

13/82

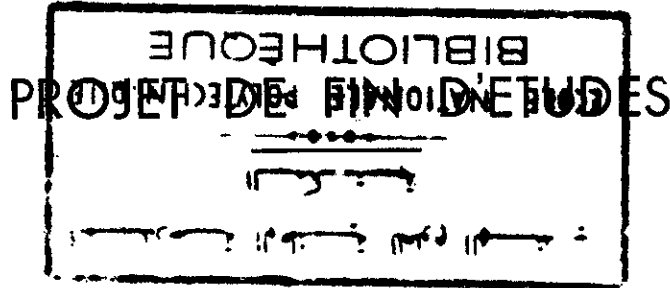
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

U. S. T. H. B.

204

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER

DEPARTEMENT GENE-MECANIQUE



INSTALLATION AUTOMATIQUE POUR LA
FABRICATION DE POUTRES EN I
de grandes dimensions en grandes séries

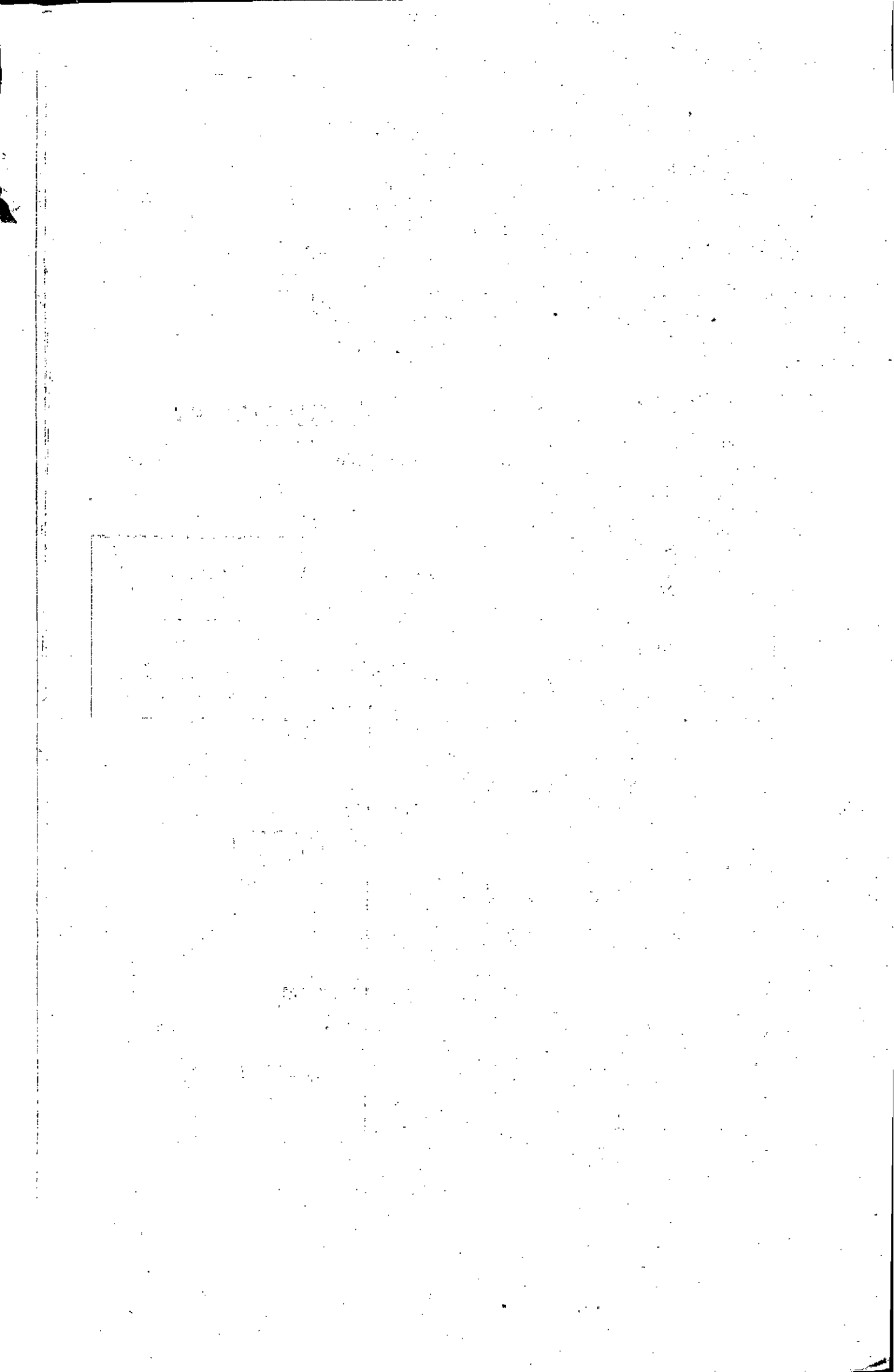
PROPOSE ET SUIVI PAR

Mr BARDOKINE E Maître de Conférences à l'ENPA

ETUDE ET PRESENTE PAR

FAOUSSI Messaoud

PROMOTION JANVIER 1982



MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

U. S. T. H. B.

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER

DÉPARTEMENT GÉNIE-MÉCANIQUE

PROJET DE FIN D'ÉTUDES

INSTALLATION AUTOMATIQUE POUR LA
FABRICATION DE POUTRES EN I
de grandes dimensions en grandes séries

PROPOSE ET SUIVI PAR

Mr BARDOKINE E Maître de Conférences à l'ENPA

ÉTUDE ET PRÉSENTÉ PAR

FAOUSSI Messaoud

PROMOTION JANVIER 1982

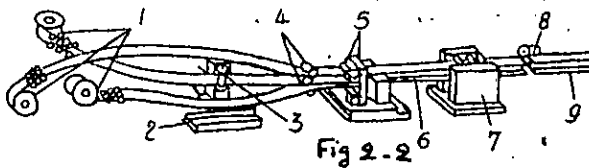
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

U.S.T.H.B.

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
département de Génie-Mécanique

PROJET DE FIN D'ETUDES

INSTALLATION AUTOMATIQUE POUR LA
FABRICATION DE POUTRES EN I
de grandes dimensions en grandes
séries

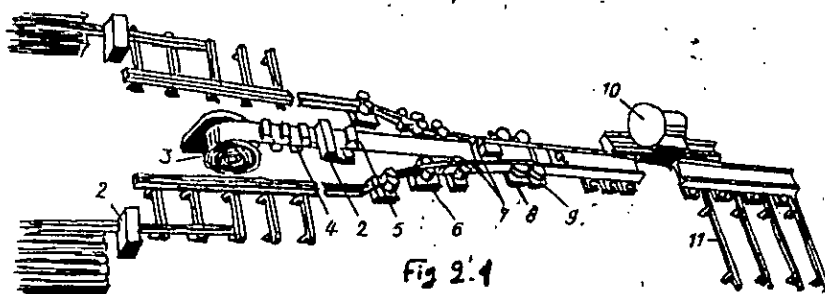


PROPOSE ET SUIVI PAR

M^r BARDOKINE E Maître de Conférence à l'ENPA

ETUDIE ET PRESENTE PAR

FAOUSSI-messaoud



PROMOTION - JANVIER.82

REMERCIEMENTS

A l'occasion de la présentation de ce travail, je tiens à remercier très vivement M^r BARDOKINE Egueni, Maître de conférence à l'École Nationale Polytechnique d'Alger (E.N.P.A) pour m'avoir cessé de me donner de bons conseils et pour les efforts qu'il a déployés tout au long de ce travail, pour m'assurer un bon encadrement. Qu'il admette maintenant mes grands remerciements et qu'il y trouve l'expression la plus sincère de ma reconnaissance.

Je saisis l'occasion aussi pour adresser mes grands remerciements au corps enseignant de l'Université des sciences et de la technologie H. BOUMEDIENE (U.S.T.H.B) pour avoir participé à ma formation et en premier lieu les enseignants de l'E.N.P.A, et plus particulièrement les enseignants du département G. Mécanique.

Je remercie aussi tous ceux qui ont contribué d'une manière ou d'une autre à la réalisation de ce travail.

DEDICACES

Je dédie ce travail à mon père qui a donné de sa personne tout au long de ma scolarité, et à la mémoire de ma mère, ainsi qu'à mes frères et sœurs, à toute la famille et à tous mes amis.

Je dédie ce travail aussi à mes camarades de la scolarité, à tous les étudiants de l'E.N.P.A, et en premier lieu les étudiants du département de Génie Mécanique et plus particulièrement les promus de Janvier 1982.

Je dédie ce travail aussi, à tous ceux qui ont œuvré pour libérer l'homme de l'injustice, et à tous ceux qui ont donné le mieux de leur pensée pour établir la civilisation humaine au cours des temps.

M. Faoussi

PREFACE

Notre tâche consiste en l'établissement d'un procédé d'exécution des poutres en I à âme pleine, à profil constant, en grande série. Pour mieux situer cette tâche, nous nous trouvons dans la nécessité de passer en revue la situation actuelle dans le domaine de la production de ce type de poutre. C'est pourquoi nous avons consacré une partie relativement grande, dans notre projet, dans laquelle nous avons fait une analyse des différents modes et technologies de fabrication de ce type de produit en fonction des paramètres portant sur :

- les dimensions principales,
- le métal de base,
- le matériau de soudage,
- les tolérances,
- la qualité de la soudure.

Cette analyse se terminera par une sorte d'étude comparative qui aura à nous orienter vers le sujet de notre étude.

Pour satisfaire les besoins du marché national en ce produit qui est nécessaire, pour la construction métallique en particulier, nous avons pensé à rendre possible la production en quantité suffisante, au lieu de continuer à en importer. Nous situons cette tentative dans le contexte des efforts déployés dans le domaine de l'industrialisation des pays, conformément à l'esprit de la Charte Nationale qui stipule que : "l'industrialisation est certainement l'un des phénomènes qui marqueront le plus le visage économique de l'Algérie indépendante" (p. 166) et il s'agit de

"créer les conditions nécessaires à l'indépendance technique de l'économie par l'accès à un niveau de plus en plus élevé de la technologie". De ce fait, il est indispensable qu'ils (les Algériens) s'ouvrent aux industries ayant un caractère technologique avancé qui doivent trouver leur place dans les programmes d'industrialisation de l'Algérie." (p. 169-170).

Nous avons aussi le souci de rendre la production plus performante et de diminuer le prix de revient pour permettre à notre produit d'être compétitif sur le marché.

Ce sont ces considérations qui ont orienté nos idées vers l'étude d'une installation automatisée destinée à produire des poutres en I, de grandes dimensions, en grande série.

I. ETUDE DES POUTRES EN I

I.1 Configuration: On envisage les poutres à âme pleine; suivant la méthode de leur obtention, on distingue:

I.1.1: Les poutres laminées (poutrelles): ces poutres sont de dimensions relativement réduites; les dimensions d'usage courant sont pour la hauteur d'âme $h \leq 600$ mm; on trouve un certain nombre d'échantillons dans les limites $600 \text{ mm} < h \leq 1000$ mm; pour $h > 1000$ mm on constate l'absence des poutres laminées. Les figures et les tableaux qui vont suivre indiquent quelques types de poutres laminées suivant leurs formes et leurs dimensions, données par des fabricants.

I.1.1.1: Poutre IPN (tableau et figure 1):

Tableau 1

Dimensions [mm]			
U.R.S.S. [IX]		France [II]	
h	b	h	b
100	53	80	42
120	57	100	50
140	63	120	58
160	71	140	66
180	80	160	74
200	90	180	82
220	100	200	90
240	110	220	98
260	120	240	106
300	135	260	113
360	155	280	119
400	165	300	125
450	180	320	131
500	190	340	137
550	200	360	143
600	210	400	155
		450	170
		500	180

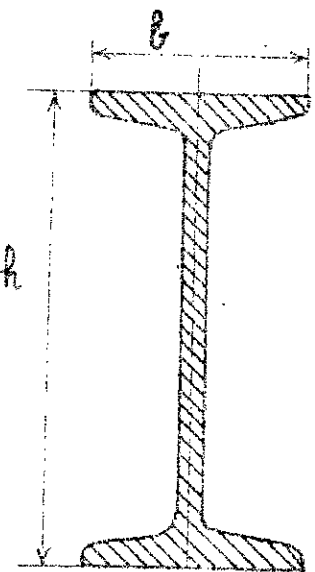


fig 1

I.1.1.2 : Poutre IPE (tableau et figure 2):

tableau 2

Dimensions [mm]			
France [U]		Italsider [XIV]	
h	b	h	b
80	46	100	55
100	55	120	64
120	64	140	73
140	73	160	82
160	82	180	91
180	91	200	100
200	100	220	110
220	110	240	120
240	120	270	135
270	135	300	150
300	150	330	160
330	160	360	170
360	170	400	180
400	180	450	190
450	190	500	200
500	200	550	210
550	210	600	220

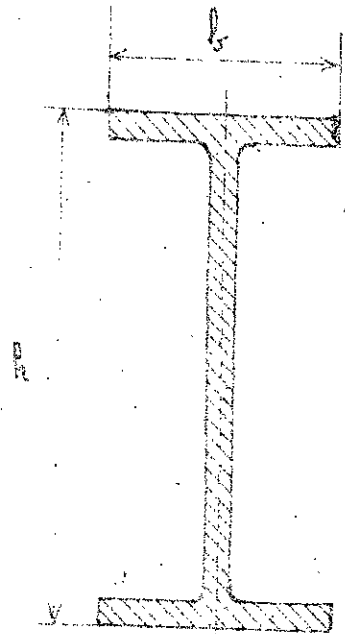


fig 2

tableau 3

Dimensions [mm]			
France [U]		Italsider [XIV]	
h	b	h	b
96	100	96	100
114	120	114	120
133	140	133	140
152	160	152	160
171	180	171	180
190	200	190	200
210	220	230	240
230	240	250	260
250	260	270	280
270	280	290	300
290	300	300	300
310	300	310	300
330	300	350	300
350	300	390	300
390	300	440	300
440	300	490	300
490	300	540	300
540	300	590	300
590	300		

I.1.1.3 : Poutre à ailes larges
HEA (tableau et figure 3)

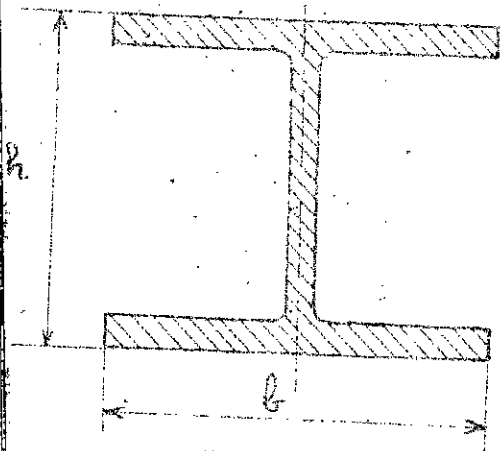


fig 3

I.1.4: Poutre à ailes larges HEB (tableau 4 de figure 3)

I.1.5: Poutre à ailes larges HEM (tableau 5 de figure 3)

tableau 5

Dimensions [mm]	
Italsider [XIV]	
h	b
120	100
140	120
160	140
180	160
200	180
220	200
240	220
260	240
280	260
300	280

tableau 4

Dimensions [mm]			
Italsider [XIV]		France [II]	
h	b	h	b
100	100	100	100
120	120	120	120
140	140	140	140
160	160	160	160
180	180	180	180
200	200	200	200
220	220	220	220
240	240	240	240
260	260	260	260
280	280	280	260
300	300	280	250
320	300	300	300
340	300	320	300
360	300	340	300
400	300	360	300
450	300	400	300
500	300	450	300
550	300	500	300
600	300	550	300
		600	300

I.1.2: les poutres reconstituées, suivant le mode d'assemblage on distingue :

I.1.2.1: Les poutres reconstituées rivées (figure 4, a et b)

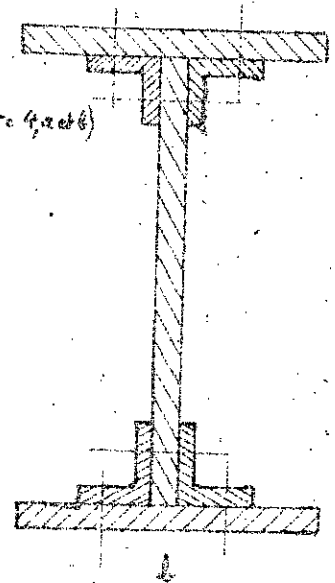
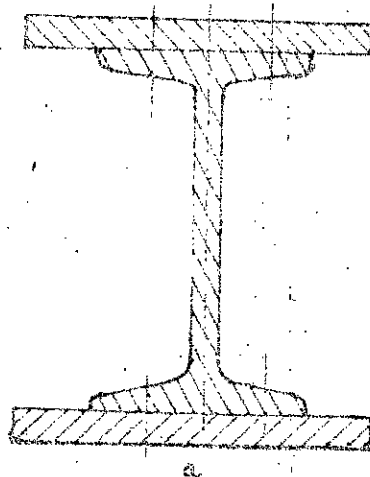
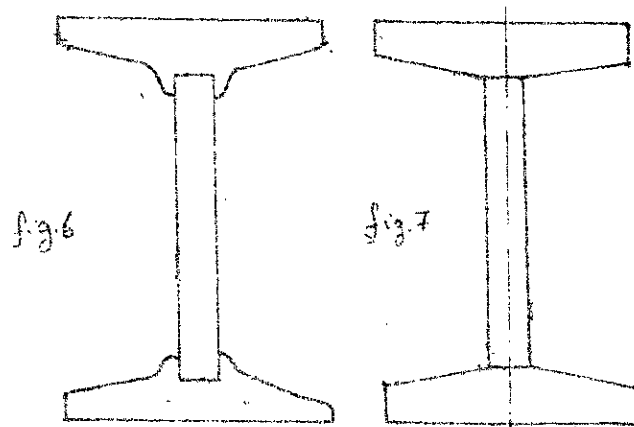
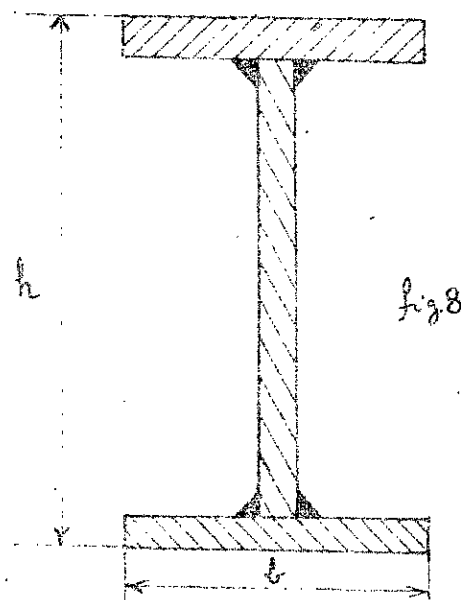


fig. 4

I. 4.2.2: Les poutres reconstituées sur profilés à brasse
(figure 6 et 7)



I. 4.2.3: Les poutres reconstituées soudées PPS à h et b constants (figure 8).



I. 2: Tolérances dimensionnelles des poutres en I : PPS.

Dans le domaine de la technologie d'exécution, aucun produit ne peut être exécuté suivant ses dimensions nominales d'une manière stricte; les écarts à ces dimensions sont cependant appelés à ne pas dépasser certaines valeurs imposées par les conditions d'utilisation du produit en question.

Les écarts admissibles sur les dimensions nominales sont appelés tolérances.

Pour les poutres en I: PRS ces tolérances sont données par les normes en fonction des dimensions nominales principales de la poutre. A titre d'exemple nous nous proposons de mentionner les tolérances données par les normes soviétiques et celles données par les normes françaises.

I.2.4: Normes soviétiques:

1. Sur la hauteur : $H \pm 5$ [mm]
2. relativement à la mutation c jusqu'à 5 [mm]
3. flèche $f \leq 0,005 b$
4. convexité $K \leq 0,003 H$ mais pas plus de $d/2$ et pas plus de 3...
5. largeur b , longueur L et l'épaisseur t . Pour ces trois dimensions voir le tableau 36 page 240 (Technologie de construction pour la construction métallique) reproduit ci-après.

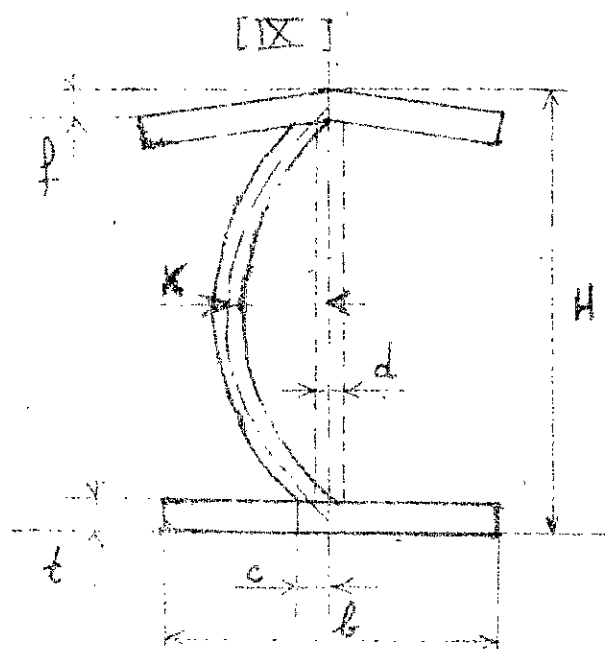


Fig 9

[X]

Tolérances sur l'épaisseur [mm]									Tolérances sur la largeur [mm]				
t [mm]	600 à 1000	1001 à 1200	1201 à 1500	1501 à 1700	1701 à 1800	1801 à 2000	2001 à 2300	2301 à 2500	en f(L) [m]	en f(t) [mm]			
										t ≤ 16	18-60	62-100	102 ≤ t ≤ 160
4	±0,4	+0,5 -0,4	+0,6 -0,4	-	-	-	-	-	L ≤ 8	t ≤ 2 m +10 mm	+15	+50	+75
5 ÷ 5,5	+0,3 -0,5	+0,4 -0,5	±0,5	+0,7 -0,5	-	-	-	-		t > 2 m +0,5% t			
6 ÷ 7	+0,3 -0,6	+0,4 -0,6	+0,5 -0,6	+0,7 -0,6	+0,9 -0,6	-	-	-	L > 8	+0,2% L	+40		
8 ÷ 10	+0,2 -0,8	+0,3 -0,8	+0,3 -0,8	+0,4 -0,8	+0,6 -0,8	±0,8	+0,9 -0,8	+1,0 -0,8	tolérances [mm] sur L en f(t)				
11 ÷ 25	+0,2 -0,8	+0,3 -0,8	+0,3 -0,8	+0,4 -0,8	+0,6 -0,8	±0,8	+0,9 -0,8	+1,0 -0,8	t ≤ 16 [mm]	18 ≤ t ≤ 60 [mm]	62 ≤ t ≤ 100 [mm]	102 ≤ t ≤ 160 [mm]	
26 ÷ 30	+0,2 -0,9	+0,3 -0,9	+0,3 -0,9	+0,4 -0,9	+0,6 -0,9	+0,8 -0,9	±0,9	+1,0 -0,9	L ≤ 2 m +10 mm	L ≤ 3 m +15 mm			
32 ÷ 34	+0,3 -1,0	+0,3 -1,0	+0,4 -1,0	+0,5 -1,0	+0,6 -1,0	+0,8 -1,0	±1,0	+1,1 -1,0	2 < L < 7 m +0,5% L	3 < L < 8 m +0,5% L	+50 mm	+75 mm	
36 ÷ 40	+0,4 -1,1	+0,4 -1,1	+0,5 -1,1	+0,6 -1,1	+0,7 -1,1	+0,9 -1,1	+1,0 -1,1	+1,2 -1,1					
42 ÷ 50	+0,5 -1,2	+0,6 -1,2	+0,7 -1,2	+0,8 -1,2	+0,9 -1,2	+1,1 -1,2	±1,2	+1,4 -1,2	L > 7 m +35 mm	L > 8 m +40 mm			
53 ÷ 60	+0,7 -1,3	+0,8 -1,3	+0,9 -1,3	+1,0 -1,3	+1,1 -1,3	+1,3 -1,3	+1,4 -1,3	+1,5 -1,3	au cours du laminage l'ondulation ne doit pas dépasser 12 mm/m courant habituellement.				

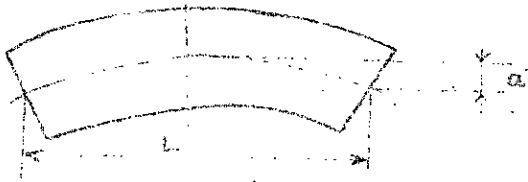
Les mêmes normes exprimant ces tolérances comme le visualisent

les figures ci-dessous :

[IX]



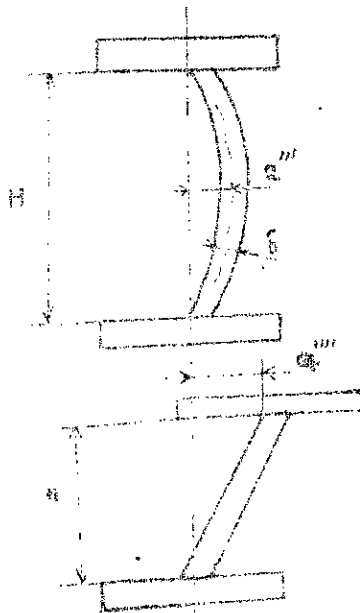
$$a \leq 0,25\% b$$



$$a \leq 0,1\% L \text{ mais pas plus de } 10 \text{ mm}$$



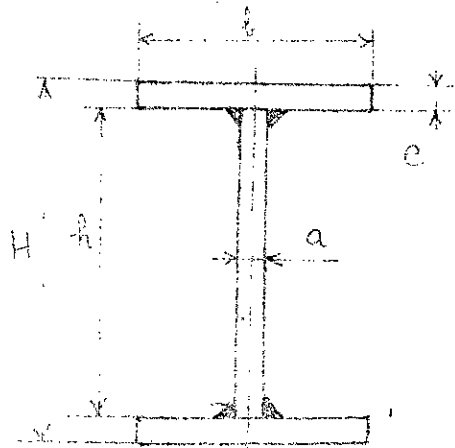
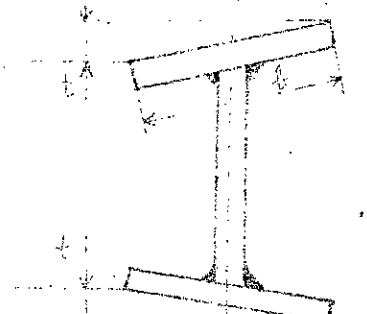
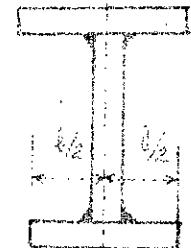
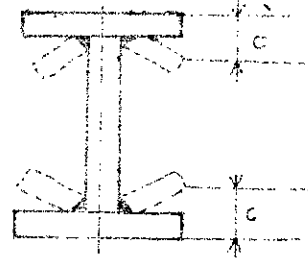
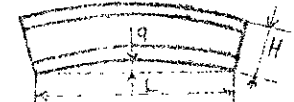
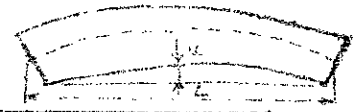
$$a'' \leq 5 \text{ mm}$$



$$a''' \leq 0,003H \text{ mais pas plus de } \frac{H}{2} \text{ et pas plus de } 5 \text{ mm}$$

$$a'''' \leq 0,003H$$

I.2.2 : Normes françaises : [II]

Description	Dimensions nominales [mm]	Tolerances [mm]	Schémas
hauteur hors tout hauteur d'âme épaisseur largeur d'âme largeur d'aile	$H \approx 1670$ $520 \leq h \leq 1550$ $180 \leq e \leq 300$ $6 \leq a \leq 10$ $10 \leq a \leq 10$ $10 \leq e \leq 10$	± 5 ± 5 ± 5 $-0,5 \quad +0,3$ $-1 \quad +0,5$ $\pm 4\% e$ min 1,05	
hauteur d'épaulement	$h_1 \leq 400 ; a_1 \geq 80$ $h_2 \leq 40 ; a_2 \geq 8$ $h_3 \geq 400 ; a_3 \geq 8$ $a_4 \geq 40 ; a_5 \geq 8$	$t_1 \leq 10\% h_1$ $t_2 \leq 2\% h_2$ $t_3 \leq 0,5\% h_3$ $t_4 \leq 4,00\% h_4$	
symétrie b_2		$S \leq 5 \text{ mm}$	
angle des ailes	$\alpha \geq 8$ $\alpha < 8$	$c \leq 40\% \frac{1}{2}$ $c \leq 2\% \frac{1}{2}$	
correspondant à la largeur admissible		$+100$ -0	
déviation		$q \leq 0,1\% L$	
déviation		$u \leq 0,1\% L$ $+0,5\%$ $-2,5\%$	

Dans ce qui précède nous avons fait état de types de poutres en I à âme pleine, à section rectangulaire. Nous tenons à souligner que les poutres laminées l'emportent par leurs propriétés mécaniques ainsi que par leurs prix de revient qui est relativement réduit; par contre le prix de revient des PPS est relativement élevé, leurs propriétés mécaniques risquent d'être diminuées par la présence au joint soude (dans le cas où il existe des défauts non détectés). On se pose la question: pourquoi fabriquer l'on des poutres soudées? La réponse, nous pourrions l'extraire des tableaux précédents qui renseignent sur les dimensions courantes des poutres en I laminées qui sont, pour la hauteur d'âme $h \leq 600 \text{ mm}$ et pour la largeur d'aile $b \leq 300 \text{ mm}$, alors que l'industrie demande des poutres de dimensions allant pour la hauteur d'âme jusqu'à 1550 mm [II] et jusqu'à 2000 mm (URSS) pour la largeur d'aile jusqu'à 700 mm [II]. On y voit si cela qu'il existe des situations où on a besoin de poutres en acier allié dont le laminage en grande épaisseur est difficilement réalisable. C'est donc pour répondre aux besoins de l'industrie que l'on fabrique des poutres soudées.

Dans notre étude nous considérons une poutre à âme pleine de section rectangulaire à profil constant (âmes de dimensions constantes),

à hauteur d'âme $600 \text{ mm} \leq h \leq 2000 \text{ mm}$ [II]

à largeur d'aile $200 \text{ mm} \leq b \leq 600 \text{ mm}$ [II]

à longueur L illimitée

à épaisseur $e \leq 16 \text{ mm}$ [II]

Après avoir fixé les dimensions de la poutre à lancer en série nous fixons les tolérances en se référant aux tableaux précédents tout en choisissant les tolérances les plus strictes pour dimensionner les éléments

de l'installation faisant l'objet de notre étude.

I.3: Métal de base :

La qualité de fabrication dépend en une grande mesure de choix judicieux du métal de base, celui-ci doit répondre à un certain nombre d'exigences ; nous en citons celles que nous jugeons essentielles :

1. limite d'élasticité élevée, plasticité suffisante et une résistance à la rupture fragile (résilience) élevée avec économie de métal ;
2. Soudabilité meilleure ;
3. teneur limitée en éléments allant à l'encontre de la qualité de la soudure
($S \leq 0,035$; $P \leq 0,035$)

Pour ce qui est de la première exigence, en se référant à l'acier au carbone, l'acier faiblement allié, en augmentant la limite élastique conventionnelle $R_{0,002}$ (contrainte produisant une déformation permanente de 0,2%, il diminue la masse du métal, objectif visé par tout constructeur. En effet l'économie de métal se répercute avantageusement sur la construction en la rendant plus légère et moins encombrante. A cet effet on a enregistré que les aciers faiblement alliés à $R_{0,002} = 35 \text{ daN/mm}^2$ au lieu des aciers ordinaires procurent une économie de 15% sur le métal ; cette économie atteint 25 à 30% dans le cas des aciers faiblement alliés à $R_{0,002} = 40 \text{ daN/mm}^2$, les aciers faiblement alliés thermiquement traités dont $R_{0,002} \in [40 \div 50] \text{ daN/mm}^2$ l'économie de métal enregistrée atteint 50%.

Pour ce qui est de la deuxième exigence (soudabilité meilleure), le carbone équivalent renseigne sur la soudabilité de l'acier : $[C_e] = C + \frac{Mn}{9} + \frac{Cr}{9} + \frac{Ni}{18} + \frac{7Mo}{30}$.
Une bonne soudabilité est conditionnée par $[C_e] \leq 0,40\%$.

Nous jugeons utile de signaler le comportement des éléments d'addition vis à

vis des qualités des aciers en soulignons leur soudabilité.

[XIII]

Influences des éléments d'addition sur les qualités des aciers

Élément	Symbole chimique	Symbole AFNOR	Propriétés mécaniques de l'acier					Transformation de formes		
			R	R _{0,002}	A%	H	K	usinabilité	forgeabilité	laminabilité
Carbone	C		↗	↗	↘	↗	↘	↘	↘	↘
Chrome	Cr	C	↗	↗	↗	↗	↘	↘		↘
Manganèse	Mn	M	↗	↗	↗	↗	↗	↘	↗	↘
Nickel	Ni	D	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
Acier	Si	S	↗	↗		↗	↘	↘		↘
Aluminium	Ni	N	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
Cobalt	Co	K	↗				↗			
Vanadium	V	V	↗	↗	↗	↗	↗		↗	↘
Wolfram	W	W	↗		↗	↗	↗			
Phosphore	P	P	↗	↗	↘	↗	↘	↗		↘
Sulfure	S	F	↘	↘	↘		↘	↗	↘	↘

↗ augmentation ↗ augmentation forte ↘ diminution.

Les aciers faiblement alliés s'adaptent mieux au soudage. Nous en indiquons quelques types suivant différentes normes.

1) des normes soviétiques indiquent pour les poutres en I soudées ГOCT 82-57 et ГOCT 5681-57 qui réapparaissent sous le titre ГOCT 19282-73, cet acier existe en plusieurs nuances comme c'est indiqué dans le tableau suivant :

Nuance (1)	R [daN/mm ²]	R _{0,002} [daN/mm ²]	A %	Destination
03F2	45	31	21	Constructions soudées
14F2	47(54)	34(40)	21(18)	Constructions soudées hauts fourneaux ...
17FC	52(54)	34-35(40)	23(18)	Conduite à gaz - Corps et boîtiers des appareils. Fonds - Brides - autres constructions soudées.
14XFC	50	35	22	Tôles, soudées des pipe-lines de gaz
15XHII	50(60)	35(50)	21(17)	Ferme, ponts, wagons, rames

(le cuivre (II) est de 0,3% pour toutes les nuances
indiquent les propriétés obtenues après traitement thermique

2) Les normes françaises indiquent pour les constructions des poutres en I soudées la nuance E 24-2 dont les propriétés sont données en fonction de l'épaisseur des tôles (voir M de DI page 199 et OTUA page 17). Les normes françaises indiquent aussi pour la construction d'usage général (voir Technique de l'ingénieur métallurgiste - titre 303):

A 36 - 201 5.79 tôles en acier à haute limite d'élasticité pour constructions soudées.

A 36 - 203 12.75 tôles en acier soudable pour formage à froid à haute limite d'élasticité.

A 36 - 204 12.75 tôles en acier soudable à haute limite d'élasticité

R_{0,002} ∈ [50+63] daN/mm².

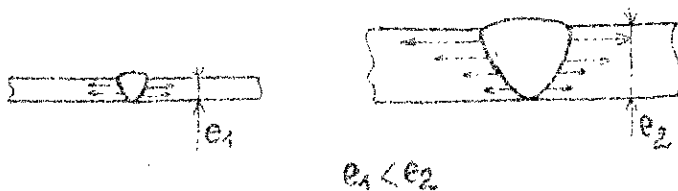
Pour notre produit nous optons sur l'acier 14T2 dont les propriétés mécaniques et la composition chimique sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

Éléments constitutants en %					Propriétés mécaniques		
C	Mn	Cu	S	P	R [daN/mm ²]	R _{0,002} [daN/mm ²]	A%
0,14	2	0,3	0,035	0,035	47 (54)	34 (40)	21 (18)

Nous tenons à vérifier la soudabilité avec [5] :

$$[C_e] = C + \frac{Mn}{9} + \frac{Cr}{9} + \frac{Ni}{18} + \frac{7Mo}{30} = 0,14 + \frac{2}{9} = 0,362\% < 0,40\% ;$$

L'acier choisi est donc de bonne soudabilité du point de vue composition chimique



Cependant l'épaisseur influence aussi sur la soudabilité de l'acier. En effet les opérations du soudage sont caractérisées par un chauffage suivi d'un refroidissement ; le même phénomène régit les opérations de traitements thermiques des métaux. Après avoir chauffé à une température donnée (suivant le type du traitement thermique en question), la structure du métal et par suite ses propriétés mécaniques va dépendre de la vitesse de refroidissement. Il importe pour nous, ici, de considérer deux échantillons de même nuance d'acier avec des épaisseurs inégales $e_1 < e_2$ (voir figures ci-dessus), la répartition de la température dans l'échantillon 2 est plus rapide que celle dans l'échantillon 1. Comme la trempe est un inconvénient pour la soudabilité.

de l'acier; donc l'augmentation de l'épaisseur influe négativement sur la soudabilité; c'est pourquoi il faut tenir compte de l'épaisseur des éléments à assembler lorsque l'on envisage le calcul de la soudabilité. Les expériences effectuées dans ce domaine ont conduit à établir une formule empirique pour estimer la soudabilité d'un acier en fonction de deux (2) paramètres, la composition chimique et l'épaisseur:

$$[C_e]_{ep} = C_e [1 + 0,05e] \quad \text{avec } e[\text{cm}]$$

pour notre cas $e_{\max} = 1,6 \text{ cm}$

Ce qui implique $[C_e]_{ep} = 0,362 [1 + 0,05, 1,6] = 0,3809\% < 0,40\%$ donc le métal de base choisi peut être soudé sans prendre des mesures spéciales.

II. ETUDE DE TECHNOLOGIES DE FABRICATION EXISTANTES DES POUTRES EN I DE GRANDES DIMENSIONS

Les tôles à assembler sont d'épaisseur relativement grande, ce qui nécessite le procédé de soudage à l'arc ou à courant électrique. Selon le mode de fabrication le procédé est manuel, semi-automatique ou automatique. On distingue deux grands modes de fabrication :

A. à l'unité : pour ce mode de fabrication on a tendance à manualiser le procédé car cela procure l'avantage d'un équipement à coût relativement réduit ; il procure aussi la possibilité d'une production en plusieurs variantes. La basse productivité qui le caractérise n'en est pas un inconvénient, tant que l'on arrive à satisfaire la demande. Le matériau de soudage en est l'électrode en acier enrobé. Le choix du type et de la marque de l'électrode enrobée se fait surtout en fonction de la nuance de l'acier à souder (métal de base), l'épaisseur des tôles, la rigidité de la pièce, la température de l'ambiance, la position de soudage (à plat, en gouttière), les conditions de service du joint soudé, etc...

Nous soulignons ici que les électrodes nues sont à exclure de par leurs nombreux inconvénients tels que la difficulté de l'amorçage et de la stabilité de l'arc, l'absorption d'une grande quantité de gaz (O_2, N_2) etc...

Les électrodes enrobées occupent presque totalement les lieux

de par leurs nombreux avantages : amorçage et stabilité de l'arc relativement faciles, limitation de la quantité de gaz absorbée par la soudure, apport d'éléments utiles au joint soudé lui conférant des propriétés parfois meilleures que celles du métal de base.

Cependant selon la composition chimique de leur enrobage, les électrodes enrobées existent en plusieurs types et plusieurs marques pour répondre aux besoins très divers qui sont fonction du cas de figure de l'assemblage soudé à réaliser. Pour notre cas de figure, l'électrode enrobée doit répondre aux impératifs suivants :

1. amorçage et stabilité de l'arc,
2. facilité de soudage en diverses positions opératoires,
3. grande résistance à la cassure fragile et au vieillissement

Le premier impératif est satisfait par la présence de produits ionisants dans l'enrobage (sels de sodium, sels de potassium, oxydes de titane, carbonates, silicates, oxyde de fer, oxyde de thorium, etc...)

Le deuxième impératif est satisfait par un enrobage qui donne une laitier peu visqueuse permettant l'obtention facile des dépôts en différentes positions, la fixation des éléments utiles dans le bain fondu, la désulfuration, la déphosphoration de la soudure ainsi que la protection totale du bain de fusion (voir fig 1.2)

Le troisième impératif est satisfait par la teneur appropriée de l'enrobage en éléments utiles qui, se fixant dans le bain de fusion, renforcent les propriétés mécaniques du métal de la soudure, notamment la résilience et la faible tendance au vieillissement (voir fig 1.3)

De par sa composition chimique (à base de carbonate de Calcium

ou de magnésium), et la faible teneur en hydrogène du métal déposé qui ne dépasse pas $5 \text{ cm}^3/100\text{g}$, l'enrobage basique répond parfaitement aux impératifs demandés par notre assemblage à un inconvénient près qui est son degré hygrométrique relativement élevé et qui exige avant toute utilisation un séchage à une température $t = [200-300]^\circ\text{C}$ d'électrode enrobée 346A (norme soviétique ГОСТ 9467-75) dont les caractéristiques sont indiquées dans le tableau ci-dessous répond aux impératifs cités plus haut.

[XV]

Propriétés mécaniques à température normale; valeurs minimales

charge de rupture $\sigma_{\text{br}} [\text{daN}/\text{mm}^2]$	Allongement relatif [%]	Résilience $[\text{daN} \cdot \text{m}/\text{cm}^2]$
46	22	14

Il existe plusieurs marques de ce type d'électrode.

Nous avons à titre d'exemple la marque 346A-YOHVN-13/45-3,0-YII,2 [XV]
E 43/2/51-E10

Cette désignation se déchiffre comme suit:

Type 346A: 346 = électrode enrobée de $50 \text{ min} [\text{daN}/\text{mm}^2] = 46$

A: ductilité particulièrement meilleure du métal déposé.

Marque YOHVN-13/45 de $\phi = 3 \text{ mm}$

YII,2: enrobage épais $1,45 \leq \frac{3}{2} \leq 1,8$ de groupe 2 destiné au soudage des aciers faiblement alliés et au carbone.

E10: basique - toutes positions - polarité inverse.

Avec le soudage manuel, si on fait abstraction de sa faible productivité on est pratiquement pas limité du point de vue dimensions (épaisseur, longueur, largeur) des tôles; cela prouve l'avantage de plusieurs variantes.

Pour la méthode de fabrication (unitaire) et dans le but d'améliorer la qualité de la soudure et augmenter la productivité on fait appel au procédé semi-automatique dont le principe consiste en :

1. le déroulement automatique du fil électrode dans un dévidoir, de même qu'un débit en flux solide pour assurer la protection du bain de fusion.
2. l'avance manuelle de la torche assurant le dépôt du métal de la soudure. Pour le matériau de soudage nous adoptons le même système que le procédé automatique (voir plus loin).

B. en série et en masse : le procédé automatique s'impose par sa productivité élevée et par la performance de la soudure qu'il procure. On en distingue deux variantes :

1. Avec matériau d'apport :

Le matériau consiste en un fil d'acier avec un débit de flux en grains (fig 1.1) ou en poudre (flux électroconducteur) (fig 1-2).

Nous indiquons dans le tableau suivant quelques types de flux solide utilisés dans l'Unionmelt en fonction de leurs constituants principaux.

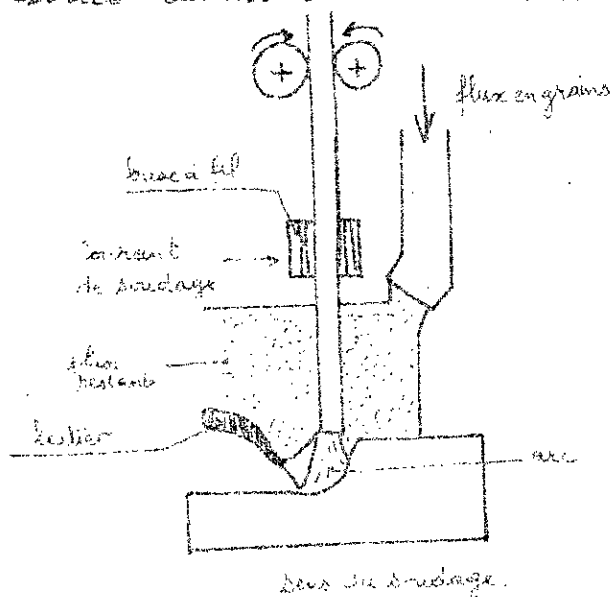


fig 1.1 : principe de soudage sous flux en grains

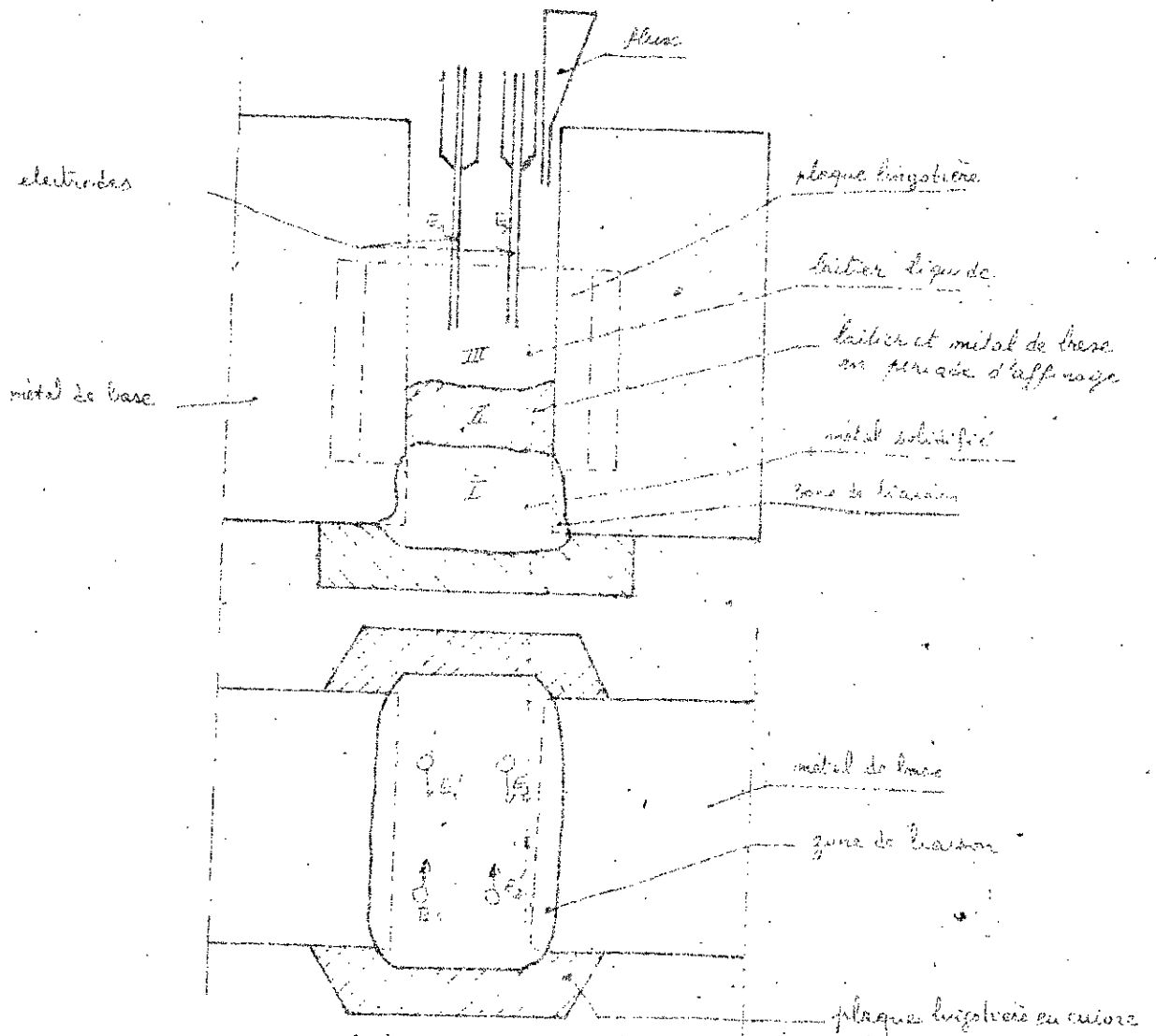


fig 1.2: principe de soudage sous flux électro-conducteur

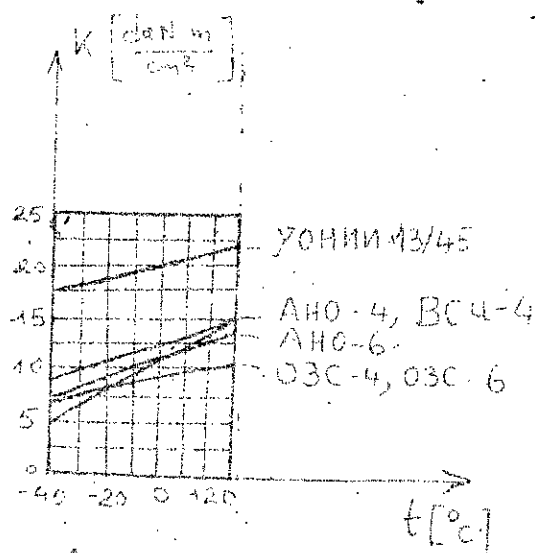


fig 1.3 [XV]

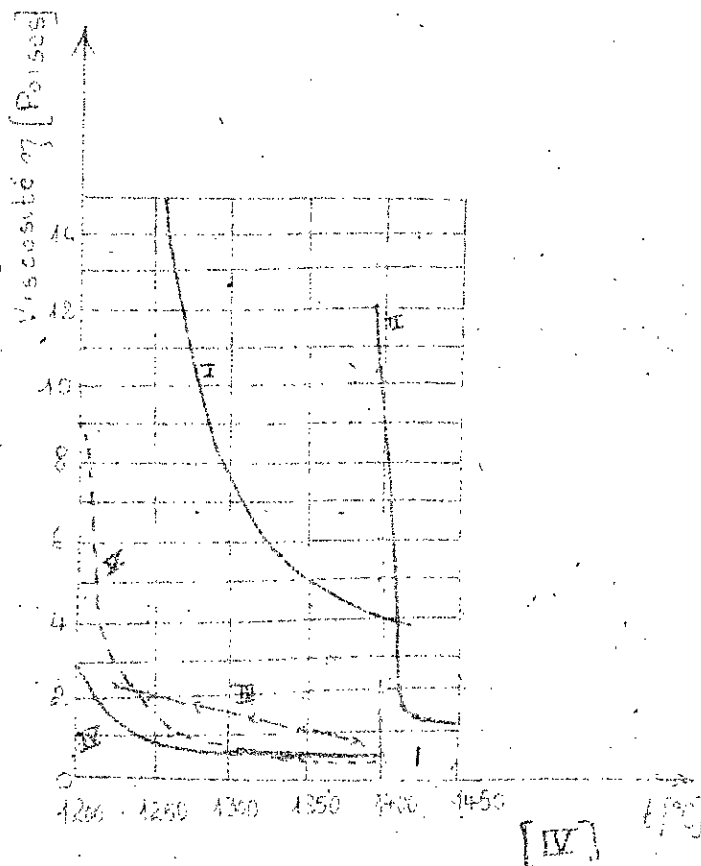


Fig 1.4

Courbes I et V laitiers d'électrodes acides

Courbe II laitier d'électrodes rutiles pour soudage à plat

Courbe III laitier d'électrodes rutiles pour soudage en position

Courbe IV laitier d'électrodes basiques

Fluxes de flux en % Mn et Si	50	80	70	20
CaO	5	24	28	27
CaF ₂	5	5	-	-
MgO	-	12	6,5	7,5
SiO ₂	41	38	48	53
Al ₂ O ₃	2,5	13	5	5
MnO	0,75	2,5	18	-
MnO ₂	39	-	-	-

Il est à souligner que le fil d'acier et le flux vont de pair, c'est pourquoi le choix de l'un limitera le choix de l'autre; c'est pour cette raison qu'en pratique on a été amené à établir un guide pour le choix du système du matériau d'apport; ce qui guide comporte trois variantes:

1. fil d'acier à faible teneur en carbone \Rightarrow un flux à grande teneur en Mn et Si : (35 ÷ 45)% MnO, (40 ÷ 45)% SiO₂ qui est un flux basique.

2. fil d'acier allié à 2% en Mn \Rightarrow un flux à haute teneur en Si (40 ÷ 42)% SiO₂ et 15% MnO₂. Il s'agit d'un flux acide.

3. fil d'acier allié à 1% en Mn \Rightarrow un flux à teneur moyenne en Mn (23%).

Pour répondre à des impératifs analogues à ceux exigés à l'électrode enrobée fixée pour le soudage manuel (voir p. 107-108) nous fixons notre choix sur un flux basique qui nous conduira au choix du fil d'acier qui doit être à faible teneur en carbone (variante 1). Les normes correspondantes

FOOT 2246-70 indiquent un fil d'acier à bas carbone CB-087A dont les constituants sont donnés par le tableau ci-dessous:

[87]

Éléments	C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P
pour %	0,1	0,8 1,1	0,03	0,1	0,25	0,025	0,03

Cette nuance de fil d'acier est destinée au soudage, sous flux solide, des aciers à bas carbone.

Le procédé consiste en l'avance automatique d'une torche alimentée automatiquement par le fil d'acier et par un débit de flux approprié. Le procédé donne la possibilité de réaliser deux variantes d'assemblage et ceci du point de vue position du joint soudé vis-à-vis du moment maximal sollicitant la poutre.

1.1 : à partir de deux profilés en T laminés et une tôle (fig B.1)

Cette variante est d'un grand avantage, en effet lorsque la poutre est sollicitée par le moment de flexion (cas courant) le joint soudé et son voisinage immédiat (zones 1, 2 et 3) constituant l'endroit le moins résistant à la cassure fragile

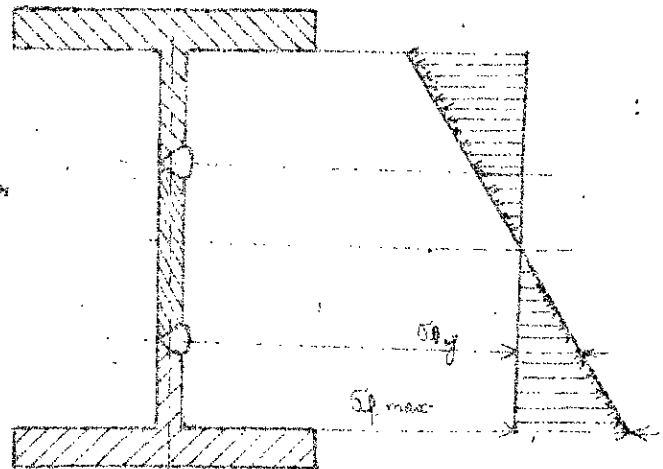


fig. B.1

ne se situent pas là où les contraintes sont maximales on a bien

$$\sigma_p < \sigma_{max} \quad (\text{voir fig B.2})$$

Les dérivés de cette avantage sont multiples mais son inconvénient majeur est sa limitation à des dimensions relativement petites. En effet le laminage donne des profilés en T de largeur limitée ($b \leq 300\text{mm}$), ce

répondant pas aux exigences d'une production de grandes dimensions.

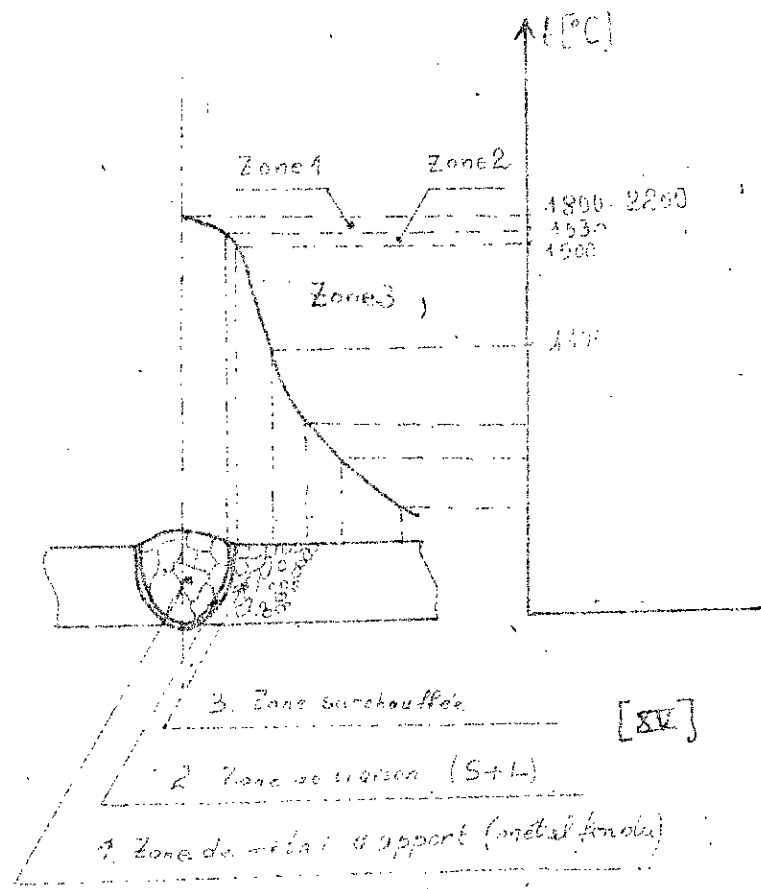


fig B.2

1.2: à partir de trois toles:

d'inconvénient ici est que le joint soudé et son voisinage immédiat (zones 1, 2 & 3) se situe à l'endroit où les contraintes sont maximales (voir fig B.3). L'avantage que cette variante procure consiste en ce qu'elle donne satisfaction à une production de grandes dimensions.

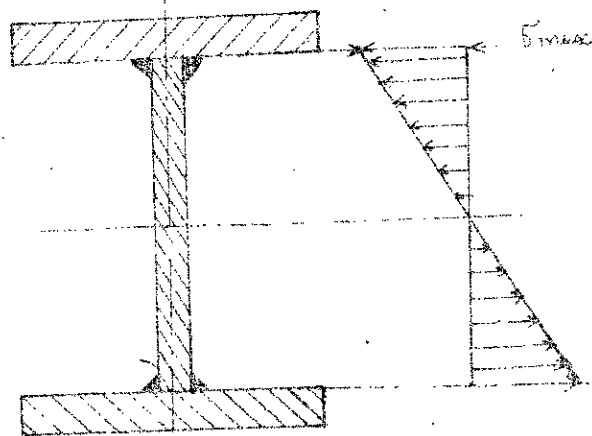
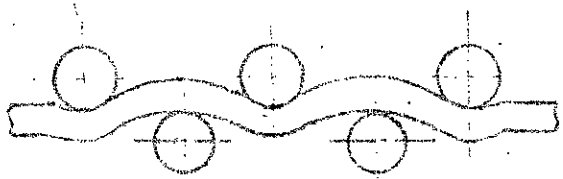
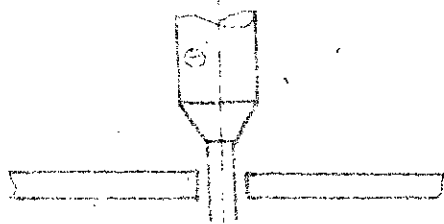
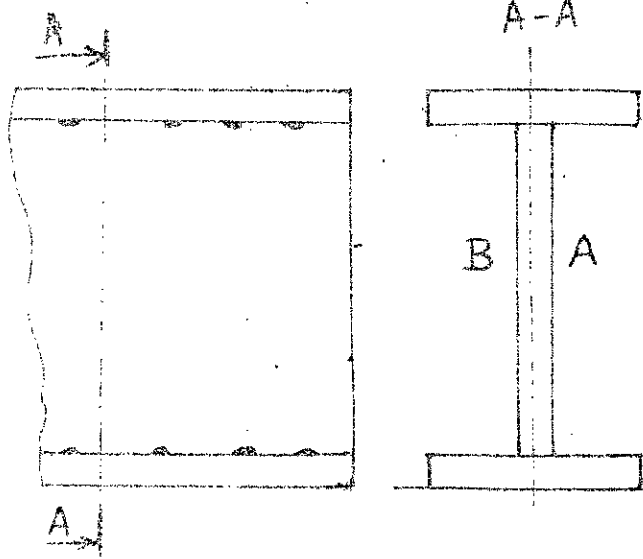
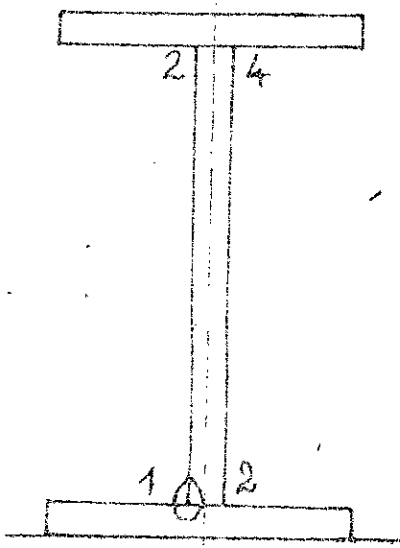
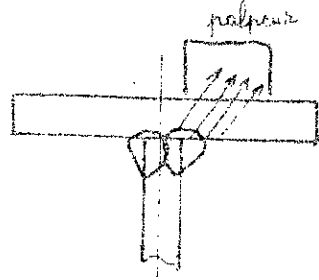


fig B.3

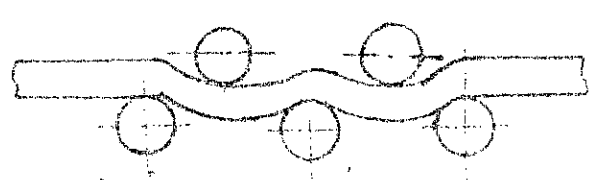
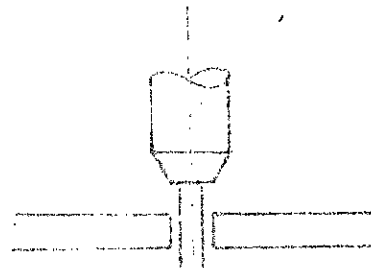
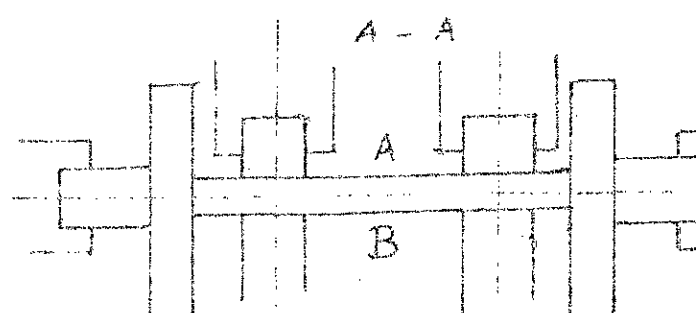
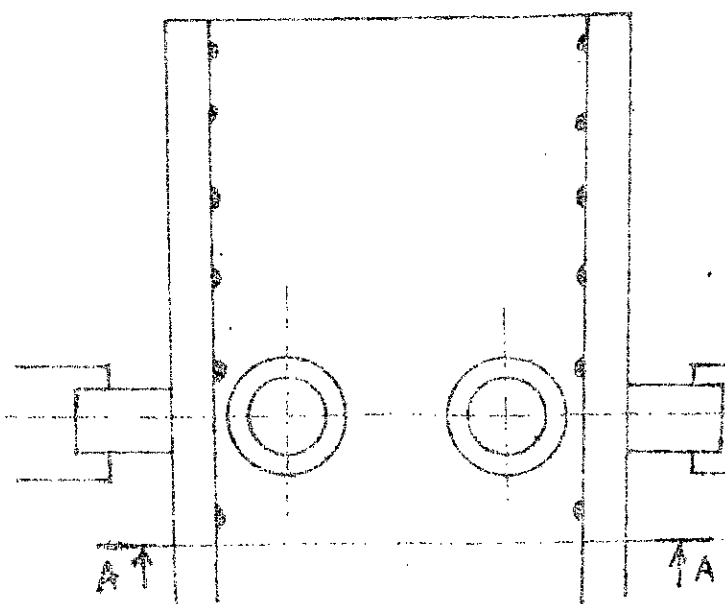
Nous décrivons dans ce qui suit les gammes de fabrication relatives au manuel, semi-automatique et automatique. Dans les trois cas nous considérons une poutre à âme pleine à profil constant.

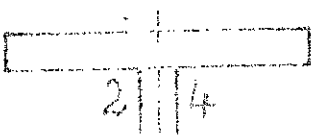

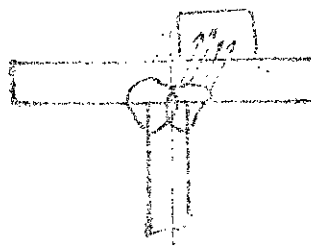
31 : Le manuel :

Phases	Opérations	désignation	Schéma	équipement
1. Planage	1	Planage des tôles		Planeuse à cylindres
2. Découpage	1	Traçage et découpage des tôles		- Pointe à tracer - Machine à découper à plasma
3. Le soudage	1	Pointage des semelles avec l'âme - côté A - côté B		Poste de soudage manuel

Opérations	désignation	Schéma	équipement
1	<p>Réalisation du cordon 1 et 3 en angle à plat puis les cordons 2 et 4 en angle au plafond</p>		<p>Poste de Soudage manuel</p>
1	<p>Contrôle sur α % de la longueur</p>		<p>- Visuel = ultra-son</p>

3.2 le soudage semi-automatique et automatique

opérateur	désignation	Schéma	équipement
I. planage	1 planage des tôles		planeruse à cylindres
II. découpage	1 travaux et découpage des tôles		-> poste à trace -> Machine à découper
	1 pointage de l'âme avec les semelles côté A		Installations spéciales d'assemblage
III. pointage	2 retournement puis pointage des semelles avec l'âme côté B		poste de soudage manuel

phases	opérations	désignation	Schéma	équipements
IV. Soudage	1	réalisation du cordon en goulotte		
	2	rotation, puis le cordon 3		→ positionneur
	3	retournement, puis le cordon 2		→ poste de soudage 17 semi-automatique et automatique
	4	rotation, puis le cordon 4		
V. contrôle	1	contrôle sur 2% de la longueur		→ visuel → ultrason

cependant il est à signaler que les deux modes de production

(1-1) et (1-2) peuvent être réalisés moyennant une autre technologie plus avancée ; nous décrivons dans ce qui suit son principe et fonctionnement comme le schématise la figure (16-16).

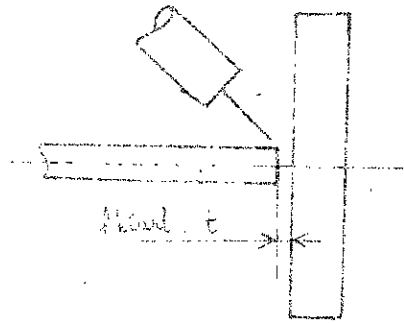
À partir du magasin de métal les tôles pour l'âme sont déplacées à l'aide d'un pont roulant sur le rouleau (1). Dans le cas où l'âme est composée de deux tôles, sur la table à rouleaux 1 on exécute le découpage des bords par l'oxy-coupage, et le soudage automatique des deux tôles se fait par le lit du flux, les tôles soudées sont déplacées sur la table à rouleaux 3 à l'aide du pont-basculeur 2, on y exécute le soudage des deux tôles de côté inverse. Après le filinage des tôles soudées dans la planche 4, les tôles de l'âme passent par la cisaille 7 qui leur donne les dimensions nécessaires, puis elles seront ramassées dans le magasin 11.

Pour les semelles on utilise l'acier en bandes dont les bords longitudinaux restent bruts, des tôles de longueur égale à la longueur de la poutre sont posées sur la table à rouleau 8 par le pont roulant, puis elles passent à la machine à planer 9. Sur la table à rouleaux 11 on exécute le nettoyage de la partie centrale de semelle avant le soudage et puis le pont roulant les déplace dans le magasin 11. Dans le magasin les semelles des poutres sont placées verticalement et avec l'âme posée horizontalement elles sont déplacées dans l'installation d'assemblage 12. Toutes les opérations dans cette installation sont mécanisées.

Les particularités de cette installation est la possibilité d'assembler des poutres avec la traction préliminaire de l'âme pour éviter la défor

- mutation en hélice après le soudage.

Les cordons d'assemblage sont des cordons continus de petites dimensions (pointage continu) cela permet d'exécuter l'assemblage avec les écarts élevés sans craindre l'écaillage du métal (voir la fig). Les deux cordons préliminaires sont exécutés au même temps dans les positions en angle à plat par l'appareillage automatique 4 avec une vitesse $V \approx 144 \text{ m/s}$.

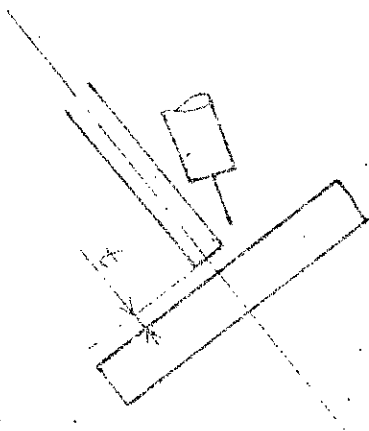


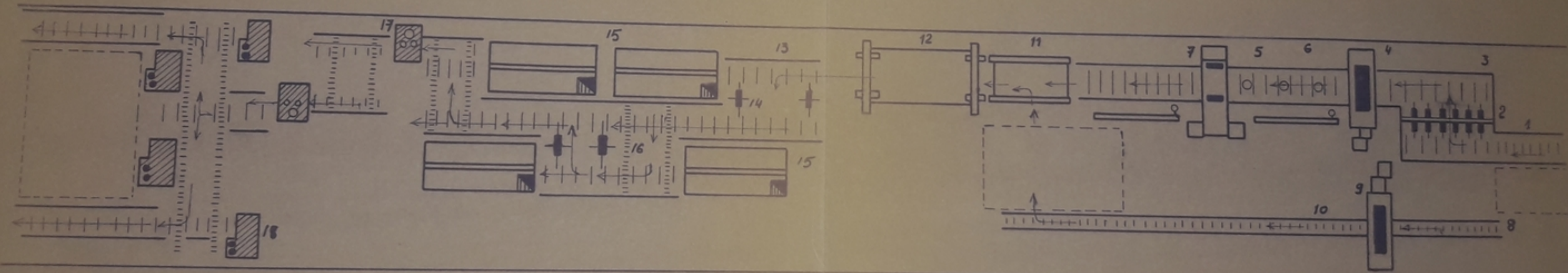
Après l'installation d'assemblage les poutres assemblées passent sur la table à rouleaux 13 où on exécute le nettoyage des cordons et on soude l'étalon technologique. Après, par le positionneur 14 la poutre est retournée et passe sur la partie du soudage des cordons principaux que l'on exécute consécutivement sur quatre places du travail 15.

Le déplacement des poutres est réalisé à l'aide de la table à rouleaux longitudinale 13 et transversale 16 et le positionneur 14. Avant le soudage on pose la poutre dans la position en gouttière et on soude le cordon par l'appareillage à trois axes avec une vitesse $(305 \text{ V} \approx 120 \text{ m/s})$.

Les cordons soudés sont de dimensions beaucoup plus grandes que les cordons préliminaires c'est pourquoi ils sont totalement refondus. Les poutres soudées passent dans la table à rouleaux 16 et de la machine 17 passées consécutivement on corrige les déformations des penelles, puis on exécute le fraisage des extrémités des poutres sur la fraiseuse 18

et elles passent au magasin du produit fini.





Avast p 35
 Pm01382

2. Sans matériau d'apport: il s'agit de soudage par courant électrique. Le procédé consiste en l'échauffement local des éléments à assembler (bords de l'âme et avec des semelles) jusqu'à la fusion à l'aide d'un courant électrique fournissant la chaleur nécessaire pour faire fondre le métal suivant la loi de joule:

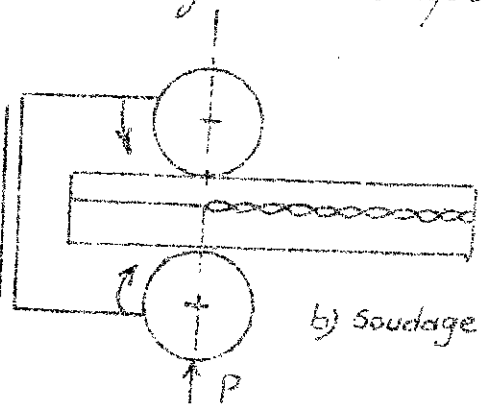
$$Q [\text{cal}] = \frac{R I^2 t}{J} \quad \text{avec} \quad [V]$$

- $R [\Omega]$ résistance électrique au contact âme-semelle,
- $I [A]$ intensité du courant électrique de soudage,
- $t [s]$ temps du passage du courant,
- $J = 4,18$ équivalence mécanique de la calorie.

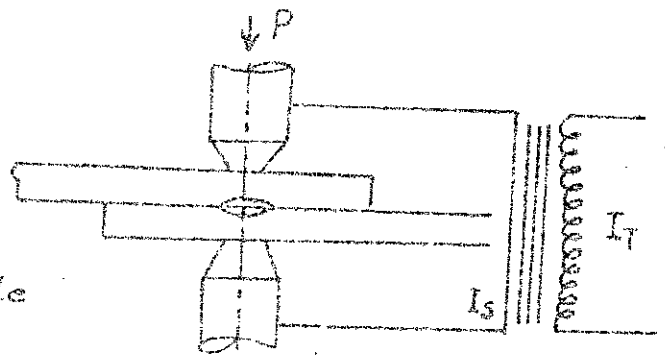
Selon la manière d'introduction du courant électrique dans la pièce, on distingue deux cas:

2.1: Par électrode en contact avec la pièce on a alors affaire au soudage par résistance, on en distingue deux variantes:

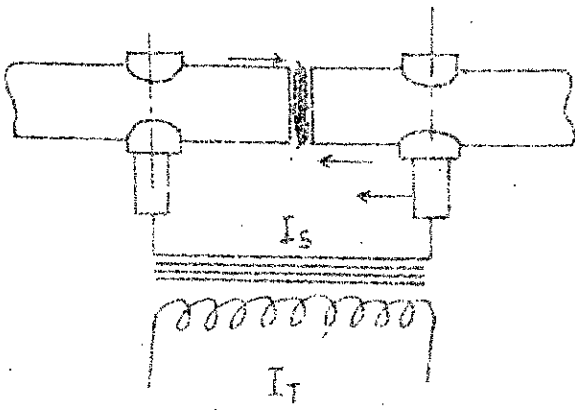
2.1.1: à basse fréquence (souvent la fréquence du réseau c'est à dire 50 Hz). Cette variante trouve son application pour le soudage des tôles minces à épaisseur $e \leq 6 \text{ mm}$, au delà on rencontre des difficultés d'ordre mécanique au niveau de la mise sous pression qui s'effectue moyennant les électrodes qui ne supportent pas des pressions élevées. La figure 2.1.1 a-b-c-d indique les types d'assemblages d'usage courant que l'on envisage.



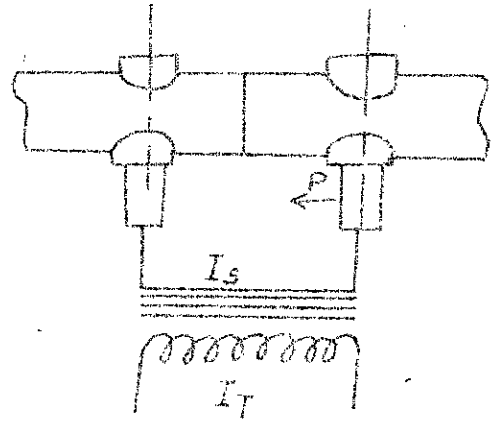
b) Soudage à la moulette



a) Le soudage Par Point



d) soudage bout a bout par étincelage



c) soudage bout à bout

2.1.2 : à haute fréquence ($f = 0,45 \text{ MHz}$): Cette variante est utilisée pour le soudage des épaisseurs relativement grandes, la pression étant appliquée directement sur les éléments à assembler. On évite ainsi les difficultés d'ordre mécanique. Cette variante est surtout utilisée pour la fabrication des poutres en I (fig 2.1.2)

2.2 : Par un champ magnétique variable qui entoure la pièce. On a alors affaire au soudage par induction à haute fréquence (fig 2.2.1)

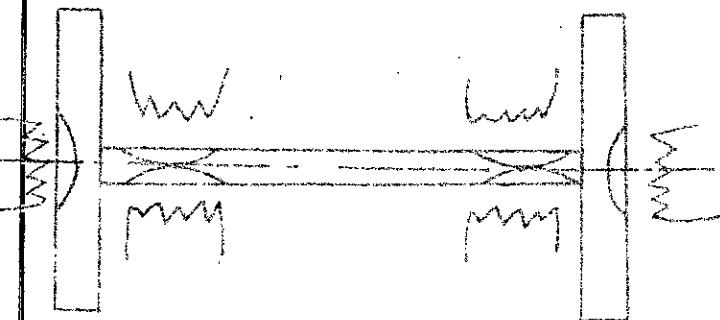


fig 2.2.1

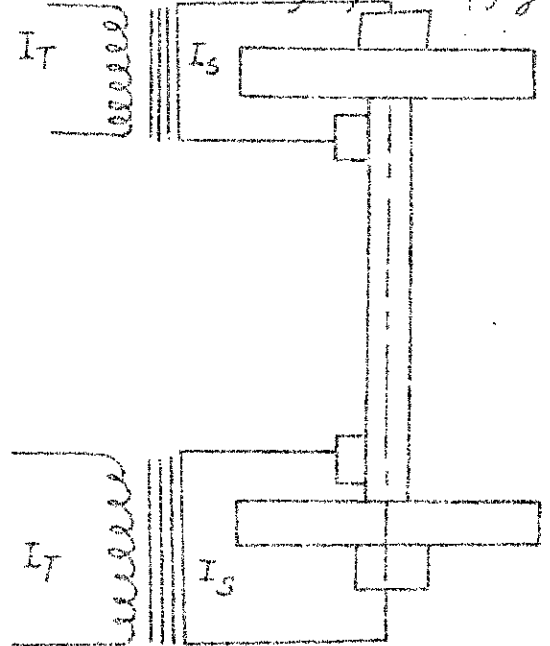


fig 2.1.2

Par comparaison au soudage avec matériau d'apport le soudage sans matériau d'apport procure l'avantage de se passer du matériau d'apport qui économiquement parlant se répercute avantageusement sur le prix de revient en le faisant diminuer. En effet le matériau d'apport en plus de son prix d'achat demande des mesures spéciales pour son maintien (stockage).

Pour les électrodes enrobées leur degré hygrométrique fait qu'il faut :

1° les garder dans des conditions de température autre que celle d'ambiance.

2° les chauffer à environ 300°C. durant quelques heures avant toute utilisation.

Pour le système fil d'acier plus le flux, il faut prévoir l'élimination des impuretés telle que la rouille et la graisse pour le fil d'acier ; toutefois pour éviter de telles impuretés l'usage courant est de recouvrir le fil par une pellicule de cuivre. Pour le flux il faut le sécher et en contrôler la granulométrie (formes et dimensions des grains).

Sur l'aspect technologique le procédé sans métal d'apport procure l'avantage de se passer de chauffage, il rend aussi la soudure plus performante permettant ainsi de réduire à leur minimum des défauts telle que les fissurations qui peuvent surgir dans le métal déposé et qui peuvent occasionner la rupture fragile, laquelle rupture peut aussi se produire dans la zone de liaison et la zone surchauffée.

Ces considérations d'ordre technique et économique nous orientent vers un procédé sans métal d'apport qui consistera en

une ligne de fabrication à haute fréquence. Selon les éléments de départ on distingue deux variantes.

a) bobine et deux profils en T (voir 2.1) : cette variante présente des inconvénients et des avantages analogues à ceux de (1.1).

b) les éléments de départ consistent en trois bobines (voir 2.2); les inconvénients et les avantages de cette variante sont analogues à ceux de (1.2).

Il nous jugeons convenable de signaler que d'après l'Italsider "participante à la 18^e foire internationale d'Alger", les laminaires sont en mesure de fournir des toles embobinées de 2030 mm de largeur et de 16 mm d'épaisseur. Cela rend donc possible l'utilisation d'un métal qui ne demande pas de opérations supplémentaires, permettant ainsi l'automatisation complète de la ligne fabrication.

Il nous nous proposons donc de porter notre étude sur une installation complètement automatisée dont le prototype est schématisé sur la figure 2.2

Il reste cependant à revenir sur la source de chaleur pour dire que le soudage par induction magnétique présente deux inconvénients:

1^{er} plusieurs sources de chaleur (inducteurs) sont exigées. Sans notre cas il en faut six; cela rend l'appareillage relativement compliqué.

2^o l'échauffement ne se produit pas à la place qu'il faut; pour chauffer la zone de l'airon, la température nécessaire, la surchauffe se produit aux zones voisines qui deviennent moins résistantes à la

rupture fragile. Par contre le soudage par résistance à haute fréquence permet un appareillage relativement simple et l'échauffement se produit juste dans la zone de liaison; les zones voisines touchées par la surchauffe sont réduites à leur minimum; la diminution de la résistance à la rupture fragile qui en résulte n'est donc pas sensible. Cela nous dirige vers un procédé de soudage par résistance à haute fréquence.

III. ETUDE CONSTRUCTIVE DE L'INSTALLATION

Nous commençons cette étude par signaler que l'installation regroupe plusieurs éléments ; chaque élément constitue un système, à lui seul. C'est pourquoi l'étude constructive se verrait restreinte à ce que le temps le permettrait. Nous signalons aussi que le commencement va être par les éléments que nous jugeons les plus importants ; en premier lieu le système où s'effectue l'opération de soudage.

III.1 : le système de soudage :

III.1.1 : calcul des rouleaux :

Le calcul s'effectue d'une manière analogue à celle des roues de friction avec l'une des roues supposée à diamètre infiniment grand (en effet on assimile ici les tôles à des roues de diamètre infini).

Pour les efforts normaux appliqués sur les rouleaux on recommande ce qui suit :

- effort horizontal : $F_R = 50 \text{ KN [VI]}$

- effort vertical : $F_V = 25 \text{ KN [VII]}$

Ces valeurs ont été prises d'après les caractéristiques d'équipement destiné à travailler le métal de même section par la déformation plastique à froid.

Le calcul de diamètre des différents rouleaux s'effectue

moynnant la formule :

$$D_1 = \sqrt[3]{E \cdot \frac{\beta}{\psi_p \cdot f} \cdot \frac{P_1}{N_2 \cdot i} \cdot \left(\frac{260}{[\sigma]_{\text{sup}}}\right)^2} \quad [\text{III}] \text{ avec}$$

P_1 [kW] puissance sur l'arbre portant le rouleau

$\psi_p = \frac{b}{D}$ le rapport longueur sur diamètre du rouleau

$$N_2 \cdot i = N_2 \cdot \frac{N_1}{N_2} = N_1$$

$$P_1 = \omega_1 \cdot C_1 \cdot 10^{-3} = \frac{\pi \cdot N_1}{30} \cdot \frac{T_1}{2} \cdot D_1 \quad \text{avec } T_1 = F_R \cdot f$$

$$E = 2,15 \cdot 10^{10} \text{ daN/m}^2$$

$$[\sigma]_{\text{sup}} = 45 \cdot 10^6 \text{ daN/m}^2 \quad (\text{tableau 1.13 acier sur acier}) \quad [\text{III}]$$

$$f = 0,15 \quad [\text{III}]$$

$$\beta \in [1,5 \div 3] \quad ; \quad \text{soit } \beta = \frac{1}{\psi_0} = \frac{1}{0,75} = 1,33$$

$$\psi_p = 1,2$$

$$\Rightarrow D_1 = \sqrt[3]{\frac{E \beta}{\psi_p \cdot f} \cdot 10^{-3} \frac{\pi N_1}{30} \cdot \frac{D_1}{2} \cdot \frac{F_R \cdot f}{N_1} \cdot \left(\frac{260}{[\sigma]_{\text{sup}}}\right)^2}$$

$$= \sqrt[3]{\frac{2,15 \cdot 10^{10} \cdot 1,33 \cdot 10^{-3} \cdot \pi \cdot D_1}{60} \cdot F_R \cdot \left(\frac{260}{45 \cdot 18}\right)^2}$$

$$\Rightarrow \sqrt[3]{D_1^2} = \sqrt[3]{\frac{2,15 \cdot 10^{10} \cdot 1,33 \cdot 10^{-3} \cdot \pi \cdot 5 \cdot 10^3}{60} \cdot \left(\frac{260}{45 \cdot 18}\right)^2}$$

$$D_1^2 = \frac{2,15 \cdot 1,33 \cdot \pi \cdot 5}{6} \cdot \left(\frac{260}{45}\right)^2 \cdot 10^{-3}$$

$$D_1 = \frac{26}{45} \sqrt{\frac{2,15 \cdot 1,33 \cdot \pi \cdot 0,5}{6 \cdot 1,2}} = 0,46 \text{ m}$$

$\Rightarrow D_1 = 460 \text{ mm}$: Le diamètre du rouleau destiné à transmettre l'effort horizontal.

D'une manière analogue on calcule le diamètre du

rouleau devant transmettre l'effort vertical :

$$D_1 = \frac{26}{45} \sqrt{\frac{2,15 \cdot \pi \cdot 0,25 \cdot 1,33}{6}} = 0,29 \text{ m}$$

donc $D_1 = 290 \text{ mm}$

Il est à faire remarquer que ces calculs sont faits dans les conditions de déformations à froid. Dans les conditions de déformations à chaud qui sont les conditions réelles du travail des rouleaux, l'effort normal nécessaire pour la mise sous pression sera plus petit, et par conséquent ϕ du rouleau sera plus petit.

Notre calcul sera fait dans les conditions de déformations à froid bien que cela ne constitue qu'une première approche. Le calcul dans les conditions réelles du travail fait intervenir de nombreuses considérations ne faisant pas l'objet de cette étude. Le temps qui lui est alloué ne le permet pas.

En utilisant un seul rouleau pour la mise sous pression les rouleaux seront de dimensions non usitées dans la pratique; pour cela et dans le souci de diminuer la concentration de l'effort appliqué sur le produit il nous semble préférable d'utiliser plusieurs rouleaux. Le nombre de rouleaux sera adopté en fonction de l'intensité de l'effort de la mise sous pression :

a - mise sous pression horizontale : l'effort est de 50 kN; nous nous proposons de le distribuer sur 8 rouleaux; chacun d'eux sup-

portera donc $F_R = \frac{5000}{8} = 625 \text{ daN}$

pour avoir $D_1 = \frac{26}{45} \sqrt{\frac{2,15 \cdot \pi \cdot 1,33 \cdot 0,0625}{6 \cdot 1,2}} = 0,16 \text{ m}$

$\Rightarrow D_1 = 160 \text{ mm}$ et $b_1 = 1,2 D_1 = 192 \text{ mm}$

b. mise sous pression verticale: l'effort est de 25 kN, nous nous proposons de le distribuer sur 4 rouleaux, chacun d'eux supporte $\frac{2500}{4} = 625$ daN pour avoir:

$$D_1 = \frac{26}{45} \sqrt{2,15 \cdot \pi \cdot 1,33 \cdot \frac{0,0625}{6 \cdot 1,2}} = 0,16 \Rightarrow D_1 = 160 \text{ mm}$$

III. 1.2: Calcul du couple sur l'arbre 1. (arbre moteur)

$$C = F_1 \cdot f \cdot \frac{D_1}{2} = 625 \cdot 0,15 \cdot \frac{0,16}{2}$$

$$C = 7,5 \text{ daN.m}$$

Les normes donnent une correspondance entre le moment de torsion admissible et le joint de Cardan.

Pour notre cas $C = 7,5$ daN.m. Dans le cas où la transmission à cardan s'impose nous utiliserons un cardan joint double dont les dimensions (se rapportant à la fig [III-1.2]) sont indiquées dans le tableau d'après les normes soviétiques ГОСТ 5147. 69 normalisant les cardans suivant les valeurs du couple à transmettre [en daN.m]:

1,25 - 2,5 - 4 - 8 - 16 - 32 - ...

Dimensions nominales du joint [mm]							Couple transmis [daN.m]
d	D	D ₁	L ₁	L ₂	L ₃	A	16
20	40	32	160	36	31	48	

Nous revenons sur la cadence de production pour dire que dans certaines situations, elle peut atteindre $v = 3600$ m/h.

En effet la cadence est fonction de l'apport d'énergie calorifique nécessaire à la fusion du métal. Il importe de faire remarquer que la ligne peut être conçue avec une seule

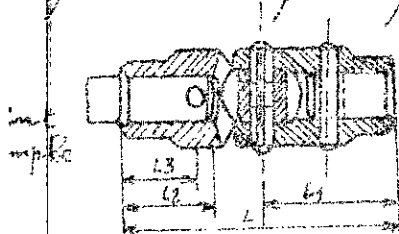
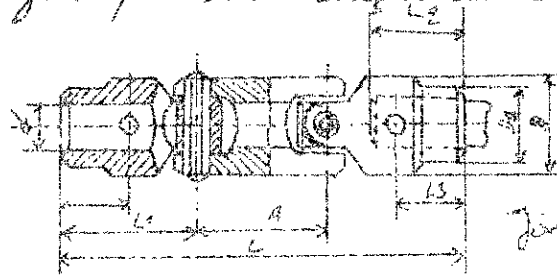


Fig III-1.2



Joint double

cadence ou à plusieurs cadences; dans le second cas il faut prévoir :

- Un mécanisme de variation de vitesse accouplé avec le réducteur,
- un mécanisme de variation de l'intensité du courant de soudage.

Pour nous proposons de fixer une cadence de 120 m/h ; avec une longueur de 12 m on aura $\frac{120}{12} = 10$ pontons/h. En travaillant à deux équipes/jour à raison de 8 h/équipe on aura 16 h/jour c'est à dire qu'on aura $10 \cdot 16 = 160$ pontons/jour. Si on estime le nombre de jours de travail par an de 300 jours, la production annuelle sera $300 \cdot 160 = 48000$ pontons/an, lequel chiffre répond largement aux besoins du marché national.

III. 1.3: Vitesse angulaire de l'arbre 1: on a $v = \frac{\omega \cdot D}{2}$

$$\text{donc } \omega = \frac{2v}{D} = \frac{2 \cdot 120 \cdot 10^3}{160 \cdot 3600} = 0,42 \text{ s}^{-1}; \text{ en utilisant}$$

un moteur tournant à une vitesse $N = 750 \text{ tr/min} \Rightarrow \omega_m = \frac{N\pi}{30}$

$$\omega_m = \frac{750 \cdot \pi}{30} = 78,54 \text{ s}^{-1} \text{ d'où le rapport de réduction sera}$$

$i = \frac{\omega_{\text{moteur}}}{\omega_{\text{récepteur}}} = \frac{78,54}{0,42} = 187$, lequel rapport est relativement grand, ce qui nécessite un engrenage à vis sans fin.

III. 1.4: Calcul de la puissance transmise $= P = F_t \cdot v$

$$P = \frac{6250 \cdot 2}{60} = 208,33 \text{ W} \Rightarrow P = 0,20833 \text{ kW}$$

III. 1.5: Calcul de l'engrenage: Ce calcul portera uniquement sur la résistance à la rupture qui consiste en le calcul du module qui conduira à la détermination des caractéristiques géométriques des éléments de l'engrenage.

- la vis sans fin: le roulement de la vis augmente lorsque le nombre de filets a été élevé comme c'est indiqué dans le tableau ci-dessous:

Z_v	1	2	3
γ_v	0,7 ÷ 0,75	0,75 ÷ 0,82	0,82 ÷ 0,92

mais compte tenu du rapport de réduction $i = 187$ qui est relativement grand et dans le souci d'éviter un encombrement excessif nous adoptons $Z_v = 1$, ce qui conduira à la détermination de nombre de dents de la roue avec $i = \frac{Z_r}{Z_v} \Rightarrow Z_r = Z_v \cdot i = 187 \times 1 = 187$ dents.

- Calcul des dents à la rupture: cela consiste en la détermination du module de la roue; la résistance des filets de la vis étant importante M. V. DOBROVOLSKI propose la formule:

$$m = 1,24 \sqrt[3]{\frac{M_t \cdot K_c \cdot K_d}{[\sigma]_f \cdot \gamma \cdot q \cdot Z_r}} \quad \text{[III] avec}$$

$$[\sigma]_f = 4 \cdot 10^6 \text{ daN/m}^2 \text{ (roue en acier Rp. } 0\phi 10-1 \text{ laminé en sable)}$$

γ = facteur de forme des dents. Il est donné en fonction du nombre équivalent de dents $Z_{eq} = \frac{Z_r}{\cos^3 \beta_p}$ avec $\beta_p = 10^\circ \Rightarrow Z_{eq} = 198,54$ et avec un coefficient de déport $\delta = 0$, le diagramme (fig 15-7) [III].

$q = 12$, (nombre de modules contenus dans le diamètre du cercle primitif de génération de la vis.

$K_d = 1,1$ facteur de forme dynamique rapporté à la classe de précision 8 et à une vitesse périphérique $v \leq 3 \text{ m/s}$.

$K_c = 1,03$ coefficient de concentration de charge

$M_t = 7,5$ moment de torsion

ce qui donne: $m = 1,5 \text{ mm}$

Cette valeur du module existe dans les normes.

- Détermination des caractères géométriques:

l'entreaxe $a = \frac{m}{2} (Z_1 + z) = \frac{1,5}{2} (187 + 12) = 149,25 \text{ mm}$

La vis

- diamètre primitif: $d = z \cdot m = 12 \cdot 1,5 = 18 \text{ mm}$
- diamètre de tête: $d_{20} = m (z + 2) = 1,5 \cdot 14 = 21 \text{ mm}$
- diamètre de pied: $d_{10} = 1,5 (z - 2,4) = 1,5 \cdot 9,6 = 14,4 \text{ mm}$
- longueur de la partie taillée de la vis: $L = (11 + 0,067 Z_1) = (11 + 0,067 \cdot 187) = 22,22 \text{ mm}$

La roue

- diamètre primitif: $d_r = m Z_r = 1,5 \cdot 187 = 280,5 \text{ mm}$
- diamètre de tête: $d_{ar} = m (Z_r + 2) = 1,5 (187 + 2) = 283,5 \text{ mm}$
- diamètre de pied: $d_{pr} = m (Z_r - 2,4) = 1,5 (187 - 2,4) = 276,9 \text{ mm}$
- largeur de la roue: $B = d_{ar} \cdot 0,75 = 21 \cdot 0,75 = 15,75 \text{ mm}$
- diamètre extérieur: $d_{ext} = d_{ar} + 2m = 283,5 + 2 \cdot 1,5 = 286,5$

III.1.6: Système de mise sous pression et réglage:

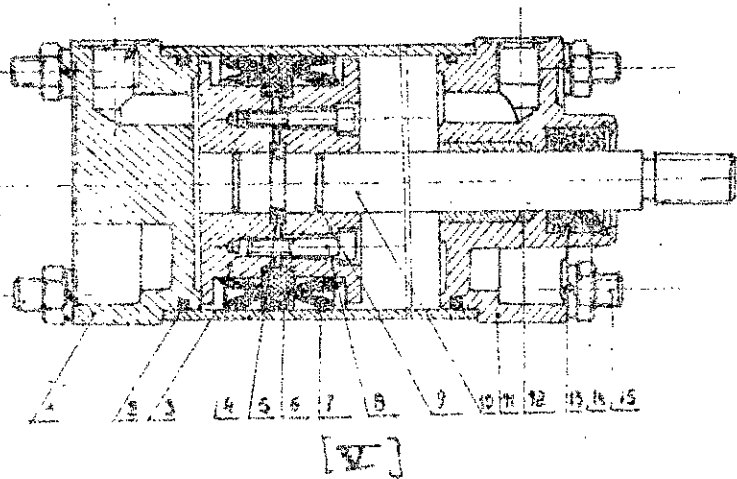
Selon le fluide que l'on fait évoluer pour assurer la pression nécessaire pour le déplacement des rouleaux on distingue deux variétés:

- pneumatique (évolution d'un gaz)
- hydraulique (évolution d'un liquide)

Il est à remarquer que les réseaux pneumatiques d'usage courant dans les ateliers de fabrication ne dépassent pas 7 bars ($7 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$), tandis que les réseaux hydrauliques peuvent donner des pressions relativement hautes. Cela procure l'avantage de diminuer les dimensions de la construction destinée à transmettre de la pression. Nous commençons par un calcul préliminaire de dimensions pour la pneumatique; si les résultats tombent dans

des limites raisonnables ils seront conservés sinon on fera recours à l'hydraulique.

15	Tige d'assemblage
14	Bague de raclage
13	Joint à lèvres en caoutchouc
12	Bague de guidage
11	Tête de cylindre
10	Tige
9	Joint torique
8	Boulon
7	Joint à lèvres en caoutchouc
6	Disque de guidage
5	Bague de liaison en 2 parties
4	Piston
3	Cylindre
2	Joint torique
1	Tête de cylindre
N°	Designation



- poussée horizontale: on considère $p = 7 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ avec $F_R = 50000 \text{ N}$. En tenant compte du frottement contre la paroi du cylindre on doit introduire un certain rendement. D'après les normes françaises ce rendement $\eta \in [0,8 \div 0,92]$; nous considérons $\eta = 0,9$ d'où :

$$\frac{F_R}{\eta} = p \cdot S = p \cdot \frac{\pi D^2}{4} \Rightarrow D = 2 \sqrt{\frac{F_R}{\eta \cdot p \cdot \pi}}$$

$$D = 2 \sqrt{\frac{5 \cdot 10^5}{0,9 \cdot 7 \cdot 10^5 \cdot \pi}} = 0,32 \text{ m} \Rightarrow D = 320 \text{ mm}$$

D'étant le diamètre du cylindre de mise sous pression horizontale

$$\text{de même on a } D = 2 \sqrt{\frac{F_V}{\eta \cdot p \cdot \pi}} = 2 \sqrt{\frac{2,5}{9 \cdot 7 \cdot \pi}} = 0,22 \text{ m}$$

$D = 220 \text{ mm}$, diamètre ^{du cylindre} de mise sous pression verticale.

Se telles dimensions sont acceptables du point de vue encombrement, nous les adoptons. Pour le diamètre des tiges, ils sont pris dans le tableau suivant, en fonction des diamètres de cylindre.

[II]

diamètre de tige (mm)	25	32	40	50	63	70	80	90	100	110	125	140	160	180	200	220	250	280	320	360	400
nombre de tige (mm)	16	12	16		20		25		32				40				50			63	

On aura donc $d_f = 50 \text{ mm}$; $d_v = 40 \text{ mm}$

Calcul de l'épaisseur de paroi cylindrique :

On recommande l'utilisation de la formule $S \geq \frac{p \cdot D}{2 \sigma_r}$ [V]

avec $p = 4 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ et $\sigma_r = 2 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$

- cylindre horizontal : $D = 0,32 \text{ m}$

$$\Rightarrow S \geq \frac{4 \cdot 10^5 \cdot 0,32}{2 \cdot 2 \cdot 10^7} = \frac{0,24}{4} \cdot 10^{-2} = 0,56 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

on a donc $S \geq 5,6 \text{ mm}$

pour une sécurité meilleure nous adoptons $S = 10 \text{ mm}$

- cylindre vertical : $D = 0,22 \text{ m}$

$$\Rightarrow S \geq \frac{4 \cdot 10^5 \cdot 0,22}{2 \cdot 2 \cdot 10^7} = 0,39 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 3,9 \text{ mm}$$

nous adoptons $S = 10 \text{ mm}$

III-2. CONTRÔLE DES JOINTS SOUDÉS

Dans le domaine de la technologie d'exécution, le contrôle est en mesure d'éliminer un grand nombre de causes d'incidences possibles. Le contrôle est une opération terminale qui juge de la qualité requise du produit en question et de son aptitude à l'emploi. La technique de contrôle diffère d'un produit à un autre. Nous sommes intéressés ici par la technique de contrôle des assemblages soudés (joints soudés et leur voisinage immédiat). Le but d'un tel contrôle est de s'assurer que les joints soudés sont suffisamment exempts de défauts de soudage, de manière à s'accommoder avec les conditions d'utilisation de l'assemblage soudé en question. Les défauts susceptibles de se trouver dans le joint soudé sont :

- | | |
|--------------------------|---------------------------------|
| - manque de pénétration | - manque de pénétration interne |
| - surépaisseur excessive | - inclusion de laitier |
| - dépôt irrégulier | - soufflures |
| - incisions marginales | - collages |
| - éclaboussures | - fissures |

Dans le domaine de la soudure nous qualifions d'opération terminale le contrôle après le soudage, bien que l'on doit effectuer un contrôle avant et pendant le soudage ; de tels contrôles portent sur certains paramètres qui influent fortement sur la qualité de la soudure tels que le choix du métal de base, le matériau de soudage, le procédé de soudage, la préparation des cordons à souder (chauff-reinage), pointage, réchauffe du flux ou des électrodes, la qualification de

personnel opérant, etc...

Pour détecter les défauts nous recourons aux méthodes de contrôle non destructif suivantes:

- le contrôle radiographique par les rayons X ou gamma (γ)
- le contrôle ultra-sonique
- le contrôle magnétique
- le contrôle par liquide pénétrant

Il nous tenons à indiquer dans ce qui suit le principe et les propriétés de chaque méthode afin de choisir la (ou les) méthode (s) convenable pour notre cas.

La méthode radiographique: le principe de cette méthode repose sur:

- + le pouvoir pénétrant des rayons X et γ dû au fait que leur longueur d'onde est assez petite de manière à leur donner la possibilité de traverser les corps qui sont opaques à la lumière visible.
- + les propriétés des rayons X et γ d'impressionner (noircir) les émulsions photographiques.

En effet d'après la loi d'absorption, la radiation émergente est donnée par la relation: $I = I_0 \cdot e^{-MS}$ (1), avec

S = épaisseur traversée par les rayons

$M = K \cdot \frac{N^4 \lambda^3}{\rho}$ coefficient d'absorption linéaire

N: numéro atomique du matériau traversé

ρ : sa densité

p: son poids atomique

λ : longueur d'onde des rayons.

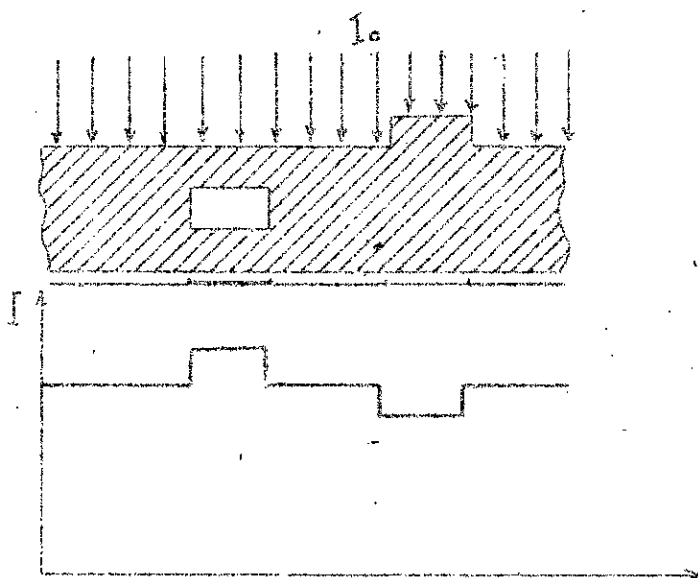
Donc une fois que l'on fixe le matériau à traverser
 et la source de radiation, l'intensité émergente ne sera fonction
 que de l'épaisseur du matériau à traverser. Cette épaisseur est
 variable par rapport à une épaisseur de référence S qui est l'épaisseur
 du matériau homogène exempt de défauts de sorte que si la
 radiation incidente I_0 rencontre une lacune, cela se traduit par
 le fait que les rayons traversent une épaisseur $S' < S$, il en émergera
 $I' = I_0 \cdot e^{-\mu S'}$ et si cette radiation rencontre une surépaisseur, cela
 se traduit par le fait que la radiation traverse une épaisseur $S'' > S$,
 il en émergera $I'' = I_0 \cdot e^{-\mu S''}$, il est clair que $I' < I < I''$.

Il en résulte que les défauts ont pour effet de rendre non
 uniforme la répartition de la radiation émergente. Cette non
 uniformité est visualisée sur la pellicule radiographique par
 une différence de noircissement que l'on appelle contraste radio-
 graphique. Un défaut d'épaisseur (cavité) fait augmenter le
 noircissement (ombre noire), et un excès d'épaisseur (surépaisseur)
 fait diminuer le noircissement (ombre claire). Cette situation est
 visualisée sur la figure ci-dessous.

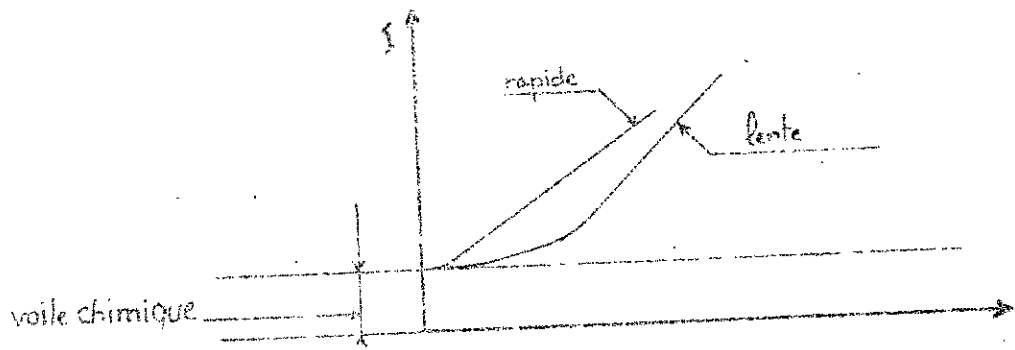
Les pellicules radiographiques
 sont normalisées ; les formats
 utilisés dans la radiographie
 de soudage sont les suivants :

6-24 ; 6-48 ; 10-24 ; 10-48 ;

13-48.



Ces pellicules sont caractérisées par leurs courbes sensitométriques (courbes donnant le noircissement de la pellicule en fonction du produit : intensité-énergie par le temps de pose sur une échelle logarithmique $D = f(\ln I.t)$). De ce point de vue on distingue les pellicules lentes et les pellicules rapides (voir la fig.)



(A) L'opacité de la pellicule non exposée aux radiations lorsqu'on expose le négatif à la lumière ordinaire il en laisse passer une fraction x de l'intensité incidente x_0 . Le noircissement est défini par la relation $N = \log_{10} \frac{x_0}{x}$. On le mesure par un appareil densitométrique.

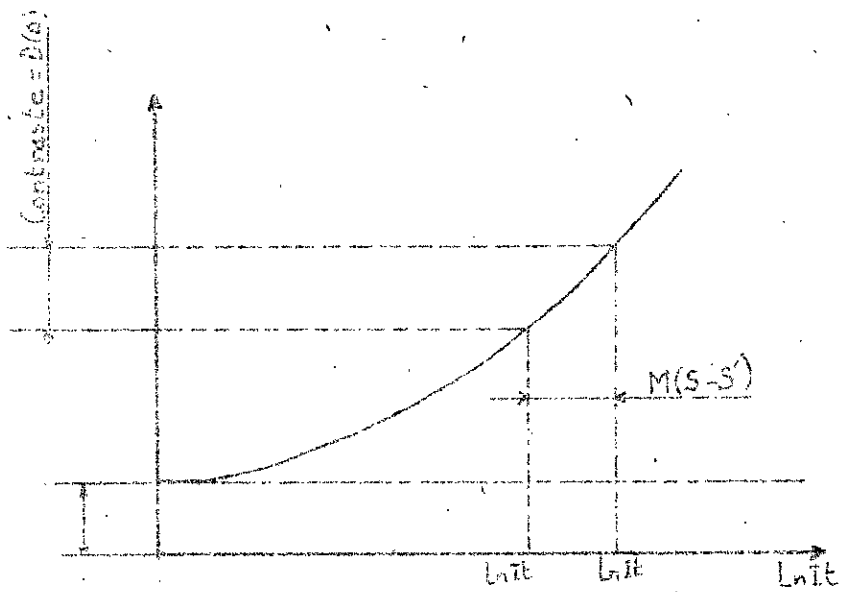
Si on revient à ce qui précède pour diviser membre à membre les équations (1) et (2), on aura :

$$\frac{I'}{I} = \frac{I'.t}{I.t} = e^{-M(S-S')} = e^{M(S-S')} \Rightarrow \ln I'.t - \ln I.t = M(S-S'); t$$

étant le temps de pose. Ce qui est de nature à nous permettre de déterminer le contraste sur les courbes sensitométriques

(voir fig.)

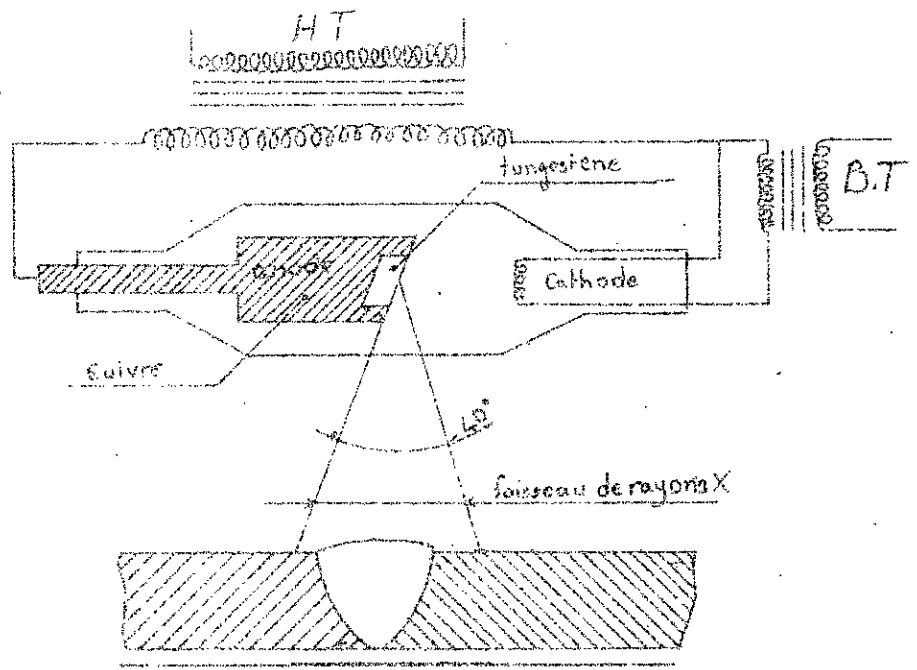
On voit sur ces courbes que lorsqu'il y a une différence (différence d'épaisseur) quelque minime qu'il soit il sera décalé par le contraste radiographique.



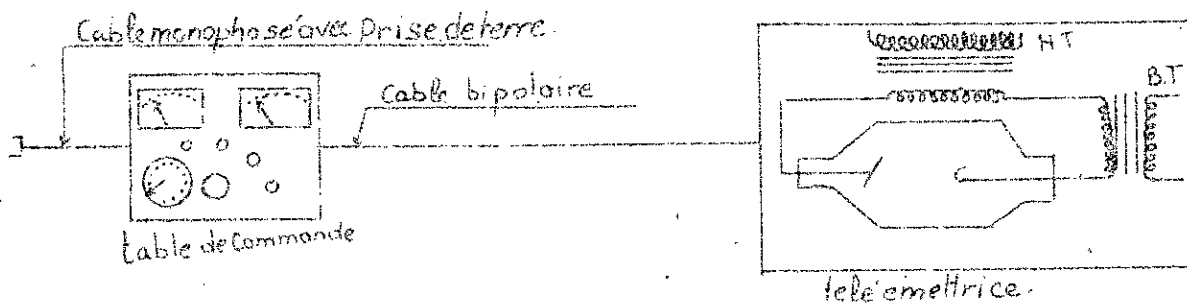
ce qui précède s'applique à la fois aux rayons X et aux radiations γ , les deux types de radiations ont cependant certaines spécificités qui les distinguent l'un de l'autre.

- les rayons X

+ mode d'obtention: on obtient ces rayons comme le schématise la figure.



Installation de rayon X: cette installation est schématisée par la figure.

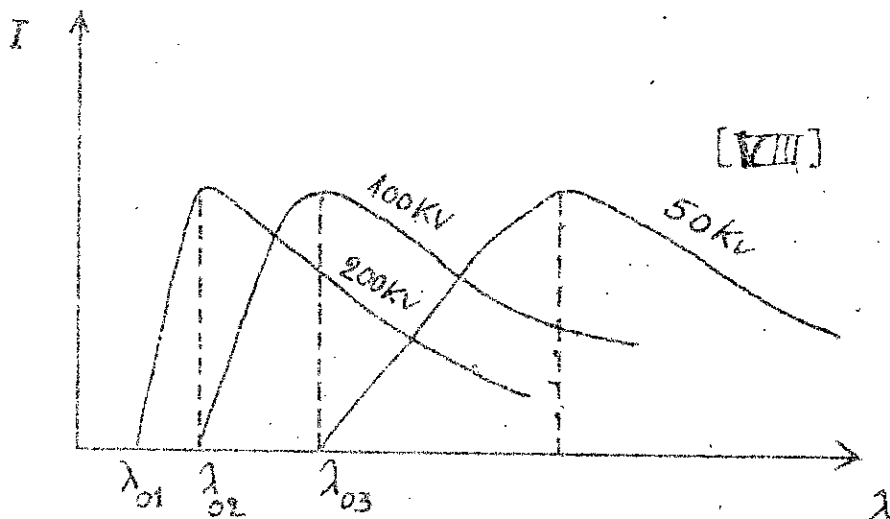


intensité et longueur d'onde - courbes $I = f(\lambda)$.

Les rayons X ne sont pas monochromatiques, leur émission commence à partir d'une longueur d'onde minimale λ_0 dont la valeur dépend de l'excitation du tube et continue suivant un spectre continu. λ_0 correspond à l'énergie maximale que peut avoir le rayon X qui est l'énergie de l'électron qui lui donne naissance. Cette énergie vaut $e \cdot v$ produit de la charge de l'électron par la tension de son accélération, avec $e \cdot v = \frac{c \cdot h}{\lambda_0} \Rightarrow \lambda_0 = \frac{c \cdot h}{e \cdot v}$

c étant la célérité de la lumière

h étant la constante de Planck

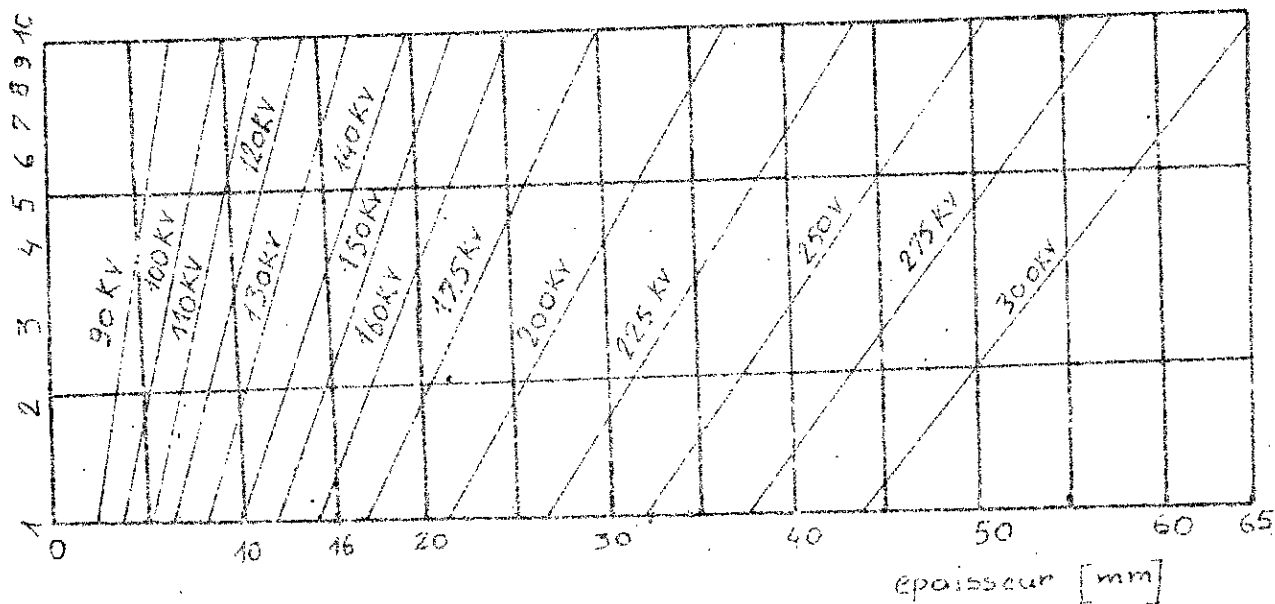


spectre des rayons en fonction de la tension

anodique

+ temps de pose: Il est donné dans les diagrammes en fonction de l'épaisseur et de la tension d'excitation, d'autres paramètres étant fixés. Les diagrammes présentent l'allure indiquée ci-dessous:

[VIII]



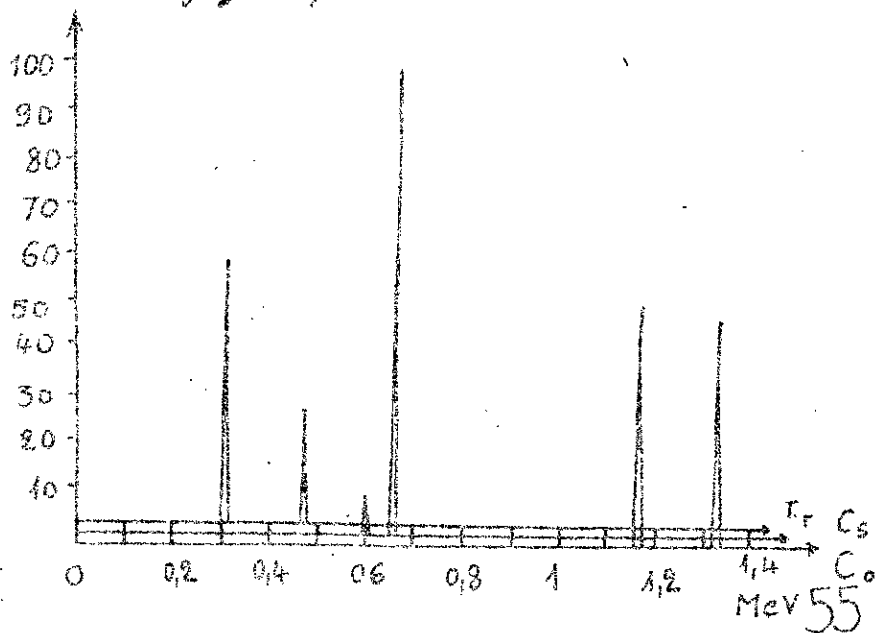
- les rayons γ : ces rayons proviennent d'une source radio-active. Les plus utilisés de nos jours dans le contrôle industriel sont:

Ir 192 ($Z=77$)

Cs 137 ($Z=55$)

Co 60 ($Z=27$)

Les radiations γ sont monochromatiques à une ou plusieurs longueurs d'onde (voir la figure)



+ temps de pose [min] en fonction de l'épaisseur :

[VIII]

épaisseur [mm]	10	20	30	40	50	60	80	100	120	150
Ir 192 10 Cu	7	9	15	25	42	65	180	480	—	—
Co 137 10 Cu	9	12	18	26	40	60	130	270	—	—
Co 60 10 Cu	3	3,5	4,5	6	8	10	16	32	65	180

+ mesures de protection :

Les radiations α et β sont ionisantes et ont une action nuisible sur l'organisme humain. Il est recommandé de ne pas dépasser les doses suivantes :

300 mR / semaine

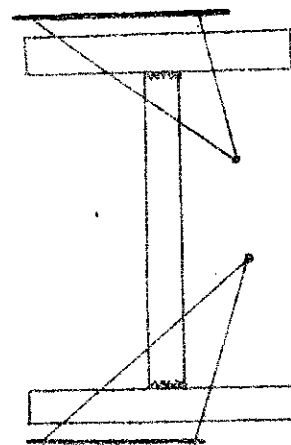
3000 mR / 13 semaines (3 mois)

5000 mR / 52 semaines (1 an)

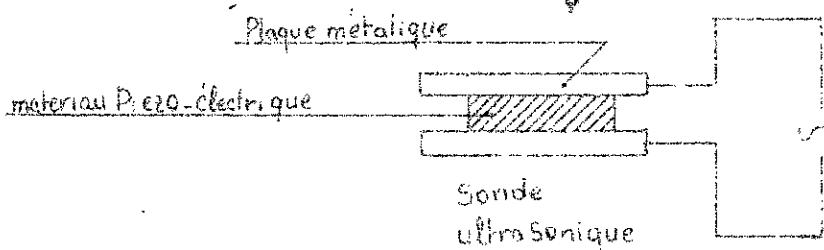
De ce fait les opérateurs doivent être munis des appareils de mesure de radiation ; de tels appareils s'appellent Geiger. Ils sont étalonnés directement en mR/h ; ils sont un format de poche. L'opérateur devra ainsi vérifier si les radiations qui frappent ne dépassent pas les doses limites.

+ prise de vue radiographique sur joints soudés :

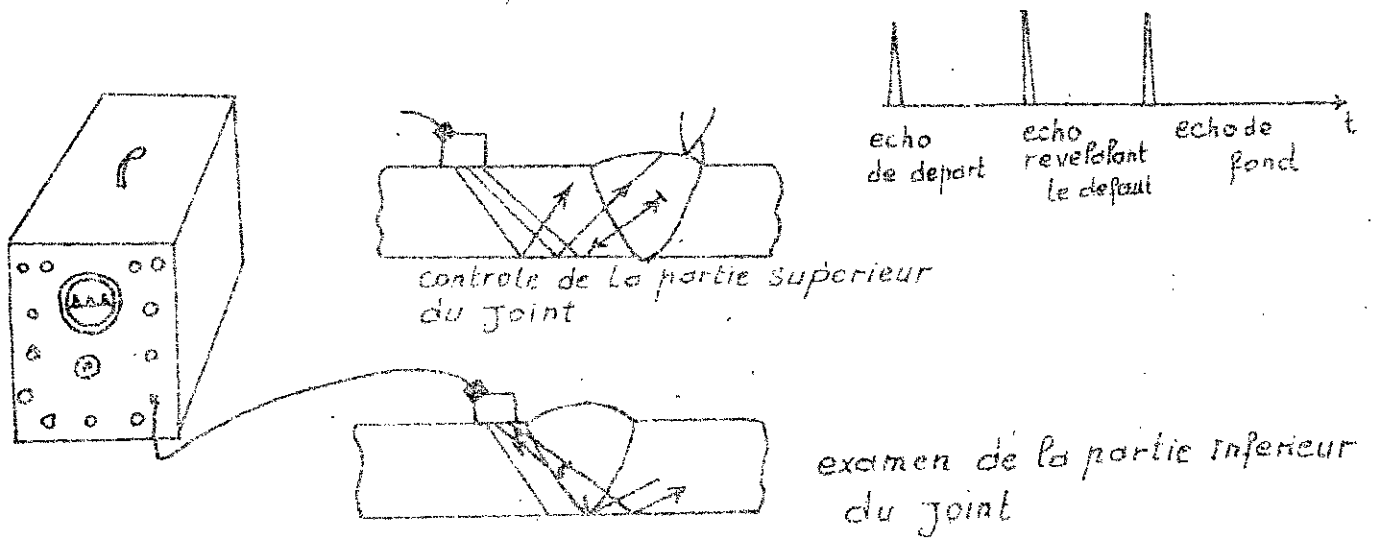
Pour sommes intéressés par un assemblage soudé en T, les sources de radiation doivent être disposés d'une façon la figure ci-contre :



- le contrôle ultra-sonique: les matériaux dont les cristaux sont dépourvus d'axe de symétrie (quartz, titanate de barium, zirconate de plomb) sont des matériaux piézo-électrique. De ce fait lorsqu'on découpe un petit disque dans l'un de ces matériaux et on en serre les faces entre deux surfaces métalliques et nous alimentons le système ainsi obtenu en courant alternatif le cristal se mettra à vibrer mécaniquement à la fréquence d'excitation électrique. Lorsque ce système vibre à une fréquence élevée, il devient un émetteur d'ultra-son (au delà de $16 \div 30$ KHz). fig



Si l'on pose la sonde excitée sur une surface les impulsions ultra-soniques pénètrent dans cette surface et s'y propagent à la vitesse du son (5000 m/p dans l'acier). L'écho de départ et celui de fond indiquent le temps mis par les ultra-sons pour parcourir en aller-retour l'épaisseur de la tôle. S'il existe un défaut sur le trajet des ultrasons, celui-ci donnera lieu à un écho qui parviendra à la sonde avant celui du fond de sorte que l'on observe sur l'écran de l'oscilloscope un décalage sur l'axe de temps entre ces trois échos, la position de l'écho révélant le défaut par rapport aux échos de départ et de fond indique la profondeur de ce défaut. (voir fig)

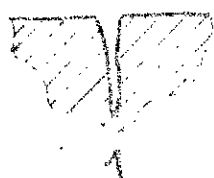


le controle magnetique: Cette methode n'est applicable que pour les materiaux magnetiques et n'est capable de deceler que les defauts se situant a proximite de la surface. Il s'agit de magnetiser la piece a controler, il s'en suit une deviation des lignes de forces au droit de chaque discontinuite (defaut). En repandant sur la surface un produit revelateur (poudre magnetique), celui-ci tend a se concentrer la ou les forces émergentes s'attirent. Ces defauts sont signalés par la répartition non uniforme du révélateur sur la surface.



derivation des lignes magnetiques a l'endroit de defauts profonds et superficiels

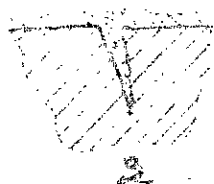
- le contrôle par liquide pénétrant : Cette méthode remplace la méthode magnétique dans les matériaux non magnétiques. Son principe est résumé sur les figures suivantes :



1



3



2



4

1. la fissure
2. le liquide pénétrant (fluorescence dans le pétrole léger) baigne la surface et remplit la fissure.
3. après le lavage il ne reste plus de liquide que dans la fissure.
4. le révélateur absorbe le liquide en le faisant monter à la surface. Le révélateur est ensuite examiné à la lumière ultra-violette ; le contraste décèle les défauts.

Pour conclure ce bref exposé sur le contrôle des joints soudés nous disons que pour passer sous les yeux tous les défauts susceptibles d'avoir lieu dans le joint soudé il faut faire subir à celui-ci trois méthodes de contrôle parmi les quatre méthodes qu'on vient d'exposer. En ce joint de vue nous nous proposons de distinguer deux variantes de contrôle suivant que le matériau est magnétique ou non :

- première variante : matériau magnétique :

Cette variante regroupe :

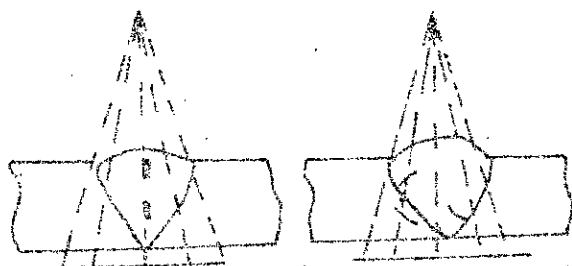
* le contrôle radiographique + le contrôle ultra-sonique + le contrôle magnétique

- deuxième variante: matériau amagnétique:

Cette variante regroupe:

* le contrôle radiographique + le contrôle ultra-sonique + le contrôle à liquide pénétrant.

Le fait d'utiliser une variante constituée de trois (3) méthodes de contrôle trouve sa justification dans l'insuffisance du contrôle radiographique de déceler les criques et les collages lorsque ceux-ci ne sont pas disposés parallèlement à la trajectoire de l'émission de radiations.



cricque décelable Cricque non décelable
Par le contrôle radiographique

Lorsque ces deux types de défauts sont superficiels, ils échappent aussi au contrôle ultra-sonique; ils seront alors détectés par le contrôle magnétique ou par le liquide pénétrant.

Il reste cependant à faire le choix entre les rayons X et les rayons γ . Pour cela nous mentionnons quelques propriétés de ces deux modes de radiations:

- possibilité de régler le pouvoir pénétrant des rayons X à travers le réglage de la tension anodique, chose qui n'est pas

possible pour les rayons γ .

- le contraste radiographique des rayons X est meilleur par suite de leur spectre continu.

- intensité relativement forte des rayons X par rapport à celle des rayons γ .

Ceci ne veut pas dire qu'on est tenu de renoncer aux rayons γ , car il existe bien des situations où les rayons γ présentent des solutions pratiques comme c'est le cas dans les chantiers dépourvus d'énergie électrique. Et comme c'est le cas pour les grandes épaisseurs exigeant une tension très excessive dans le cas des rayons X.

Pour notre cas les principaux défauts à détecter consistent en un manque de pénétration de type collage. Il s'agit de discontinuités planes sans épaisseur; leur détection par les rayons X ou γ n'est qu'une probabilité. En effet, lorsque de telles discontinuités ne sont pas parallèles à la trajectoire des rayons ils n'impriment pas leur image sur le contraste radiographique échappant ainsi au contrôle par radiation.

Ceci nous permet de réduire à l'usage le nombre de méthode de contrôle, pour adapter le contrôle ultra-sonique.

Pour que le contrôle soit étanche nous nous proposons de le compléter par une série d'essais mécaniques. Nous opérons comme suit:

On prélève de la ligne de production, à intervalle régulier, un échantillon de longueur réduite (par exemple 1m) et nous en

possible pour les rayons γ .

- le contraste radiographique des rayons X est meilleur par suite de leur spectre continu.

- intensité relativement forte des rayons X par rapport à celle des rayons γ .

Ceci ne veut pas dire qu'on est tenu de renoncer aux rayons γ , car il existe bien des situations où les rayons γ présentent des solutions pratiques comme c'est le cas dans les chantiers dépourvus d'énergie électrique. Et comme c'est le cas pour les grandes épaisseurs exigeant une tension très excessive dans le cas des rayons X.

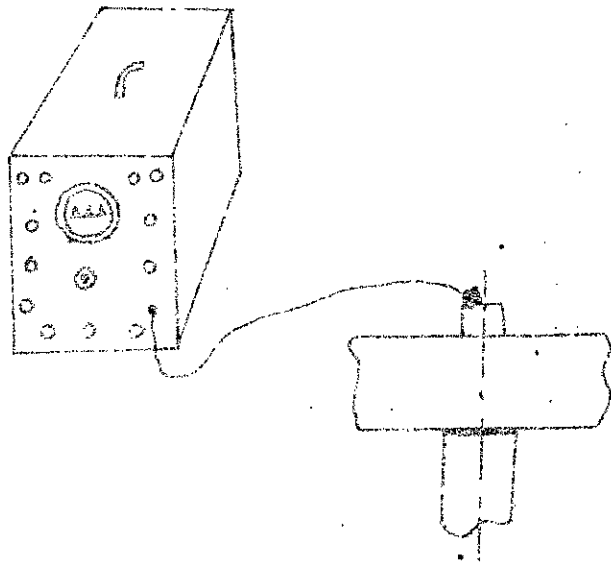
Pour notre cas les principaux défauts à détecter consistent en une manque de pénétration de type collage. Il s'agit de discontinuités planes sans épaisseur; leur détection par les rayons X ou γ n'est qu'une probabilité. En effet, lorsque de telles discontinuités ne sont pas parallèles à la trajectoire des rayons ils n'impriment pas leur image sur le contraste radiographique échappant ainsi au contrôle par radiation.

Ceci nous permet de réduire à l'unité le nombre de méthode de contrôle, pour adopter le contrôle ultra-sonique.

Pour que le contrôle soit étanche nous nous proposons de le compléter par une série d'essais mécaniques. Nous opérons comme suit:

On prélève de la ligne de production, à intervalle régulier, un échantillon de longueur réduite (par exemple 1m) et nous en

relevons des échantillons par les essais de traction
et de résilience. Nous soumettons le reste à des sollicitations
variables similaires aux sollicitation d'utilisation (essai de
simulation).



IV - Etude fonctionnelle de l'installation

IV-1. La matière première

La matière première consiste en de l'acier embobiné, pour notre cas nous distinguons entre deux variétés de bobines en fonction de la largeur des tôles et de leur épaisseur

$$\begin{array}{l} \text{- bobines pour l'âme} \\ \left\{ \begin{array}{l} 600\text{mm} \leq b \leq 2000\text{mm} \\ 6\text{mm} \leq e \leq 16\text{mm} \end{array} \right. \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{- bobines pour semelles} \\ \left\{ \begin{array}{l} 200\text{mm} \leq b \leq 600\text{mm} \\ 10\text{mm} \leq e \leq 16\text{mm} \end{array} \right. \end{array}$$

Suivant les dimensions de la poutre à lancer en grande série on placera les bobines qui conviennent dans les devidoirs. Pour chaque élément de la poutre nous avons prévu deux devidoirs se i' pour assurer la continuité de la production. En effet le temps de l'emplacement des bobines est relativement grand de sorte que si l'on prévoit un seul devidoir la production sera arrêtée pendant le temps de remplacement des bobines c'est pour éviter ce grand inconvénient que nous avons donc prévu deux devidoirs de manière que le remplacement des bobines n'aura pas d'interrompre la production.

IV-2. Pour cette même raison nous avons prévu le raccordement des deux bouts celui de la fin de la bobine en service dans le devidoir 1 par exemple avec celui du début de la bobine en attente dans le devidoir 2 ce raccordement s'effectue par un cordon de soudage. Avant de procéder à la soudure on effectue le découpage des bords à souder (1) à l'aide d'un système à plasma (3). Le découpage aura lieu en marche normale de l'installation, avec une avance de 30 m/h la course de chaque système de découpage est calculée en fonction de la section à découper (Fig IV-2).

(1) En effet le soudage des bords bruts venant de la fonderie est à éviter pour l'atteinte qu'il porte à la qualité de la soudure

- Pour l'âme $S_{max} = 2000 \times 16$ elle sera découpée en un temps $t_1 = \frac{2}{0,5}$

= 4 mn la vitesse linéaire du Davidoir étant de 120 m/h donc en 4 mn le plan de coupe aura avancé de: $4 \cdot \frac{120}{60} = 8$ m qui est la course minimale du mécanisme portant la touche de découpage de l'âme.

- Pour les semelles $S_{max} = 500 \times 16$ elle sera découpée en un temps

$t_2 = \frac{0,8}{0,5} = 1,2$ min donc la course de mécanisme portant la touche de découpage de la semelle sera de $1,2 \cdot \frac{120}{60} = 2,4$ m. Dans tous les cas un

retour rapide est prévu à la fin de l'opération de découpage

IV-3. Soudage des bords des deux bobines

Comme l'indique la figure ci-dessus il pourrait arriver qu'une poutre contient trois cordons soudés, pour éviter de porter atteinte aux propriétés mécaniques de la poutre en question.

Le soudage des bords s'effectue sous flux solide sur support en cuivre pour assurer la pénétration de bain de fusion contre la contamination

atmosphérique le soudage se fait à

l'arrêt dans le système (1) avec une vitesse de 30 m/h

le temps maxi de soudage est donc de $\frac{2 \cdot 60}{30} = 4$ min le temps de manipulation

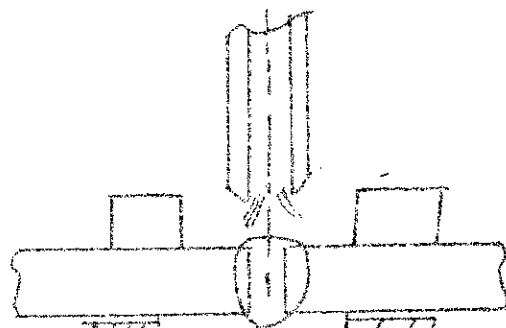
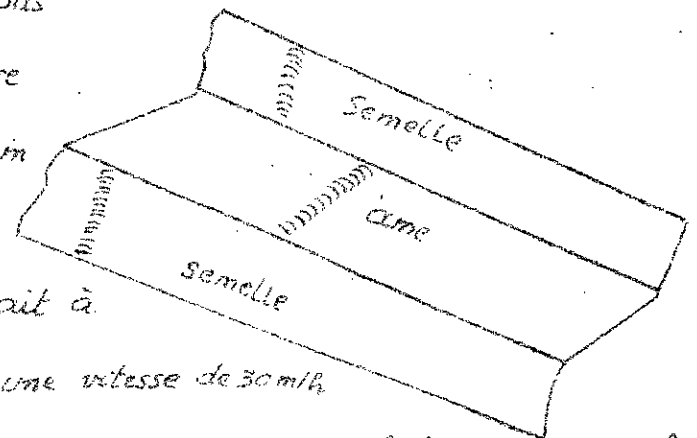
étant évalué à 2 mn ce qui donne un temps total pour l'opération égal

à $2 + 4 = 6$ min, pendant ce temps la production ne doit pas être interrompue

ce qui nécessite certaine réserve de tôle de $\frac{120}{60} \times 6 = 12$ m. On obtient cette réserve

en faisant débiter le Davidoir à une vitesse de production pendant un certain temps. Si cette vitesse est de 240 m/h fig (IV-3) on pourra alors obtenir la réserve

volue au bout de 6 mn



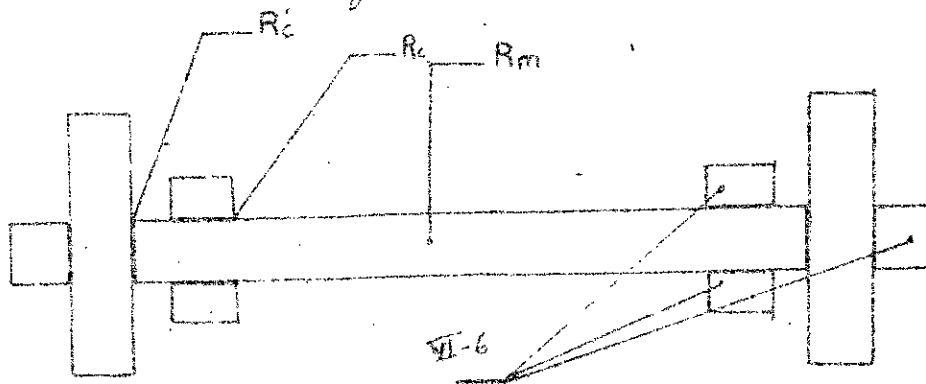
IV-4 - Le Planage

Il s'effectue par le passage de la tôle dans une planeuse à cinq rouleaux (6)

IV-5 Mise en position des tôles

Initialement les tôles sont dans les plans parallèles horizontaux cette disposition est dictée par le fait que les planeuses sont horizontales, une fois le planage effectué les tôles des semelles commencent à se perpendiculaires au plan de l'âme tout en s'approchant des bords de cette dernière, elle finissent par se mettre en contact de sorte que l'axe de la semelle coïncide avec le milieu du bord de l'âme.

IV-6 - Le soudage



Les bords de l'âme ainsi que les axes des semelles sont chauffés moyennant des contacts électriques (IV-6)

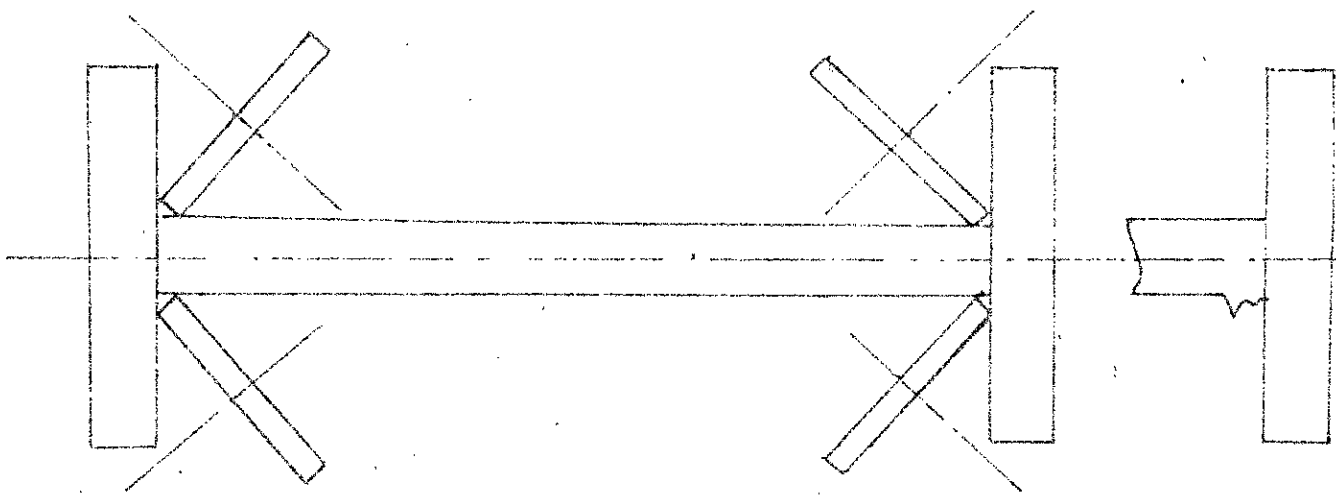
IV-6-1 - La résistance électrique est égale à $R = 3R_c + 2R_m$; la résistance à l'endroit des contacts âme-semelle est assez élevée, elle permettra de ce fait de porter à la fusion cet endroit par suite d'avoir reçu une quantité de chaleur $Q = \frac{R_c \cdot I^2 \cdot t}{J}$ avec $J = 4,18$

Après que les tôles aient subi par le contact électrique, elles seront mises sous pression moyennant.

les rouleaux 5^{es}, les rouleaux 6^{es} permettent d'éviter la courbure de l'âme par suite d'être soumise à la compression.

Les rouleaux de la mise sous pression sont tangents aux tôles des semelles, leur position est réglable par une commande pneumatique en fonction de la hauteur de l'âme.

IV. 7. Meulage: après avoir subi la pression:



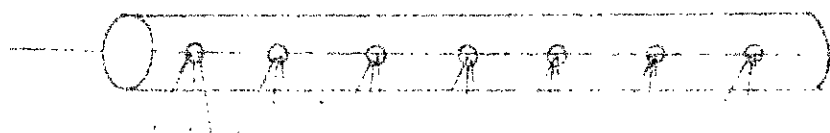
Les tôles forment une poutre continue. Le métal, sous l'effet de la pression rend le joint soudé esthétique. Le même métal peut former les entailles qui ont à introduire deux inconvénients majeurs:

- Concentration des contraintes au droit de l'entaille.
- L'entaille constitue un lieu de naissance pour les fissures.

Pour éviter de tels inconvénients et rendre esthétique le joint soudé, on procède à lui donner une forme arrondie moyennant des moules disposés comme l'indique la figure ci-dessus, cette opération dégage beaucoup de poussière à une température relativement élevée. Pour mesurer de

il faut des rouleaux ^{et verticaux} posés autour dans le système de soudage

de protection du personnel opérant cette opération doit être effectuée dans un volume fermé, sous un jet d'eau (une sorte de tube, percé par endroits par un débit d'eau) le jet d'eau sert en même temps pour le refroidissement des joints soudés.



IV-8. Le contrôle :

Les joints soudés, subissent ensuite un contrôle ultra-sonique. (voir partie contrôle) en traversant le système 8

IV-9. Le découpage des poutres :

Nous avons procédé deux procédés de (soudage) découpage en fonction de l'état de surface demandée.

IV-9-1. découpage à plasma (Fig IV-9-1)

Nous employons ce système lorsque l'utilisateur n'exige pas un bon état de surface. Le système de découpage est à trois torches, il découpe avec une avance de 30m/h et qui suit le mouvement de la poutre. La section maximale est 2000.16 ; le temps maximal de découpage est donc de $2 \cdot \frac{60}{30} = 4 \text{ min}$. Pendant ces 4 min la poutre aurait avancé de $4 \cdot \frac{120}{60} = 8 \text{ m}$ qui est la course minimale du mécanisme portant le système de plasma-coupage. L'opération de découpage étant finie le mécanisme

Effectuera un retord rapide.

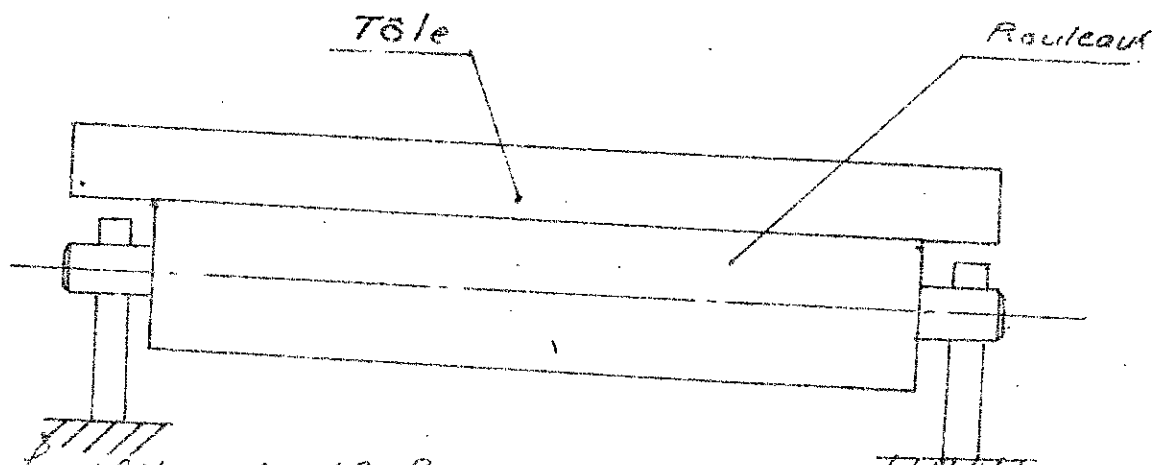
IV- 9. 2. Le découpage par sùe circulaire :

Lorsque l'utilisateur exige une certaine qualité pour l'état de surface on enclenchera un système de découpage à sùe. Sa course sera calculée en fonction de son avance.

IV- 10. L'emmagasinage :

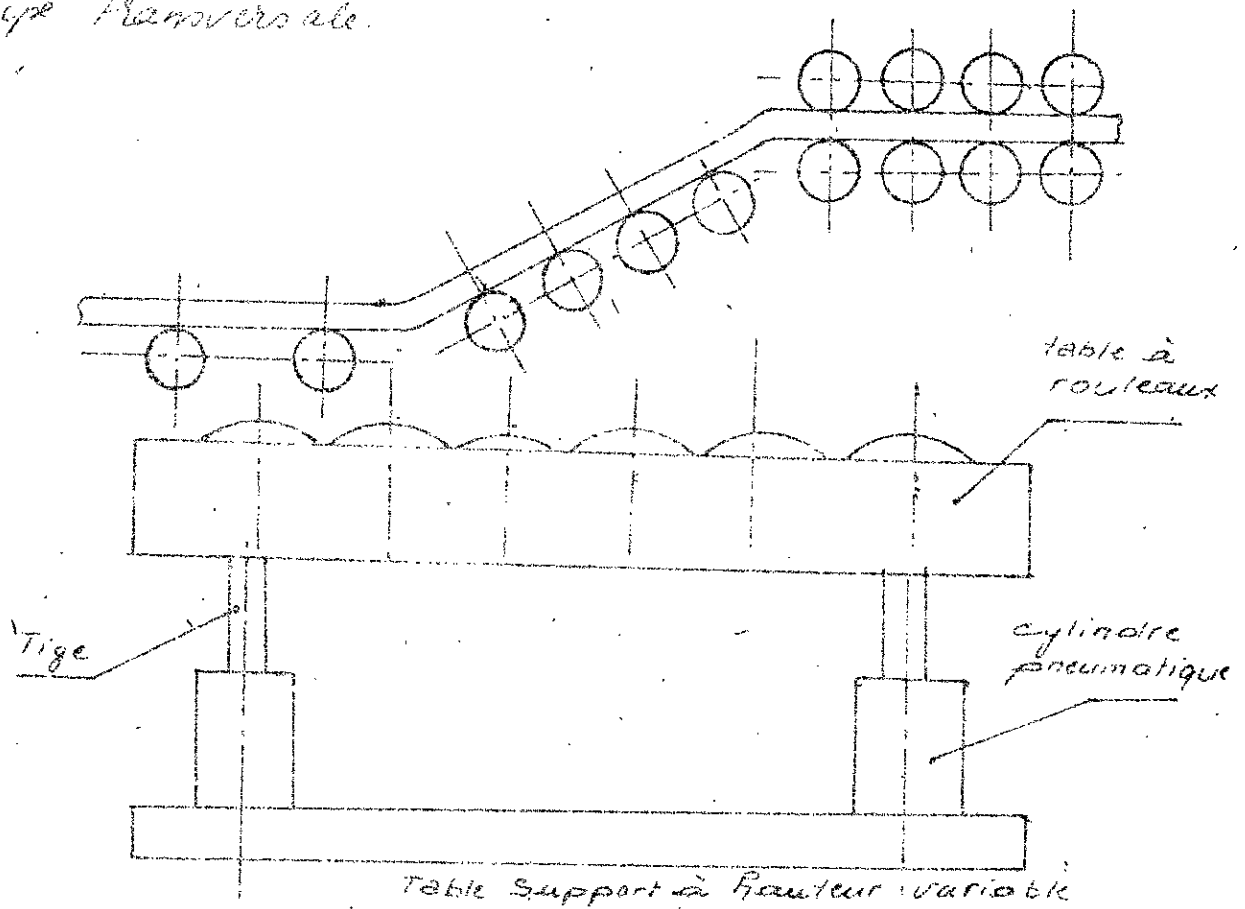
Après être découpé à la longueur demandée, la poutre prend la destination du magasin par un appareillage approprié.

Tables à rouleaux support : à partir du dévidoir les tôles reposent sur des tables à rouleaux horizontaux de type schématisé sur la figure ci-contre. Ces tables sont disposés entre les systèmes assurant différentes opérations.



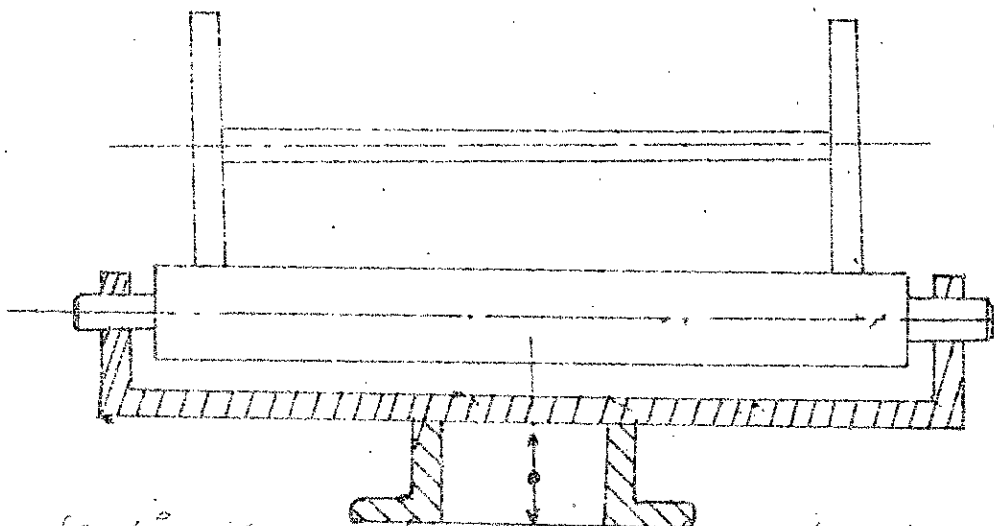
Pour faciliter la tâche des rouleaux horizontaux dans le système de soudage on prévoit juste avant ce système une table à rouleau de hauteur variable.

Comme le schématisé la figure ci-dessous.
 les tables ont la forme du schéma ci-contre en
 coupe transversale.



à la partie du système de soudage on prévoit
 une table à rouleaux de hauteur réglable permettant
 le positionnement des joints, poudés de manière à être
 tangents aux meules.

Cette table a la forme de la figure ci-dessous



à la partie des systèmes de meulage les tables supports
 sont à une hauteur constante.

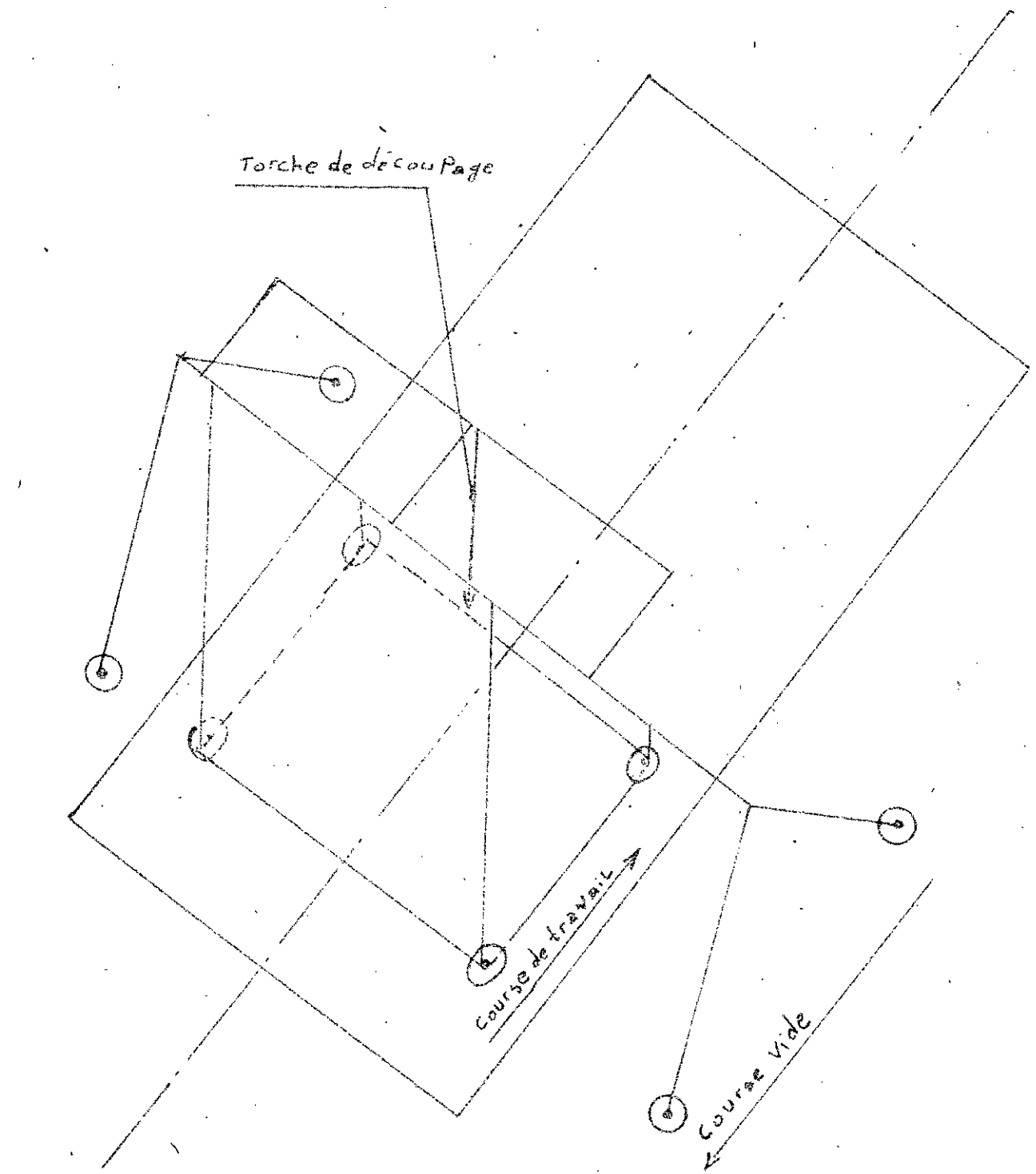


Fig IV-2

schéma de Principe de système de découpage de toles

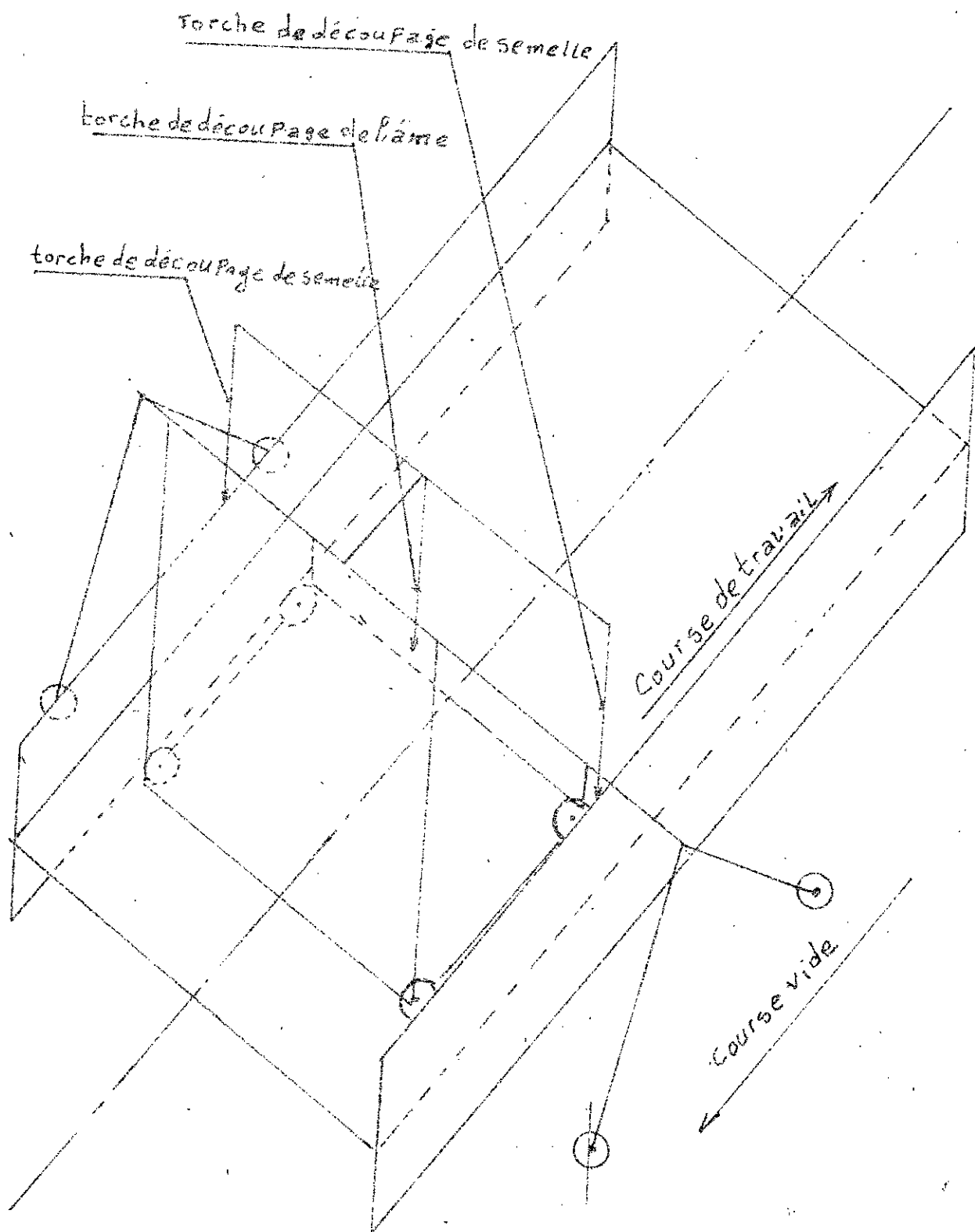


Fig IV - 9 - 1

schéma de principe de système de découpage de poutres

CONCLUSION

Nous concluons par dire que cette étude que nous venons d'accomplir n'est que préliminaire, il ne nous était pas possible d'aborder le sujet dans tous les détails.

Nous n'avons fait que toucher au calcul de puissance de divers éléments des systèmes constituant l'installation. Afin de nous situer, nous nous sommes permis aussi de dimensionnement de dispositifs électriques. Il s'agit en effet pour nous d'un travail de conception portant sur le principe général de l'installation, mais on peut dire cependant que cette étude quoique préliminaire elle peut constituer le point de départ pour une étude détaillée d'un grand projet industriel se situant dans le contexte de la performance de l'industrie, de la Soudure en Algérie, Dans ce sens nous proposons de reprendre cette étude au sein de l'E.N.P.A dans le cadre de la post-graduation en collaboration avec l'entreprise économique intéressée.

M. Faoussi

BIBLIOGRAPHIE

- I. G. A. NICOLAEV: Calculs, projets et réalisations des constructions soudées. 1971 - Moscou.
- II. O. T. U. A. Produits sidérurgiques français. Tome 1, 2 et 3
Novembre 1976
- III. V. DOBROVOLSKI: Éléments machines (Version arabe traduit du russe) 1979 - Moscou.
- IV. D. SEFERIEH: Métallurgie de la Soudure. 1965. Paris.
- V. V. COSORCABA: Action pneumatique 1974 Édition technique BOUTARIST.
- VI. V. A. VINOKOUROV: Aide mémoire de soudage Tome 3
1970 - Moscou.
- VII. A. I. MALICHEV: Technologie des métaux (Version Arabe traduit du Russe). 2^{ème} Édition. 1973 - Moscou.
- IX. M. M. SAKHOVSKI: L'aptitude à l'exécution de la charpente soudée en acier 1970 Kiev
- XIII. A. VALLINI: Joints soudés 1968 - Paris.
- X. P. T. HOULDCROFT: Procédés de soudage 1971. Paris.
- XI. A. N. TSELIKOV: Machines et agregats métallurgiques actuelles et futures. 1979 - Moscou.
- XII. I. LAKNTINE: Metallographie et traitement thermiques des métaux. 1978. 2^e Édition - Moscou.
- XIII. M. MEZGHICHE: Atelier de fabrication de poutres de section rectangulaire (Thèse d'ingénieur) Janvier 1981 - ALGER.
- XIV. ITALSIDER: Les produits - Juin 1979.
- XV. V. RYBAKOV: le Soudage et le découpage des métaux
1971 - Moscou.

SOMMAIRE

TITRE	PAGE
INTRODUCTION	1
I. ETUDE DES POUTRES EN I	3
I.1. CONFIGURATION	3
I.2. TOLERANCES	6
I.3. METAL DE BASE	12
II. ETUDE DE TECHNOLOGIE DE FABRICATION EXISTANTE DES POUTRE EN I, DE GRANDES DIMENSIONS	17
II.A. PRODUCTION A L'UNITE (UNITAIRE)	17
II.B.1. PRODUCTION EN SERIE ET EN MASSE	20
II.B.1.1. SOUDAGE AVEC MATERIAU D'APPORT	20
II.B.1.2. SOUDAGE SANS MATERIAU D'APPORT	35
II.B.2. SOUDAGE SANS MATERIAU D'APPORT	35
III. ETUDE CONSTRUCTIVE DE L'INSTALLATION	40
III.1. LE SYSTEME DE SOUDAGE	40
III.1.1. CALCUL DES ROULEAUX	40
III.1.2. CALCUL DU COUPLE SUR L'ARBRE MOTEUR	43
III.1.3. VITESSE ANGULAIRE DE L'ARBRE MOTEUR	44
III.1.4. PUISSANCE TRANSMISE	44
III.1.5. CALCUL DE L'ENGREINAGE	44
III.1.6. SYSTEME DE MISE SOUS PRESSION	46
III.2. CONTROLE DES JOINTS SOUDES	49
- RADIOGRAPHIE	49
- RAYONS X	54
- RAYONS γ	55
- LE CONTROLE ULTRASONIQUE	57

- LE CONTROLE MAGNETIQUE	58
- LE CONTROLE PAR LIQUIDE PENETRANT	59
IV- L'ETUDE FONCTIONNELLE DE	
L'INSTALLATION	63
CONCLUSION	72
BIBLIOGRAPHIE	73
SOMMAIRE	74

