

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

U. S. T. H. B.

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT GENIE - MECANIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

ETUDE TECHNOLOGIQUE  
D'EXECUTION DE TAMBOURS  
DE TREUIL



Proposé et suivi par Mr :

**E. BARDOKINE**

Maître de Conférence à l'E.N.P.

Etudié par :

**N. DIA**

PROMOTION JUIN 1980



MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

»O«  
U. S. T. H. B.

»O«  
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

»O«  
DEPARTEMENT GENIE - MECANIQUE  
»O«

PROJET DE FIN D'ETUDES

ETUDE TECHNOLOGIQUE  
D'EXECUTION DE TAMBOURS  
DE TREUIL

Proposé et suivi par Mr :

**E. BARDOKINE**

Maître de Conférence à l'E.N.P.

Etudié par :

**N. DIA**

PROMOTION JUIN 1980

 E D I C A C E S  
=====

Je dédie ce modeste travail à:

- Ma mère
- Ma famille
- Dia Farouk
- Ben-Moussa H.
- Lachraf Khalifa
- Driss Méd El.Hafedh
- Ghénah Z.
- Tous mes amis

## REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier Mr. le Dr. Ing. E. BARDOKINE, maître de conférence à l'École Nationale Polytechnique de m'avoir suivi dans mon travail et pour ses conseils qui m'ont été d'une grande utilité tout le long de l'élaboration de cette étude. Qu'il trouve ici ma profonde reconnaissance.

Je tiens également à remercier vivement mes cousins:

- Amor pour son aide précieuse.
- Abdelhamid qui m'a ménagé aucun effort, afin que je puisse terminer mes études dans des meilleures conditions.

Je tiens à remercier aussi, tout le personnel de l'EN.TRA.COM et l'U.CO.CAR de la Commune de KOUININE pour les efforts employés, durant la frappe et le tirage de ce Polycopié.

Que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à cette étude trouvent ici mes vifs remerciements.

# TABLES   DES   MATIERIALES

---

	Page.
I - INTRODUCTION.....	1
II - EXIGENCES TECHNIQUES ET METHODE DE CALCUL.....	2
III- CHOIX DU METAL DE BASE.....	6
III.1 Choix de l'acier utilisé.....	6
III.2 Soudabilité .....	13
III.3 Etude métallurgique.....	16
III.4 Contrôle de métal de Base.....	18
VV - CHOIX DU PROCEDE DE SOUDAGE ET DE MATERIAU DE SOUDAGE.....	20
IV.1 Choix du procédé de soudage.....	20
IV.2 Choix de matériau de soudage.....	21
V - CALCUL DE REGIME DE SOUDAGE.....	37
V.1 Soudage manuel.....	37
V.2 Soudage Automatique.....	38
VI - CHOIX D'EQUIPEMENT.....	52
VI.1 Choix de poste de soudage d'une manière générale	52
VI.2 Choix des postes de soudage convenant à cette étude.....	55
VI.3 Choix des poste de découpage.....	57
VI.4 Choix du dispositif auxiliaire.....	59
VII - ELABORATION DU PROCEDE TECHNOLOGIQUE.....	65
VIII- CONTROLE DU SOUDURE.....	76
VIII.1 Mode opératoire.....	77
VIII.2 Comment naissent les rayons "X".....	78
VIII.3 Modèles d'installations des rayons "X".....	78
VIII.4 Pellicules radiographiques.....	79
IX - HYGIENE ET SECURITE.....	80
X - CONCLUSION.....	83

## I - INTRODUCTION

Le treuil est un appareil de levage dont le principe est très simple. Il est constitué essentiellement d'un tambour à cable, et d'une commande avec frein et d'une réduction intermédiaire, un châssis réunissant toutes ces pièces.

En dépit de cette simplicité de principe, la construction des treuils varie beaucoup selon l'utilisation et les conditions particulières de chaque application.

Aussi, la construction des treuils est devenue de nos jours une spécialité dans les appareils de levage.

Le domaine d'utilisation de tel appareil est très étendu:

- Sous forme de treuils à main, on les trouve dans le bâtiment, les travaux publics et sur les chantiers de montage, on les utilise aussi dans les entrepôts et dans les exploitations industrielles de tout genre pour lever et déplacer les charges.

- Sous forme de palans électriques, ils constituent des appareils de levage universels pour des charges de petites et moyennes importance.

De plus, il faut noter que chaque pont roulant et que chaque grue comporte un treuil de levage qui assure souvent des fonctions spéciales.

En ce qui concerne notre pays, l'importance des appareils de levage est sans doute indiscutable. On est persuadé que le développement de la construction des treuils dans un pays comme l'Algérie est une nécessité économique d'une grande utilité, vu le tonnage des produits qui peuvent être transbordés ou déchargés dans divers points.

## II - EXIGENCES TECHNIQUES ET METHODE DE CALCUL.

### II.1.1 HYPOTHESE SUR LES DONNEES INITIALES:

Pour pouvoir aborder un calcul concernant un appareil de levage, il est nécessaire d'avoir une idée complète sur les conditions d'exploitation des paramètres suivants:

- Charge maximale
- Nature des charges
- Durée de travail par jour ou par année
- Hauteur de levage
- Vitesses de levage, de direction et de translation.
- Distance de déplacement des charges.
- Caractéristique du lieu d'implantation et de l'atmosphère
- Nature de la commande (moteur électrique, à combustion interne, à main etc... ).
- Caractéristique du courant d'alimentation
- Caractéristique des cycles de travail, durée de travail à charge, à vide ...

Donc en définitive si certaines données manquent, il est possible d'adopter leur valeur.

### II.1.2 REGIMES DE FONCTIONNEMENT:

Pour faciliter le travail et pour unifier les calculs des appareils de levage en général et de leurs éléments, alors l'ensemble des conditions d'exploitation est réduit en quatre groupes appelés "REGIME DE FONCTIONNEMENT". Ces groupes sont:

GROUPE I	Léger
GROUPE II	Moyen
GROUPE III	Lourd
GROUPE IV	Très Lourd

Il existe des théories d'après lesquelles on peut calculer le régime de fonctionnement à partir d'un grand nombre de paramètres d'exploitation.

Ceci nécessite d'avoir la variation en fonction du temps, des vitesses, des marches à vide etc...

En effet, tous ces calculs font l'objet de projets spéciaux sur les appareils de levages .

Pour ce qui concerne un projet sur les problèmes de soudure d'un élément de levage, c'est à dire comme le cas de notre projet, il est suffisant d'adopter un régime arbitraire de fonctionnement.

Normalement, pour les treuils on choisit un régime moyen ou dans le cas extrême un régime lourd.

## II 2. METHODE DE CALCUL:

On a jugé utile de faire montrer la méthode de calcul qui sert pour la détermination du tambour d'un appareil de levage. Sans faire l'application numérique, vu que pour le projet en cours, tous les dimensions nous ont été formulées.

### II 2.1 CHOIX DU CABLE (DIN. 1502)

On cherche dans le catalogue un cable en fonction de la force maximum admissible qui est donnée par la relation

$$F_{\max} \leq k.F$$

avec: k: Coefficient de sécurité

F: Charge utile.

Régime de Fonctionnement	I	II	III	IV
k	5,5	5,5	6,0	6,0

## II. 2.2 CALCUL DU TAMBOUR.

### II. 2.2.1 Diamètre du tambour $D_t$

Il est donné par:

$$D_t \geq d(e-1)$$

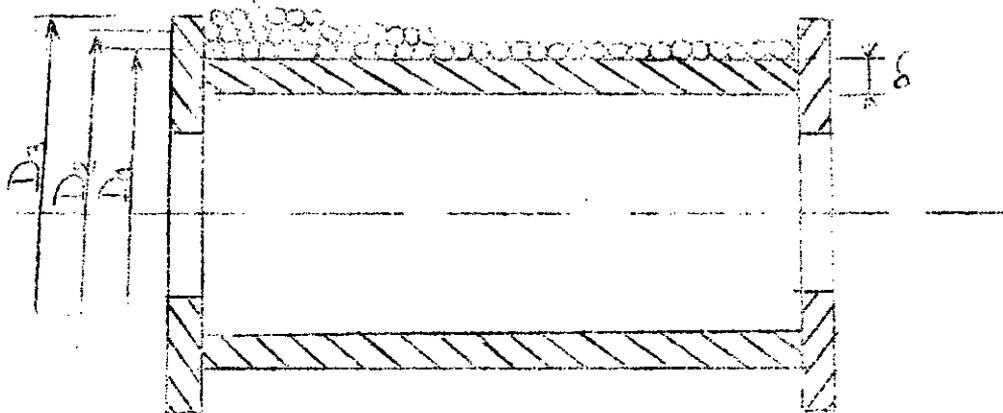
Avec:  $D_t$ : Diamètre du tambour en (mm)

$d$ : Diamètre du câble en (mm)

$e$ : Coefficient dépendant du régime de fonctionnement

Régime de fonctionnement	I	II	III	IV
$e$	20	25	30	35

### II. 2.2.2 Longueur du Tambour $L_t$



La longueur du câble  $L_c$  est donnée par la relation

$$L_c = \pi (D_t + Nd) \cdot Z \cdot N$$

avec:  $Z$ : nombre de spires par rangée.

$N$ : nombre de rangées.

d'où 
$$L_t = \left[ \frac{L_c}{(D_t + Nd) \cdot N} + (1,5 + 2) \right] \frac{d}{\psi}$$

avec  $\psi = 0,9$ : Coefficient exprimant l'inégalité des distances de spires.

### II. 2.2.3 EPAISSEUR DU PAROI DU TAMBOUR

$$S = 0,02 D_t + (6+10) \quad (\text{mm})$$

Ceci est valable pour les constructions soudées.

On fait le calcul de l'épaisseur à la base d'une formule empirique, exprimant les conditions de déformation (flexion) du câble c'est à dire on calcule  $\delta$  sans faire tenir compte des contraintes dans la tôle.

Finalement il est nécessaire de vérifier les contraintes d'après les formules suivantes:

$$(1) \quad \sigma_{\text{res}} = \frac{M_f^2 + (0,75 M_t)^2}{W} \leq [\sigma]$$

avec  $[\sigma]$ : contrainte admissible

$M_f$ : moment de torsion

$W = 0,8 (D_t - S)^2$  : module

$$(2) \quad \sigma_c = \frac{\psi_c \cdot F}{p \cdot (1 + D^-)} \leq [\sigma_c] \text{ formule de Lamé}$$

avec  $F$ : force dans le câble

$\psi_c = 0,7$  : coefficient exprimant la diminution de  $F$  de long du câble enroulant le tambour.

$p = \frac{d}{0,9}$  : le pas entre deux (02) spires

### III - CHOIX DU METAL DE BASE

#### III 1- Choix de l'acier utilisé

Dans le domaine des constructions mécaniques, ou métalliques on utilise l'acier, qui est un produit métallurgique contenant essentiellement du fer, du carbone jusqu'à 1,2 % ainsi que d'autres éléments en proportion variable dont l'addition est susceptible de modifier les propriétés de base.

En général on utilise l'acier obtenu par fusion au four THOMAS, mais ceci nécessite des précautions particulières lors du soudage.

Certes, l'acier obtenu au four MARTIN ou au four électrique est un acier de haute qualité qui convient plus au travaux de soudure, mais il est plus coûteux.-

Les aciers les plus fréquemment employés dans les constructions soudées sont les aciers "Courant au Carbone" généralement doux. La composition chimique de ces aciers varie dans les limites suivants le tableau qui suit:

Eléments	Pourcentage (%)		
C	0,05	+	0,40
Mn	0,40	+	0,80
Si	0,02	+	0,07
P	0,02	+	0,07
trace de gaz	quelques		

Suivant la teneur en carbone on pourrait dire qu'on a un acier

- extra-doux.....pour ( C < 0,05 % )
- doux....." ( C < 0,2 % )
- mi-dur....." ( C < 0,35 % )
- dur....." ( C > 0,35 % )

Lorsque la proportion de carbone croît les propriétés de l'acier varient de la façon suivante:

- La charge à la rupture augmente
- La limite d'élasticité s'élève
- La dureté augmente
- L'allongement diminue
- La contraction transversale (striction) diminue
- la résilience diminue
- la trempabilité augmente
- la soudabilité devient moins bonne.

D'autre part la présence du manganèse dans le métal liquide au cours de processus de fabrication, sert pour desulfurer et désoxyder l'acier.

Pour ce qui est du silicium vu qu'il est desoxydant, le sidérurgiste l'introduit au moment de la coulée.

On signale à cette effet que certains gaz, tels que l'oxygène, l'azote et l'hydrogène, sont absorbés par le métal au cours de l'élaboration au four.

Ces gaz sont solubles dans le métal liquide, mais leur solubilité s'annule quand le métal se solidifie. A chaque fois, on s'efforce à éliminer les gaz, mais tout de même il reste dans le métal des quantités minimales qui peuvent donner naissance aux oxydes, nitrures, silicates, etc... et par suite ces composés peuvent exercer une influence sur quelques propriétés de l'acier. Le silicium que l'on ajoute parfois, se combine avec l'oxygène en formant des oxydes légers qui favorisent la sortie des autres gaz. On dit de l'acier desoxydé au moyen du silicium qu'il est "calmé au silicium" c'est la solution qui est de loin la plus adoptée en général.

On peut parfois remplacer le silicium par l'aluminium qui est un desoxydant plus énergique pour obtenir ainsi l'acier calmé à l'aluminium.

Le calmage a pour but de débarrasser le métal de ses gaz. Alors on décapite les lingots avant le laminage afin d'éliminer toute la zone défectueuse et impure.

Les aciers calmés à l'aluminium sont par conséquent plus coûteux, mais ils ont l'avantage d'être plus purs, mieux dégazés afin de pouvoir acquérir une structure micrographique plus fine. Si jamais, le siderurgiste ne prend pas de précautions particulières contre les gaz, c'est à dire s'il ne calme pas l'acier, la solidification du lingot s'accomplit d'une manière agitée et l'acier est dit "Effervescent". A l'intérieur du lingot, il naît un grand nombre de cavités autour desquelles s'assemblent les impuretés.

L'acier effervescent est généralement réservé à la fabrication des tôles minces en acier très doux. Pour les grands constructions soudées, on emploie largement les aciers communs, généralement doux avec une proportion de carbone inférieur à 30 %, calmé au silicium ou à l'Aluminium.

Dans la désignation de l'acier utilisé c'est à dire l'acier "courant au carbone", on considère deux cas:

a) Aucune caractéristique mécanique ou chimique n'est exigée: c'est l'acier (ADx) doux de commerce, suffisant pour de nombreuses applications.

b) On exige une charge minimale de rupture à la traction  $R_r$ ; l'acier se désigne alors par la lettre A suivie de la charge minimale de rupture à la traction  $R_r$  en  $\text{daN/mm}^2$ . Cette charge minimale varie suivant les nuances de 33 à  $95 \text{ daN/mm}^2$  (voir tableau (2)).

Ces nuances peuvent être éventuellement différenciée par:

- un indice de qualité: 1; 2; 3; 4 qui caractérise une valeur déterminée de l'expression  $N = R_r + 2,5 A \%$

où A % désigne l'allongement.

- Un indice de pureté chimique: a; b; c; d; e; f... qui caractérise les teneurs maximales en phosphore et soufre. Cet indice varie avec ces deux éléments suivant le tableau (1) qui suit:

Tableau n°1 donnant l'indice de pureté chimique

Indice	Phosphore(%) max	Soufre (%) max	P+S (%) max
a	0,09	0,065	0,140
b	0,08	0,06	0,120
c	0,06	0,05	0,100
d	0,05	0,05	0,090
e	0,04	0,04	0,070
f	0,04	0,035	0,065
g	0,035	0,035	0,060
h	0,030	0,025	0,055
k	0,02	0,025	0,045
m	0,02	0,15	0,035

- L'indice de pureté est parfois remplacé par la lettre S indiquant que l'acier est soudable, éventuellement une lettre r indiquant que le métal a été recuit .

- Un indice d'utilisation dans certains cas spéciaux comme pour les tôles.

T: Tôle de construction

C: Tôle de chaudière

N: Tôle de coques

Exemple de désignation: A 33 T 2 d S

c'est une tôle d'acier courant dont la charge  $R_r$  est de 33 daN/mm<sup>2</sup> , de qualité n° 2, d'indice de pureté d , soudée.

Pour les constructions exploitées dans des conditions dures et soumise à des charges considérables comme se fût le cas des tambours de treuils, il faut utiliser un acier de classe 3. En effet on opte pour un acier A 42 T e S dans notre étude.

A: 42 daN/mm<sup>2</sup>

T: acier de construction

3: N° de qualité

e: indice de pureté

S: acier soudable.

La composition de cet acier sera alors:

C: (0,14 + 0,22) %

Mn: (0,40 + 0,65) %

C : Inférieur à 0,05 %

P : Inférieur à 0,05 %

Les caractéristiques mécanique de cet acier sont:

$R_r = 42 \text{ daN/mm}^2$  (résistance à la rupture )

$E = 25 \text{ Kg/mm}^2$  (limite d'élasticité)

A = 26 % (allongement relatif )

$k_r = 8 \text{ Kg/m}^2$  (résilience )

Suivant les normes soviétiques C H U M II - B3 - 62 on a un acier équivalent B CT 3 C M i

TABLEAU N° II

NUANCES	$R_r$ (daN/mm <sup>2</sup> )		indice de qualité minimum de $N = R_r + 2,5 A$			
	Mini	Maxi	Qualité n° 1	Qualité n°2	Qualité n°3	Qualité n° 4
A 33	33	40	98	II0	II6	II1
A 37	37	44	96	I08	II4	II9
A 42	42	50	94	I06	II2	II6
A 48	48	56	94	I06	II2	II6
A 56	56	65	94	I06	II2	II6
A 65	65	75	98	I08	II4	II8
A 75	75	86	-	I08	II4	II9
A 85	85	95	-	II0	-	-
A 95	95	I05	-	II0	-	-

TABLEAU N° III

Largueur (mm)	Sortes de tôles	largeur recommandée ( mm )	Epaisseur recommandée (mm)
200	Acier en bande	30 36 40 45 50 56	
		60 65 70 75 80 85	
		90 95 100 105 110	
		115 120 125 130 140	4 5 6 7 8 9 10
		150 160 170 180 190	11 12 14 16 18
		200	20 22 25 28 30
			32 36 40 45 50
200 - 1050	Acier Uni- versel de large bande	220 250 280 300 320	56 60
		340 360 380 400 420	
		450 500 530 560 600	
		630 650 670 710 750	
		800 850 900 950	
		1000 1050	
plus de 1050	Acier de grand Epaisseur	1400 1500 1600 1700	
		1800 1900 2000 2100	
		2200 2300 2400	

Dans notre étude on doit choisir deux (02) sortes de tôles dont les dimensions sont ci-dessous:

25 X 1400 X 8000

25 X 800 X 8000

### III. 2 SODABILITE:

Généralement, un matériau est soudable s'il est apte à être assemblé de manière à former une continuité de matière entre les bords à souder, et à condition que:

- Les ~~metaux~~ ~~ou~~ alliages aient les propriétés requises pour satisfaire à leur liaison, compte tenu des transformations thermiques, physiques et mécaniques qu'ils subissent au cours de soudage.

- La soudure obtenue soit saine et possède des caractéristiques mécaniques souhaités.

- L'ensemble soudé réponde aux exigences de sa tenue en service, compte tenu de sa forme, de ses dimensions etc...  
Ces trois conditions définissent les différentes formes de soudabilité qui sont les suivantes:

#### -a) Soudabilité opératoire:

Elle étudie les conditions de réalisation des assemblages par fusion ou par tout autre procédé.

La soudabilité opératoire d'un matériau peut être meilleure compte tenu de la méthode d'exécution employé.

#### -b) Soudabilité globale ou constructive:

Pour satisfaire au condition de la soudabilité globale, il faut que le soudage et l'ensemble soudé résistent aux tensions créés par le cycle thermique qui a lieu pendant l'opération de soudage et aux tensions résiduelles. En effet c'est le choix judicieux des éléments constitutifs du joint et de la pièce elle même qui permet de favoriser la soudabilité globale.

#### -c) Soudabilité métallurgique ou locale:

A la base de toute soudabilité on trouve la température de fusion, car il ne peut y avoir soudage que si la source calorifique permet de fournir une puissance de chauffage suffisante pour fondre les pièces. Compte tenu de la nature des métaux ou de la composition des alliages, la soudabilité est plus ou moins sûre; ainsi que pour les pièces ordinaires, on peut dire qu'il y a trois éléments de la composition ou impuretés qui sont néfastes .

Il s'agit donc des :

- sulfures ou dérivés de soufre
- Phosphures ou dérivés de phosphore
- Nitrure ou composés de fer et de carbone.

Pour des teneurs en soufre et phosphore inférieur à 0,35 % on peut admettre que la soudabilité varie en sens inverse de la teneur en carbone (voir graphe Fig 1)

### III 2.1 CALCUL DE LA SOUDABILITE:

La soudabilité d'un métal est donnée par la formule empirique suivante:

$$(1^{\circ}) \quad C_e = C\% + \frac{1}{9}(\text{Mn}\% + \text{Cr}\%) + \frac{1}{18} \text{Ni}\% + \frac{1}{13} \text{Mo}\% .$$

avec:

$C_e$ : Carbone équivalente

$C\%$ : Pourcentage de carbone dans le métal

$\text{Mn}\%$ : Pourcentage de manganèse dans le métal

$\text{Cr}\%$ : Pourcentage de chrome dans le métal.

$\text{Ni}\%$ : Pourcentage de Nickel dans le métal

$\text{Mo}\%$  Pourcentage de molybdène dans le métal

On détermine ensuite la valeur donnée par l'expression ci-dessous:

$$(2^{\circ}) \quad C'_e = 0,005 \delta C_e$$

avec:

$\delta$ : Epaisseur de la tôle à souder

Si on a:

$$(3^{\circ}) \quad C_e + C'_e \leq 0,25 \quad \text{alors la soudabilité est bonne}$$

$$C_e + C'_e > 0,25 \quad \text{alors on procède à un préchauffage du métal}$$

Pour cela la température de préchauffage est donnée par la relation suivante:

$$(4^{\circ}) \quad T_{\text{préch.}} = 350 \sqrt{C_e + C'_e - 0,25} \quad (26)$$



### APPLICATION NUMERIQUE:

Le métal de base qu'on a choisit dans notre projet est A 42 T e S dont la composition chimique est comme on l'a déjà signalé auparavant:

C: (0,14 + 0,22) %

Mn: (0,40 + 0,65) %

S: inférieur à 0,05 %

P: inférieur à 0,05 %

En vérifiant la formule (1) on aura:

$$C_e = 0,14 + \frac{7}{9} \cdot 0,40 = 0,184$$

D'autre part on sait que l'épaisseur  $\delta = 25$  mm.  
d'où la relation (2) nous donne:

$$C'_e = 0,005 \cdot 25 \cdot 0,184 = 0,023$$

En remplaçant dans la relation (3) on aura:

$$C_e + C'_e = 0,184 + 0,023 = 0,207$$

on a bien 0,207 inférieur à 0,25

donc on peut affirmer d'après ce résultat que le métal choisi est soudable.

### III. 3 ETUDE METALLURGIQUE:

#### III. 3.1 Examen de la section d'un cordon de soudure: (Fig.2)

Dans la section du cordon on distingue différentes zones caractéristiques qui sont:

- La zone fondue où le métal a été liquifié.
- Au delà, la zone thermiquement affectée où le métal n'a pas fondu mais, sous l'effet de la chaleur, sa structure est modifiée: recristallisation, grossissement des grains etc...

① Zone fondue.

② Zone de fusion.

③ Zone de transformation

④ métallurgique.

Liquide

Liquide + Solide

Solide

Solide

(22)



L'étendue de cette zone est d'autant plus grande que la température atteinte est plus élevée et que le maintien à cette température s'est fait pendant un temps plus long. Cette zone est elle-même fort hétérogène, la loi de refroidissement n'étant plus la même en toute son étendue, et la distance de chacun de ses points à la zone fondue étant évidemment le principal facteur.

- Entre ces deux zones occupant toujours un certain volume, la zone de liaison. Dans le cas d'un métal pur, c'est une simple surface où les structures cristallines du métal fondu ou non, se raccordent.

### III.3.2 Solidification du cordon:

La solidification de la zone fondue lui donne une structure dendritique dans laquelle les grains, naissant à la périphérie, s'allongent vers le centre, dans le sens du refroidissement. D'autre part les joints de grains du métal fondu tendent, à travers la zone de liaison à se raccorder à ceux du métal de base. Ceci est vrai pour un point de soudure; mais pour un cordon, il faut tenir compte du déplacement de la source du chaleur. Les grains prennent toujours naissance perpendiculairement à la zone de liaison, mais ils s'incurvent ensuite dans le sens de progression de la soudure. Cet allongement des grains dans le sens de la soudure est d'autant plus accentué que le procédé est plus lent.-

### III.4 CONTROLE DU METAL DE BASE:

Les aciers laminés doivent en principe faire l'objet d'un contrôle préalable avant leur utilisation. Ainsi, on devra déterminer la composition chimique, la structure physique (finesse et homogénéité du grain), ainsi qu'on doit procéder à des essais de qualification et ceci afin d'éliminer dès l'origine un grand nombre de causes d'insuccès possibles. En effet, la présence des impuretés dans le métal à la fin de la solidification et l'inclusion des éléments non métalliques dans l'acier font baisser la qualité.-

Suite aux traitements que peut subir le métal afin de le transformer de lingot en éléments directement utilisables pour les constructions, résultent des défauts qui sont les suivants:

- L'écrouissage qui est un phénomène de durcissement local du métal quand celui-ci n'a pas eu de chauffage nécessaire lors du laminage.

- Les repliures qui sont des défauts de surface provoqués généralement quand le métal a été recouvert mais non soudé à la masse.

- Les doublures qui se présentent sous forme de feuilletages du métal provoqués par les retassures dans la tête du lingot.

- Les ségrégations qui sont conditionnés par la concentration des impuretés.

- Les souffures dans les lingots d'aciers dus à la diminution de la solubilité des gaz lors de la transition du métal de l'état liquide à l'état solide.

Il convient aussi de signaler les criques qui se forment par suite du refroidissement irrégulier des différentes parties du lingot.-

Pour nous, on suppose dans cette étude que le fournisseur a tenu compte de tous les caractéristiques du métal qu'il nous a livré et que le contrôle est fait d'une façon judicieuse.-

- 20 -

IV CHOIX DU PROCÉDE DE SOUDAGE ET  
DU MATERIAU DE SOUDAGE

IV.1 CHOIX DU PROCÉDE DE SOUDAGE:

IV.1.1 Procédé de soudage à l'arc électrique:

Le soudage à l'arc électrique est le procédé de soudage autogène par fusion dans lequel l'arc électrique est utilisé comme source calorifique, pour provoquer la fusion simultanée des bords à souder et, le cas échéant, d'un métal d'apport. Cette méthode de soudage est à l'heure actuelle le procédé industriel le plus répandu pour l'assemblage des aciers et la plus part des métaux et leurs alliages.-

IV.1.2 Choix du courant:

On peut souder à l'arc électrique en utilisant le courant continu ou le courant alternatif mais ce choix dépend du métal à souder et de la nature des électrodes et dans une moindre mesure de l'épaisseur de la tôle.

En effet, l'utilisation du courant continu peut être considérée généralement comme préférable, en raison de la parfaite stabilité de l'arc ainsi que la possibilité d'utiliser les polarités directes et inverses pour le contrôle de la température de l'échauffement. Toutefois, malgré les avantages que présente le soudage à courant continu, on préfère tout de même utiliser le courant alternatif.

Ceci s'explique par le fait qu'à l'heure actuelle tous les ateliers sont de plus en plus souvent alimentés en courant alternatif, de plus l'appareillage du 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 mobiles.

Le rendement des transformateurs de soudage à courant alternatif est de 0,8 + 0,85, alors que celui à courant continu est de 0,3 + 0,6.-

L'inconvénient que présente le soudage au courant alternatif est le coefficient de puissance ( $\cos \phi$ ) relativement bas (0,3 + 0,4) du poste de soudage.-



- Les valeurs entre parenthèse représentent les diamètres peut courant en soudure manuelle.

Les enrobages ont une composition chimique très complexe, ce sont des mélanges de matières organiques et de matières minérales. Chaque corps joue un rôle déterminé soit pendant la fusion, soit pendant la solidification.

En définitive l'enrobage remplit à la fois des fonctions électrique, physique et métallurgique.

- Electrique: C'est un isolant et il permet la facilité de l'amorçage de l'arc et le rend stable, tout en permettant aussi l'utilisation du courant alternatif qui existe actuellement dans les ateliers industriels.

- Physique: Il sert d'appuit et permet le guidage de l'arc et modifié les tensions superficielles du métal fondu.

- Métallurgique: L'enrobage épure le bain, et le laitier formé par la fusion de l'enrobage agit, soit en protégeant le métal liquide du contact de l'acier, soit en dégageant des gaz réducteurs.

#### IV.2.1.2 Types d'enrobages:

-a) Enrobage oxydants: Ils sont essentiellement formés d'oxyde de fer et de manganèse.

Le maniement d'un électrode est extrêmement faciliter grâce à la fluidité du bain et à la stabilité élevée de l'arc, qui peut fonctionner soit en courant continu comme en Alterné.

La position du soudage est cependant limitée à plat car elle se présente sous un meilleur aspect. La résistance du dépôt est appréciable, mais les propriétés mécaniques sont insuffisantes. Ce type d'enrobage est pratiquement appliqué aux électrodes pour aciers communs.

-b) Enrobages au rutile: Ils sont formés principalement d'oxyde de titane, ce qui rend l'électrode beaucoup plus maniable dans toutes les positions et permet d'enlever facilement les scories (matières vitreuses). On a une excellente stabilité de l'arc qui peut être alimenté en continu comme en alternatif. On trouve ce type d'enrobage:

-1) dans les électrodes pour aciers au carbone qui permettent d'obtenir de bonnes propriétés mécaniques.

-2) Dans les électrodes pour aciers inoxydables austénitiques, ce qui permet de maintenir la facilité d'exécution sans craindre les risques d'hydrogène pour lesquelles les aciers se révèlent insensibles.

-c) Enrobages acides: Ils sont principalement formés d'oxydes de fer intégrés d'alliage (fer - manganèse, et fer silicium). Les caractéristiques d'emploi de ces électrodes sont semblables à celles décrites pour enrobages au rutile.

En effet, la maniabilité et la stabilité de l'arc sont bonnes. Il est possible de souder dans toutes positions.

En général ce genre d'enrobage est réservé aux électrodes pour la soudure des aciers au carbone, car il permet d'obtenir des propriétés mécaniques supérieures à celles qu'on obtiendrait avec les électrodes aux rutilés.

-d) Enrobages cellulosiques: Ils sont formés à partir de corps organiques qui, en partie se volatilisent sans l'action de l'arc.

Généralement elles demandent à être alimentées par le courant continu, mais certaines sont en mesure de fonctionner avec l'alternatif.

Les enrobages cellulosiques sont pratiquement adoptés dans les électrodes pour acier au carbone de résistances normale et moyenne (non supérieur à  $52 \text{ Kg/mm}^2$ ) et pour acier à alliages faibles au molybdène (0,5% de Mo).

De toute façon leurs propriétés mécaniques se révèlent excellentes.

Ils sont exclus pour la soudure d'aciers à alliages plus forts (Cr - Mo) à cause du danger de criques à hydrogène, aciers plus appréciés à cause de leur endurance.

#### IV.2.1.3 Normalisation des électrodes:

Les électrodes sont désignés par une lettre majuscule E suivie:

-a) d'un chiffre variant de 0 à 6 indiquant sa résistance à la rupture  $R_r$  .

b) d'un chiffre variant de 1 à 5 indiquant l'allongement en pourcent A % .

-c) d'un chiffre variant de 1 à 5 indiquant la résilience K

Chiffre	$R_r$ (daN/mm <sup>2</sup> )	A (%)	K (daNm/cm <sup>2</sup> )
0	36	-	-
1	41	14	5
2	44	18	7
3	48	22	9
4	52	26	11
5	56	30	13
6	60	-	-

-d)- d'une lettre indiquant la nature de l'enrobage:

O: Oxydant; A: acide; R: rutile; B: basique;

Ø: Cellulosique; W: divers.

-e)- d'un chiffre de 1 à 4 indiquant les positions de soudage possible.

1: toute position

2: Toute position exceptée en position verticale par la méthode descendante.

3: à plat en gouttière à angle plat.

4: à plat en gouttières.

-f) d'un chiffre de 1 à 9 indiquant le mode d'alimentation électrique.

Chiffre	Courant continu Polarité	Courant alternatif tension à vide
1	non spécifié	50
2	-	50
3	+	50
4	non spécifié	70
5	-	70
6	+	70
7	non spécifié	90
8	-	90
9	+	90

Le signe (+) indique que la pièce à souder est positive (polarité directe),

le signe (-) indique que la pièce à souder est négative (polarité inverse).-

CLASSIFICATION DES ENROBAGES

Classe N°	TYPE	Composition chimique globale	Affinité	Pouvoir	Compor- tement
1	minerai de fer sans ferro-allia- ges	Minérale	Faiblement basique	oxydant	Fusible
2	minerai de fer avec ferro- alliages	Minérale	acide	neutre	Fusible
3	Rutile	Minérale	fortement acide	Réducteur	Fusible
3 a	Rutile chaux	Minérale	Acide	Réducteur	Fusible
4	Cellulose	Semi- organique	Acide	Réducteur	Semi- volatil
5	chaux (basique)	Minérale	Fortement basique	Réducteur	Refractaire
6	Poudre de fer	Semi-organi- que ou Minérale	Variable	Réducteur	Fusible ou semi-vola- til

Caractéristiques d'utilisation des différentes  
Classes d'enrobages

Classe N°	Type	a) Nature du courant	b) Positio	c) intensité p/Diamètre					d) arc	
				Min	2,5	3,2	4	5		6
1	minerai de fer sans ferro alliage	= + -	P	Min	60	100	135	175	225	très facile
				Max	90	140	175	200	270	trainant
2	Minerai de fer avec ferro alliage	= + -	P(H,V <sub>m</sub> )	Min	-	100	120	180	225	très facile
				Max	-	140	180	270	360	trainant
3	Rutile	= + -	P,H,V, O pour Ø 5mm	Min	40	80	120	150	190	très facile
				Max	90	130	180	260	350	trainant
3a	Rutile chaux	= + -	P ; H V ; O	Min	40	70	120	150	185	Très facile
				Max	90	120	170	250	275	Trainant
4	Cellulose	= +95V -	P , H V , O	Min	30	80	120	150	185	assez facile
				Max	85	120	160	250	270	
5	chaux ( basique)	= +95V -	P , H V , O	Min	65	100	140	200	240	moins facile
				Max	90	140	180	250	300	
6	Poudre de fer semi- vôlatil	= 70V -	P , H V <sub>d</sub> , O	Min	80	140	180	240	280	très facile
				Max	120	165	220	290	375	Trainant
	Poudre de fer fusib	= - -	P	Min	-	-	190	250	335	très facile
				Max	-	-	270	350	450	Trainant

Suite du tableau précédent

class No	Type	e)laitier	f) Pénétra- tion	g) du cordon	h) aspc d'cor don	i) fumées	j) qualité rayonX
1	minerai de fer sans ferro-All.	abondant lourd se détachant seul	faible	conca- ve	très lisses	faible	médéo- cre
2	minerai de fer avec ferro-All.	abondant bour- soufflé facile à enlever	Forte	conca- ve	très lisses	moyennes inoffen- sive	excel- lente
3	Rutile	Moyen, lourd assez visque facil à enlever	moyenne	conve- xe	lisse	assez faible	médéo- cre
3a	Rutile chaux	fluide moyen lour. facil. à enlever	moyenne	conve- xe	lisse	assez faible	assez bonne
4	cellulose	Mince, léger se figeant rapidement	forte	phatà convx	ru- gueux	Abon- dantes inof.	Excel- lente
5	chaux (basique)	Moyen, brun brillant peu couvrant	Forte	plat à conv	assez lisse	moyenne nocives	bonne
6	Pou- dr de	Semi- vola- til facile à enlever	très forte	plat	assez lisse	aban- dante	bonne
	Fer	Fusi- ble abondant facile à enlever	très forte	plat	assez lisse	Moyenne	bonne

ABREVIATION:

= courant continu

+ électrode au pôle positif

± électrode au pôle positif ou négatif

~ Courant alternatif.

P: Soudage à plat

H: Soudage de cordon d'angles horizontaux

V: Soudage vertical

V<sub>m</sub>: Soudage vertical en montant

V<sub>d</sub>: Soudage vertical en descendant

O: Soudage au plafond.

Les lettres soulignées signifient les électrodes conviennent bien  
Les lettres entre parenthèses: signifient que les électrodes  
ne conviennent pas toujours.

La mention "trainant" signifie que l'on peut utiliser la méthode  
de soudage automatique et manuelle.-

#### IV.2.2 Soudure automatique à arc submergé:

##### IV.2.2.1 Principe opératoire:

Le soudage à arc submergé s'effectue en faisant jaillir un arc entre un fil (qui représente l'électrode) et le métal de base, à l'intérieur d'une enveloppe de substances opportunes sous forme de poudre, appelé flux qui recouvre complètement le bain de soudage et l'extrémité du fil électrode.

C'est parce que l'arc jaillit à l'intérieur d'une enveloppe de flux et qu'il n'est pas visible que s'explique l'expression "à arc submergé" donné à ce procédé, de soudure.

La chaleur développée par l'arc porte à l'état de fusion aussi bien pour le métal de base que l'électrode qui rejoint le premier sous forme de gouttes successives, en donnant lieu au mélange des deux métaux liquides appelé bain de fusion.

Un des avantages du procédé est l'utilisation possible de fortes intensités puisque l'arc est complètement couvert. L'intensité élevée permet d'avoir une forte pénétration et le procédé à un rendement thermique important parce que l'arc est en grande partie au dessous de la surface de la tôle.

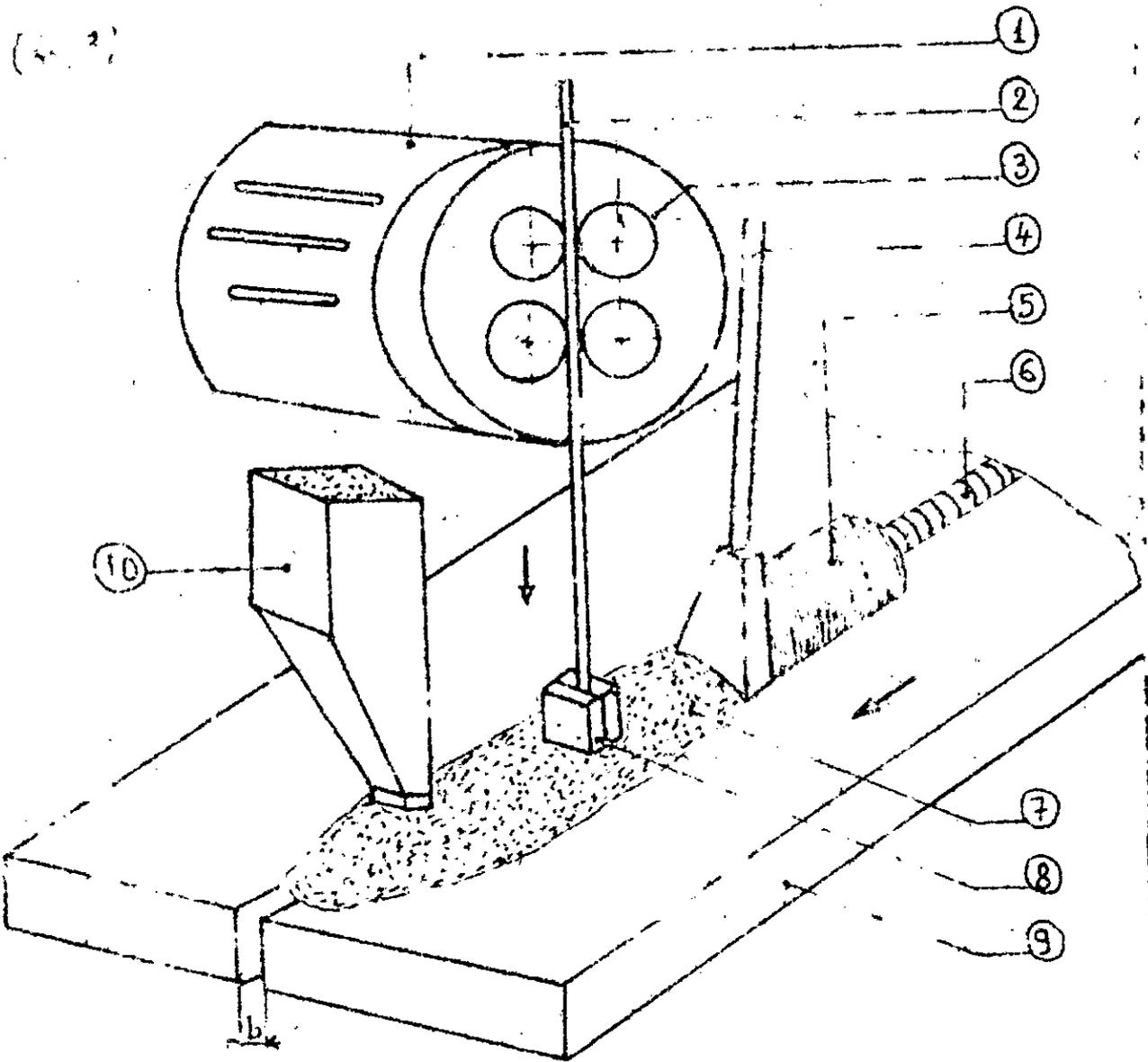
Aussi, les précautions qu'on doit prendre en utilisant un procédé à arc visible pour éviter la lumière intense, en particulier, en infrarouge ou ultraviolet, ne sont pas nécessaires car en soudage automatique sous flux, l'arc n'est pas visible comme on l'a déjà signalé.

En revanche, cela présente pour l'opérateur l'inconvénient de ne pas pouvoir observer le bain de soudage et juger comment se fait la fusion. De l'avis des utilisations du procédé de soudage automatique sous flux, le fait de ne pas voir le bain de soudage est un inconvénient plus psychologique que pratique.

##### IV.2.2.2 Les Fils:

En soudage automatique sous flux, les fils sont utilisés en bobines. Ils se présentent en général enrobés par une couche très mince de cuivre appliqué pour les protéger de l'oxydation et pour faciliter le passage du courant.-

Shéma du procédé de soudage automatique  
à l'arc sur orge.



- |                                   |                                    |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| (1) : moteur                      | (6) : ordon                        |
| (2) : tige électrode              | (7) : flux                         |
| (3) : guide d'entraînement        | (8) : glissière à l'axe du courant |
| (4) : Aspirateur de flux en excès | (9) : car                          |
| (5) : Prêtier                     | (10) : réservoir pour le flux.     |



Ce fait est important, étant donné les courants élevés qui sont utilisés et le contact glissant que l'on doit adopter à cause du mouvement du fil.

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

Des diamètres différents sont disponibles; les plus employés correspondent à 3,2 - 4 - 5 - 6 mm.

Il existe des fils de composition correspondant à celle des aciers de construction les plus importants, c'est à dire:

- a) des fils pour aciers au carbone
- b) des fils pour aciers inoxydables au chrome - Nickel
- c) des fils pour aciers au molybdène et chrome - molybdène.
- d) des fils pour aciers au nickel.
- e) des fils pour des applications particulières, où sont demandées des duretés élevées (rechargement anti-usure).

Il faut aussi mentionner les fils au carbone qui se distinguent par leur teneur en manganèse. Ce dernier peut varier de 0,5 à 2 % en modifiant de façon correspondante la composition du dépôt, qui de toute façon dépend aussi du flux particulier utilisé.

#### IV.2.2.3 Flux:

Dans ce procédé qu'est le soudage automatique, les flux utilisés sont constitués d'un mélange granuleux, d'aspect brillant ou opaque suivant le procédé de travail utilisé pour leur fabrication. Le comportement du flux dépend de sa composition chimique et de sa granulométrie.

On signale que le rôle du flux dont les différentes fonctions rappelle celles de l'enrobage des électrodes .

En effet le flux doit:

- 1) garantir la protection et le fonctionnement régulier de l'arc.

En général tous les flux permettent aussi le soudage avec le courant alternatif.

-2) Rendre possible les conditions de travail prévues:

Les caractéristiques du flux définissent le courant maximum utilisable, sans lequel on constaterait des bouillonnements qui faciliteraient l'entrée d'air et par suite la formation de défaut. Ceci dit qu'il existe des flux propres pour la soudure avec des courants élevés et des flux pour des courants faibles.

-3) Transférer, quand cela est requis des éléments déterminés dans le bain de fusion:

Cette propriété est liée à la présence de substances appelées alliages de fer qui contiennent des éléments à transférer dans le bain de fusion.

Durant le processus du soudage à arc submergé une partie du flux fond pour recouvrir le bain et les particulièrement quittant l'électrode, ce qui donne lieu à des réactions chimiques entre le métal et le flux.

La quantité des flux consommée durant le soudage est à peu près pareille à celle du fil.

La partie du flux qui n'est pas fondue peut être utilisée de nouveau. Cela n'est pas possible pour la partie qui fond et se transforme en laitier à la surface du dépôt.

Le plus souvent, on utilise le flux n° 20 qui donne un laitier très fluide et facilement détachable après solidification. Ce flux favorise l'apport du silicium qui permet une action désoxydante importante pour empêcher la porosité.

D'autre part, il résulte une augmentation de la teneur en silicium de la soudure qui peut être néfaste aux propriétés mécaniques et provoquer des fissures en soudage multipasses.

En effet, le tableau qui suit nous donne une idée sur les propriétés approximatives des principaux constituants de flux courants.-

TABLEAU DONNANT UN EXEMPLE DE  
COMPOSITION DE FLUX, DU FIL ET DE METAL  
EN SOUDAGE AUTOMATIQUE SOUS FLUX

Type de flux.....	50 (%)	80 (%)	70 (%)	20 (%)
CaO.....	5	24	28	27
CaF <sub>2</sub> .....	5	5	-	-
MgO.....	-	12	6,5	7,5
SiO <sub>2</sub> .....	41	38	48	53
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	2,5	13	5	5
MnO.....	0,75	7,5	10	-
MnO <sub>2</sub> .....	39	-	-	-
<u>Métal fondu:</u>				
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
<u>Fil:</u>				
C.....	0,12			
Mn.....	1,80			
Si.....	0,15			

DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES MECANQUES DU METAL D'APPORT

D'après l'acier qu'on a choisit on opte pour des fils électrodes du type CB 08 TA (norme soviétique) dont la composition chimique est donnée par les tableaux ci-dessous:

Type	C moins de	Mn	Si moins de	Cr moins de	Ni moins de	Mo	Ti, V	S	P
								moins de	
CB 08 TA	0,10	0,60 0,80 1,10	0,03	0,10	0,25	-	-	0,025	0,030

Résistance à la limite de rupture  $R_r$

Elle est donnée par la formule empirique suivante:

$$(1^{\circ}) R_r = 4,8 + 50 C + 25,2Mn + 17,5Si + 23,9Cr + 7,7Ni + 8W + 70Ti + 17,6Cu + 29 Al + 16,8Mo$$

A.N: En prenant les valeurs données par le tableau ci-dessus et en les remplaçant dans la formule (1<sup>o</sup>) on aura :

$$R_r = 4,8 + 50 \times 0,10 + 25,2 \times 1,10 + 17,5 \times 0,03 + 23,9 \times 0,10 + 7,7 \times 0,25 = 42,36 \text{ Kg/mm}^2 \text{ soit environ } 42 \text{ Kgs/mm}^2$$

Allongement relatif à (%) Il est donné par:

$$(2^{\circ}) A\% = 50,4 - \sqrt{21,8C + 15Mn + 49Si + 2,4Ni + 5,8Cr + 6,2Cu + 2,2W + 6,6Ti} + 17Al + 2,7Mo$$

A.N: En prenant les valeurs données par le tableau ci-dessus et les remplaçant dans la formule (2<sup>o</sup>)

$$A\% = 50,4 - \sqrt{21,8 \times 0,10 + 15 \times 1,10 + 49 \times 0,03 + 2,4 \times 0,25 + 5,8 \times 0,10} = 29,07 \% \text{ soit environ } 29 \% .-$$

Résilience: K à 20° C

Elle est donnée par la formule empirique suivante

$$(3^{\circ}) \quad K = 23,3 - \left[ 25,7C + 6,4Mn + 8,4Si + 2,4Cr + 1,6Ni + 4Cu + 0,5W + 1,4Mo + 15,4Ti \right] + 18Al$$

A.N En remplaçant les valeurs données par le tableau qui se trouve sur la page précédente, dans la formule (3°) on aura :

$$K = 23,3 - \left[ 25,7 \times 0,10 + 6,4 \times 1,10 + 8,4 \times 0,03 + 2,4 \times 0,10 + 1,6 \times 0,25 \right] = 12,59 \text{ Kg/m}^2 \text{ soit environ } 13 \text{ Kg/m}^2$$

d'après ces résultats on en conclut que le choix des fils-~~et~~ électrodes est convenable .-

## V - CALCUL DU REGIME DE SOUDAGE

### V.1 SOUDAGE MANUEL

Dans notre étude, on envisage ce type de soudage seulement pour le pointage.

#### V.1.1 Choix du diamètre de l'électrode:

Ce choix se fait en fonction de l'épaisseur de la tôle pour le soudage "bout à bout" et aussi en fonction de la cathète pour le soudage "en angle".

Pour notre cas on doit faire un choix arbitraire, vu qu'on a seulement affaire de pointage.

Pour cela on choisit  $d_e = 5 \text{ mm}$ .

#### V.1.2 Courant du soudage:

Il est donnée par la formule suivante:

$$I_s = K_1 \cdot d_e \quad (1)$$

avec:

$d_e$ : diamètre d'électrode

$K_1$ : coefficient choisi d'après le tableau ci-

dessous.

$d_e$ (mm)	2	3	4	5	6
$K_1$ (A/mm)	25 + 30	30 + 45	35 + 50	40 + 55	45 + 60

Soit pour:

$$d_e = 5 \text{ mm} \quad ; \quad K_1 = 40 \text{ A/mm}$$

d'où on aura:

$$I_s = 40 \times 5 = 200 \text{ Ampères.}$$

### V - 1.3 Voltage:

Il est donné par la relation (2)

$$U_s = 20 + \frac{50 \times 10^{-3}}{d_e^{0,5}} \times I_s \pm 1$$
$$= 20 + \frac{50 \times 10^{-3}}{5^{0,5}} \times 200 \pm 1 = 25,47 \text{ Volts soit environ } 26 \text{ Vts}$$

### V.1.4 Choix de l'enrobage:

Notre choix est porté sur un enrobage au rutile car, causé il n'y a pas de dégagement gazeux pendant le refroidissement et vu, que les électrodes à enrobage de rutile sont d'un emploi général et sans exigence particulière sur la préparation du joint. De plus, les électrodes rutile ont:

- Une excellente maniabilité en toutes positions.
- Un amorçage et réamorçage facile.
- Un dépôt de bel aspect.

### V.2 SOUDAGE AUTOMATIQUE:

Généralement le soudage automatique sans flux solide s'exécute avec un régime forcé (forte intensité).

On peut souder sans chanfreinage sur une épaisseur inférieure à 40 mm puisque le métal utilisé est de l'acier "ordinaire".

En conséquence, l'exécution des chanfreins est facultatif, vu que pour cette catégorie d'acier on ne peut pas craindre des affections thermiques sur le métal de base ce qui laisse dire qu'on n'est pas limité par le processus métallurgique dans les zones thermiquement affectées.

On signale aussi qu'on doit faire un revenu après le soudage et cela afin de diminuer les tensions résiduelles.

Les paramètres principaux du régime de soudage sous flux solide exerçant une influence importante sur les dimensions et forme du cordon sont:

- 1) l'intensité du courant de soudage
- 2) la densité du courant en électrode
- 3) le voltage de l'arc
- 4) La vitesse de soudage
- 5) La nature du courant de soudage, sa polarité, etc...
- 6) La composition chimique du flux.

Il faut choisir les paramètres du régime qui assurent l'obtention des cordons satisfaisants en forme, qualité et dimension. Dans notre cas on a un soudage "bout à bout" à plat sur une longueur de 1200 mm et un soudage en angle qui sert pour la fixation des deux jantes.

#### V.2.1. Calcul pour le cas du soudage rectiligne "bout à bout"

l'épaisseur de la tôle à souder est  $a = 25$  mm .

On fait un soudage sur les deux côtés et avec les mêmes profondeurs de pénétration. Pour cela on fait le calcul seulement pour un seul côté. ( de même pour l'autre côté)

##### V.2.1.1 Pénétration nécessaire de la soudure:

Elle est donnée par la relation:

$$H_1 = \frac{a}{2} \quad (3) \quad \text{ou parfois, elle peut être choisie}$$

comme suit:  $H_1 = \frac{a}{2} \pm (2 + 3) \quad (3')$  ou  $a$  désigne l'épaisseur de la tôle.

Dans notre étude on choisit (3')

$$H_1 = \frac{a}{2} \pm (2 + 3) = \frac{25}{2} + 2,5 = 15 \text{ mm}$$

##### V.2.1.2 Intensité du courant de soudage:

L'intensité du courant de soudage qui assure la pénétration de la soudure est donnée par la formule suivante:

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

avec:

$H_1$ : Pénétration nécessaire de la soudure d'un côté (mm)

$k_j$ : Coefficient dont la valeur dépend des conditions de soudage et qui est donné d'après le tableau ci-dessous.

mode de soudage	diamètre de l'électrode (mm)	$k_j$		
		courant Alternatif	courant continu	
			polarit. Direct	Polar. Invers
sous 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	-	-
En atmosphère de CO <sub>2</sub>	1,2	-	-	2,10
	1,6	-	-	1,75
	2,0	-	-	1,55
	3,0	-	-	1,45
	4,0	-	-	1,35
	5,0	-	-	1,20

Le calcul approximatif du fil-électrode est donné par la formule suivante:

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

où:

$j$ : densité admissible du courant et est donnée en fonction de " $d_e$ " d'après le tableau ci-dessous.

$d_e$ (mm)	2	3	4	5	6
$j$ (A/mm <sup>2</sup> )	65 + 200	45 + 90	35 + 60	30 + 50	25 + 45

D'abord on fait un choix arbitraire sur le diamètre " $d_e$ " du fil électrode.

Dans notre cas on connaît que:  $H_1 = 15$  mm.

on choisit  $d_e = 6$  mm.

soit:  $k_j = 0,90$  mm/A.

$j = 30$  A/mm<sup>2</sup>.

d'où on aura:

$$I_s = \frac{H_1}{k_j} \times 100 = \frac{15}{0,90} \times 100 = 1667 \text{ Ampères.}$$

soit  $I_s = 1670$  Ampères.

On en déduit que le diamètre calculé du fil électrode est:

$$d'_e = 1,13 \sqrt{\frac{I_s}{j}} = 1,13 \sqrt{\frac{1670}{30}} = 8,43 \text{ mm.}$$

La condition pour cette valeur soit acceptée est que:

$$d'_e - d_e < 1 \text{ mm} \quad (6)$$

donc on voit la différence:

$$d'_e - d_e = 8,43 - 6 = 2,43 > 1 \text{ mm}$$

ne vérifie pas la condition (6).

Pour remédier ceci alors on a deux cas possibles à envisager

1<sup>o</sup>) Cas: on doit modifier la longueur libre du fil électrode.

2°) Cas: Choisir une tête de soudage sur laquelle on peut placer deux fils électrodes, en parallèle.

Notre choix est porté alors, sur le 2° cas .

Pour cela, l'intensité qui traverse chaque fil-électrode est:

$$I'_s = \frac{I_s}{2} = \frac{1670}{2} = 835 \text{ Ampères}$$

on vérifie le diamètre du fil-électrode qui sera:

$$"d'_e" = 1,13 \sqrt{\frac{I'_s}{j}} = 1,13 \sqrt{\frac{835}{30}} \cong 5,96 \text{ mm}$$

soit  $d'_e = 6 \text{ mm}$

on voit bien maintenant que la valeur du diamètre du fil-électrode choisi arbitrairement est parfaitement acceptable.

#### V.2.1.3 Voltage optimal:

Pour le diamètre des fils-électrodes et l'intensité du courant admis on détermine le voltage de l'arc électrique par la formule suivante:

$$U_s = 20 + \frac{50 \times 10^{-3}}{d_e^{0,5}} \times I'_s \pm 1 \quad (7)$$

$$U_s = 20 + \frac{50 \times 10^{-3}}{6^{0,5}} \times 835 \pm 1 = 38 \text{ Volts}$$

#### V.2.1.4 Vitesse du soudage:

Elle est donnée par l'expression ci-dessous:

$$V_s = A / I'_s \quad (8)$$

Les valeurs du coefficient A sont choisies en fonction du diamètre du fil-électrode " $d_e$ " d'après le tableau qui suit:

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

Soit:

$$d_e = 6 \text{ mm}$$

$$A = 25 \times 10^3 \text{ A.m/h}$$

$$I'_s = 835 \text{ Ampères}$$

d'où on aura:

$$V_s = \frac{A}{I'_s} = \frac{25 \times 10^3}{835} = 29,94 \text{ m/h}$$

$$\text{soit: } V_s = 30 \text{ m/h}$$

VI2:1.5 Energie courante  $q_c$

Elle est donnée par l'expression suivante;

$$q_c = \frac{I'_s \cdot U_s \cdot \eta}{V_s} \quad (9)$$

avec:

$$\eta = (0,8 + 0,9) \text{ coefficient de rendement thermique}$$

d'où:

$$q_c = \frac{835 \times 38 \times 0,8}{\frac{3000}{3600}} = 30460,79 \text{ J/cm.}$$

$$\text{soit: } q_c = 30461 \text{ J/cm.}$$

V.2.1.6 Dimensionnement du cordon:

a) Détermination du coefficient de forme de fusion:

On appelle "coefficient de forme de fusion" le rapport de la largeur  $e$  du cordon à la profondeur de fusion et on le note

par  $\gamma_f = \frac{e}{H}$

cette coefficient de forme de fusion est une fonction des paramètres  $U_s$  et  $I'_s$ .

$$\gamma_f = f ( U_s , I'_s )$$

Pour les divers diamètres de fil-électrodes le coefficient

$\gamma_f$  sera donnée par l'expression suivante:

$$\gamma_f = K' ( 19 - 0,01 I'_s ) \frac{d_e \cdot U_s}{I'_s} \quad (10)$$

avec:

$K'$  : coefficient dont la valeur dépend de la nature du courant et sa polarité à savoir:

$K' = 1$  : Pour le courant alternatif

$K' = 0,367 j^{0,1925}$  Pour le courant continu en polarité inverses si  $j < 120 \text{ A/mm}^2$

$K' = 2,82 / j^{0,1925}$  Pour le courant continu en polarité directe si  $j < 120 \text{ A/mm}^2$

Si  $j \geq 120 \text{ A/mm}^2$  alors on aura deux valeurs:

$K' = 0,92$ : pour le courant continu en polarité inverse.

$K' = 1,12$ : pour le courant continu en polarité directe.

APPLICATION NUMERIQUE:

on a  $K' = 1$  car le courant utilisé est alternatif.

d'où

$$= K' (19 - 0,01 I'_s) \frac{d_e \cdot U_s}{I'_s}$$
$$= 1 \times (19 - 0,01 \times 835) \times \frac{6 \times 38}{835} = 2,9$$

b) Détermination de la profondeur de fusion du métal:

Elle est donnée par l'expression ci-dessous:

$$H = A \sqrt{\frac{q_c}{\psi_f}} \quad (11)$$

Où:

$$A = 0,0156 \sqrt{\frac{q_c}{\psi_f}} \quad (11 \text{ bis})$$

soit avec:

$$q_c = 3046I \text{ J/cm}^2$$
$$\psi_f = 2,9$$

alors on aura:

$$H = 0,0156 \sqrt{\frac{3046I}{2,9}} = 1,59 \text{ cm}.$$

soit  $H = 16 \text{ mm}.$

c) la largeur du cordon "e":

$$e = \psi_f \cdot H = 2,9 \times 16 = 46,4 \text{ mm} \quad (12)$$

soit  $e = 47 \text{ mm}.$

d) Détermination de la hauteur de renforcement du cordon "g"

Pour les bords des tôles non chanfreinées "g" est donnée par l'expression

$$g = \frac{F_d}{0,73 e} \quad (13)$$

avec:

$F_d$  : l'aire de la section transversale du cordon

d'autre part l'aire de la section transversale est donnée généralement par:

$$F'_d = h^2 \cdot \text{tg} \alpha + b \cdot H + \frac{2}{3} g \left( 2h \cdot \text{tg} \frac{\alpha}{2} + b + 6 \right) \quad (\text{I4})$$

avec

$h$ : profondeur du chanfrein (cas des bords chanfreinés).

$\alpha$ : angle de chanfreinage.

$b$ : écart entre les parties à assembler

$H$ : profondeur de pénétration

$g$ : hauteur de renforcement du cordon.

Dans notre cas on a:

$$\alpha = 0 ; \quad b = 4 \text{ mm} ; \quad H = 15 \text{ mm}$$

ceci entraîne  $h^2 \cdot \text{tg} \alpha = 0$  et  $2h \cdot \text{tg} \frac{\alpha}{2} = 0$

donc l'expression (14) devient:

$$F_d = b \cdot H + \frac{2}{3} g ( b + 6 ) \quad (\text{I5})$$

Ensuite on tire des expressions (I3) et (I5):

$$F_d = \frac{b \cdot H}{1 - \frac{2(b+6)}{3 \times 0,73g}} \quad (\text{I6})$$

A. N. :

l'aire de la section transversale est :

$$F_d = \frac{4 \times 15}{1 - \frac{2(4+6)}{3 \times 0,73 \times 47}} = 74,47 \text{ mm}^2 \text{ soit } F_d = 75 \text{ mm}^2$$

Aussi, la valeur de la hauteur de renforcement du cordon " $g$ " sera:

$$g = \frac{F_d}{0,73e} = \frac{75}{0,73 \times 47} = 2,18 \text{ mm/} \text{ soit environ } g = 3 \text{ mm}$$

Les valeurs du coefficient de dépôt de métal au soudage " $\alpha_d$ " doivent être choisies graphiquement d'après le graphe (fig.5)

Dans notre cas on aura pour:

$$\left. \begin{array}{l} d_e = 6 \text{ mm} \\ \text{et } I'_s = 835 \text{ Ampères} \end{array} \right\} \Rightarrow \alpha_d = 13 \text{ g/A.h}$$

### V.2.1.7 Vitesse du déroulement du fil électrode:

La vitesse de déroulement du fil électrode est donnée par la formule suivante:

$$V_d = \frac{4 \cdot F_d \cdot V_s \cdot (f + 1)}{2 \cdot \pi \cdot d_e^2} \quad (I7)$$

Où

$F_d$  : aire de la section transversale

$V_s$  : vitesse de soudage.

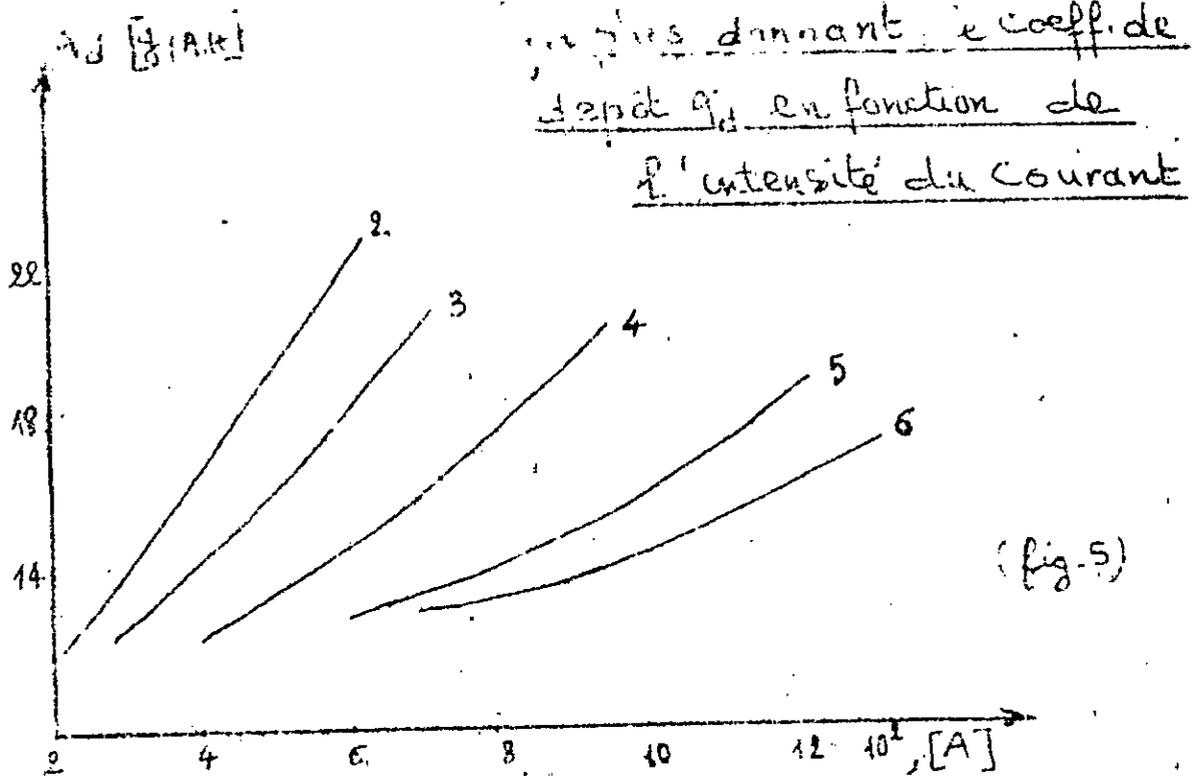
$d_e$  : diamètre du fil électrode

$f$  : Coefficient de pertes du métal d'apport

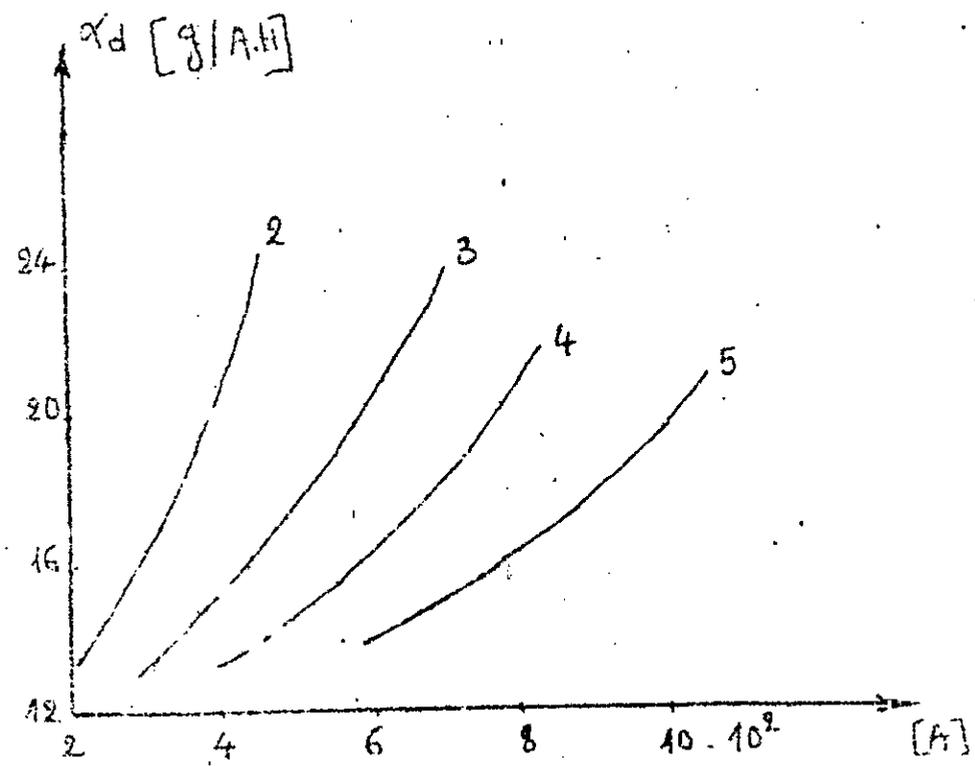
(rapport de quantité du métal perdu sous l'aspect d'éjectiles à la quantité totale du métal d'apport fondu.)

$$f = 0,05 .$$

$$V_d = \frac{4 \times 75 \times 10^{-6} \times 30 \times 1,05}{2 \pi \times 36 \times 10^{-6}} = 41 \text{ m/h}$$

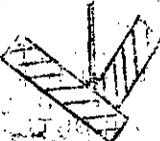


En Courant Alternatif



En Courant Continu

V.2.2 SOUDAGE EN ANGLE DES DEUX JANTES;

Epaisseur (mm)	soudage avec bords	Positions	diamètre du fil-électrode (mm)	intensité de soudage (A)	tension de l'arc (V)	vitesse de soudage (m/h)
5	sans-chanfreins		2	260-280	28-30	28-30
7	sans-chanfreins		3	500-530	30-32	44-46
8	sans-chanfreins		3	550-600	32-34	28-30
12	sans-chanfreins		4	600-650	32-34	18-20

Le tableau ci-dessus indique le régime de soudage qu'il faut adopter pour assurer la pénétration totale de la soudure en angle des tôles dont l'épaisseur allant jusqu'à 12 mm,

Dans notre étude on a une épaisseur de la tôle qui est supérieure à celle indiquée dans le tableau mais malgré cela on pourra utiliser un régime analogue à ce régime pour la soudure en angle car ce type de soudure doit assurer seulement la fixation des éléments (jantes) du tambour et ~~et~~ qu'on a pas besoin d'une pénétration totale vu que l'effort maximale que doit subir ces pièces est négligeables.

Les paramètres du régime seront choisies comme suit:

$$d_e = 5 \text{ mm}$$

$$I_s = 600 \text{ Ampères}$$

$$U_s = 32 \text{ Volts}$$

$$V_s = 35 \text{ m/h}$$

V.2.2.1 Forme du cordon: (Fig.6)

Selon , le type du fil(électrode utilisé, la vitesse d'exécution et l'intensité de soudage on aura un joint bombé, plat , ou concave.

La courbe (Fig?6) donnant l'intensité critique  $I_{cr}$  en fonction de l'intensité de soudage  $I_s$  et la vitesse de soudage, est une droite de pente "m" qui sera donnée en fonction du diamètre du fil électrode " $d_e$ " d'après le tableau ci-dessous:

$d_e$ (mm)	2	3	4	5
n	2	4,5	7	10

à noter que si:

- a)  $I_s > I_{cr}$  : le cordon est bombé
- b)  $I_s < I_{cr}$  : le cordon est concave
- c)  $I_s = I_{cr}$  : le cordon est plat

Pour ceci l'intensité de soudage est donnée:par la relation

$$I_{cr} = I_0 + n V_s$$

avec:

$$I_0 = \text{constante} = 350 \text{ Ampères}$$

Soit pour:

$$d_e = 5 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad n = 10$$

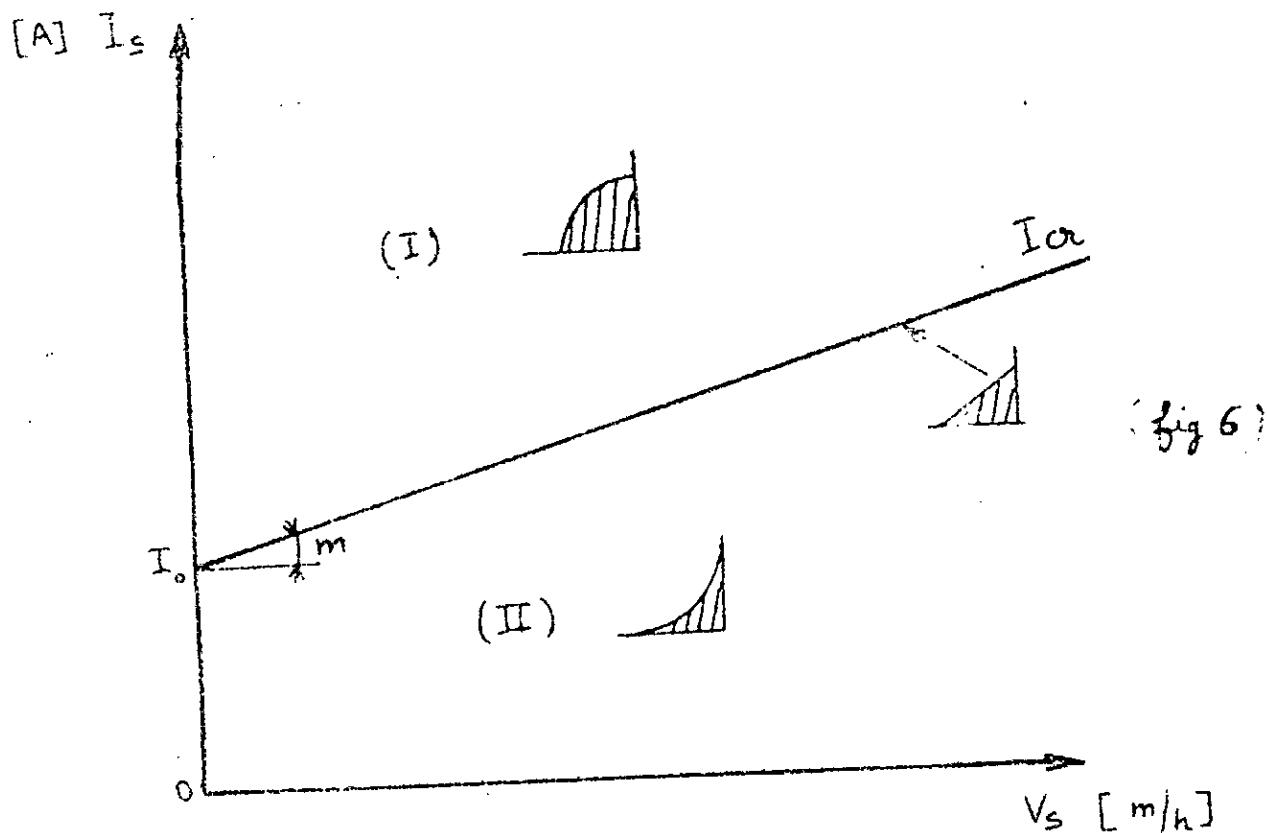
d'où:

$$I_{cr} = 350 + 10 \times 35 = 700 \text{ Ampères}$$

d'après ce résultat on affirme qu'on a bien :

$I_s < I_{cr}$  et que le cordon obtenu est concave donc meilleur.-

forme du cordon



$$I_0 = 350 \text{ Ampères}$$

$$I_a = I_0 + m V_s$$

alors si :

$I_s > I_a \Rightarrow$  le cordon est bombé (I)

$I_s < I_a \Rightarrow$  le cordon est concave (II)

$I_s = I_a \Rightarrow$  le cordon est plat

( $\exists$  à la droite  $I_a$ )

## VI- CHOIX D'EQUIPEMENT

### VI.1 CHOIX DE POSTE DE SOUDAGE D'UNE MANIERE GENERALE:

Les facteurs principaux dont dépend le choix d'un poste sont:

- 1<sup>o</sup>) La puissance électrique nécessaire
- 2<sup>o</sup>) La nature de la force-matrice dont on dispose.
- 3<sup>o</sup>) Les conditions d'utilisations
- 4<sup>o</sup>) Les exigences de la société distributrice d'électricité
- 5<sup>o</sup>) Le mode de réglage du courant de soudage.

#### VI.1.1 La puissance électrique nécessaire;

Les appareils de soudage sont divisés en trois groupes qui sont en général:

##### a) Les postes légers:

Ces postes ont la capacité de souder avec des électrodes dont le diamètre peut aller jusqu'à 3,25 mm, inclusivement ( $I < 150$ ). Puissance minimum nécessaire est de 5 KW.

##### b) Les postes normaux:

Ces postes peuvent souder avec des électrodes dont le diamètre allant jusqu'à 6 mm ( $I < 300$  A). Puissance minimum nécessaire est de 10 KW.

##### c) Les postes à grande puissance:

Ces postes peuvent souder avec des électrodes de diamètre allant jusqu'à 8 mm ( $I \leq 600$  A). Puissance minimum nécessaire est de 18 KW.

#### VI.1.2 La nature de la force dont on dispose:

Les travaux envisagés exigés l'emploi d'un courant de soudage alternatif car ceci est le plus fréquent à l'heure actuelle.

On distingue les appareils suivants:

##### 1<sup>o</sup>) Les appareils rotatifs:

Du type de convertisseur de fréquence, en général il constitue un ensemble monobloc d'un moteur triphasé entraînant

un alternateur monophasé à fréquence augmentée. D'où la possibilité par exemple de passer de 50 Hz à 150 Hz.

## 2°) Les appareils statiques:

Ce sont les transformateurs statiques constituant les appareils de soudage les plus utilisés actuellement. On rencontre;

a) des transformateurs monophasés simples: ce sont des appareils légers et très simples, d'un très bon rendement, ne comportant aucun organe fragile et ne demandent que le minimum d'entretien, leur facteur de puissance est assez faible.

Ils peuvent se brancher:

- Soit sur une distribution monophasé (à 2 conducteurs) ;
- Soit sur trois conducteurs (est à dire sur une phase d'une distribution triphasé).

b) Les transformateurs monophasés compensés:

Ils comportent en plus des organes des appareils cités précédemment, une batterie de condensateurs qui réduisent le déphasage et permet d'augmenter le facteur de puissance.

c) des transformateurs statiques trimphasés:

Ils ont le rôle de transformer le courant triphasé en un courant monophasé approprié au soudage.

d) des transformateurs statiques trimphasés compensés:

Ils comportent en plus une batterie de condensateurs qui joue le rôle que dans les transformateurs monophasés compensés

### VI.1.3 Les conditions d'utilisation

Les appareils de soudage peuvent être portatifs, transportables ou fixes.

Les appareils portatifs sont destinés à des travaux légers, ils possèdent des poignées ou des brancards et des crochets d'élingage. Leur poids varie de 60 à 100 Kgs.

Les appareils transportables; les plus courants sont montés sur des chariots et trainés par un ou deux brancards.

Leur poids varie de 100 Kg pour les transformateurs statiques monophasés normaux et de 500 à 600 Kg pour les postes statiques à grande puissance.

Les appareils fixes sont ceux dont le poids dépasse 700 Kgs. Ils sont installés en atelier ou montés sur des wagons.-

VI.1.4 Les exigences de la société distributrice d'électricité:

Celles-ci ne concernent que les distributions en courant alternatif et portent sur deux points essentielles.

- Le facteur de puissance
- L'équilibrage du réseau triphasé.

On donne à titre indicatif ci-après, les facteurs de puissance habituels de principaux types de postes alimentés en alternatif pour le courant correspondant au régime maximal.

L'équilibrage est obtenu avec des groupes convertisseurs triphasés continus, les redresseurs triphasés et convertisseurs de fréquence.

types d'appareils	Facteurs de Puissance.
groupes convertisseurs	0,70 + 0,90
Redresseurs	0,70 + 0,95
Convertisseurs de fréquence	0,70 + 0,75
Transformateurs monophasés simple	0,70 + 0,75
Transformateurs monophasés compensés	0,70 + 0,90
Transformateurs trimphasés simple	0,25 + 0,60
Transformateurs trimphasés compensés	0,70 à 0,90

### VI.1.5 Mode de réglage du courant de soudage:

On peut rencontrer deux catégories d'appareils qui diffèrent par leur mode de réglage du courant:

- Les appareils à réglage par échelon, par bornes ou par douilles.

Ils portent un certain nombre de bornes ou de douilles à chacune desquelles correspond une intensité bien déterminée.

Le système par douille est plus pratique car il suffit d'enfoncer une broche dans la douille choisie pour obtenir l'intensité voulue au soudage envisagé.

Les appareils à réglage continu: par volant ou manivelle, système toujours utilisé pour les transformateurs statiques. Les variations de l'intensité sont obtenues par la manoeuvre d'un volant ou d'une manivelle, et s'indiquent en un tambour ou un cadran.

### VI.2 CHOIX DES POSTES DE SOUDAGE COUVENANT A NOTRE ETUDE:

#### VI.2.1 Soudage manuel:

On a opté pour le choix d'un transformateur monophasés série M.I 350 : Ce type d'appareil monophasé pour le soudage en courant alternatif est doté des tous derniers perfectionnements il présente notamment:

- un réglage continu et très étendu de l'intensité permettant l'emploi de tous les types d'électrodes utilisables en courant alternatif.

- des tensions à vide constantes tout au long de la plage de réglage des intensités.

- des organes largement dimensionnés évitant tout échauffement anormal lors des utilisations prolongées au réglage le plus élevés.

- un facteur de marche au débit maximum ménageant une grande marge de sécurité, même dans les conditions de travail les plus sévères.-

- une qualité de fusion incomparable
- une faible consommation à vide, particulièrement intéressante lorsque le poste reste longtemps branché au secteur.

Le tableau ci-dessous nous donne les caractéristiques techniques de notre poste.

	180	360
Alimentation monophasée 50 Hz (volts).	200	380
	220	400
Consommations primaire maxi (Ampères)	125	75
Consommations primaire à vide (Ampères)	4	2,5
Tension d'amorçage (Volts)	75	
Intensité de soudage s/Tension convent. (Amp.)	30 + 350	
Coefficient d'utilisation multihoraire (Amp.)	100 à 350	
Dimensions hors-tout (mm)	910x654x830	
Poids sans accessoires (Kgs)	189	

#### VI.2.2 Soudage automatique:

L'appareil à souder sur laquelle notre choix est porté, est une soudeuse automatique de marque ADS 1000-2°.-

#### IV.2.2.1 Choix du poste d'alimentation:

On choisit un transformateur du type TDF 1601 ayant les caractéristiques techniques suivantes:

Tension d'alimentation	( volts )	
- pour la fréquence	50 Hz	220 ; 230 ; 240 380 ; 400 ; 415
- pour la fréquence	60 Hz	220 ; 380 ; 440
intensité nom. du courant	( Ampère )	1600
Puissance électrique	( KVA )	182
Coefficient d'utilisation multihoraire		100 %
Tension nominale	( Volts )	44
Diamètre hors-tout	( mm )	1200x 830x 1200
Poids	( KG )	1000

#### VI.2.2.2 Choix du soudeuse automatique:

Nôtre choix est porté sur un appareil du type ADS 1000 - 2 dont voici ci-après les caractéristiques techniques.

Intensité du courant	( Ampères )	400 + 1200
Diamètre du fil électrode	( mm )	3,0+ 6,00
Vitesse d'entraînement du fil	( m / h )	30 + 120
vitesse de soudage	( m / h )	15 + 70
nombre de fil-électrode possible		1 - ( 2 )
mode de réglage		Automatique

N. B. Entre parenthèse signifie le nombre de fil-électrode possible avec dispositif spécial.

#### VI.3 CHOIX DU POSTE DE DECOUPAGE:

Ce choix dépend essentiellement de deux facteurs principaux qui sont:

- La matière constituant la tôle à couper
- L'épaisseur de la tôle à couper.

On distingue plusieurs modes de découpage parmi lesquels on cite les plus courants:

- l'oxycoupage électrique
- l'oxycoupage au chalumeau
- le coupage à la cisaille mécanique
- le coupage au plasma.

Dans notre étude on utilise le découpage par le cisaille pour couper les tôles de dimensions: 25x1400x8000 afin d'obtenir des morceaux qui peuvent constituer la partie cylindrique du tambour.

Aussi on procède par le découpage au plasma pour le coupage des tôles 25x800x8000 afin d'obtenir les parties circulaires constituants les jantes du tambour.

#### VI.3.1 Choix du cisaille mécanique:

Le cisaille qu'on utilise et du type "HYDROMAX" modèle C.13 ayant les caractéristiques suivantes:

modèle									
grandeur									
longueur utile ( mm )	125	12550							
Epaisseur max ( mm )			27						
Angle de coupe				2°51'					
profondeur col de cygne ( mm )					1500				
longueurs effectives des lames ( mm )						12590			
nombre de coup/mm							20		
règlage butée arrière								11200	
Puissance du moteur ( CV )								50	
Poids net Approximatif ( Kg )									39900

#### VI.3.2 Procédé de découpage plasma:

Du fait de la haute température et de l'intense énergie du jet ionisé, le plasma peut servir non seulement à souder mais aussi à découper le métal.

Le jet de plasma est très fin de façon à obtenir une concentration de la chaleur sur une faible surface. L'arc est transféré.-

L'arc jaillit de l'électrode à la pièce, il est contracté en passant par l'orifice prévu dans la buse.

IL existe un type dit à arc non transféré et le plasma d'arc est expulsé de la buse sous forme de flamme. (voir Fig.7 )

La température de l'arc plasma peut atteindre 17000 °C.

L'avantage de ce procédé réside dans le fait qu'on obtient une coupe rapide, de qualité et ne nécessitant pas de retouche pour la finition.

#### VI.3.2.1 Choix de l'installation pour le découpage au plasma:

On choisit un appareil du type UBR.201 destiné pour le découpage des aciers non alliés, et inox et les alliages non ferreux jusqu'à une épaisseur de 40 mm.

Cet appareil a les caractéristiques techniques suivantes:

Epaisseur à découper	( mm )	jusqu'à 40 mm
Tension du réseau	( V )	380 ; 400 ; 415
Indensité du courant	( A )	150 + 200
Tension à vide	( V )	180
Gaz pour la formation du plasma		air
Dimensions	( mm )	1065x816x940
Poids	( Kg )	400

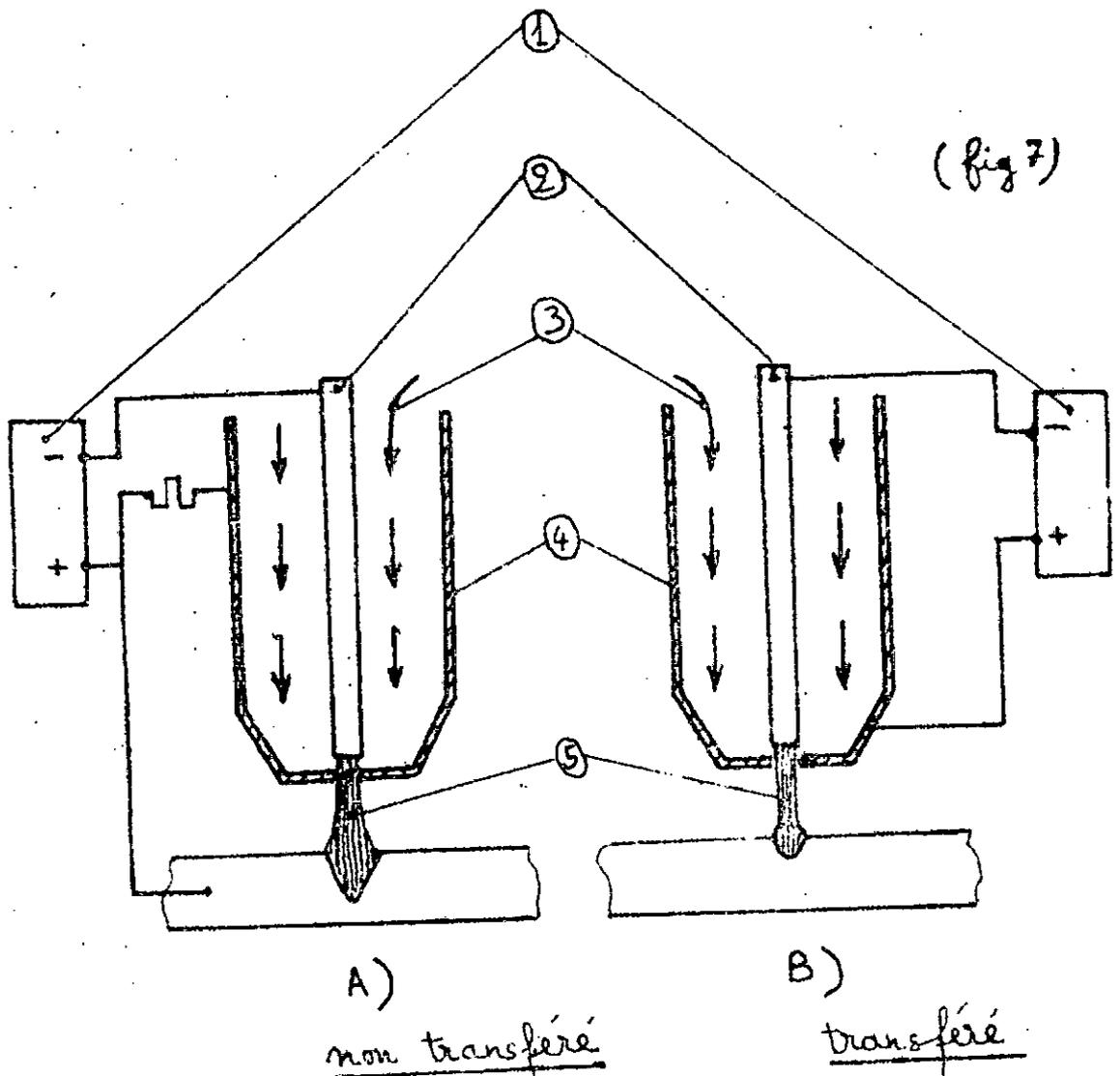
#### VI.4 CHOIX DE DISPOSITIFS AUXILIAIRES:

##### VI.4.1 Choix du machine à planer:

Soit une machine à laner du type SCMZ ayant les caractéristiques techniques ci-dessous:

nombre de cylindres		7
l'épaisseur à planer ( mm)		jusqu'à 28
vitesse de travail ( m/mn)		2

# Shémas d'obtention de jet de Plasma



- ①: Source d'alimentation
- ②: électrode
- ③: jet de gaz
- ④: buse
- ⑤: jet de plasma.

#### VI.4.2 Choix de la machine à cintrer:

Notre choix est porté sur une machine du type "planeur" de marque 376 P.

Les rouleaux entraineurs  $E_1$  et  $E_2$  sont situés sur des plans verticaux et leur pression sur la pièce permet son entraînement. Le cylindre formeur  $F_1$  entraîné par contact, permet d'obtenir le rayon de cintrage par suite de son déplacement oblique en translation.

Le rouleau formeur  $F_2$  permet le roulage de sortie et évite ainsi le roulement pour le formage de l'extrémité.

Cette machine a les caractéristiques techniques suivantes:

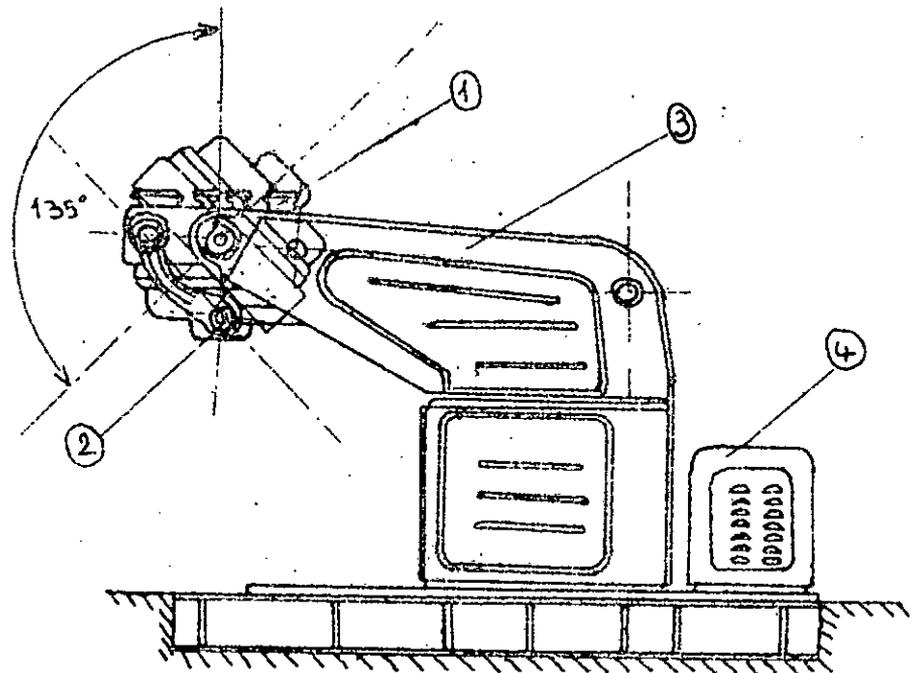
l'épaisseur max	( mm )	25
Largeur	( mm )	2500
rayon mini	( mm )	300
Vitesse	( m/mn )	7,15
Puissance	( KW )	58,2
Dimensions	( mm )	7695x2350x2015

#### VI.4.3 Choix du positionneur (Fig.8)

Soit un positionneur de marque M.1 ayant les caractéristiques suivantes:

Poids	( Kg )	1000
1 <sup>er</sup> moment admissible	( Kgm )	400
2 <sup>er</sup> moment admissible	( Kgm )	250
Vitesse de rotation	( tr/mn )	0,04 + 1,01
Angle max	( ° )	135
Dimensions		950x1550x1690

Vue générale de positionneur type M-1



① : table.

② : mécanisme d'orientation

③ : le bâti

④ : commande hydraulique

(fig 8)

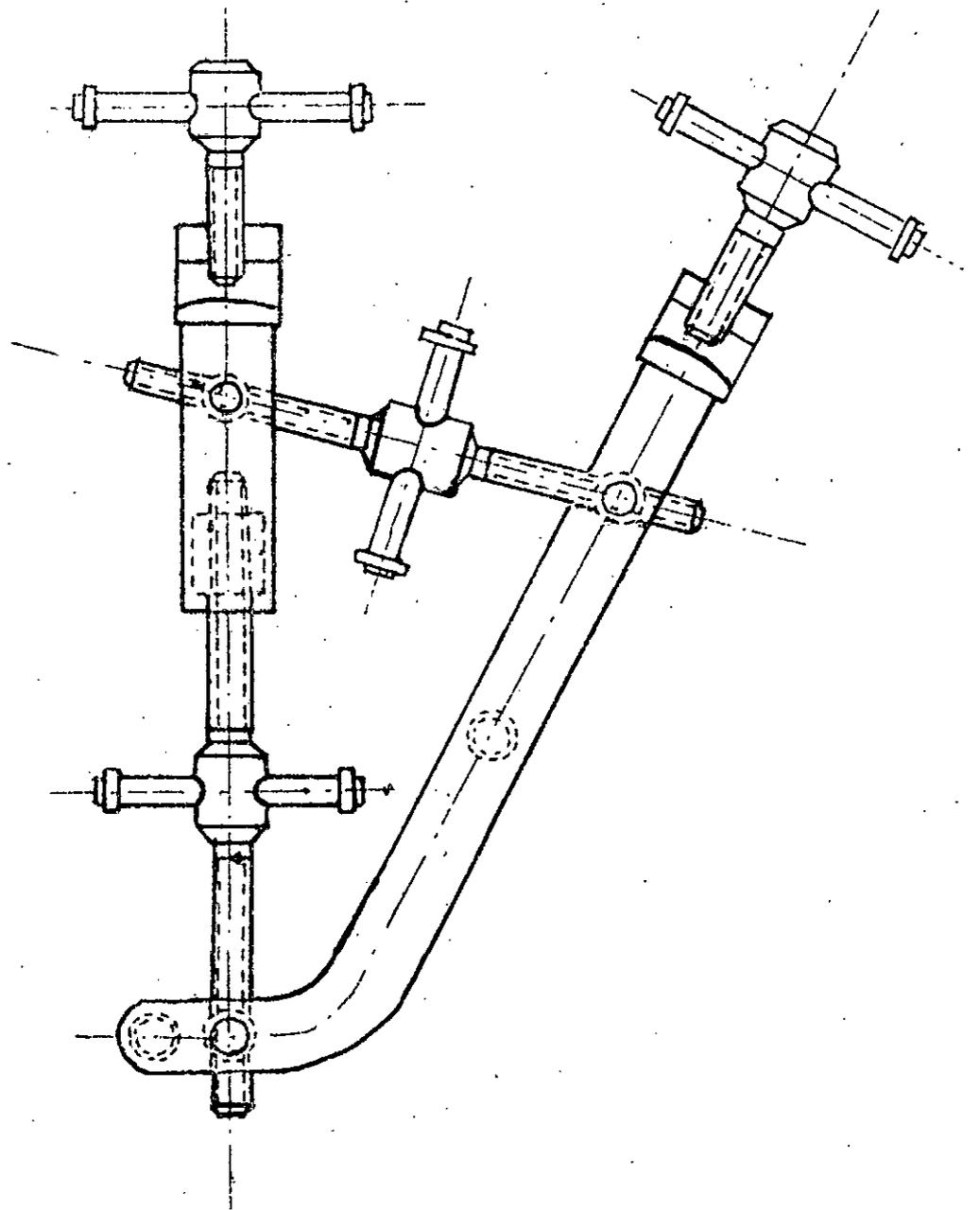
VI.4.4 Choix du vireur à galet:

On utilise encore un vireur à galet de type P.R.4

Ses caractéristiques sont:

Diamètre possible de pièce à souder(mm)	500 ÷ 4000
Vitesse de rotation ( m/h )	10 + 100
Dimensions ( mm )	1220 x 940 x 720

VI.4.5 Dispositif de serrage manuel (Fig.9)



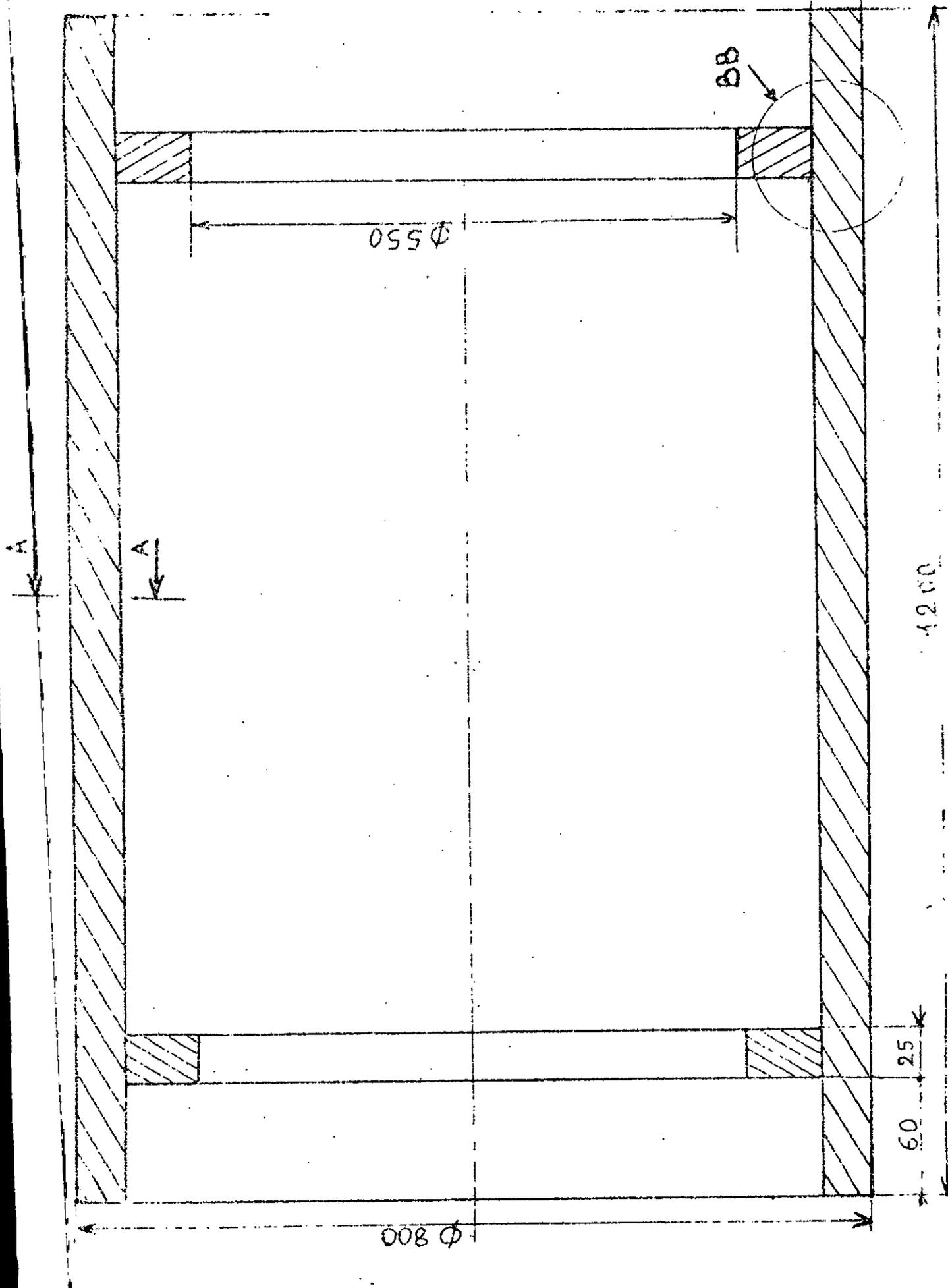
Dispositif de serrage

VII - ELABORATION DU PROCEDE  
TECHNOLOGIQUE

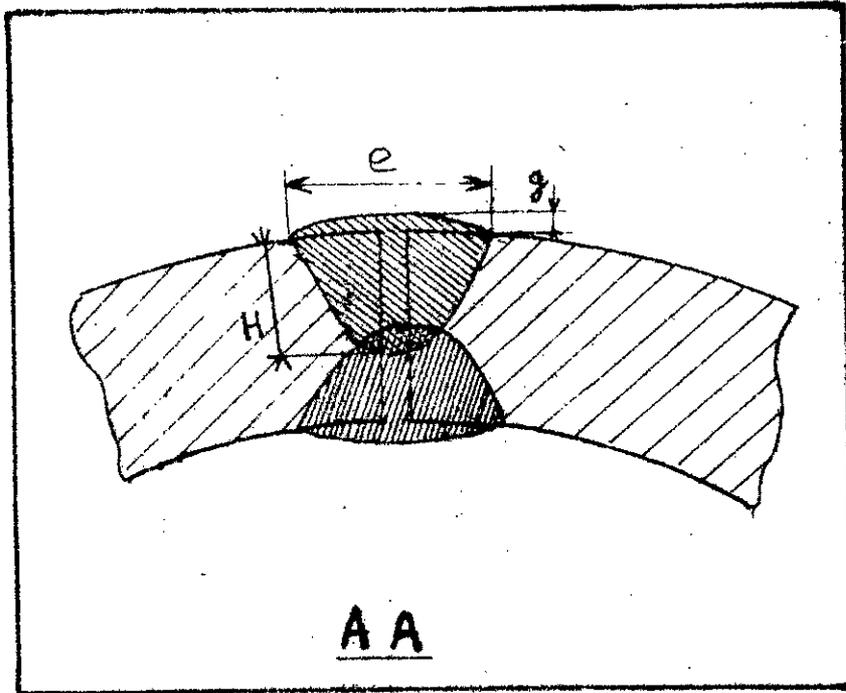
Le procédé technologique consiste à l'exécution des opérations suivantes:

- = Planage
- Traçage
- Coupage
- Cintrage
- Pointage
- Soudage
- Contrôle
- Revenu

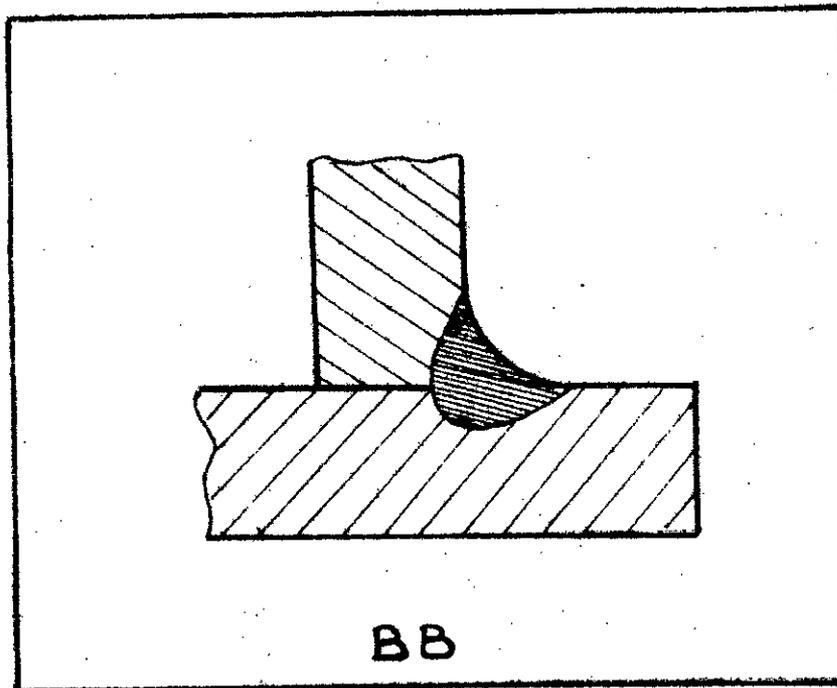
Ainsi, ces opérations citées sont ci-après, données en détail et dans l'ordre.



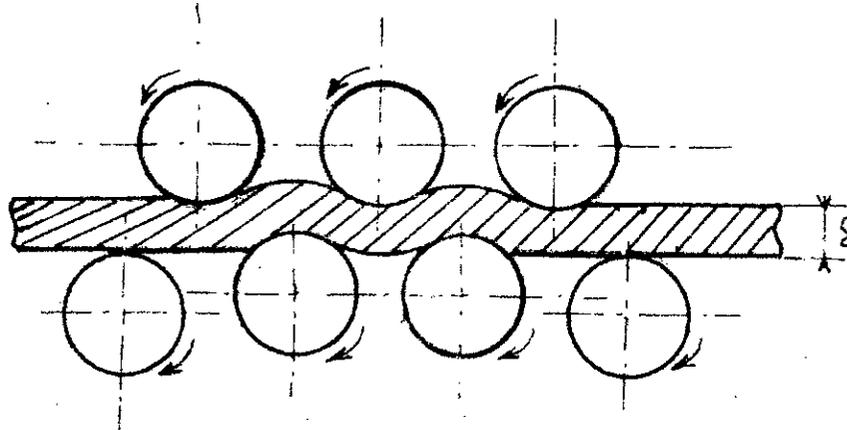
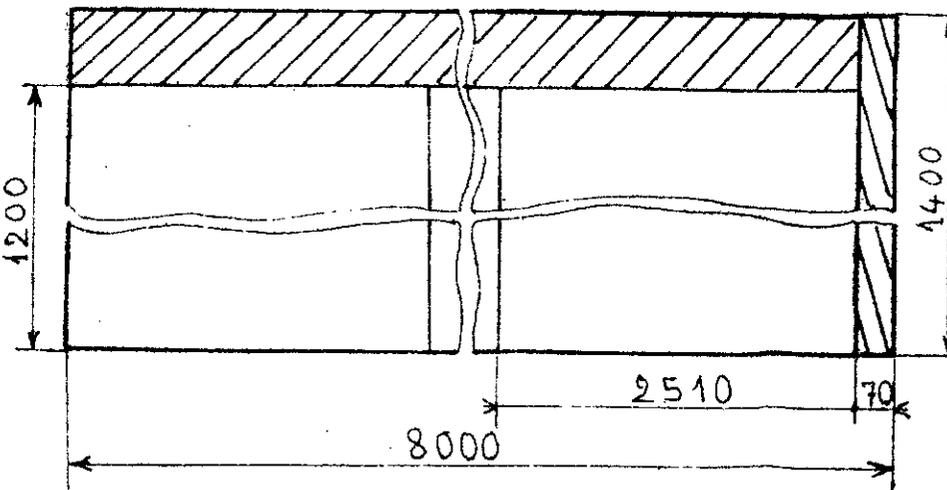
soudage en bout à bout sans chanfrein

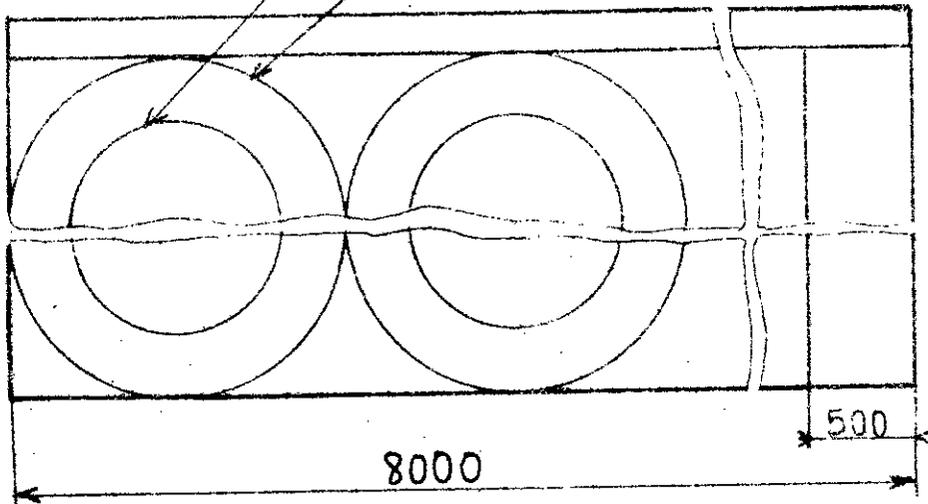
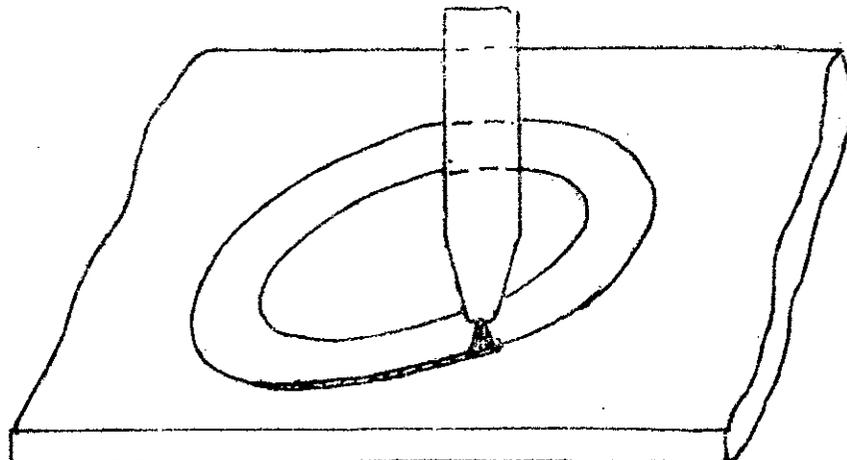


soudage en angle sans chanfrein



$H$ : profondeur de fusion du métal  
 $g$ : hauteur de renforcement du  
cordon.  
 $e$ : largeur du cordon.

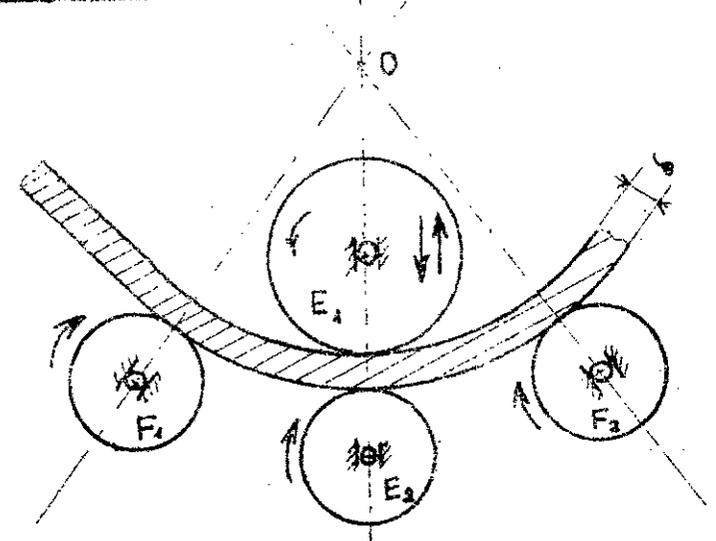
Phases	Posi.	opér.	Designation de l'oper.	shémas de l'opération	outillages caractéristi.
I	A	①	Planage de la tôle		<p>machine à planer de marque SCMZ</p>
II	A	②	Coupage des tôles de dimensions 25x1400x8000		<p>cisaille guillotine "hychromax" type C.13 avec regulateur de la longueur de coupe.</p>

Phases	Posi.	opér.	Désignation de l'opér.	Schémas de l'opération	Outils caractéristiques
III	A	③	traçage des disques (Jantes) sur des tôles de dimension 25 x 800 x 800.	<p style="text-align: center;"> <math>\Phi 550</math>      N = 10 disques.  <math>\Phi 750</math> </p>  <p style="text-align: center;">8000</p> <p style="text-align: right;">500</p>	règle, Équerre, Compas, toise de traçage.
IV	A	④	Découpage des jantes		Poste de découpage au plasma type UPR 201

Phases	Posi.	OPer	Designation de l'opér.	Schémas de l'opération.	Outils caractéristiques
--------	-------	------	------------------------	-------------------------	-------------------------

V A ⑤

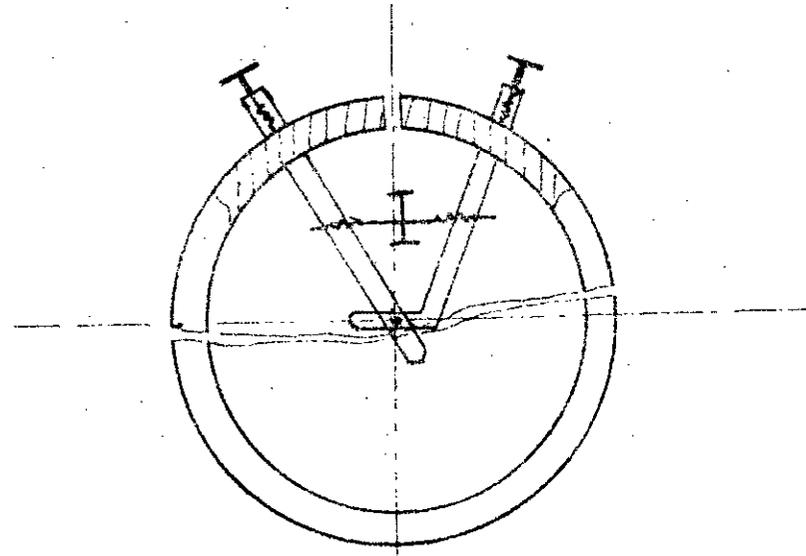
Cintrage de la tôle



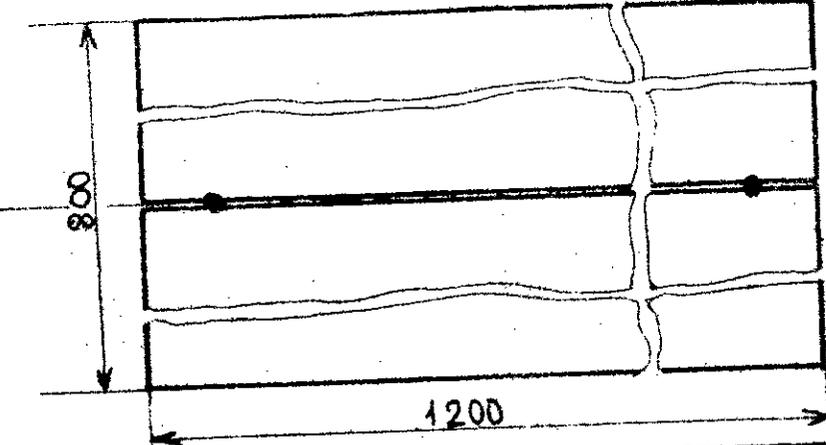
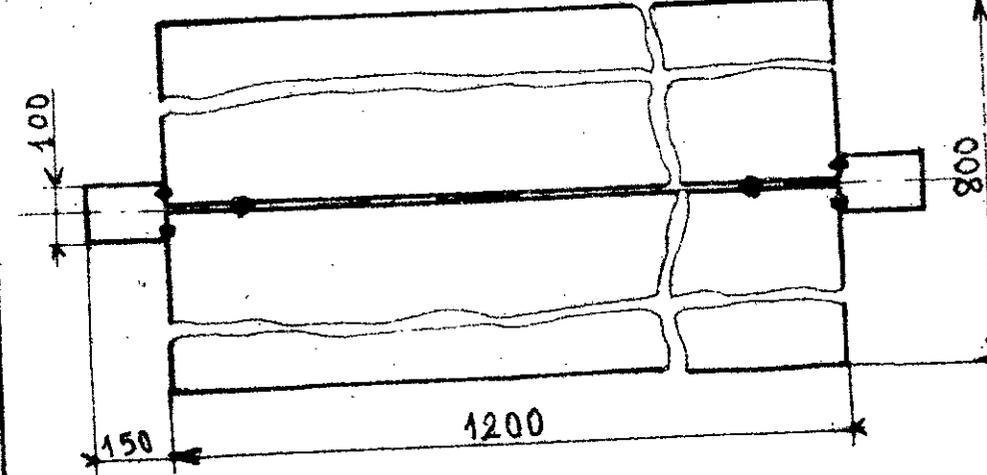
machine à  
rouleau type  
planus à 4 rouleaux  
de marque  
376 9

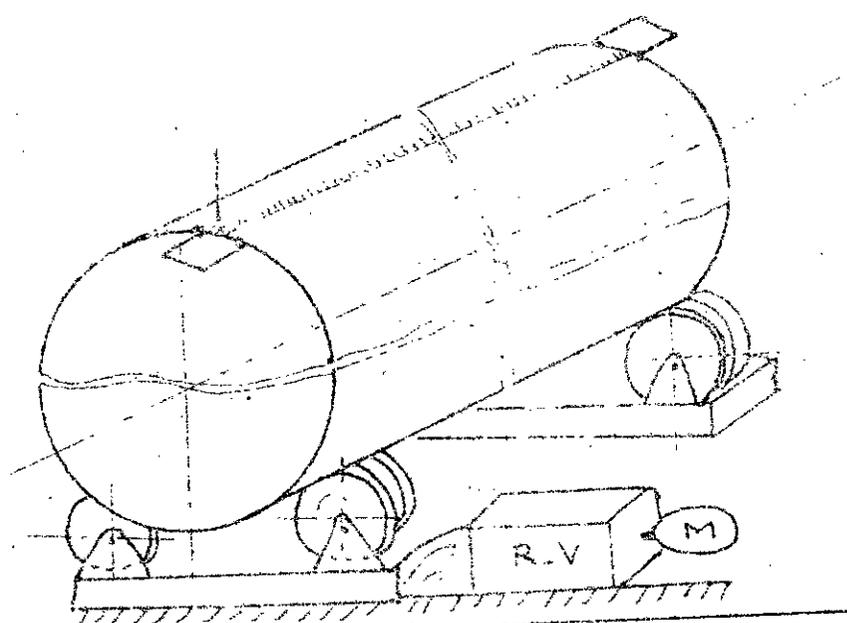
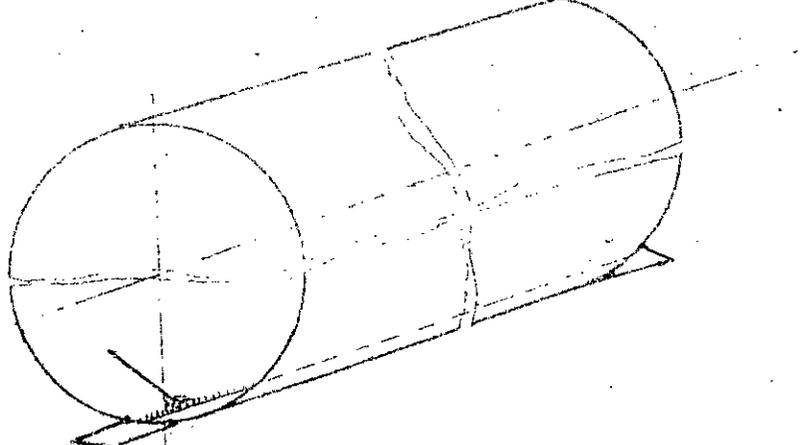
VI A ⑥

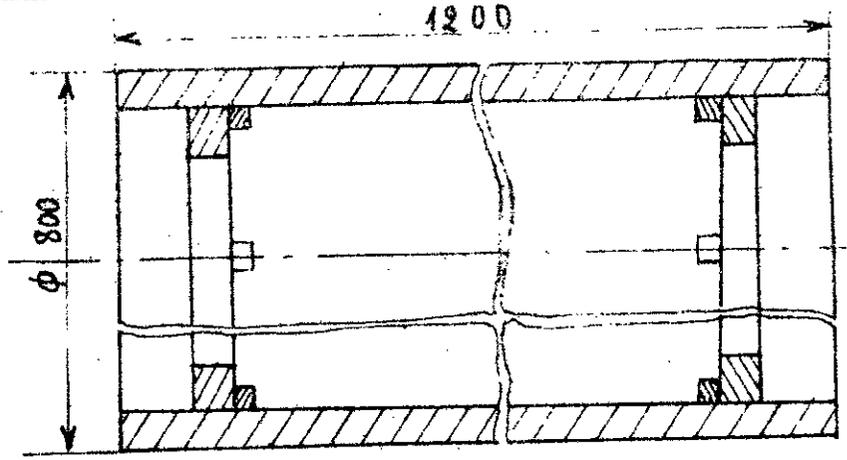
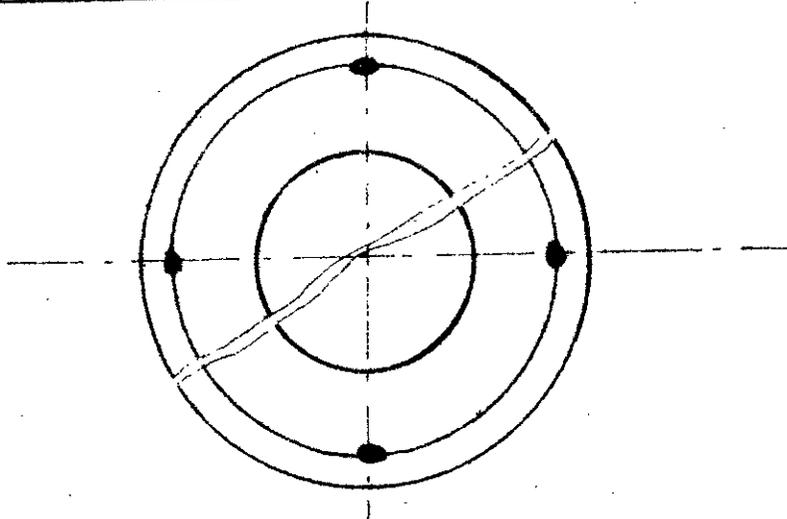
Serrage  
des bords  
de la tôle

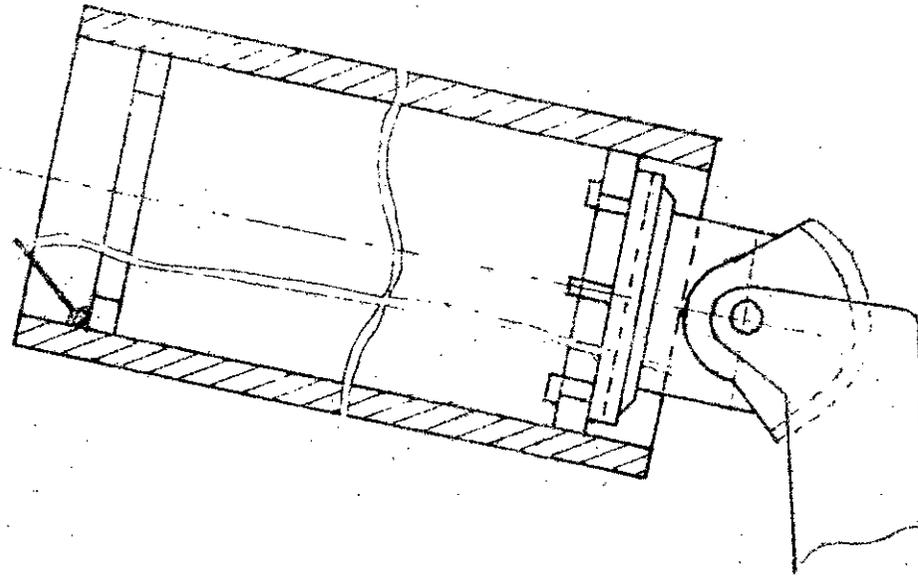


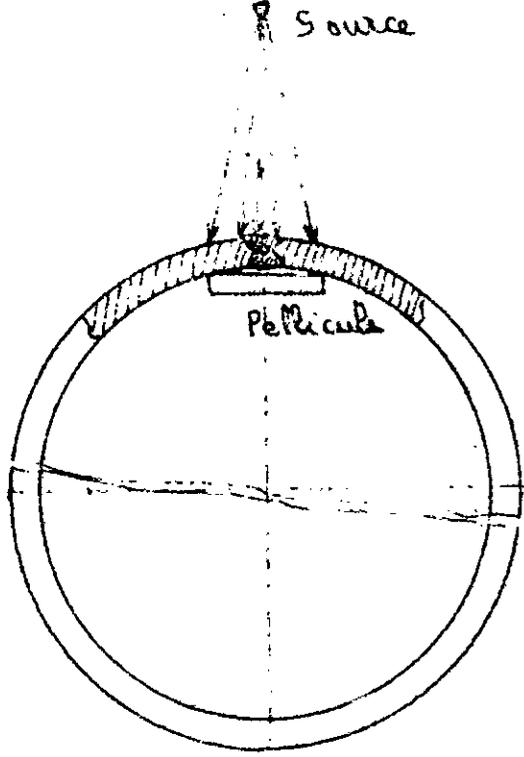
dispositif de  
serrage manuel  
Calibre pour  
contrôler l'écarré  
b, entre les bords

Phase	Posi	oper.	Designation de l'opér.	Schémas de l'opération	outillages caractéristiques
VII	A	⑦	Pointage des bords pour le soudage "bout à bout"	<p>N = 4 pts de soudure</p> <p><u>vue de dessus</u></p> 	<p>transformateur de marque MI 350</p> <p>électrode aurobée <math>\phi = 5 \text{ mm}</math></p> <p>E 233 R 14</p>
	A	⑧	fixations des talons de dimensions 150 x 100		<p>le même que pour l'opération ⑦</p>

Phases	Opér.	Désignation de l'opér.	Schémas de l'opération	Caractéristiques
VII	A	① Sondage en "bout à bout" du côté extérieur		Longueur de marquer EDF 45 A 5 m de diamètre de marquer à 2 m de l'axe de 80 mm Viseur à gaz du type DR
	B	② Sondage en "bout à bout" du côté intérieur		

Phases	Posi.	Opér.	Designation de l'opér.	Schémas de l'opération	Outils et caractéristiques
IX	A	⑪	Enlèvement des talons		Marteau
X	A	⑫	Emplacement des jointes du tambour		transformateur de marque MI 300 électrode de $\phi 5$ mm E 233 R 14, morceaux de tôle.
XI	A	⑬	Pointage des jointes pour le soudage "en angle"		transformateur de marque MI 350 électrode de $\phi 5$ mm E 233 R 14

Phases	Posi.	Opér.	Designation de l'opér.	Schémas de l'opération	Outils caractéristiques
VII	A	⑭	Soudage en angle de la jante droite		transformateur de marque TDF 19 soudeuse automatique de marque H.P.E. 20 fil électrode $\phi$ 5 mm, positionneur type M-1.
	B	⑮	Soudage en angle de la jante gauche.	Le même que pour l'opération ⑭.	

Phases	Posi.	Opér	Designation de l'opér.	Schemas de l'opération	outillages caractéristiques
XIII	A	⑩	Contrôle du cordon de soudure rétiligne		Appareil de radiographie à rayon X, Pellicule, Source radioactive
XIV	A	⑪	Revenu.		Four électrique

## VIII CONTROLES DES SOUDURES

Les défauts d'une soudure ou de la zone de métal de base qui lui adhère réduisent d'une certaine façon la résistance mécanique de l'assemblage.

Parmi les défauts principaux des soudures on distingue:

1<sup>o</sup>) le manque de pénétration ou absence de liaison entre la pièce et le métal rechargé, ou pénétration insuffisante de métal rechargé dans le métal de base. Ces défauts sont dus le plus souvent à un choix irrationnel du régime et du procédé de soudage.

2<sup>o</sup>) La brûlure, qui est l'oxydation du métal de la soudure et du métal de base adhérent. La brûlure résulte de la formation d'un milieu trop oxydant, d'un arc trop long, d'un déplacement trop long de la source d'échauffement, d'un régime trop élevé de soudage.

3<sup>o</sup>) La formation des trous dans une pièce lors du soudage à l'arc. Les causes principales sont un courant trop fort, une épaisseur insuffisante de métal, un chanfreinage insuffisant.

4<sup>o</sup>) La fissuration de la zone de transformation, qui est caractérisée par la formation d'une fissure dans le métal de base le long de la soudure. Les causes en sont une amonée irrégulière du rondin d'apport, le positionnement défectueux de l'électrode et l'exédent de chaleur.

5<sup>o</sup>) Les soudures trop chargées qui se forment par suite d'un choix incorrect du régime et de la vitesse de soudage.

6<sup>o</sup>) La porosité, c'est à dire l'apparition des piqûres, des soufflures ou des rugosités à la surface du cordon. Ce défaut est dû à la présence de gaz dans le métal, de l'eau dans l'enrobage ou le flux, de la rouille sur les bords soudés ou dans le matériau d'apport.

7°) Les inclusions de laitier, ou la présence dans le métal de substances non métalliques. Les inclusions de laitier sont le résultat de l'encrassement du métal d'apport principal par des oxydes, de la fusion irrégulière de l'enrobage, de la fusion difficile et de la viscosité élevée des laitiers et de la désoxydation insuffisante du métal de la soudure.

8°) La fissuration de la soudure. Les causes sont le retrait excédentaire et les contraintes structurales dans le métal ( par exemple la formation de la martensité), la teneur élevée du métal en soufre, en phosphore et en carbone et la fixation trop rigide des pièces soudées.

L'Application scrupuleuse et vigilante des contrôles préalable devant constitué une garantie suffisante de succès, mais d'un autre côté les nombreuses variables qui interviennent en soudage et en particulier, l'imprévisible inconstance de la main-d'oeuvre apportent inévitablement quelques défauts d'exécution.

On distingue:

- Le Contrôle externe du joint
- Le contrôle interne au moyen de dispositif spéciaux.

Dans ce dernier type de contrôle, pour déceler les défauts internes, on doit faire appel aux techniques d'investigation désignées sous le nom de "contrôle non destructif".

A cet effet, on choisit dans notre étude le cas du contrôle radiographique par les rayons X qui est de loin la méthode la plus efficace et la plus répandue de nos jours.

#### VIII.1 PRINCIPE OPERATOIRE:

Les rayons X sont des ondes électromagnétique, de même nature que la lumière ordinaire, mais en différent par leur longueur d'onde qui est sensiblement inférieure.

Les rayons X possèdent, en outre la propriété d'impression, c'est à dire de noircir, les émulsions photographiques.

Ceci-dit, en voulant photographier la tôle, on envoie sur celle-ci un faisceau de rayon X après avoir placé de l'autre côté une pellicule radiographique.

Alors, en dehors des défauts, la radiation émergente sera uniforme ainsi par conséquent que le noircissement de la pellicule, mais au niveau des défauts, la radiation émergera avec une intensité plus grande, provoquant localement un fort noircissement.

Les défauts ont donc pour effet de rendre non uniforme la répartition de la radiation émergente et le rôle de la pellicule est de révéler ces inégalités par des défauts de noircissement.

### VIII.2 COMMENT NAISSENT LES RAYONS "X"

Pour produire les rayons X, on utilise un tube électronique à vide poussé en verre pyrex (tube à rayon X), et on applique entre la cathode et l'anticathode une différence de potentiel très élevée.

Les électrons émis par le filament de la cathode et accélérés par le champ électrique intense arrivent, animés d'une grande vitesse sur l'anticathode. Sous le choc, l'énergie cinétique des électrons se convertit principalement en chaleur (99%) tandis que seul, 1% restant se transforme en onde électromagnétique de très courtes longueur d'onde, c'est à dire en rayon "X".

### VIII.3 MODELES D'INSTALLATIONS DE RAYON "X"

l'appareil de radiographie industrielle comprend:

- Une tête émettrice, constituée d'une enveloppe métallique contenant le tube à rayon X et le transformateur de haute tension immergé tous deux dans un fluide réfrigérant et isolant.
- Un tableau de commande, contenant les organes de réglage et de mesure de la haute tension, du courant anodique et du temps de pose.

- Des cables: un cable monophasé avec prise de terre relie la tableau de commande au réseau.
- un cable multipolaire relie le tableau de commande à la tête émettrice:

Les principales caractéristiques qui définissent une installation de rayon X sont:

- La tension anodique maximale
- Le courant anodique maximale
- Les dimensions de la tache focale
- Le poids de la tête émettrice
- Le rapport d'intermittence
- La nécessité ou non de faire circuler l'eau dans la tête émettrice.

#### VIII.4 PELLICULES RADIOGRAPHIQUES:

Elles sont constitués d'un support transparent en celluloides recouvert sur ses deux faces d'une émulsion de sel d'argent sensible aussi bien à la lumière ordinaire qu'aux rayons X. On les trouve dans le commerce en boîte de 25 ou 75 films et les formats des plus communément employés pour le contrôle des soudures sont les suivants:

- 6 X 24 cm.
- 6 X 48 cm.
- 10 X 24 cm.
- 10 X 48 cm.
- 13 x 18 cm.

On distingue deux sortes de pellicules: "Lente" et "Rapide". Pour les pellicules lentes ont un grain plus fin, ce qui permet d'obtenir des radiographies plus nettes.

En pratique, on fera usage des pellicules rapides ou de pellicules lentes suivant qu'on préférera aller vite ou avoir des images fines et détaillés.

## IX HYGIENE ET SECURITE

Il est très important que le soudeur soit prévenu des dangers possibles présentés par le soudage à l'arc électrique et les précautions à prendre pour s'en prémunir.

En effet le soudage à l'arc présente certains risques résultant essentiellement des facteurs suivants:

- a) des radiations émises par l'arc
- b) de la pollution de l'atmosphère
- c) des projections du métal en fusion
- d) de l'emploi du courant électrique

Ainsi, l'arc électrique émet des radiations lumineuses vives, qui fatiguent les yeux et des radiations ultraviolettes et infrarouges qui provoquent la conjonctivité, affection assez grave et douloureuse.

d'autre part, ces mêmes radiations, surtout les infrarouges produisent des brûlures de la peau,

Pour les éviter, le soudeur doit donc protéger les parties de son corps directement en contact avec ses rayons en utilisant à bon escient des moyens individuels de protection et qui sont les suivants:

- Masque ou casque muni de verre filtrants spéciaux
- des gants de cuir
- des jambières
- Vest de cuir
- vêtement en tissu autoextincteur.

En plus, chaque poste de soudage doit être protégé par des paravants opaques pour empêcher les radiations d'atteindre des personnes étrangères aux opérations de soudage.

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 et physiologiques résultant de la pollution de l'air par l'arc électrique.

Pour plus de sécurité on ajoute que:

- le pince électrode doit être appuyé pendant les pauses de travail sur des supports isolants prévus à cet effet de façon à éviter les accidents provoqués par des décharges électriques.
- Pendant les arrêts de travail en fin de journée, on doit éviter de laisser la soudeuse sous tension, il faut donc laisser l'interrupteur des soudeuses ouvert.
- Pour effectuer des travaux à l'intérieur des bacs ou de petits puits, on utilise une ceinture de sécurité munie d'une corde obtenue à l'extérieur par un autre travailleur.

Pour tous les travaux dangereux, les soudeurs doivent être assistés par une autre personne.

Pour ce qui est de l'appareil lui-même on exige que:

- Le branchement de l'appareil au réseau doit être fait par l'intermédiaire d'un organe de sectionnement du courant, généralement un interrupteur à manette permettant de couper l'alimentation d'un simple geste.
- Entre l'interrupteur et le poste il faut un dispositif de protection comprenant des fusibles protégés par des capots.
- Les cables d'alimentation primaire doivent être du diamètre approprié au courant primaire. Ils ne doivent pas chauffer. Ils doivent être isolés convenablement sur toute leur longueur, sans présenter des défauts, retrécissement, entailles, etc... qui laisse les fils métalliques sous tension à nu.

Il faut donc vérifier périodiquement leur état, faire attention à ne pas rouler dessus avec des chariots, à ne pas les coincer dans angles métalliques.

- Le poste lui-même doit être complètement protégé par des cartères et capots, en particulier les bornes d'arrivée du courant. Il doit être relié à une prise de terre, par l'intermédiaire du cable d'alimentation, ou par cable de prise de terre indépendant.

-Les cables de soudage doivent être comme les cables primaires d'un diamètre qui leur permette de supporter sans échauffement les intensités maximales débités par le secondaire.

Ils doivent être également être parfaitement isolés par toute leur longueur et vérifiés fréquemment.

Pour ce qui est du soudage à arc submergé, l'invisibilité de l'arc présente pour l'opérateur des avantages de point de vue hygiène, il échappe ainsi à l'action des radiations ultra-violet et d'infrarouge à très forte intensité.

Pour les appareillages à arc submergé, on doit appliquer les normes de sécurité en vigueur pour le soudage à l'arc.

Malgré l'observation de toutes ces mesures préventives, qu'on a cité plus haut, les accidents restent toujours susceptibles de survenir c'est pourquoi il faut toujours avoir la possibilité de présenter au victime les soins élémentaires et immédiats.

Pour cela, il est obligatoire que l'atelier doit être équipé de pharmacie dans laquelle on peut trouvés:

- Boite hermétique avec 4 linges stérilés
- Boite hermétique avec 4 compresses stérilés
- Boite de rondelles stérilisées pour pansement.

oculaires, tampons fuseaux stériles pour sécrétions oculaires.

- Bande de crépon (0,07 x 5 ) m
- couvre-oeil conique ou carton perforé
- ciseaux et épingles de sécurité.
- Coton hydrophile.

## X - C O N C L U S I O N

L'évolution des procédés de soudage, les perfectionnement apportés aux matériels, les progrès réalisés dans les méthodes d'exécutions des constructions métalliques soudées nous obligent à choisir d'une manière judicieuse les techniques convenables à l'élaboration du projet.

A cet effet, on doit enir compte de plusieurs facteurs tels que:

- La destination du construction
- la condition de fonctionnement
- les propriétés du métal de base
- le régime de soudage
- etc...

Par cette étude, on a pu donner une idée plus ou moins détaillée sur l'exécution de tambours de treuil pour un pont roulant et cela d'une façon moderne qui nous permet d'assurer une production en série avec un rendement assez élevé, vu l'équipement récent qui existe actuellement dans notre pays.

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

L. MENDEL:

Manuel pratique du soudage à l'arc.

G. LEMASSON ET L. BLAIN:

Matériaux de construction mécanique et technique.

SAKHNOVSKY:

Téchnologie des constructions d'aciers soudés.

"Kiev" , "Boudivelnik" 1970.

G. COTANT:

Téchnologie professionnelle du travail des métaux en feuilles

" Dunod Paris 1964 :

P. POLOUKHINE:

Téchnologie des métaux

Editions Mir Moscou 1967.

A. VALLINI:

Joints soudés - contrôle, métallurgie, résistance.

Dunod Paris 1968.

P. T. HOULDROFT:

Les procédés de soudage.

Dunod Paris 1971.

J. BASSINO:

Téchnologie en ouvrage métallique tome 1

Edition Foucher.

M. MACHINOSTROENIE 1970

Aide mémoire du soudage. Tome 3

PETROV, TOUMAREV:

"Théorie des processus de soudage "Moscou 1977.

ACOULOV:

Téchnologie et équipement de soudage par fusion.

"MACHINOSTREOMIE" 1977:

REVUE:

Machine Per. Lamiera. SACMA.

CATALOGUE ENERGOMACH. Export, SSSR:

Equipement de soudage.

REVUE:

Commercy soudure.

ALTRA. SH

Document de soudure

E. CHAPELIER:

Le soudage.

