

UNIVERSITÉ DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE D'ALGER

20/80

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

1 es

DÉPARTEMENT GÉNIE-MÉCANIQUE



**ATELIER DE FABRICATION
DE POUTRES EN I**

Tome I

Proposé et dirigé par :

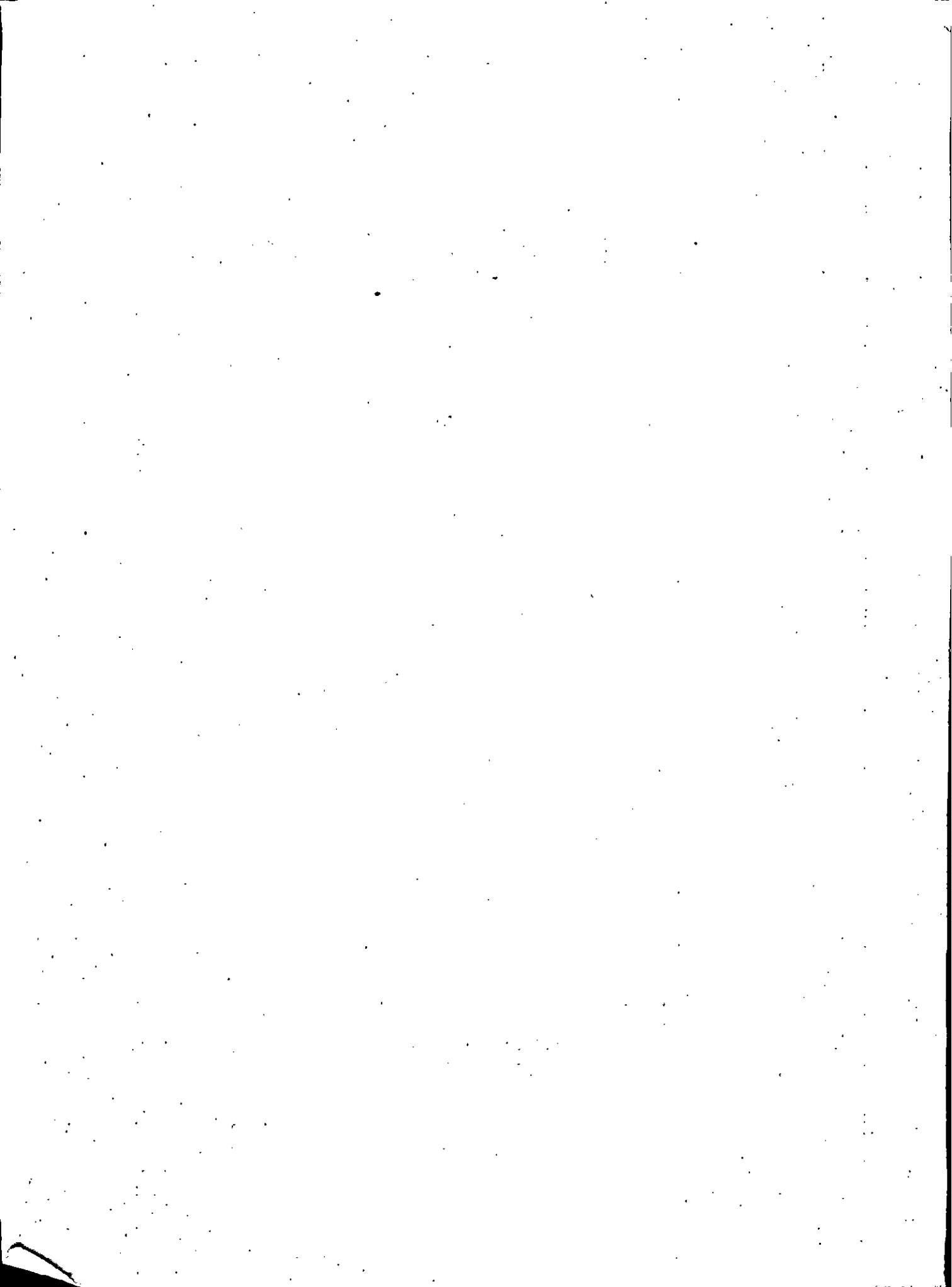
E. BARDOKINE

Maître de Conférence à l'E.N.P.A.

Étudié et présenté par :

A. ZIOUI

PROMOTION JANVIER 1980



UNIVERSITÉ DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE D'ALGER

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DÉPARTEMENT GÉNIE-MÉCANIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

ATELIER DE FABRICATION
DE POUTRES EN I

Tome I

Proposé et dirigé par :

E. BARDOKINE

Maître de Conférence à l'E.N.P.A.

Étudié et présenté par :

A. ZIOUI

PROMOTION JANVIER 1980

DEDICACES

Je dedie cette T H E S E

- à la mémoire de ma Grand-mère
- à mes Parents
- à toute la Famille Z I O U I
- à tous mes Amis

A. Z I O U I

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier tous les professeurs qui ont contribué à ma formation et en particulier Monsieur E. BARDOKINE qui m'a dirigé et apporté une aide précieuse à l'élaboration de ce Projet.

Je tiens aussi à Remercier Monsieur BERRICHI Djillali et M^{elle} MEROUANE Aïcha pour la frappe

A. ZIOUI

I - GENERALITES

Le soudage est un principal procédé technologique d'exécution et réparation des constructions diverses. Son application sur une grande échelle est dictée par la possibilité de la fabrication des constructions les plus rationnelles, les plus effectives à l'exploitation et faciles à exécuter en même temps. Le soudage permet de créer des constructions où l'on tire l'avantage des propriétés des aciers et alliages divers conformément à leurs destinations.

En règle et en comparaison à d'autres méthodes d'exécution des constructions métalliques (ponte, forgeage, revêtement) les constructions soudées sont plus légères.

L'économie de poids atteint (10 à 50) % avec cela.

Généralement parlant, il est impossible de créer toute une gamme de constructions métalliques (par exemple dans la construction des machines énergétiques) sans

l'utilisation des soudures. Une utilisation des nouveaux matériaux de construction des métaux et des alliages devint impossible sans l'élaboration des méthodes de leur assemblage et particulièrement du soudage. Aujourd'hui on fabrique des constructions soudées non seulement des aciers non alliés, mais aciers faiblement et fortement alliés des alliages non ferreux (du magnésium, d'aluminium, du titane, du Nickel du molybdène, du molybdène, tantale, du tungstène etc...)

Le soudage des métaux ordinaires est connu aux hommes depuis longtemps pratiquement à partir du début de la production des métaux (soudage par forgeage, et brassage). Depuis des millénaires, les hommes savent que les métaux chauffés deviennent plastiques mais les primitifs foyers au bois ne permettaient pas d'atteindre des hautes températures nécessaires à la fusion complète de la plupart d'entre eux.

Avec les progrès de l'industrie et les grandes constructions métalliques (navires, gratte ciel etc...), les procédés précédents étaient inapplicables: les aciers étaient joints par rivetage et boulonnage. Et les méthodes modernes du soudage liées avec la fusion du métal en particulier ont pris naissance à la fin de XIX^e siècle.

En 1882 M. BERNADOSSÉ inventeur Russe a proposé ce mode du soudage à l'arc électrique par électrode métallique fusible, le plus répandu aujourd'hui mais, les procédés d'assemblage les plus répandus au début du XX^e siècle et qui ont fait disparaître à peu les boulons et les rivets, étaient le soudage autogène et soudage de thermite.

Il est devenu possible maintenant et même facile de porter n'importe quel métal (et en particulier l'acier) à son point de fusion et d'obtenir la jonction de deux pièces métalliques portées à l'état liquide (et parfois réunies par un métal d'apport) on tend vers la soudure idéale : celle qui modifie aussi peu que possible l'homogénéité du métal à cause de quoi le soudage à l'arc électrique devient peu à peu le mode principal de l'industrie. L'élaboration du soudage automatique et semi - automatique sous flux solide en URSS stimulait ce processus. Pendant la deuxième guerre mondiale, aux Etats Unis a été élaboré le soudage sous gaz neutre et URSS le soudage sous actif gaz.

L'élaboration des nouveaux modes du soudage se poursuit actuellement. En France est élaboré le soudage par bombardement électronique; aux Etats Unis le soudage au laser en URSS le soudage sous laitier conducteur etc...

Grand nombre des modes du soudage, large diversité des matériaux, la complexité des tâches d'exécution des constructions soudées, tous cela demande l'étude de sa spécialité avec soin à l'ingénieur de soudage.

II - ETUDE DES CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT ET EXIGENCES TECHNIQUE

II.1 etude des conditions de fonctionnement: les poutres que l'on va étudier sont soumises à des charges statique et à des charges dynamiques.

II.11 - Cas de charges statiques.

Les caractéristiques des propriétés mecaniques des cordons et des soudures sous l'action d'une charge statique sont :

- la limite de rupture R_b
- la limite d'elasticité R_T
- l'allongement relatif Tr
- la triction relative
- angle de pli

Selon le standard sovietique (OCT 6996 - 66) l'essai doit être effectué sur les échantillons dont les dimensions sont normalisées 18,36 et 60 mm de long et 3,6 et 10mm de diametre (c'est à dire pour $L = 18$ ona $d = 3$, $L = 36$ ona $d = 6$ etc...) On determine la limite de rupture d'une soudure sur les échantillons plat, coupées des plaques soudées. Par exemple la largeur d'échantillons est égale à 25 mm pour l'épaisseur du metal allant de 10 à 25 mm.

Pour les aciers non allies et faiblement allies des procédés modernes du soudage manuel et automatique assurent pratiquement la solidité de soudure équivalent à ce du metal de base sans perte de plasticités du métal de base. Le module d'élasticité du metal de cordon est presque le même que celui du metal de base.

Les propriétés mecaniques hautes peuvent être obtenues dans le cas du soudage de l'acier à haute resistance (limite de rupture R_b 100 - 120 kgf/mm², mais habituellement pour ces aciers il est necessaire d'effectuer le traitement thermique après le soudage.

II. 12 - Cas de charges dynamiques :

Supposons un échantillon metallique soumis à une force variant periodiquement des sens et parfois d'intensité mais dont l'intensité maximale serait insuffisante à amener la rupture si elle était appliquée à valeur constante. Après un certain temps et pour vu que cette charge dépasse une valeur minimale, une rupture se produit.

Moins la contrainte amenant la rupture est forte, plus le nombre d'alternances supportées par le metal avant rupture est grand; par contre il n'y a pas de relations entre cette contrainte et la frequence des alternances.

La nature des contraintes (flexions, torsions) joue un rôle ainsi, naturellement que la nature du métal et surtout son homogénéité toute homogénéité peut donner rapidement naissance à une fissure amorcée d'une rupture prochaine. La courbe exprimant la contrainte imposée en fonction du nombre de cycles avant rupture (fig I) est décroissante tend asymptotiquement vers une valeur limite p représentant la contrainte périodique maximale que peut subir le métal sans briser. Si la section de l'éprouvette est égale à S mm² la limite de fatigue est donnée par :

$$= \frac{l}{S} \quad , \quad \text{où} \quad l = \text{contrainte périodique maximale}$$

$s = \text{section de l'éprouvette}$

Cette limite de fatigue est toujours inférieure à la limite d'élasticité la solidité des soudures sous l'action d'une charge variable dépend principalement du nombre de cycles, de l'amplitude de variation de tensions, de la forme et des dimensions des échantillons essayés, de leurs matériaux, d'état de surface, de la nature des contraintes, des propriétés du milieu où l'on fait l'essai, (air, eau, etc...)

En règle, la limite de fatigue est déterminée par l'essai de plusieurs échantillons au nombre de chargement de 2 à 10 millions de cycles pour les pièces d'acier et au nombre plus grand de cycle pour les pièces fabriquées en alliage non ferreux.

Le coefficient de l'amplitude ou la caractéristique du cycle est défini par un rapport :

$$R = \frac{S_{\text{mini}}}{S_{\text{maxi}}}$$

Où S_{maxi} et S_{mini} sont conformément les tensions maximale et minimale selon leurs valeurs absolues prises avec leurs signes (fig 2). Il est établi que la concentration des tensions s'exerce par une influence considérable sur la limite de fatigue du métal pour les valeurs R voisins de 1.

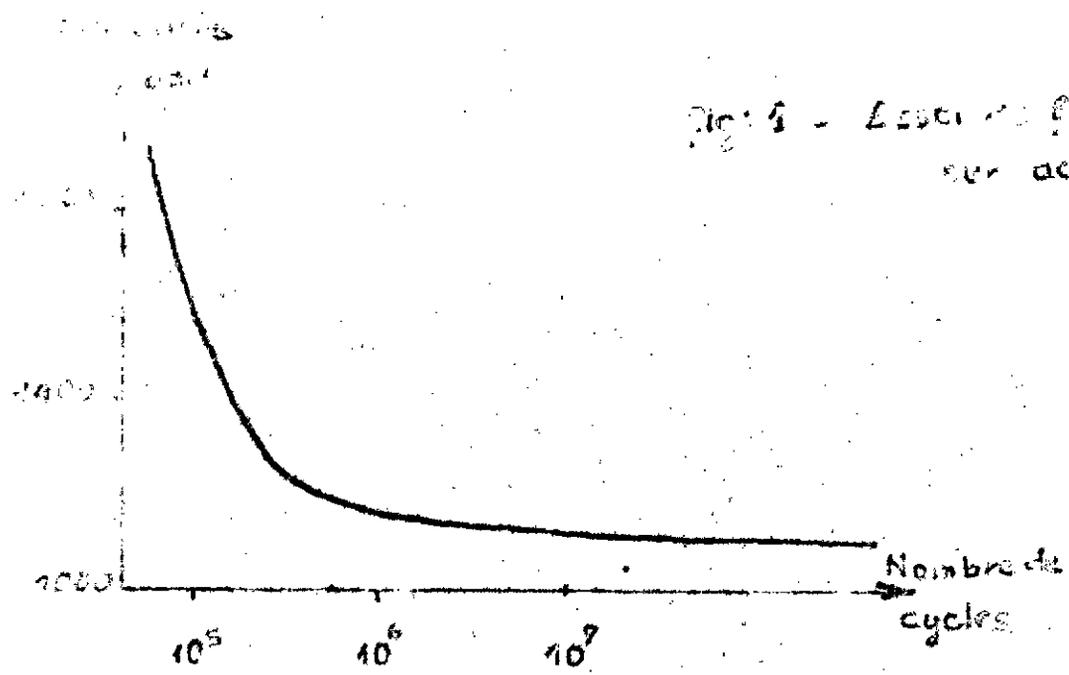


Fig 1 - Essai de fatigue sur acier

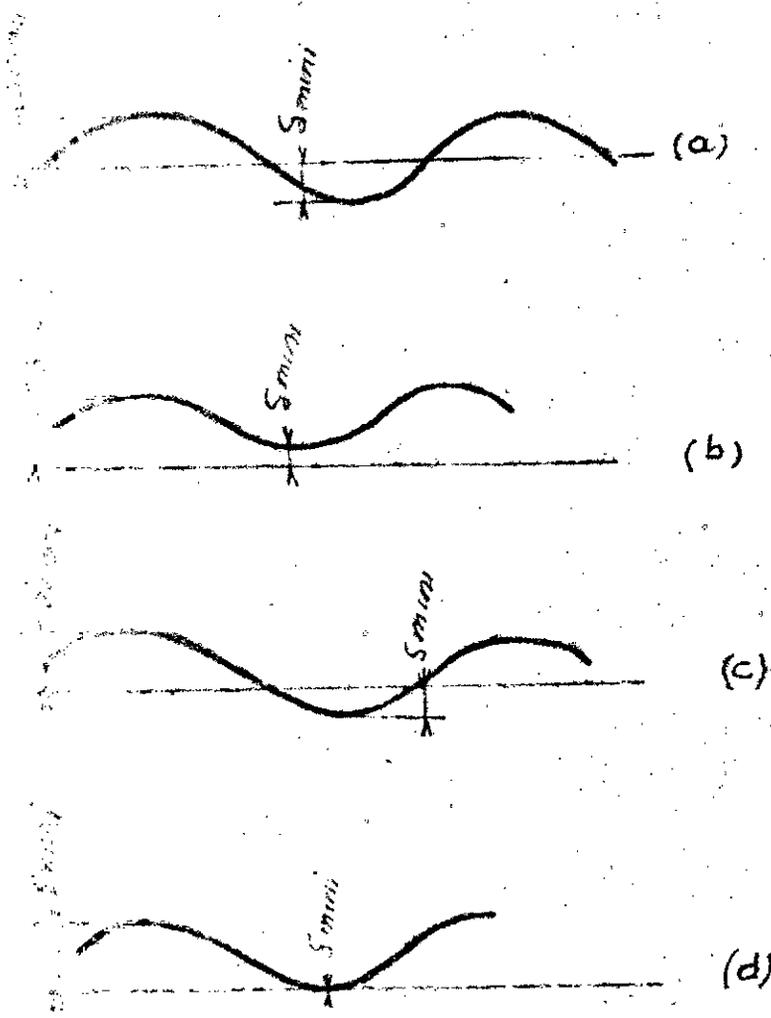


Fig 2 - Schema des chargements variables à caractéristiques de cycles divers

- a) Symétrique $S_{max} = S_{min}$
- b) à signe constant
- c) à signe variable
- d) à pulsation

Pour la charge statique ($R = 1$) la limite de rupture en presence des concentrateurs augmente fréquemment par rapport aux échantillons non entaillés; à la diminution de R l'influence de la concentration de tensions sur la valeur de la limite de fatigue augmente et atteint sa valeur maxi pour $R = - 1$. La solidité des pièces de construction métallique sous l'action de charges variables dépend considérablement de l'existence de la concentration des tensions K_E est le rapport de la limite de fatigue de l'échantillon non entaillé (habituellement $R = 1$) à la limite de fatigue de l'échantillon à l'existence du concentrateur K_E est toujours supérieur à 1; plus K_E est proche de 1 plus la soudure est parfaite. Pour des matériaux fragiles le coefficient de construction K_E est au coefficient théorique, pour les matériaux ductibles il est généralement moins grand.

En règle, les limites de fatigue des aciers diminuent à l'augmentation de température d'essai et augmentent à son abaissement. Dans les milieux agressifs la limite de fatigue diminue essentiellement.

La limite de fatigue de métal de base est souvent diminuée dans la zone thermiquement affectée ce qui s'explique par le changement de la structure du métal; après le traitement thermique de la soudure la structure se rétablit fréquemment et le métal de soudure devient homogène.

A proximité des cordons il existe des concentrations de tensions en conséquence de gradation brusque du métal déposée au métal de base.

Pour les soudures R dépend du métal, de la forme de construction, du procédé technologique du soudage, du milieu etc...

Des défauts d'exécution de soudures, manque de pénétration, inclusion d'oxydes, excès de métal, collage, souffures, caniveaux sont toujours des concentrateurs des tensions et foyers de rupture sous l'action des charges variables.

Pour le soudage des aciers non alliés et parfois des aciers de construction faiblement alliés, le rapport $\frac{\sigma_{R'}}{\sigma_R}$ varie de 0,9 à 1.

R' : limite de fatigue de la soudure bout à bout pour la caractéristique du cycle R ; parfois la rupture par fatigue a lieu et se fait dans le métal de base loin du cordon ce qui certifie la plus haute limite de fatigue de soudure par rapport au métal de base.

En présence des défauts technologiques dans les cordons la solidité des soudures sous l'action des charges variables baisse brusquement (fig 3). L'influence de manque de pénétration sur la diminution de la limite de fatigue des soudures dépend de l'espèce des matériaux.

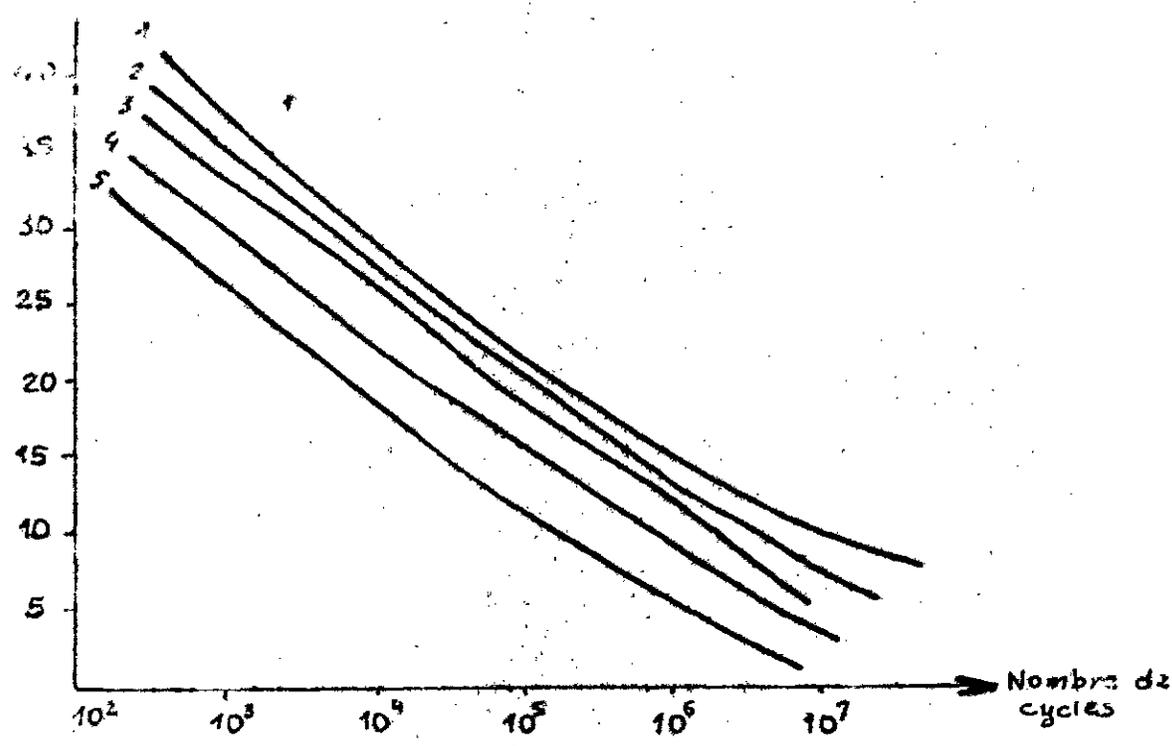


Fig:3 - Resistance des soudures à manque de pénétration

- 1: manque de pénétration: 0%
- 2: (5-10)%
- 3: (23-25)%
- 4: (45-50)%

Les soudures des aciers à hautes résistances , des aciers inoxydables au Nickel-Chrome et des alliages de titane sont très sensibles à la manque de pénétration . Les cordons convexes ont la limite de fatigue plus basse que les cordons plats . En règle on obtient de bons résultats en renforçant les soudures bout à bout .

Il est démontré expérimentalement que la limite de fatigue de la soudure en T ou en angle exécutée avec chanfreinage de bords avant le soudage est plus résistant que si celle - ci est exécutée sans chanfreins.

II 2 - EXIGENCES TECHNIQUES

On dit qu'une soudure est idéale si on a une continuité parfaite des pièces assemblées de sorte qu'on ne peut pas distinguer le joint du métal qui l'entoure. En pratique ce cas idéal n'est jamais réalisé mais il existe plusieurs façons d'obtenir des soudures donnant entière satisfaction.

Dans notre cas la température n'a aucun effet sur les poutres à étudier , elle est de 20°C et inertes à tout effet extérieur

Chaque procédé de soudage doit satisfaire à un certain nombre de conditions, la plus importante étant la source d'énergie qui est généralement sous forme de chaleur de façon à joindre par fusion les parties de l'assemblage à réaliser. La chaleur peut être engendrée par une flamme, un arc , la résistance au passage d'un courant électrique, l'énergie de radiations ou par des moyens mécaniques .

Le nettoyage des surfaces des pièces à souder n'est cependant pas nécessaire car une des propriétés d'un procédé de soudage permet de dissoudre ou de disperser les pellicules superficielles. Ceci est obtenu par l'action chimique d'un flux ou par l'action directe de l'arc . Les agents qui risquent de contaminer la soudure et qui doivent être éliminés de la surface sont de trois types : films organiques , gaz absorbés et composés chimiques du métal de base , en général oxydes. La chaleur élimine efficacement les pellicules organiques minces et les gaz absorbés de sorte que pour la majorité des procédés de soudage employant la chaleur c'est la pellicule d'oxyde restante qui revêt le plus d'importance.

Il convient d'empêcher les pellicules superficielles éliminées de se reformer lors du soudage , ceci étant en particulier le cas des nitrures.

Généralement le soudage s'effectue à l'abri de l'atmosphère.

Quand on utilise un flux pour nettoyer les surfaces à assembler , il assure aussi la protection de la soudure

Une couverture de gaz inerte , ou de gaz ne formant pas avec le métal de composés réfractaires peut être utilisée

Dans certains cas pour éliminer l'atmosphère on doit souder sous vide c'est le cas où les faces à souder sont en contact ~~très~~ étroit. Cependant dans le cas de grandes vitesses de soudage et avec un faible échauffement de sorte qu'une oxydation appréciable n'a pas le temps de se produire , on se dispense de cette protection elle est inutile.

Une autre exigence importante est l'obtention des propriétés métallurgiques satisfaisantes du joint obtenu par soudage. Quand on a fusion d'une partie du joint, il est souvent nécessaire d'ajouter des éléments d'oxydants ou d'alliage, comme c'est le cas de la fonderie

La composition chimique du matériau à souder est souvent imposée , c'est l'objet d'un paragraphe qui sera étudié plus loin .

Pour la soudure bout à bout on doit tenir compte :

- Le métal du cordon doit avoir la même solidité que le métal de base ; elle est assurée par le choix du type d'électrode.
- Si on a deux pièces à assembler ayant des épaisseurs différentes, on doit prévoir sur la plus épaisse une pente sur le bord à souder variant de 1/5
- Pour des éléments devant subir des charges dynamiques, de vibration, on doit adopter des soudures de deux côtés .
- Il est recommandé d'éliminer le bombage du cordon pour les soudures bout à bout . Les traces d'usinage du cordon bombé doivent être dans le même sens que les efforts appliqués à la pièce. Cet usinage est obligatoire seulement pour les semelles de poutre et les ponts roulants destinés à des régimes pénibles.
- Pour éviter les concentrations de tensions on doit laisser 40 à 50 mm entre 2 ou plusieurs cordons concurrents pour des raisons de solidité.

- l'intersection de cordons de soudure bout à bout doit être faite de façon que leur continuité soit suivant la figure. 3'

Pour les cordons en angles on doit aussi respecter les règles suivantes

- La hauteur minimale de la cathète du cordon doit être égale au moins à 4 mm.

On donne ci dessous le tableau donnant la cathète en fonction de l'épaisseur des toles à souder.

ÉPAISSEUR DE LA TOLE (mm)	CATHÈTE DU CORDON (mm)	
	aciers non allié	aciers faiblement allié
..... 10	4	6
11 — 20	6	8
21 - 30	8	10
31 - 50	10	12
50 et plus	12	—

- Le métal du cordon doit avoir la même solidité que le métal de base -
- La hauteur maximale de la cathète du cordon ne doit pas dépasser 1,2 de l'épaisseur de la tole pour éviter le chauffage excessif du métal.
- Dans le cas de charges dynamiques de vibration on doit éviter les angles en bout de soudure, généralement on préfère des joints concaves.

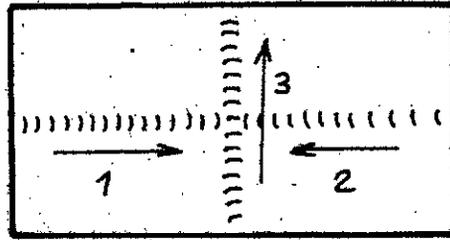
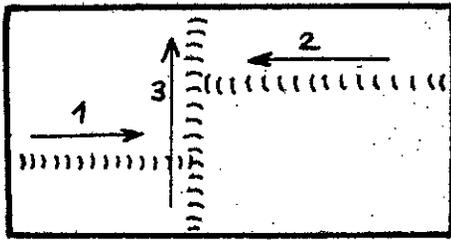


Fig: 3' sens et succession des opérations
dans le cas des cordons concurrents

III - DESCRIPTION DE CONSTRUCTIONS - CHOIX DU METAL DE BASE SON CONTROLE.

III 1 - Description:

Les poutres en I sont les plus repandues et destinees à travailler en flexion simple avec ou sans efforts tranchants appreciables. Elles sont constituees d'une part par deux membrures supportant le moment de flexion et dont l'une est tendue tandis que l'autre est comprimée et puis par un element qui les relie entre elles : , destiné à supporte les efforts tranchants.

On donne generalement aux deux membrures la même section en raison de l'egalite des contraintes admissibles en traction et en compression (...)

Dans notre cas on tient compte de la destination de la poutre à savoir elle aura à supporter des efforts dynamiques et de vibrations ; c'est pour cela qu'a la partie superieure de la poutre, à cause des efforts de compression, on utilise une section moindre que celle de bas ; des nervures de chaque cote de l'ame servent à assurer la stabilité; et à la partie inferieure, la presence des efforts de traction exige une section plus forte .

Le flechissement depend de la hauteur de l'ame d'où l'emploi d'une grandeur appreciable .

Les sections des poutres sont symetriques par rapport au plan vertical de l'ame .

Dans la charpente metallique les poutres à ame pleine sont employees comme pannes et chevrons, solives et poutres de planchers, chemins de roulement etc ...

Dans les ponts metalliques on les emploie comme poutres principales suivant la limite de portée.

III 2 - Choix du metal de base

L'acier utilise pour les constructions metalliques est un compose ferreux contenant 0,12% à 1% de carbone ainsi que d'autres metalloides ou metaux en faible proportions dont l'addition est susceptible de modifier les proprietes de constituants de base.

On utilise en general l'acier THOMAS elabore au convertisseur ce procedé permet d'obtenir un acier de qualité courant mais qui demande des precaution lors du soudage.

Pour ameliorer la qualité par insuflation d'air suroxygene pendant le soufflage de l'acier en fusion dans le convertisseur des recherches ont ete faite et ont abouti à la realisation d'un acier renfermant des teneurs azote, soufre, et phosphore comparables à celle de l'acier martin . L'analyse bien controlée des teneurs en carbone et manganèse permettrait d'obtenir un acier qui, meme apres vieillissements, tant à la temperature ordinaire qu'a base temperature, conserverait une resilience de même ordre de grandeur que celle de l'acier MARTIN .

L'acier elabore au four par le procede MARTIN est un peu plus couteux que l'acier THOMAS mais il est plus homogene et convient bien pour les travaux de soudure.

Les caracteristiques mecaniques servant a definir les nuances de l'acier sont :

- La limite de resistance à la rupture
- La limite d'élasticité
- L'allongement de rupture
- La resilience

En construction metallique on utilise principalement les nuances d'acier suivantes :

- L'acier doux ordinaire (Acier ADx) ou encore appelé acier doux de construction. C'est le beaucoup le plus employé il a une garantie de charge à la rupture de 36Kg/mm^2 sans garantie relative au coefficient d'allongement.

- L'acier 42/45 : C'est un acier au carbone assez homogene et qui se laisse travailler assez facilement mais qui est tres oxydable employe surtout pour les ponts.

Il possède une charge de rupture de 42Kg/mm^2 ; un coefficient d'allongement minimum de 25% ; une limite d'élasticité superieure à 24Kg/mm^2 .

- L'acier mi-dur, a haute resistance, a une charge de rupture de 54 à 55 kg/mm² un coefficient d'allongement de 20% minimum, une limite elastique superieure à 36 kg/mm² ce qui permet d'augmenter la valeur des contraintes. Admissibles

- L'acier mi-dur : utilise pour les fils des cables des ponts suspendus, a une limite de rupture comprise entre 120 et 180 kg/mm². Tous ces aciers sont utilises comme aciers laminés, moules, forges et trefiles.

La teneur en carbone de l'acier est un facteur important de sa soudabilité. Avec moins de 0,20 % de carbone, l'acier est parfaitement soudable; c'est le cas des aciers doux.

Au dessus de 50 kg/mm² le soudage peut devenir difficile suivant la composition de l'acier. Les impuretes jouent un rôle important le phosphore et le soufre ne doivent pas dépasser 0,04 à 0,05 %. L'elaboration de l'acier au four MARTIN permet d'eliminer ces impuretes plus facilement qu'au convertisseur THOMAS.

En construction soudée on utilise généralement de l'acier doux.

En général ces types d'acier sont symbolisés par la lettre A et la nuance qui les distingue est leur charge minimale à la rupture R symbolisée par un nombre indiquant la valeur de cette charge en daN/mm². Pour les plus ordinaires de tous les aciers cette charge est remplacé par la notation Dx. Pour les autres elle varie de 33 à 95 daN/mm².

Vient ensuite un nombre, l'indice de qualité $N = R \div 2,5 A$.

A étant l'allongement en %. Une même nuance d'acier peut être de qualité N° 1,2,3 ou 4 suivant que l'indice N prend les valeurs 98,110,116 ou 121 (voir Tableau)

Avant cet indice de qualité figure parfois sur les toles une lettre indiquant l'utilisation :

T : Construction

N : Coques

C : Chaudières

Vient ensuite une lettre miniscule indiquant l'indice de pureté.

Ces impuretés essentielles étant le soufre et le phosphore, l'indice de pureté varie avec ces deux éléments suivant le tableau suivant :

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	0,03	0,025	0,055
k	0,02	0,025	0,045
m	0,02	0,015	0,035

L'indice de purete est parfois remplace par la lettre S indiquant que l'acier est soudable , eventuellement la lettre r indique que le metal a ete recuit

exemple : A 48 T 3 e

C'est une tole d'acier non allie pour construction dont la charge minimale de rupture est 48 daN/mm^2 , de qualite 3 , d'indice de purete C .

Pour les constructions exploitees dans les conditions dures et soumise à des charges dynamiques et de vibration comme les poutre de chemin de fer de pont roulant , il faut utiliser les aciers de classe 3 . C'est pour cela que l'on prendra un acier A 42T 3 e s dans notre etude, onse conformant à la norme NFA 35-008

A = 42 daN/mm^2

T : acier de construction

3 : N° qualite

e : indice de purete

S : acier soudable.

La Composition de cet acier sera

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

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

Si : (0,12 - 0,30) %

S < 0,05 %

P < 0,05 %

Ses caracteristiques mecanique seront :

A = 42 daN/ mm²

= 25 Kg/mm² (limite d'elasticite)

ε % = 26% (allongement relatif

Kr = 8 Kg m/m² (resiliace

Suivant les normes sovietiques

CHu M II - B 3 - 6

on a un acier semblable

B CT 3 c M

Nuances	R(daN/mm ²)		Indice de qualite, minimum de N= R + 2,5 A			
	mini	maxi	qualite N° 1	qualite N° 2	qualite N° 3	qualite N° 4
A 33	33	40	98	110	116	121
A 37	37	44	96	108	114	119
A 42	42	50	94	106	112	116
A 48	48	56	94	106	112	116
A 56	56	65	94	106	112	116
A 65	65	75	98	108	114	118
A 75	75	86	-	108	114	119
A 85	85	95	-	110	-	-
A 95	95	105	-	110	-	-

Differents types de barres normalisées :

On trouve des barres de longueur allant de 5 à 18 m et ayant des epaisseurs et largeurs suivant le tableau suivant :

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

Dans notre projet on prendra des tôles de dimensions suivantes:

des tôles 20 x 200 x 9000
 10 x 200 x 9000
 10 x 670 x 9000
 8 x 200 x 9000

III.3. Contrôle du métal de base.

Les aciers laminés doivent, avant l'emploi faire l'objet de contrôles de réception afin de déterminer la composition chimique, la composition physique (finesse et homogénéité du grain), la résistance mécanique et l'allongement, la résistance à la corrosion etc...

Donc au cours de l'élaboration, lorsque la solidification se produit, des impuretés peuvent rester incluses dans le métal. Au cours des traitements que l'on fait subir à l'acier pour le transformer de lingot en éléments directement utilisables par les constructeurs, des défauts prennent naissance, ce sont :

- l'écaillage : c'est à dire un durcissement local du métal quand celui-ci n'est pas suffisamment chaud pendant le laminage.
- Les repliures : défauts de surface provoqués quand le métal a été recouvert mais non soudé à la masse.
- Les doublures : feuilletage du métal provoqué par les retassures qui se forment parfois dans la tête du lingot lors du refroidissement de celui-ci.
- Ségrégations : concentration de certains composants et notamment 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 (zones centrales ou zones correspondants à des changements de direction du profil). Donc la ségrégation résulte en définitif d'une hétérogénéité cristalline produite lors du refroidissement du métal.

• Il convient de signaler les criques ou amorces de fissures en cours d'usinage. On détecte les défauts mécaniques par des essais de traction, dureté, pliage et résistance sur barreaux entaillés.

Dans notre étude on suppose que le vendeur a tenu compte des caractéristiques de l'acier qu'il nous a fourni.

IV CHOIX DU PROCÉDE DE SOUDAGE DE MATÉRIEL DE SOUDAGE

IV. 1- CHOIX DU PROCÉDE DE SOUDAGE

IV 11- Procédé de soudage à l'arc électrique.

Le soudage à l'arc électrique est le plus répandu car l'arc est facile à produire il peut être également utilisé simultanément pour fournir de la chaleur et éliminer des pellicules superficielles.

Le soudage à l'arc électrique se pratique au moyen d'un courant électrique qui, parcourant un circuit fermé d'une part sur la pièce et d'autre part sur l'électrode, provoque entre l'une et l'autre l'amorçage de l'arc.

La chaleur intense dégagé par cet arc entraîne simultanément:

- La fusion locale de la pièce à souder dont les parties attaquées constituent le bain de fusion.
- La fusion de l'extrémité de l'électrode dont le métal se trouve projeté à l'état de gouttelettes dans le bain de fusion avec lequel il constitue la soudure.
- La fusion de la matière enrobant l'électrode, matière dont la liquification forme le laitier qui, à la température de l'arc, protège la soudure contre l'oxydation de l'air.

IV 12. Choix du courant

Le soudage peut être effectué en courant continu ou alternatif s'il s'agit du courant continu, les deux tiers de la chaleur sont produits au pôle positif (température du métal fondu: 2500°C) et le troisième tiers au pôle négatif, dans le cas du courant alternatif, les deux pôles s'échauffent car ils sont alternativement positifs et négatifs, il s'ensuit que l'arc offre une plus grande stabilité avec le continu qu'avec l'alternatif.

Le choix du courant alternatif ou continu dépend du métal à souder et de la nature des électrodes.

En courant continu: l'amorçage et l'entretien du courant sont faciles mais on a certains inconvénients.

- Le courant distribué est alternatif, il faut donc le redresser
- Soufflage magnétique: l'arc se comporte comme un conducteur mobile et il est dévié par le champ magnétique induit par le courant de soudage en conséquence l'extrémité de l'arc sur la pièce faillit non au niveau de la soudure mais aux différents points du métal ce qui est évidemment gênant pour le soudeur on remédie.
 - en tenant l'arc aussi court que possible
 - en enroulant autour de la pièce métallique le câble de conduite du courant de manière à créer un champ antagoniste
 - en effectuant un pointage de pièce à intervalle rapproché
 - en préchauffant les pièces à souder, ce qui rapproche sa température du pt de curie et diminue ses propriétés magnétiques.

En courant alternatif, le phénomène ne se produit pas car les alternances de champ magnétique induisent dans les pièces métalliques des courants de Foucault dont le champ est antagoniste au champ induit par le courant de soudage.

Un autre avantage est que le courant de distribution est aussi alternatif, il suffit de le faire passer dans un transformateur pour abaisser sa tension.

Un petit désavantage est que l'arc est moins stable car il se refroidit à chaque alternance lorsque le courant s'annule, on peut annuler ce phénomène en augmentant la fréquence du courant par un passage dans un convertisseur de fréquence de 150 - Hz 450 Hz la polarité est dite directe ou négative si l'électrode est cathode l'anode est plus chaude que la cathode (continu) on choisit la polarité selon que l'on désire faciliter la fusion de la pièce ou de l'électrode quelque soit la nature du courant, le métal se déplace toujours dans le sens électrode vers pièce même lorsqu'il s'agit du soudage au plafond.

En effet la grande stabilité de l'arc en courant continu permet à des soudeurs médiocres de travailler, alors que la difficulté que présente le soudage en courant alternatif, éliminé les soudeurs n'ayant pas de sérieuses qualités professionnelles. Le soudage en courant alternatif est le plus répandu.

IV 13 - Types de soudages employés

On emploie le soudage manuel avec des électrodes métalliques pour les longueurs à souder de petites dimensions jusqu'à 0,5 - 1 m et le soudage automatique sans flux solide pour les grandes longueurs plus de 1m pour des raisons d'économie.

IV 2 - CHOIX DU MATERIAU DE SOUDAGE

IV2 I) Soudage manuel :

En soudage manuel, les baguettes métalliques (électrodes) ont une longueur de 450 mm et un diamètre de 2 à 10 mm.

L'enrobage qui entoure le métal est d'une composition complexe; il comprend généralement une quinzaine de corps différents dont les principaux sont: $S_1 O_2$, $Al_2 O_3$, $Ca O$, Mn, $Fe_3 O_4$ etc...

Le nombre et la proportion de ces corps varient suivant les marques d'électrodes.

L'enrobage doit être d'épaisseur constante et bien centré, il doit être, en outre parfaitement sec au moment de l'emploi.

L'enrobage agit d'une manière triple: électrique, mécanique et métallurgique.

- Electrique: Il permet l'utilisation du courant alternatif et, quelque soit la nature de courant, il facilite l'amorçage de l'arc et le rend stable.

Mécanique: Il exerce un guidage mécanique de l'arc et modifié les tensions superficielles du métal fondu par suite celle du dépôt.

Métallurgique; Il dégage des gaz qui protègent la soudure contre l'action de l'air les éléments qui le constituent s'incorporent au métal en fusion et en améliorent les qualités, enfin, il produit un laitier dont le dépôt sur la surface de la soudure protège le métal pendant son refroidissement.

On rencontre des enrobages de classe: I - 2.3. 3a - 4 - 5 - 6. On donne les propriétés caractéristiques de chaque classe.

- L'enrobage de classe (I) a une forte teneur en cellulose qui brûle en produisant une quantité d'hydrogène et d'oxyde de carbone qui protège l'arc de l'atmosphère.

La présence de ces gaz, confère à ce type d'électrode une fusion rapide et une forte pénétration.

L'absence de produit stabilisant dans l'enrobage et la forte tension d'arc imposent d'utiliser le courant continu, l'électrode étant au pôle positif.

Ces électrodes sont à rejeter pour les assemblages fortement sollicités et ne peuvent servir que pour la construction de petits réservoirs la ferronnerie, les cadres de fenêtre, les assemblages débridés sur tuyauterie à faible pression, la fabrication d'outillage..

b) - L'enrobage de classe (2) et (3) contiennent du titane souvent sous forme de rutile, avec une forte teneur en produits ionisants, confère à l'électrode une grande facilité d'emploi. Un enrobage de classe (2) donne un laitier visqueux qui supporte le métal fondu, ce qui permet d'utiliser l'électrode pour soudure d'angles à plat. Les enrobages de classe (3) contiennent en plus des produits basiques et donnent un laitier plus fluide. Ces électrodes conviennent par conséquent pour toute soudure en position donnant une pénétration moyenne et un arc régulier.

Le rutile et les produits ionisants présents dans l'enrobage font que ces électrodes peuvent être utilisées en courant alternatif ou continu pôle positif ou négatif.

- L'enrobage de classe (3a): les électrodes ont un enrobage à base de rutile (oxyde de titane) corrigé par addition de carbonate de calcium. L'addition de carbonate de calcium rend leur laitier plus fluide et moins gênant pour le travail sur surfaces verticales; elles permettent un soudage vertical en particulier en descendant et au plafond. Les autres caractéristiques sont voisines de celles de la catégorie de l'enrobage de classe (3)

- Enrobage de classe (4): ces enrobages sont désignés sous le nom de Semi-Volatils on les reconnaît par :

- a) leur production abondante de fumée
- b) l'odeur de bois ou de papier brûlés qu'ils dégagent en se consumant.
- c) la fumée et parfois la petite flamme qu'ils produisent au moment de la coupure de l'arc.
- d) l'aspect particulier, pendant le soudage, du bout de l'enrobage qui semble s'émietter dans l'arc.

Ce sont des électrodes à forte pénétration; elles conviennent bien en toutes positions et pour les assemblages même imparfaitement préparés. Elles sont également indiquées pour le soudage de pièces en acier moulé, qui présentent souvent des poches et des soufflures. Le métal déposé est de bonne qualité et forgeable.

- Enrobage de classe (5): ces électrodes sont à enrobage basique à base carbonate de calcium CO_3 CO. Mais, comme des teneurs trop élevées rendaient le laitier exagérément réfractaire, on est amené à ajouter à l'enrobage du fluorure de calcium Ca F_2 l'avantage de ces électrodes c'est que le métal qu'elles déposent est très sain, très voisin du métal de l'âme c'est à dire très peu carburé et très peu appauvri en manganèse l'emploi de ces électrodes apporte une grande sécurité aux constructions en acier de qualité et en fortes épaisseurs et, grâce à la haute teneur en calcium de leur enrobage, sont employées pour le soudage des aciers contenant du soufre et utilisés pour certaines pièces mécaniques destinées à être usinées.

- Enrobage de classe (6): l'enrobage est relativement conducteur, ce qui permet de faire passer dans l'électrode un courant nettement plus intense que les électrodes de classe précédentes (voir tableau suivant). Il assure une grande vitesse de fusion et par conséquent une avance rapide.

CLASSIFICATION DES ENROBAGES

Classe N°	TYPE	Composition chimique Globale	AFFINITE	Pouvoir	Comportement
1	minerai de fer sans ferro alliages	Minerale	Faiblement basique	oxydant	Fusible
2	minerai de fer ave ferro alliages	Minerale	Acide	Neutre	Fusible
3	Rutile	Minerale	Fortement acide	Reducteur	Fusible
30	Rutile chaux	Minerale	Acide	Reducteur	Fusible
4	Cellulose	Semi- organique	Acide	Reducteur	Semi-volatile
5	chaux(basique)	Minerale	Fortement basique	Reducteur	Refractaire
6	Poudre de fer	Semi-organique ou minerale	Variable	Reducteur	fusible ou semi-valatie

CARACTERISTIQUES D'UTILISATION DES DIFFERENTES
CLASSES D'ENROBAGES

CLASSE N°	TYPE	a) Nature du courant	b) Position	a) Intensite pour diam- etres					d) arc
				2,5	3,25	4	5	6	
1	Minerai de fer sans ferro-alliages	= +	P	Min 60	100	135	175	225	Tres faci- le
				Max 90	140	175	200	270	Trainant
2	Minerai de fer arc ferro-alliages	= +	P(H,V _m)	Min -	100	120	180	225	Tres faci- le
				Max -	140	180	270	360	Trainant
3	Rutile	= +	P H,V,0 pour 5mm	Min 40	80	120	180	190	Tres faci- le
				Max 90	130	180	260	350	Trainant
3a	Rutile-chaux	= +	P,H,V,0	Min 40	70	120	150	185	Tres faci- le
				Max 90	120	170	250	275	Trainant
4	Cellulose	= +	95V P H V,0	Min 30	80	120	150	185	Assez facile
				Max 85	120	160	250	275	
5	chaux(basique)	= +	95V P,H,V,0	Min 65	100	140	200	240	moins facile
				Max 90	140	180	250	300	
6	Poudre de fer semi-volatil	= +	70 P,H,W,0	Min 80	140	180	240	280	Tres faci- le
				Max 120	165	220	290	375	Trainant
6	Poudre de fer fusible	+ -	P	Min -	-	190	250	335	Tres faci- le
				Max -	-	270	350	450	Trainant

Abreviations :

= courant continu

+ electrode au pole positif

- electrode au pole negatif

± electrode au pole positif ou negatif
courant alternatif

P: soudage à plat

H: soudage de cordons d'angle .horizontaux

V: soudage Vertical

V_m soudage Vertical en montant

Vd : Soudage vertical en descendant

O : Soudage au plafond

Les lettres soulignées signifient que l'électrode convient particulièrement bien

Les lettres entre parenthèses signifient que l'électrode ne convient pas toujours.

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

CARACTERISTIQUES D'UTILISATION DES DIFFERENTES

CLASSES D'ENROBAGES (suite du tableau precedent)

CLASSE N°	TYPE	c) Laitier	f) Penetration	g) forme du cordon	h) aspect du cordon	i) fumées	j) quali- tés rayon X
1	Minerai de fer sans ferro- alliages	abondant, lourd se de- tachant seul.	Faible	concave	tres li- sse	Faibles	Mediocre
2	Minerai de fer avec ferro- alliages	Abondant bour soufflé facile à enlever	forte	concave	tres lisse	Moyennes inoffen- sives	Excel- lente
3	Rutile	Moyen, lourd assez vis- queux facile à enlever	Moyenne	convexe	lisse	assez faible	Medio- cre
3a	Rutile-chaux	Fluide, moye- nment lour- d facile à enlever	Moyenne	convexe	lisse	assez faible	assez bonne
4	Cellulose	Mince, léger se figeant rapidement	forte	Plat à convexe	Rugueux	Abondantes inoffensi- ves	Excel- lente
5	chaux (basique)	Moyen, brun brillant, peu couvrant	forte	Plat à convexe	assez lisse	Moyenne nocives	bonne
6	poudre	semi volati- le	moyen facile- à enlever	tres forte	plat	Assez lisse	abondantes bonne
	de fer	Abondant fusible facile à enlever	tres forte	plat	Assez lisse	Moyenne	bonne

IV 22) . Soudage automatique sous flux

Dans ce genre de soudage on rencontre :

- Soudage avec fil electrode toronne et impregne de flux
- Soudage avec fil fourre
- Soudage avec flux magnetique sous protection gazeuse
- Soudage à l'arc avec electrode en carbonne
- Soudage sous flux solide

La solution la plus utilisee et la plus reussie pour automatiser le . soudage est le soudage sous flux solide.

Il utilise un fil nu , le flux étant apporté sous forme de poudre qui recouvre complètement le bain de soudage et l'extrémité du fil electrode. L'arc se trouve donc entièrement couvert par le flux ce qui donne au procede ces avantages .

- l'utilisation possible de fortes intensites puisque l'arc est complètement couvert, ce qui exclut les projections ou l'entraine-ment de l'air . L'intensité élevée permet d'avoir une forte pene-tration, et le procede a un rendement thermique important parceque l'arc est en grande partie au dessous de la surface de la pièce.
- l'augmentation de la vitesse de soudage , ce qui reduit les con-traintes et les deformations residuelles.
- constance de la forme de la soudure et de ses qualités mecani-ques qui sont excellentes .

L'inconvenient c'est que l'operateur ne peut pas observer le bain de soudage et juger comment se fait la fusion.

Il doit faire confiance a la constance du procede, le déplacement de la tete de soudage est réglé d'avance avec precision ou , ajusté au cours du soudage en se reperant selon une pointe ou rayon lumineux placé au devant de l'arrivée du flux.

Le flux fondu reste sur la soudure sous forme de laitier vitrifié, le poids du flux fondu etant a peu pres égal à celui du fil . Au dessous de ce laitier , la soudure a un aspect lisse, presque sans ondulations , l'apport calorifique important donnant un bain volu-mineux se solidifiant lentement et en contact avec le laitier relativement fluide .

Les soudures sous flux sont nettes et régulières du point de vue contour. Le flux non fondu pendant le soudage est récupéré, mais il convient de s'assurer qu'il n'a pas été altéré par l'opération.

Les flux utilisés en soudage automatique ont une granulométrie contrôlée et peuvent être fondus, agglomérés ou frittés.

Le comportement du flux dépend à la fois de sa composition chimique et de sa granulométrie. Le tableau qui suivra indique les proportions approximatives des principaux constituants de flux courants. Pendant le processus de soudage une partie du flux fond pour recouvrir le bain et les particules métalliques quittant l'électrode, ce qui donne lieu à des réactions chimiques entre le métal et le flux. Ces réactions concernent en particulier le silicium et le manganèse éléments importants du point de vue résistance et qualité de la soudure. La partie inférieure du tableau montre que le silicium est apporté par le flux.

L'apport de silicium par le flux N° 20 permet une action déoxydante importante pour empêcher la porosité mais conduit à une augmentation de la teneur en silicium de la soudure qui peut nuire aux propriétés mécaniques et provoquer des fissures en soudage en plusieurs passes ; il est employé pour au maximum trois passes. Le flux N° 20, très utilisé, donne un laitier très fluide, et facilement détachable lorsqu'il est solidifié.

Le soudage peut seffectuer aussi à l'aide de deux têtes automatiques alimentées en série.

La tête automatique assure l'alimentation en fils-électrodes et en poudre ainsi que dans la plupart des cas le déplacement par rapport à la pièce. L'opérateur se borne à vérifier et surveiller la constance des paramètres de soudage à savoir l'intensité, la tension, la vitesse.

Le tableau ci dessous donne un exemple de composition chimique de flux, de fil et de metal fondu en soudage automatique sous flux.

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
S ₂ O ₂	41	38	48	53
Al ₂ O ₃	2,5	13	5	5
Mn O	0,75	7,5	10	-
Mn O ₂	39	-	-	-
 Metal 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			

En soudage automatique sous flux , le fil electrode est utilise en bobines, et il est en general recouvert d'une pellicule de cuivre.

Ceci le protège contre la corrosion superficielle pendant le stockage et permet un contact électrique facile pour l'arrivée du courant.

Le diamètre de fil utilisé dépend surtout de l'intensité nécessaire, variant de 2,4 mm pour une intensité de 150 Amperes jusqu'à 9,5 mm pour 300 Ampère.

Chaque taille de fil peut être utilisée dans une gamme d'intensité de plusieurs centaines d'ampères de sorte que pour une valeur donnée de l'intensité on a le choix entre plusieurs diamètres du fil. Le diamètre le plus petit donne une grande pénétration à intensité égale.

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

La composition chimique du métal fondu en soudage manuel avec électrode enrobée est déterminé lors de la fabrication de l'électrode. En soudage automatique sous flux, des variations opératoires peuvent modifier les proportions de tôle, fil et flux fondus. L'utilisation de fils d'acier très allié, acier inoxydable austénitique par exemple, peut conduire à introduire des éléments d'alliage dans le flux pour ralentir les réactions entre le métal et le laitier qui résulteraient en pertes d'éléments d'alliage pour le métal.

Le contrôle de la longueur du fil se fait automatiquement.

L'entraînement du fil par un moteur à vitesse constante est adopté en URSS ; c'est un procédé astucieux.

IV 23 - Normalisation des électrodes.

Les électrodes sont toutes désignées par une lettre majuscule E suivie :

- a) d'un chiffre variant de 0 à 6 indiquant sa résistance à la rupture "R"
- b) d'un chiffre variant de 1 à 5 indiquant l'allongement en pour-cent A %
- c) d'un chiffre variant de 1 à 5 indiquant la résilience K

CHIFFRES	R : (daN/mm ²)	A (%)	K (da J/cm ²)
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 ; U : scellu
losique ; U divers /

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

1 : toute position

2 : toute position exceptée en position verticale par la
methode descendante .

3 : à plat en gouttière à angle plat

4 : a plat et en gouttières .

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

CHIFFRES	Courant continu polarité	Courant Alternatif tension à Vido
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
Le Signe (-) indique que la pièce à souder est négative
polarité inverse.

V CALCUL DU REGIME DE SOUDAGE

Dans notre étude on doit envisager le soudage manuel et le soudage automatique
On donnera les principaux paramètres pour chaque cas.

1 - Choix du diametre de l'électrode :

Le tableau ci dessous precise les valeurs, de la cathete H en fonction de l'épaisseur des toles à assembler . Lorsque l'assemblage est executé sur des pieces d'épaisseurs differentes, celle à considerer est l'épaisseur la plus grande . Ces valeurs sont données expérimentalement .

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

D'apres l'épaisseur " e " on choisit la cathete " H "

pour une epaisseur de 10 mm on prend une cathete de 8 , d'où le choix du diametre de l'electrode suivant le tableau suivant

cathete du cordon (mm)	3	4 - 5	6 - 9
diametre de l'électrode (mm)	3	4	5

Soit pour une cathete de 8mm deja choisie en tenant compte de l'épaisseur de notre tole , on aura un diametre de l'électrode de 5 mm .

12 - Nombre de passes

Pour determiner le nombre de passes on doit tenir compte :

- de l'aire maximale transversale du cordon ;
- le cordon pour une seule passe ne doit pas excéde

(30 - 40) mm² d'aire transversale

La section transversale est determiner suivant la formule suivante:

$$F_c = \frac{K_r \cdot K^2}{2}$$

F_c = aire transversale du cordon de soudure en mm

K = cathete du cordon en mm

K_R = coefficient du renforcement du cordon

on fait le choix de K_R selon la cathete du cordon

cathete au cordon K (mm)	3 - 4	5 - 6	7 - 10	15 - 20	20 - 30	30
K_R	1,5	1,35	1,25	1,15	1,10	1,05

Pour une cathete de 8 mm on aura $K_R = 1,25$

$$d'o\grave{a} \quad F_c = \frac{1,25 \times 8}{2} = 40 \text{ mm}^2 \text{ soit 1 cordon en}$$

1 seule passe

V 13 - Courant de soudage

Il est fonction de K_1 et de d_e , les valeurs de K_1 sont donnees par le tableau suivant :

d_e	2	3	4	5	6
K_1	25 - 30	30 - 45	35 - 50	40 - 55	45 - 60

Pour $d_e = 5$ mm on a $K_1 = 50$

$$I_s = K_1 \cdot d_e \\ = 50 \times 5 = 250 \text{ Amperes}$$

V 14 - Le voltage

Il est determine suivant la formule

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

$$= 20 + \frac{50 \times 10^{-3}}{5^{0,5}} \cdot 275 \pm 1 = 25,59 \text{ volts}$$

Soit 26 volts

V 15 - Choix de l'enrobage

d'après

- a) le choix diametre de l'électrode $d_e = 5 \text{ mm}$
- b) l'intensite de soudage $J_s = 250 \text{ A}$
- c) les positions de la soudure
- d) des propriétés de l'enrobage
- e) aspect du cordon
- f) forme du cordon

on choisit une electrode de classe 3_a

V 2 - Soudage automatique

On fera des calculs pour des soudures bout à bout avec chanfrein à 45° qui seraient assimilable à des soudures d'angle sans chanfreinage (fig. 4)

Dans notre cas pour le soudage automatique des angles, ce n'est pas obligatoire de faire de chanfrein aux bords des pièces à assembler car pour le faire il faut avoir une tole epaisse et travaillant en basse temperature ($- 20^\circ \text{C}$)

Les parametres principaux du regime de soudage automatique sous flux gazeux ou flux solide exerçant une influence importante sur les dimensions et forme du cordon sont : l'intensite du courant de soudage,

La densite du courant en electrode, le voltage de l'arc, la vitesse de soudage, la composition chimique du flux ou gaz, la nature du courant, sa polarite etc ...

Il faut choisir tels parametres de regime qui assurent l'obtention des cordons à la forme , qualite et dimensions necessaires.

Dans notre étude on a deux calculs à faire :

Un pour la partie inferieur et un pour la partie superieur. On fait cela à cause des differences d'épaisseur.

V 21 - Calcul pour la partie superieure

Les epaisseurs des pièces sont egales soit $S = 10 \text{ mm}$

V 211 Penetration necessaire H_1

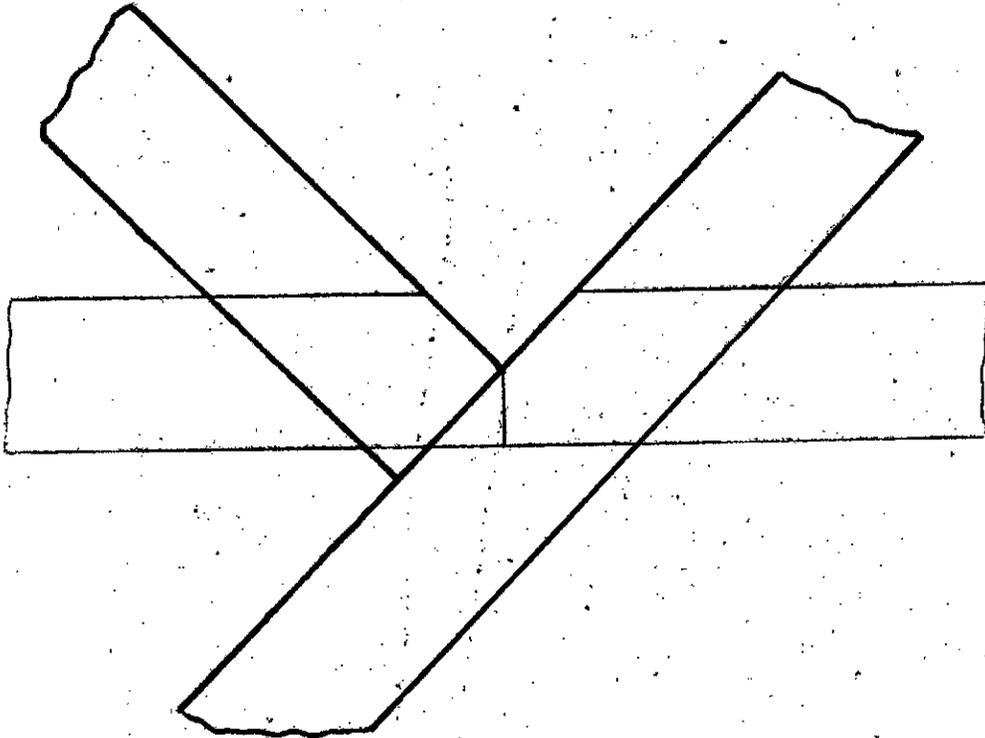
On determine la penetration necessaire de la soudure par

la formule : $H_1 = \frac{S}{2}$; parfois elle peut être choisie

comme suit: $H_1 = \underline{\hspace{1cm}}$ ($2 \div 3$)mm o' S designe l'épaisseur de la tole.

Dans notre cas $H_1 = \frac{S}{2} = 5 \text{ mm}$

Figure 4



— trait fin : soudage bout à bout avec chanfreinage

— trait fort : soudage d'angles sans chanfreinage

V 212 - Intensite du courant de soudage I.

L'intensite du courant de soudage assurant la penetration necessaire de la soudure est donnee par la formule :

$$I_s = \frac{H_1}{K_j} \cdot 100$$

H₁ = Penetration necessaire de la soudure d'1 coté en (mm)

K_j = Coefficient dont la valeur depend des conditions de soudage

Le tableau ci - dessous donne les valeurs de K_j suivant le diametre de l'electrode et selon la nature du courant utilise soit le continu ou l'alternatif

Mode de Soudage	Diametre de l'electrode (mm)	K _j mm/100 A		
		courant alternatif	courant continu polarite directe	courant continu polarite inverse
sous flux solide a teneur en mn elevee	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 - 1,10
	6	0,90	-	-
En atmosphe-re de CO ₂	1,2	-	-	2,10
	1,6	-	-	1,75
	2,0	-	-	1,55
	3,0	-	-	1,45
	4,0	-	-	1,35
	5,0	-	-	1,20

On calcul le diametre de l'electrode approximativement suivant la formule

$$d_e = 1,13 \sqrt{\frac{I_s}{J}}$$

j = densité admissible du courant ; elle est donnée en fonction de " d_e " d'après le tableau suivant :

d_e (mm)	5	4	3	2
j (A/mm ²)	30- 40	35- 55	45, 85	60- 150

soient : $H_1 = 5$ mm
 $d_e = 5$ mm
 $K_j = 0,95$ mm/A
 $j = 30$ A/mm)

$$\text{On aura : } I_s = \frac{H_1}{K_j} \times 100 = \frac{5}{0,95} \times 100 = 526\text{A soit } 530\text{A}$$

d'où on déduit le diamètre de l'électrode " d_e "

$$d_e = \frac{1,13}{j} \sqrt{I_s} = 1,13 \sqrt{\frac{530}{30}} = 4,75 \text{ mm}$$

Soit $d_e = 5$ mm donc la valeur de " d_e " que l'on a choisi précédemment et arbitrairement est acceptable car il faut que $d_e - d_e$

V 213 Voltage optimal : U_s

Pour le diamètre de l'électrode et l'intensité du courant admis, on détermine le voltage optimal de l'arc électrique.

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

$$U_s = 20 + \frac{50 \times 10^{-3}}{5^{0,5}} \cdot 530 \pm 1$$

$$= 31,85 \text{ soit } 32 \text{ volts}$$

III 214 - Penetration de la soudure .

La profondeur de fusion du metal peut etre formulee

$$H = A \sqrt{q_c / \psi_f}$$

Le rapport de la largeur e du cordon à la profondeur de fusion H est appele coefficient de forme de fusion et note par $\psi_f = \frac{e}{H}$

Le rapport de la largeur e à la hauteur du renforcement du cordon g , est le coefficient se forme de renforcement et est noté par

$$\psi_r = \frac{e}{g}$$

Pour les aciers non allies et faiblement allies dans le cas du soudage sous flux solide avec le fil electrode non allié ,

La valeur de A est 0,0156

d'où :

$$H = 0,0156 \sqrt{q_c / \psi_f}$$

ainsi pour le calcul de la profondeur de fusion du metal on aura l'energie courante q_c à determinee

$$q_c = \frac{I_s \cdot U_s \cdot \eta}{V_s} \quad \text{et le coefficient de forme de fusion}$$

à savoir il est fonction de U_s et I_s

$$\psi_f = f (U_s , I_s)$$

Pour les diametres divers de fil d'electrode sera determiner suivant la formule :

$$\psi_f = K' (19 - 0,01 I_s) \frac{de \cdot U_s}{I_s}$$

K' = coefficient dont la valeur depend de la nature des courant, et sa polarité

de = diametre de l'electrode

$K' = 1$ pour le courant alternatif

$K' = 0,367 \cdot j^{0,1925}$ pour le courant continu en polarite inverse
Si $j = 120 \text{ A/mm}^2$

$K' = 2,92/j$ 0,1925 pour le courant continu en polarité directe
Si $j = 120$ A/mm²

si $j < 120$ A/mm² alors K' aura deux valeurs :

- $K' = 0,92$ pour le courant continu polarité inverse

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

Sachant la profondeur de fusion du métal et f on peut alors déterminer la largeur du cordon e

$$e = \psi f \cdot H$$

Pour calculer la hauteur du renforcement de cordon g on détermine d'abord l'aire de la section transversale du métal fondu

Calculons d'abord le coefficient de la forme de pénétration

$$\psi f = K' (19 - 0,01 I_s) \quad \text{de } U_s$$

$$= 1 (19 - 0,01 \times 530) \frac{5 \times 32}{530}$$

$K' = 1$ car

on choisit le courant alternatif

$$= 4,13$$

La dessous on calcule les dimensions principales du cordon qui auraient lieu au soudage bout à bout sans chanfreinage (fig 5) et en supposant que la hauteur totale du cordon est invariable pour le cas de soudure chanfreinée (fig 6) on peut écrire

$$H = c - g \quad (\text{soudure sans chanfrein})$$

$$H_0 = c' - g' \quad (\text{soudure avec chanfrein})$$

puisque $c' = c$ on aura

$$H + g = H_0 + g'$$

Calculons H , g , g' , H_0

$$H = 0,0156 \quad q_c /$$

$$g = Fd / 0,73 e$$

$$g' = \frac{Fd - cb}{tg \frac{1}{2}}$$

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

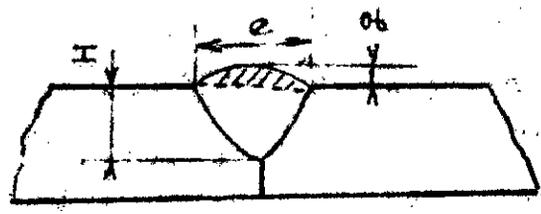


fig 5 : Soudage sans chanfreinage

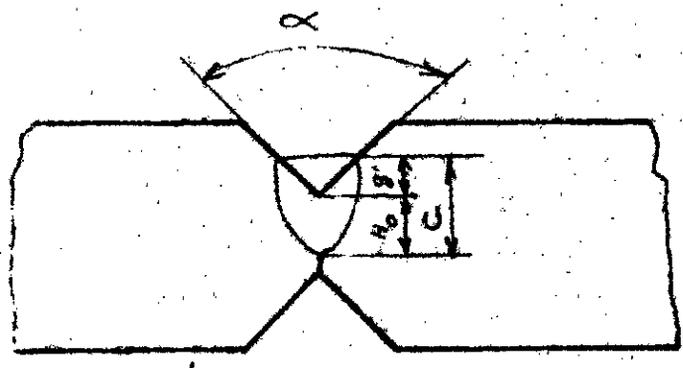


fig 6 : Soudage avec chanfreinage

g' : hauteur de remplissage du chanfrein
 H_0 : profondeur de fusion du métal
 C : hauteur totale du cordon
 α : angle de chanfreinage

avec:

F_d = aire de la section transversale du cordon effectu
 en une seule passe

b = espace entre 2 toles

c = hauteur total du cordon

α = angle de chanfreinage

$$q_c = \frac{I_s \cdot U_s}{V_s} \quad \eta = 0,8$$

η = coefficient de rendement thermique il vaut 0,8

Pour determiner q_c , calculons d'abord la vitesse de sou
 selon la formule.

$$V_s = A / J_s$$

Le tableau suivant donne les valeurs de A en fonction des me-
 tres des electrodes .

1,2	1,6	2,0	3,0	4,0	5,0	
(2-5)10 ³	(5-8)10 ³	(8-12)10 ³	(12-16)10 ³	(16-20)10 ³	(20-25)10 ³	(25-30)10 ³

$$V_s = \frac{20 \times 10^3}{530} = 38 \text{ m/h}$$

$$q_c = \frac{530 \times 32 \times 0,8}{3800/3600} = 357,05 \text{ soit } 12853,89 \text{ J'/cm}$$

On peut calculer H

$$H = 0,0156 \frac{q_c}{\psi_f} = 0,0156 \frac{12853,89}{4,13} \text{ avec } f = 4,13$$

$$= 0,87 \text{ cm soit } 8,7 \text{ mm}$$

Pour déterminer la hauteur du renforcement du cordon g, on doit calculer la valeur du coefficient du dépôt le métal au soudage

α_d ; il est donné par la formule :

$$\alpha_d = f (1 - \psi)$$

α_f = coefficient de fusion de métal (voir fig 7)

ψ = coefficient de perte du métal d'apport : c'est le rapport de la quantité du métal perdu sous l'aspect d'étincelles à la quantité totale du métal d'apport fondu. Il est donné par la formule suivante;

$$\psi = - 4,72 + 17,3 \cdot 10^{-2} j - 4,43 \cdot 10^{-4} j^2$$

Soit j déjà choisi $j = 30 \text{ A/mm}^2$

$$\begin{aligned} \text{d'où } \psi &= - 4,72 + 17,6 \times 10^{-2} \cdot 30 - 4,43 \times 10^{-4} (30)^2 \\ &= - 4,72 + 5,28 - 0,40 \\ &= 0,16 \qquad \alpha_f = 10 \qquad d = 5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{d'où } \alpha_d &= f (1 - \psi) \qquad \text{voir graphe fig 6} \\ &= 10 (1 - 0,16) = 8,4 \end{aligned}$$

Puis calculons la largeur e du cordon par la formule suivante ;

$$\begin{aligned} e &= f \cdot d \\ &= 4,13 \times 3,7 \\ &= 36 \text{ mm} \end{aligned}$$

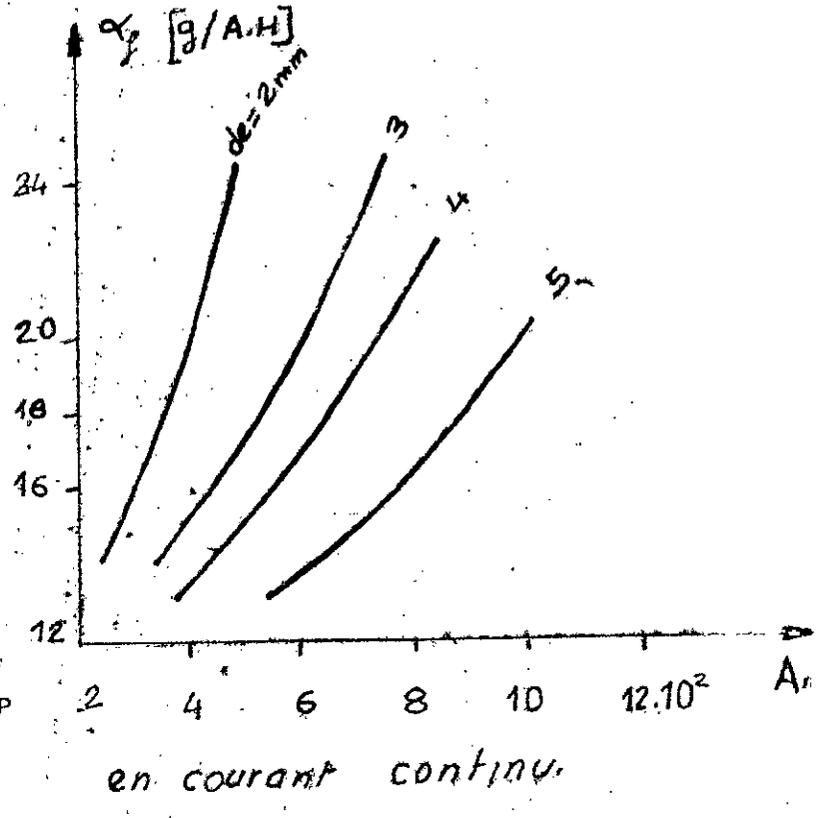
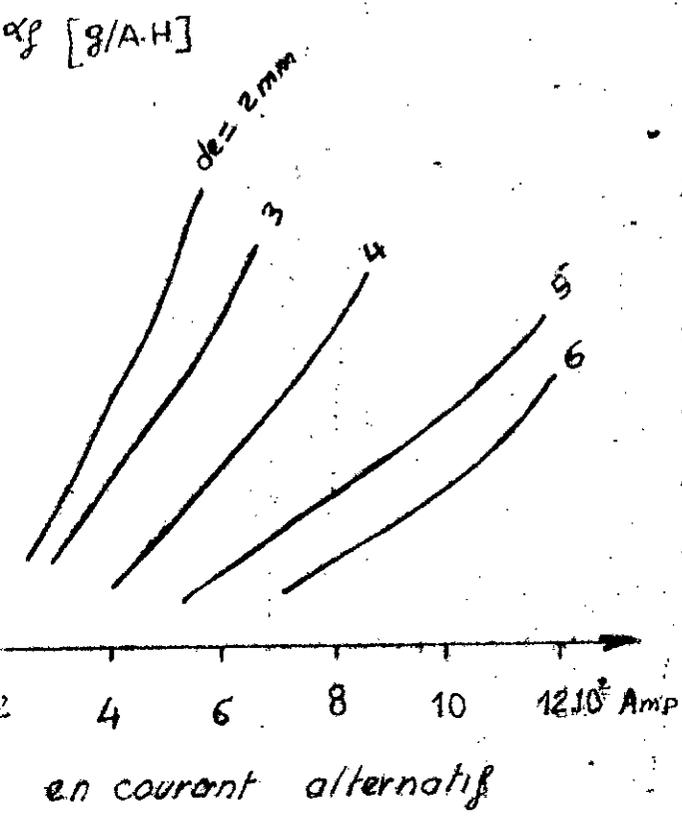
Calculons de même Fd, l'aire de la section transversale elle est donnée par la formule :

$$F_d = \frac{d}{3600} \cdot \frac{5s}{Vs}$$

où γ représente la densité du métal déposée soit $\gamma = 7,89/\text{cm}^3$

$$F_d = \frac{8,4 \times 530}{3600 \times \frac{3800}{3600} \times 7,8} = 15 \text{ mm}^2$$

fig 7 : α_f en fonction du régime de soudage



enfin g sera égal à

$$g = \frac{Fd}{0,73e}$$

$$g = \frac{15}{0,73 \times 36} = 0,6 \text{ mm}$$

La hauteur de remplissage du chanfreinage g' sera calculer par la formule donnée precedemment

$$g' = \frac{Fd - cb}{\text{tg} \frac{\alpha}{2}}$$

$$Fd = 15 \text{ mm}^2$$

l'espace entre les 2 pièces est nul d'où cb = 0 donc :

$$g' = \frac{\sqrt{Fd}}{\text{tg} \frac{\alpha}{2}} \quad \text{avec } \alpha = \frac{\pi}{2}$$

$$g' = \frac{\sqrt{15}}{1} = 3,87 \text{ mm}$$

puisque on a c = H + g = H₀ + g'

$$\begin{aligned} \text{on aura : } H_0 &= H + g - g' \\ &= 870 + 0,60 - 3,87 \end{aligned}$$

$$5,4 \text{ mm}$$

La largeur du cordon "e" sera approximativement :

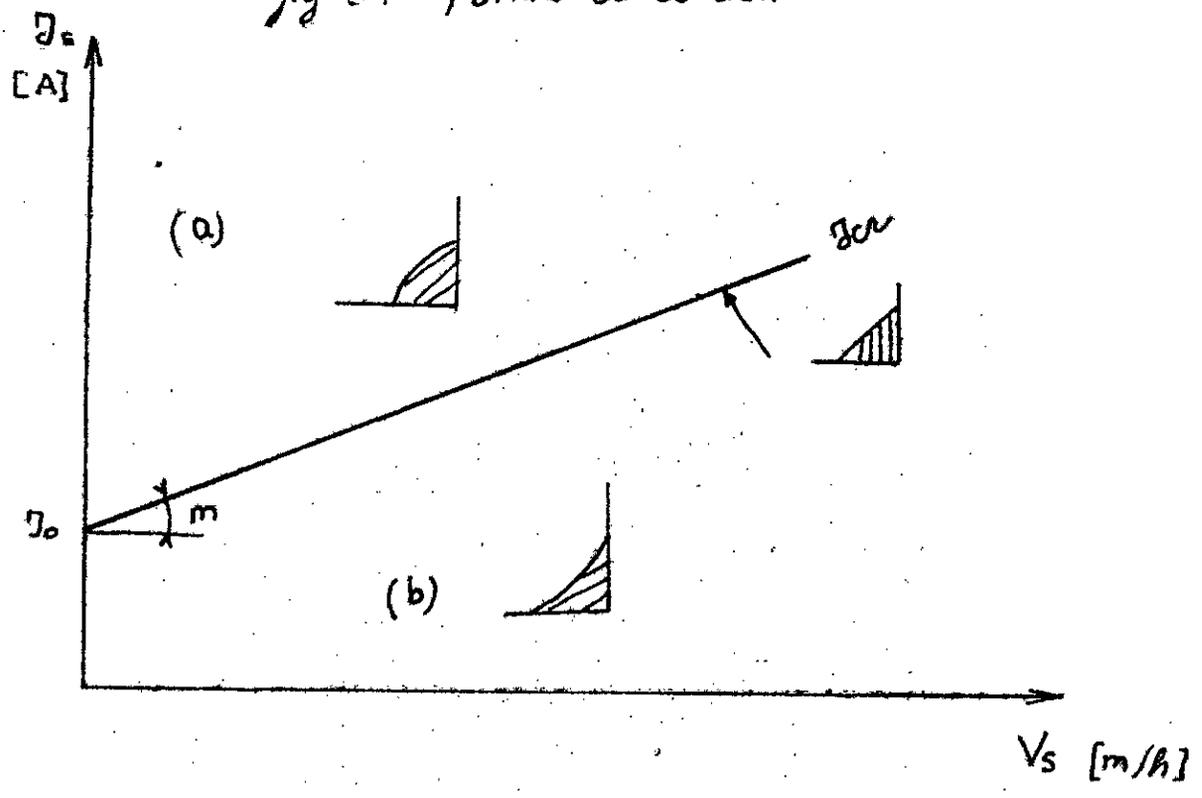
$$e = \frac{V_s}{V_c} \cdot H_0 = 4,13 \text{ o } 5,4 = 22,30 \text{ mm}$$

V 215 - Forme du cordon

Les joints qui selon le type d'electrode, la vitesse d'execution et l'intensite de soudage peuvent etre bombes, plats, ou concaves (fig 8)

La courbe donnent a l'intensite critique en fonction du courant a V_s = 0 et la vitesse de soudage (V_s) est une droite dont la pente est fonction du diametre de l'electrode "de" (voir figure 8)

fig 8: forme du cordon



$J_0 = 350A$

$J_{ca} = J_0 + mV_s$

si: $J_s > J_{ca}$: le cordon est bombé (surface a)

$J_s = J_{ca}$: le cordon est plat (points se trouvent sur la droite J_{ca})

$J_s < J_{ca}$: le cordon est concave (surface b)

le tableau ci-dessous donnent les valeurs de ' de la pente m en fonction de " de "

de	2	3	4	5
m	2	4,5	7	10

- Si $J_s > J_{cr}$: le cordon est bombé
 $J_s = J_{cr}$: le cordon est plat
 $J_s < J_{cr}$: le cordon est concave .

$$J_{cr} = J_o + m V_s \qquad J_o = \frac{to}{C_{cr}} = 350 \text{ A}$$

pour $d_e = 5 \text{ mm}$ on a $m = 10$

$$V_s = 38 \text{ m} / 4$$

$$= 350 + 10 \times 38 = 730 \text{ A}$$

$$530 < 730$$

$J_s < J_{cr} \Rightarrow$ le cordon est concave

le cordon est meilleur

V 22 - Calcul pour la partie inferieure :

On suivra le même plan que la partie supérieure.

Dans cette partie on a à assembler deux pieces dyant des epaiss-
eurs differentes a savoir 20 mm et 10 mm ; dans notre calcul on
prendra l'epaisseur la plus grande soit 20 mm

V 221 - Penetration necessaire H_2 et H_o

$$H_2 = \frac{S}{2} \pm (2 \div 3) \text{ mm}$$

Dans cé cas on ajoute 2 mm car on a une epaisseur plu grande

$$H_2 = \frac{20}{2} + 2 = 12 \text{ mm}$$

V 222 - Intensite du courant de soudage I_s

$$I_s = \frac{H_2}{K_j} \times 100$$

On choisit le courant alternatif toujours et arbitrairement une electrode de 5 mm de diametre :

$$I_s = \frac{12}{0,95} \times 100 = 1263 \text{ A}$$

L'ampérage est trop grand en prendra deux electrodes et I_s sera diminue de moitie .

$$\text{Soit } J_s = \frac{1263}{2} = 631,5 \text{ A}$$

d'où on déduit le diametre "de" de l'électrode

$$d_e = 1,13 \sqrt{\frac{J_s}{j}} \quad \text{avec } j = 33 \text{ A/mm}^2$$

$$d_e = 1,13 \sqrt{\frac{631,5}{33}} = 4,94$$

Soit $d_e = 5 \text{ mm}$ donc la valeur choisie arbitrairement est acceptable ($d_e' - d_e$)

V 223 Voltage optimal U_s ,

$$\begin{aligned} U_s &= 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{d_e^{0,5}} \cdot J_s \pm 1 \\ &= 20 + \frac{50 \times 10^{-3}}{5^{1/2}} \cdot 631,5 \pm 1 \\ &= 35 \text{ Volts} \end{aligned}$$

V 224 - Penetration de la soudure

Calculons d'abord le coefficient de forme f

$$\begin{aligned} Y f &= K' (19 - 0,01 I_s) \frac{d_e J_s}{J_s} \quad \text{avec } K'=1 \\ &= 1(19 - 0,01 \cdot 631,5) \cdot \frac{5 \cdot 35}{631,5} \\ &= 3,51 \end{aligned}$$

Puis la vitesse de soudage V_s

$$V_s = \frac{A}{J_s} = \frac{20 \times 10^3}{631,5} = 31,5 \text{ m/H}$$

Puis l'énergie courante q_c

$$q_c = \frac{J_s \cdot U_s}{V_s} \cdot \eta \quad \eta = 0,8$$
$$= \frac{631,5 \cdot 35}{31,50/3600} \cdot 0,8 = 20208 \text{ Joules /cm}$$

et enfin H

$$H = 0,0156 \sqrt{\frac{q_c}{\psi_f}}$$
$$= 0,0156 \sqrt{20208/3,51} = 1,18 \text{ cm soit } 11,8 \text{ mm}$$

On détermine ensuite ψ : coefficient de perte de métal

$$\psi = -4,72 + 17,6 \cdot 10^{-2} j - 4,48 \cdot 10^{-4} j^2$$
$$= -4,72 + 17,6 \cdot 10^{-2} \cdot 35 - 4,48 \cdot 10^{-4} (35)^2 \quad \text{avec } j = 35$$
$$= -4,72 + 5,80 - 0,4878 = a \text{ } 059$$

puis le coefficient de dépôt de métal α_d

$$\alpha_d = \alpha_f (1 - \psi) \quad \text{avec } f = 11$$
$$= 11 (1 - 0,59)$$
$$= 4,51$$

Puis la largeur du cordon e

$$e = \alpha_d \cdot H = 4,51 \cdot 11,8 = 41,42$$

et l'aire de la section transversale F_d

$$Fd = \frac{d \cdot J_s}{3600 \cdot \gamma \cdot V_s} = 7,8 \text{ g/cm}^3$$
$$= \frac{1,51 \cdot 631,5}{3600 \times 3100 \cdot 7,8} = 11,77 \text{ mm}^2$$

Soit 12 mm²

d'où g : hauteur de renforcement du cordon

$$g = \frac{Fd}{0,75e} = \frac{12}{0,75 \cdot 41,42} = 0,39 \text{ soit } 0,4 \text{ mm}$$

La hauteur de remplissage du chapeau g' sera :

$$g' = \frac{Fd - CD}{\frac{tg \cdot \gamma}{2}}$$

L'espace entre les 2 pieces est nulle b = c donc cb = 0

$$g' = \frac{12}{1} = 3,46 \text{ mm}$$

puisque on a c = H + g = Ho + g'

on tire Ho

$$Ho = H + g - g' = 11,8 + 0,39 - 3,46$$
$$= 8,73 \text{ mm}$$

La largeur du cordon "e" sera

$$e = \gamma f \cdot Ho = 3,51 \cdot 8,73 = 30,6 \text{ mm}$$

V 225 - Forme du cordon

$$J_{cr} = J_c + m V_s \quad \text{avec : } J_o = 350 \text{ A}$$

$$J_{cr} = 350 + 10 \times 31,5 \quad m = 10$$

$$V_s = 31,5 \text{ m/H}$$

$$= 665$$

$$665 > 631,5$$

$J_{cr} > J_s \Rightarrow$ le cordon est concave

V 23 - Vitesse de déroulement du fil électrode.

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

$$V_d = \frac{4 \cdot I_s \cdot \alpha f}{\pi \cdot d_e^2 \cdot \gamma}$$

I_s = Intensité du courant

αf = coefficient de fusion du métal du fil

$$\alpha f = (14 + 18) \text{ g/A.H}$$

d_e : diamètre du fil

γ = densité du métal du fil $\gamma = 7,8 \text{ g/cm}^3$

V 231 - Partie supérieure

$$V_d = \frac{4 \cdot 530 \cdot 16}{3,14 \cdot (0,5)^2 \cdot 7,8} = 5339,76 \text{ cm/H}$$

soit 53,4 m/H

V 232 - Partie inférieure

$$V_d = \frac{4 \cdot 631,5 \cdot 16}{3,14 \cdot (0,5)^2 \cdot 7,8} = 6600,68 \text{ cm/H}$$

soit 66 m/H

TABLEAU RECAPITULATIF

I) Soudage automatique

	Partie Supérieure	Partie Inférieure
Courant de soudage J_s : (A)	530	601,5
Voltage U_s : V	32	35
Vitesse de Soudage V_s mm/h	39	31,5
Largeur du cordon mm	22,30	30,6
Profondeur de fusion δ mm	5,4	8,73
Diamètre de l'électrode de mm	5	5

I) Soudage manuel

Intensité de soudage $J_s = 250$ Ampères

Voltage $U_s = 26$ Volts

Diamètre de l'électrode de = 5mm

VI CHOIX D'EQUIPEMENT

VI 1- Choix d'un poste de soudage en général :

Le choix d'un poste de soudage est déterminé par les facteurs suivants :

- La puissance électrique nécessaire
- La nature de la force motrice dont on dispose
- Les conditions d'utilisation
- Les exigences de la compagnie distributrice d'électricité
- Le mode de réglage du courant de soudage

VI 11 - La puissance électrique nécessaire

on peut rencontrer trois types de poste :

a) Les postes légers pouvant souder avec des électrodes ayant un diamètre allant jusqu'à 3,25 mm ($I < 150$ A) la puissance minimum nécessaire est de 5 kw

b) Les postes normaux: pouvant souder avec des électrodes allant jusqu'à 5 mm et, parfois pour un travail de moins d'une heure consécutivement, avec des électrodes de 6 mm ($I < 250$ ou 300 A)

La puissance minimum nécessaire : 8 à 10 kw

c) Les postes à grande puissance: peuvent souder avec des électrodes de 8 mm et peuvent alimenter deux ou plusieurs soudeurs. (I peut atteindre 600 A)
Puissance minimum nécessaire 18 kw.

VI 12 : La nature de la force électromotrice dont on dispose les travaux envisagés exigent l'emploi d'un courant de soudage alternatif. On rencontre les appareils suivants:

a) Appareils rotatifs: Leur type est le convertisseur de fréquence. Il consiste en un ensemble généralement monobloc d'un moteur triphase entraînant un alternateur monophasé à fréquence augmentée. On peut passer d'une fréquence de 50 Hz à 150 Hz ce qui permet d'augmenter la stabilité de l'arc

b) Appareils statiques : ce sont les transformateurs statiques, appareils de soudage les plus répandus on rencontre

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

Ils peuvent se brancher:

Soit sur une distribution monophasée (à deux conducteurs).

Soit sur trois conducteurs c'est à dire sur une phase d'une distribution triphasée.

- Les transformateurs monophasés compensés : Ils comportent en plus des organes des appareils précédents une batterie de condensateurs qui en réduisant le déphasage permet d'augmenter le facteur de puissance.

- des transformateurs statiques trimonophasés leur but est de transformer le courant triphasé du réseau en un courant monophasé approprié au soudage.

- des transformateurs statiques trimonophasés compensés

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

VI 13 - 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 kg.

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 500 à 600 kg pour les postes statiques à grande puissance.

Suivant le poids de ces appareils, les chariots qui les portent sont: à deux roues avec une ou deux béquilles

à trois roues dont une généralement pivotante

à quatre roues, soit avec un essieu fixe et un essieu pivotant, soit avec deux essieux fixes.

Les appareils fixes sont ceux dont le poids dépasse 700 kg. Ils sont soit installés dans un atelier soit montés sur un wagon.

VI 14 - Les exigences de la compagnie distributrice d'électricité celles-ci ne concernent que les distributions en courant alternatif et portent sur deux points:

- Le facteur de puissance

- l'équilibrage des phases du réseau triphasé.

On donnera ci apres à titres indicatif, les facteurs de puissances habituels des principaux types de postes alimentés en alternatif pour le courant correspondant au régime maximal.

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

TYPES D'APAREILS	Facteurs de Puissance
Groupes convertisseurs	0,70 à 0,90
Redresseurs	0,70 à 0,95
Convertisseurs de fréquences	0,70 à 0,75
Transformateurs monophasés simples	0,30 à 0,55
Transformateurs monophasés compensés	0,70 à 0,90
Transformateurs Trimonophasés simples	0,25 à 0,60
Transformateurs Trimonophasés compensés	0,70 à 0,90

VI 15 - Mode de réglage du courant de soudage

On peut rencontrer, suivant la construction du poste et de ses accessoires, deux catégories d'appareils qui diffèrent par leur mode de réglage du courant:

a) appareils à réglage par échelons, par bornes ou par doubles.

Ils portent un certain nombre de bornes ou de doubles 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 correspondante au soudage envisagé.

b) des appareils à réglage continu : par volant ou manivelle, système toujours utilisé pour les transformateurs statiques à champ magnétique, les variations d'intensité sont obtenues par la manoeuvre d'un volant ou d'une manivelle, et s'indiquent sur un tambour ou un cadran.

- Choix des postes de soudage convenant à notre étude.

En se basant sur les cinq paragraphes précédents (VI 2. VI 3. VI 14. VI 15) on est conduit à choisir des postes convenables pour le soudage manuel et pour le soudage automatique.

Soudage manuel :

Il s'agit d'un transformateur monophasé série MI 275 ce genre d'appareil utilisé en courant alternatif est doté des tout derniers perfectionnements il présente notamment :
- un réglage continu et très étendu de l'intensité, permettant l'emploi de tous les types de modes utilisables en courant alternatif.

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

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

- 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

- Un facteur de puissance ($\cos \varphi$) évitant toute consommation excessive d'énergie facturée

- Une faible consommation à vide, particulièrement intéressante lorsque le poste reste longtemps branché au secteur.

Ce tableau ci-dessous donne les caractéristiques techniques de cet appareil:

Alimentation monophasée volts	50Hz	180	360
		200	380
		220	400
Consommation primaire maxi	Amperes	80	47
Consommation primaire à vide	Ampere	4	2,3
Tension d'amorçage	Volts	70	70
Intensité de soudage sous la tension conventionnelle	Amperes	25 à	275
Coefficient d'utilisation multihoraire		100% à	250 A
Dimensions hors tout	mm	810 x 560 x 780	
Poids sans accessoires	kg	155	

22. Soudage automatique

Dans ce type de soudage on aura à choisir un poste d'alimentation à savoir un transformateur et un appareil à souder automatique qui peut servir avec une électrode et deux électrodes. On a intérêt à choisir ce type d'appareil car la partie supérieure de la pièce demande une seule électrode par contre la partie inférieure nécessite deux; donc cela nous exitera d'avoir deux appareils.

221. Choix du poste d'alimentation

On prendra un transformateur de marque **T** - 2001 ayant les caractéristiques suivantes :

Tension d'alimentation	V	380
Tension à Vide	V	80
Puissance nominale	K V A	165
Tension en fonction.	V	50
Limite de régulation	A	800 - 2200
masse	kg	920

VI 222. Choix de l'appareil à souder

On prendra un appareil à souder automatique de marque
teristique suivantes:

- 1000 ayant les caractéristiques

Intensité du courant	A	400 - 1200
Diamètre de l'électrode	mm	3 - 6
Vitesse d'entraînement du fil	m/H	200 - 630
Vitesse de soudage	m/H	17 - 50
Nombre de fil-électrode		2

VI 3. CHOIX D'UN POSTE DE DECOUPAGE

Le choix d'un poste de découpage dépend principalement de la matière de la pièce à couper et de son épaisseur.

On rencontre le découpage au chalumeau, à la cisaille mécanique, au plasma.

Dans notre étude on n'utilise pas le chalumeau car on a une grande série (3000 pièces/an) et non plus la cisaille à cause de son encombrement et les dimensions petites des morceaux coupés; donc on utilise le découpage ou plasma ^{avec} un appareil de marque "HOBART 100"

VI 31 Procédé de découpage :

Le découpage plasma est obtenu grâce à l'ionisation d'une colonne de gaz dans un arc électrique, l'ensemble (gaz et arc) étant forcé à passer au ~~travers~~ d'un petit orifice. La température de l'arc plasma peut atteindre 17.000 °C.

Dès l'omorage de l'arc sur la pièce à découper, le flux de plasma à haute température extrêmement rapide fond instantanément le métal et la vitesse élevée du gaz chaise le métal fondu, permettant ainsi d'obtenir une grande vitesse de coupe. Le résultat est une coupe rapide, de qualité, et ne nécessitant pas de retouche pour finition.

VI 32 - Applications

Il peut couper plusieurs matériaux tels-que:

Acier au carbone et aciers inoxydables, Nickel - Monel - inconel - Fontes Revêtement d'acier - Aluminium - Cuivre - Magnesium, Laiton Manganese.

Il est employé dans les industries:

Metallurgiques - Chimiques - Minières, Constructions Mécaniques, construction) Navales, Constructions métallique etc...

VI 33. Gaz utilisés

L'utilisation de l'azote comme gaz plasma et du CO₂ comme gaz secondaire est normalement recommandé pour le decoupage plasma de la plupart des applications. Un mélange comprenant 80% d'argon et 20% d'Hydrogène comme gaz plasma et l'azote comme gaz secondaire peut être préféré dans certaines applications afin d'obtenir une meilleure qualité de coupe (convient pour notre cas)

VI 34 Paramètre de coupe

Le tableau ci-dessous n'est donné qu'à titre indicatif pour le réglage approximatif des paramètres de coupe.

MÉTAUX	Épaisseur on (mm)	Vitesse de coupe (mm/min)	Courant Amperes	Gaz plasma	
				Nature du Gaz	Débit l/min
ACIERS INOX	3,2	1270	80	N ₂	7
	6,5	1143	90	N ₂	7
	12,5	559	100	N ₂	7
	19	508	100	N ₂	7
	25	305	100	N ₂	7
Aluminium	3,2	1270	70	N ₂	7
	6,5	1616	70	N ₂	7
	19	762	100	N ₂	7
	25	380	100	N ₂	7
Aciers doux	3,2	1270	80	N ₂	7
	6,5	880	80	N ₂	7
	12,5	508	100	N ₂	7

METAUX	Epaisseurs on (mm)	Vitesse de Coupe (mm/mn)	Courant Ampers	Gaz Secondaire	
				Nature du Gaz	Debit l/mn
INOX Aciers	3,2	1270	80	CO ₂	70
	6,5	1143	90	CO ₂	70
	12,5	559	100	CO ₂	70
	19	508	100	CO ₂	70
	25	305	100	CO ₂	70
Aluminium	3,2	1270	70	CO ₂	70
	6,5	1616	70	CO ₂	70
	19	762	100	CO ₂	70
	25	380	100	CO ₂	70
Aciers doux	3,2	1270	80	CO ₂	70
	6,5	880	80	CO ₂	70
	12,5	508	100	CO ₂	70

Dans notre etude on a une epaisseur de 8 mm donc on prendra une vitesse de coupe à peu pres égale à 700 mm/mn et un amperage de 90 ampères.

VI 35 - Caractéristiques principales

- Sources de puissance à cellules redresseuses de capacité 100 ampères, courant continu réglage par plots, polarité directe.
- Amorçage de l'arc piloté par haute fréquence
- Protection gazeuse avant et après coupage
- Circuit de refroidissement de la torche incorporée
- Clapets de sécurité sur les circuits de refroidissement et de gaz plasma
- Débits des gaz plasma et secondaire commandés par manomètre pression

- Circuit de commande en 24 Volts
- Puissance nécessaire a l'alimentation: 50 Hz, 220/380/500 Volts 50/30/25 Ampères triphasée.
- Debit gaz plasma (N_2) 7 litres par minute
- Debit gaz secondaire (CO_2), 70l/minute

Dimensions de l'appareil :

Largeur	661 mm
Longueur	913 mm
Haut.eur	610 mm
Poids net	200 kg

VI 4 CHOIX DE DISPOSITIFS AUXILIAIRES

VI 41. Choix d'un positionneur : Fig: 9

Soit un positionneur de marque B - 4 correspondant aux dimensions de notre prototype.
Ses caractéristiques sont les suivantes:

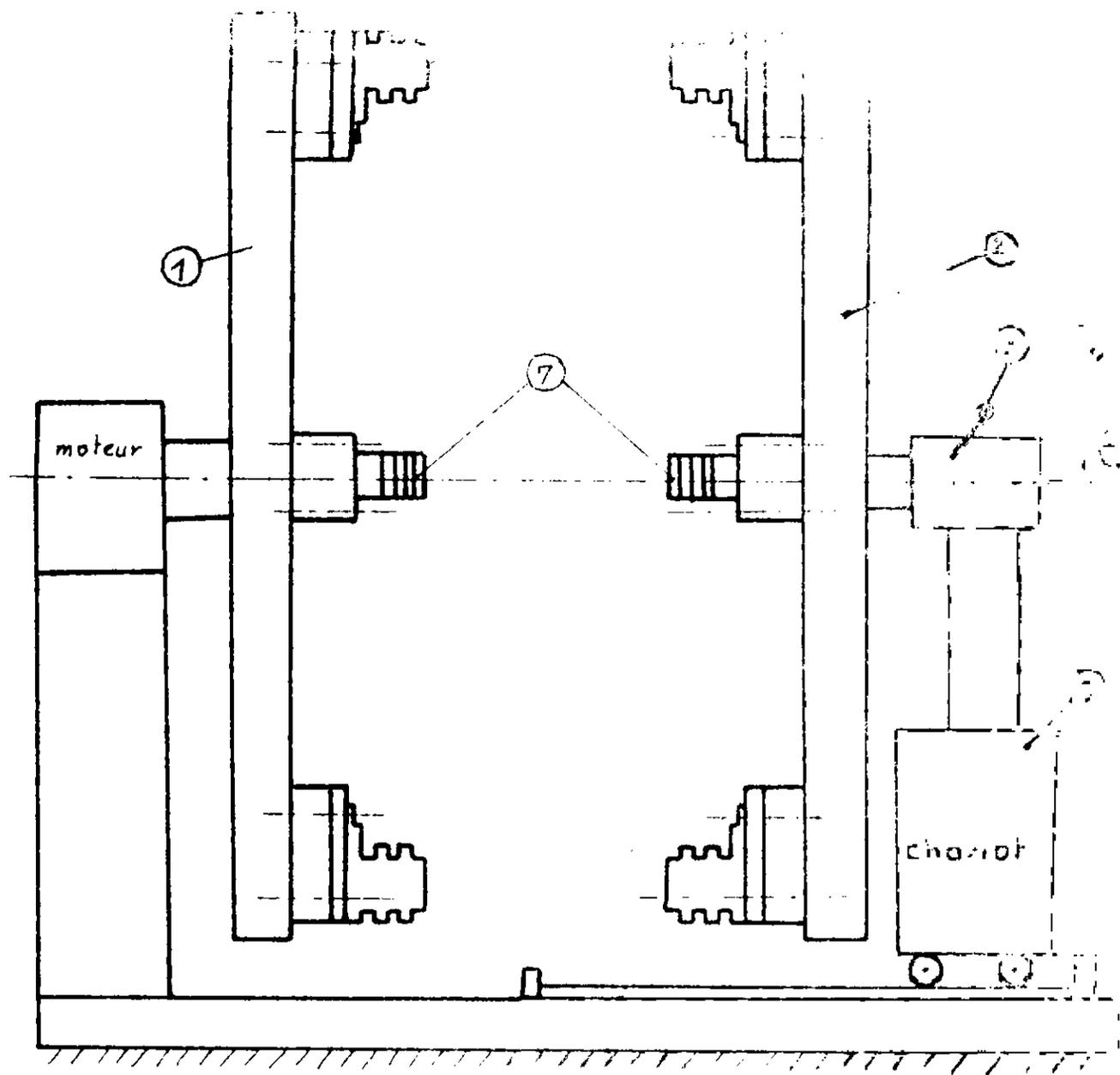


Fig:9 SCHEMA DU POSITIONNEUR BF 4

- 1: montant de commande moteur
- 2: montant arriere à vide
- 3: manette d'arrêt en translation de (2)
- 4: volant de manœuvre de (2)
- 5: chariot roulant sur rail
- 6: mors mobile
- 7: mors fixes

Poids admissible d'une poutre	(Tonnes)	4
Couple admissible sur l'axe	(kg.m)	600
Vitesse de rotation	(t./mn)	0,04 - 1,25
Dimensions de l'appareil	(m)	1,567 x 2 x 2

Ce dispositif sera pour le pointage des nervures et pour le soudage automatique.

VI 42 Choix d'une installation d'assemblage fig 10

- On utilisera encore un dispositif de marque qui
 permet un serrage des semelles avec l'ame lors de leur pointage.

Ses caractéristiques sont :

Dimensions des poutres	Largeur	jusqu'à 15,000 mm
	Hauteur	(460 - 2000) mm
	l'épaisseur de la semelle	jusqu'à 50 mm
Vitesse de déplacement		36 m/mn
Force verticale		25 00 kgf
Force horizontale		5 000 kgf
Dimensions de l'installation mm		16450 x 4300 x 1750

VI 43 Choix d'une machine de correction (fig 11)

Cette machine permet un redressement parfait (90° entre semelle et l'ame);
 elle se fait avant les nervures elle est de marque C K M T ; ses caractéristiques sont
 les suivantes :

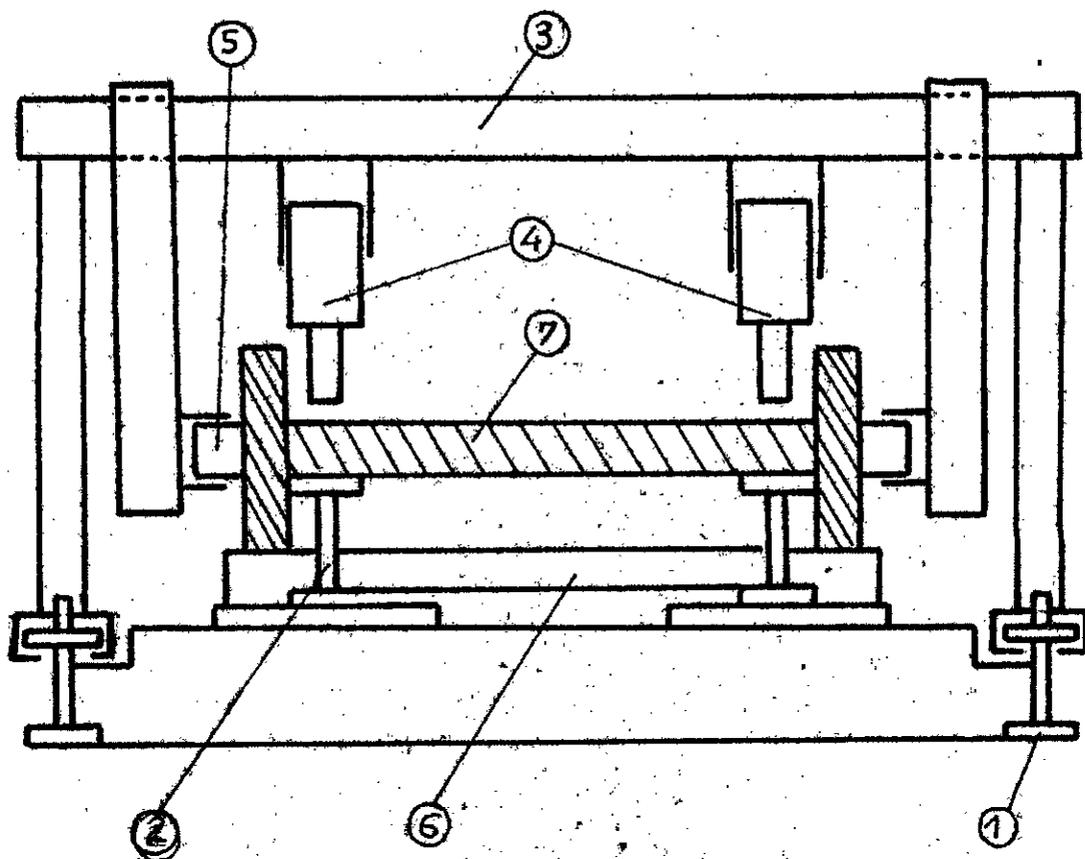


Fig: 10 SCHEMA DE L'INSTALLATION
D'ASSEMBLAGE - ВПІТЯЖМАЦІ

- 1: cadre (ensemble soude' avec chemin de fer)
- 2: poutres de support (deux)
- 3: portique autopropulse'
- 4: cylindres pneumatiques verticaux
- 5: cylindres pneumatiques horizontaux
- 6: barre pour réglage des support 2
- 7: pieces à assembler (trois)

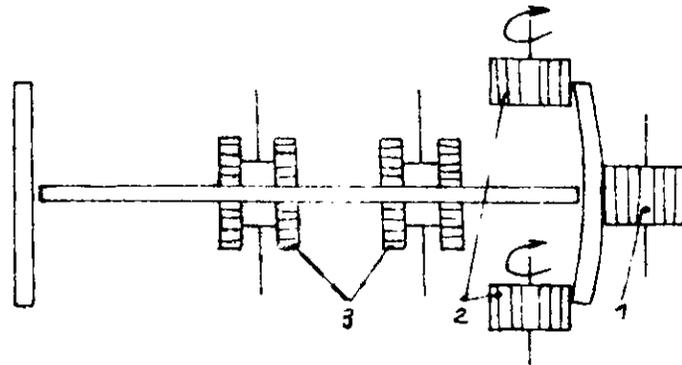


Fig: 11 SCHEMA DE LA MACHINE DE
CORRECTION - CKMT

1. Cylindre de pression
2. cylindres - supports verticaux
3. cylindres - supports horizontaux

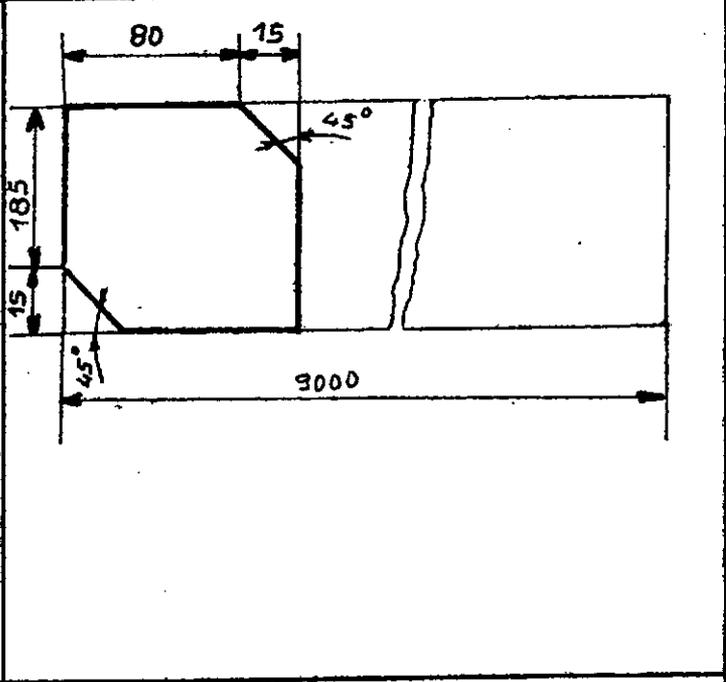
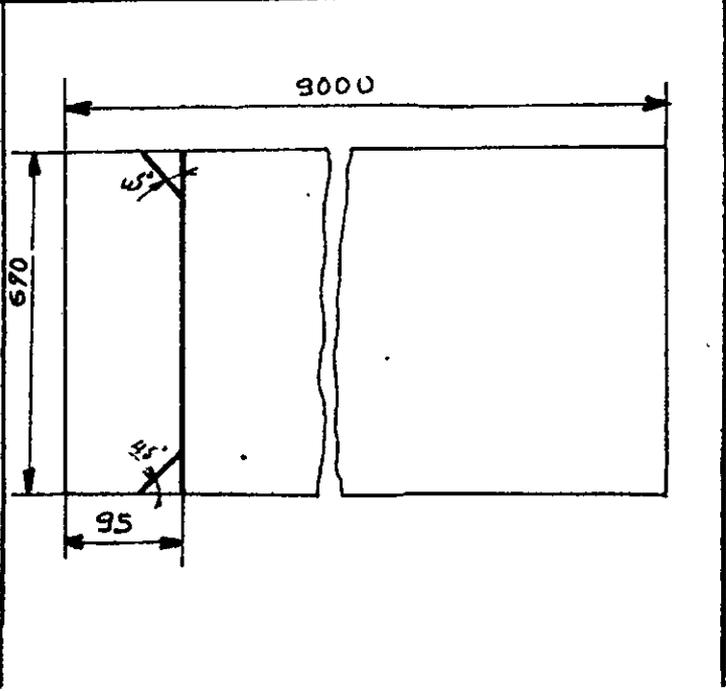
Hauteur admissible de l'ame (mm)	500 - 2030
Largeur de la semelle (mm)	110 - 300
Epaisseur de la semelle (mm)	10 - 40
Limite de rupture du materiaux (kgf/mm ²)	50
Forces appliques (kgf)	170.000
Dimension de la machine (mm)	6672 x 3190 x 4835
Vitesse de deplacement de la poutre	0,165 m/s

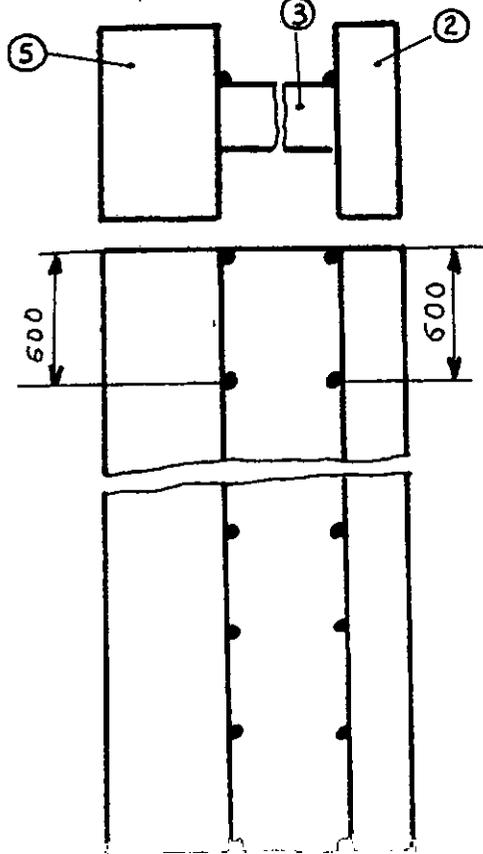
VII ÉLABORATION DU PROCÉDE TECHNOLOGIQUE

Le procédé technologique c'est la préparation des pièces à assembler, le soudage, le contrôle
Les principales opérations sont:

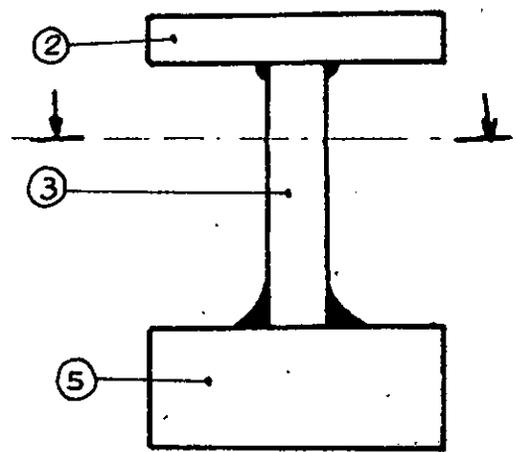
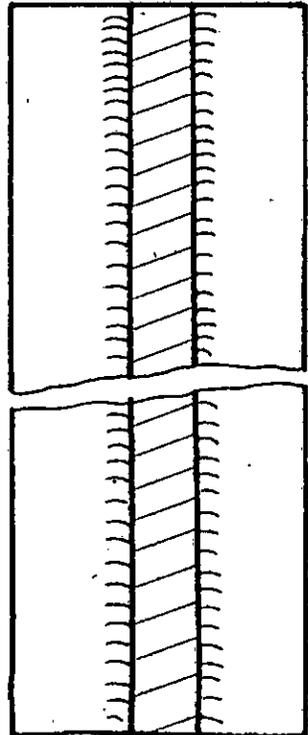
- Troçage
- Decoupage
- Pointage
- soudage
- correction
- contrôle

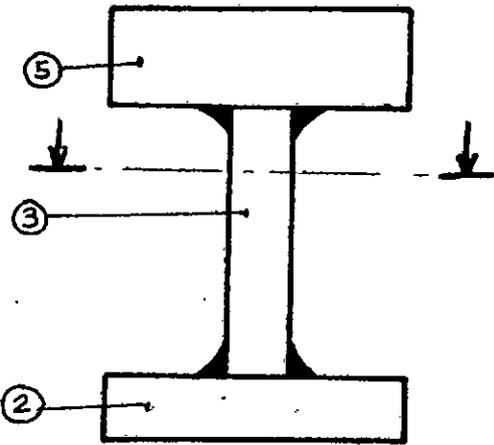
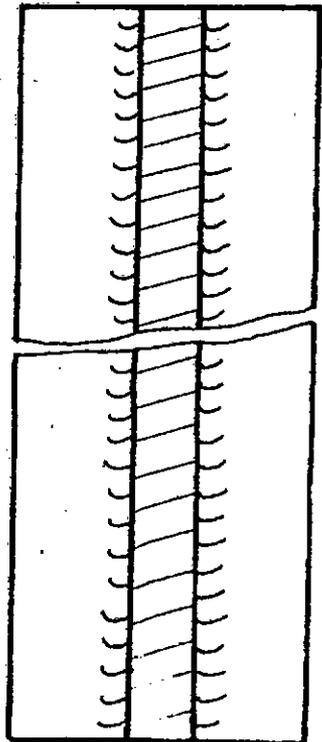
On donne ci-après en ordre et en détail toutes les réalisations de ces opérations

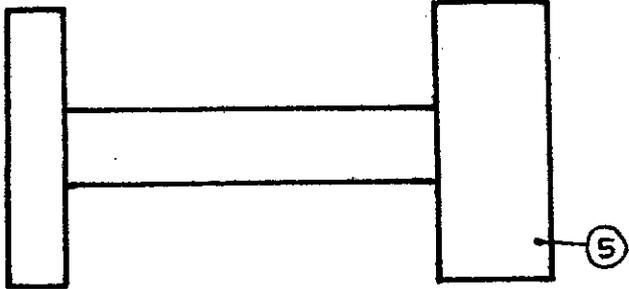
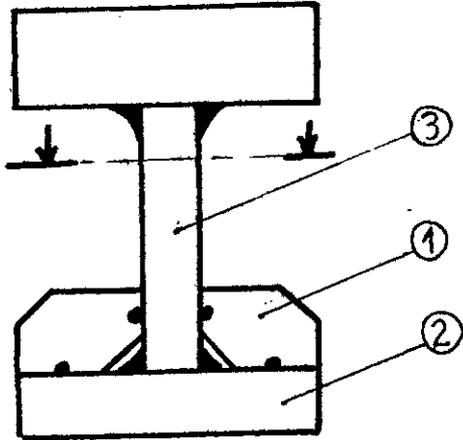
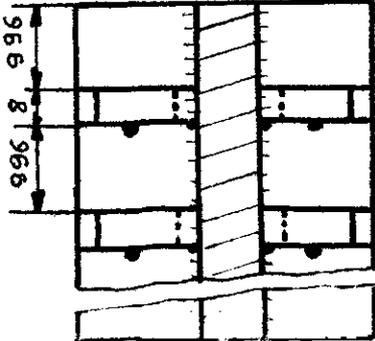
SÉRIES	POSITIONS	OPERATION	DÉSIGNATION DE L'OPÉRATION	SCHEMA DE LA PHASE	OUTILLAGE
	A	1	Traçage des nervures ①		<p>établi - pointeau modèle (95.200) mm</p>
	A	2	Traçage des nervures ④		<p>établi (poutres fixées sur le sol) pointeau regle modèle (95.670) mm</p>

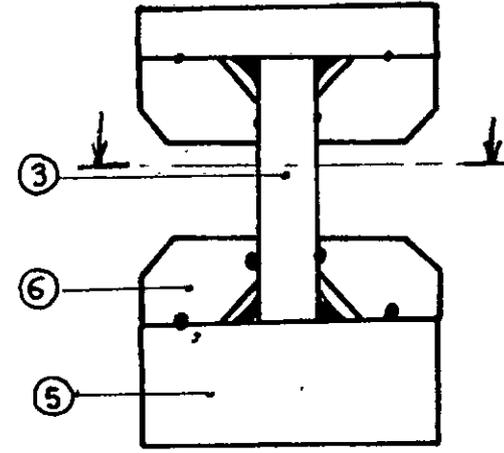
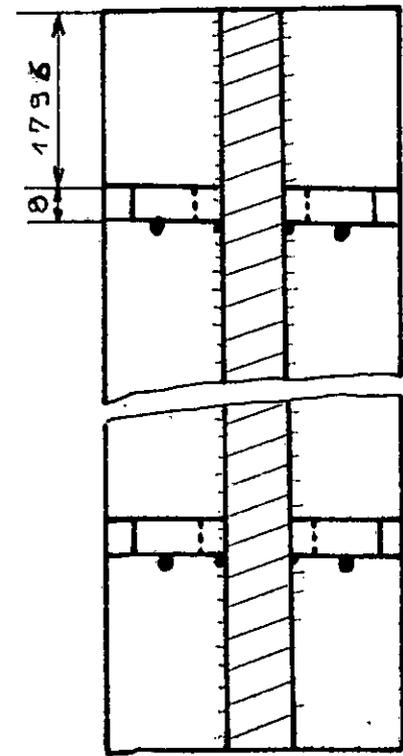
PHASES	POSITIONS	OPÉRATIONS	DESIGNATION DE L'OPÉRATION	SCHEMA DE LA PHASE	OUTILLAGE
II	A	3	Decoupage des nervures ①	Le même que l'opération ①	établi ou plasma
	A	4	Decoupage des nervures ④	Le même que l'opération ②	établi ou plasma
III	A	5	Pointage de ③ avec ⑤		installation d'assemblage de marque B П Т У Т А * M A U I
		6	Pointage de ② avec ③		transformateur de marque MI 295 règle électrode enrobée φ 5 mm

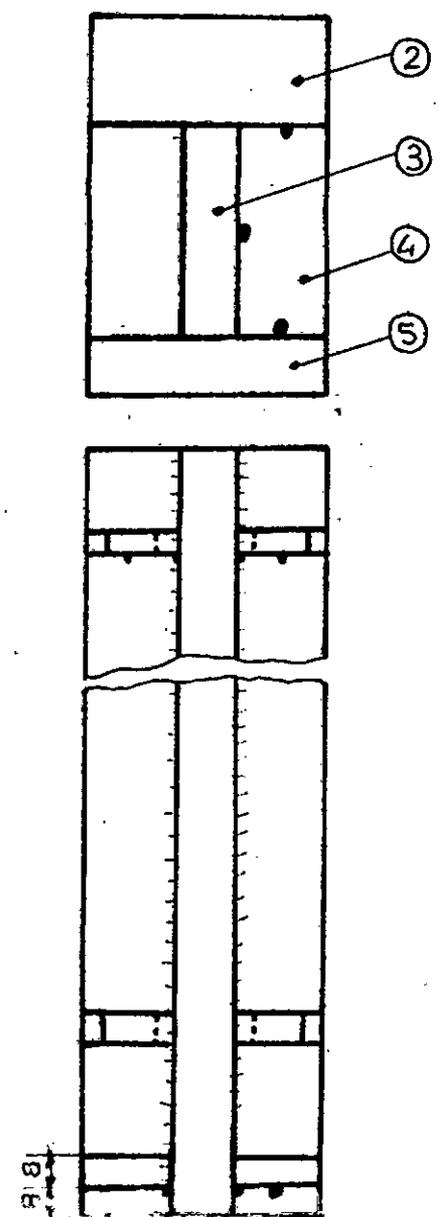
III

PHASES	POSITIONS	OPERATION	DESIGNATION DE L'OPERATION	SCHEMA DE LA PHASE	OUTILLAGE
IV	A	9	Soudage de ③ avec ⑤ (à droite de ③)		<i>positionneur de marque BΓ-4</i> <i>Transformateur de marque MI.275</i>
		10	Soudage de ③ avec ⑤ (à gauche de ③)		<i>machine à souder de marque</i> <i>electrode nue Ø 5mm</i> <i>flux solide N° 20</i>

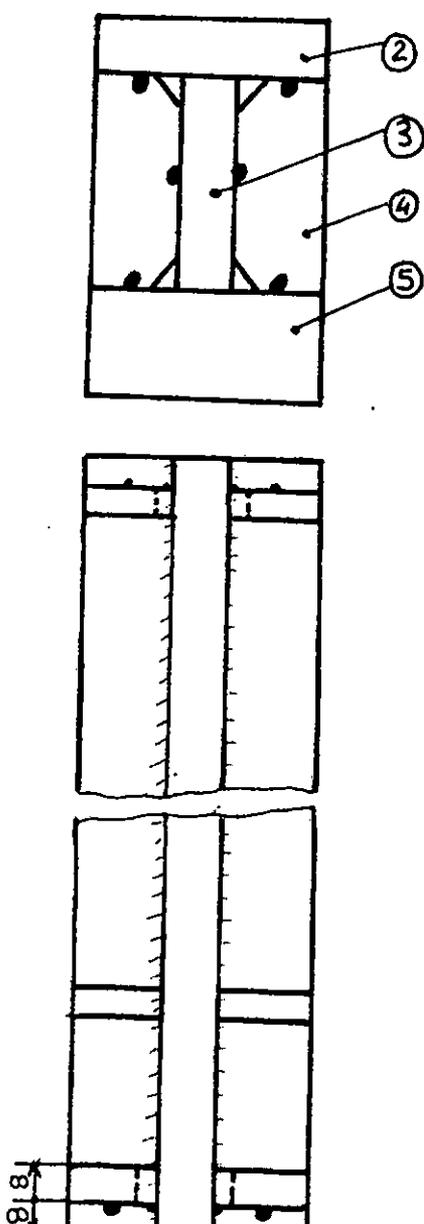
PHASES	POSITIONS	OPERATIONS	DESIGNATION DE L'OPERATION	SCHEMA DE LA PHASE	OUTILLAGE
IV	B	11	Soudage de ② avec ③ (à droite de ③)		<p>positionneur de marque BT-4</p> <p>transformateur de marque MI-275</p>
		12	Soudage de ② avec ③ (à gauche de ③)		<p>machine à souder de mar- que</p> <p>fil électrode nu ø 5mm</p> <p>flux solide 1020</p>

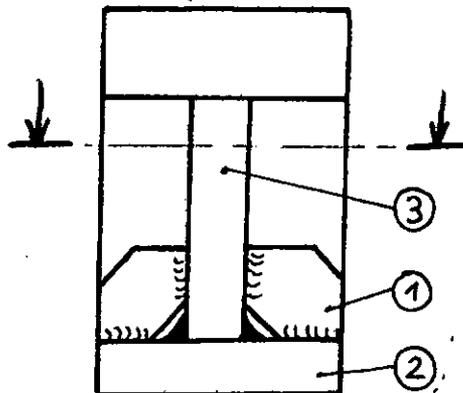
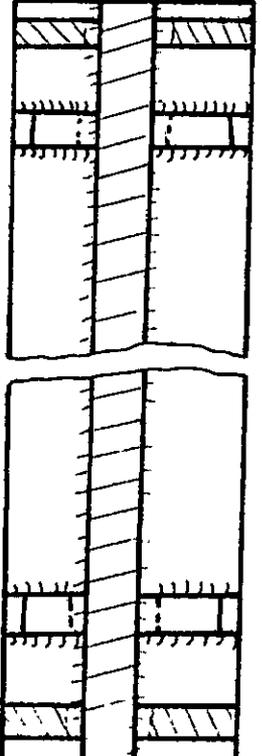
PHASES	POSITIONS	OPERAT.	DESIGNATION DE L'OPERATION	SCHEMA DE LA PHASE	OUTILLAGE
IV	A	13	correction de la semelle inferieur ⑤		machine de correction de marque CKMT
V	A	14	Pointage des nervures ① avec ② et ③ (à droite de ③)		positionneur de marque BF4 transformateur de marque MI 275
		15	Pointage des nervures ① avec ② et ③ (à gauche de ③)		électrode enrobée ϕ 5mm

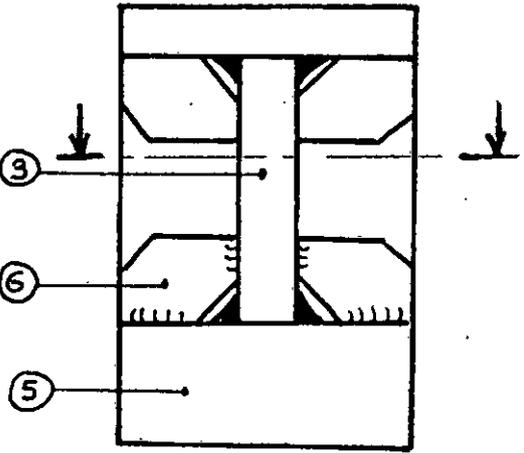
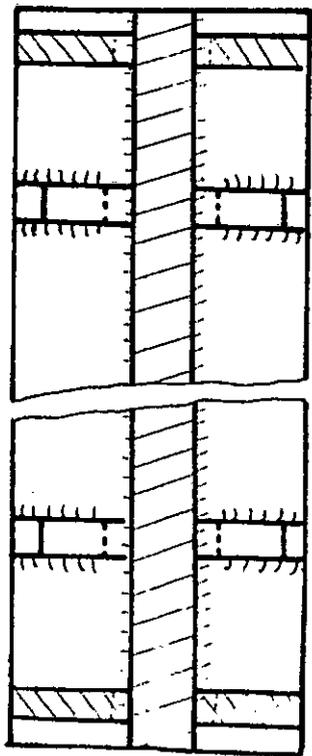
PHASES	POSITIONS	OPERAT.	DESIGNATION DE L'OPERATION	SCHEMA DE LA PHASE	OUTILLAGE
VI	A	16	Pointage des nervures ⑥ avec ③ et ⑤ (à droite de ③)		positionneur de marque BT 4 Transformateur de marque MI.275
		17	Pointage des nervures ⑥ avec ③ et ⑤ (à gauche de ③)		électrode enrobée ø 5mm

PHASES	POSITIONS	OPERATIONS	DESIGNATION DE L'OPERATION	SCHEMA DE LA PHASE	OUTILLAGE
	A	18	<p>pointage des nervures ④ avec ②, ③ et ⑤ (à droite de ③)</p>		<p>Positionneur de marque BFL4</p> <p>Transformateur de marque MI-275</p> <p>electrode enrobée $\phi 5mm$</p>

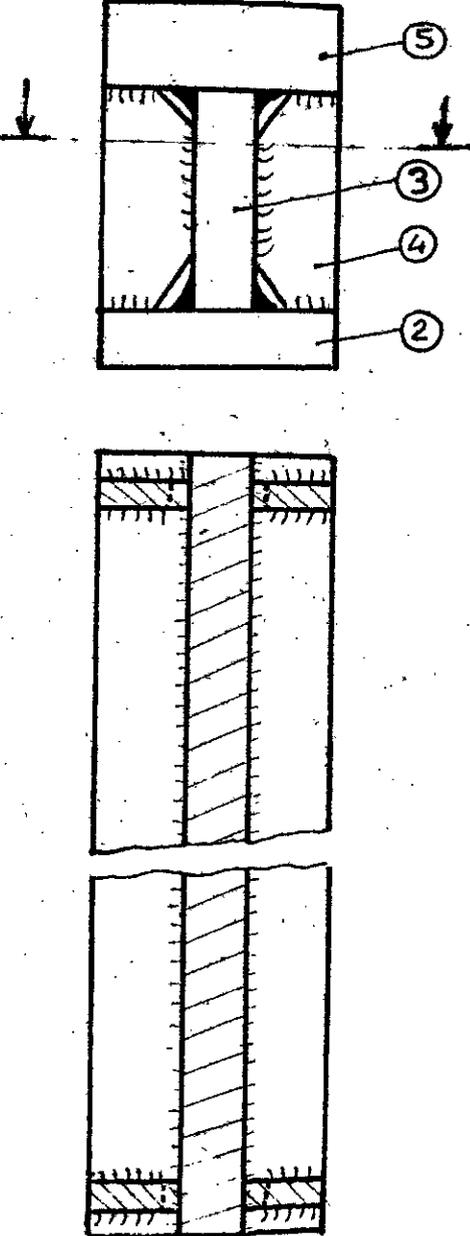
VI

PHASES	POSITIONS	OPERATIONS	DESIGNATION DE L'OPERATION	SCHEMA DE LA PHASE	OUTILLAGE
VI	B	19	<p>Pointage des nervures (4) avec (2), (3) et (5)</p> <p>(à gauche de (3))</p>		<p>Positionneur de marque B P 4</p> <p>Transformateur de marque MI 275</p> <p>électrode enrobée $\phi 5\text{mm}$</p>

PHASES	POSITIONS	OPERATIONS	DESIGNATION DE L'OPERATION	SCHEMA DE LA PHASE	OUTILLAGE
VII	A	20	Soudage des nervures ① avec ② et ③ (à droite de ③)		positionneur de marque B74 Transformateur de marque MI-275
		21	Soudage des nervures ① avec ② et ③ (à gauche de ③)		électrode enrobée ϕ 5 mm

PHASES	POSITIONS	OPERAT	DESIGNATION DE L'OPERATION	SCHEMA DE LA PHASE	OUTILLAGE
VII	A	22	soudage des nervures ⑥ avec ③ et ⑤ (à droite de ③)		positionneur de marque BF 4 Transformateur de marque MI.295
		23	soudage des nervures ⑥ avec ③ et ⑤ (à gauche de ③)		électrode enrobée φ 5mm

PHASES	POSITIONS	OPERATIONS	DESIGNATION DE L'OPERATION	SCHEMA DE LA PHASE	OUTILLAGE
VII	A	24	<p>soudage des nervures ④ avec ②, ③ et ⑤ (à droite de ③)</p>		<p>Positionneur de marque BΓ₄</p> <p>Transformateur de marque M.B. 243</p> <p>électrode enrobée $\phi 5 \text{ mm}$</p>

PHASES	POSITIONS	OPERATIONS	DESIGNATION DE L'OPERATION	SCHEMA DE LA PHASE	OUTILLAGE
VII	B	25	<p>Soudage des nervures ④ avec ②, ③ et ⑤ (à gauche de ③).</p>		<p>positionneur de marque БГ4</p> <p>transformateur de marque МТ.273</p> <p>électrode enrobée 35 min</p>

CONTROLE DES SOUDURES

Pour le contrôle des soudures, plusieurs procédés sont utilisés :

- essais destructifs
- essais semi-destructifs
- essais non destructifs

Pour faire l'essai destructif, on prendra une éprouvette construite avec un matériau ayant les mêmes propriétés que les poutres construites; elle sera soumise à des essais mécaniques.

L'essai semi-destructif consiste à apprécier localement la qualité du cordon en perçant celui-ci de manière à pouvoir en examiner les parois. Cet examen doit fournir toutes précisions recherchées quant à la pénétration, la liaison des bords et les défauts physiques du joint.

Le contrôle non destructif est visuel et doit permettre de vérifier :

- La présence éventuelle de canivoux
- L'allure des stries de solidification, leur forme angulaire décelé une vitesse opératoire excessive
- les défauts débouchant en surface
- La valeur de la gorge
- La pénétration

Le contrôle visuel doit être exécuté dans une ambiance bien éclairée.

HYGIENE ET SECURITE

risques encourus par le personnel relèvent des origines des rayons lumineux et calorifiques prenant naissance dans l'arc électrique consécutives à la manipulation des pièces
Utilisation du courant électrique
Émission de vapeurs toxiques

Ces risques peuvent être éliminés en prenant les précautions suivantes:

Pour les rayons lumineux et calorifiques: l'intensité des rayons rouges émis par l'arc électrique rend nécessaire la protection du visage et des yeux de l'opérateur.

A cet effet celui-ci doit obligatoirement porter un casque assurant à la fois la protection faciale et latérale.

Le casque est muni d'un verre de sécurité dont l'objet est d'absorber une grande partie des radiations nocives qui le traversent, le facteur de protection du verre étant fonction de la longueur d'onde des radiations. Ces verres absorbent parfois même totalement les radiations dangereuses. La norme Française NFB 36007 définit les échelons d'opacité en fonction des longueurs d'onde du spectre ultraviolet, spectre visible et infrarouge et désigné par un nombre de trois chiffres l'efficacité des verres protecteurs à utiliser pour chacune des trois régions qui-ci. Dans le commerce, ces verres sont généralement désignés par des numéros de références correspondant à ceux de la norme.

N° du verre	Numéro de la norme Française	Ampérage
9	888	jusqu'à 100. A
10	888	jusqu'à 100. A
11	889	jusqu'à 300. A
12	989	jusqu'à 500. A
13	999	au dessus de 500. A

Dans notre étude vu que l'intensité de soudage est de 250 Ampères, on prendra un verre de numéro II soit NF 889 en norme Française

b) brûlures ; l'ensemble du corps doit également être protégé contre les rayons calorifiques et lumineux grâce à des tabliers en sautoir, en cuir ou en néoprène. L'opérateur doit porter des gants ininflammables de préférence en cuir, à trois ou cinq doigts

c) Courant électrique: la distribution du courant sera exécuté par un spécialiste qui veillera à disposer les appareils de coupure de manière qu'ils soient parfaitement accessibles en toute circonstance.

On doit veiller à assurer de bons contacts aux connections et aux raccords, les uns et les autres devant être toujours parfaitement isolés. Durant le cycle opératoire, la tension en charge sur le circuit de soudage varie entre (20 + 40) volts qui rendent impossible tout risque d'accident sérieux.

A vide par contre, cette tension peut atteindre 80 volts d'où la nécessité d'observer un certain nombre de précautions parmi lesquelles

- n'utiliser que des pinces porte électrode isolés.
- ne jamais souder sans gants
- ne jamais quitter les gants pour changer l'électrode.
- éliminer les flasques d'humidité sous les pieds de l'opérateur.

d) Vapeurs toxiques: d'une manière générale et pour la sécurité du personnel, il sera prudent de prévoir un volume d'air de 250 m³ par poste sous plafond d'au moins 5 mètres. Les appareils de ventilation auront un débit de 50 à 60 m³ par minute et par poste. Ce débit pouvant être ramené à 10 m³/mn s'il s'agit d'aspirateurs individuels munis de tuyaux flexibles.

Le débit d'air peut être calculer d'une façon exacte mais théorique

- Pour le soudage manuel le débit d'air sera :

$$q_a = 7330 \text{ m}^3/\text{h} \text{ pour } 1 \text{ kg d'électrode par heure}$$

$$\text{soit } q_a = 7330. \times 7,8 = 57174 \text{ m}^3/\text{H}$$

- Pour le soudage automatique le débit sera :

$$q_a = 150 \text{ m}^3/\text{h} \text{ pour } 1 \text{ kg de fil électrode par heure}$$

$$\text{soit } q_a = 150. \times 40,4 = 6060 \text{ m}^3/\text{H}$$

Malgré l'observation des mesures préventives qui viennent d'être énoncées, des accidents sont toujours susceptibles de survenir. Les accidents dont les victimes exigent un minimum de soins étonnants et immédiats.

En outre, l'atelier devra comporter une pharmacie comprenant notamment :

- Boîte hermétique avec 4 linges stériles
- Boîte hermétique avec 4 compresses stériles
- Boîte de rondelles stérilisées pour pansements oculaires
- tampons-fuseaux stériles pour sécrétions oculaires
- bande de crépon de (0,07 x 5) m
- couvre oeil conique en carton perforé
- fuseaux et épingles de sûreté
- coton hydrophile
- collyre à la mercurure de bismuth à 29/°
- pommade à la mercurure de bismuth à 2°/°
- pommade à l'hydrocortisone à 1°/°
- pommade ophtalmique à la terramycine à 0,5 °/°
- collyre anesthésiant à la tétracaïne à 2 °/°

e) éclairage : On doit choisir le type de lampe suivant la formule suivante

$$F_a = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot Z}{n}$$

où : F_a : lumière nécessaire pour l'éclairage de l'atelier

K : coefficient qui tient compte du vieillissement de la lampe

$$K = (1,2 + 2)$$

S : surface de l'atelier en m^2

Z : coefficient d'irrégularité d'éclairage dans l'atelier $Z = (1,1 + 1,2)$

n : coefficient d'utilisation du courant de lumière $n = 0,5$

E : coefficient d'éclairage luxieux

$$E = \begin{array}{l} 200 \text{ pour les ampoules cylindriques} \\ 100 \text{ pour les ampoules ordinaires} \end{array}$$

Pour le contrôle de la soudure $E = 300$ pour les ampoules cylindriques
150 pour les ampoules ordinaires

Pour l'éclairage de l'atelier on prendra des ampoules ordinaires avec $E = 100$
et $K = 1,25$; $Z = 1,15$; $n = 0,5$; $S = 4323,168 m^2$

$$F_a = \frac{100 \cdot 1,25 \cdot 1,15 \cdot 4323,168}{0,5} = 1242910,8 \text{ lumen}$$

Et pour le contrôle on utilisera des ampoules cylindriques avec $E = 300$

$$F_a = \frac{300 \cdot 1,25 \cdot 1,15 \cdot 4323,168}{0,5} = 3728732,4 \text{ lumen}$$

BIBLIOGRAPHIE

- 1 - VINOKOUTOV :
Aide mémoire sur le soudage tome 3,
Moscou, "machinos troenie" 1970
- 2 - AKOULOV :
Technologie et équipement du soudage par fusion,
"machinostroenie" 1977
- 3 - SAKHNOVSKY :
Technologie des constructions d'aciers soudés
"Kiev, Boudivelnik" 1970
- 4 - G. Lemasson et L. Blain :
Matériaux de construction Mécanique et
électrique
- 5 - P.T. HOULDCROFT :
Les procédés de soudage
- 6 - G. KIENERT :
Constructions métalliques rivées et soudées Tome 1
- 7 - Ch. MONDIN :
Aide mémoire, construction métallique
- 8 - L. MENDEL :
Manuel pratique de soudage à l'arc
- 9 - L. DUCROS :
Le soudage manuel à l'arc électrique
- 10 - Revue H O B A R T

T A B L E D E S M A T I E R E S

I.	GENERALITES.....	1
II.	ETUDE DES CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT ET EXIGENCES TECHNIQUES	
	II 1 : Etude des conditions de fonctionnement.....	3
	II 2 : Exigences techniques.....	8
III.	DESCRIPTION DE CONSTRUCTION - CHOIX DU METAL DE BASE - SON CONTROLE	
	III 1 : Description.....	12
	III 2 : Choix du métal de base.....	12
	III 3 : Controle du métal de base.....	12
IV	CHOIX DU PROCÉDE DE SOUDAGE, DE MATERIAU DE SOUDAGE	
	IV 1 : Choix du procédé de soudage.....	18
	IV 2 : Choix du matériau de soudage.....	20
V	CALCUL DU REGIME DE SOUDAGE	
	V 1 : Soudage manuel	31
	V 2 : Soudage automatique.....	34
VI	CHOIX D'EQUIPEMENTS	
	VI 1 : Choix d'un poste de soudage en général.....	52
	VI 2 : Choix des postes de soudage cette étude....	55
	VI 3 : Choix d'un poste de découpage.....	57
	VI 4 : Choix de dispositifs auxiliaires.....	60
VII.	ELABORATION DU PROCÉDE TECHNOLOGIQUE.....	66
VIII.	HYGIENE ET SECURITE.....	82
	IX. C O N C L U S I O N	86

