion, les phénomènes métallurgiques acquièrent une importance capitale .

L'échauffement rapide jusqu'à la fusion du métal formant la soudure le chauffage du métal de la zone de surchauffe, ainsi que leur refroidissement provoquent au sein du métal des transformations de structure .

Lorsque la teneur en carbone dépasse 0,20%, la soudabilité de l'acier diminue rapidement .

Pour s'assurer que notre acier est très bien soudable, on applique la formule (8) donnant la limite d'une bonne soudabilité sans précautions spéciales en fonction de la teneur des différents constituants de l'acier en affectant chacune de ces teneurs d'un coefficient de minoration destiné à donner une équivalence de soudabilité par rapport au carbone .

Cette formule est empirique. Elle est tirée à partir d'expériences .

$$(8) \quad [C] = C + \frac{Mn}{9} + \frac{Cr}{9} + \frac{Ni}{18} + \frac{7Mo}{90} \quad [3]$$

[C] = carbone équivalent

M_n : teneur en manganèse en %

C_r : teneur en chrome en %

N_i : teneur Nickel en %

M_o : teneur en molybdène en %

$$[C]_e = [C] \cdot (1 + 0,05e)$$

e = épaisseur du métal à souder e en [cm]

[C]_e = Carbone équivalent total

L'acier est réputé soudable sans précautions spéciales si on a :

$$[C]_e \leq 0,40$$

L'utilisation d'un préchauffage est nécessaire si on a :

$$[C]_e > 0,40$$

Quand ~~on~~ il est nécessaire de pratiquer un préchauffage, on utilise la formule approximative suivante :

$$T_{pr} = 350 \sqrt{[C]_e - 0,25} \quad [3]$$

avec : T_{pr} : température de préchauffage

APPLICATION NUMÉRIQUE A NOTRE CAS :

On ^a pris l'acier 15CD 4.05 de composition chimique :

0,15% de carbone

1% de chrome

0,5% de niobène

0,15% de silicium

0,4% de manganèse

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

$$[C] = 0,15 + \frac{0,4}{9} + \frac{1}{9} + \frac{7 \cdot 0,5}{90} = 0,35$$

$$[C]_e = [C] \cdot (1 + 0,05 \cdot e) \quad \text{avec } e = 5\text{mm} = 0,5\text{cm}$$

$$[C]_e = 0,34 \cdot (1 + 0,05 \cdot 0,5) = 0,35$$

$$[C]_e < 0,40$$

D'après le résultat ci-dessus, on voit que le préchauffage n'est pas nécessaire.

II-1-4 Contrôle du métal de base :

Les aciers laminés doivent normalement faire l'objet d'un contrôle avant leur utilisation. Par cela, la détermination de la composition chimique de la structure physique (finesse et homogénéité du grain) et les essais de qualification sont nécessaires. Au cours de l'élaboration, lorsqu

de la structure physique (finesse et homogénéité du grain) et les essais de qualification sont nécessaires. Au cours de l'élaboration, lorsque la solidification se produit, des diverses sortes d'impuretés peuvent rester incluses dans le métal qui sera distribué aux constructeurs. Lequel métal pourra présenter certains défauts qui sont:

- L'écrouissage: C'est-à-dire un durcissement local du métal quand celui-ci n'a pas eu le chauffage nécessaire pendant le laminage.

- Les doublures: Feuillage du métal par les retassures qui se forment parfois dans la tête du lingot lors du refroidissement de celui-ci.

Les segregations: Concentrations d'impuretés qui prennent naissance dans la partie centrale et qui se trouvent, lorsque le laminage est terminé dans certaines zones des sections des profilés.

Dans notre étude, on suppose que le constructeur du métal de base a tenu compte de toutes ces caractéristiques et qu'il nous a fourni un bon produit défini par nos exigences.

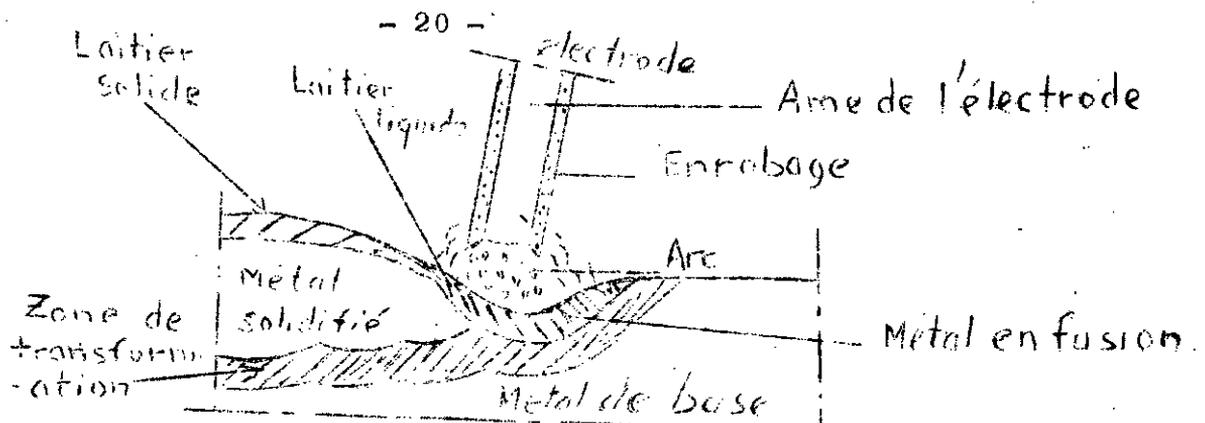
II-2 CHOIX DU PROCÉDE DE SOUDAGE:

Le soudage est une opération qui consiste à souder deux pièces métallique pour les rendre solidaires l'une à l'autre en les rapprochant et en réchauffant l'endroit de leur contact jusqu'à la fusion ou jusqu'à l'état ~~très~~ plastique.

Alors la zone de soudage est le siège de l'interprétation des atomes des deux métaux et de la formation après refroidissement d'un assemblage rigide.

II-2-1 Soudage manuel à l'arc:

Dans ce procédé, un arc est établi entre une électrode et la pièce à souder. L'électrode constituée par une âme métallique, généralement de forme cylindrique et d'un revêtement appelé enrobage qu'on verra un peu plus loin, joue le rôle à la fois de conducteur de l'énergie électrique et de métal d'apport. Ces électrodes ont une longueur de 450mm et des diamètres allant de 1,2 à 10 mm.



Principe de soudage avec électrode enrobée

Lors de la fusion de l'électrode, l'enrobage fond pour donner un laitier venant protéger le métal fondu, comme les laitiers métallurgiques. De plus l'enrobage doit favoriser l'amorçage et la stabilité de l'arc; par ses réactions métallurgiques, il doit jouer à la fois le rôle d'agent de désoxydation et d'apporteur d'éléments utilisés dans la zone fondue.

Les électrodes jouent un rôle important dans le soudage à l'arc.

II.2-1-1. Choix du courant :

Pour le soudage à l'arc, on peut utiliser le courant alternatif ou le courant continu, et dans ce dernier cas, l'électrode peut constituer le pôle positif ou négatif.

L'avantage du courant continu est la stabilité de l'arc et la possibilité d'utiliser les polarités directes et inverses pour le contrôle de la température de l'échauffement.

L'arc disperse les oxydes et autres pellicules réfractaires situées sur son pôle négatif, ce qui constitue une propriété fondamentale, particulièrement pour le soudage sous gaz des métaux à oxydes réfractaires.

Quand on veut bénéficier de cet effet, on soude avec l'électrode au pôle positif en courant continu et on obtient ainsi un bain de soudage propre et un joint sans défauts. En courant alternatif, cet effet a lieu de façon intermittente pendant la moitié du cycle où la pièce se trouve au pôle négatif; Toutefois malgré les avantages que présente

le soudage en courant continu, on préfère tout ~~les avantages~~ de même utiliser le courant alternatif. Ceci s'explique par le fait que l'appareillage de soudage au courant alternatif est beaucoup plus léger, moins encombrant et moins onéreux. En outre son entretien et son exploitation sont rendus plus simple grâce à l'absence de parties ^{mobles} - Les rendements des transformateurs de soudage à courant alternatif est 0,8-0,85; alors celui à courant continu est 0,3 à 0,6 .

Avec l'adoption des électrodes enrobées, on peut utiliser de nos jours les 2 types de courant bien que certaines préférences existent encore .

II-1-2 Choix du matériau de soudage:

Les fils d'acier nus n'étant plus utilisés, on choisit cependant les électrodes enrobées.

1- L'enrobage:

Le fil nu ou âme de l'électrode est revêtu d'un enrobage de composition chimique très variable suivant les caractéristiques exigées du métal déposé et des conditions de la soudure.

1-1 Role de l'enrobage:

L'enrobage des électrodes employées actuellement est un mélange de matière minérales et organiques, telles que la chaux, la silice, la cellulose etc... additionnées de ferro-alliages, le tout étant mélangé à l'aide de liant (Silicate de soude ou de potasse).

L'enrobage joue un quadruple rôle:

a)- Rôle électrique:

Pour faire jaillir un arc, il est nécessaire d'ioniser l'atmosphère entre l'électrode et la pièce. Cette ionisation est facilitée par certains corps dégageant des vapeurs à basse température et ayant de ce fait un potentiel

d'ionisation assez bas .

La présence dans l'enrobage de sels de sodium, de potassium etc..., qui sont ionisants facilité la stabilité de l'arc .

b) Rôle physique :

L'enrobage, au cours de sa fusion, dégage des gaz (CO_2 et H_2O) qui facilitent le soudage en position. En effet, ces gaz servent de support aux gouttes de métal dans leur trajet de l'extrémité de l'électrode vers le bain de fusion. D'autre part, l'enrobage liquéfié au contact de l'arc se dépose sur le bain en formant un laitier quise solidifié/! les conditions de solidification du laitier inflent sur la forme extérieure du métal déposé .

c) Rôle métallurgique :

Il consiste à élaborer un métal de composition déterminée, il faut pour cela :

- Eviter l'action de l'air sur le métal en fusion .
- Compenser sous forme de métaux d'apport les corps qui pourraient être oxydés ou volatilisés .
- Apporter éventuellement des éléments spéciaux .

d) Rôle du rendement :

Certains enrobage contiennent de la poudre de fer pur; Ainsi le poids du métal déposé devient supérieur au poids de l'âme effectivement fondue .

Le rendement de l'électrode étant le poids du métal déposé en % du poids de baguette (âme) utilisé .

2 . Normalisation des électrodes

Les enrobages sont répartis en cinq classes d'après leur composition. Les électrodes les plus employés sont celles à encoçage basique, rutile ou acide.

2-1- Enrobage basique :

Les enrobages basiques sont à base de carbone de calcium et demagnésium $\text{CO}_3 \text{C}_a$ (Craie-marbre). Mais, comme les teneurs trop élevées en ce produit

CLASSIFICATION DES ENROBAGES [4]

N°	Type	a) Composition chimique globale	b) Affinité	c) Pouvoir	d) Comportement
1	Minerai de fer, sans ferro-alliages	Minérale	Faiblement basique	Oxydant	Fusible
2	Minerai de fer, avec ferro-alliages	Minérale	Acide	Neutre	fusible
3	Rutile	Minérale	Fortement Acide	Réducteur	Fusible
3a	Rutile-chaux	Minérale	Acide	Réducteur	Fusible
4	Cellulose	Semi-organique	Acide	Réducteur	Semi-Volatil
5	Chaux (basique)	Minérale	Fortement basique	Réducteur	Réfractaire
6	Poudre de fer	Semi-organique ou minérale	Variable	Réducteur	El. à apport de métal par l'enrobage (fus. ou semi-Vol)

CARACTERISTIQUES D'UTILISATION DES DIFFERENTES
CLASSES D'ENROBAGE [4]

N°	Type	a) Nature du courant	b) positions	c) intensités pour diamètre					d) Arc	
				2,5	3,25	4	5	6		
1	Minerai de fer sans ferro- alliages	=	P	Min	60	100	135	175	225	T. facile
		±		~	Max	90	140	175	220	270
2	Minerai de fer avec ferro- alliages	=	P(H, Y _m)	Min	-	100	120	180	225	T. facile
		±		~	Max	-	140	180	270	360
3	Rutile	=	P H, V, O pour φ < 5mm	Min	40	80	120	150	190	T. facile
		±		~	Max	90	130	180	260	350
3a	Rutile-chaux	=	P, H, V, O	Min	40	70	120	150	185	T. facile
		±		~	Max	90	120	170	250	275
4	Cellulose	=	P, H, V, O	Min	30	80	120	150	185	Assez- facile
		±		~ > 95V	Max	85	120	160	250	
5	chaux (Basique)	=	P, H, V, O	Min	65	100	140	200	240	moins facile
		+		~ > 95V	Max	90	140	180	250	
6	Poudre de fer	=	P, H, V, O	Min	80	140	180	240	280	T. facile
		-		~ > 70V	Max	120	165	220	290	375
	semi- volatil	=	P	Min	-	-	190	250	335	T. facile
		-		~	Max	-	-	270	350	450

Abbréviation:

= : courant continu

+ : Electrode au pôle positif

- : Electrode au pôle Négatif

± : Electrode au pôle positif ou négatif

~ : Courant Alternatif

CHARACTERISTIQUES D'UTILISATION DES DIFFERENTES CLASSES
D'ELECTRODES (SUITE) [4]

N°	Type	e) Laitier	f) Penét.	g) Forme Cordon	h) Aspect Cordon	i) Fumées	j) Qualité rayons X
1	Minerai de fer sans Ferro-alliages	Abondant, lourd, se détachant seul	faible	Concave	Très Lisse	Faibles	Médiocre
2	Minerai de fer avec ferro-alliages	Abondant, boursoufflé, facile à enlever	Fort	Concave	Très lisse	Moyennes inoffensives	Excellente
3	Rutile	Moyen, lourd assez visqueux facile à enlever	Moyenne	Convexe	Lisse	Assez faibles	Médiocre
3a	Rutile-chaux	Fluide, Moyennement lourd, facile à enlever	Moyenne	Convexe	Lisse	Assez faibles	Assez bonne
4	Cellulose	Mince, Léger, se figeant rapidement	Fort	Plat à convexe	Rugueux	Abondants inoffensives	Excellente
5	chaux (basique)	Moyen, brun brillant, peu couvrant	Fort	Plat à convexe	Assez Lisse	Moyennes Nocives	Bonne
	Poudre de fer	Semi-volatil	Moyen, facile à enlever	Très forte	Plat	Assez Lisse	Abondants Bonne
		fusible	Abondant, facile à enlever	Très Forte	Plat	Assez Lisse	Moyennes Bonne

Abréviation:

P = Soudage à plat

H = Soudage de cordons d'angle horizontaux

V = Soudage Vertical

Vm = Soudage Vertical en montant

Vd = Soudage Vertical en descendant

O = Soudage au plafond

rendraient le laitier exagérément refractaire, on est amené à ajouter à l'enrobage du fluore de calcium C_aF_2 (spath fluor). C'est le principal point faible des enrobages basiques, car les vapeurs dégagées par ce produit sont irritantes et même toxiques. De grandes précautions doivent donc être prises lorsqu'on est amené à utiliser des électrodes à enrobage basique dans les espaces confinés .

Un autre inconvénient de ces électrodes réside dans la facilité moindre du maintien de l'arc, dû à la faible proportion de produits ionisants comme le rutile. La manipulation de ces électrodes exige donc des soudeurs très qualifiés .

D'autre part, leur emploi requiert de préférence le courant continu (électrode au pôle positif), bien que certaines marques fonctionnent aussi en courant alternatif si la tension d'amorçage est au moins égales à 95 V .

Cet enrobage permet d'obtenir des caractéristiques mécaniques très élevées Résistance, allongement, Résilience - du faite de la structure très fine du métal obtenu. De plus; il donne le minimum d'hydrogène dissous.

L'emploi de ces électrodes est très employé dans la réalisation des ensembles fortement sollicités : charpente navale, réservoirs sous pression et les ouvrages d'art ...

2-2 . Enrobage Rutile :

Cet enrobage contient des oxydes qui sont, soit l'élémentité ($50\%Ti_2O_3$, ~~50% Ti_2O_3~~ $50\%Fe_2O_3$), soit le rutile ($95\%Ti_2O_3$) .

L'oxyde de titane intervient tout d'abord comme élément d'élaboration du laitier qui est un titane complexe de fer et de manganèse et aussi comme élément stabilisateur de l'arc .

Les électrodes à enrobage rutile donnent des cordons plats et déposent un métal de bonnes caractéristiques mécaniques; Elles sont utilisées en courant alternatif ou en courant continu avec la polarité normale.

2-3 . Enrobage Acide :

Cet enrobage est constitué principalement d'oxydes de fer (Fe_3O_4 ; Fe_2O_3), de silicium et de manganèse .

Les laitiers obtenus sont des verres ou des silicates dont la composition reflète celle de l'enrobage, silicates de fer ou silicates de fer et de manganèse .

Cet enrobage donne un arc stable fonctionnant en alternatif qu'en continu (polarité normale), même à faible tension d'amorçage .

Les électrodes les moins utilisés sont électrodes à :

2-4 . Enrobage Oxydant :

Il est à base d'oxyde de fer et de silicate. Le métal fondu conserve malheureusement une grande quantité d'oxydes et de nitrures donnant ainsi de très faibles caractéristiques mécaniques . Le dépôt obtenu possède un très bel aspect, notamment en soudage d'angle .

2-5 . Enrobage Cellulosique :

Il est constitué principalement de cellulose ($C_6H_{10}O_5$) qui donne en se décomposant un mélange de gaz réducteurs, principalement l'hydrogène qui nuit à la qualité de la soudure .

Exemple de désignation d'une électrode enrobée d'après NF A 81-309

E	3	5	5	B	1	0
---	---	---	---	---	---	---

E : électrode enrobée

3 : Résistance à la traction minimale = 48 Kgf/cm^2

5 : Allongement minimal = 30 %

5 : Résilience minimale = 12;74 daI/cm^2

B : Enrobage basique

1 : Position de soudage : Toutes positions

0 : Courant de soudage (+)

- Choix de l'électrode dans notre cas :

Notre construction étant soumise à une certaine pression intérieure on est amenée à choisir l'électrode à enrobage basique parce que celle-ci convient bien pour les aciers faiblement alliés et pour des pièces devant présenter une certaine sécurité et une bonne rigidité . Vu l'importance de la grandeur des dimensions de nos réservoirs, et vu la faible vitesse de soudage manuel, on est amené à choisir un soudage automatique.

II-2-2 . Soudage automatique sous flux solide

Ce procédé de soudage se présente sous les formes suivantes :

- Soudage avec fil électrode toronné et imprégné de flux
- Soudage avec fil fourré .
- Soudage avec flux magnétique sous protection gazeuse
- Soudage à l'arc avec électrode en carbone .
- Soudage automatique sous flux .

II-2-2-1. Soudage avec fil électrode toronné et imprégné de flux

Il convient pour le soudage des joints longitudinaux et pour des soudures d'angle, en construction navale notamment. Il convient bien pour de telles applications en raison de ses caractéristiques ~~à~~ à arc visible et du fait qu'il s'accommode de conditions atmosphériques et de surfaces de tôles médiocres .

Dans le cas de soudage avec fil toronné, l'intensité est limitée par les risques d'échauffement excessif et de rupture du fil spiral. Aussi l'enrobage doit résister à l'enroulage et au déroulage ainsi qu'à toutes les manipulations. Son épaisseur se trouve limitée par la difficulté d'introduire le courant au fil central .

II-2-2-2. Soudage avec fil fourré :

La protection de son flux n'étant pas suffisante, on doit généralement utiliser ce procédé de soudage avec protection gazeuse supplémentaire .

TABLE DE SYMBOLISATION DES ELECTRODES ENROBÉES POUR
ACIERS FAIBLEMENT ALLIÉS D'APRÈS NFA 81-309 [5]

Symbole	Resistance à la traction minimale	Allongement minimal	Resilience minimale
	kgf/mm ²	%	caJ/cm ²
0	—	—	—
1	42	14	4,90
2	44	18	6,86
3	48	22	8,82
4	52	26	10,78
5	56	30	12,74
6	60	—	—

Position de Soudage	
Symbole	Position
1	Toutes positions
2	Toutes positions, excepté la position verticale, pour la méthode descendante
3	A plat, en gouttière en angle à plat
4	A plat En gouttière

[5]

TYPES D'ENROBAGE	
Symbole	ENROBAGE
O	OXYDANT
B	BASIQUE
R	RUTILE
A	ACIDE
C	CELLULOSIQUE
V	AUTRES

COURANT DE SOUDAGE		
Symbole	Courant Continu polarité recommandée	Courant Alternatif Tension à vide nominale en Volts
0	+	
1	non spécifique	50
2	-	50
3	+	50
4	non spécifique	70
5	-	70
6	+	70
7	non spécifique	90
8	-	90
9	+	90

NB Les Abréviations O, A, R, ... correspondent à la numérotation 1, 2, 3, comme suit: [4]

Pr le Soud.	1	2	3	3a	4	5	Aut. Types
I.S.O	O	A	R	T	C	B	V

II-2-2-3. Soudage avec flux magnétique sous protection gazeuse :

Ce procédé de soudage convient en général pour l'exécution de soudures des aciers doux à plat .

II-2-2-4. Soudage à l'arc avec électrode au carbone :

Ce soudage est très ancien, il est actuellement rarement utilisé

II-2-2-5. Soudage automatique sous flux :

Cette solution est la plus réussie, et la plus utilisée de nos jours. Ce procédé utilise un fil nu, le flux étant apporté sous forme de poudre qui recouvre complètement le bain de soudage et l'extrémité du fil électrode; il améliore, par rapport au soudage manuel, les propriétés mécaniques et la pureté du métal rechargé .

Un des principaux avantages du procédé est l'utilisation possible de fortes intensités puisque l'arc est complètement couvert, ce qui exclut les projections ou l'entraînement d'air; Tandis qu'avec un procédé à arc visible, on ne peut pas souder à plus de 300 A sans prendre de grandes précautions .

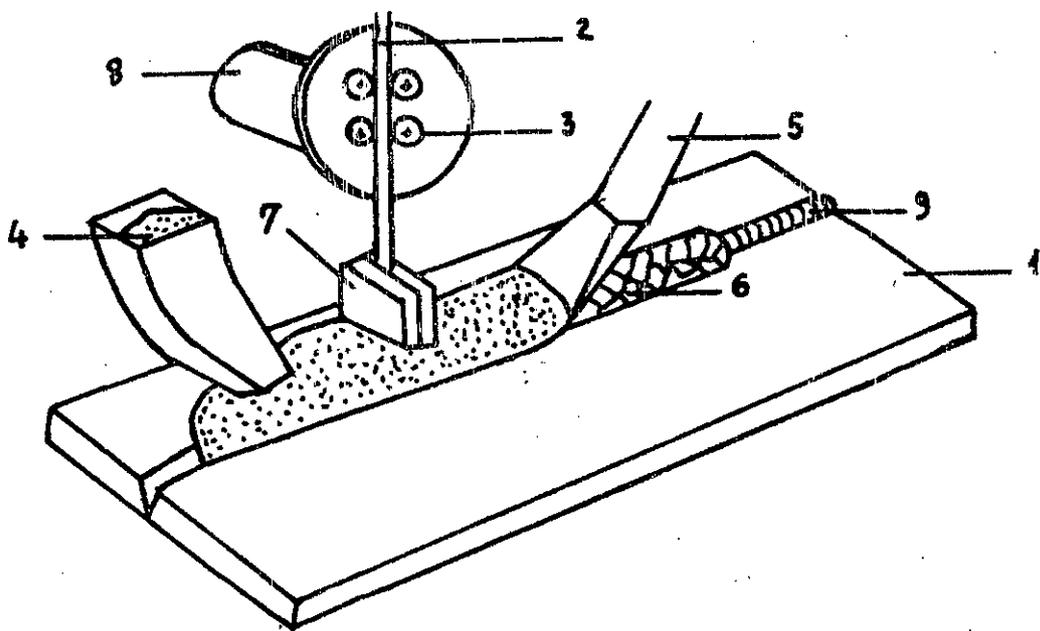
Le plus grand inconvénient de ce procédé c'est que l'opérateur ne peut pas observer le bain de soudage et juger comment se fait la fusion . Fort heureusement, cet inconvénient n'est pas aussi important qu'on croit puisque l'expérience a montré qu'il est beaucoup plus psychologique que pratique .

Les soudures sous flux sont particulièrement nettes et régulières du point de vue contour. Le flux non fondu pendant la soudage est après avoir été assuré qu'il n'est pas altéré .

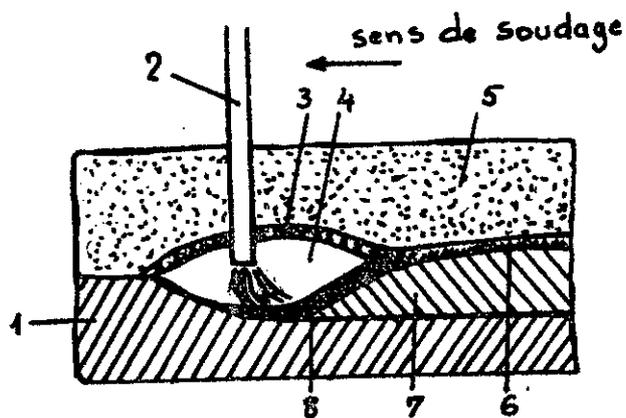
Les flux utilisés en soudage automatique ont une granulométrie contrôlée et peuvent être du type fondu, aggloméré ou fritté .

Le comportement du flux dépend à la fois de sa composition chimique et de sa granulométrie .

L'apport de silicium par le flux n° 20 (Voir tableau II.5) permet une action désoxydante importante pour empêcher la porosité mais conduit

SOUDAGE AUTOMATIQUE SOUS FLUX

1. Métal de base; 2. Electrode; 3. Galets d'entraînement; 4. Flux
 5. Aspiration de flux en excès; 6. Laitier; 7. Glissières d'amorçage de courant
 8. Moteur; 9. Cordon.

Formation du bain de fusion sous la couche de flux

1. métal de base; 2. fil d'électrode; 3- laitier fondu;
 4- Cavité remplie de gaz; 5- flux; 6- laitier solidifié
 7- métal rechargé; 8- métal liquide.

Tableau II.5 : Composition chimique de flux, de fil et de métal fondu en soudage automatique sous flux. [6]

Type de flux	50 %	80 %	70 %	20 %
Ca O -----	5	24	28	27
Ca F ₂ -----	5	5	—	—
Mg O -----	—	12	6,5	7,5
Si O ₂ -----	41	38	48	53
Al ₂ O ₃ -----	2,5	13	5	5
MnO -----	0,75	7,5	10	—
MnO ₂ -----	39	—	—	—
Métal fondu				
C -----	0,12	0,11	0,12	0,12
Mn -----	1,05	1,10	1,00	0,70
Si -----	0,25	0,30	0,37	0,40
Fil				
C -----	0,12			
Mn -----	1,80			
Si -----	0,15			

à une augmentation de la teneur en silicium de la soudure qui peut nuire aux propriétés mécaniques, et provoquer des fissures en soudage multipasses. Le flux N° 20 est le plus utilisé car il donne un laitier très fluide, et facilement détachable lorsqu'il est solidifié. On recommande . Son emploi pour des soudures de moins de trois passés .

Pour le soudage automatique sous flux, les pièces à souder doivent être nettoyées, ainsi le fil-électrode est utilisé en bobines généralement recouvert d'une pellicule de cuivre qui le protège contre la corrosion superficielle lors de son stockage et permet aussi un contact électrique facile pour l'arrivée du courant .

La composition chimique des fils de soudage automatique sous flux dépend du métal à souder, les éléments d'alliages étant en général contenus dans le fil, et non dans le flux comme dans le soudage à l'électrode enrobée .

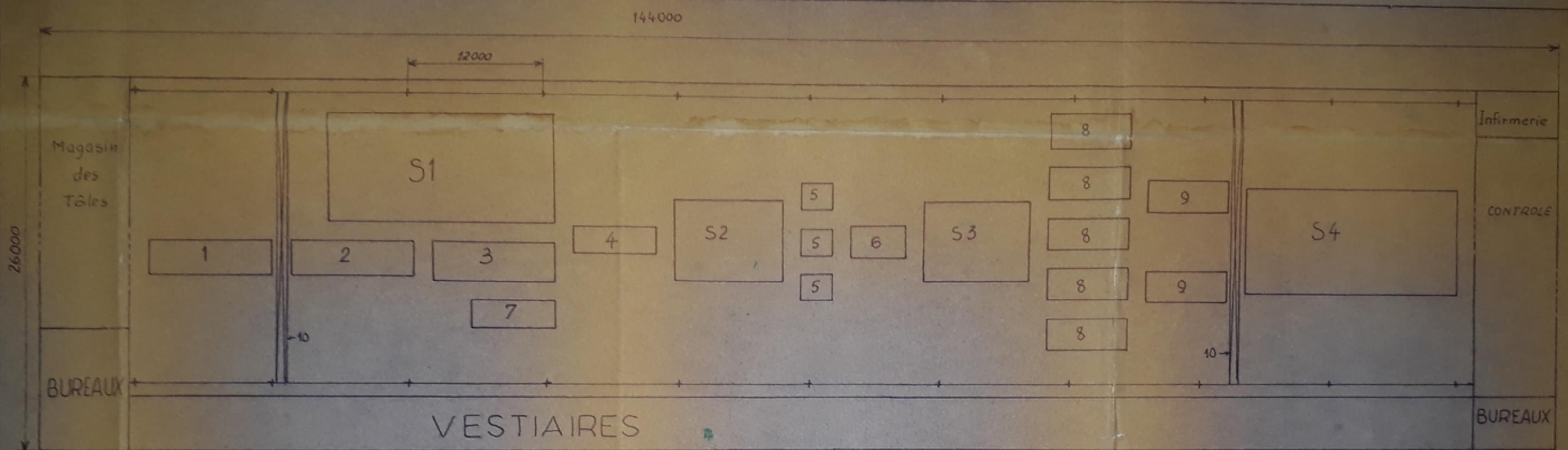
Le soudage automatique sous flux est surtout utilisé pour le soudage d'aciers doux ou faiblement alliés et dans une mesure moindre pour les alliages de cuivre, d'aluminium à l'aide flux. Spéciaux . [6]

II-2-2-6. Cycles thermiques de soudage :

Pendant que la source de chaleur (arc ou flamme) se déplace le long de ses bords à souder, le matériau environnant s'échauffe, atteint une température maximale puis se refroidit. La ^{Loi} suivant laquelle la température varie, en un point de la pièce en fonction du temps porte le nom de " CYCLE THERMIQUE DE SOUDAGE ."

Pour étudier expérimentalement un cycle thermique, on perce un trou à l'endroit voulu et on y introduit, convenablement isolée, l'extrémité sensible d'un thermocouple relié à un groupe amplificateur enregistreur . L'allure générale d'un cycle thermique est représentée sur la figure 1 (fig 1). On y distingue :

- une phase de réchauffage ;



المكتبة الوطنية للعلوم والتقنية
 المكتبة
 ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
 BIBLIOTHEQUE

PM004 BA / Avant p. 35

S4	1	Surface de stockage	
S3	1	Surface de stockage	
S2	1	Surface de stockage	
S1	1	Surface de stockage	

10	2	Ponts roulants	charge 5t
9	2	Postes de soudage	240 x 441 x 325
8	5	Postes de soudage	240 x 441 x 325
7	1	Machine d'exécution	7695 x 2350 x 2015
6	1	Soudeuse automatique	1200 x 830 x 1200
5	2	Postes de soudage	240 x 441 x 325
4	1	Machine à cintrer	7695 x 2350 x 2015
3	1	Poste de découpage UPR 301	1065 x 816 x 940
2	1	Table de traçage	
1	1	Machine à planer	nbre de cylindres 9
Rp	Nb	DE SIGNATION	OBSERVATIONS

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
 Echelle 1/240 Masse 
 Etudiant HARKAT 
 Promoteur BARDOKHINE 
 ATELIER DE FABRICATION DES RESERVOIRS
 U.S.T.H.B.
 Dép. MECANIQUE
 Dessin N° 01

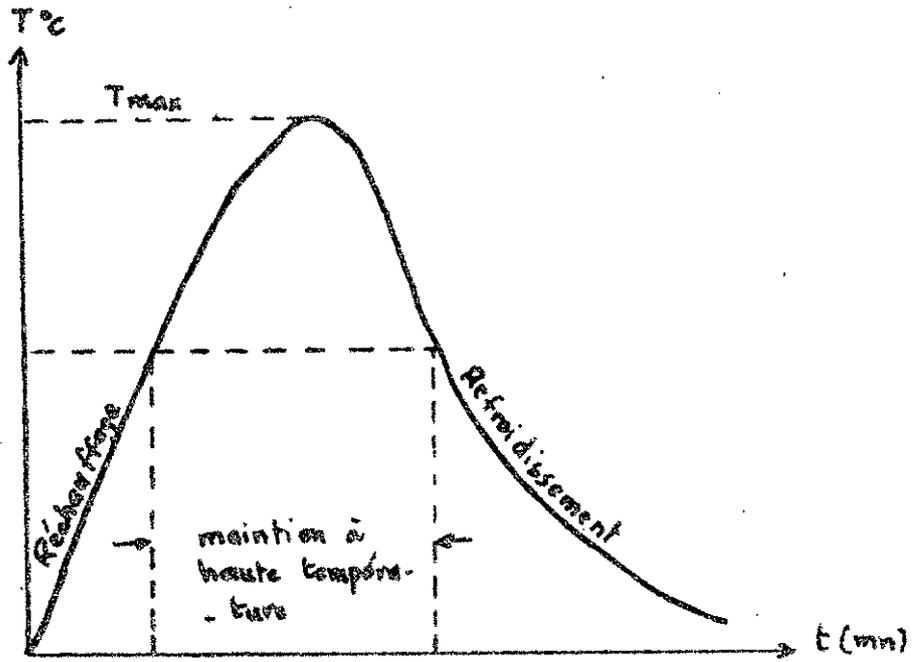


fig 1: Cycle thermique de soudage et ses différentes phases

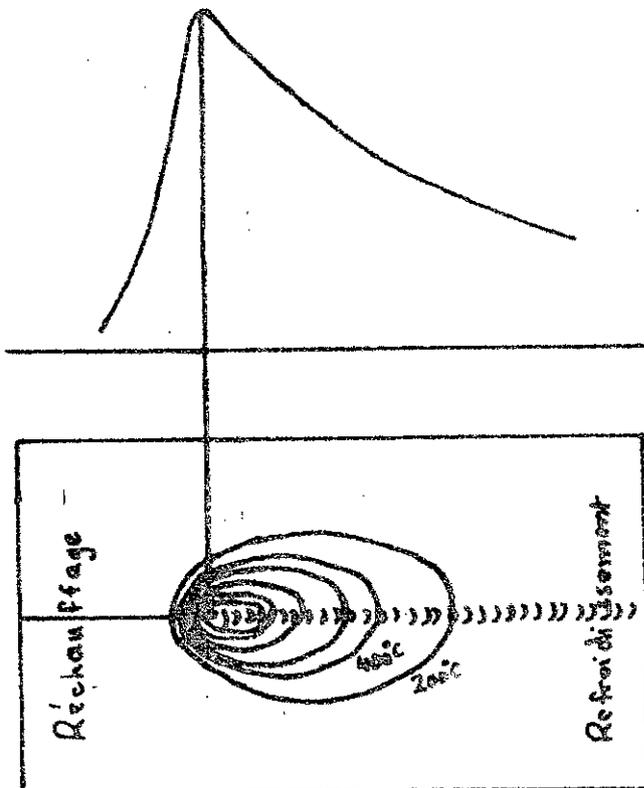


fig 2: Distribution de la température au cours du soudage

- un maximum de température atteinte ;
- Un temps de maintien à haute température .
- une phase de refroidissement .

Les cycles thermiques dépendent des variables suivantes :

- position et distance du point considéré par rapport à la ligne de soude
- procédé de soudage et ses paramètres ,
- épaisseur des pièces et types de joints ;
- température initiale de la pièce .

La distribution de la température aux différents points de la pièce à un instant donné (par exemple lorsque l'arc passe par A) est précisée par les isothermes de la figure 2 (fig 2)

II-3; Calcul du régime de soudage ~~et~~.

Du moment où on va pratiquer un soudage manuel et un soudage automatique, on donne ci-apès les paramètres de ces deux procédés :

II-3-1. Soudage manuel .

II-3-1-1. Choix du diamètre de l'électrode :

Le calcul nous a donné précédemment l'épaisseur e des tôles qu'on devrait utiliser pour l'élaboration de notre projet :

Cette épaisseur est égale à $e=5\text{mm}$.

Vu que l'épaisseur de la tôle est moyenne c'est-à-dire $0,5 \ll e \ll 5\text{mm}$, un soudage bout ~~xxxxxxx~~ ~~xx~~ à bout conviendrait parfaitement .

Il faudrait cependant laisser un petit écart entre les tôles à souder dans le but d'assurer la pénétration du métal d'apport .

Pour les soudures bout à bout; le choix du diamètre de l'électrode dépend essentiellement de l'épaisseur des tôles à souder comme c'est donné

dans le tableau suivant :

Epaisseur des Eléments (mm) e	1,5-2	4-8	9-12	13-15	16-20	20
Diamètre de l'électrode d_e (mm)	1,5-2	4	4-5	5	5-6	6-10

Comme $e=5\text{mm}$, on tire $d_e = 4\text{mm}$

Pour le soudage en angle, le diamètre de l'électrode est choisi en fonction de la cathète H qui elle-même est choisie en fonction de l'épaisseur des éléments à souder .

Ce choix ~~s'effectue~~ s'effectue d'après les tableaux suivants .

Epaisseur(mm)	5-10	10	15	20	25	30	40	50
Cathète(mm)	5-6	7-8	9-10	9-10	10-12	12-14	14-16	18-20

Cathète du cordon(mm)	3	4-5	6-9
diamètre de l'électrode de (mm)	3	4	5

$e=5\text{mm}$, alors la cathète $H=5\text{mm}$ et $d_e = 4\text{mm}$

On remarque que le pointage et le soudage manuel s'effectue avec la même électrode .

II-3-1-2 Courant de soudage I_s :

Le courant de soudage est donné par la formule suivante

$$(1) I_s = \frac{\pi d_e^2}{4} \cdot j \quad [9]$$

d_e : diamètre de l'électrode (mm)

j : densité de courant (~~XXXXX~~) (A/mm^2), donné par le tableau suivant:

Type d'enrobage	Densité Admissible pour d_e (A/mm^2)			
	3	4	5	6
Enrobage oxydant ou à base de rutile	14-20	11,5-16	10-13,5	9,5-12,5
Enrobage basique	13-18,5	10-14,5	9-12,5	8,5-12

Ayant déjà choisi un enrobage basique et pour le diamètre de l'électrode $d_e = 4$ mm, on prend $j = 12$ A/mm².

$$\text{A.N } I_s = \frac{3,14 \times 4^2}{4} \times 12 = 150 \text{ A}$$

II-3-1-3 Voltage: V_s

La tension de l'arc ou tension en charge est donnée par la formule suivante /

$$(2) \quad V_s = 20 + \frac{50 \cdot 10^3}{d_e \cdot 0,5} \cdot J_s \pm 1$$

$$\text{A.N } V_s = 20 + \frac{50 \cdot 10^3}{4 \cdot 0,5} : 150 \pm 1 = 24,75 \text{ Volts}$$

Soit en viron $V_s = 25$ Volts .

II-3-2 Soudage automatique :

Quand on soude des tôles moyennes, la préparation des bords la plus simple, c'est-à-dire le bord droit, est largement suffisante . On obtient une pénétration complète, le bain de soudage étant maintenu par la tension superficielle .

II-3-2-1 Pénétration nécessaire H_1 de la soudure :

Elle est donnée par

$$(3) \quad H_1 = \frac{S}{2} \quad \text{où } S \text{ désigne l'épaisseur de la tôle; ici } S = e .$$

$$\text{ou parfois par: } (3') \quad H_1 = \frac{S}{2} \pm (1 \div 3) \text{ mm}$$

$$\text{De la formule } (3'), \text{ on tire } H_1 = \frac{S}{2} \pm 1,5 = 4 \text{ mm.}$$

II-3-2-2 Intensité de soudage

Cette intensité est donnée par la formule

$$(4) \quad I_s = \frac{H_1}{K_j} \times 100$$

où H_1 = pénétration nécessaire de la soudure d'un côté (mm)

K_j = Coefficient dont la valeur dépend des conditions de soudage

et qui est donné par tableau suivant :

Mode de soudage	Diamètre de l'électrode d_e (mm)	K_f		
		Courant Alternatif	Courant continu	
			Polarit. Direc.	Polarit. Inverse
Soud flux solide à teneur élevée en Mn	2	1,25-1,30	1,15	1,40-1,45
	3	1,10-1,15	0,95	1,25-1,30
	4	1,00-1,05	0,85-0,90	1,10-1,15
	5	0,95	0,75-0,85	1,05-1,15
	6	0,90	0 --	--
	PM atmosphère CO_2	1,2	--	--
1,6		--	--	1,75
2,0		--	--	1,55
3,0		--	--	1,45
4,0		--	--	1,35
5,0		--	--	1,20

où calcul approximativement le diamètre de l'électrode suivant :

$$(5) d_e = 1,13 \sqrt{\frac{I_s}{j}}$$

j = densité admissible du courant donnée par le tableau :

d_e (mm)	2	3	4	5	6
j (A/mm ²)	60-200	45-90	35-60	30-50	25-45

On connaît $H_1 = 4$ mm et on choisit arbitrairement $d_e = 3$ mm .

alors : $Kj = 1,10$

$$j = 50 \text{ A/mm}^2$$

$$\text{On aura donc } I_s = \frac{H_1}{Kj} \times 100 = \frac{4}{1,10} \times 100 = 364 \text{ A}$$

d'où le diamètre approximatif de l'électrode

$$d'_e = 1,13 \sqrt{\frac{I_s}{j}} = 1,13 \sqrt{\frac{365}{50}} = 3,05 \text{ mm}$$

pour que de choisie arbitrairement soit acceptable, il faut que

$$d'_e - d_e < 1 \quad (6)$$

$$\text{A.N. } d'_e - d_e = 3,05 - 3 = 0,5 < 1$$

La relation (6) étant vérifiée, l'électrode est convenable .

II-3-2-3 Voltage Optimal V_s ⇨

La tension d'arc ou tension en charge est donnée par

$$V_s = 20 + \frac{50 \cdot 10^3}{d_e^{0,5}} \cdot I_s \pm 1$$

$$\text{A.N. : } V_s = 20 + \frac{50 \cdot 10^3}{3^{0,5}} \cdot 365 \pm 1 = 31,53 \text{ Volts}$$

soit environ $U_s = 30 \text{ V}$

II-3-2-4 Vitesse de soudage V_s .

Elle est donnée par :

$$(7) V_s = \frac{A}{I_s}$$

A (A.m/h) donné par le tableau suivant

d_e (mm)	1,2	1,6	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
A (A.m/h) $\times 10^3$	2-5	5-8	8-12	12-16	16-20	20-25	25-30

On a $d_e = 3 \text{ mm}$, donc $A = 15.10^3 \text{ Am/h}$

$$d'où V_s = \frac{A}{I_s} = \frac{15.10^3}{365} = 41 \text{ m/h}$$

II-3-2-5 Vitesse de déroulement du fil-électrode V_d :

Cette vitesse est donnée par la formule suivante :

$$(8) V_d = \frac{4 \cdot I_s \cdot \alpha_f}{\pi \cdot d_e^2 \cdot \gamma} \text{ avec :}$$

I_s : courant de soudage (A)

α_f : coefficient de fusion du métal

$$\alpha_f = (14 \div 18) \text{ g / A.h}$$

d_e : diamètre de l'électrode (mm)

γ : densité de métal du fil

$$\gamma = 7,8 \text{ g/cm}^3$$

En prenant $\alpha_f = 16 \text{ g/Ah}$

$$\underline{A.N.} : V_d = \frac{4 \times 365 \times 16}{3,14 \times (0,3)^2 \times 7,8} = 10597,56 \text{ cm/h}$$

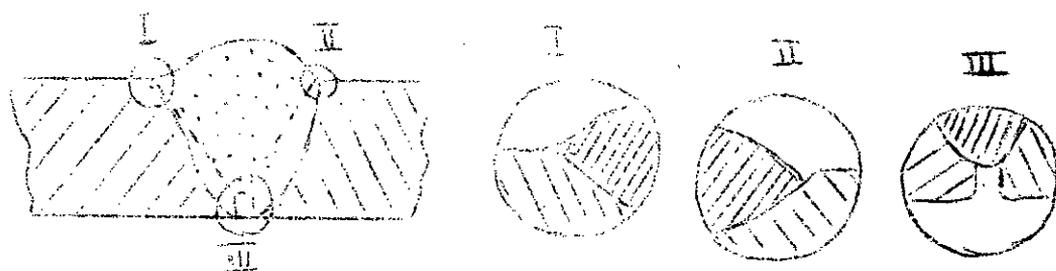
soit environ $V_d = 106 \text{ m/h}$.

II-3-3 Précautions à prendre pour réaliser de bonnes soudures :

Les précautions à prendre peuvent se résumer ainsi :

- Choisir un métal de base parfaitement soudable
- N'utiliser que de bonnes électrodes
- N'employer que des soudures ayant de sérieuses qualités professionnelles .
- Contrôler la valeur professionnelle des soudeurs par vérification des soudures aux rayons X .

Toutefois un soudage défectueux peut produire plusieurs défauts dont les principaux sont les inclusions de laitier et d'oxyde qui se disposent en points, en caine ou en bande I, les entailles de pénétration II et les marques de pénétration III.



Ces défauts réduisent la résistance d'une soudure, surtout à des charges alternatives, dont l'effet de concentration des contraintes est particulièrement important.

Dans les opérations de soudage, le chauffage n'intéresse qu'une partie de la pièce; il est fortement localisé, surtout en soudage électrique.

Au cours du chauffage, la partie chauffée se dilate, et le plus souvent au cours de ce chauffage, elle peut se dilater librement car les deux pièces à assembler ne sont pas encore fixées rigidement l'une à l'autre; mais au cours du refroidissement, la contraction n'est pas aussi facile. Elle entraîne, si les parties voisines de la soudure sont suffisamment chaudes, ou si elles peuvent se déplacer, des déformations plus ou moins importantes. Dans ce cas, on peut distinguer:

a)-La déformation simple ou diminution de largeur des joints



b)-La déformation transversale ou angulaire ou effet de pliage:



Elle est surtout requise pour les soudures sur chanfrein en V.

Elle provient du retrait plus prononcé dans le haut que dans le bas du cordon.

c)-La déformation longitudinale ou effet de cintrage:



Elle est surtout importantes pour les joints de grande longueur et dont l'origine réside également dans le retrait plus accentué de la face supérieure. Elle est moins marquée pour les soudures faites aux passes étroites.

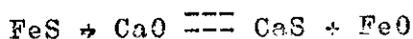
Au contraire, si ces parties sont froides ou bien bridées, c'est-à-dire sont rigides par elles-mêmes (par leur masse, par leur forme), soit fixées à un support rigide, il se produit des tensions susceptibles, lorsqu'elles sont importantes, de conduire à des fissures ou à des ruptures. Parmi ces dangers, on peut citer les criques à chaud et les criques à froid:

— Criques à chaud:

Dans les aciers, il existe des impuretés qui peuvent former de l'eutectique dont la température de fusion est toujours plus basse que celle de l'acier. Pendant la solidification, les cristallites chassent le liquide au centre et jusqu'à la température de fusion, le centre du cordon de soudure reste liquide; Et en même temps à partir de la ligne de solidus dans l'assemblage soudé, se présentent des contraintes internes. A la température 1000 à 1100°C, elles deviennent très fortes et la soudure peut rompre là où le métal est liquide.

Pour y remédier, on doit:

- * Utiliser pour les assemblages soudés des aciers dont la teneur en éléments d'addition C, S, P est la plus faible possible.
- * Utiliser des électrodes à enrobage basique dont le laitier a l'action désoxydante.



— Criques à froid:

Elles proviennent du fait qu'au cours du soudage, le métal fondu absorbe beaucoup d'hydrogène jusqu'à la sur saturation (Pour les aciers courants 30 cm³/100g).

Les causes d'hydrogène sont:

- . l'humidité de l'enrobage
- . l'humidité de l'air
- . la présence sur les bords à souder, de l'huile, de la calamine (Fe_2O_3).
- . pour y remédier, on doit:

- * Sécher les électrodes pour éviter l'eau (l'hydrogène).
- * Bien nettoyer les bords à souder.
- * Utiliser les électrodes basiques.
- * Utiliser les électrodes austénitiques (âme en acier austénitique).
- * Utiliser le régime correct de soudage ou un préchauffage.

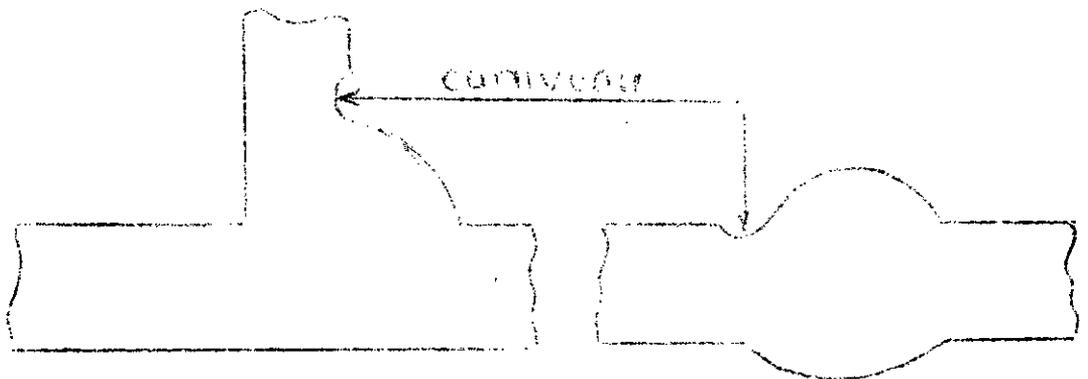
II-3-4 Contrôle de soudures:

II-3-4-1 Le contrôle visuel porte sur la régularité des cordons de soudeure:

-- Surépaisseur des soudures à franc bord

-- Gorge effective des soudures d'angle

Il permet aussi de repérer des défauts de surface tels que soufflures débouchantes et caniveaux.



Certains défauts de surface et toutes les discontinuités internes des soudures ne peuvent être détectés que par la mise en oeuvre de techniques spéciales, qui sont très variées et se présentent généralement sous les deux formes suivantes: Essais destructifs et Essais non destructifs.

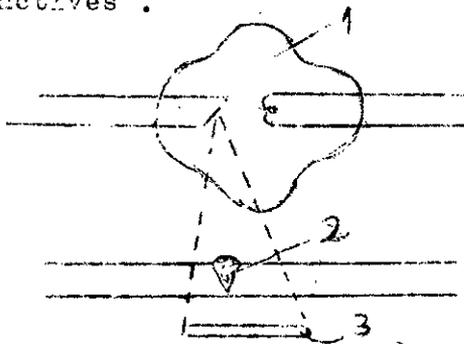
II-3-4-2 Macrographie:

Ce procédé consiste à attaquer par un réactif chimique approprié la surface, préalablement polie avec soin, d'une soudure sectionnée.

L'attaque fait ressortir les différentes zones du joint (métal de base, métal déposé), la profondeur de la pénétration, l'ordre* de dépôt des couches successives, la forme de celles-ci et les défauts de liaison. Ce procédé étant ~~destructif~~ destructif, est rarement utilisé .

II-3-4-3 Radiographie Gammagraphie :

Parmi les essais non destructifs se sont surtout réponsus ceux par radiographie et par gammagraphie, c'est-à-dire par examen et le plus souvent photographie à travers le cordon de soudure au moyen des rayons x (voir figure ci-dessous) ou des rayons γ émis par des substances radio-actives .



1. Ampoule à rayons x
2. Soudure à contrôler
3. Pellicule radiographique

Schéma d'une ampoule à rayons X et de l'examen d'une soudure

Ces méthodes de contrôle reposent sur le fait que tout manque de matière dans la section du cordon, ainsi que la présence de toute matière non métallique (oxydes, laitier), provoquent une plus grande transparence vis-à-vis de ces rayons et se traduisent sur le film photographique par une tache dont l'aspect et les dimensions correspondent à ceux du défaut. La radiographie et la gammagraphie des soudures sont surtout appliquées jusqu'ici aux assemblages d'épaisseur supérieure ou égale à 5mm, d'où l'utilisation des rayons X à notre cas .

En général, ces modes de contrôle sont pleinement justifiés pour toute construction soudée dont la sucuraté en service doit être absolument garantie .

Leur mise en application nécessite l'emploi d'un matériel d'un prix élevé et l'intervention d'un personnel spécialement entraîné à l'interprétation des radiogrammes ou des gammagrammes .

II-3-4-4 Essais d'étanchéité :

Ce sont également, sur un plan beaucoup plus technologique, des essais non destructifs. Il peuvent se faire de différentes manières,

a) Pour des appareils ouverts ou pour des appareils fermés et de grandes dimensions, on procéda par simple remplissage d'eau et examen des soudures du côté extérieur . Ce procédé ne révèle pas toujours de petites fissures pouvant être colmatées par de la rouille .

Cet essai n'est pas à conseiller; En outre il exige un volume d'eau important. Pour cela on est amené à choisir le suivant :

b) Après avoir nettoyé à la brosse métallique les deux faces de la soudure, on badigeonne le cordon du côté qui sera la face extérieure dans l'appareil terminé, au moyen d'un lait de chaux(de la chaux de carbure convient parfaitement); on laisse sécher ce revêtement, puis on badigeonne l'autre face du cordon au moyen de pétrole. Par la moindre fissure, ce dernier s'infiltré et vient former des tâches dans la couche de chaux, ce qui permet de localiser les défauts d'étanchéité. Pour les réservoirs de stockage de pétrole, d'essence...etc , cette méthode de contrôle, en évitant le remplissage d'eau, éviter aussi la rouille qui en serait la conséquence .

II-3-4-5 Essais à la pression hydraulique .

Ces essais sont obligatoires pour tous les réservoirs et tuyauteries devant fonctionner sous pression. Ils consistent à remplir d'eau le récipient et à comprimer celle-ci au moyen d'une pompe appropriée, à une pression supérieure à la pression de service(généralement une fois et demie celle-ci). Il est recommandable de soumettre les soudures et leur abords, pendant que l'appareil est sous pression hydraulique, à un martelage rapide et énergique au moyen d'un marteau léger .

II-4 . CHOIX D'EQUIPEMENT :

Le choix d'équipement se fait en fonction de l'élaboration technologique de la construction. Notre construction étant déjà définie, le choix se fait cependant comme suit :

II-4-1 Choix de la machine à planer

Vu l'épaisseur relativement faible, la tôle subit quelques déformations à sa surface lors de son transport et de sa manutention. Pour cela, un planage lui est donc nécessaire avant d'entamer toute opération.

Notre choix est alors porté sur une planeuse de type SP4-170 ayant les caractéristiques suivantes :

Largeur maximale	(mm)	2500
Epaisseur maximale	(mm)	22
Nombre de cylindres		9

II-4-2 Choix du procédé de découpage :

Du faite de la grandeur des dimensions des fêles qu'on va utiliser dans notre étude, une cisaille mécanique ne conviendrait pas. On à donc chpisi le système de plasma-coupage qui consiste non seulement à souder mais à découper le métal .

L'avantage de ce procédé reside dans le faite qu'on obtient une coupe rapide et de qualité et ne nécessite pas en plus des retouches de finition .

Cet appareil du type UPR-201 destiné pour le découpage des aciers alliés et non ferneux à les caractéristiques suivantes :

Épaisseur à découper max	(mm)	40
Tension du réseau	(Volts)	380-400-415
Intensité	(A)	150-200
Tension à vide	(V)	180
Gas utilisé		Air
Dimensions	(mm)	1065x816x940
Vitesse de découpage	(mm/mm)	1200

II-4-3 Choix de la machine à cintrer :

Notre construction contient une virole cylindrique. Pour la formation de celle-ci, l'utilisation d'une machine à cintrer est nécessaire. On a alors choisi une cintrouse de type 376 P ayant les caractéristiques suivantes :

Épaisseur max	(mm)	25
Largeur max	(mm)	2500
Rayon minimum	(mm)	300
Vitesse	(m/mm)	7,15
Puissance	(KW)	58,2
Dimensions	(mm)	7695x2350x2015
Nombre de cylindres		4

Pour ce qui est des fonds bobés, on utilise la même machine à souder 376 P mais on a modifié la forme des rouleaux uniquement.

II-4-4. Choix des postes de soudage :

II-4-4-1 Soudage manuel :

On a opté pour le choix d'un transformateur monophasé de série " ARCO TEX " et de type 185. Cet appareil de soudage manuel en courant alternatif est doté de certaines perfectionnements :

- Réglage continu et étendu de l'intensité permettant l'utilisation de toutes sortes d'électrodes .
- Faible consommation à vide même si le transformateur reste branché
- temps au secteur .

Il présente les caractéristiques suivantes :

Alimentation monophasée 50 H _z (Volts)	220	380
Courant absorbé en service	20	11,5
Électrode max ϕ (mm)	3,25-4	
Intensité de soudage (A)	40-185	
Tension au secondaire (Volts)	52	
Dimensions (mm)	260x441x325	
Poids sans accessoires (Kg)	30	

II-4-4-2 Soudage Automatique

a) choix du poste d'alimentation :

On choisit un transformateur de type T.A.P 1005 qui présente les caractéristiques suivantes :

Transformateur monophasé 50 H _z	(Volts)	220,230,240
Intensité de soudage	(A)	340-1200
Tension de soudage max	(Volts)	44
Dimensions	(mm)	1200x830x1200

b) Choix de la soudeuse automatique :

Notre choix est porté sur une soudeuse de type ADS-1002 ayant les caractéristiques suivantes :

Intensité de courant	(A)	340-1200
Diamètre du fil électrode	(mm)	3,0-6,0
Vitesse de déroulement du fil	(m/h)	30-120
Vitesse de soudage	(m/h)	15-70
Nbre de fil électrode possible		1-(2)
Mode de réglage		Automatique

N.B : Entre parenthèse signifié le nombre de fils-électrodes possible avec dispositif spécial .

II-4-4 Choix du riveur :

On choisit un riveur à galets du type PR4 ayant les caractéristiques suivantes :

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

II-4-6 Choix du dispositif de serrage

Ce dispositif de serrage manuel est donné par la figure 3 (fig3).

II-4-7 Choix du positionneur :

Il est donné la figure 4 (fig 4) :

II-5 Elaboration de technologie d'exécution

L'exécution de notre construction nécessite les opérations suivantes :

- Planage
- Traçage
- Coupage
- Cintrage des virôles
- Exécution des fonds bombés
- Pointage .
- Soudage .
- Contrôle .

II-6 Hygiène et sécurité

L'hygiène et la sécurité, dans une fabrique de soudage, sont d'une nécessité voire même d'une obligation indiscutable .

Les radiations émises par l'arc, la pollution de l'atmosphère, les projections du métal en fusion, l'emploi du courant électrique présentent des risques certains pour le soudeur. Pour cela des systèmes de prévention doivent être mis en place pour y palier.

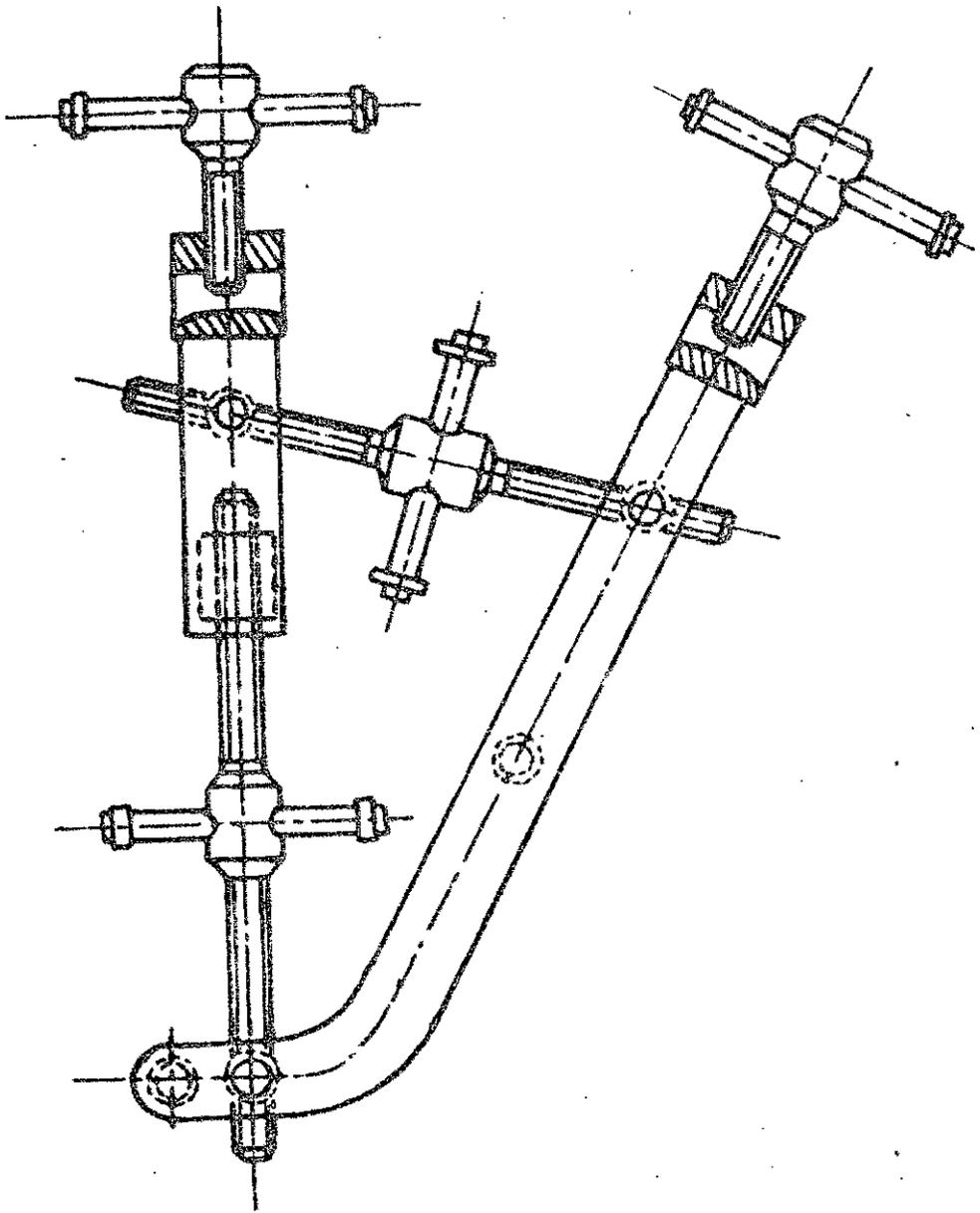


Fig 3 : Dispositif de Serrage

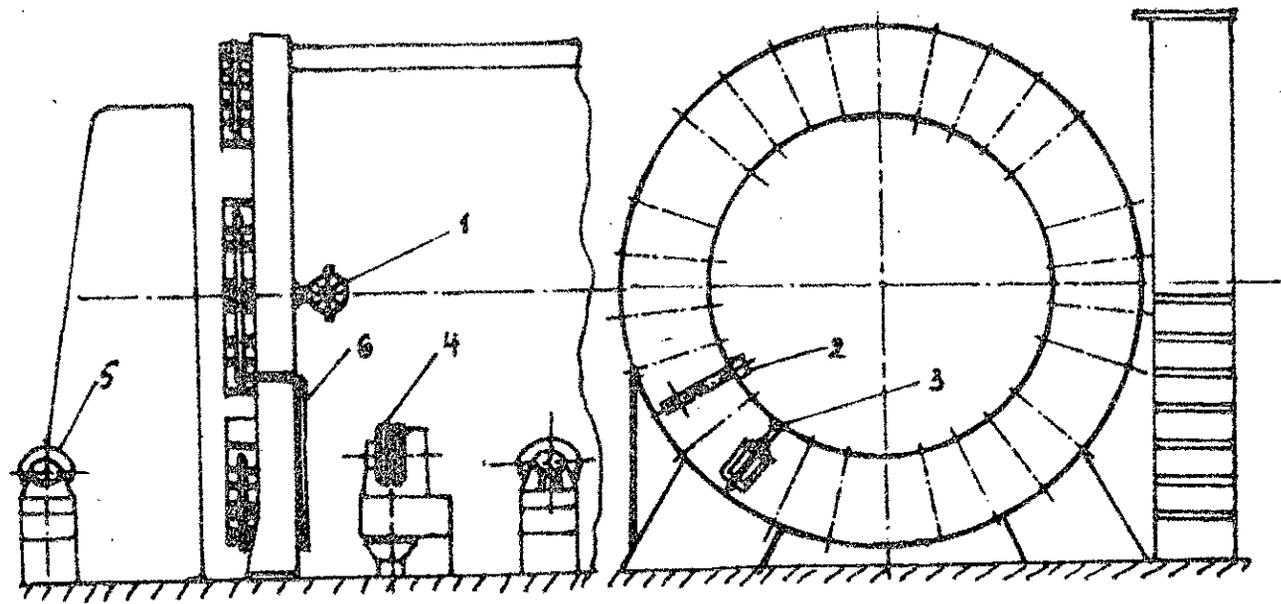


Fig 4. schéma du positionneur

1. Volant de serrage de la virole

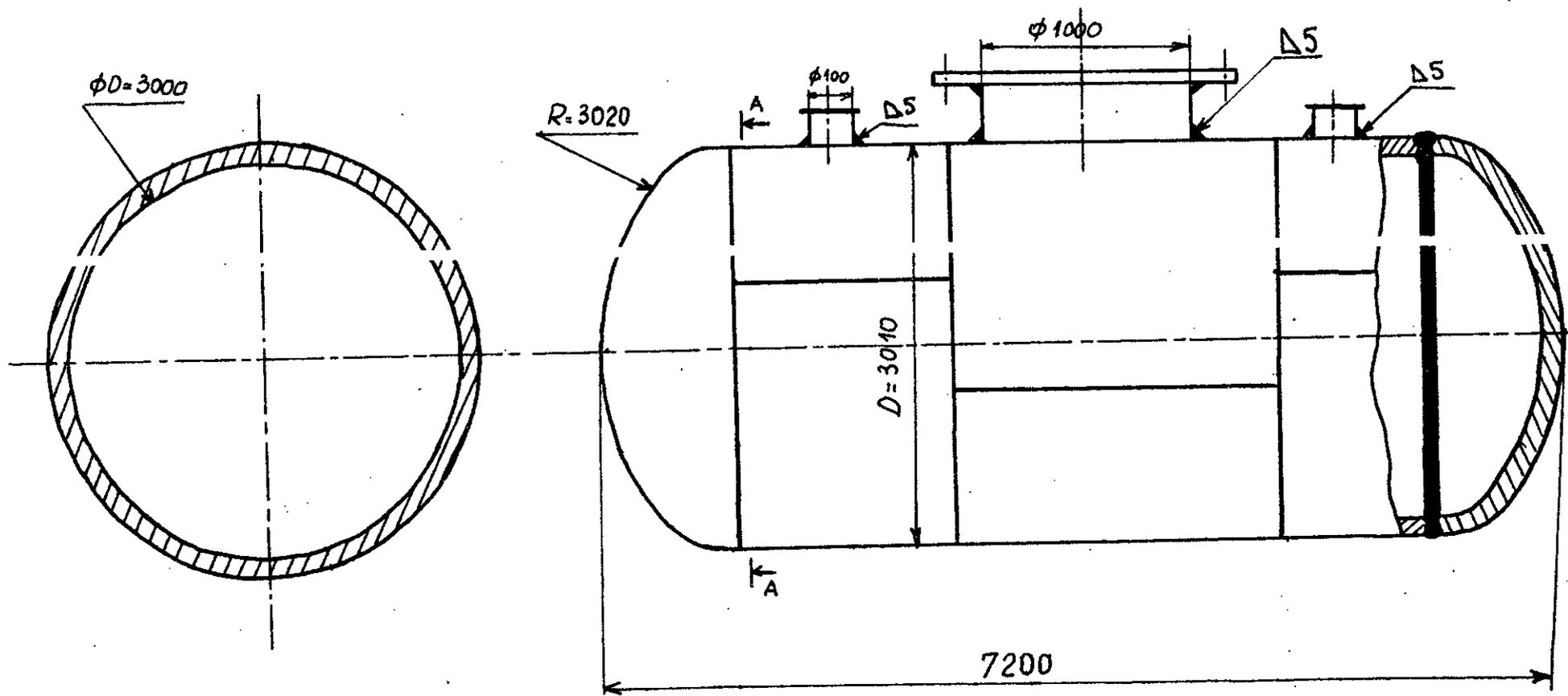
2. Vis de serrage (4)

3. Verin pneumatique de centrage (26)

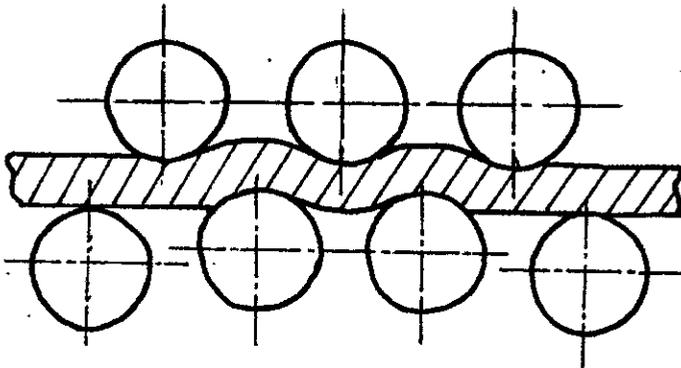
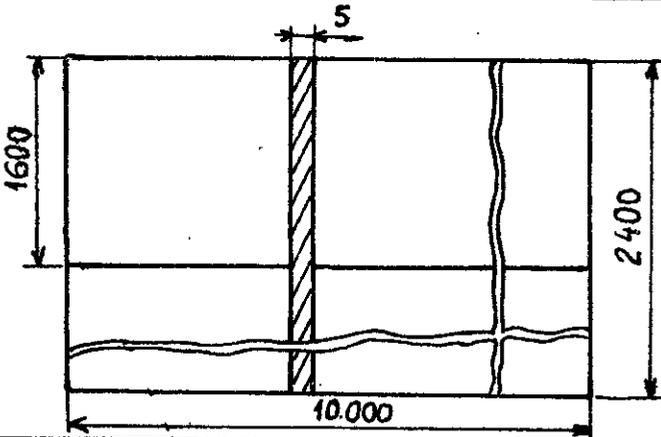
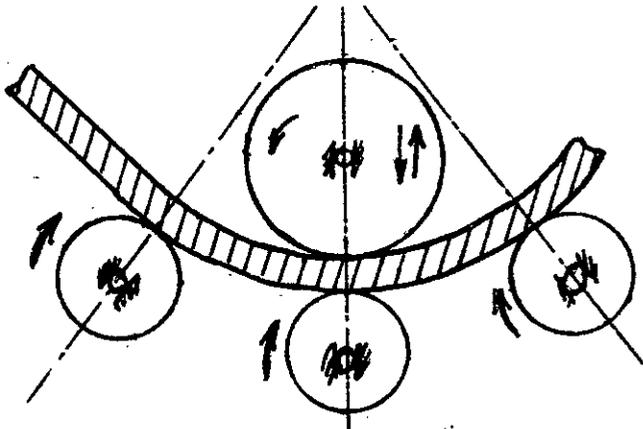
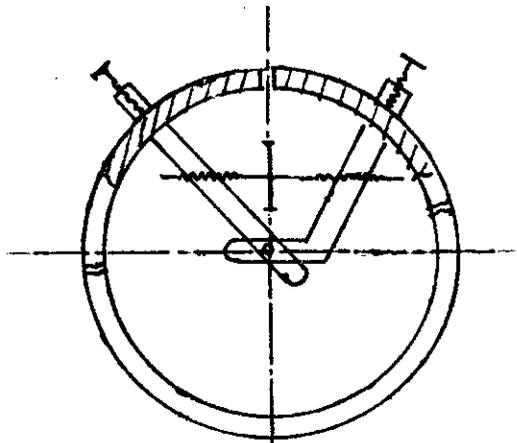
4. Galets du vireur

5. Galets d'avance de la virole

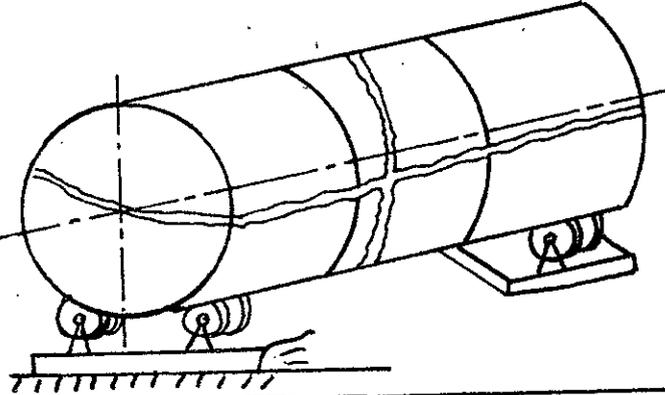
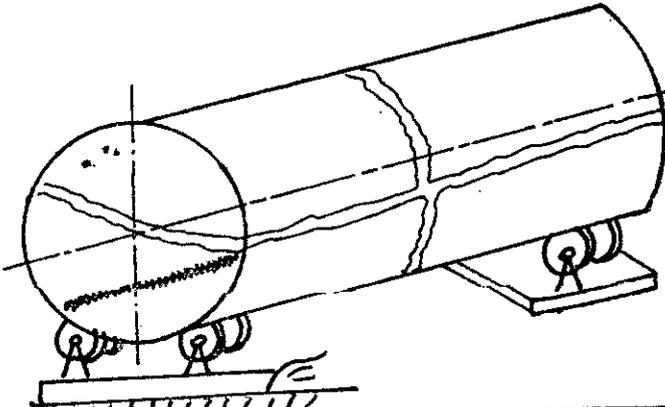
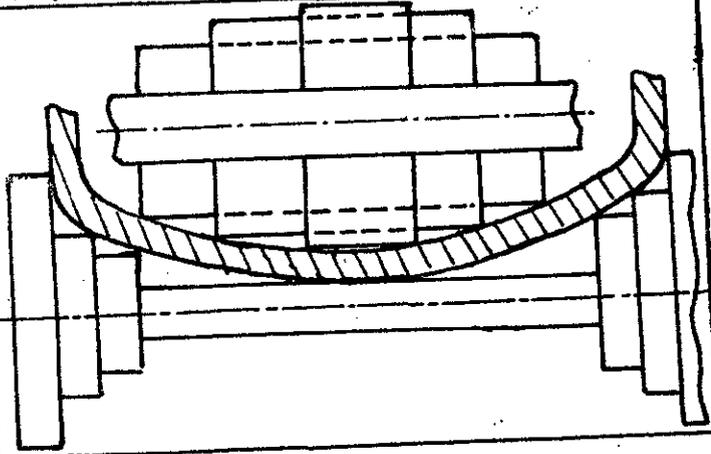
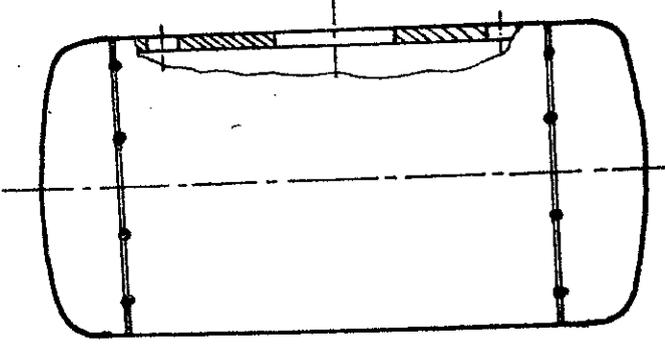
6. Conduite d'air comprimé

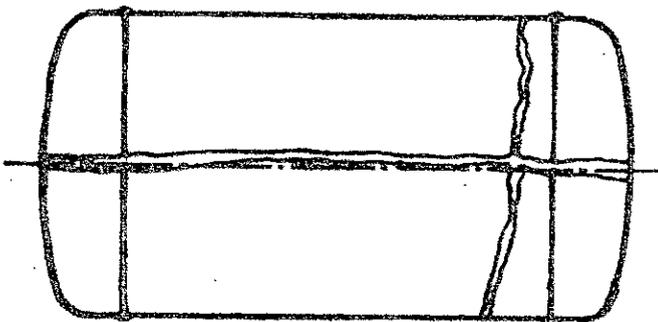
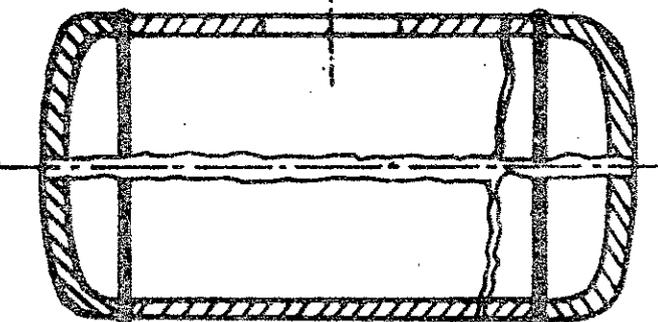
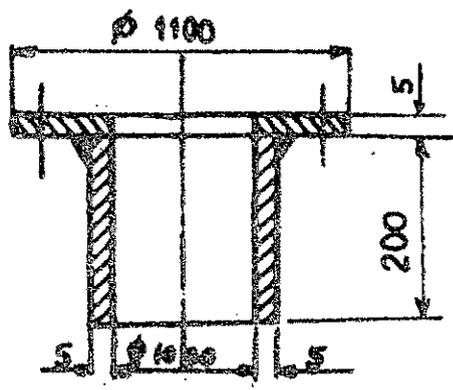
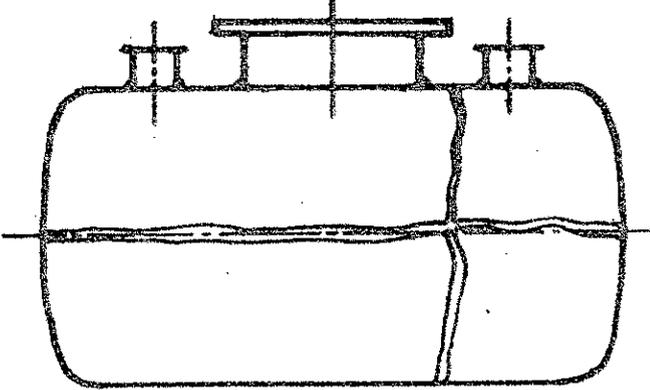


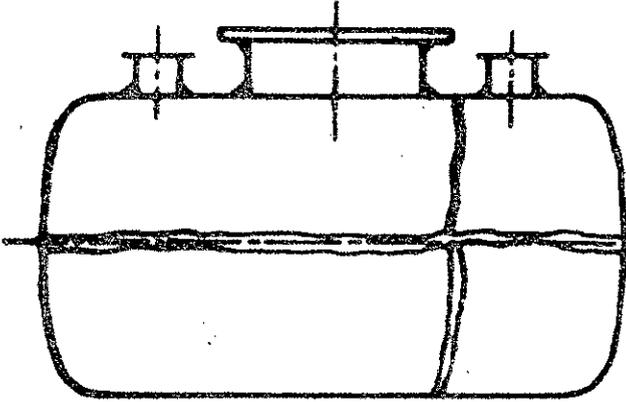
PIECE A REALISER

Phase	Oper.	Designation	Schéma	Matériel utilisé
10	①	Planage des tôles.		Machine à planer de type SP4-170
20	②	Traçage et découpage aux dimensions 5x1600x10.000 et $\phi 1000$ pour trou d'homme et $\phi 100$ pour tubulaires		Table, equerre, compas, règle poste de découpage plasma type UPR-201
30	③	Cintrage des tôles: 5x1600x10.000 5x2400x10.000 aux diamètres $\phi 3000$		Machine à cintrer 4rouleaux type 376 P
40	④	Serrage des bords des tôles		Dispositif de serrage manuel Calibre pour contrôler l'écart entre bords

Phase	Oper.	Désignation	Schéma	Matériel Utilisé
50	⑤	Pointage des tôles 5x 2400x 10.000 5x 1600x 10.000		Transformateur Arcotex de type 185 Electrode enrobée $\phi = 4 \text{ mm}$
60	⑥	Fixation des talons 150x 100		Idem.
70	⑦	Soudage bout à bout des tôles 5x 2400x 10.000 5x 1600x 10.000 Côté extérieur		Transformateur de type TAF 1005 Soudreuse automatique de type ADS-1002 Vireur à galets de type PR4
80	⑧	Assemblage et peinture des viroles précédentes		Transformateur Arcotex de type 185 Electrode enrobée $\phi = 4 \text{ mm}$ Vireur à galets de type PR4

Phase	Opér.	Désignation	Schéma	Matériel Utilisé
90	⑨	Soudage bout à bout côté extérieur		Transformateur de type TAF 1005 Soudeuse automatique de type ADS-1002 Vireur à galets type PR4
100	⑩	Soudage intérieur		Idem
110	⑪	Exécution des fonds bombés et découpage		Machine de type 376 P Poste de découpage plasma type UPR-201
120	⑫	Assemblage et pointage des fonds sur la virole		Transformateur Arcotex de type Electrode enroulé $\phi = 4 \text{ mm}$. Vireur à galets type PR4 positionneur

Phase	Opér.	Désignation	Schéma	Matériel Utilisé
130	(13)	Soudage bout à bout des fonds sur la virole côté extérieur		Transformateur de type TΔF 1005 Soudeuse automatique ADS-1002 Vireur à galets type PR4
140	(14)	Soudage des fonds côté intérieur		Transformateur Arcotex de type 185 électrode enrobée $\phi = 4 \text{ mm}$. Vireur à galets type PR4
150	(15)	Pointage et soudage d'anneau de diamètre extérieur $\phi 1100$ sur trou d'homme		Transformateur Arcotex de type 185. Electrode enrobée $\phi = 4 \text{ mm}$.
160	(16)	Pointage du trou d'homme et des tubulures de remplissage et de soutirage		Idem.

Phase	Opér.	Désignation	Schéma	Matériel Utilisé
170	①	Soudage des trous sur le réservoir		Transformateur Arcotex de type 185 Electrode enrobée $\phi = 4\text{mm.}$
			contrôle	

Le danger le plus dur pour un soudeur est l'émission par l'arc de rayons très nocifs, (Ultraviolets et infra-rouges). A cet effet le port d'un casque lui est indispensable. Il ne doit utiliser que des verres protecteurs de marque (car il en existe plusieurs) et de nuance bien appropriée aux travaux qu'il a à effectuer. Le soudeur doit veiller à ne jamais amorcer un arc lorsqu'il n'a pas les yeux protégés par l'écran. Pour ce qui est des projections du métal en fusion, le soudeur doit porter une paire de gants en cuir, un tablier de cuir et des manchettes en cuir .

Le soudeur ne doit pas porter des souliers bas ou s'il en porte, il est recommandé de protéger leur coude-pied par une guêpe de cuir. Les chutes de métal ou de laitier incandescent entre le pied et la chaussure peuvent occasionner de sérieuses brûlures .

En outre, on doit utiliser des chapes d'aspirations pour éliminer les gaz, des systèmes de ventilation afin d'éviter au soudeur les troubles pulmonaires toxiques résultant de la pollution de l'air par l'arc électrique .

Quand on doit effectuer des travaux de soudage à l'intérieur d'une enceinte, une corde de sécurité attachée au soudeur doit être tenue par une autre personne à l'extérieur .

Aussi, un éclairage suivant des normes en vigueur est indispensable .

Des incidents imprévus peuvent parvenir. Pour cela l'atelier doit obligatoirement être équipé d'une boîte à pharmacie pour secourir la victime au moins jusqu'à son arrivée à l'hôpital .

III . Organisation de production

Dans ce chapitre, on va calculer le nombre de machines et de personnel pouvant subvenir à la fabrication de 1000 réservoirs/an .

III-1 Calcul de quantités d'équipements

1 Calcul du fond disponible :

Le fond disponible est donné par la relation :

$$F_d = Z_o \times K_s \times h \times \left(1 - \frac{X}{100} \right)$$

où: Z_o = nbre de jours ouvrables par an

$$Z_o = 365 - (52 + d)$$

d = nbre de jours feriés = 13

$$Z_o = 365 - (52 + 13) = 300 \text{ j/an .}$$

K_s = nombre d'équipes = 1

h = 8 heures /équipe

X = coefficient de réparation ($X = 2$)

$$F_d = 300 \times 1 \times 8 \times \left(1 - \frac{2}{100} \right) = 2352 \text{ h/an}$$

2- Calcul du nombre de machines .

Ce nombre est donné par la formule suivante :

$$n_{ci} = \frac{F_{néc}}{60 \cdot F_d}$$

où : $F_{néc}$ = Fond nécessaire = $T_e \times N$

N = nombre de pièces produites par an

T_e = Temps d'exécution nécessaire d'une pièce dans la phase considérée .

2-1 . Temps au planage

Ce temps se compose du temps de mise de la tôle T_t sur la table et du temps de passage T_p de la tôle dans la machine .

$$T_e = T_t = T_p$$

La vitesse de la machine est de $V_p = 2,0 \text{ m/mn}$; la longueur à planer est de

$$L = 10 \text{ m}$$

$$T_{P1} = \frac{L}{V_p} = \frac{10}{2} = 5 \text{ mn}$$

pour les 3 tôles, on aura $T_p = 3 \times 5 = 15 \text{ mn}$.

on prend $T_t = 10 \text{ mn}$

$$T_e = 15 + 10 = 25 \text{ mn}$$

2-2. Temps au traçage

Ce temps se compose de : Temps d'arrangements T_a et

Temps manuels T_m .

Temps d'arrangement T_a (mn) ---Déplacements outillage : 2

- Réglage des tôles : 10

Temps manuels T_m (mn)

- Mise en position des tôles = 3

- Déplacement de l'ouvrier * 13

- Dégagements des tôles = 3

Ajouter à cela le temps pour le traçage des touts et tubes = 10 mn

$$T_e = T_a + T_m + 10 = 12 + 9 + 10 = 31 \text{ mn}$$

2-3. Temps au découpage

La longueur à découper est $L_1 = 10 \text{ m}$.

La machine à une vitesse de coupe V_c 1200 mm/mn .

$$T_{e1} = \frac{L_1}{V_c} = \frac{10.000}{1200} = 8,33 \text{ mn}$$

Découpage du trou d'homme des brous pour tubulaires de ϕ 100 et des tubes de ϕ 1000 .

$$\text{Longueur } C_1 = \pi \cdot D_1 = 3,14 \times 1000 = 3140 \text{ mm}$$

$$\text{Longueur } C_2 = D_2 = 3,14 \times 100 = 314 \text{ mm}$$

$$\text{Longueur } C_3 = D_3 = 3,14 \times 100 = 314 \text{ mm}$$

$$\text{Longueur } C_4 = D_4 = 3,14 \times 1000 = 3140 \text{ mm}$$

$$\text{Longueur totale } L = (2 \times 3140) + (2 \times 314) = 6908 \text{ mm}$$

$$T_{e2} = \frac{L}{V_c} = \frac{6908}{1200} = 5,76 \text{ mn}$$

$$T_e = T_{e1} + T_{e2} = 8,33 + 5,76 = 14,09 \text{ mn}$$

On ajoute à cela le temps de déplacements du découpeur $T_d = 3 \text{ mn}$

$$T_c = 14,09 + 3 = 17,09 \text{ mn}$$

2-4. Temps au cintrage

Ce temps se compose de:

-Temps de pose des tôles $T_p=15\text{mn}$

Temps de réglage $T_R=6\text{mn}$

La machine a une vitesse de cintrage de $7,15\text{m/mn}$.

$$T_{c1} = \frac{L}{V} = \frac{10000}{7150} = 1,39\text{mn}$$

$$T_c = 3 \times 1,39 = 4,17\text{mn}$$

-Temps de dégagement des tôles $T_d=15\text{mn}$.

$$T_e = T_p + T_R + T_c + T_d = 15 + 6 + 4,17 + 15 = 40,17\text{mn}.$$

2-5 Temps au pointage:

Pour les tôles d'épaisseur moyenne ($4 \text{ à } 15\text{mm}$), l'exécution d'un point de soudure demande $0,3 \text{ à } 0,6\text{mn}$. La distance entre deux pointages est donnée par: $l=100.e$ (e étant l'épaisseur de la tôle).

Nombre de poits de soudure dans la virole (suivant la longueur):

$$n_1 = 2400 : 500 = 5 \text{ pour le premier cylindre}$$

$$n_2 = 2400 : 500 = 5 \text{ pour le deuxième "}$$

$$n_3 = 1600 : 500 = 4 \text{ pour " troisième "}$$

On exécute des poits de soudure aussi pour les talons de fixation.

Chaque cylindre contient deux talons qui en compte chacun 2 poits de soudure. On prend un temps $t_c=0,5\text{mn}$ pour un pointage.

Le temps pour le pointage d'un cylindre sera:

$$T_1 = (5+4) \times 0,5 = 4,5\text{mn}$$

Nombre de poits de soudure dans la virole (suivant la circonférence):

$$2 \times (10000 : 500) = 40$$

$$T_2 = 0,5 \times 40 = 20\text{mn}$$

Il faut ajouter à cela les temps de mise en train et les temps de serrage et de manutention qui sont pour les trois cylindres:

-Temps de mise en train T_a (mn)	-Lecture du dessin	=5
	-Mesure des poits de soudure	=6
	-Déplacement outillage	=4

-Temps de serrage et de manutention	-Mise en position	=5
$T_n(m)$	-Serrage des tôles	=5
	-Changement d'électrodes	=8
	-Déplacement du soudeur	=10

$$T_e = T_n = 13 + 28 = 41 \text{ mn}$$

Ces temps supplémentaires pour un cylindre sont de l'ordre de:
 $43,3 = 14,3 \text{ mn}$

Le temps d'exécution pour le poitage d'un cylindre serait:

$$T_c = 4,5 + 14,3 = 18,8 \text{ mn}$$

Le temps d'exécution pour le poitage des trois cylindres est :

$$T_o = 20 + (2 \times 14,3) = 20 + 28,6$$

$$T_o = 48,6 \text{ mn}$$

2-5 Temps au soudage :

a)- Soudage du cylindre (côté extérieur longitudinalement)

La vitesse de la machine est 41 m/min

Le temps de soudage sans dérap :

$$T_{s1} = \frac{2,1 \times 60}{41} = 3,1 \text{ mn}$$

b)- Soudage du cylindre (côté intérieur longitudinalement)

$$T_{s2} = 3,5 \text{ mn}$$

c)- Soudage de la virole (côté intérieur suivant circonférence)

$$T_{s3} = 2 \times \frac{1,6 \times 60}{41} = 23,26 \text{ mn}$$

d)- Soudage de la virole (côté extérieur suivant circonférence)

$$T_{s4} = 23,26 \text{ mn}$$

Il faut ajouter à cela les temps suivants:

- Temps de mise en train $T_o(mn)$	- Déplacement de la machine	=2
	- Déplacement outillage	=8

- Temps de manutention $T_m(mn)$

- Mise en position =5

- Déplacement etc... =5

$$T_n + T_m = 10 + 10 = 20 \text{ mn}$$

Le temps d'exécution pour le soudage d'un cylindre est:

$$T_e = T_{s_1} + T_{s_2} + (20 : 2) =$$
$$= 3,51 + 3,51 + 10 =$$

$$\underline{T_e = 17,02 \text{ mn}}$$

Le temps d'exécution pour le soudage de la virole complète :

$$T_e = T_{s_3} + T_{s_4} + (20 : 2)$$
$$= 29,26 + 29,26 + 10 =$$

$$\underline{T_e = 68,52 \text{ mn}}$$

2-7. Temps à l'exécution des fondes :

La machine à une vitesse $V = 7,15 \text{ m/mn}$

$$T_{c_1} = \frac{L}{V} = \frac{5000}{7150} = 0,69 \text{ mn}$$

$$T_{c_2} = 0,69 \text{ mn}$$

$$T_c = T_{c_1} + T_{c_2} = 2 \times 0,69 = 1,38 \text{ mn}$$

- Lecture du dessin = 2 mn

- Déplacement outillage = 5 mn

Temps d'arrangement T_a (mn)

- Réglage de la machine = 5 mn

- mise en position des tôles = 5 mn

- déplacement de la machine = 2 mn

Temps de manutention T_m (mn)

- dégagement des tôles = 10 mn

on ajoute à cela le temps de découpage du surplus de la tôle

le découpage à une vitesse de 1200 mm/mn

on a à découper suivant une longueur de $L = \pi \cdot D = 3,14 \times 3000 = 9420 \text{ mm}$

$$T_d = \frac{9420}{1200} = 7,85 \text{ mn}$$

Le temps de découpage pour les 2 fonds est

$$T_d = 7,85 \times 2 = 15,70 \text{ mn}$$

$$T_e = T_c + T_a + T_m + T_d = 1,38 + 12 + 17 + 15,70 = \underline{46,08 \text{ mn}}$$

2-8 . Temps au pointage des fonds :

on dispose d'une longueur $L = 20 \text{ m}$ à pointer .

nombre de points de soudures

$$n = \frac{20.000}{500} = 40$$

$$T_c = 0,5 \times 40 = 20 \text{ mn}$$

Additionner à cela :

- Temps d'arrangements T_a (mn)

- mesure des pts de soudure = 2

- déplacement outillage = 10

- Temps manuels T_m (mn)

- mise en position = 6

- déplacement du soudeur = 10

$$T_e = T_c + T_a + T_m = 20 + 12 + 16 = \underline{48 \text{ mn}}$$

2-9 . Temps au soudage des fonds :

a) Soudage automatique

la machine à une vitesse de soudage $V_s = 41 \text{ m/h}$

on a souder $L = 20 \text{ m}$

$$T_e = \frac{L}{V_s} = \frac{20 \times 60}{41} = \underline{29,26 \text{ mn}}$$

b) soudage manuel

pour cela , il faudrait tout d'abord calculer le nombre d'électrode à utiliser pour l'exécution de notre pièce .

Du tableau suivant , on prend le poids de métal à déposer par mètre

épaisseur e (mm)	Soudure sur 2 faces		
	I	X	Double U
2	-	-	-
3	-	-	-
4	260	-	-
5	330	-	-
6	400	-	-
X7 7	480	-	-
8	570	-	-
9	-	650	-
10	-	730	-

Poids de métal à déposer par mètre (g/m) en soudage bord à bord

$$p = 330 \text{ g/m pour } e=5\text{mm}$$

Ayant ainsi déterminé le poids de métal à déposer par mètre de cordon il faut maintenant connaître le poids de métal effectivement déposé par une électrode .

Pour les différents diamètres d'électrodes et les longueurs normales, les poids théoriques des âmes sont indiqués au tableau suivant avec, en regard, les poids moyens pratiquement déposés en admettant un rendement global de 75% généralement admissible .

Diamètre (mm)	2,5	3,25	4	5	6	8
Longueur (mm)	350 450	450	450	450	450	450
Poids théorique (g)	13,4	29,1	44,1	68,9	99,3	176,3
Poids déposé (g)	10	22	33	52	75	132

La longueur à souder est $L = 20$ m alors le nombre d'électrodes N_e est

$$N_e = \frac{330 \times 20}{33} = 200 \text{ électrodes } 4 \text{ mm}\varnothing$$

Le nombre d'électrodes et le courant de soudage étant connus, on peut cependant calculer le temps de fusion de ces électrodes qui est bien entendu un temps " pur " toujours largement inférieur au temps total de soudage .

$$I_s = 150 \text{ A}$$

$$\varnothing \text{ électrode} = 4 \text{ mm}$$

Alors d'après la figure 5 (fig 5) Le temps de fusion t_f .

$$t_f = 1,86 \text{ mn} .$$

Le temps de fusion pour le 200 électrodes est .

$$T_F = 1,86 \times 200 = 372 \text{ mn} .$$

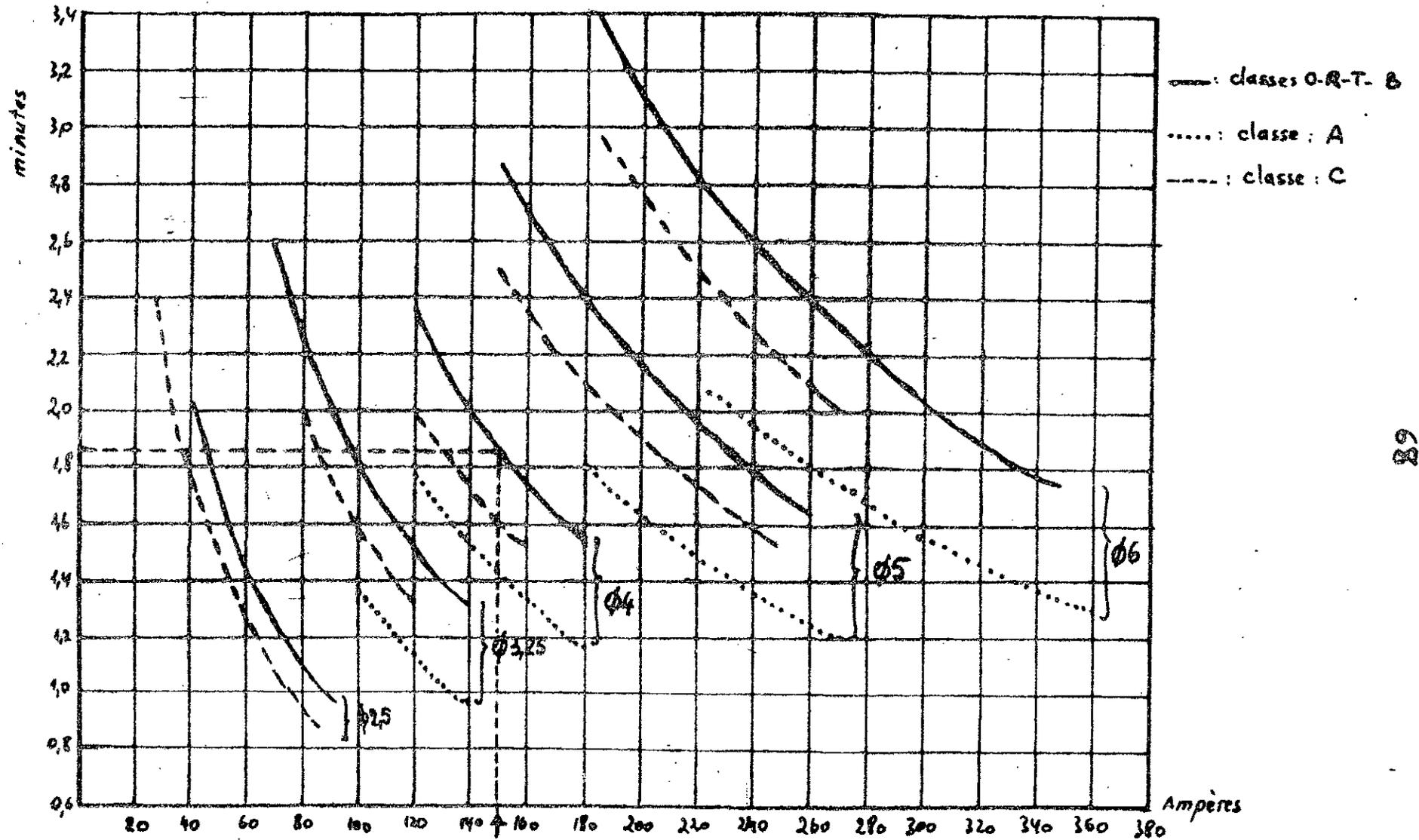
Le temps de fusion ainsi obtenu nous conduit à l'évaluation du temps d'exécution .

On appelle facteur de marche C ou coefficient d'utilisation d'une poste de soudage le rapport entre le temps de fonctionnement effectif, arc allumé, et le temps nécessaire à l'exécution de travail de soudage . Ce facteur de marche s'exprime en % .

Les temps morts comprenant .

- Les changements d'électrodes
- Les coupures d'arc en fin de cordon ou pour une cause accidentelle quelconque
- Le piquage du laitier
- Les arrêts de soudage nécessités par les déplacements du soudeur ou des pièces à souder, constituent la différence entre le temps total et le temps effectif de fonctionnement .

Les facteurs de marche C sur lesquels on peut se baser pour les travaux sont donnés par le tableau suivant :



[4] Fig 5. Graphe donnant le temps de fusion en fonction du diamètre de l'électrode et du courant de soudage.

	En Atelier	Sur chantier
Montage de charpentes, soudures courtes	30 %	20 %
Montage de charpentes, soudures longues	35 %	25 %
Tôleries, soudures courtes	27 %	20 %
Tôleries, soudures longues	32 %	25 %
Chaudronnerie, soudures courtes	35 %	25 %
Chaudronnerie, soudures longues	40 %	30 %
Soudures, tôles très épaisses	45 à 50 %	35 %
Travail à la machine avec positionneurs	50 à 60 %	-
Travaux de rechargement	60 à 65 %	50 à 55 %

Dans notre étude, on envisage un travail à la chaîne avec positionneur en atelier; Pour cela, on prend un facteur de marche $C = 60 \%$

Le temps nécessaire à l'exécution de la pièce est

$$T_e = \frac{374 \times 100}{60} = \underline{620 \text{ mn}}$$

C) Temps de soulage des anneaux sur les tubes et ceux-ci sur le réservoir

gorge (mm)	3	4	5	6	7	8	9	10
cordon plat	70	130	200	280	380	500	630	780

Poids de métal à déposer (g/m) pour les soudures en angle
 pour une gorge a en mm, on a un poids à déposer par mètre
 égal à 130 g/m .

Pour un diamètre d'électrode = 4 mm, le poids de métal effectivement déposé par une électrode est 33 g

Le nombre d'électrode est $n_o = \frac{K \times 1000 \times 130}{33 \times 1000} = 19$ électrodes 4 mm ϕ

Le nombre total est $N_o = 19 \times 2 = 38$ électrodes .

Le temps de fusion total pour les 38 électrodes est

$$T_F = 1,86 \times 38 = 70,68 \text{ mn}$$

Le facteur de marche est $C = 35 \%$ (chaudronneries, soudures courtes) .

Le temps d'exécution est

$$T_e = \frac{70,68 \times 100}{35} = 201 \text{ mn}$$

Certaines valeurs des temps calculés ci-dessus sont données approximativement à la base d'expériences, et ceci est dû au manque d'abaques et de tableaux dans la documentation que nous avons pu réunir !

Les temps d'exécution pour chaque phase considérée étant calculés, on peut maintenant donner le nombre de machines nécessaires à l'exécution de notre série de fabrication dans le tableau suivant :

Phase	Machines	T_e (mn)	F_d (h/an)	$F_{néc}$ (mn)	M_{ci}	$n_{réel}$
Planage	Machine à planer	25	2352	25000	0,17	1
Traçage	Table	31	2352	31000	0,21	1
Découpage	Postes de découpage	17,09	2352	17090	0,12	1
Mintrage	Machine à cintrer ou cintreuse	40,17	2352	40170	0,28	1
Pointage du cylindre	-dispositif de serrage -Vireur -Poste de soudures	10,8	² 2352	18800	0,13	1 3 1

Soudage du Cylindre	-Vireur -Soudeuse automatique	17,02	2352	17020	0,12	3 1
pointage de la Virole	-Vireur -Poste de soudage	48,6	2352	48600	0,34	1 1
Soudage de la Virole	-Vireur -Soudeuse automatique	68,52	2352	68520	0,48	1 1
Exécution des Fonds	-machine d'exécution -découpeur	46,08	2352	46080	0,32	1 1
pointage des Fonds	-Vireur -positionneur -postes de soudage	48	2352	48000	0,34	1 1 1
Soudage des Fonds	-Soudeuse aut -Vireurs -postes de soudage	29,26 620	2352	29260 620.000	4,39	1 5 5
soudage des tubes	-Postes de soudage	201	2352	201000	1,42	2

3 - Calcul du nombre de pont roulant:

$$n_{ci} = \frac{N \cdot i \cdot T_c}{F_d \cdot B \cdot 60}$$

i = nombre des opérations de transport pour une pièce . i = 26

T_c = temps par cycle

$$T_c = 2 \text{ mn}$$

B = coefficient d'utilisation du fond disponible du pont roulant

$$B = 0,92 + 0,96$$

$$n_{ci} = \frac{1000 \times 26 \times 2}{2352 \times 0,92 \times 60} = 0,47$$

$$M_r = 1$$

Par mesure de sécurité , on ajoute encore un pont roulant pour subvenir à nos besoins en cas de panne du premier .

CALCUL DU NOMBRE DE PERSONNEL

Après avoir calculé le nombre de machines, on calcule maintenant celui de l'effectif nécessaire à la réalisation de notre fabrication annuelle. Ce personnel se constitue principalement de :

- Ouvriers spécialisés : N_{os}
- Ouvriers auxiliaires : N_{oa}
- Agents Techniques : N_{aT}
- Comptables : N_c

$$a) N_{os} = \frac{T_e \cdot N}{60F_d(1-K)}$$

T_e = temps par phase

N = 1000 réservoirs/an

F_d = Fond disponible

K = coefficient tenant compte des absences ou congés $K = 0,1$

Après calcul pour tous les temps par phase, on trouve :

$$\underline{N_{os} = 19 \text{ ouvriers}}$$

Le nombre de machines étant égal à 16, il faudrait ajouter donc 3 ou 4 ouvriers polyvalents prêts à remplacer un absent dans n'importe quel poste .

On tient compte aussi de 2 ouvriers de contrôle .

b) le nombre d'ouvriers auxiliaires se composent de contre-maitre, magasiniers, réparateurs .

Ce nombre est donné par (15 à 25 %) de N_{os} .

$$\text{On prend } N_{oa} = 20 \% \cdot N_{os} = \frac{20 \times 19}{100} = \underline{4 \text{ ouvriers}} = \underline{N_{oa}}$$

c) le nombre d'agents techniques comporte les agents de méthodes etc... Il est égal à (10 à 12)% de ($N_{os} + N_{oa}$)

on prend $N_{aT} = 10\% (N_{os} + N_{oa})$

$$N_{aT} = \frac{10 \cdot (19+4)}{100} = 2,3 \quad \underline{N_{aT} = 3 \text{ agents}}$$

d) le nombre de comptables est égal à (4 à 6)% du nombre total d'ouvriers .

$$N_c = 5\% (N_{os} + N_{oa} + N_{aT})$$

$$N_c = \frac{5(19+4+3)}{100} = 1,3 \quad \underline{N_c = 2 \text{ comptables}}$$

Ajoutons à cela deux contre-maitres pour diriger toute l'équipe .

Il faudrait cependant tenir compte du personnel de transport, d'infirmierie, d'administration etc ...

Pour l'emplacement des machines dans l'atelier, il faut tenir compte des dimensions des machines, des surfaces de stockage, et des ~~surfaces~~ surfaces libres servant au déplacement du personnel et du matériel pour des réparations éventuelles dans l'atelier .

(voir planche 1) .

Pour ce qui est de la manutention et de la mise en position des pièces, il est prévu deux ponts roulants de capacité 5 tonnes et un centreur pour la fixation des fonds lors du pointage sur la virole .

CONCLUSION

Le succès de l'emploi des sources d'énergies suffisamment puissantes pour l'assemblage des matériaux par soudure s'est caractérisé par une évolution des procédés adaptables à cette fin qui en a élargi sans cesse les possibilités desquelles on a choisi dans notre étude quelques unes et qui nous ont paru efficaces .

Pour ce qui est du choix de l'équipement, on a pris dans ce polycopié des machines existantes en Algérie et des machines qu'on peut importer de l'union Soviétique vu les relations économiques très étroites qui lient ces deux pays .

BIBLIOGRAPHIE

- 1- Eléments de Machines
G. NICOLLET et E. TROTTEF
- 2- Technologie des constructions d'aciens soudés
SAKHNOVSKY .
" Kiev, Boudivelnik " . 1970
- 3- Cours magistral
CHALIMOV .
- 4- Manuel pratique de soudage à l'arc
L. MENDEL
DUNOD 1970
- 5- Construction de la coque métallique des navirs
J. GRILLIAT
CN - ENSTA 1972
- 6- Les procédés de soudage
P.T HOULDCROFT
DUNOD 1971
- 7--Encyclopédie des sciences industrielles
QUILLET 1974
- 8-Téchnologie des métaux
EDITION MIN. 1967
- 9- Cours magistral
E. BARDOCKRENT
- 10-Construction métallique Riveés et soudés
G. KIENERT
Eyrolles 1960

