

10/75

UNIVERSITÉ D'ALGER

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

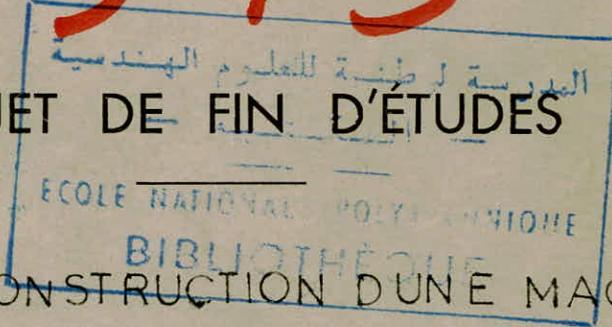


2ex

DEPARTEMENT MECANIQUE

1975

PROJET DE FIN D'ÉTUDES



PROJET DE CONSTRUCTION DUNE MACHINE  
A SOUDER PAR RESISTANCE  
TYPE MULTIPPOINT AUTOMATIQUE

propose par :

M<sup>r</sup> BORIS BOUGAENKO

maître assistant

etudie par :

HOCINE DJABELLA

UNIVERSITE ALGER  
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

PROJET DE CONSTRUCTION  
D'UNE MACHINE A SOUDER PAR RESISTANCE  
"Type multipoint automatique"

Proposé par :  
Mr. BOUGAENKO

Etudié par :  
Hocine DJABELLA

 REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier particulièrement  
Mr. BAGALENKO pour toute l'aide qu'il  
m'a accordée pendant l'étude de ce  
projet ainsi que tous les professeurs  
de l'E.N.P.A. qui ont contribué à ma  
formation.

II C H M A I R E

- 1 - Introduction
- 2 - Présentation de la machine étudiée
- 3 - Coix du cycle d'intensité et du cycle d'effort de compression
- 4 - Calcul des paramètres de soudage
- 5 - Calcul du transformateur
- 6 - Calcul des circuits de refroidissements des transformateurs
- 7 - Etude de résistance des matériaux de la construction
- 8 - Automatisation.

## INTRODUCTION

### de CETTE MACHINE A SOLDER MULTIPONT AUTOMATIQUE

Au cours d'une visite d'usine effectuée dans les ateliers de montage d'autobus de la SO.NA.CO.ME. à Rouiba, nous avons constaté que le soudage de plafonds d'autocars se faisait manuellement et sans automatisation.

Le procédé employé est le suivant :

- Un fil électrique relie la tôle inférieure de l'assemblage à réaliser au circuit secondaire d'un transformateur et l'ouvrier exécute les points de soudure en se servant d'une électrode pistolet en appuyant sur les points localisés. Nous avons pensé que ce procédé présente des inconvénients suivants :

- Le temps de soudure est très long. Cela doit augmenter considérablement.

- Les prix de revient de l'objet fabriqué.

- La sécurité d'un tel travail n'est pas tellement assurée, vu les déplacements que doit faire l'ouvrier pour avoir accès aux différents points de soudure.

- Bref, le procédé est presque archaïque, si l'on peut dire et cela ne convient pas du tout pour une usine de fabrication d'autocars moderne comme celle de la SO.NA.CO.ME.

Cela nous a conduits à préconiser l'étude d'une machine à souder multipoint. Cette machine sera presque entièrement automatique et permettra ainsi de remédier aux inconvénients que nous avons cités ci-dessus.

Néanmoins, cette étude se fera sans une forme de calculs et ces calculs porteront sur les parties essentielles qui sont les suivantes

- Calcul du régime de soudage
- Circuits secondaires extérieurs
- Entrefer du transformateur
- Circuits primaires.

Nous ferons aussi une étude de résistance des matériaux pour vérifier l'efficacité de notre construction et pour déterminer la cadence d'exécution des points de soudure.

Nous nous pencherons enfin sur le circuit de commande des électrodes ainsi que sur son automatisation.

## PRESENTATION DE LA MACHINE ETUDIEE

Nous nous proposons de calculer une machine à souder du type multipoint dont la fonction sera de souder les plafonds d'autocars.

Cette machine sera fixe. Les autocars seront amenés à la machine par une chaîne de fabrication. Ces plafonds d'autocars sont constitués en tôle en acier doux laminé (A 45) qui sera soudée sur une ossature de barre en acier doux également. L'épaisseur de la tôle est de 2 mm, celle des barres est de 5 mm (moyenne) (Voir schéma de l'ossature).

Sur chaque barre seront exécutés 6 points de soudure distancés chacun de 50 Cm.

Les principales parties d'une machine à souder par points sont :

- le bâti
- les transformateurs de soudage destinés à fournir aux pièces à souder le courant de soudage. Les circuits secondaires extérieurs destinés à amener le courant de soudage du transformateur aux porte-électrodes et électrodes en contact avec les pièces à souder.
- Les porte-électrodes et électrodes.
- Des systèmes de mise en mouvement et en pression des électrodes destinés à fournir l'effort de compression localisé sur les pièces à souder.
- Un système de refroidissement des organes sujets à un échauffement pendant le passage du courant.
- Un appareil électrique et éventuellement électronique ayant les rôles suivants :
  - Enclencher et couper le courant de soudage.
  - Compter le temps de soudage en plus généralement les temps d'accostage, de soudage, de maintien, d'intervalle, de préchauffe, de recuit, etc...
  - Assurer l'automatisation partielle ou complète de l'opération de soudage.

L'application de cette machine aura un grand succès là où se présentent les grandes séries de pièces à assembler.

Cela permet alors de réduire au minimum le temps de fabrication grâce à un certain nombre d'électrodes exécutant en une séquence d'opérations tous les points de soudure prévus pour la réalisation de l'assemblage.

## I - GENERALITES

1 - Définition : Le soudage électrique par points est un procédé de soudage autogène sans métal d'apport, dans lequel l'effet joule d'un courant électrique traversant durant un temps déterminé, la résistance ohmique et la résistance de contact des deux pièces formant assemblage par recouvrement est utilisé comme source calorifique pour porter un volume de matière à la température de soudage. Le passage du courant est localisé par deux électrodes qui transmettent également un effort de compression.

### 2 - But du soudage par points

On réalise l'assemblage par recouvrement à l'aide de point de soudure, d'éléments métalliques, dont l'épaisseur est relativement faible par rapport à leurs autres dimensions.

Le point de soudure est constitué par une lentille de métal porté à la fusion à l'endroit de contact entre les deux tôles. Le joint constitué par les points de soudure est parfaitement continu, il a les mêmes caractéristiques physiques et métallurgique que les métaux de base.

Le soudage par points remplace généralement le revêtement, l'assemblage par vis ou boulons et écrous. Ce procédé a pour avantage notamment la très grande rapidité d'exécution.

### 3 - Principe général du soudage par points

La chaleur utilisée pour l'obtention du point de soudage est engendrée dans les pièces mêmes par effet joule.

Les parties des éléments à souder sont posées l'une sur l'autre.

On provoque la descente de l'électrode supérieure qui accoste l'assemblage.

Les 2 électrodes en contact sous pression avec les pièces à souder sont reliées aux bornes du secondaire d'un transformateur électrique dont le rôle est de fournir dans le circuit secondaire un courant électrique d'intensité élevée sous une faible tension.

Il est à remarquer que la résistance propre des portions de tôles comprises entre les électrodes et leur résistance de contact sont très élevées par rapport aux autres parties du circuit.

Le dégagement de chaleur est intense et de la forme :  $Q = k r u^2 t$

Enfin les facteurs à considérer sont :

- les métaux à souder : leurs caractéristiques, leurs dimensions.
- l'intensité du courant de soudage.
- le temps de soudage.

- l'effort de compression appliqué sur le point à souder par les électrodes.

#### 4 - Théorie du soudage par points

Par suite du passage du courant, il se produit une élévation locale de température, la chaleur va se propager par conduction dans les pièces mêmes et dans les électrodes et par rayonnement dans l'ambiance et on distingue deux cas :

- La quantité de chaleur produite est dispersée au fur et à mesure de sa production, dans les tôles, les électrodes, l'ambiance dans ce cas, il n'y a pas formation du point de soudure.
- La quantité de chaleur transmise par conduction et rayonnement est inférieure à celle dégagée au joint. La température croît jusqu'à fusion du métal : il y a soudure.

Finalement, on doit retenir que deux principes fondamentaux sont à la base de ce procédé de soudage par point :

- L'existence d'une résistance ohmique de contact élevée au joint des 2 pièces métalliques et cela donne naissance au dégagement de chaleur.
- Le procédé de chauffage par effet joule doit être rapide.

#### II - INFLUENCE DES RESISTANCES DE CONTACT

La résistance de contact de 2 pièces métalliques placées l'une sur l'autre dépend :

- de la nature des métaux en contact de leurs caractéristiques (dureté résistance mécanique, conductivité)
- de l'état de surface des métaux caractérisé par un fini d'usinage.
- de la pression à laquelle sont soumises les surfaces en contact et du mode d'application de cette pression
- de la température des métaux.

On constate que les résistances de contact tôle à tôle sont beaucoup plus grandes que les résistances de contact électrode-tôle.

#### 5 - Processus de formation du point de soudure

La quantité de chaleur dégagée est égale à :

$$Q = 0,239 \quad RI^2dt$$

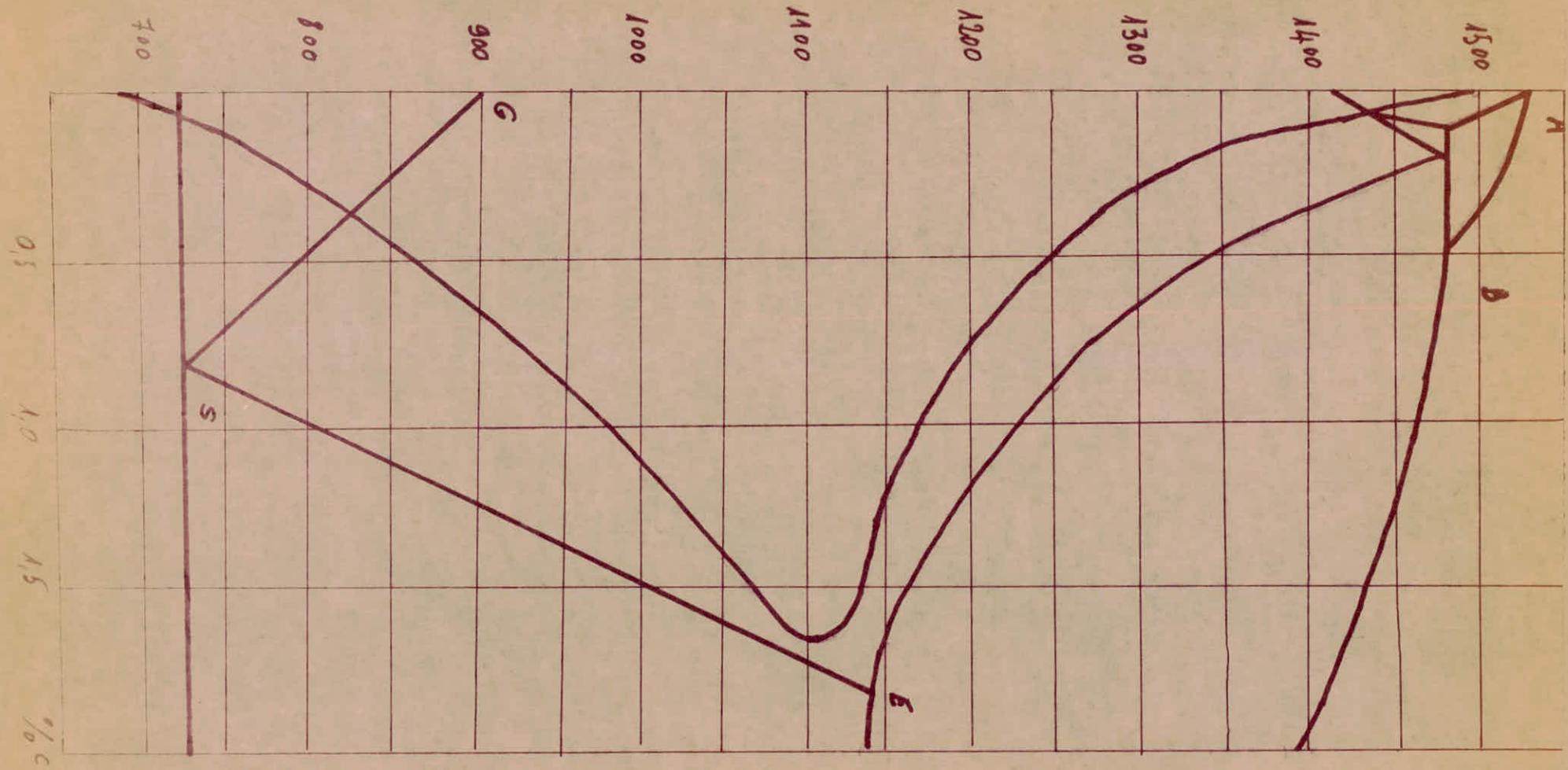
Q en calories

I Intensité du courant de soudage

t temps de passage du courant

R Résistance totale traversée par I

C'est la résistance du joint de contact entre les 2 pièces qui provoque un grand dégagement de chaleur et cela permet l'obtention du point de soudure.



SOUDABILITE DES METAUX.

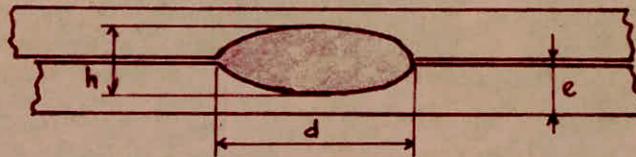


SCHÉMA : 6

d: diamètre du point soudé ou de la zone fondue.

h: pénétration.

e: épaisseur.

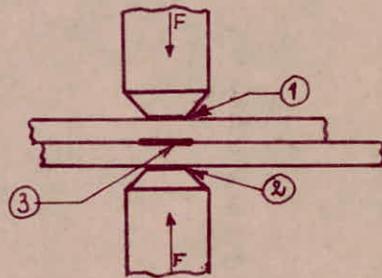


SCHÉMA: 2

RÉSISTANCES OHMIQUES DE CONTACT. TÔLES SUPERPOSÉES, PLACÉES ENTRE DEUX ELECTRODES SOUS-PRESSION.

- ① RÉSISTANCE DE CONTACT ENTRE L'ELECTRODE SUPÉRIEURE ET LA SURFACE EXTERIEURE d'UNE TÔLE.
- ② RÉSISTANCE DE CONTACT ENTRE L'ELECTRODE INFÉRIEURE ET LA SURFACE EXTERIEURE À LA SECONDE TÔLE.
- ③ RÉSISTANCE AU CONTACT DES FACES INTÉRIEURES DES TÔLES.

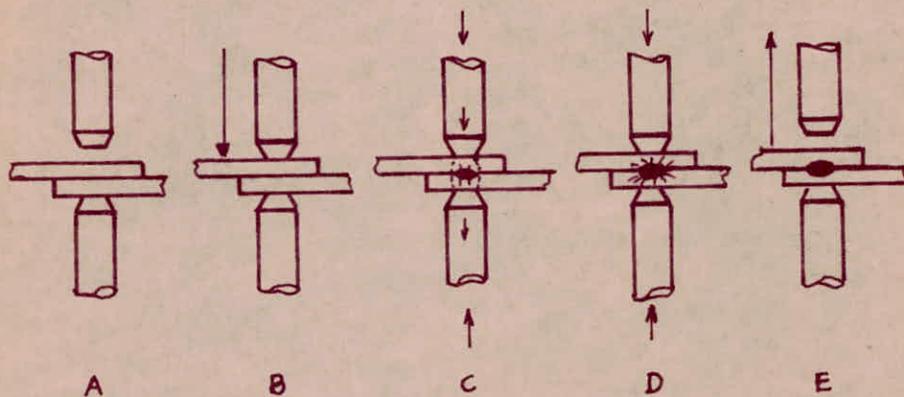


SCHÉMA : 1

Représentation schématique des différentes phases d'une opération de soudage par points.

A- Elements à souder posés l'un sur l'autre.

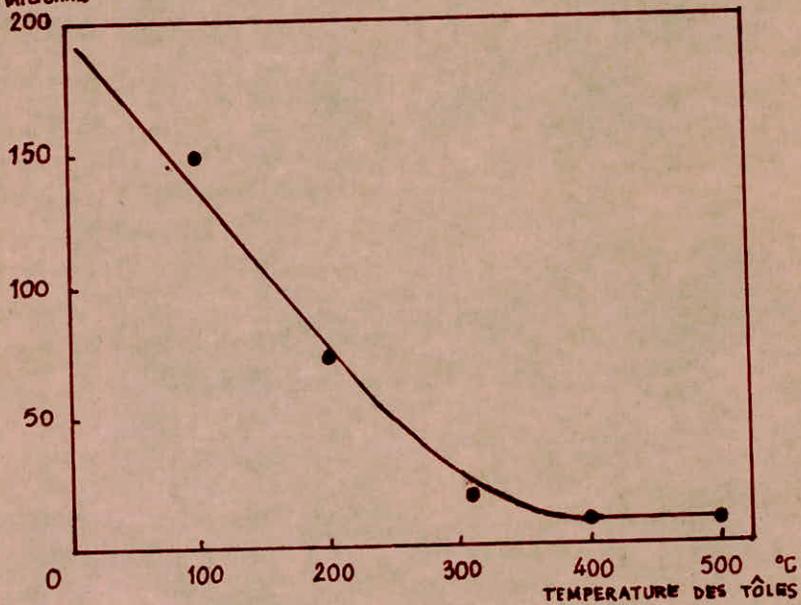
B- Descente de l'électrode supérieure.

C- Passage du courant électrique de soudage.

D- Interruption du passage du courant de soudage.

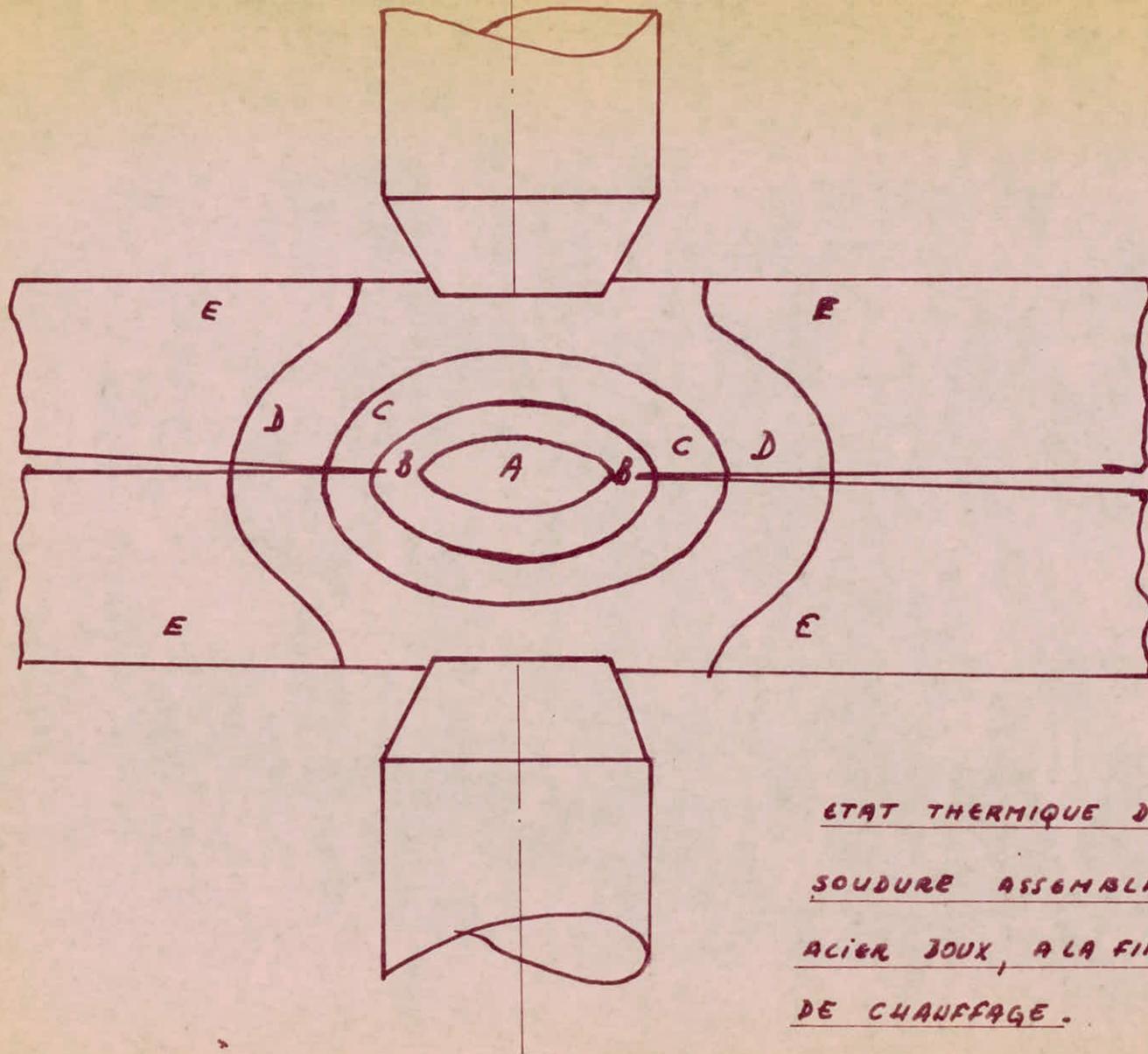
E- Fin de l'application de l'effort sur le point de soudure, l'électrode supérieure remonte.

RESISTANCES DE CONTACT ENTRE TÔLES  
microhms



SCHEMA: 3

VARIATIONS DE LA RÉSISTANCE DE CONTACT ENTRE TÔLES EN FONCTION DE  
LA TEMPÉRATURE.



ETAT THERMIQUE D'UN POINT DE  
SOUDURE ASSEMBLANT DEUX TÔLES EN  
ACIER DOUX, A LA FIN DE LA PÉRIODE  
DE CHAUFFAGE.

## 6 - Aspect métallurgique du soudage par points

Le processus thermique suivant lequel s'accomplit la soudure et les qualités métallurgiques et mécaniques du point soudé dépendront :

- des caractéristiques mêmes des métaux à souder.
- des facteurs de réglage : intensité du courant.  
temps de soudage, effort de compression aux électrodes.

La cristallisation du noyau fondu commence à la périphérie de la plage B chauffée à température très élevée. Cette cristallisation a lieu sous forme de dendrites qui convergent vers le centre du point . pendant ce temps, les grains de la zone B maintenus à haute température ont subi un certain grossissement et commencent à se refroidir lentement.

La place C, chauffée initialement un peu au dessus de la zone critique se refroidit, les grains se sont affinés.

La plage D ne subit pas de modification de textures.

CHOIX DU CYCLE D'INTENSITE ET DU CYCLE D'EFFORT DE  
COMPRESSION

I) CYCLES D'INTENSITE DE SOUDAGE

Nous distinguons plusieurs cycles d'intensité de soudage :

a) Soudage à intensité constante, ce procédé de soudage est le plus couramment utilisé (voir schéma n° ) Le courant de soudage est donc constant pendant toute la durée de chauffage à conditions que la tension d'alimentation ne subisse pas de variation.

b) Soudage avec post-chauffage

Après la phase de soudage qui se réalise normalement à intensité constante, on provoque le passage d'un courant d'intensité inférieure à celle du courant de soudage (voir schéma n° )

Le but de ce mode de soudage est d'empêcher un refroidissement trop rapide du point. C'est un refroidissement contrôlé. Il n'est appliqué que pour des cas spéciaux, acier à teneur en carbone, moyenne, se trempant pendant le soudage, acier et alliage spéciaux, fortes épaisseurs.

c) Soudage avec pré-chauffage

Un courant de faible intensité (très inférieure à l'intensité du courant de soudage) traverse les pièces à assembler et porte la zone, soude à une certaine température (inférieure à la température de fusion). Il est immédiatement suivi du courant de soudage qui assure la formation du point (voir fig. n° ). Le préchauffage augmente le volume de métal chauffé avoisinant le point.

Dans certains cas, le préchauffage, il est utilisé pour favoriser l'accostage de pièces offrant une certaine raideur pendant cette phase, grâce à l'augmentation de la température, les pièces se déforment plus facilement sans l'effort de compression, il est aussi utilisé pour diminuer l'effet de trempe de certains aciers.

d) Soudage par pulsation

Le soudage pulsatoire consiste à remplacer l'échauffement continu par un échauffement fractionné obtenu par une succession d'enclenchements et de déclenchements du courant de soudage.

A chaque temps de passage du courant succède un temps de repos, les électrodes restant en contact sous pression sur les pièces pendant toute la durée de ces temps de chauffage et de repos.

Pendant chacun de ces temps de repos, les tôles et les électrodes absorbent une partie de la chaleur et c'est surtout la zone en contact avec les électrodes qui se refroidit tandis que le cœur de l'assemblage se refroidit beaucoup moins.

Le procédé consiste à accumuler la chaleur là où elle est utile: au joint des pièces à souder, et à l'éliminer là où elle est nuisible: sous les électrodes.

Ce procédé appliqué surtout aux fortes épaisseurs, permet l'utilisation de points de courant plus faibles et d'efforts de compression modérés, il donne également de bons résultats pour le soudage de pièces à accostage difficile et le soudage de certains aciers trempant.

#### e) Soudage avec établissement progressif du courant.

La chaleur de l'intensité de courant de soudage n'est atteinte que progressivement à partir d'une intensité très faible (voir schéma n° ) Ce procédé donne à peu près les mêmes avantages que le soudage avec préchauffage. Il est, en outre, utilisé, pour le soudage des alliages légers, dans le but d'améliorer l'accostage, d'assurer une surface de contact suffisante et régulière avant le passage du courant de soudage de forte intensité

### 2) CYCLES D'EFFORTS DE COMPRESSION

#### a) Soudage avec effort de compression constant

Il est utilisé dans la grande majorité des cas. On adopte une valeur de l'effort de compression constante pendant toute la durée de l'opération : accostage , soudage (chauffage et maintien.

Généralement, le temps de maintien devra être d'a tant plus long que l'épaisseur des pièces est forte et que les conditions d'accostage sont mauvaises.

Dans les cas normaux, le temps de maintien variera de 5 périodes pour les épaisseurs de 1 mm, à 50 ou 100 périodes pour les épaisseurs de 5 mm

Pour certains aciers spéciaux, certains alliages d'aluminium, les aciers à teneur de carbone élevée, le temps de maintien est réduit afin de diminuer l'effet de trempe.

#### b) Soudage avec variation de l'effort de compression

Ce procédé est caractérisé par l'augmentation rapide de l'effort de compression en fin de soudage. Cette variation de l'effort de compression est provoquée au moment de l'interruption du courant de soudage (voir fig. n° )

Cet effort de compression ainsi augmenté se prolonge pendant le temps de maintien et s'appelle le forgeage. Ce procédé améliore fortement les qualités du point soudé : augmentation de la résistance mécanique, amélioration des qualités métallurgiques du point.

Il présente l'avantage d'adapter la valeur de l'effort aux phases de l'opération de soudage.

Le soudage avec forgeage offre de grands avantages pour l'assemblage de fortes épaisseurs en aciers doux et des alliages d'aluminium.

### 3) CHOIX DU CYCLE D'INTENSITE ET D'EFFORT DE COMPRESSION

Vu les opérations qui devront être exécutées par cette machine étudiées (soudage à grande cadence de tôles d'acier doux d'épaisseurs moyennes) il y a lieu de choisir un cycle soudage à intensité et effort de compression variable (voir schéma )

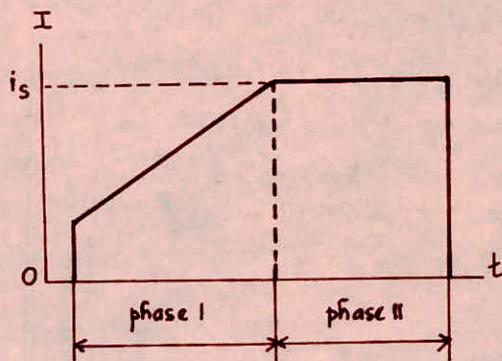
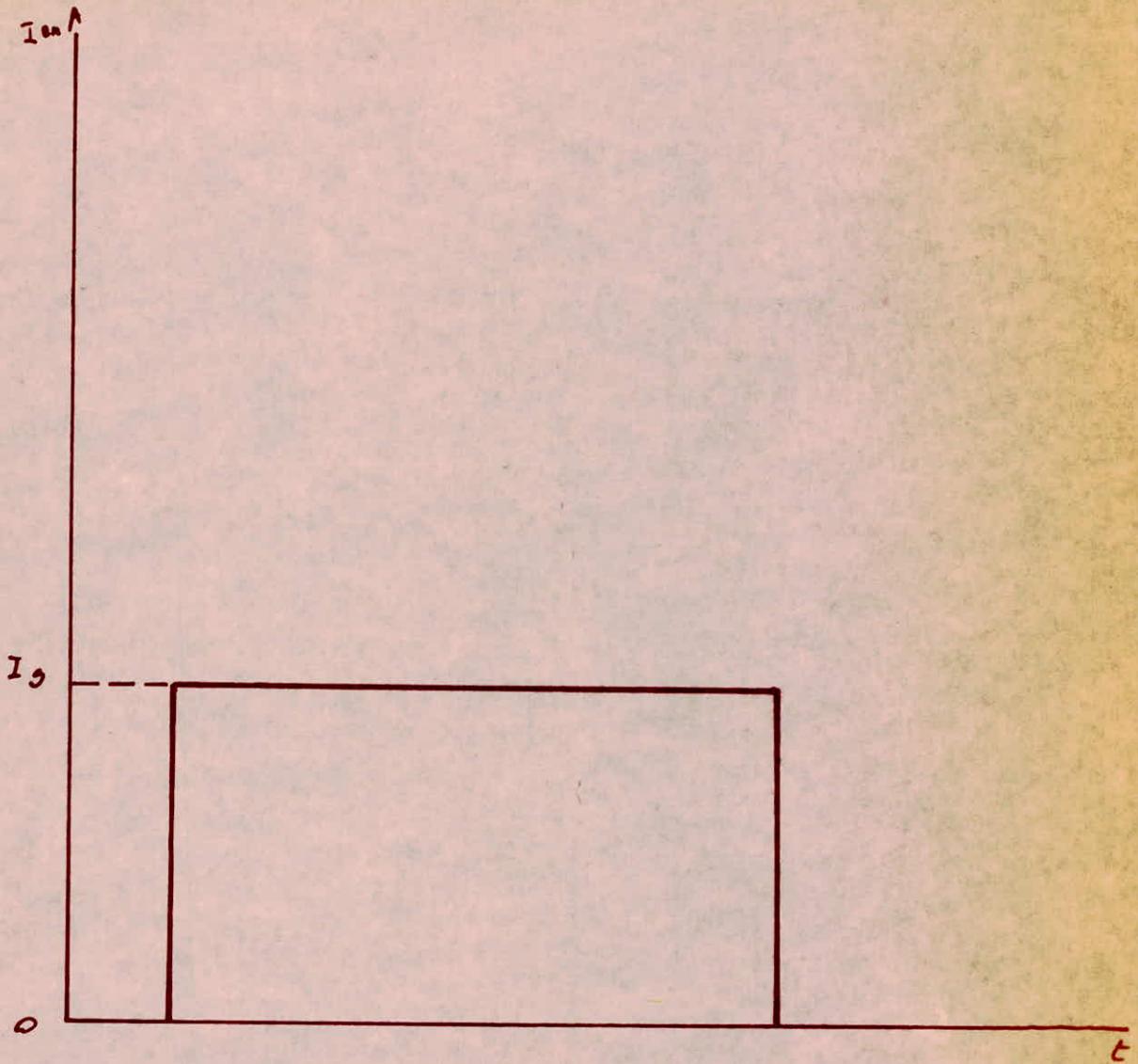


SCHÉMA: 11

soudage avec établissement progressif du  
courant de soudage.



Soudage a Intensity Constante

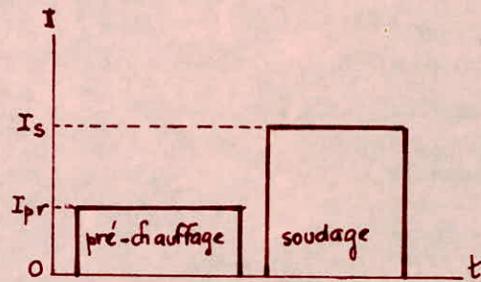


SCHÉMA: 9  
soudage avec préchauffage.

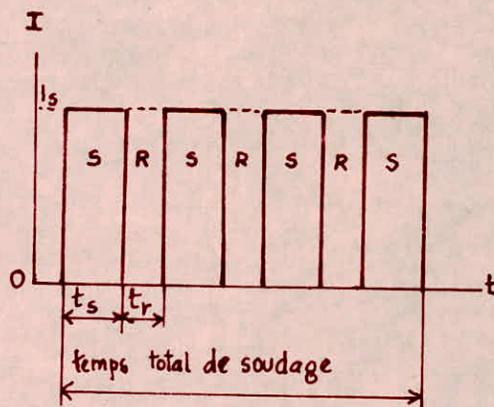


SCHÉMA: 10  
soudage par pulsations.

## CALCUL DES PARAMETRES DE SOUDAGE

### A - Calcul du courant de soudage

#### 1) Méthode de calcul

Pour pouvoir calculer le courant de soudage, il nous faut évaluer les quantités de chaleur dépensées au cours de cette opération de soudage. La chaleur totale s'exprime ainsi.

$$Q_T = Q_P + Q_1 + Q_2 + Q_3$$

Avec

$Q_P$  chaleur nécessaire pour la fusion du volume constituant le point de soudage

$Q_1$  Chaleur dépensée dans les pièces environnantes

$Q_2$  Chaleur dépensée dans les électrodes

$Q_3$  Chaleur dépensée dans l'air (nous la considérons négligeable)

#### a) Calcul de $Q_P$

$$Q_P = V \gamma c_1 T + V \gamma c_2$$

$Q_P$  : Quantité de chaleur nécessaire pour la formation d'un point de soudure.

$V$  Volume du point de soudure.

$\gamma$  Poids spécifique du matériau à souder

$C_1$  Chaleur spécifique du matériau

$T$  Différence entre la température de fusion et la température ambiante

$C_2$  Chaleur latente de fusion

On a aussi :

$$Q_P = V \gamma (C_1 T + C_2)$$

Or nous voulons exécuter un point de soudure sur 2 tôles l'une d'épaisseur 2 mm, l'autre de 5 mm pour calculer le volume du point de soudure, il nous faut connaître le diamètre des pointes d'électrodes. Nous avons choisi des électrodes cylindriques à bouts tronconiques.

Nous allons utiliser une relation pour déterminer le diamètre de cette pointe d'électrodes en fonction des épaisseurs des tôles à souder.

On a ainsi :

$$\begin{aligned} \phi \text{ électrode} &= C_1 + C_2 + 2,5 \\ &= 2 + 5 + 3,5 \\ &= 10 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\boxed{\phi_e = 10 \text{ mm}}$$

donc

le terme

$$\left( \frac{\pi d_2^2}{4} - \frac{\pi d_1^2}{4} \right) = \text{SC surface de la couronne réchauffée.}$$

$$V = 0,7 \frac{\pi}{4} (1,25)^2 - (0,5)^2 = 0,73 \text{ cm}^3$$

$$T_m = 0,25 \sqrt{\frac{V}{1500}} = 374 \text{ } ^\circ\text{C}$$

donc

$$Q_1 = 0,14 \cdot 0,73 \cdot 374 \cdot 7,8$$

$$\boxed{Q_1 = 292 \text{ Cal/}^\circ\text{C}}$$

c/ Calcul de Q2

Q2 : chaleur dispersée dans les électrodes (voir schéma)

$$X_0 = 3,6 \sqrt{T_s} = 3,6 \sqrt{0,4} \\ = 3,6 \times 0,63 = 2,26 \text{ cm}$$

$$Q_2 = K_2 \cdot \pi \cdot \frac{d_e^2}{4} \cdot X_0 \cdot c \cdot \gamma \cdot T_f$$

K2 : coefficient géométrique K2 = 1,5

d<sub>e</sub> : diamètre d'électrodes

X<sub>0</sub> : voir schéma

C : chaleur spécifique

γ : Poids spécifique

T<sub>f</sub> : température de fusion

Q2 : 1,5.

$$\boxed{Q_2 = 440 \text{ calories}}$$

Calcul de la chaleur totale

$$Q = Q_{p1} + Q_1 + Q_2 \\ = 1175 + 292 + 440 = \boxed{1907 \text{ Calories}}$$

2) Calcul de I<sub>2c</sub>

I<sub>2c</sub> est le courant qui traverse la pièce inférieure de l'assemblage dans notre cas, c'est la pièce qui a 5 mm d'épaisseur.

$$I_{2c} = \sqrt{\frac{Q_t}{0,24 \cdot m \cdot R \cdot T}}$$

Q<sub>t</sub> : chaleur totale

m : coefficient tenant lieu des formes géométriques m = 1,1

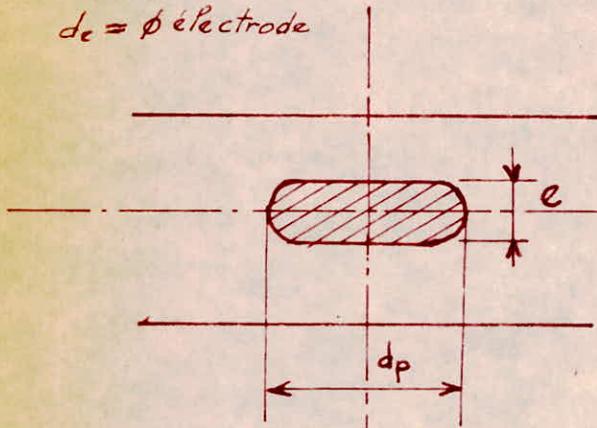
R : résistance ohmique des contacts

t : temps de soudage en secondes.

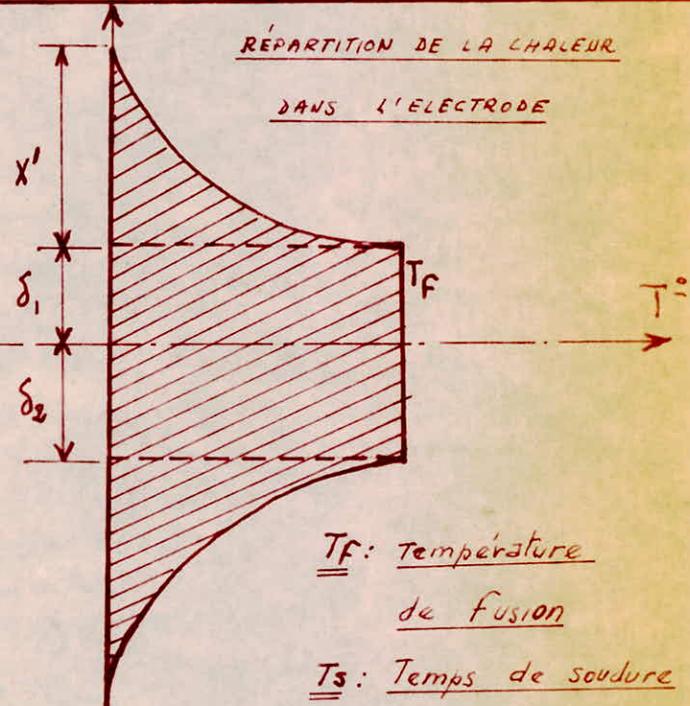
$$\Phi_2 = k_2 \pi \frac{d_e^2}{4} x'_0 \cdot C' \gamma' \frac{T_f}{\delta}$$

$$k_2 = 15$$

$$d_e = \phi \text{ électrode}$$



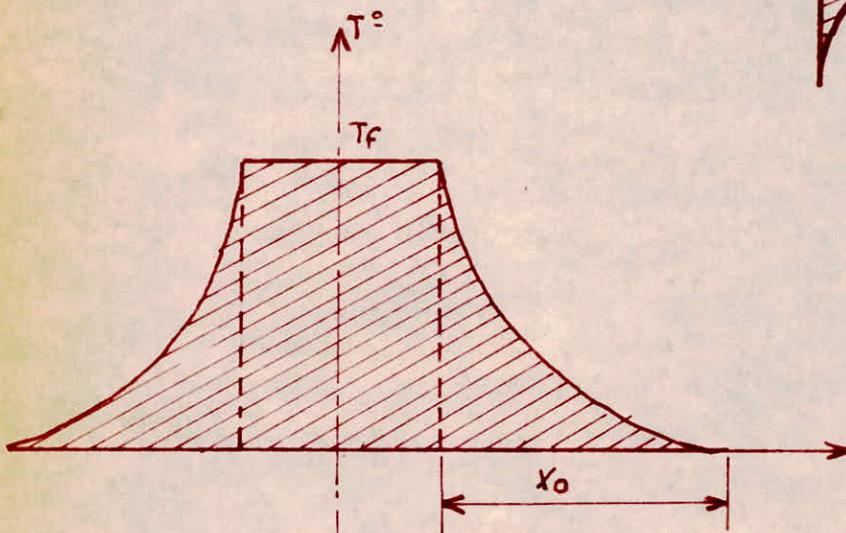
RÉPARTITION DE LA CHALEUR  
DANS L'ELECTRODE



T<sub>f</sub>: Température  
de fusion

T<sub>s</sub>: Temps de soudure  
en secondes.

$$x' = 3,6 \sqrt{T_s}$$



RÉPARTITION DE LA CHALEUR DANS LES PIÈCES  
À SOUDER.

$$\Phi_1 = C_1 \cdot V \cdot T_m \cdot \gamma$$

$\gamma$ : poisr spécifique.

$$x_0 = 1,8 \sqrt{T_s} \quad (\text{en cm})$$

$C_1$ : chaleur spécifique

$V$ : Volume chauffé (couronne,  $x_0$ )

$$T_m = T_f \cdot 0,35.$$

$$V = \frac{\pi \phi^2}{4} (C_1 + C_2)$$

$$= \frac{\pi 10^2}{4} \times 7$$

$$\boxed{V = 0,55 \text{ cm}^3}$$

$$Q_p = V \delta (C_1 T + C_2)$$

$$= 7,8 \text{ g/cm}^2$$

$$C_1 = 0,14 \text{ oC/Gr}$$

$$C_2 = 65 \text{ Cal/gr}$$

$$T = T_f - 20 = 1500 - 20 = 1480 \text{ }^\circ\text{C}$$

Donc

$$Q_p = 0,55 \cdot 7,8 (0,14 \cdot 1480 + 65)$$

$$= \underline{\underline{1175 \text{ calories.}}}$$

b) Calcul de  $Q_1$  (Voir schéma)

$Q_1$  : chaleur dispersée dans les pièces environnantes.

Examinons le schéma n°

$X_0$  est donné par la relation suivante

$$X_0 = 1,2 \sqrt{t_s} \quad \text{en centimètres}$$

$t_s$  : temps de soudage en seconde

et on a alors :

$$Q_1 = C_1 \cdot V \cdot T_m \delta$$

on a

$$T_m = 0,25 T$$

$T_f$  : température de fusion du matériau

Nous avons choisi un temps de soudage de 20 périodes donc :

$$t_s = 0,4 \text{ secondes}$$

on aura ainsi

$$X_0 = 1,2 \sqrt{0,4} = \underline{\underline{0,76 \text{ cm}}}$$

Calcul du volume ainsi réchauffé

$$V = (C_1 + C_2) \left[ \frac{\pi d_2^2}{4} - \frac{\pi d_1^2}{4} \right]$$

Pour calculer  $R_p$ , nous disposons d'une relation :

$$R_p = A_1 k \epsilon_T \frac{S_1}{\pi \frac{d_c^2}{4}} + A_2 k \epsilon_T \frac{S_2}{\pi \frac{d_c^2}{4}}$$

Les coefficients  $A_1$  et  $A_2$  sont donnés par une abbaque en fonction des épaisseurs des tôles

$$\begin{aligned} A_1 &= 0,7 & \text{pour } C_1 &= 2\text{mm} \\ A_2 &= 0,65 & \text{" } C_2 &= 5\text{mm} \end{aligned}$$

et cela pour de l'acier doux

$$k = 0,85$$

$\epsilon_T$  résistivité de l'acier doux

$S_1$   
 $S_2$  ) épaisseurs des tôles en cm

$$R_{pc} = 0,7 \cdot 0,85 \cdot 0,14 \cdot \frac{0,2}{\pi \frac{1,2^2}{4}} + 0,65 \cdot 0,85 \cdot 0,14 \cdot \frac{0,5}{\pi \frac{1,2^2}{4}}$$

$$R_{pc} = 7,45 \mu\Omega$$

$$I_{2c} = \sqrt{\frac{1907}{0,24 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 7,45 \times 10^{-6} \cdot 0,4}} = 16200 \text{ A}$$

3) Calcul des résistances des pièces à souder

- Voir schémas
  - Schéma équivalent
  - Schéma figuratif

Soit  $S_1$  l'épaisseur de la tôle mince

Soit  $S_2$  l'épaisseur de la tôle épaisse.

Nous avons une relation qui donne :

$RS_1$  et  $RS_2$

$$RS_1 = 2 R'_{oh} \frac{CT}{S_1}$$

$$RS_2 = 2 R'_{oh} \frac{CT}{S_2}$$

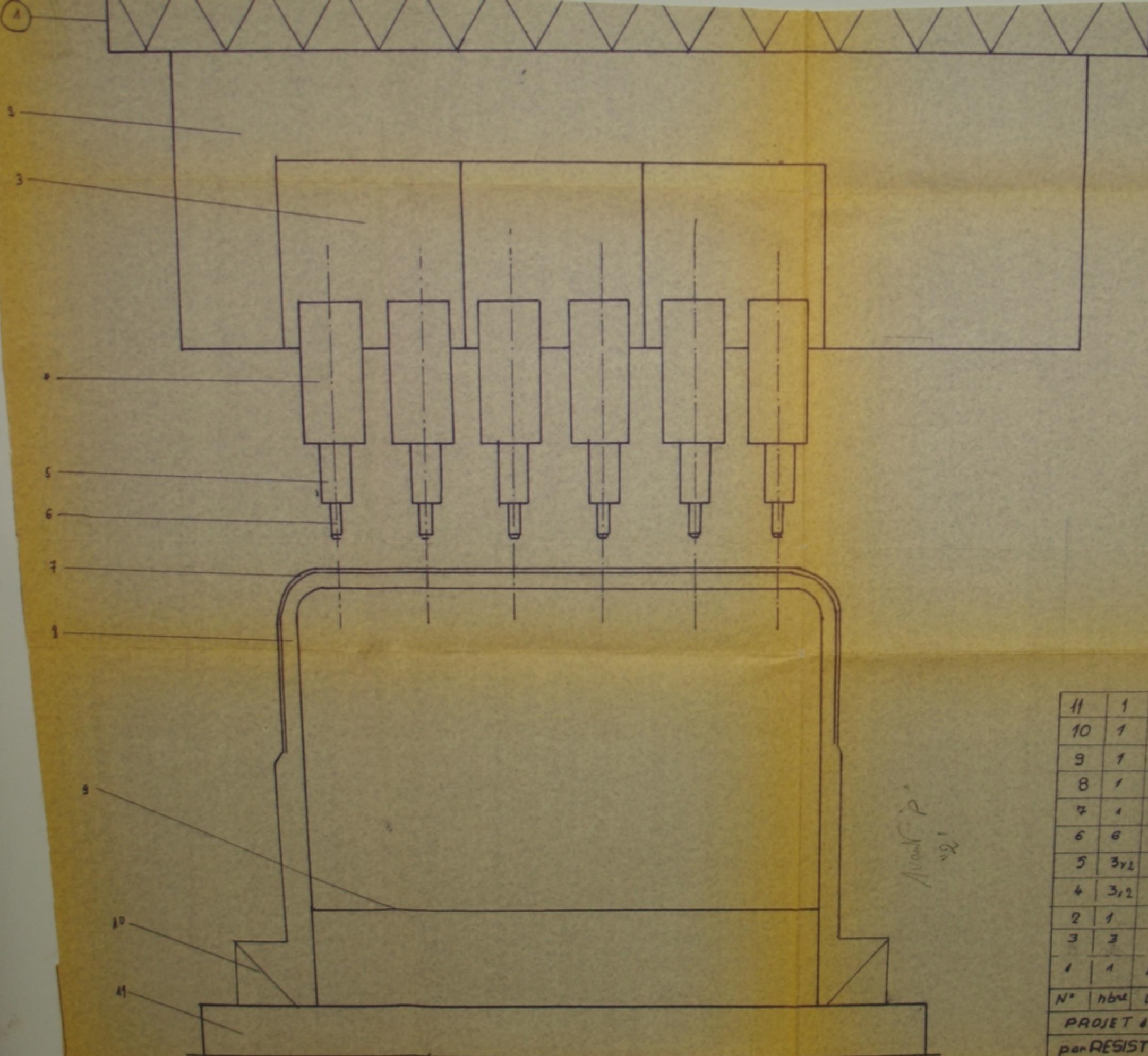
$R'_{oh}$  est un coefficient donné par un abbaque? Ce coefficient tient notamment compte de la distance entre 2 point de soudure et du diamètre de l'électrode.

Pour notre cas :

$$R'_{oh} = 2,60$$

Donc

$$RS_1 = 2,26 \times \frac{0,14}{0,2} = 415 \mu\Omega$$



PMO1075  
 Avant p.l.

Avant p.l.  
 12

11	1	chaîne de fabrication	
10	1	mode de fixation	
9	1	plancher de l'autocar	
8	1	Cornière Support	
7	1	tôle à souder	
6	6	electrode	
5	3x2	Porte electrode	
4	3x2	Cylindre	
2	1	Bati machine	
3	3	Transformateur	
1	1	bati pont roulant	
N°	nbre	DESIGNATION	OBSERVATIONS
PROJET de CONSTRUCTION d'une MACHINE à SOUDER			
par RESISTANCE type MULTIPONT AUTOMATIQUE			
SCHEMA DE PRINCIPE GENERALE			

$$R_{S2} = 2,26 \times \frac{0,14}{0,15} = 166 \text{ m}\Omega$$

4) Tension :  $U_e$

La tension  $U_e$  est la tension du circuit de soudage.

$$U_e = I_{ec} \times (2R_S + R_{S2})$$

$$= 16200 (15 + 166) = \underline{2,92 \text{ volts}}$$

$$U_e = 292 \text{ Volts}$$

5) Calcul du courant de SHUNT  $I_{ec}$

$$I_{1c} = \frac{U_e}{R_S} = \frac{2,96}{4,15 \times 10} = 7050 \text{ A}$$

$$\therefore \underline{I_{1c} = 7050 \text{ A}}$$

Calcul du courant total secondaire

$$I_2 = I_{1c} + I_{2c}$$

$$I_2 = \sqrt{I_1^2 + I_2^2}$$

$$= \sqrt{(16200)^2 + (7050)^2}$$

$$= \underline{16700 \text{ A}}$$

## CALCUL & CONSTRUCTION DU CIRCUIT SECONDAIRE

### EXTÉRIEUR

#### 1) Construction

Le circuit secondaire extérieur du transformateur comprend bien entendu l'assemblage des tôles à souder, la résistance et la réactance de cette partie a été calculé précédemment.

Maintenant nous allons procéder à la construction de circuit secondaire extérieur.

Ce circuit est composé d'éléments en cuivre de section cylindrique ou rectangulaire (voir schéma de construction de ce circuit). On remarque notamment le flexible qui a la forme d'un U, le rôle de ce flexible est de permettre le mouvement des électrodes pendant l'effort de pression exercé sur les tôles à souder. Ce circuit secondaire est terminé par une sprie secondaire (voir son schéma n° )

Tous ces éléments sont assemblés à l'aide de boulons et de vis. Remarquons que ces contacts ainsi réalisés ont une résistance ohmique que nous calculerons ; la pression dans ces contacts est supérieure à 0,4 Kg/mm<sup>2</sup>.

Pour éviter l'échauffement de tous ces éléments, certains tels que les électrodes seront refroidies à l'eau. Les autres le seront à l'air ainsi que les contacts entre tous ces éléments.

#### 2) Calcul du circuit extérieur

Nous allons maintenant déterminer les dimensions géométriques de chaque élément du circuit secondaire extérieur ainsi que les résistances et les réactances de chaque élément.

Nous avons trouvé précédemment que le courant secondaire total est égal à 16700 A.

Nous n'allons pas prendre comme base de calcul ce courant car le passage du courant dans tous ces conducteurs n'est pas continu et pour cela nous prendrons un courant de passage plus faible tel

$$I_c = \frac{10}{100} I_s$$

$$= 0,37 \cdot 16700$$

$$= 0,37 \times 16700$$

$$I_c = \boxed{6.200 \text{ A}}$$

Soit J la densité de courant admissible par le passage dans les divers éléments du circuit secondaire extérieur.

.N

2N

3N

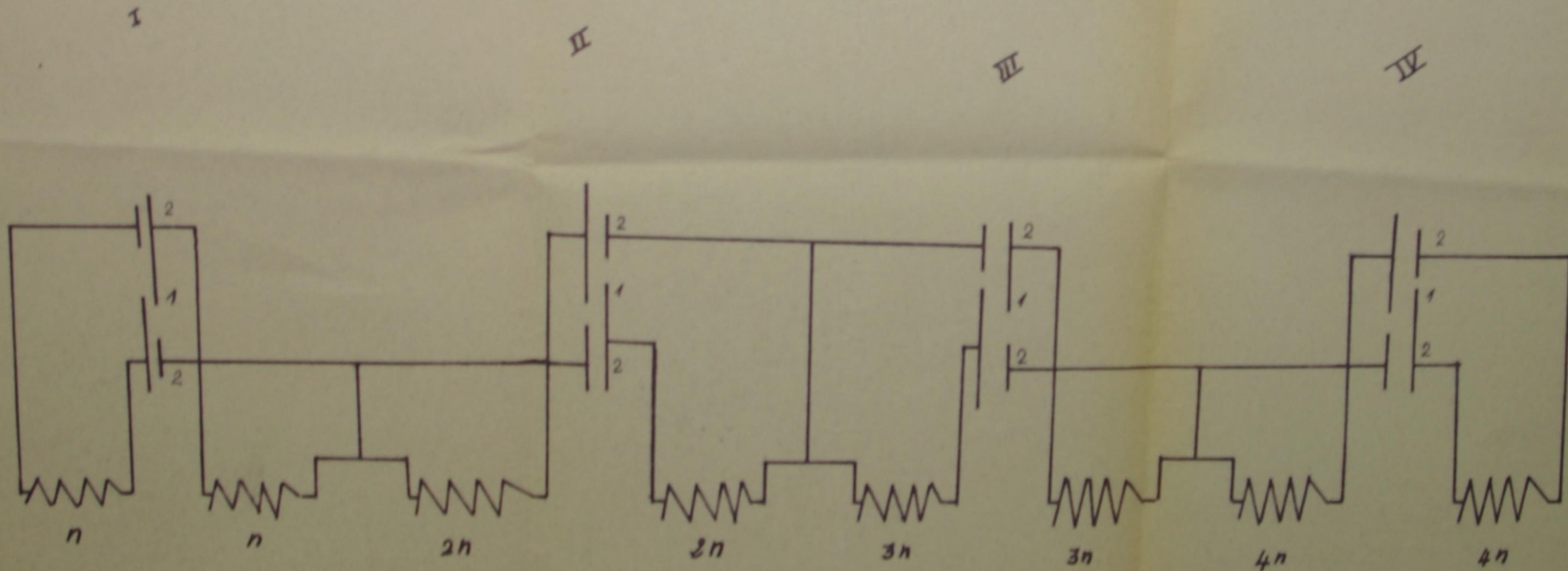
4N

N= 6,7

	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$	Nbre totale de spries	U2I	$I_2I$ A
1	1 70,5	1 70,5	1 70,5	1 70,5	20U 134	2,84 V	9450 A
2	2 49,5	1 79	1 79	1 79	19N 127	3 V	10.000A
3	1 87,5	2 43,751	1 87,5	1 87,5	18N 120	3,16 V	10.500A
4	2 48,5	2 408,5	1 97,5	1 97,5	17N 114	3,33 V	11.101A
5	1 97,5	1 97,5	2 48,5	1 97,5	17N 114	3,33 V	11.010A
6	2 54	1 107,5	2 54	1 107,5	16N 107	3,46	11.500A
7	1 127	2 63,5	2 63,5	1 127	15N 100	3,8	12.700A
8	2 72,5	2 72,5	2 72,5	1 145	14N 94	4,1	13.500A
9	1 107,5	1 107,5	2 107,5	2 54	16N 107	3,46	11.500A
10	2 63,5	1 127	1 127	2 63,5	15N 100	3,8	12.700A
11	1 145	2 72,5	1 145	2 72,5	14N 94	4,1	13.500A
12	2 83,5	2 83,5	1 167	2 83,5	13N 87	4,35	14.500A
13	1 167	1 167	2 83,5	2 83,5	13N 87	4,35	14.500A
14	2 99	1 198	2 99	2 99	12 80	4,75	15.800A
15	1 230	2 115	2 115	2 115	11N 74	5,15	17.00A
16	141	141	141	141	10 67	5,65	18.900A

## CIRCUIT PRIMAIRE D'un TRANSFORMATEUR.

ce circuit comprend 4 groupements symétriques de  
 $n$  spires,  $2n$ ,  $3n$  et  $4n$  spires  
 selon que l'on place la jonction en position 1 ou 2  
 on obtient une combinaison donnant un nbre de spires demandées



J en ampères/ mm<sup>2</sup>

Donc J est une donnée pour chaque élément du circuit.

A partir de là, nous pourrions calculer la section de chaque élément du circuit secondaire extérieur avec la relation suivante :

$$S = \frac{I}{j} \quad \frac{A}{A/mm^2}$$

Connaissant enfin S, on peut alors calculer la résistance ohmique de chaque partie avec la relation suivante :

$$R = \frac{L}{S}$$

L : Longueur

ρ : résistivité

s : section

Par un souci d'économie de matière et de puissance, nous prendrons pour L les longueurs minimales pour chaque éléments.

#### a) Cabul des électrodes

##### a1 - résistances

Nous avons choisi des électrodes cylindriques à point d'électrodes tronconiques (voir schéma )

La densité admissible j étant de 18 à 2.2 A/mm<sup>2</sup> pour du cuivre refroidi à l'eau.

Le courant de passage étant de 6200 A.

Nous avons alors une section :

$$S = \frac{I}{j} = \frac{6200}{20} = 3,1 \text{ cm}^2$$
$$= 3,1 \text{ cm}^2$$

$$S = \frac{6200}{20} = 320 \text{ mm}^2$$
$$= 3,2 \text{ cm}^2$$

donc le diamètre est

$$S = \frac{d^2}{4} \quad d^2 = \frac{4S}{4} = \frac{124}{4}$$
$$= 3,1 \text{ cm}^2$$
$$d = \sqrt{1,75 \text{ cm}}$$

Le diamètre de l'électrode est donc de 1,75 cm. Or nous avons déjà calculé précédemment que le diamètre de la pointe d'électrode est 1 cm. Donc on détermine exactement la pointe de l'électrode (voir schéma)

Soit 8 cm la longueur de l'électrode donc sa résistance totale est

$$R = \frac{L}{S}$$

$$R = \frac{2 \times 8}{3,1} = \boxed{5 \mu\Omega}$$

a2 - Réactance (voir schéma n° )

$$X_L = 1,37 \left( \frac{b \cdot r_c}{r_c} \right)^{0,38} 10^{-6} \Omega / \text{cm}$$

b distance entre les axes d'électrodes  
r<sub>c</sub> rayon des électrodes

$$X_L = 1,37 \left( \frac{60 - 0,87}{0,87} \right)^{0,38} 10^{-6} \Omega / \text{cm}$$

$$= 93^{0,38} = 5,6 \mu\Omega / \text{cm}$$

$$X_T = 5,6 \cdot 8 = 45 \mu\Omega$$

b) Porte-électrodes

b1) Résistance ohmique

Nous avons choisi aussi une section cylindrique pour le porte électrode.

La densité du courant admissible étant de 10 à 20 A/mm<sup>2</sup> et nous prenons 15 A/mm<sup>2</sup> (refroidi à l'eau).

La section des porte-électrodes sera :

$$S = \frac{I}{j} = \frac{6200}{1500} = 4,1 \text{ cm}^2$$

Calcul du diamètre :

$$\frac{\pi d^2}{4} = S \text{ donc } d^2 = \frac{4S}{\pi} = 4 \cdot \frac{4,1}{\pi} = 4 \text{ cm}^2$$

$$d = 2 \text{ cm}$$

Soit 5 cm la longueur des porte-électrodes

$$R = \rho \frac{L}{S} = 2,5 \times \frac{5}{4,1} = 3,1 \mu\Omega$$

$$\rho = 2,5 \mu\Omega \text{ cm}$$

$$R = 3,1 \mu\Omega$$

b2) Calcul de la réactance des porte électrodes :

Même calcul que dans le § a2 avec  $r = 1 \text{ cm}$ .

$$X_c = 1,37 (61) \cdot 10^{-6} \Omega / \text{cm}$$

$$\boxed{X_L = 6,5 \mu\Omega}$$

c) Elements rectangulaires

c1 : résistance ohmique

$$j = 15 \text{ A/mm}^2$$

$$S = \frac{I}{j} = \frac{6200}{1500} = 4,1 \text{ cm}^2$$

Calcul de la résistance ohmique totale des éléments rectangulaires

$$R = P \frac{L}{S} = 2,5 \times \frac{20}{4,1} = \boxed{12 \mu\Omega}$$

C2 : Réactance des éléments rectangulaires

$$X_L = 3,8 \left( \frac{30-2}{2} \cdot 1 \right)^{0,45} 10^{-7} \Omega / \text{cm}$$

$$= 3,8 \times 3,4 = 12,5$$

$$= 1,25 \Omega / \text{cm}$$

$$X_{\text{totale}} : 1,25 \times 20 = \boxed{25}$$

d) Calcul du flexible

d1 : résistance ohmique

$$j = 3 \text{ A/mm}^2$$

$$S = \frac{I}{j} = \frac{6200}{300} = 20 \text{ cm}^2$$

$$R = \frac{L}{S} = 2 \cdot \frac{20}{20}$$

$$= \boxed{2}$$

d2 : Réactance du flexible

Le flexible a une section de  $20 \text{ cm}^2$ . Nous lui donnons une section répartie telle que :  $2 \times 10$

Appliquons la formule relative aux sections rectangulaires.

$$X_L : 3,8 \left( \frac{3,5-2}{2} \cdot \frac{10}{2} \right)^{0,45} 10^{-7} \Omega / \text{cm}$$
$$= 3,8 (1,75)^{0,45} 10^{-7} \Omega / \text{cm} = 28 \cdot 10^{-7} \Omega$$

$$X_{L \text{ totale}} : 28 \times 15 = 42 \mu\Omega$$

$$\boxed{X_{LT} : 42 \mu\Omega}$$

Remarque importante

Pour trouver, l'impédance totale du circuit extérieur il y a lieu de multiplier chaque résistance et chaque réactance par deux car ces éléments existent en double dans le circuit.

Calculons l'impédance totale du circuit secondaire extérieur avec la résistance des pièces soudées. Pour cela, nous avons la relation suivante :

$$Z_T = \sqrt{(X_L)^2 + (R_{ps} + R_{ce})^2}$$

avec :

$X_L$  : réactance totale du circuit secondaire extérieur.

Pour cela, nous rappelons que la réactance des pièces soudées est négligeable étant donné la forte Intensité de courant

$R_{ps}$  : résistance des pièces à souder

$R_{ce}$  : résistance du circuit extérieur.

$$X_L = 2 (45 + 6,5 + 25 + 42)$$

$$\underline{X_L = 237 \mu\Omega}$$

$$R_{ce} = 2 (5 + 3,1 + 12 + 2) = 44,2$$

$$\underline{R_{ce} = 44,2 \mu\Omega}$$

$$R_{ps} = 126 \mu\Omega$$

donc

$$Z_{\text{Totale}} = \sqrt{237^2 + (44,2 + 126)^2}$$

$$= 10^2 \sqrt{5,6 + 3,9}$$

$$\underline{Z_{\text{totale}} : 308 \mu\Omega}$$

calcul de la tension secondaire

$$u_2 = Z_t \cdot I_2 = 308,16700 \cdot 10^{-4}$$

$$u_2 = 5,15 \text{ volts}$$

## CALCUL DU TRANSFORMATEUR

### 1) SCHEMA DEVELOPPE

Nous donnons au transformateur la possibilité d'obtenir 11 intensités différentes pour différents régimes de soudage.

Le schéma développé du circuit primaire du transformateur est composé de 4 groupes des spries

- 2 Fois n spries
- 2 fois 2n spries
- 2 fois 3n spries
- 2 fois 4n spries

Le branchement en série ou parallèle de ces diverses spries du circuit primaire, nous permettant d'obtenir 11 intensités primaires différentes, 11 intensités secondaires enfin 11 régimes de soudage.

- Voir circuit développé.

### 2) CALCUL DES SECTIONS DES SPRIES

#### a) Tableau récapitulatif

Ce tableau regroupe des diverses combinaisons des intensités primaires dans chaque groupement de spries.

Il donne aussi les 11 rapports de transformations ainsi que toutes les données nécessaires pour le calcul des sections des spries primaires et secondaires.

#### b) Calcul de section des spries primaires

Nous avons une tension primaire de 380 V

$$U_1 = 380 \text{ V} \quad U_2 = 5,15 \text{ V}$$

Le rapport de transformation pour ce régime est :

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{380}{5,15} \approx 74$$

Le tableau récapitulatif nous donne 11 combinaisons donc

$$11 \cdot n \text{ spries} = 74$$

$$n = \frac{74}{11} = 6,7$$

A partir de  $n = 6,7$  nous calculons tous les autres rapports de transformations des autres combinaisons, et tous ces calculs nous engendrent le tableau récapitulatif.

Compte tenu des isolants de la section réelle du Fer sera :

$$S'_{Fe} = \frac{129}{0,8} = 161,25 \text{ Cm}^2$$

Calculons les différentes dimensions du fer

Calcul de la section des ouvertures

$$S_o = \frac{\sum S_i n_i + S_2}{K_o}$$

$S_i$  Section des différentes spries

$n_i$  Nbre de spries de chaque groupement

$S_2$  Section secondaire totale

$K_o$  Coefficient d'évident.

$$S_o = \frac{25,29 \cdot 13,4 + 18,36 \cdot 26,8 + 18,36 \cdot 40,2 + 15,04 \cdot 53,01 + 701}{0,5} = 62,50 \text{ cm}^2$$

$$S_o = 62,50 \text{ cm}^2$$

Pour les possibilités et des dispositions des différents enroulements, nous majorons cette section à 70

Nous adoptons des sections rectangulaires des spries

Les dimensions géométriques sont a x b

a = hauteur

b = largeur.

Pour plus de commodités, nous adoptons la même largeur de spries :

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

De là, on peut déduire les dimensions des autres spries :

= Pour le groupement de spries 4 n

la section sera : 4 x 3,18 mm

- Pour le groupement de spries 3 n

la section sera : 5 x 3,672 mm

- Pour le groupement de spries 2 n

la section sera : 5 x 3,672 mm

- Pour le groupement de sprie n

la section sera : 5 x 5,056 mm

La section totale de la sprie secondaire est de 701 mm<sup>2</sup>

La section par groupement est :

$$\frac{701}{4} = 175 \text{ mm}^2$$

Les dimensions de cette sprie secondaire seront :

$$\underline{5,83 \times 3 \text{ mm}}$$

Déterminons maintenant diverses sections

$$S1_i = \frac{I_{\max}}{j} \quad 10 \%$$

$S1_i$  = section d'une sprie primaire relative à la combinaison i

$I_{\max}$  : Intensité maximale qui passe dans ce groupement des spries

$j$  Densité de courant admissible.

Le facteur 10 % représente le facteur de marche.

Dans le groupement de spries n

$$I_1 \max : 230$$

$$j_1 \quad 3 \text{ A/mm}^2$$

$$S1_n = \frac{230}{3} \quad 10 \% = \sqrt{25,29 \text{ mm}^2}$$

$$S12_n = \frac{167}{3} \quad 0,33 = \underline{18,36 \text{ mm}^2}$$

$$S13_n = \frac{167}{3} \quad 0,33 = \underline{18,36 \text{ mm}^2}$$

$$S14_n = \frac{145}{3} \quad 0,33 = \underline{15,94 \text{ mm}^2}$$

c) Section de la sprie secondaire

$$S2 = \frac{I2 \max}{j} \quad 10 \%$$

$$= \frac{17000}{8} \quad 0,33 = 701,25 \text{ mm}^2$$

3) Calcul du fer

De la formule de Boucherot relative aux inductions électromagnétiques, nous tirons la relation suivante :

$$SF_e = \frac{U2 \max \cdot 10^8}{4,44 \cdot f \cdot n2 \cdot B}$$

$f$  = fréquence

$n2$  = nbre de spries secondaires

$B$  = Inductance dans le fer en Gauss

= 18000 Gauss

$$SF_e = \frac{5,15 \cdot 10^8}{4,44 \cdot 50 \cdot 1 \cdot 18000}$$

$$\sqrt{SF_e} = 129 \text{ cm}^2$$

## Dimensions globales du Fer

- Voir représentation perspective

$$d = 90 \text{ mm}$$

$$c = 80 \text{ mm}$$

Donc la section totale corrigée

$$S_0 = 90 \times 80 = 7200 \text{ mm}^2$$

$$\boxed{S_0 = 72 \text{ cm}^2}$$

Détermination de B et H

$$S'_{Fe} = b \times h = 161,25 \text{ cm}^2$$

faisons  $b = h = 13 \text{ cm}$

donc les dimensions extérieures de l'ossature en fer sont :

$$\boxed{440 \times 130 \times 210 \text{ mm}}$$

## Calcul de la résistance et de la réactance du transformateur

a) Détermination exacte des dimensions de la spire secondaire :

La section de la spire secondaire est de :  $S_2 = 175 \text{ mm}^2$

$$S_2 = 3 \times 58,3 = 175 \text{ mm}^2$$

Calcul du périmètre moyen de la spire secondaire :

$$L_t = (b + h + 4a) \cdot 2 \quad (\text{Voir schéma})$$

$$\left. \begin{array}{l} h = b = 13 \\ a = 2,91 \end{array} \right\} \text{Périmètre} = T = 275,28 \text{ cm.}$$

Calcul de  $a_2$  et  $b_2$  (voir schéma de la spire secondaire)

$$\begin{aligned} a_2 &= 2 \times a + 1 \\ &= 2 \times 2,91 + 1 \\ &= \underline{7 \text{ cm}} \end{aligned}$$

$$\text{soit } b_2 = \underline{10 \text{ cm}}$$

Calcul de la résistance et de la réactance du transformateur :

La résistance totale du secondaire sera calculée d'après la formule :

$$R_{e2} = \beta_2 \cdot n_2^2 \cdot \rho_2 \cdot \frac{(T + 2a_2 - b_2)}{n_2 S_2} \text{ en } \mu\Omega$$

et la résistance primaire :

$$R_{e1} = \beta_1 \cdot n_1^2 \cdot \rho_1 \cdot \frac{T}{S_1} \text{ en } \mu\Omega$$

avec

B1 et B2, coefficients de majoration des pertes en courant alternatif respectivement dans le primaire et dans le secondaire.

*En et le* Résistivités respectives du primaire et du secondaire en cm

T, a2, B2, voir schéma de la sprie secondaire

m2 nombre total de plaques secondaires

S2 section d'une plaque secondaire en CM2

S1 section totale de tous les conducteurs primaires connectés en parallèle en cm2

Finalment la formule définitive employée est :

$$R_t = n_2^2 \left[ \frac{\beta_2 e_2 (T + 2a_2 - b_2)}{n_2 S_2} + \frac{\beta_1 e_1 T}{n_1 S_1} \right] \text{ en } \mu\Omega$$

$$B_2 = 1,35$$

$$B_1 = 1,32$$

$$\beta_1 = 2,5 \quad \text{cm pour le cuivre coulé}$$

$$\beta_2 = 20 \quad \text{cm pour le cuivre laminé}$$

$$m_2 = 4 \quad n_1^1 = 134 \text{ prix maximum}$$

$$m_2^0 = 74 \text{ prix minimum}$$

$$S_2 = 175 \text{ mm}^2$$

$$S_1 = 25,29 \text{ mm}^2$$

Prise maximum

$$R_t = 1^2 \left[ 1,35 \cdot 2,5 \cdot \left[ \frac{75,28 + 2 \cdot 7 - 10}{4 \cdot 175} \right] + \frac{1,32 \cdot 2 \cdot 75}{74 \cdot 25,29} \right]$$

$$= 3,37 \left[ \frac{51,28}{7} + [1,0,7] \right]$$

$$\boxed{R_c = 35,38}$$

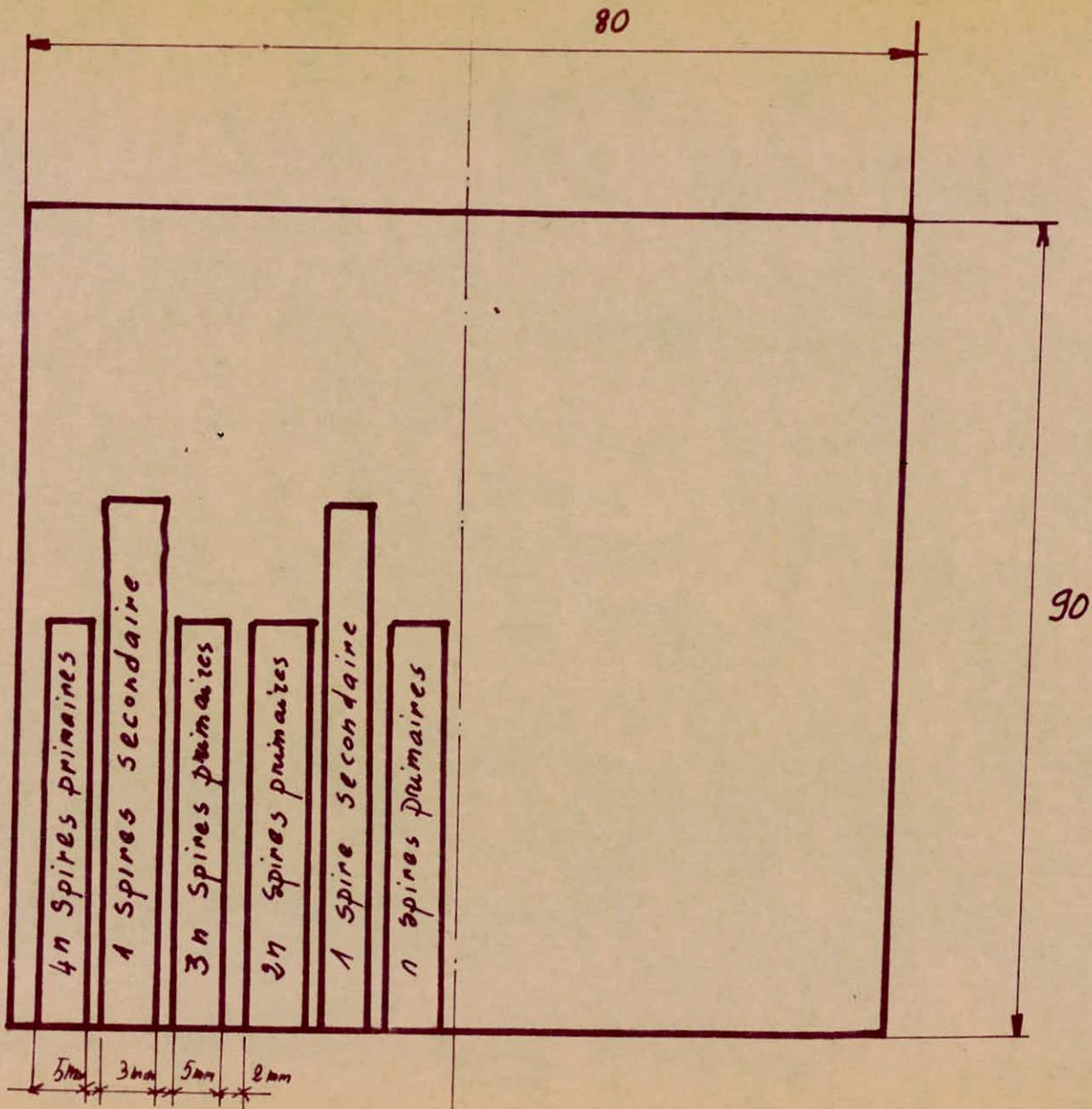
Prise minimum

$$n = 134$$

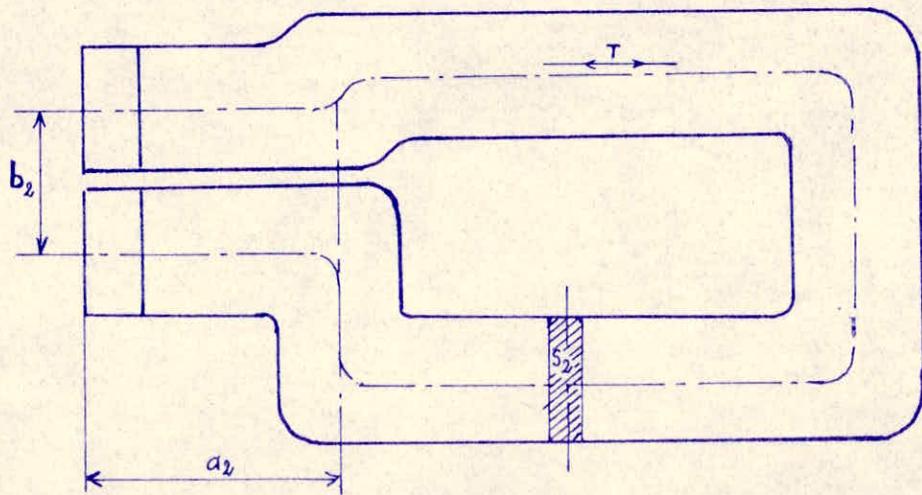
$$R_t = 24,68 + \frac{1,32 \cdot 2 \cdot 75}{134 \cdot 25,29}$$

$$R_t = 24,68 + 5,91 = \boxed{30,59 \text{ } \mu\Omega}$$

Xo = 17. pour notre cas  
donc pour la prise minimum



DISPOSITION DES ENROULEMENTS



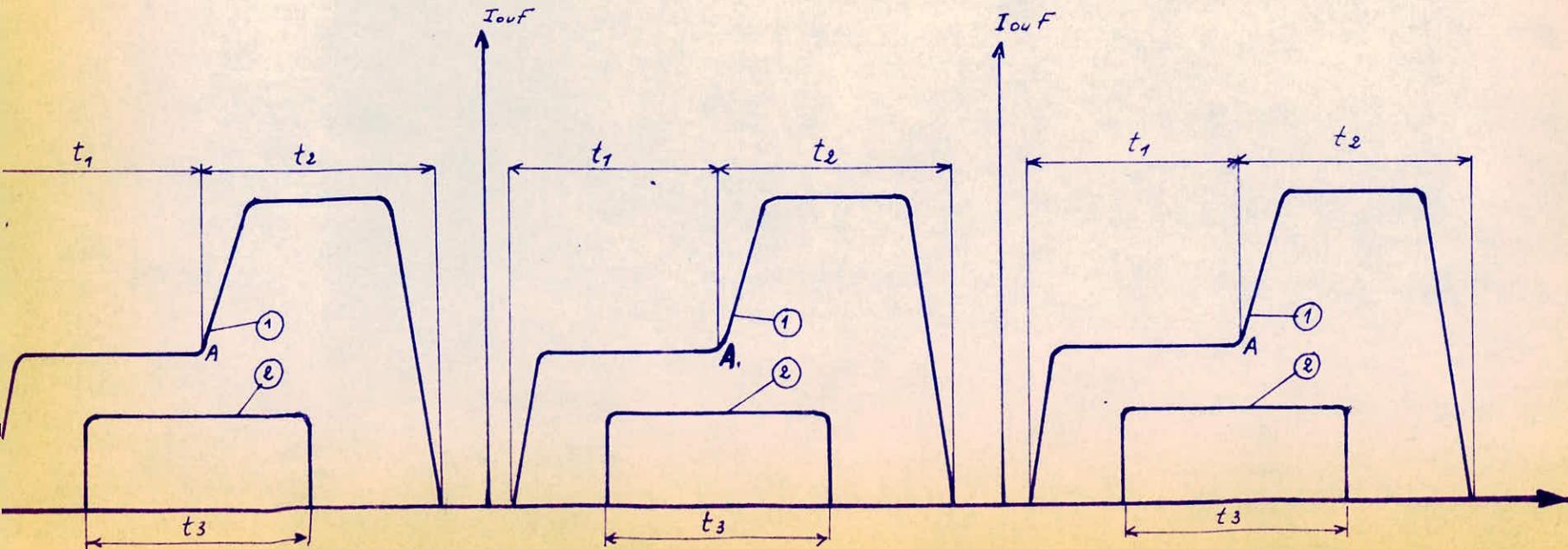
SCHEMA TYPE D'UNE SPIRE SECONDAIRE

DIAGRAMME DES EFFORTS ET INTENSITE' POUR LES TROIS TRANSFORMATEURS.

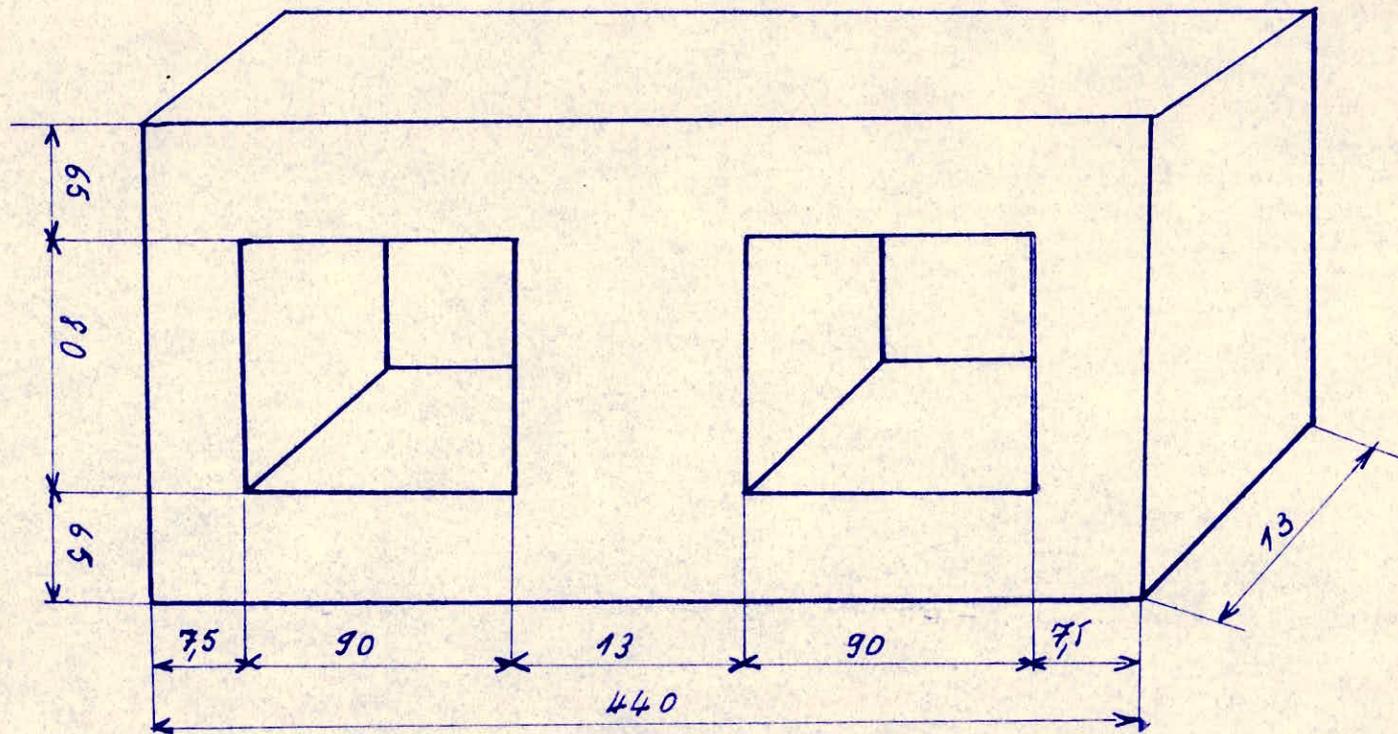
$t_3$ : temps de soudage.

$t_1$ : temps de serrage d'approche.

$t_2$ : temps de serrage de soudage.



DIMENSIONNEMENT GLOBALE DE L'ENTRE-FER.



SCHEMA N°

$$X_t = n_2^2$$

$$= 4,25 + 3,75$$

$$= \boxed{10}$$

$X_t$  pour la prise maximum

$$X_t = 4,25 + 3,75 \times \frac{134}{74}$$

$$= 4,25 + 6,79$$

$$= \boxed{12,5}$$

Calcul de la réactance du transformateur

$$X_t = n_2^2 \left[ \frac{X_0}{m_2} + 1,97 \frac{\Delta T}{m_0 H_0} \left( d + 1 \frac{e_1 + e_2}{2} \right) \right] \text{ en } \mu\Omega$$

$n$  est le nombre de groupe symétriques des bobinages.

C1 et C2 dimensions géométriques

$d$  espacement entre spires

$\lambda$  est un coefficient qui dépend du rapport

$$\frac{H_0}{2d + e_1 + e_2} \quad \lambda = 0,91$$

les transformateurs refroidis à l'eau finalement :

$$X_t = n_2^2 \left[ \frac{X_0}{m_2} + 1,8 \frac{\Delta T}{m \cdot H_0} \left( d + \frac{e_1 + e_2}{2} \right) \right] \text{ en } \mu\Omega$$

$X_0$  : impédance de sortie du secondaire donnée par un abaque.

finalement :

Impédance sur la prise minimum

$$Z_t = \sqrt{10^2 + 3059^2}$$

$$= \sqrt{1357} = \boxed{37 \mu\Omega}$$

Impédance sur la prise maximum

$$Z_c = \sqrt{13^2 + 185^2}$$

$$= \sqrt{169 + 1225}$$

$$\boxed{Z_t = 39 \mu\Omega}$$

Calcul de la puissance du transformateur

Impédance globale du circuit.

$$Z = \sqrt{(X_e + X_t)^2 + (R_t + R_2)^2}$$

$$X_e = 237 \mu\Omega$$

$$R_e = 170,2 \mu\Omega$$

$$R_t = 35 \mu\Omega \quad x_t = 13 \mu\Omega$$

$$Z = \sqrt{(237 + 13)^2 + (170,2 + 35)^2}$$

$$= \sqrt{62500 + 42025}$$

$$\boxed{Z \text{ totale} = 325}$$

Puissance instantanée au bornes du transformateur

$$P = U_2 \cdot I_2 = U_1 \cdot I_1$$

$$= 17000 \times 5,15 = \boxed{87,55 \text{ KVA}}$$

Puissance instantanée absorbée au réseau.

$$I_1 = \frac{P}{U_1} = \frac{87550}{360} = 243 \text{ A}$$

$$P_{\text{rosea}} = 243 \times 380 = 92413 \text{ VA}$$

$$= \boxed{92,5 \text{ KVA}}$$

#### Calcul du débit de refroidissement des circuits électriques :

Les transformateurs de la machine ainsi que les circuits électriques annexés sont refroidis à l'eau.

En l'absence d'éléments de calcul très précis, nous donnons ici une estimation du débit d'eau nécessaire pour le refroidissement de la machine.

Nous remarquons que la température maximale que doit attendre le transformateur est environ 80 °.

Nous prenons comme donnée de base de puissance  $P_p$  : puissance apparente absorbée en régime équivalent permanent :

$$P_p = P \sqrt{\frac{\alpha}{100}}$$

$$= 87 \sqrt{\frac{1,0}{100}} = 28,71 \text{ KVA}$$

La formule globale donnant le débit d'eau est :

$$D = 15 P_p \text{ en l/heure}$$

$$= \boxed{15 \cdot 28,71 = 430 \text{ l/heure}}$$

## ETUDE DES CIRCUITS HYDRAULIQUES DE COMMANDE

Pour commander les électrodes, nous utilisons une commande pneumatique. L'organe moteur de cette commande pneumatique est un cylindre avec piston alimenté par de l'air comprimé, ce dispositif comprend :

- 1 Filtre destiné à débarrasser l'air comprimé arrivant à la machine, de l'eau, des poussières etc... qui pourraient nuire au bon fonctionnement de la machine.
- 1 manodétendeur destiné à réduire la pression d'air d'alimentation à la pression nécessaire pour obtenir l'effort de compression désiré.
- 1 manomètre indiquant la pression réglée.
- 1 électrovanne dont le rôle consiste à admettre l'air comprimé dans le cylindre.
- 1 cylindre avec piston dont la tige est fixée sur le support du porte électrode et lui communique les efforts (voir schéma du principe d'une alimentation pneumatique).

Sur le tableau donnant les intensités de soudage en fonction de l'effort de compression, nous trouvons qu'il faut 1 charge de 500 Kg par point de soudure.

### Détermination du diamètre du piston

La pression de l'air comprimé de l'usure étant de 5 Kg/cm<sup>2</sup>, nous utilisons de l'air comprimé à 3 Kg/cm<sup>2</sup>.

La section du piston sera :

$$\frac{500}{3} = 166,66 \text{ cm}^2$$

soit 1 diamètre de 145,7 mm

Pour des souci d'environnement dans l'usure , nous adoptons un cycle de soudage avec variation de pression (voir schéma de dispositif pneumatique approprié n° )

Le cylindre de ce dispositif comprend deux chambres : la chambre supérieure à la surface du piston est S1 et la chambre inférieure à la surface du piston est S2.

L'admission d'air comprimé à la chambre supérieure est commandée par l'électrovanne EV1, c'est une électrovanne, trois voies normalement fermées (NF) à l'état de repos, c'est à dire, l'électrovanne n'étant pas excitée électriquement, l'air comprimé n'est pas admis à la chambre supérieure qui est mise en communication avec l'atmosphère par l'échappement de la vanne même. Si l'électrovanne est excitée électriquement, l'orifice

d'échappement de la vanne est fermé et l'air comprimé réglé à la pression  $P^*1$  est admis dans la chambre supérieure du cylindre.

L'admission d'air comprimé à la chambre inférieure est commandée par l'électrovanne EV2. C'est une électrovanne trois voies normalement ouverte (N O) qui est à l'état de repos (non excitée) qui dirige l'air comprimé à la pression P2 dans la chambre inférieure du cylindre.

Si l'électrovanne est à l'état excité, l'admission d'air comprimé est coupée et la partie inférieure du cylindre est mise en communication avec l'atmosphère par l'échappement de la vanne.

Le cycle de soudage se réalise comme suit : (voir fig. n° ) pendant l'accostage et une partie de temps de soudage ( $T1$ ) seule l'électrovanne EV1 est excitée, l'électrovanne EV2 reste à l'état de repos.

$$- \text{L'effort aux électrodes} = p1 S1 - p2 S2$$

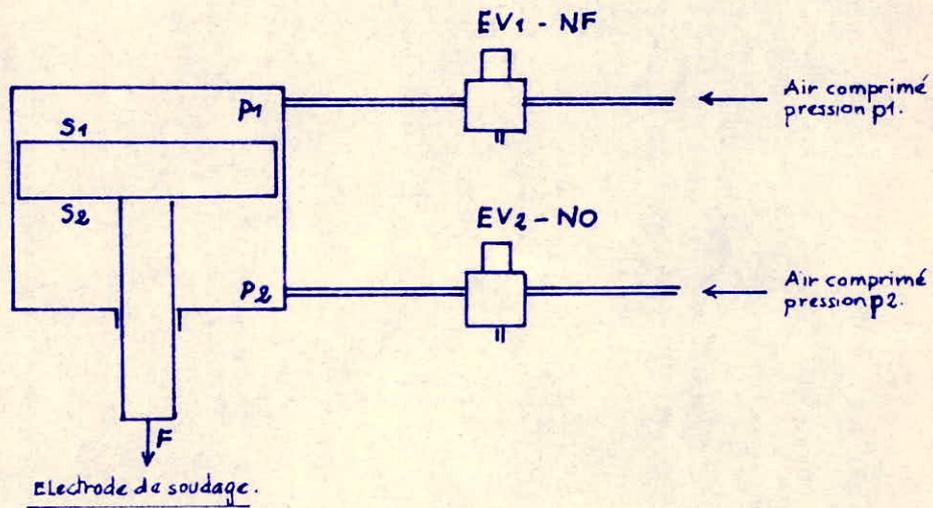
A un moment donné point A, après le temps  $t1$ , l'électrovanne EV2 est mise sans tension automatiquement grâce à un appareil électronique tandis que l'électrovanne EV1 reste excitée, l'air comprimé est évacué de la chambre inférieure.

et l'effort aux électrodes est  $p1 S1$

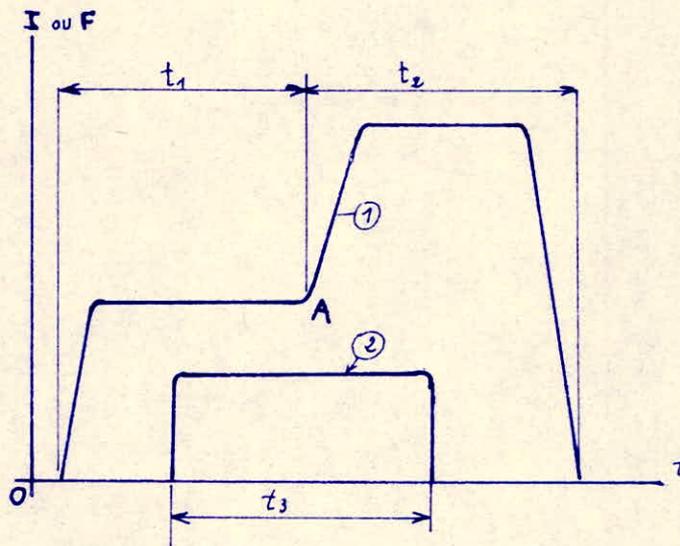
Cet effort  $p1.S1$  est l'effort de forgeage qui peut être notablement supérieure à l'effort de soudage  $P1 S1 - p2 S2$ .

Cet état persiste jusqu'à la fin du maintien, à la fin du maintien des deux électrovannes sont désexcitées et la tête remonte, revant à l'état initial.

REMARQUONS que chaque cylindre est équipé d'un système d'équipement pareil.



Dispositif pneumatique pour cycle à pression variable.



CYCLE DE SOUDAGE AVEC VARIATION DE PRESSION

- ① EFFORTS AUX ELECTRODES
- ② INTENSITÉ DU COURANT DE SOUDAGE

1) RACCORDÉMENT SOURCE D'AIR COMPRIMÉ.

2) FILTRE.

3) MANODÉTENDEUR

4) MANOMÈTRE.

5) LUBRIFICATEUR.

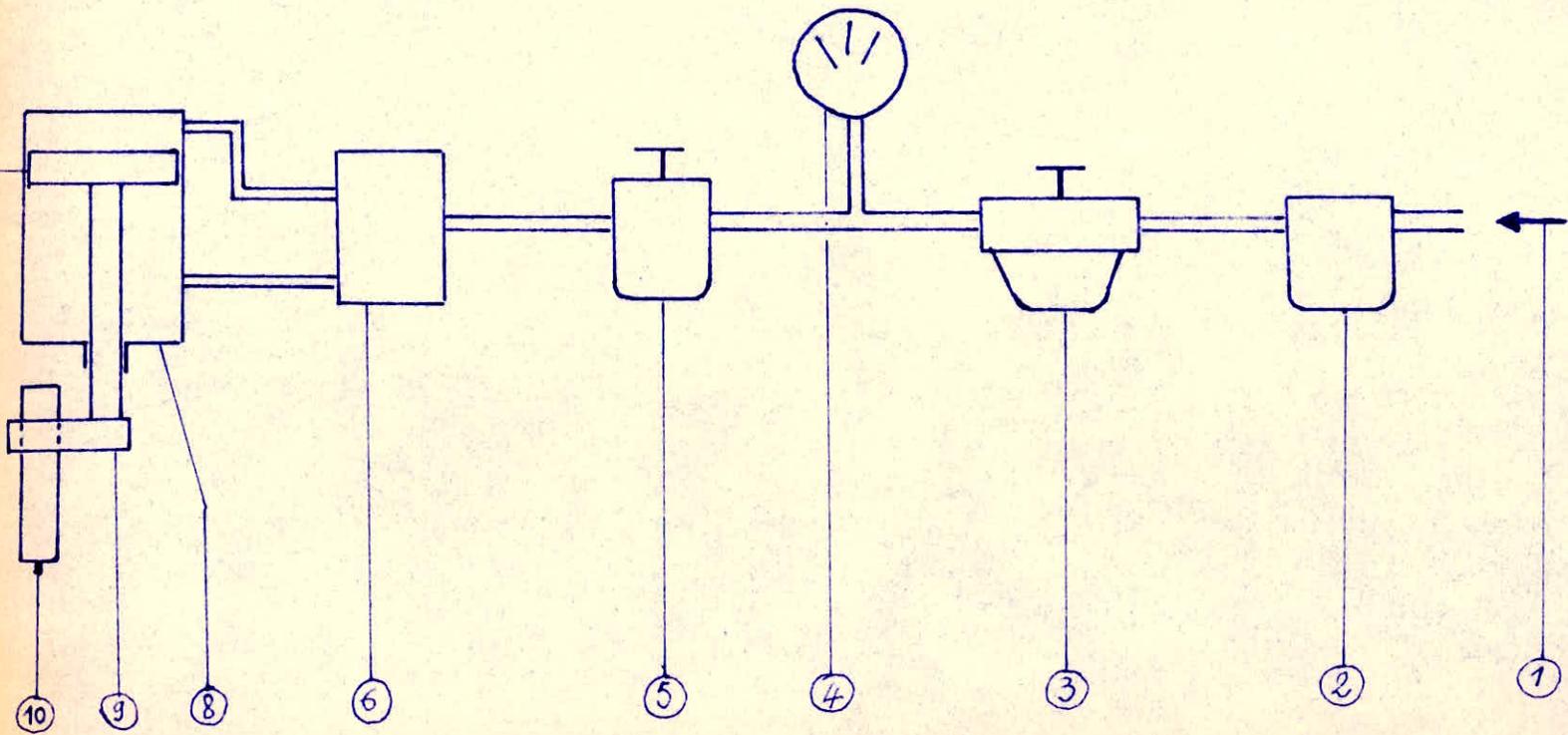
6) ELECTROVANE QUATRE VOIES.

7) PISTON

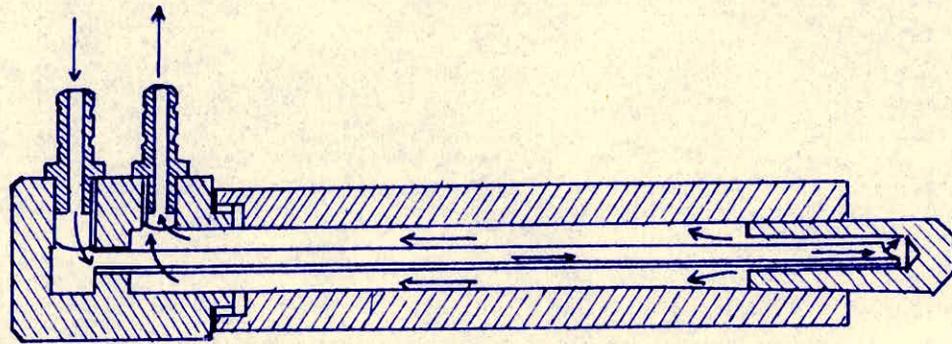
8) CYLINDRE PNEUMATIQUE

9) SUPPORT DE PORTE-ELECTRODE.

10) PORTE-ELECTRODE AVEC SON ÉLECTRODE.



PRINCIPE D'UNE ALIMENTATION PNEUMATIQUE.



PORTE-ELECTRODE AVEC SA CIRCULATION D'EAU.

I - La tôle d'acier devant être soudée sur une ossature formée de cornières il y a lieu de vérifier est-ce que l'effort de soudage n'entraînerait pas de déformation de cette ossature en cornières.

En plus, nous avons 6 points de soudure à faire sur chaque support nous allons voir si la construction résisterait à la charge simultanée de ces efforts (voir schéma et diagramme de ces efforts).

Nous avons un système hyperstatique à 6 inconnues. Dans le cas où la charge est symétrique ou répartie, nous utiliserons la propriété de symétrie pour éliminer 3 inconnues, si non on est obligé de résoudre 6 équations?

Examinons le système d'équations :

$$A_{11} X_1 + A_{12} X_2 + A_{13} X_3 + B_{1p} = 0$$

$$A_{21} X_1 + A_{22} X_2 + A_{23} X_3 + B_{2p} = 0$$

$$A_{31} X_1 + A_{32} X_2 + A_{33} X_3 + B_{3p} = 0$$

#### Calcul des différents coefficients

##### 1) Cas de la charge répartie

$$A_{11} = b^3/3 + b^2h = 20,7$$

$$A_{21} = A_{12} = b^2h/2 + bh^2/2 = 8,38$$

$$A_{31} = A_{13} = b^2/2 + bh = 8,4$$

$$A_{22} = 2/3 h^3 + bh^2 = 6,53$$

$$A_{23} = A_{32} = h^2 + bh = 5,59$$

$$A_{33} = 2h + b = 5,6$$

$$B_{1p} = -(qb^4/8 + qb^3h/2) = 33210$$

$$B_{2p} = -(qb^3h/6 + qb^2h^2/4) = 11583$$

$$B_{3p} = -(qb^3/6 + qb^2h/2) = 12420$$

Calcul de la charge répartie q

Finalement nous obtenons le système suivant :

$$20,7 X_1 + 8,38 X_2 + 8,4 X_3 = 33210$$

$$8,38 X_1 + 6,53 X_2 + 5,59 X_3 = 11583$$

$$8,4 X_1 + 5,59 X_2 + 5,6 X_3 = 12420$$

Calculons le déterminant de ce système :

$$D \begin{pmatrix} 20,7 & 8,38 & 8,4 \\ 8,38 & 6,53 & 5,59 \\ 8,4 & 5,59 & 5,6 \end{pmatrix} = 43,1$$

$$D = 43,1$$

Tout calcul fait, nous obtenons les solutions du système.

$$X_1 = 1800 \text{ Kg}$$

$$X_2 = 365,30 \text{ Kg}$$

$$X_3 = 365,30 \text{ m.kg}$$

Remarquons que pour le calcul des différents coefficients A11, A21 etc... la méthode de Véréchaguine.

A partir des solutions du système, nous allons construire les diagrammes des moments fléchissants résultants et les diagrammes des efforts tranchants. De ces diagrammes, nous déduirons le moment fléchissant maximum et l'effort tranchant maximum que doit supporter une cornière sous l'effet des efforts de soudage simultanés.

Le diagramme des moments fléchissant nous donne un moment fléchissant maximum de 2190,19 kg.m et un effort tranchant de 3000 Kg.

Nous avons une cornière en U d'épaisseur  $\phi = 5 \text{ mm}$ , un abaque nous donne les différentes caractéristiques de la cornière

hauteur b : 50 mm

longueur h : 120 mm

Moment d'inertie  $I_x = 304 \text{ cm}^4$

Moment d'inertie  $I_y = 31,2 \text{ cm}^4$

Moment statique  $S_x = 29,6 \text{ cm}^3$

rapport  $W_x = I_x/Y_{\text{max}} = 50,6 \text{ cm}^3$

rapport  $W_y = I_y/X_{\text{max}} = 8,52 \text{ cm}^3$

$Z_0$  ordonnée du centre de gravité : 15,4 mm

A l'aide de toutes ces données, nous pouvons déterminer la contrainte résultante dus l'effet du moment fléchissant :

$$T_{\max} = \frac{M_{\max} \cdot Y_{\max}}{I_x}$$

Remarquons que :  $Y_{\max} = b - Z_0$

$$C_{\max} = \frac{2190,19 \times 3,46 \times 10^2}{304} = 2492,78 \text{ Kg/cm}^2$$

$$C_{\max} = 2492,78 \text{ Kg/cm}^2$$

Calculons maintenant la contrainte résultante de l'effort tranchant maximum.

$$T_{\max} = \frac{Q \cdot S}{I \cdot Y_{\max}} = \frac{3000 \times 29,6}{304 \cdot 3,46} = 84 \text{ Kg/cm}^2$$

De ces deux contraintes de flexion, nous déduirons la contrainte maximale par la relation suivante :

$$\begin{aligned} C_{\max} &= (\sigma + \sqrt{V C^2 + T^2}) \times 1/2 \\ &= 2492 + \sqrt{2492^2 + 84^2} \\ &= 2496 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Nous avons dit que nous utilisons de l'acier doux A 45 qui un acier de construction ordinaire. Sa résistance à la rupture est 45 Kg/mm<sup>2</sup> soit 4500 Kg/cm<sup>2</sup>.

Nous prenons un coefficient de sécurité de 2,25 donc nous obtenons une contrainte admissible de

$$R = \frac{R_p}{a} = \frac{R_p}{2,25}$$

avec :

R = Contrainte admissible

$R_p$  = Résistance à la rupture

a = coefficient de sécurité

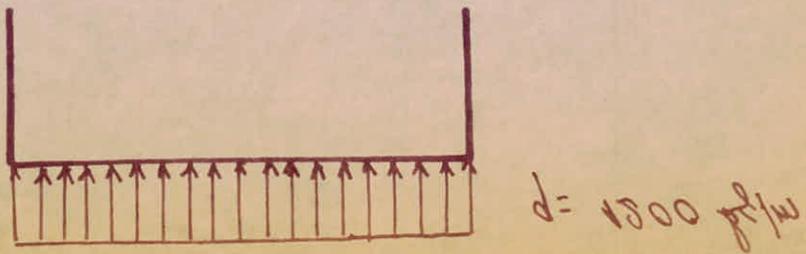
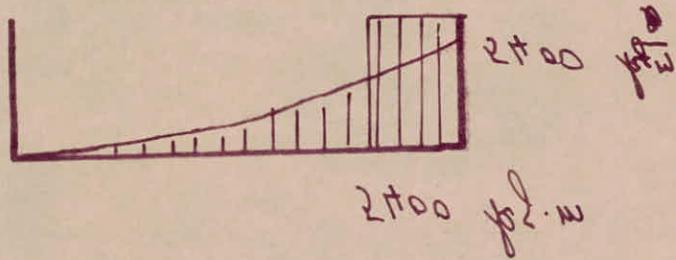
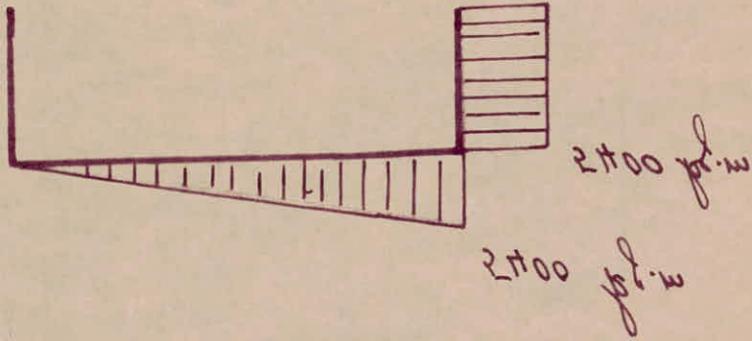
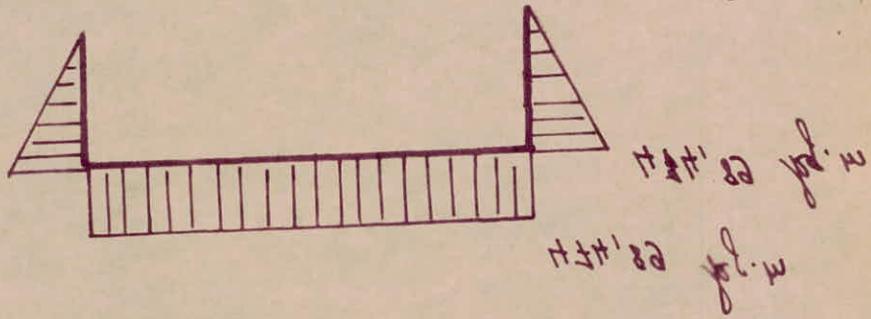
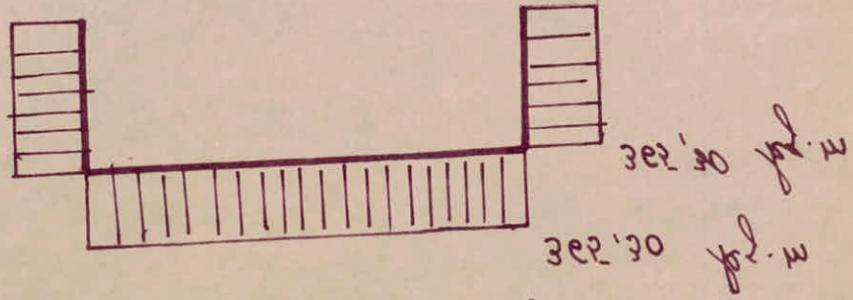
dont

$$R = \frac{4500}{2,25} = 2000 \text{ Kg/cm}^2$$

Or nous venons de calculer que notre contrainte résultante est de 2496 Kg/cm<sup>2</sup> et cette dernière nous indique que nous avons dépassé la contrainte admissible. Pratiquement, cela veut dire que nous ne pouvons pas faire les 6 points de soudure à la fois, sinon la cornière ne pourrait pas supporter les efforts et il en résulte une déformation de l'ossature.

Pour remédier à cet inconvénient, nous envisageons d'exécuter les points de soudure par pair de deux et pour cela, nous allons entreprendre la même étude que celle faite précédemment.

Diagrams of flow in various channels



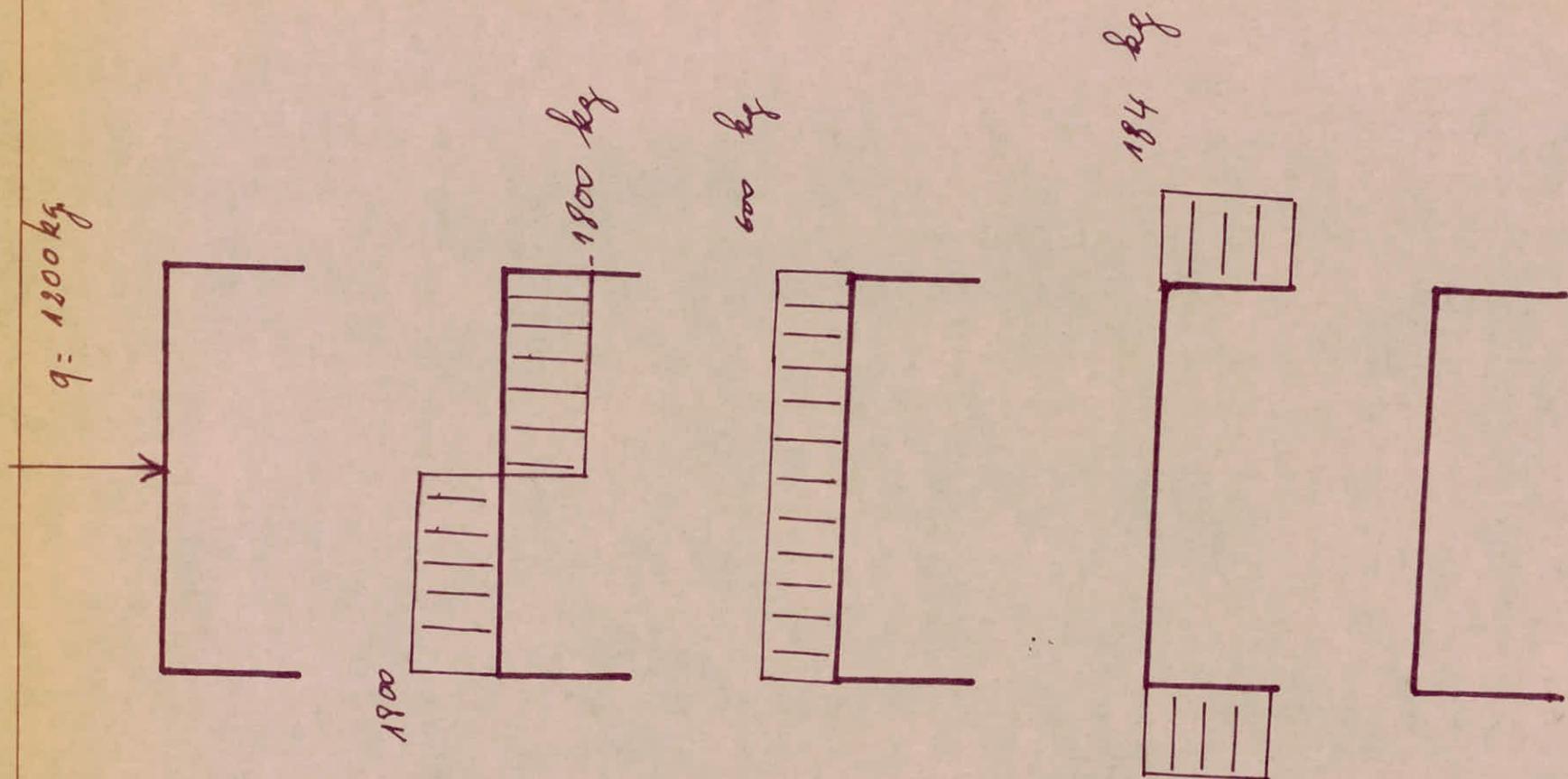


Diagramme efforts tranchants Charge Symétrique

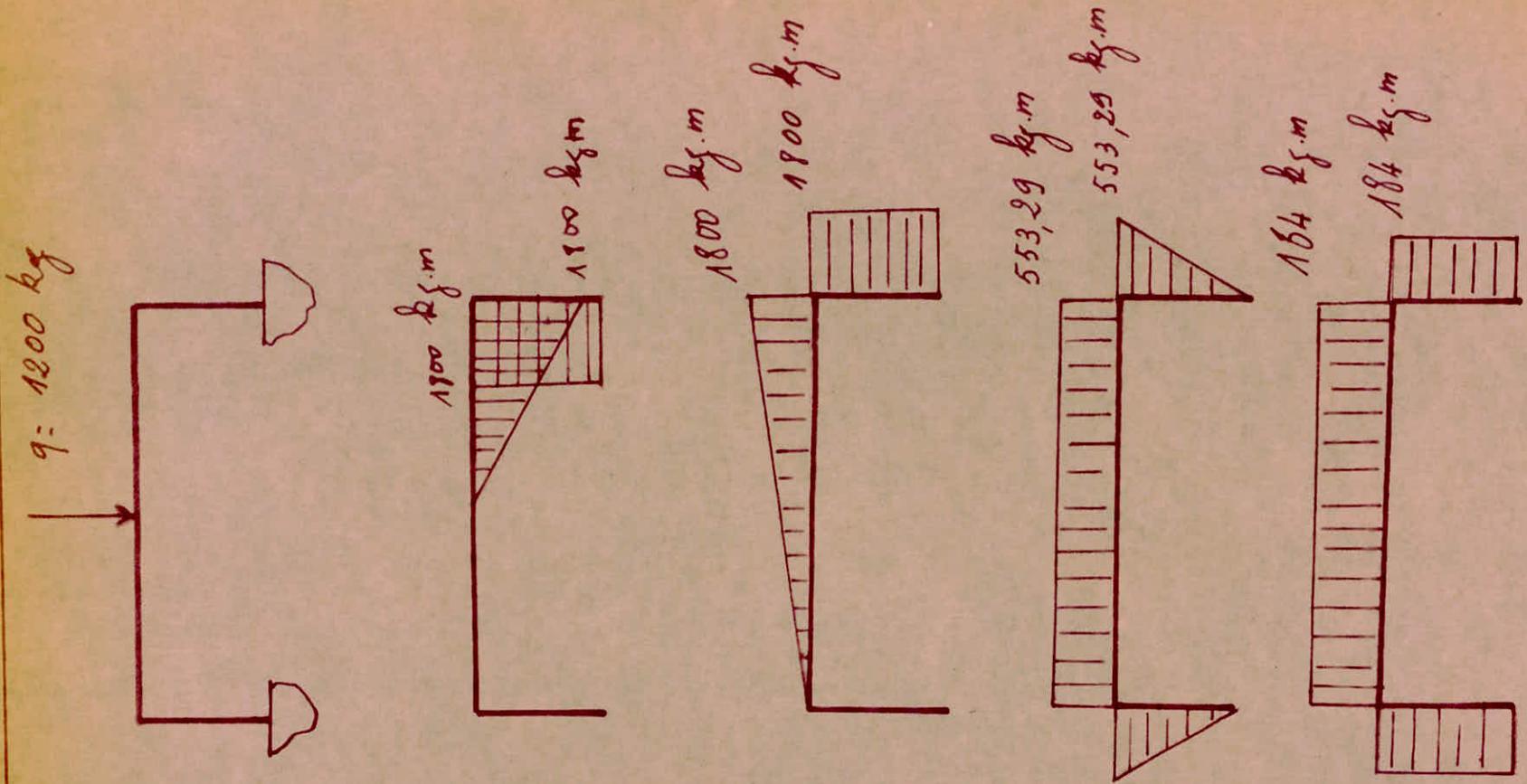


Diagramme Moments Flechissants Charge Symétrique

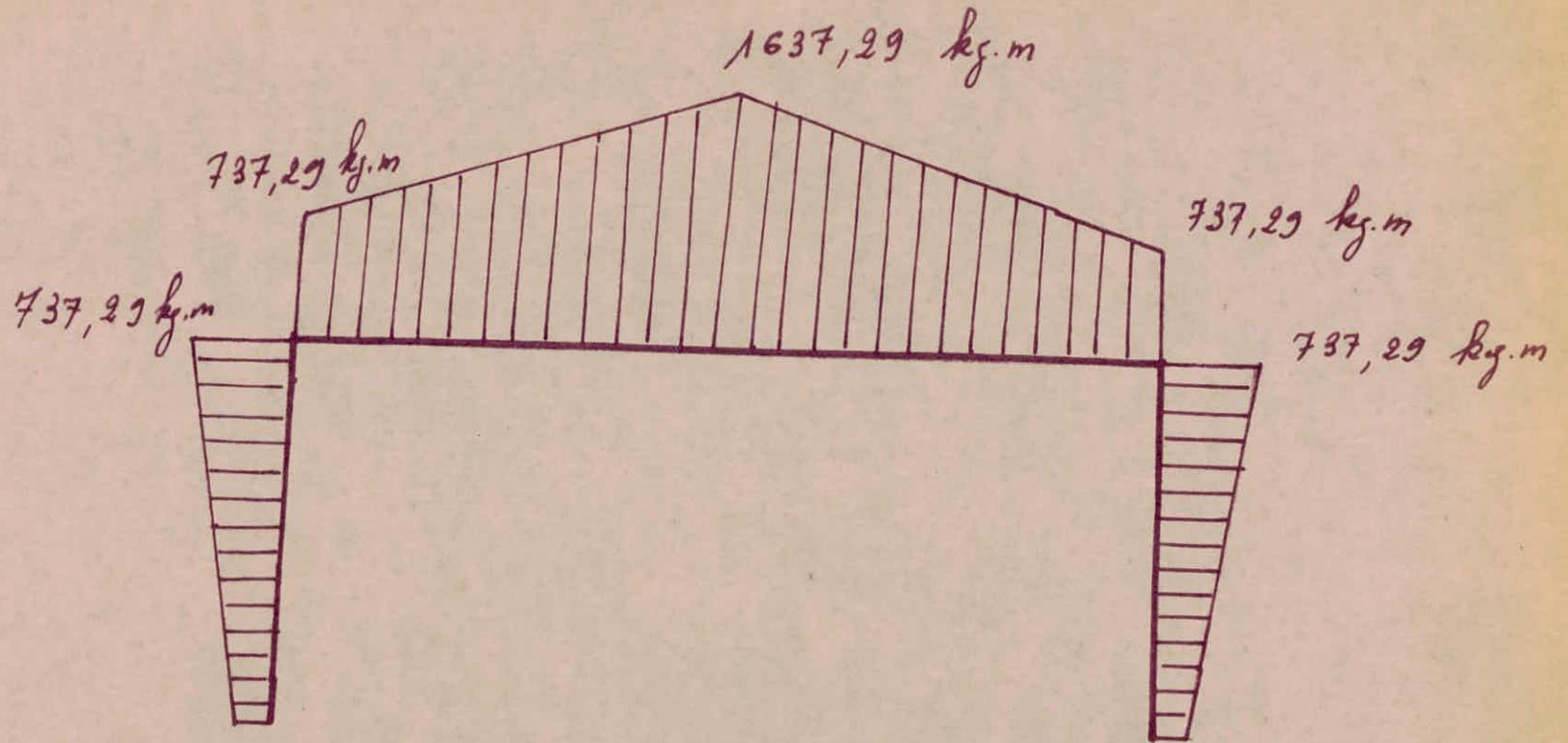


Diagramme Moments Flechissements Charge Symetrique

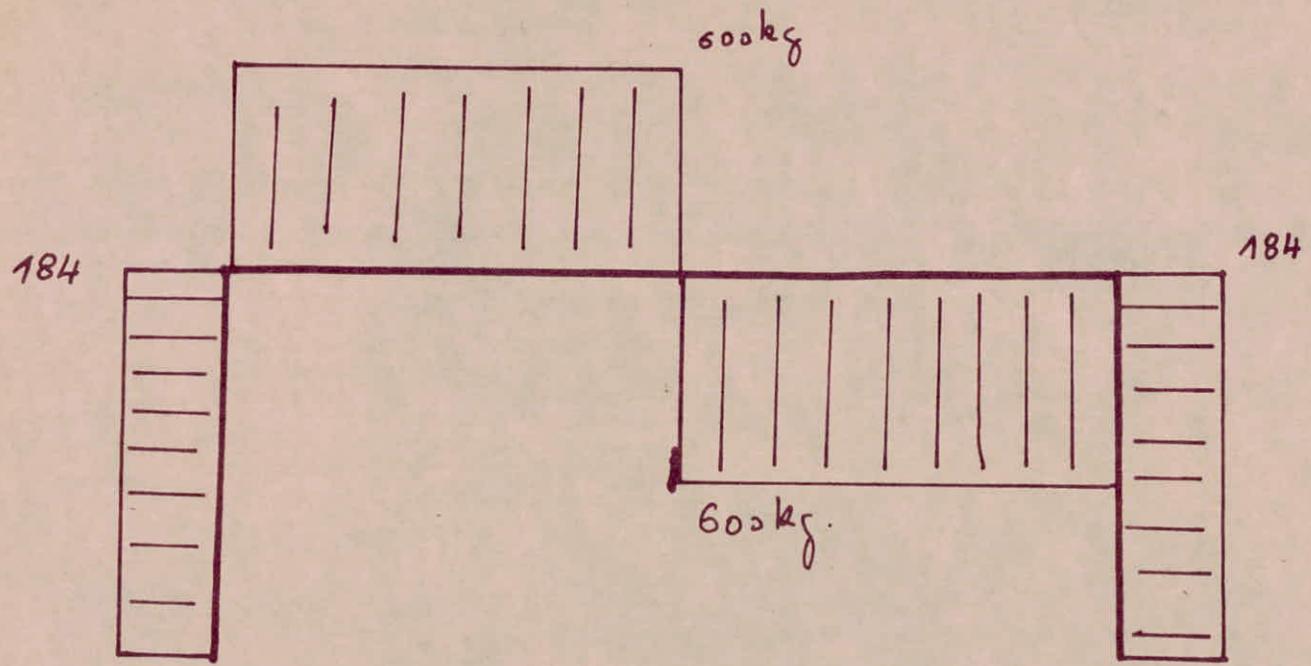


DIAGRAMME DES EFFORTS TRANCHANTS CHARGE SYMETRIQUE

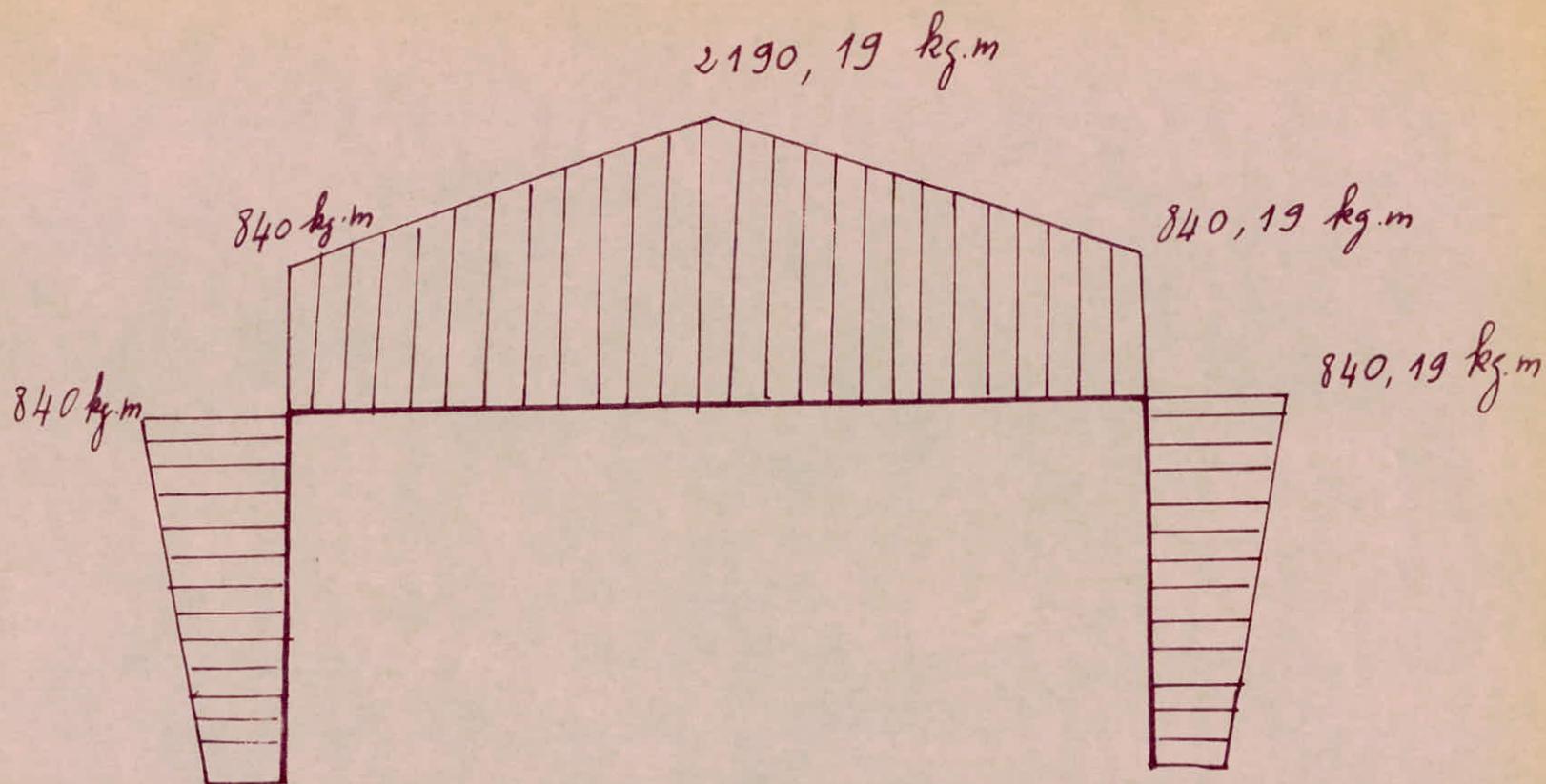


Diagramme Des Moments Flechissants Charge Repartie  $q = 1200 \text{ kg/m}$

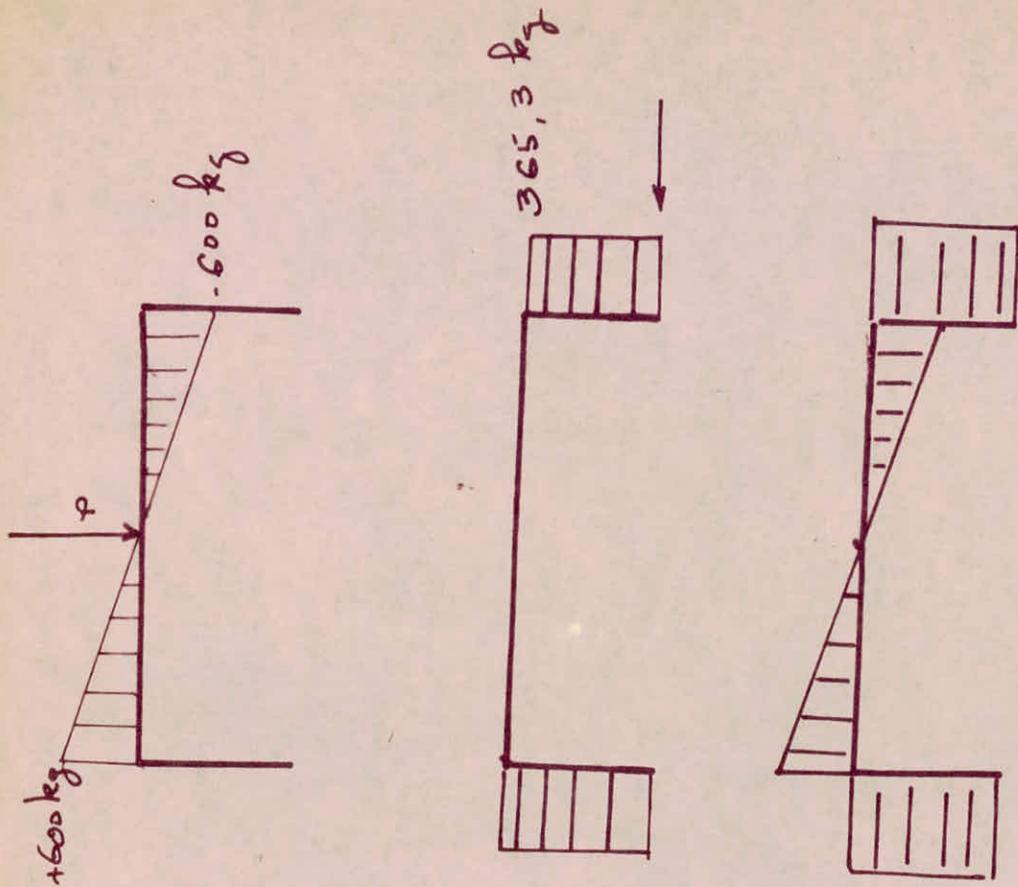


DIAGRAMME DES EFFORTS TRANCHANTS CHARGE REPARTIES  $q: 1200 \text{ kg/m}$

1) Contrainte résultante sous l'effort des 2 électrodes centrales :

Dans ce cas, nous avons un système symétrique hyperstatique avec seulement 3 inconnues  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ .

Examinons le système :

$$\begin{aligned} 20,7 X_1 + 6,38 X_2 + 8,4 X_3 &= 10395 \\ 8,38 X_1 + 6,53 X_2 + 5,59 X_3 &= 3276 \\ 8,4 X_1 + 5,59 X_2 + 5,6 &= 3690 \end{aligned}$$

Nous avons toujours le même déterminant :

$$D = 43,1$$

et nous obtenons les solutions suivantes :

$$\begin{aligned} X_1 &= 599,61 \text{ Kh} \\ X_2 &= 425,61 \text{ Kg} \\ X_3 &= 184,222 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

Après avoir construit les diagrammes, nous obtenons comme moment fléchissant maximum

$$M_{\max} : 1637,29 \text{ Kgm}$$

et comme effort tranchant maximum

$$Q : 2400 \text{ Kg m}$$

Il en résulte deux contraintes de flexion :

$$C_1 = \frac{M_{\max} \cdot Y_{\max}}{I_x}$$

$$T_{\max} = \frac{Q_{\max}}{I_x \cdot Y_{\max}}$$

$$= \frac{2400 \times 29,6}{304 \cdot 3,46} = 67,53 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_{\max} = \frac{1637,29 \times 3,46}{304} = 1863,49 \text{ Kg/cm}^2$$

Finalement nous avons une contrainte résultante :

$$\begin{aligned} C_{ad} &= (C_{\max} + C_{\max}^2 + T_{\max}^2)^{\frac{1}{2}} \\ &= (1863,49 + \sqrt{1863,49^2 + 67,53^2})^{\frac{1}{2}} \\ &= \boxed{1851,5 \text{ Kg/cm}^2} \end{aligned}$$

Notre contrainte admissible limite étant déterminée auparavant et égale  $2000 \text{ Kg/cm}^2$ , nous constatons que la construction est bonne.

Enfin, pour la réalisation des points de soudure assymétriques nous avons un moment fléchissant maximum de  $946 \text{ kgm}$  et il en résulte une contrainte admissible  $C_{ad} = 1200 \text{ kg/cm}^2$  et cette contrainte est de loin inférieure à  $2000 \text{ Kg/cm}^2$ .

En conclusion la réalisation des 6 points de soudure en 3 séquences est une bonne solution.

3.

## A U T O M A T I S A T I O N

### I - Fonctionnement de la machine

Finalement, après l'étude complète des divers paramètres, nous allons définir exactement la machine et par conséquent, son fonctionnement.

La machine doit exécuter 6 points de soudure en 3 séquences sur chaque cornière.

Nous avons réparti les 6 points de soudure en 3 séquences parce que la cornière ne peut supporter les 6 efforts du soudage simultanément donc on exécute successivement les deux premiers points assymétriques, puis les deux points centraux et enfin les deux derniers points assymétriques. Pour cela, la machine comporte 3 transformateurs monophasés chacun d'une puissance de 100 KVA.

A chaque transformateur est connecté un circuit de soudage qui comprend les 2 électrodes, les flexibles et les conducteurs de jonctions.

Chaque électrode est reliée à un dispositif pneumatique de commande qui comprend un cylindre, un piston et une électrovanne de commande. L'ensemble de ces équipements sont fixés sur un bâti. Remarquons que nous ne rentrerons pas dans les détails technologiques et constructifs de ces équipements.

Le bâti lui même est fixé sur un pont roulant lequel se déplace le long de la chaîne de fabrication.

Remarquons aussi que la chaîne de fabrication est mobile aussi cela nous permet d'avoir un double réglage pour effectuer les points de soudure et une plus grande précision dans le centrage des électrodes.

Ainsi l'autocar à souder est fixé sur une chaîne de fabrication qui avance à une vitesse fixe. Le pont roulant supportant la machine à souder se présente en face des points à souder. Des verrins hydrauliques et à socle magnétique permettent de solidariser la machine de l'autocar et la cadence automatique de l'exécution des points de soudure commence. Pour cela, il ne faudra qu'appuyer sur un bouton de commande, l'ensemble des opérations s'arrêtent, la machine à souder se place en face de la prochaine travée.

1) Diagramme des intensités et temps

Pour une seule séquence pouvant faire 2 points de soudures, nous distinguons 4 temps (voir schéma)

- le temps de compression des tôles
- le temps de soudage
- le temps de refroidissement
- le temps de pause.

Pour faire les 6 points cette séquence se répète 3 fois (voir diagramme des intensités et des temps).

2) Grouperments des ignitrons

Le contacteur ionique est constitué de deux tubes ignitrons connectés en parallèle inverse.

Rappelons que l'ignitron est un redresseur à vapeur de mercure mono-anodique, il est composé d'un tube métallique scellé, refroidi par eau. Ce qui le distingue du redresseur ordinaire, c'est son dispositif d'allumage et son mode d'utilisation.

L'allumage se produit lorsqu'un courant parcourt une électrode spéciale qui plonge en permanence dans le mercure ; il est admis que le courant traversant l'électrode produit à la surface du mercure suffisamment d'électrons pour ioniser la vapeur de mercure. Moins de  $10^4$  secondes après le passage du courant à l'électrode appelé "Igniteur" et pour autant qu'une tension soit appliquée entre l'anode (+) et cathode (-) le courant traverse le tube.

Le tube ignitron une fois amorcé reste conducteur jusqu'à la fin de l'alternance entamée, il assure par conséquent une coupure au moment du passage par 0 de la sinusoïde de courant, la coupure est donc synchrone, par contre, le tube ignitron n'est conducteur que dans un sens. Les électrons partent du bain de mercure et sont attirés par l'anode, la chute de tension interne d'un ignitron est de l'ordre de 15 V, indépendamment du courant qui le traverse.

Pour constituer un contacteur ionique il faut donc disposer de deux tubes connectés en tête à queue (ou parallèle inverse).

Considérons le schéma représentant le contacteur.

Supposons que la tension soit positive en B, si l'interrupteur a est fermé, un courant parcourant le circuit 1.2.3.4.5.6.7., le redresseur sec g s'oppose à l'établissement du circuit 4.7 et par conséquent

force le courant à parcourir 5.6. provoquant ainsi l'ionisation du gaz dans le tube ; undixième de seconde plus tard le courant principal parcourt le circuit primaire de soudage jusqu'à la fin de l'alternance en passant par le tube B (circuit R.L.T.B.7.A.S.) A ce moment, la tension devient positive en A et un courant limité par la résistance R parcourt cette fois 7.4.3.2.8. 1. ionisant le tube A qui devient à son tour conducteur (circuit S.A.1.B.T. L.R.) tant que l'interrupteur a resté fermé, le courant parcourt le circuit primaire, fournissant l'énergie nécessaire au circuit de soudage.

L'intensité maximum admise par les ignitrons n'a pas de valeur définie, elle est fonction de la durée du passage du courant.

Le contacteur ionique a ignitrons présenté les avantages suivants:

- possibilités d'établissements du courant pendant un temps inférieur à une période grace à l'absence d'inertie.
- coupure du courant lors du passage par 0 de la sinusoïde
- coupure de forte intensité
- fonctionnement silencieux.

Les plus gros ignitron supportent 700 A en régime continu mais supportent aussi de fortes intensités pendant des temps beaucoup plus court.

### 3) - Fonctionnement des temporisateurs

Afin de synchroniser toutes ces opérations de commandes des diverses opérations nécessaires à l'obtention des points de soudure, nous disposons de 3 temporisateurs. Chaque temporisateur est composé d'interrupteurs de résistances, de capacités et de bobines.

Décrivons le fonctionnement d'un temporisateur voir le schéma type d'un temporisateur

a) pousser le bouton n

Les contacteurs P5 et P6 sont alimentés en courant électrique P6 commande l'électrovanne pneumatique et le serrage des pièces à souder commence. La bobine P5 ferme les contacteurs P5, le premier contacteur P5 bloque le bouton n, le deuxième met en décharge le condensateur C11 sur R 11.

b) après le déchargement de C11, (le temps de décharge de C11 dépend de la valeur de R 11) le potentiel négatif de la grille perd son rôle de barrière et la bobine P1 est alimentée en courant électrique ; le conducteur P1 établit le courant électrique dans la bobine P7, qui ferme le contact des ignitrons et la période de soudage commence.

c) simultanément le contacteur P1 met en décharge le condensateur C21 sur la résistance R21. Après le déchargement de C21, la bobine P2 est mise

en circuit. Cela entraîne une coupure du courant de soudage, le temps de soudage est terminé (on règle le temps de soudage avec la résistance R21).

d) Simultanément le contacteur P2 met en décharge le condensateur C31 sur la résistance R31, la bobine P3 est alimentée en courant électrique et ouvre le contacteur P5.

La bobine P6 commande l'électrovanne pneumatique (le temps de refroidissement est terminé).

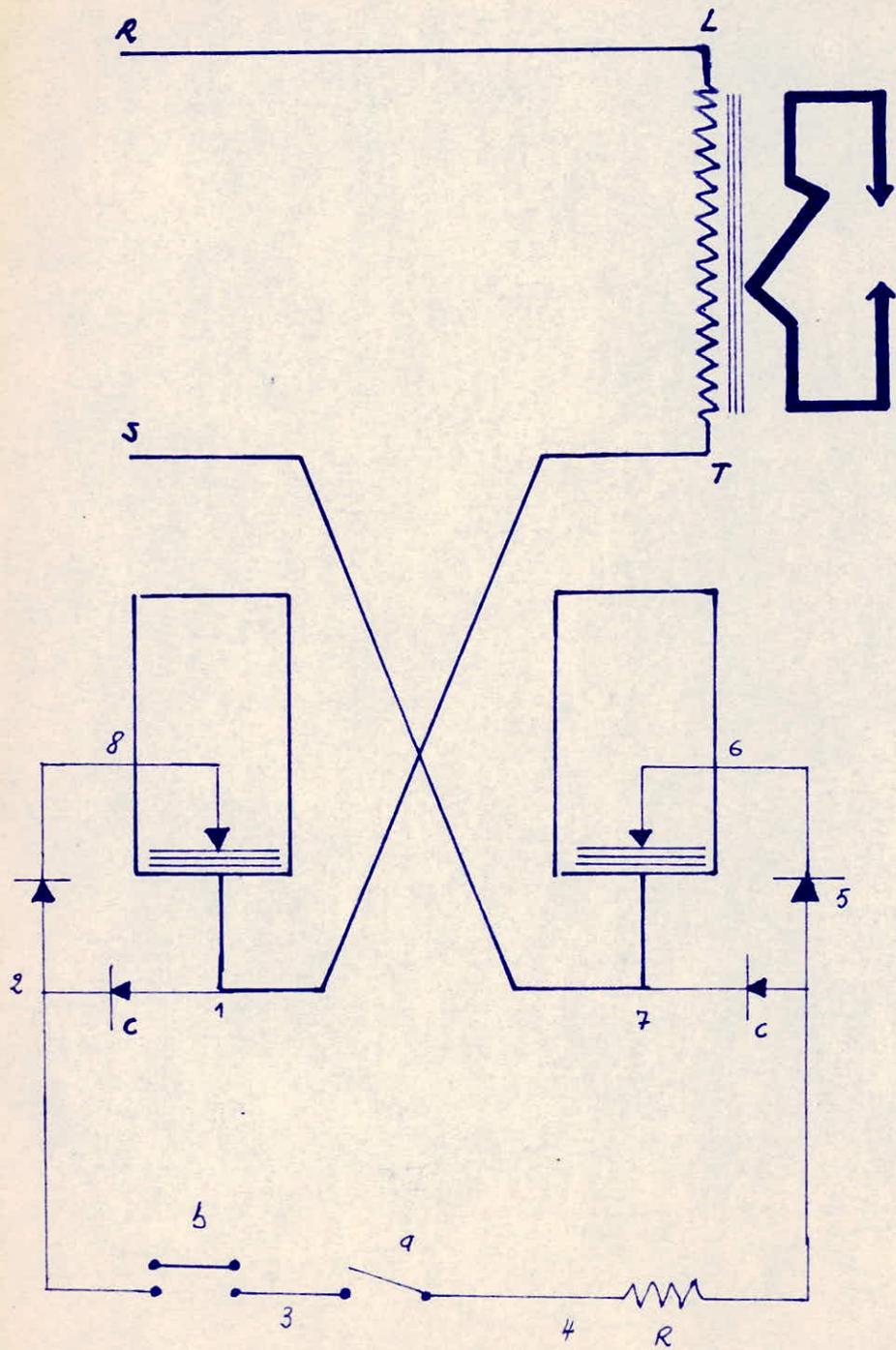
Remarquons que le temps de refroidissement est équivalent au temps de déchargement du condensateur C 31.

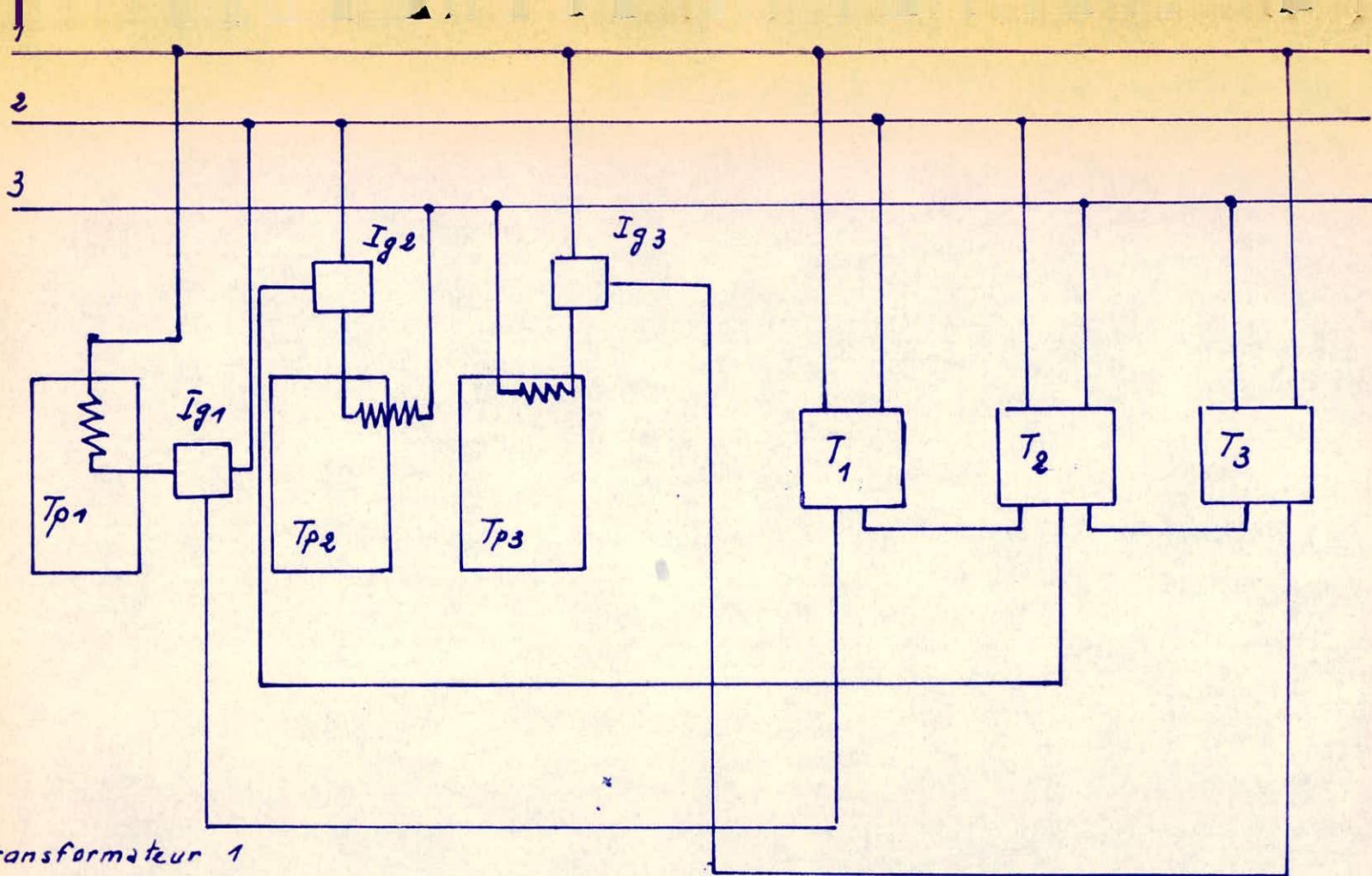
Simultanément le contacteur P3 coupe le circuit de P5 lequel à son tour coupe le circuit de la bobine P1 et cette dernière coupe le circuit de la bobine P2 finalement seule la bobine P3 est alimentée en courant et les condensateurs C11 et C21 se chargent pour le cycle suivant.

e) En même temps, le contacteur P3 met en décharge le condensateur C41 et la bobine P4 reçoit le courant et se débranche par elle-même. C'est la fin du temps de pause. Pour recommencer le prochain cycle, il faut appuyer de nouveau sur le bouton n.

L'ensemble de ces appareils électroniques de commande sont branchés sur le circuit général tel que l'indique les schémas de branchement.

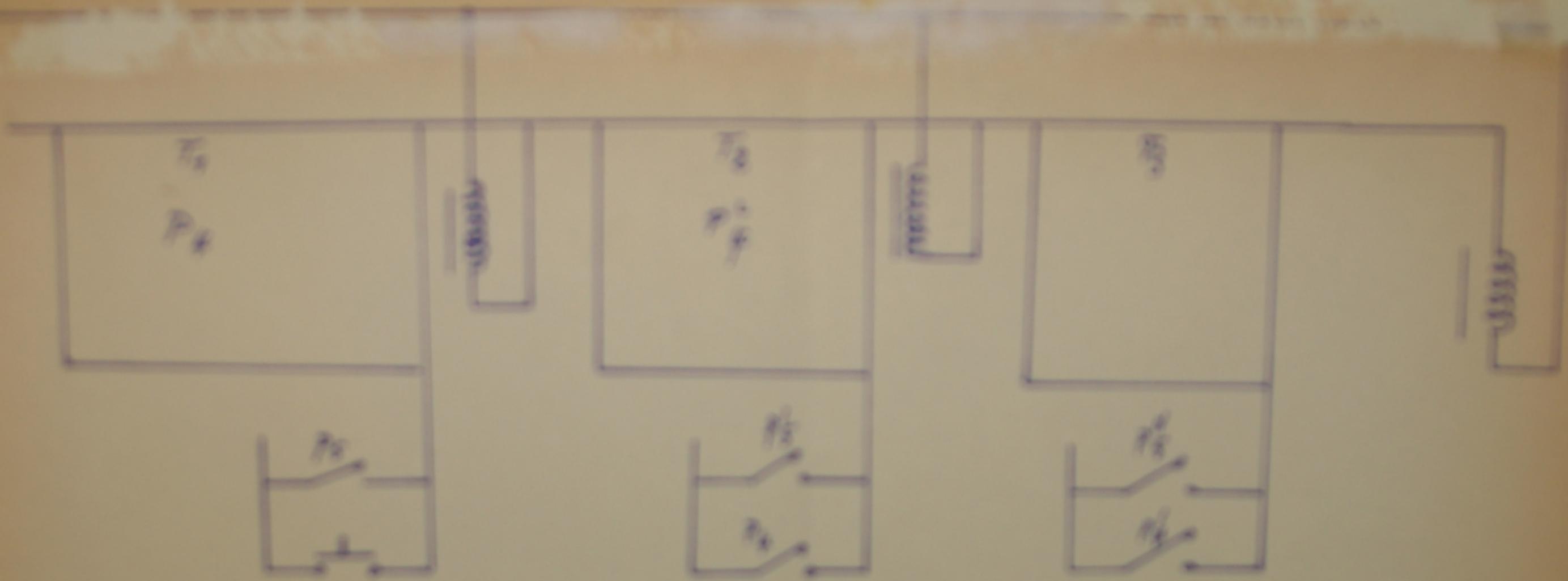
	$1n$	$2n$	$3n$	$4n$	
$N^{\circ}$	<u>I</u>	<u>II</u>	<u>III</u>	<u>IV</u>	/
1	1	1	1	1	$20n$
2	2	1	1	1	$19n$
3	1	2	1	1	$18n$
4	2	2	1	1	$17n$
5	1	1	2	1	$17n$
6	2	1	2	1	$16n$
7	1	2	2	1	$15n$
8	2	2	2	1	$14n$
9	1	1	1	2	$16n$
10	2	1	1	2	$15n$
11	1	2	1	2	$14n$
12	2	2	1	2	$13n$
13	1	1	2	2	$13n$
14	2	1	2	2	$12n$
15	1	2	2	2	$11n$
16	2	2	2	2	$10n$





- $T_{p1}$  : transformateur 1
- $T_{p2}$  : " " 2
- $T_{p3}$  : " " 3
- $I_{g1}$  : groupement d'Ignitrons 1
- $I_{g2}$  : " " " 2
- $I_{g3}$  : " " " 3
- $T_1$  : Temporisateur 1
- $T_2$  : " " 2
- $T_3$  : " " 3

SCHEMA DE BRANCHEMENT GÉNÉRAL.



REKONSTRUKSI SISTEM tenaga listrik

PMO 10 75  
= 2,0

