

وزارة التعليم و البحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

3/86

## ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT

ELECTRONIQUE



# PROJET DE FIN D'ETUDES

## SUJET

ANALYSE D'UN  
REGULATEUR - PROGRAMMATEUR  
ELECTRONIQUE D'UN FOUR OPALINE

Proposé par :

Mr. T. SLUSZKIEWICZ

Etudié par :

Mr. A. BENABDELKRIM

Mr. H. ALLOUACHE

Dirigé par :

Mr. T. SLUSZKIEWICZ

PROMOTION : Janvier 86

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
المكتبة - BIBLIOTHEQUE  
Ecole Nationale Polytechnique

عبر السواضع هذا أهديه :

الخانك في أسب

الى جدي وجدتي

الى أخواني في أخواتي

الى كل أفراد العائلة دون أن أنسى ص/م/ش

الى كل الأحياب والأصدقاء

الى كل من علمني ولو حرفا واحدا

الى كل من شهد ان لا اله الا الله وشهد ان محمدا رسول الله

ابنكم واخوكم  
ح/علواسه

REMERCIEMENTS

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

Nous remercions vivement Monsieur T. SIUSZKIEWICZ pour son aide et ses conseils judicieux tout au long de l'elaboration de ce travail .

Nous remercions également toutes les personnes qui nous ont aidé dans notre travail .

Que tout les professeurs qui ont contribué à notre formation trouvent ici l'expression de notre profonde reconnaissance .



DEPARTEMENT METALLURGIE



Les membre du conseil du departement métallurgie tiennent à exprimer leur reconnaissance à monsieur SLUSZKIEWICZ d'avoir proposé et dirigé un projet de fin d'etudes qui a permis la remise en marche d'un four de traitement thermique sous vide.

Ce four recuperé par le departement en 1981, etait en panne et les tentatives pour sa reparation sont restées sans appel de la part du constructeur.

Les membres du conseil expriment également leur reconnaissance et felicitent les etudiants Allouache et Benabdelkrim qui par leur sérieux et leur volonté, ont mené convenablement leur travaux. Les resultats obtenus sont non seulement positifs sur le plan technique et mais aussi benefiques pour le laboratoire de recherche de métallurgie.

Le Chef du Département  
Métallurgie.





Procès verbal

De l'essai du four " OPALINE "

Au laboratoire de traitement du département de métallurgie - ENP,  
l'essai du four s'est déroulé le 9 / 01 / 1986 , avec la présence des  
messieurs /

ABADLI

BOUABDALLAH

SLUSZKIENICZ

BENABDELERIM

ALLOUACHE

Programme d'essai :

I Contrôle de fonctionnement de :

- 1- Circuit de commande
- 2- Déplacement du four : avant, arrière
- 3- Régulateur programmeur
- 4- Pompe de vide primaire et secondaire
- 5- Circuit d'eau de refroidissement
- 6- Divers

II Mise en marche et chauffage

III Documents

Resultats :

Tres satisfaisants

Remarques :

- Chaîne de déplacement : il faut régler le ressort
- Les moteurs du programmeur I et 3 et le pignon " 30 " doivent être commandés
- Le thermocouple doit être changé

- TABLE DES MATIERES -

INTRODUCTION	1
I PRESENTATION DU FOUR LPA-OPALINE	
- Presentation generale	2
- L'etat du four	4
II CLASSIFICATION DES REGULATEURS	
- Principe	5
- CLASSification	6
III LES ASSERVISSEMENTS PLUS OU MOINS	
- Les elements fondamentaux d'une chaine de regulation	9
- Les grandeurs fondamentales d'une chaine de regulation	11
- Fonction de transfert de la partie lineaire	12
IV DESCRIPTION DU REGULATEUR	
- Le circuit de mesure de temperature	14
- Le detecteur d'ecart	18
- Le programmeur	18
- Le systeme de commande	21
- L'element tout ou rien	21
V ETUDE DU SYSTEME DE COMMANDE	
- Mesures	23
- Calcul de frequence d'oscillation-condition d'entretien	28
- Principe de fonctionnement du systeme de commande de relais	30

VI ETUDE DE LA CHAINE DE REGULATION

- Les caracteristiques du relais 37
- Fonction de transfert du four 37
- Evolution du processus 41

VII MODERNISATION DU SYSTEME DE COMMANDE

- Systeme de commande à transistor 44
- Systeme de commande à phototransistor 50

CONCLUSION 58

ANNEXE 59

BIBLIOGRAPHIE 64



## I N T R O D U C T I O N .

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

1

Le but de ce projet de fin d'étude consiste à analyser le régulateur programmeur de température d'un four électrique LPA type OPALINE, qui se trouve dans le laboratoire de traitements métalliques au département de Métallurgie.

Ce four a été, depuis des années inutilisable, à cause de la panne de son régulateur et le manque de ces documents, y compris les schémas électriques.

Les démarches de la part du département concerné, auprès du constructeur, pour avoir ces derniers, n'ont donné aucun résultat.

Il nous a été donc confié de réparer le régulateur et de l'étudier, de réviser tous les circuits du four et de le remettre en état de fonctionnement, afin de rétablir ces documents qui permettent son utilisation de nouveau.

Ensuite de proposer des solutions permettant la modernisation du régulateur, qui consistent à remplacer les tubes à vides, par des circuits à transistors.

1.1. Présentation générale.

Le four est essentiellement constitué par ( fig.1.1.):

- Un tube laboratoire disposé horizontalement en silice fondue
- Un four de chauffage qui se déplace automatiquement autour du tube laboratoire et permet une mise en chauffe et un refroidissement rapide des pièces à traités.
- équipement de vide moleculaire.
- Un dispositif de programmation et de régulation de la température

1.2. Four de chauffage et tube laboratoire.

L'element chauffant est monté en triangle, donc il nécessite une tension triphasée de 220V.

- La puissance appliquée est de 7 kw
- Le déplacement du four est obtenu au moyen d'un moteur et d'un ensemble de chaine et poulies.
- le guidage de transation est assuré par des coulisses a billes.
- Le tube laboratoire est fermé à une extrimité et a une partie penetrant dans le four qui permet d'obtenir une zone utile.

1.3. Equipement de vide moleculaire.

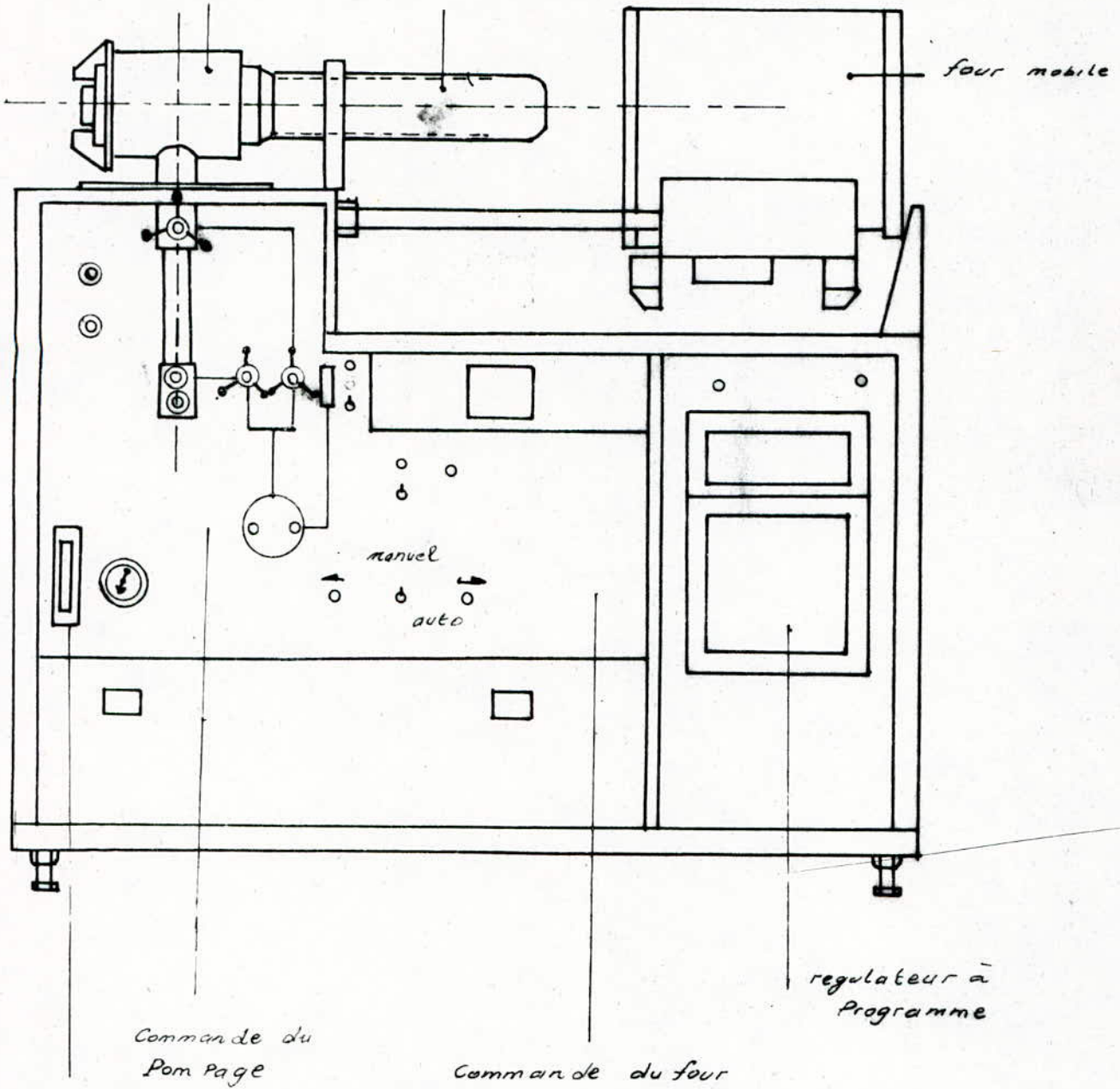
Il est constitué par un groupe de ompage des éléments principaux suivants :

- Une pompe a diffusion d'huile.
- Une vanne refroidie par circulation d'eau, type v150 P.LPA.
- deux vanne type v 20P LPA qui sont à commandes electro pneumatiques
- deux ompes : primaire et secondaire
- Une coffret de mesure de vide physi vac LPA.  
( jauge ionisation  $10^{-3}$  a  $10^{-6}$  Torr)
- Un dispositif electrique de securité sur le débit d'eau
- Une vanne electromagnetique d'entrée d'air.
- le vide atteint a chaud est l'ordre de  $10^{-6}$  torr à vide ).

tête

tube laboratoire

3



Circulation de gaz

fig 1.1

vue de face du four



#### 1.4. Regulation thermique.

La regulation de température est assurée par un pyrometre regulateur à programme "C RECI" type R 3 C 11.

L'action de régulation est tout ou rien.

#### 1.5. L'état du four :

Ce four qui est en panne depuis des années à les parties suivantes qui ne fonctionnent pas :

- Le dispositif de regulation.
- Le moteur de translation du four de chauffage
- L'alimentation du four qu'il faut adapter au reseau

Ainsi on est devant certains problèmes qu'il faut résoudre dont on cité :

- Le manque des documents du four ainsi que les chemas
- Il manque un tube du regulateur et le deuxième qui est en panne ne porte aucune indication de son référence (toutes effecées)
- Le dépannage du régulateur
- Le brochage des relais.
- Le fonctionnement du régulateur.

Donc ce qu'on devait faire se resume en :

- Rétablissement des documents du four
- Réparation des parties qui ne marche pas.
- Etude du fonctionnement du régulateur.
- Modification du brochage des relais de telle manière que le four. marche jusqu'au moment ou l'aiguille du galvanometre atteint l'index chaud ou il doit s'arrêter.

A partir de la, le four commence a refroidir jusqu'a l'index froid ou il commence a se chauffer de nouveau, comme le montre la courbe représentée par la fig.(1.2.)

- Mise en marche du four.
- Proposition des solutions qui permettent de moderniser le regulateur.

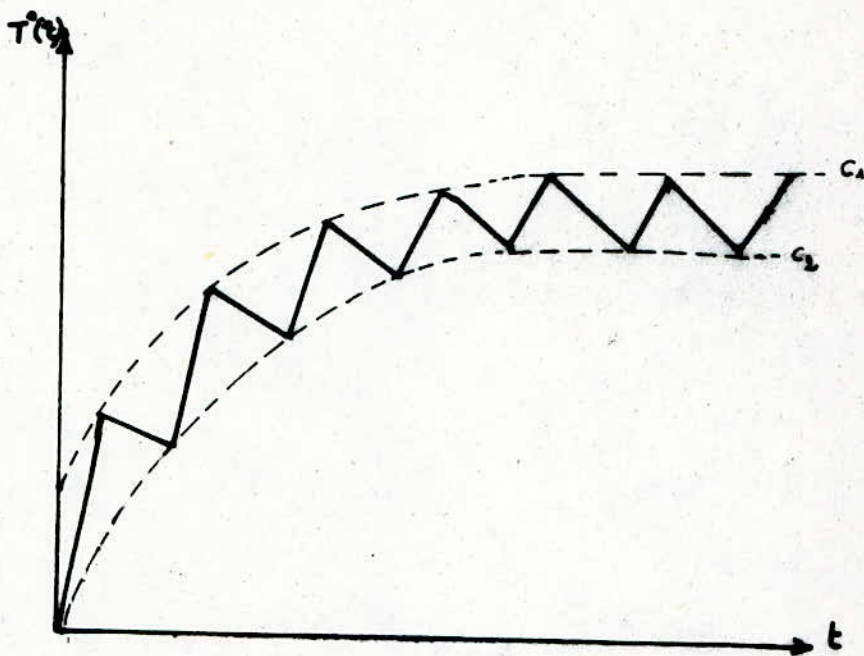


fig 1.2

$C_1$  : Consigne donnée par l'index chaud.

$C_2$  : Consigne donnée par l'index froid.

2.1. Principe :

La régulation automatique consiste à maintenir à une valeur déterminée une (ou plusieurs) grandeur variable laquelle est essentielle au fonctionnement d'un système, en mesurant sa valeur, en la comparant à la valeur de consigne et en utilisant la différence entre ces deux valeurs pour actionner un dispositif qui tendre à réduire cette différence.

Schéma général d'une telle boucle de régulation peut être représenté par la figure 2.1., où :

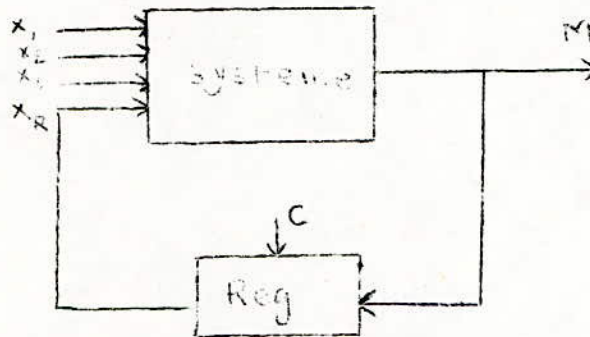


Fig. 2.1. Système asservi

- $x_1, x_2, \dots, x_R$  : grandeurs perturbatrices  
 $x_R$  : grandeur de réglage  
 $M$  : grandeur réglée et mesurée  
 $c$  : grandeur de consigne  
 Reg: régulateur.

2.2. Classification

On classe généralement les régulateurs d'après la commande en trois subdivisions. :

- régulateurs continus
- régulateurs échantillonnés
- régulateurs plus ou moins

2.2.1. Régulateur continu :

La commande est continue et déterminée à tout instant  $t$  par la valeur du signal de commande.



### 2.2.2. Regulateur échantillonné

7

Ce type est caractérisés par une commande discontinue consistant en une succession d'impulsions equidistantes ( $T=cte$ ) dont l'amplitude ou la durée sont proportionnelles aux valeurs du signal de commande.

### 2.2.3. Regulateurs plus ou moins.

Dans ce genre de regulateur la commande varie par saut chaque fois que le signal de commande traverse certain valeur fixée appelé seuil.

Ils se divisent eux aussi à deux groupes d'après leurs regimes de fonctionnement.

#### 2.2.3.1. Les regulateurs pas à pas.

Ils sont des regulateurs à trois positions ou à plusieurs positions et qui sont capable de donner les même resultats que les regulateurs continus.

#### 2.2.3.2. Les regulateurs tout ou rien.

Ils presentent deux états de sortie: puissance maximale (tout) ou puissance minimale (rien).

Le système tout ou rien est essentiellement oxillateur.

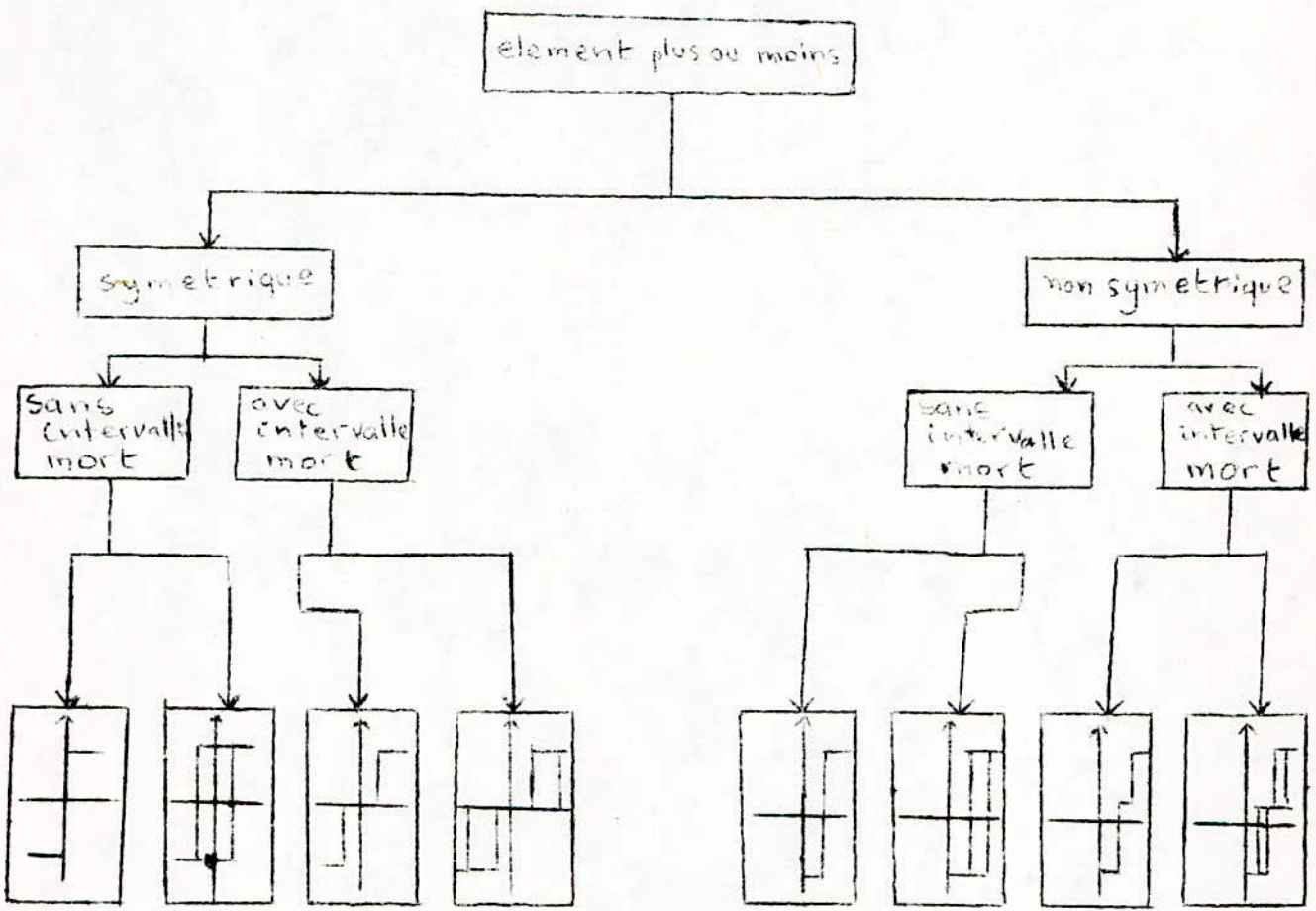
Les regulateurs tout ou rien sont surtout utilisés pour la regulation de température, dans les machines de traitement des matières plastiques et d'une manière générale des processus presentant un faible. rapport  $T^0/T$

avec :

$T_0$  : retard de reponse du système asservis :

$T$  : constante de temps.

Les regulateurs plus ou moins peuvent être aussi classer d'après la caractéristique de l'élément plus ou moins.



Classification des régulateurs plus ou moins d'après la caractéristique de l'élément plus ou moins.

100 11 11  
 A 11 11  
 11 11 11 11 11 11

On presente ; généralement un asservissement tout ou rien comme la combinaison d'une partie lineaire et d'un élément du systeme à l'exclusion de l'element " tout ou rien " , c'est à dire qu'elle comprend : l'etage moteur , l'ensemble asservir , les appareils mesurant la sortie , fournissant l'entrée , detectant l'ecart et le systeme de commande. Un asservissement a une variable peut se présenter par le diagramme fonctionnel typique de la figure 3.1.

La présence de tous ses éléments n'est pas indispensable . Ainsi dans certains asservissements , il n'y a pas de retour interne , pas d'amplification , mais il y a certains éléments qui sont fondamentaux .

### 3.1. Les éléments fondamentaux d'une chaine de régulation

#### 3.1.1. Le processus :

C'est la façon dont évolue un système pour parvenir à un objectif déterminé . Il est soumis à l'influence des grandeurs exterieurs ( variables d'entrées ), et caractérisé par les grandeurs qui sont propres (variable de sortie ). La regulation sera l'une des moyens permettant au processus de réaliser son objectif .

#### 3.1.2. Le capteur

La grandeur régulée n'est pas en général exploitable par le circuit de régulation . Le capteur a pour but de delivrer par exemple sous une forme électrique la mesure de la variable de sortie .

#### 3.1.3. Le comparateur

Il sert à comparer la grandeur mesurée à la grandeur de consigne pour en determiner l'ecart.



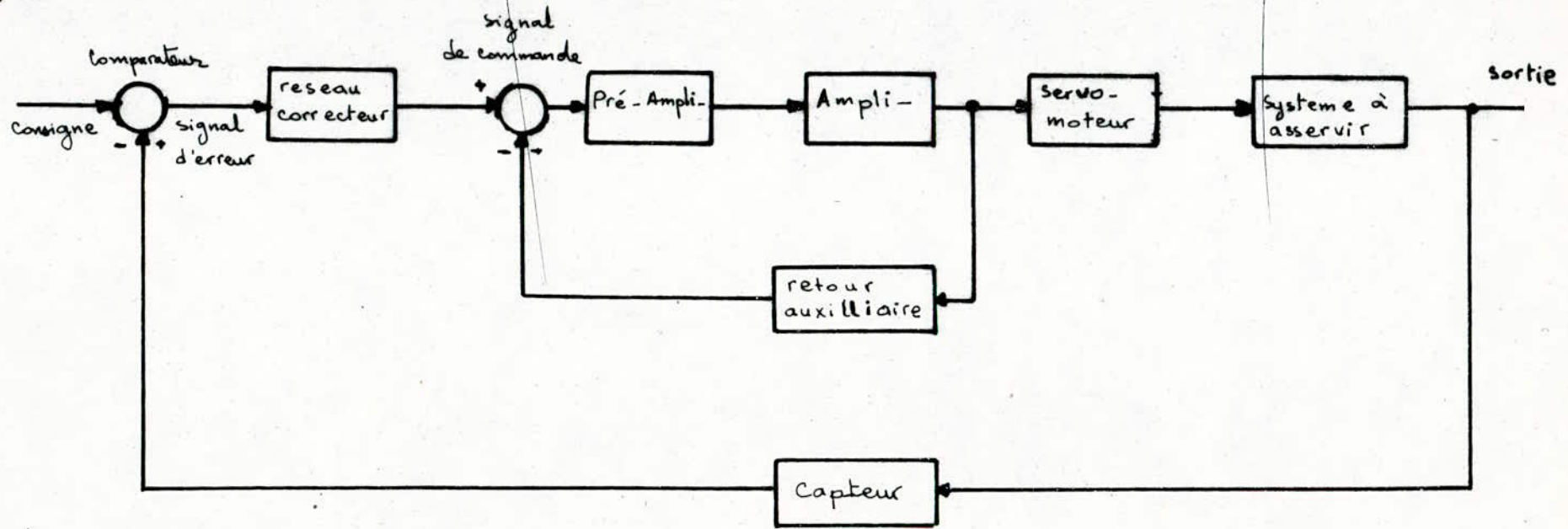


fig 3.1 Diagramme fonctionnel typique d'un asservissement  
d'une variable.

c'est à lui que le signal d'erreur est appliqué, il élabore le signal de commande correspondant à telle ou telle loi de régulation.

3.1.5. L'amplificateur.

Comme la puissance du signal de commande est faible, on l'accroît habituellement à l'aide de l'amplificateur.

3.1.6. Servomoteur.

C'est l'étage d'exécution qui agit sur l'organe régleur qui est inclus dans l'ensemble à régler.

3.2. Les grandeurs fondamentales d'une chaîne de régulation.

3.2.1. Le signal de consigne.

C'est le signal d'entrée qu'on veut avoir à la sortie du processus.

3.2.2. Signal régulé

C'est la grandeur issue du processus et sur laquelle agit la régulation. Elle sera mesurée par l'intermédiaire d'un capteur qui fournit le signal "M".

3.2.3. La grandeur d'écart.

C'est la différence entre les deux signaux : signal de consigne et le signal "M", précédentes et agit par le signal de commande sur le régulateur.

3.2.4. Signal de commande.

C'est le signal délivré par le système de commande.

3.2.5. La commande.

C'est le signal de commande amplifié.

3.2.6. Les perturbations

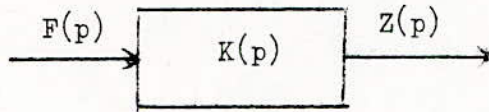
Ce sont les actions intérieures et extérieures et qui dérangent le fonctionnement normal du système.

Elles sont partiellement compensées grâce à la chaîne de régulation.

### 3.3. Fonction de transfert de la partie lineaire.

12

La fonction  $k(p)$ , qui represente la relation entre effets et causes, depend exclusivement des parametres de l'element étudié, s'appelle la fonction de transfert.



systeme asservis en boucle ouverte

Connaissant les fonctions de transfert des divers elements qui constituent la partie lineaire du systeme, il est possible à l'aide des regles déterminées de trouver la fonction de transfert des associations des ces elements que ce soit en serie, en parallele ou avec boucle de retour.

Ainsi, il est possible de connaître la fonction de transfert de la partie lineaire.

#### 3.3.1. Equation de l'element plus ou moins.

Pour un element "plus ou moins" sans inertie, son equation s'écrit sous la forme  $y = \phi \left( x, \frac{dx}{dt} \right)$  où  $\phi$  est une fonction non linéaire dependant des proprietés de l'element.

Dans le tableau suivant, nous donnons les equations d'elements "plus ou moins" symetriques, ainsi que les caracteristiques correspondantes, où  $x(t)$  est le signal d'entrée et  $y$  le signal de sortie.

Pour les elements "plus ou moins" non symetrique, on obtient les equations par un simple changement de variable et le remplacement des coefficients  $K_r$  par  $K_r \neq / K_r$

c r c



## Equations et caracteristiques des elements "plus ou moins", symetriques

	caracteristique	equation
sans intervalle mort sans hysteresis		$y = k_r \operatorname{sign} x$
sans intervalle mort avec hysteresis		$y \begin{cases} k_r \operatorname{sign}(x - x_0) & \frac{dx}{dt} > 0 \\ k_r \operatorname{sign}(x + x_0) & \frac{dx}{dt} < 0 \end{cases}$
avec intervalle mort sans hysteresis		$y = \frac{k_r}{2} \operatorname{sign}(x - x_0) + \operatorname{sign}(x + x_0) \quad \frac{dx}{dt} > 0$
avec intervalle mort avec hysteresis		$y \begin{cases} \frac{k_r}{2} \operatorname{sign}(x - x_0) + \operatorname{sign}(x + \Delta x_0) & \frac{dx}{dt} > 0 \\ \frac{k_r}{2} \operatorname{sign}(x + x_0) + \operatorname{sign}(x - \Delta x_0) & \frac{dx}{dt} < 0 \end{cases}$

Note:

$$\operatorname{sign} x \begin{cases} 1 & \text{pour } x > 0 \\ 0 & \text{pour } x = 0 \\ -1 & \text{pour } x < 0 \end{cases}$$

$x_0$ : seuil de fonctionnement à l'aller

$\Delta x_0$ : seuil de fonctionnement au retour

$\Delta$  coefficient de retour

Le regulateur fonctionne comme suit :

La mesure de température se fait grâce a une chaine de mesure, qui contient un galvanomètre inseré dans le circuit, formé par un thermocouple. son aiguille se déplace devant un cadran gradué muni par deux index mobiles, dont la distance entre eux est réglable.

La position de ces deux index est fixées par l'operateur ou par le programme correspondant à la température désirée. (fig.4.2.)

Les différents organes qui constituent le regulateur sont représentés par fig ( 4.1.).

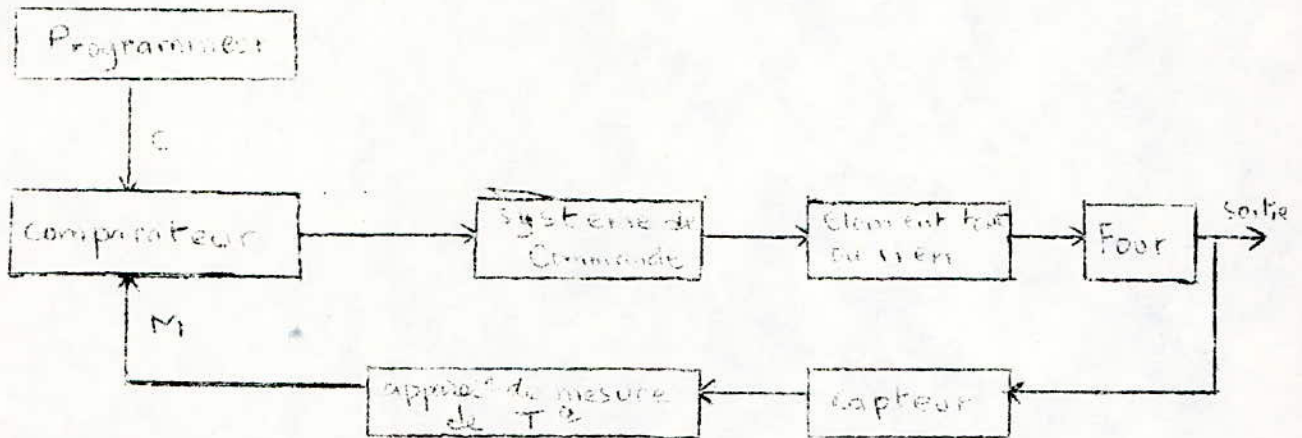


fig.4.1. Schema synoptique du regulateur.

M : valeur mesurée, déterminée par la position de l'aiguille

C : valeur de consigne, déterminée par la position de l'index.

#### 4.1. Le circuit de mesure de la température.

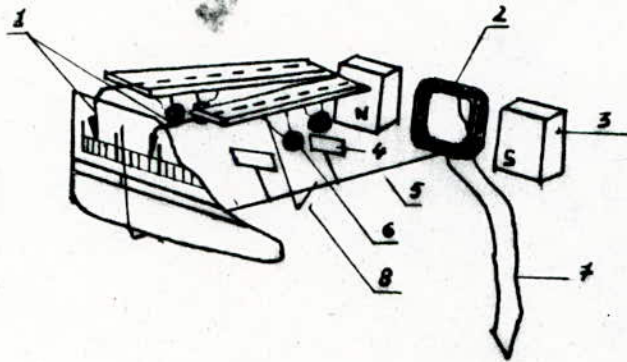
Le circuit de mesure de température est constitué :

- d'un thermocouple
- de cables de compensation
- du circuit de compensation de la température de la soudure froide
- l'appareil de mesure.

##### 4.1.1. Le thermocouple.

C'est un circuit formé de deux conducteurs différentes : Nicr - Ni al soudés a leurs extremités.

Il est le siège d'une force electromotrice, lorsque les deux soudures sont porté à des températures différentes.



- 1 Index indiquant la température demandée
- 2 Cadre du galvanomètre
- 3 aimant
- 4 Palette
- 5 l'aiguille indicatrice
- 6 bobines couplées
- 7 thermocouple
- 8 butée d'aiguille

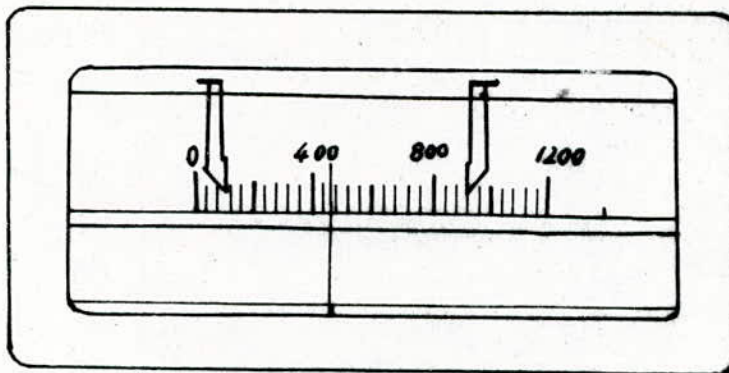


fig 42



Cette force électromotrice de nature thermoelectrique ne dépend que de la nature des deux métaux et les températures des deux jonctions.

Par convention on appelle :

Soudure froide, pour désigner la jonction portée à la température constante et connue, prise comme une référence pour les mesures soudure chaude: Pour désigner la jonction portée à la température dont on veut mesurer.

#### 4.1.2. Cables de compensation.

Pour relier le thermocouple à l'appareil de mesure situé à distance on le prolonge par deux cables de compensation choisis afin que le couple qu'il forme ait des caractéristiques thermoelectriques très voisines de celles des caractéristiques des métaux constituant le thermocouple.

Ceci à pour effet de reporter la jonction de référence à l'extrémité du cable de compensation où elle sera plus aisée de la maintenir à une température stable et connue de façon qu'elle ne soit pas influencé par la partie chaude (fig 4.4).

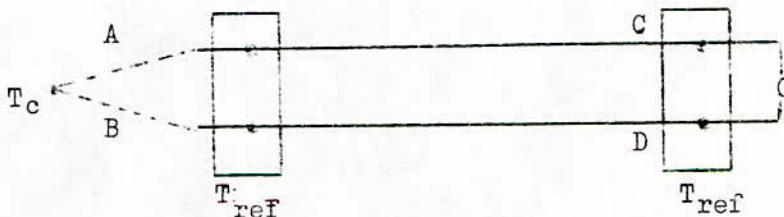


Fig.4.4. Cables de compensation.

Il y a une compensation lorsque la force electromotrice développée par le couple A - B pour une température donnée est égale à celle délivré par le couple C/-D

#### 4.1.3. Circuit de correction de la soudure froide.

La force electromotrice du thermocouple dépend à la fois de la température  $T_c$  de la jonction placée au point de mesure, et de la température  $T_{ref}$  de la soudure froide avec les fils de compensation.

Donc pour avoir aux bornes de l'appareil de mesure la force electromotrice qui est seulement en fonction de la température à mesurer, on utilise des circuits dits "circuits de compensation de soudure froide" fig.4.5.

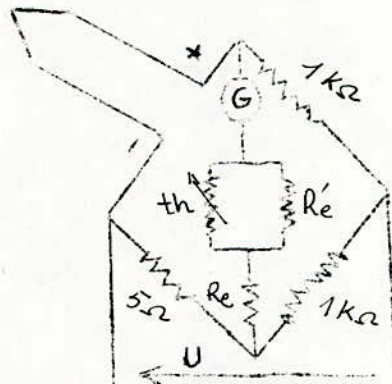


Fig.4.5. Circuit compensation de la soudure froide.

C'est un pont de WEASTONE, où :

Le galvanometre est placé dans la diagonale en serie avec une resistance thermometrique  $th$  qui est fonction lineaire de temperature.

les trois branches sont formées par des resistances fixes, qui ne dépendent pas de la temperature.

La quatrieme branche étant constitué par le circuit du thermocouple.

Les valeurs numeriques de ces resistances sont choisies de façon que le pont soit équilibré et aucun courant ne traverse le galvanometre à la temperature  $0^{\circ}C$ .

Ce circuit a les avantages suivantes :

- si le circuit du couple s'ouvre, le pont est déséquilibré, un courant traverse le galvanometre le faisant devier au maximum et provoquant donc l'arrêt du four.

- Il permet une correction automatique de la soudure froide pour des variations de la temperature ambiante.

#### 4.1.4. L'appareil de mesure.

C'est un galvanometre, très sensible, où a son aiguille on a soudé deux palettes en Aluminium, l'une plus grande, telle que la position de chacune de ces deux palettes determine l'état d'un relais.

#### 4.2. Le detecteur d'écart.

La detection d'écart est obtenue en comparant la position des palettes solidaires à l'aiguille du galvanometre, qui est proportionnelle à la force electromotrice thermoelectrique, à la position des bobines couplées qui sont fixées sur les index donnant la valeur de consigne.

#### 4.3. Le programmeur.

Le programmeur est constitué d'un moteur avec un système d'entrainement et des disques de programme (fig. 4.1.).

##### - Le moteur.

C'est un moteur à courant alternatif alimenté sous une tension de 220V.

##### - Les disques de programmeur.

Ce sont des disques en Aluminium de faible épaisseur decoupés selon la fonction de temperature de desirée (fig ( 4.2.)).

Le disque de programmeur porte des cercles concentriques divisés en 24 division, le rayon de chaque cercle détermine une tension (en mv) qui correspond à une temperature (donnée par la table de conversion du thermocouple).

Ce programmeur a deux regimes de fonctionnement :

cycle continu :

on peut avoir des cycles repetés d'echauffement refroidissement du four.

##### Cycle discontinu :

Il permet d'avoir un cycle unique en programmant l'arrêt du four par le bouton situé en haut à gauche.

##### Fonctionnement :

Le moteur en faisant tourner le disque de programme qui entraine un galet porté par un bras, fait deplacer les deux index sur le cadran gradué.



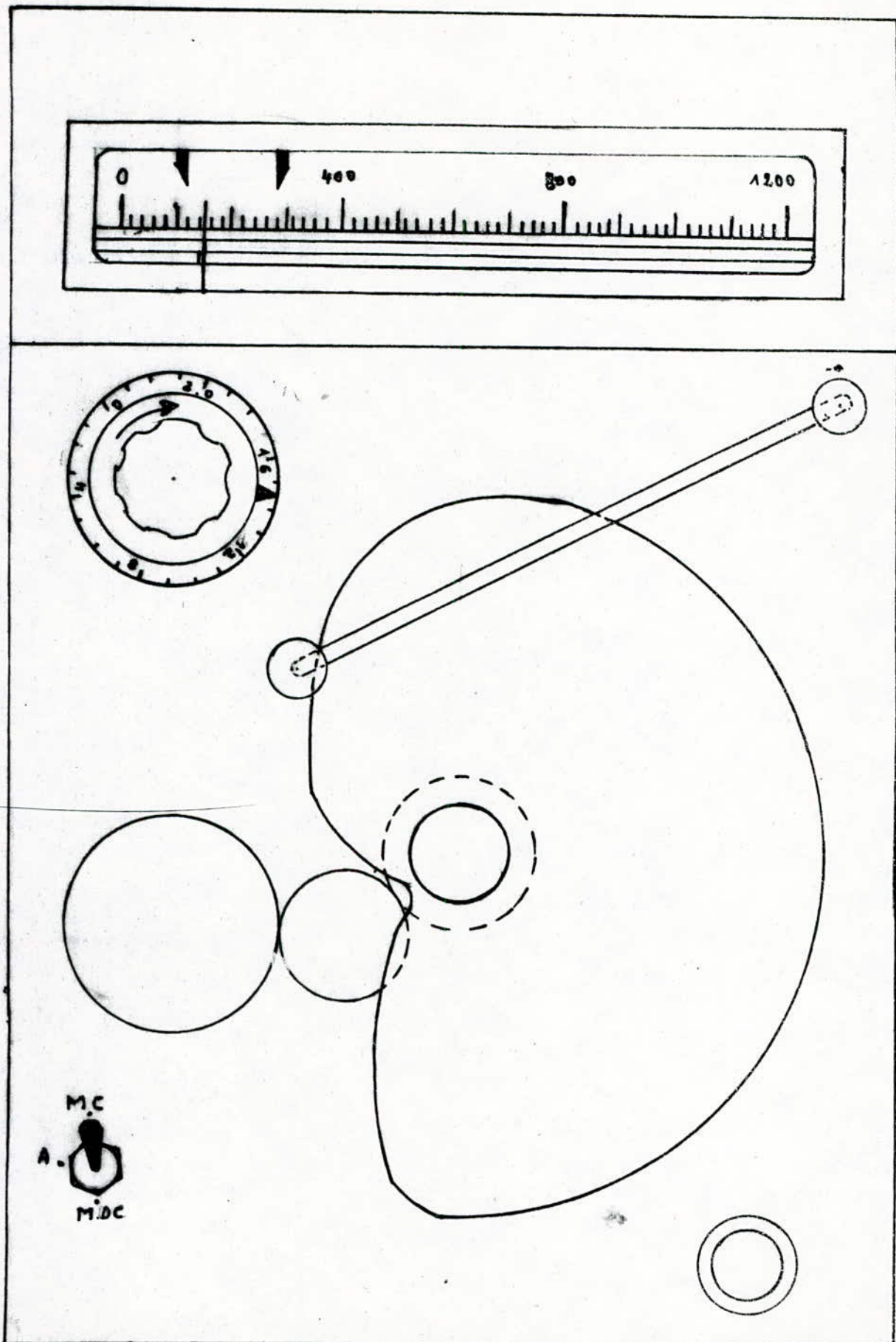


fig 5.1 Vue de face du regulateur-Programmeur

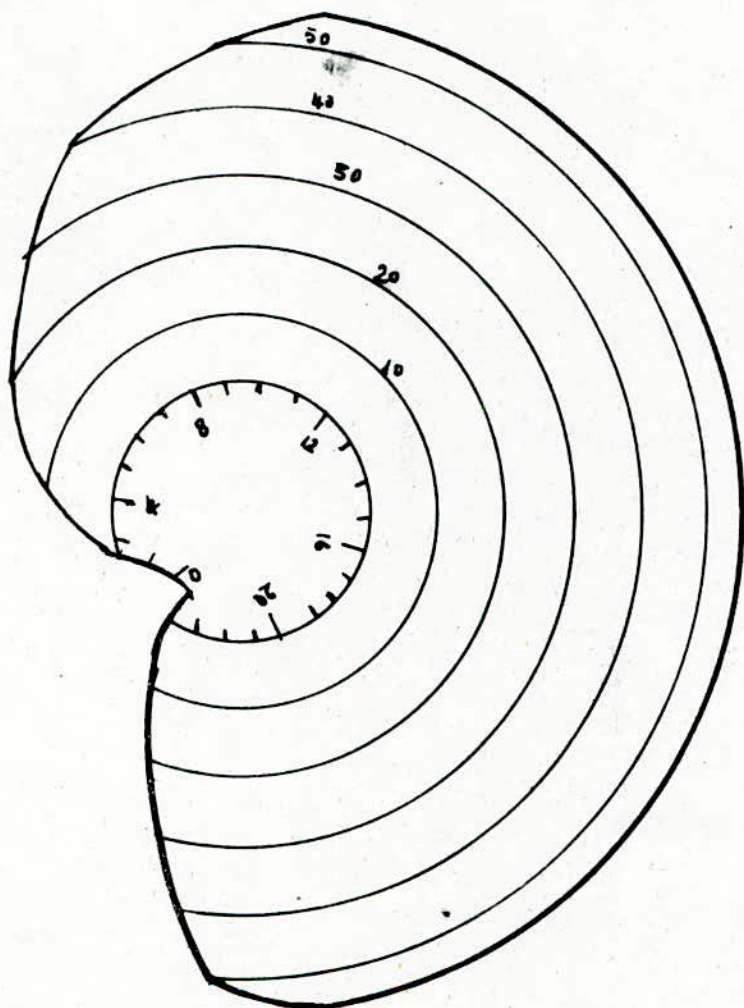


fig 42  
Disque de programme

Ainsi la température peut suivre une courbe déterminée par le disque~~à~~ le moteur et les deux pignons suivant le tableau de la fig ( ) la programmation de l'arrêt du four est obtenu par le réglage de l'index porté par le bouton sur la graduation qui détermine le temps de chauffage (ses graduations sont portées aussi sur le disque). L'arrêt du four est obtenu lorsque l'index coïncide avec le repère fixe (point rouge).

Pignons		Moteur 1		Moteur 2		Moteur 3	
A	B	T minutes	T/24 minutes	T heures	T/24 minutes	T heures	T/24 heures
120	30	12	0 30"	2	5	12	0 30'
100	50	24	1	4	10	24	1
75	75	48	2	8	20	48	2
50	100	96	4	16	40	96	4
30	120	192	8	32	80	192	8

#### 4.4. Le système de commande.

Le système de commande est l'organe qui commande l'élément tout ou rien.

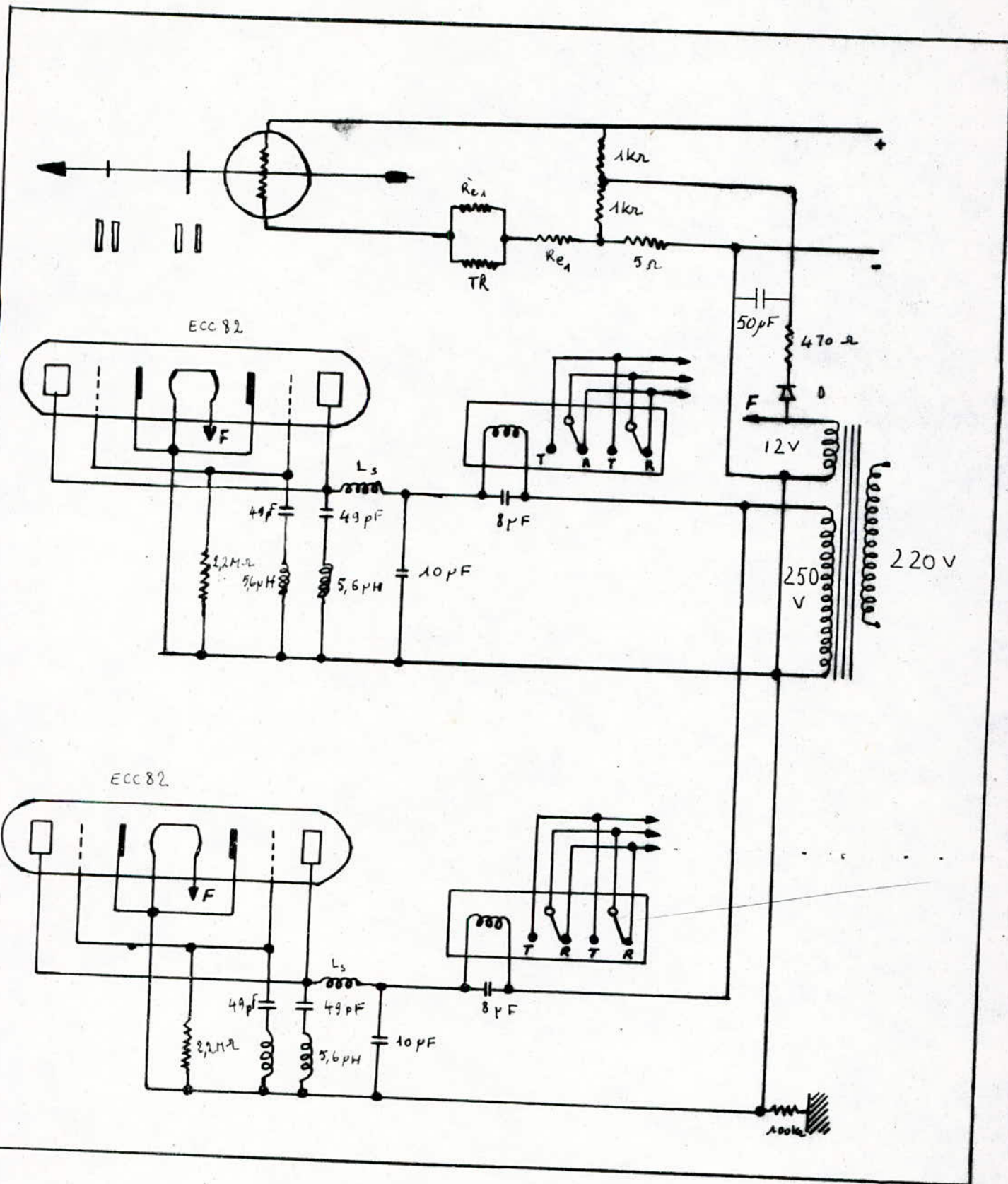
Il est constitué d'un oscillateur suivi d'un filtre passe-bas le système de commande va être étudié en détail dans le chapitre suivant.

#### 4.5. L'élément tout ou rien.

L'élément tout ou rien est composé de :

- Un relais "tout ou rien" qui se ferme ou s'ouvre selon la valeur du courant qui le traverse et qui est commandé par l'oscillateur.
- Un ~~dis~~contacteur tripolaire qui se ferme ou s'ouvre suivant que le relais laisse passer ou non le courant d'excitation.





Schema electrique du Systeme de Commande

## V ETUDE DU SYSTEME DE COMMANDE.

### 5.1. Mesures.

Pour comprendre le mecanisme de fonctionnement du système de commande on a fait une serie de mesures sur un des deux branches symetriques du système.

#### 5.1.1. Effet de l'introduction de la palette entre les deux bobines.

Pour expliquer l'effet de l'introduction de la palette entre les deux bobines couplées magnetiquement, on realise le montage de la fig.5.1.

- On applique une tension sinusoidale d'amplitude constante au circuit oscillant anodique deconnecté.

- Si  $v_0 = 0$ , on detecte un signal sinusoidal sur la grille qui diminue quand la palette coupe l'espace entre les deux bobines couplées.

- Si  $v_0 = 150v$ .

En faisant varier la fréquence, obtient la courbe cloche de la fig.5.4.

De ces resultats, on en deduit que :

- La palette diminue le couplage entre les deux bobines

- Les deux bobines couplées sont accordées sur la fréquence de resonance du circuit oscillant.

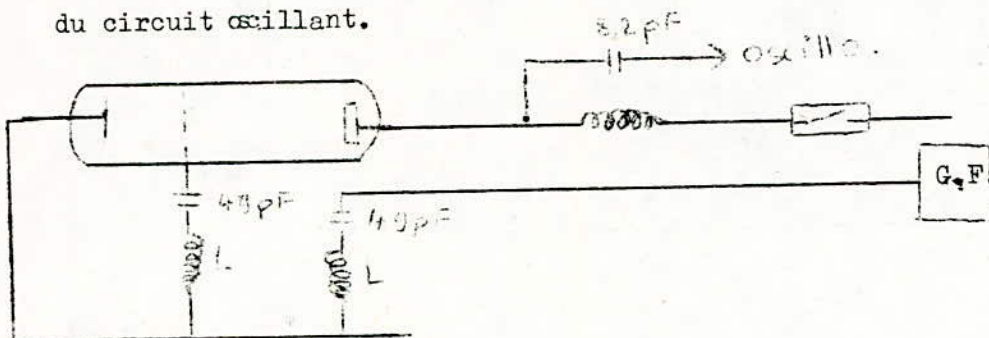


Fig.5.1. Determination de fréquence de resonance.

#### 5.1.2. La forme des oscillations.

En variant la tension stabilisée  $V_0$  de 0, à 150V, on detecte la forme du signal anodique par un oscilloscope Fig.5.2.

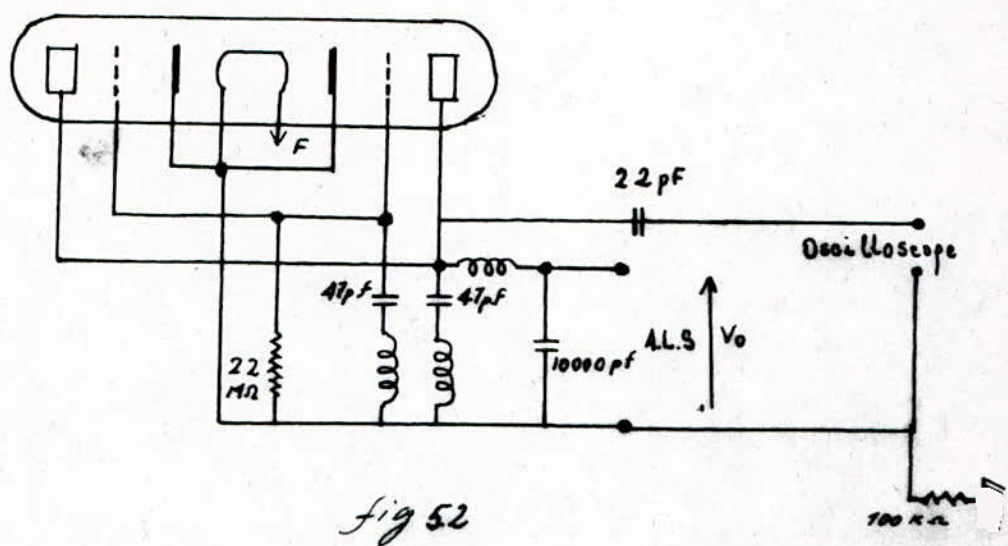


fig 5.2

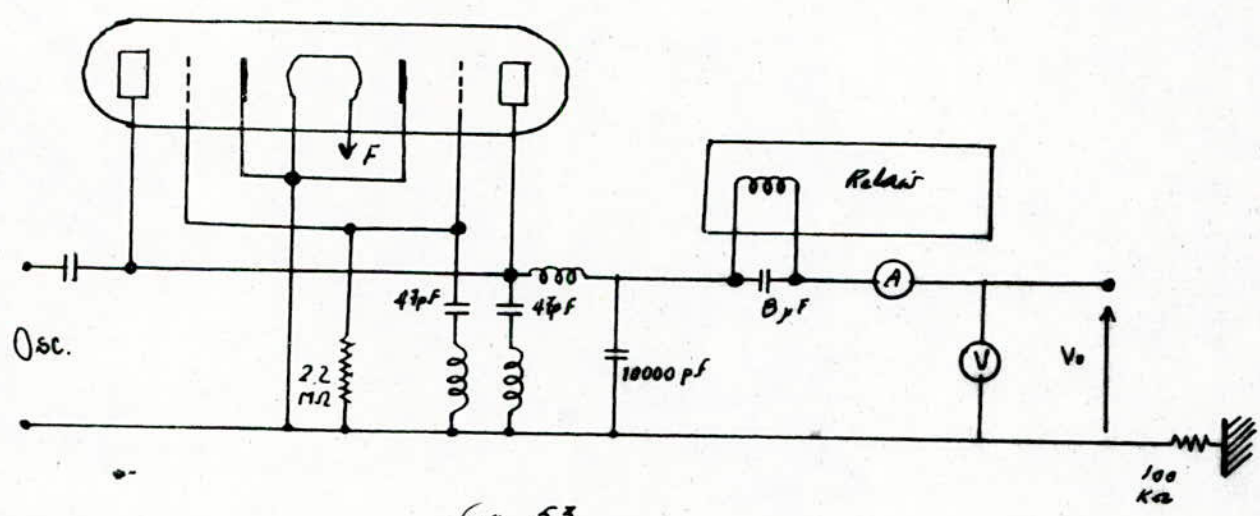


fig 5.3



pour ne pas déséquilibrer le circuit oscillant, on met un condensateur de faible valeur en série avec l'oscilloscope.

En observant la forme du signal, on constate que :

- si  $28 V_0 30^V$ , on observe des oscillations hautes fréquence d'amplitude constante.
- pour  $V_0 30^V$ , il apparaît une enveloppe de basse fréquence dont la fréquence diminue avec  $V_0$  ( $V_0$  tensions d'alimentation stabilisée)
- Quand la palette n'est pas introduite entre les deux bobines couplées les oscillations disparaissent.
- Le courant anodique diminue lorsque les oscillations disparaissent.

### 5.1.3. Tracés de $V_p$ , $I_p$ , $F_{BF}$ en fonction de $V_0$

On réalise le montage de la fig. 5.2.

pour les différentes positions de la palette, on trace les courbes où :

$V_p$  : l'amplitude des oscillations

$I_p$  : le courant continu traversant la bobine du relais.

$F_{BF}$  : fréquence du signal BF.

### 5.1.4. mesures en Alternatif.

On a obtenu à peu près les mêmes résultats (La double triode redresse une partie de la tension issue du transformateur) sauf que ces oscillations apparaissent seulement pendant les demi-périodes de la tension du secteur superposées à la tension redressée ( Fig. 5.-)

### 5.2.-Calcul de l'inductance L.

On peut calculer l'inductance L d'une self, approximativement à partir de la formule empirique de NAGAOKA

$$L = \frac{0,08 d^2 n^2}{3 d + 91 + 10e}$$

L est donnée en  $\mu H$ , avec l, d et e en cm.

pour notre cas

$$l = 0,2 \text{ cm}$$

$$d = 0,8 \text{ cm}$$

$$e = 0,3 \text{ cm}$$

$$n = 28 \text{ spires.}$$

Tableaux des variations des paramètres :  $V_p$ ,  $I_p$  et BF en fct<sup>e</sup> de  $V_0$ :

1<sup>er</sup> cas où la palette est à 10 div à droite de l'index froid

$V_0$ (V)	22	25	27	28	30	35	45	60	80	100	130	150	170
$I_p$ (mA)	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,85	1	1,1	1,2	1,3	1,4
$V_p$ (mV)	0	4	10	18	26	40	65	110	180	260	360	450	600
BF (kHz)	/	/	/	28,6	23,8	17,8	15	13,4	12,2	11,3	10,2	9,8	8,9

2<sup>e</sup> cas où la palette est confondue avec l'index froid

$V_0$ (V)	27	28	30	32	35	45	60	80	100	130	150	170
$I_p$ (mA)	/	0,55	0,6	0,65	0,7	0,8	1,06	1,3	1,5	1,8	1,9	2
$V_p$ (mV)	/	6,5	10	16	32	56	85	145	200	300	360	480
BF (kHz)	/	/	/	62,5	45,5	35,7	30	27	25	23,2	22,7	21,7

3<sup>e</sup> cas où la palette est à 10 div à gauche de l'index froid

$V_0$ (V)	22	25	27	28	30	35	45	60	80	100	130	150	170
$I_p$ (mA)	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,8	0,95	1,05	1,15	1,17	1,2
$V_p$ (mV)	2	6	12	16	24	36	60	90	150	210	320	400	573
BF (kHz)	/	/	/	28,6	23,3	16,7	14,3	13	11,8	10,9	10	9,3	8

$$L = 5,57 \text{ H } \neq / 5,6 \mu \text{ H}$$

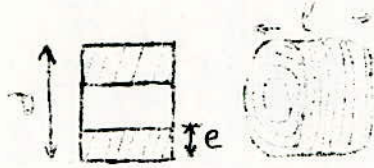


Fig 5.2.1 bobine.

Une autre methode pour determiner L, consiste à determiner le frequence de resonance en utilisant un generateur de frequence, pour cela on realise le montage suivant.

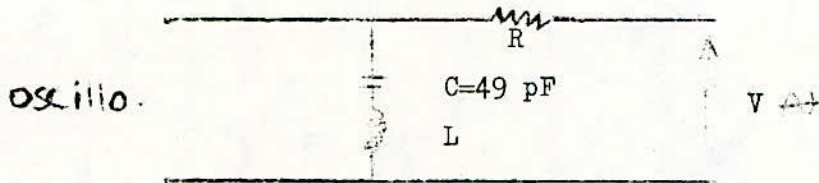


Fig.5.2.2. circuit pour determiner la frequence de resonance.

pour  $f = f_0$  où  $f_0$  est la frequence de resonance du circuit L c le courant est maximal et la tension aux bornes du Lc est minimale.

D'après la formule donnant le frequence de resonance ,

$$f_0 = \frac{1}{2 \sqrt{LC}} \quad \text{on tire la valeur de L.}$$

$$L = \frac{1}{4 \pi^2 f_0^2 C}$$

pour notre cas

$$f_0 = 9,6 \text{ M Hz}$$

$$C = 49 \text{ pF}$$

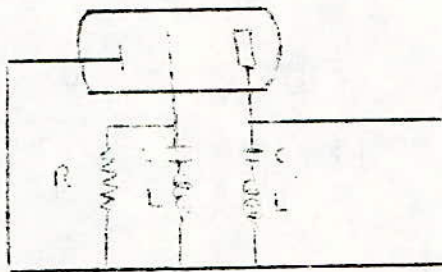
$$L \neq / 5,6 \mu \text{ H}$$



En comparant les deux valeurs de L, on constate que les deux valeurs se coïncident.

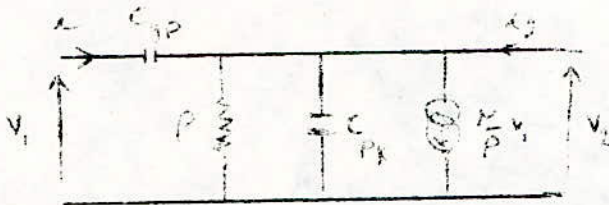
Donc L l'inductance du bobine du circuit oscillant est de 5,6 .

### 5.3. Calcul de fréquence d'oscillation-condition d'entretien.



l'oscillateur

on utilise le schema équivalent pour le tube, pour effectuer les calculs.



Schema équivalent du tube.

$$V_1 = (Z_1 + Z_2) i - \frac{Z_2}{\mu} V_1$$

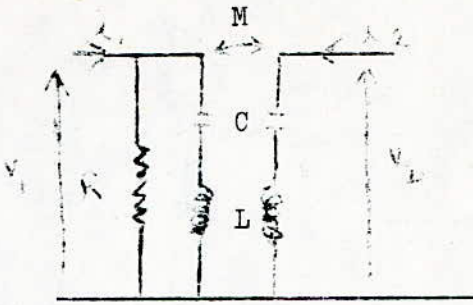
$$V_2 = (Z_2 I_2 + \frac{Z_2 \mu}{\rho} V_1$$

$$\text{avec } Z_1 = \frac{x}{j C_{gp} \omega}$$

$$Z_2 = \rho // \frac{1}{j C_{pk} \omega}$$

Le systeme I peut se mettre sous la forme matricielle suivante

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\mu(Z_1 + Z_2)}{\rho + j\omega Z_1} \\ \frac{\mu Z_2(Z_1 + Z_2)}{\rho + j\omega Z_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 1_1 \\ Z_2 \\ 1_2 \end{bmatrix}$$



schema du circuit sans tube.

$$\begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{RZ}{R+Z} & jMW \\ \frac{jmwR}{R+Z} & Z + \frac{M^2 w^2}{R} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \end{pmatrix} \quad \text{avec} \quad Z = j\left(Lw - \frac{1}{Cw}\right)$$

pour déterminer la fréquence d'oscillations et les conditions d'entretien on détermine tout d'abord la matrice  $Z$  du circuit global puis on fait annuler son déterminant

alors, la partie réelle ( $\text{Re}/Z/$ ), nous donne les conditions d'entretiens et la partie Imaginaire ( $\text{Im}/Z/$ ), nous donne la fréquence d'oscillation.

tout calcul fait on a :

$$\Delta Z = (RZ + M^2 w^2) + R M^2 w^2 = 0$$

$$\text{comme } Z = j\left(Lw - \frac{1}{Cw}\right) \quad (1)$$

$$\text{Im}(\Delta Z) = (Lcw^2 - 1) M^2 cw^3 = 0 \quad (2)$$

comme  $L, M, C, W, R$  sont différentes de 0.

D'après (1) on a  $Lcw^2 - 1 = 0$

$$\Rightarrow f = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

d'après (2) :

$$C^2 M^2 w^4 = (Lcw^2 - 1)^2$$

donc :

$$M = \frac{Lcw^2 - 1}{cw^2}$$

#### 5.4. Principe de fonctionnement du système de commande de relais.

Le système de commande est constitué d'un amplificateur à double triode travaillant en oscillateur, dont l'anode et la grille comportent deux circuits oscillant L C identiques couplés et accordés.

Quand les deux bobines ne sont pas interrompue par la palette qui est solidaire à l'aiguille du galvanometre, les conditions d'entretien des oscillations ne sont pas verifiées.

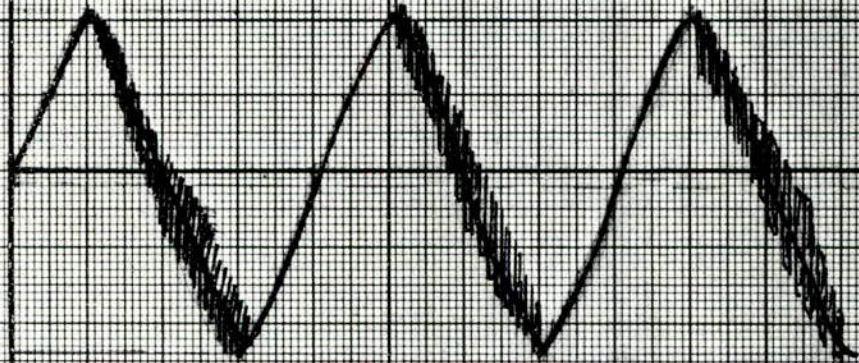
Dans ce cas la double triode fonctionne comme une diode, par contre quand la palette coupe l'espace compris entre les deux bobines, l'oscillateur commence à fonctionner normalement. ce qui fait apparaître un courant continu dans la grille, qui en passant dans la résistance qui shunte le circuit oscillant de la grille rend celle ci plus négative, donc le courant anodique qui passe dans la bobine de relais pour le commander diminue; ce qui fait remettre le relais en position de repos.

#### Remarque :

En branchant en parallele deux tubes identiques, on obtient un tube de même coefficient d'amplification et de résistance interne divisée par deux, il en résulte évidemment que la pente est deux fois plus élevée, pour cette raison un double triode a été utilisé.



20V  
5ms





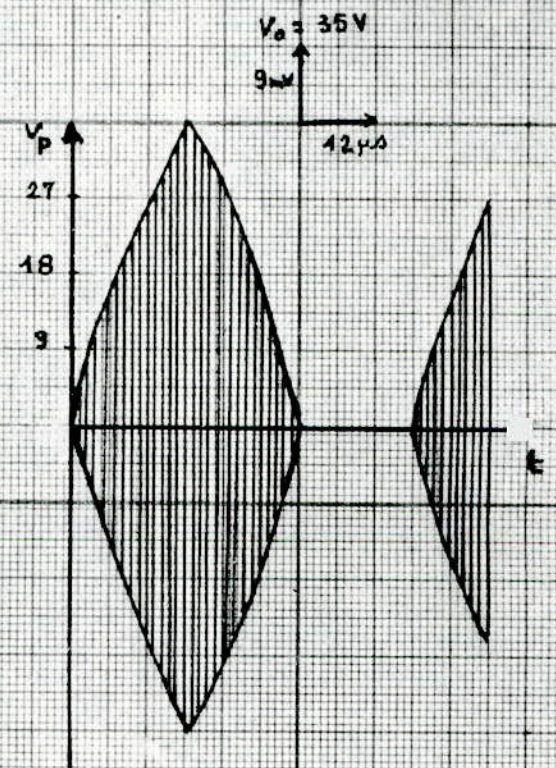
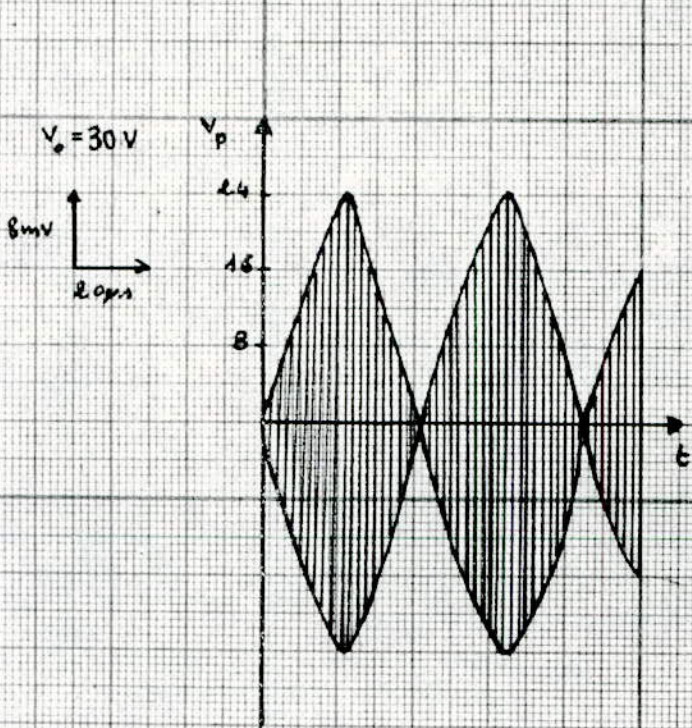
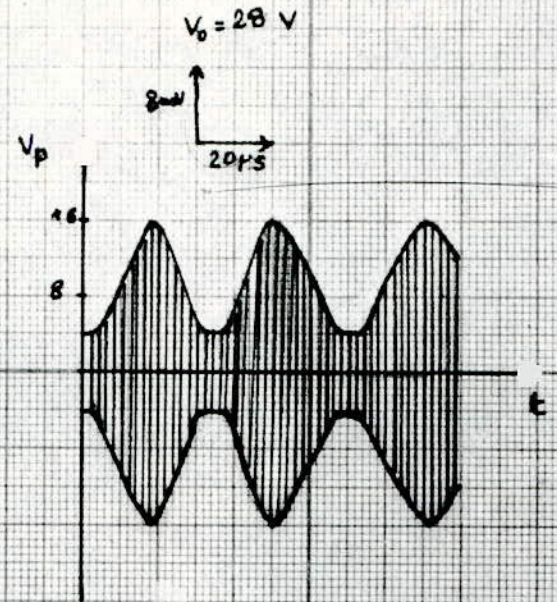
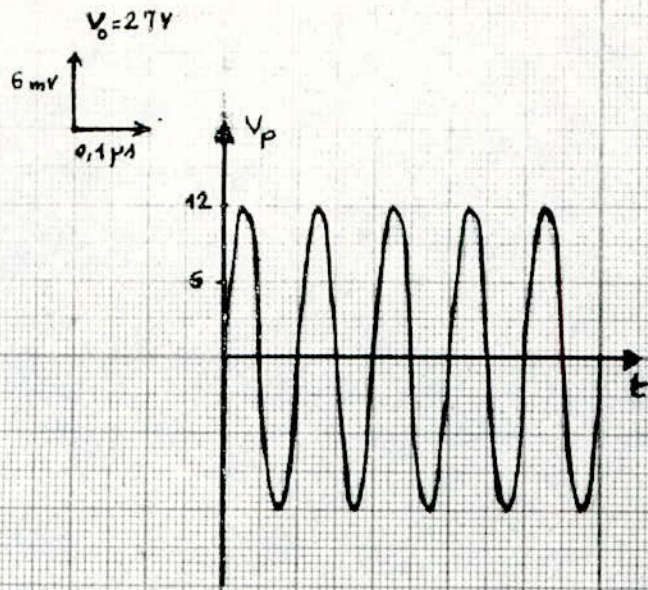


Fig 32



$V_p$  en fonction de la fréquence.

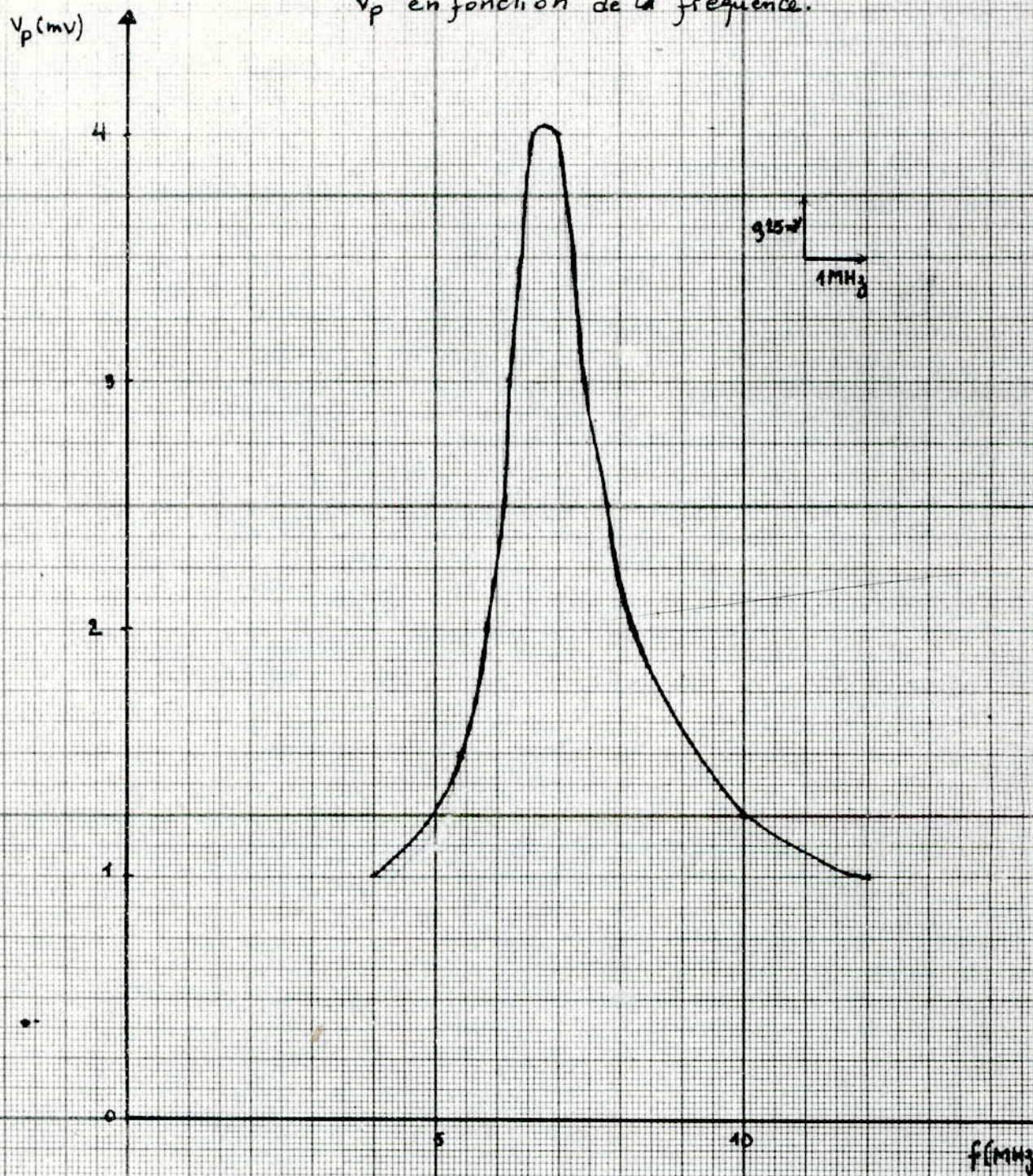


fig 5.4



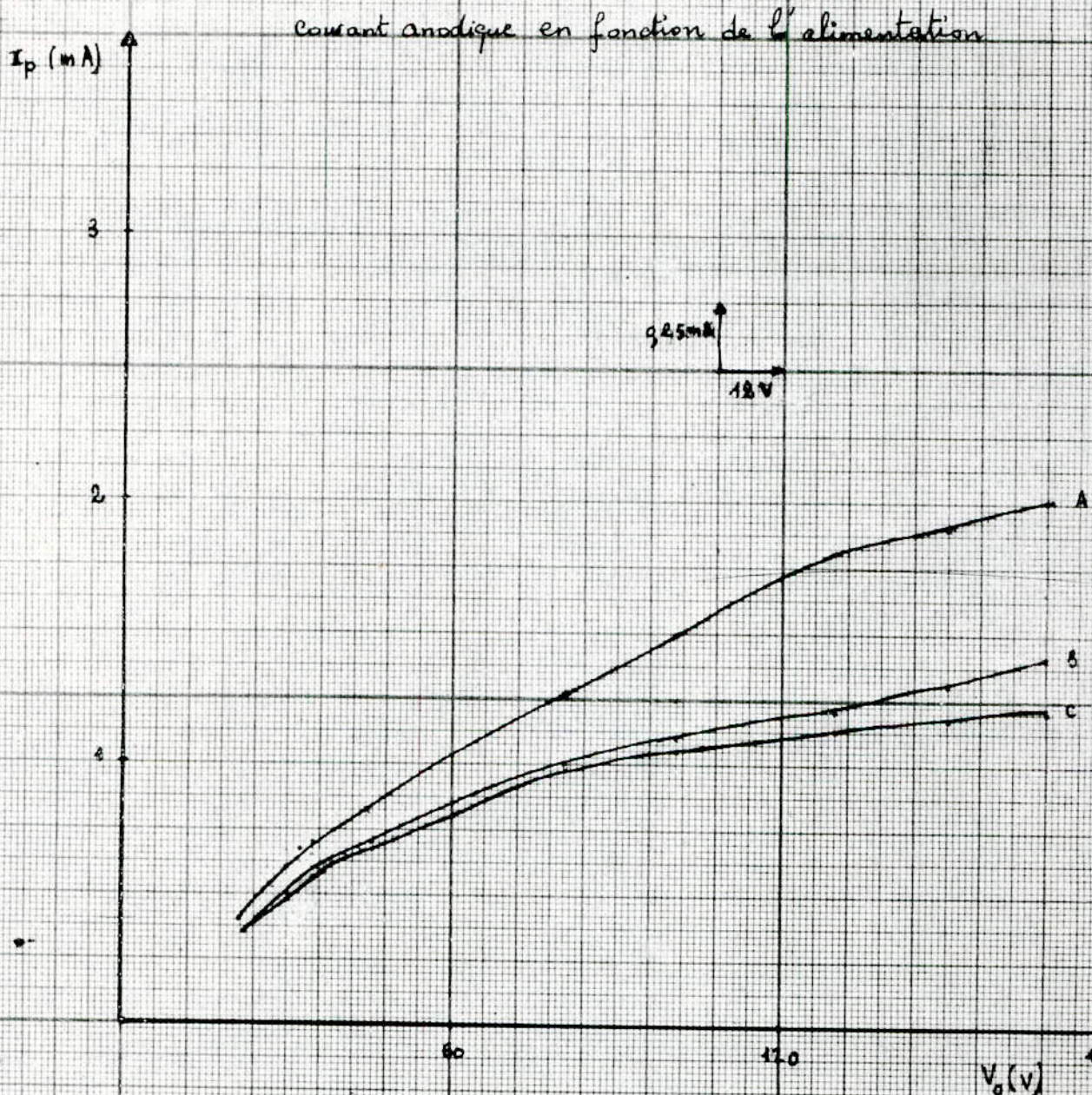


fig 55a

- A : palette confondue avec l'index froid  
 B : palette à 10 div à droite de l'index froid  
 C : palette à 10 div à gauche de l'index froid



$V_p$  (mv)

tension anodique en fonction d'alimentation

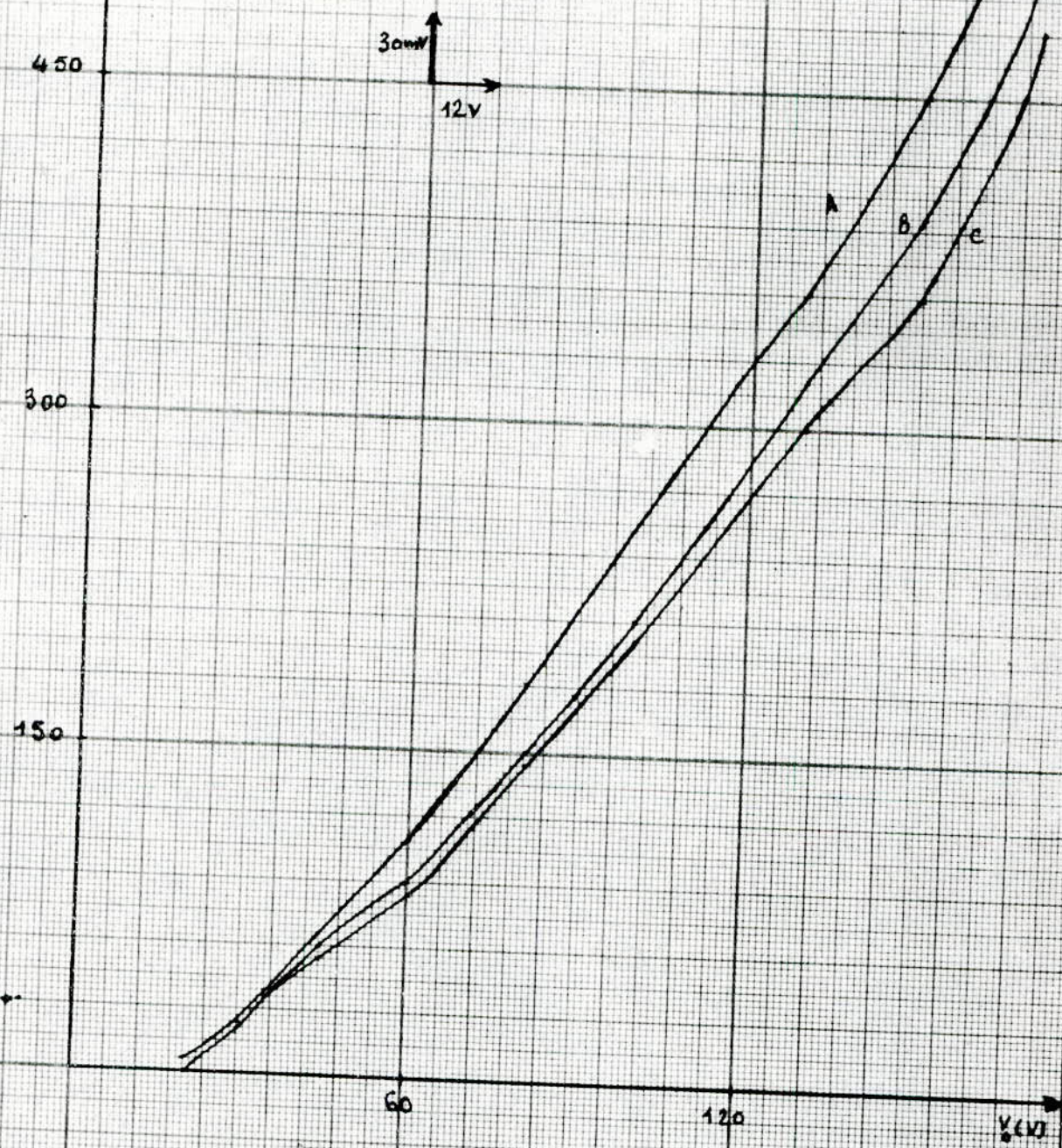


fig 556

- A : palette à 10 div à droite de l'index froid
- B : palette à 10 div à gauche de l'index froid
- C : palette confondue avec l'index froid



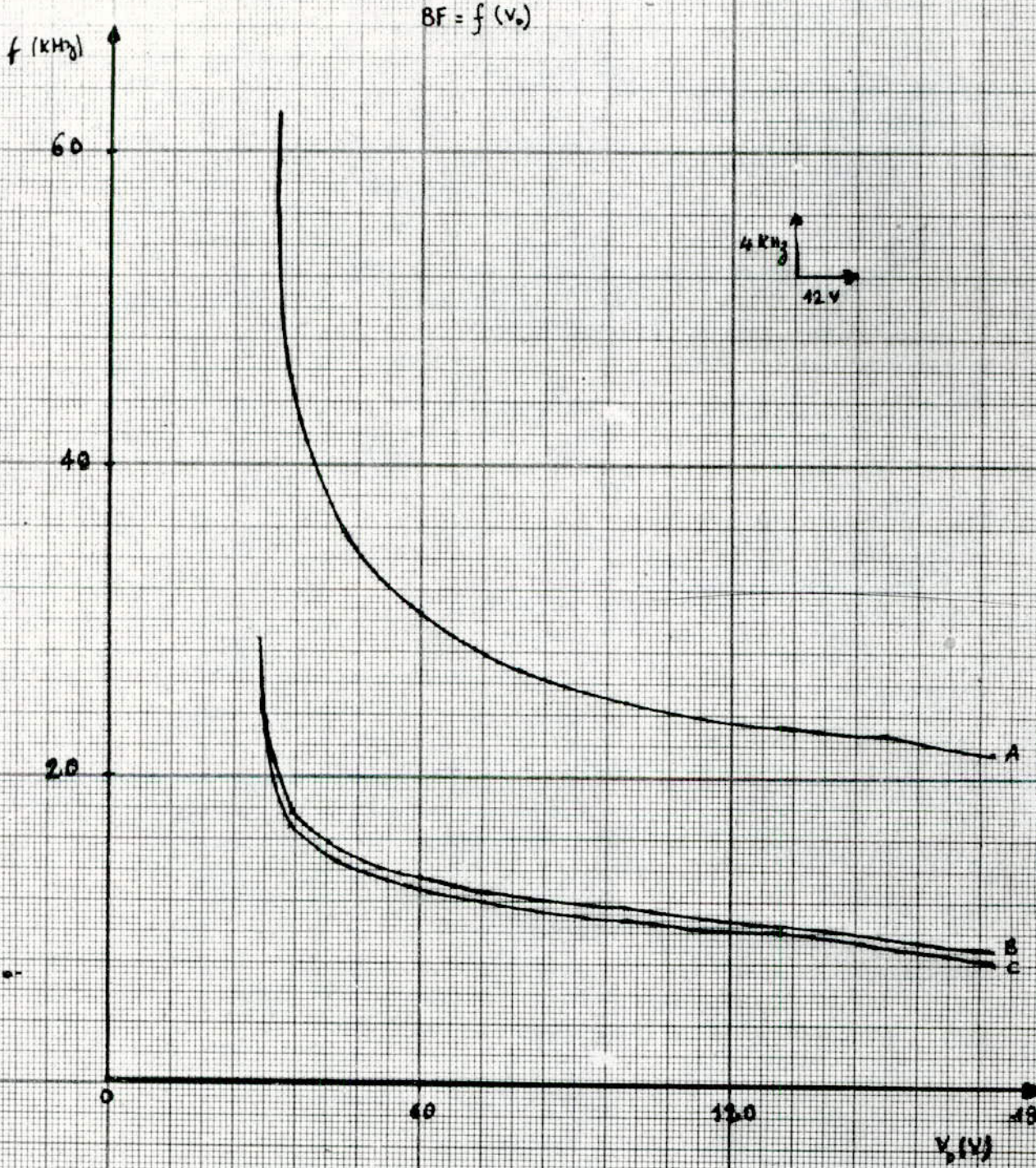


fig 550

- A: palette confondue avec l'index froid
- B: palette à 10 div à droite de l'index froid
- C: palette à 10 div à gauche de l'index froid



### 6.1. Caractéristiques du relais.

Le relais utilisé à la caractéristique de la fig (6.1.) qui exprime la relation entre la commande (état de sortie) et le signal de commande (entrée). On remarque que chaque fois que le signal de commande franchit les seuils  $U_0$  et  $U'_0$ , la commande effectue un saut, où :

$U_0$  : seuil de fonctionnement à l'aller

$U'_0$  : seuil de fonctionnement au retour

En général on met  $u_0$  sous la forme :  $U'_0 = \lambda U_0$

où est appelé le coefficient de retour.

Les valeurs numériques de ces seuils sont :

$$U_0 = 65 \text{ v}$$

$$U'_0 = 41 \text{ v}$$

$$\lambda = 0,63.$$

Ces seuils sont dus au phénomène d'hysteresis du matériau ferromagnétique du relais, donc pour que le relais soit met en position travail, il faut lui appliquer une tension supérieure à 65v, et pour le remettre en position de repos, il faut lui delivrer une tension inférieur à 41v. sur la (fig 6.1.) on a représenté par l'état "1" la position de travail du relais et par "0" la position du repos.

### 6.2. Fonction de transfert du four.

La fonction de transfert du four, on la déterminé expérimentalement par indentification, en utilisant la methode connue sous le nom "Methode de "BROIDA "

### 6.3. Identification par la méthode de BROIDA

Cette méthode consiste a identifier une fonction de M<sup>me</sup> ordre à une fonction de 1<sup>er</sup> ordre effectué d'un retard pur.

La courbe de 1<sup>er</sup> ordre passe par deux points situés sur la courbe enregistrée ayant pour ordonnée 0,28 et 0,40.

ces deux points déterminent deux temps  $t_1$  et  $t_2$



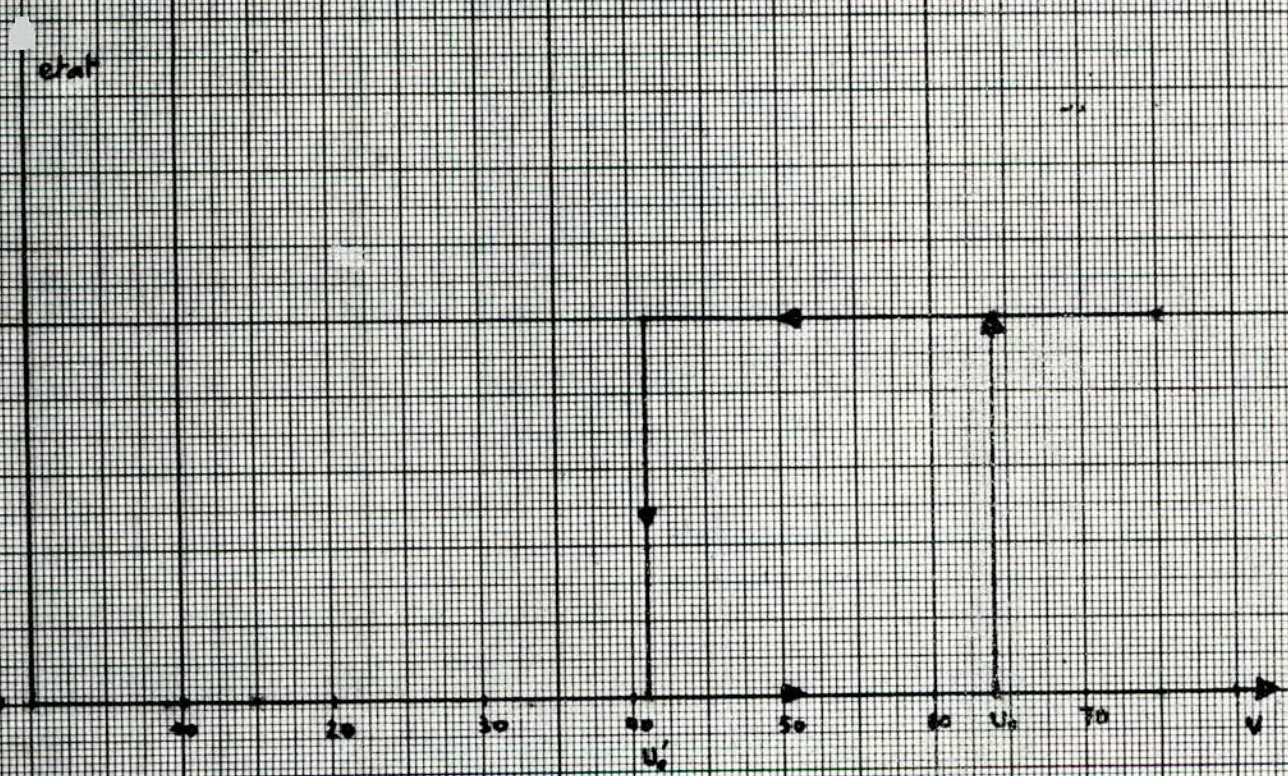
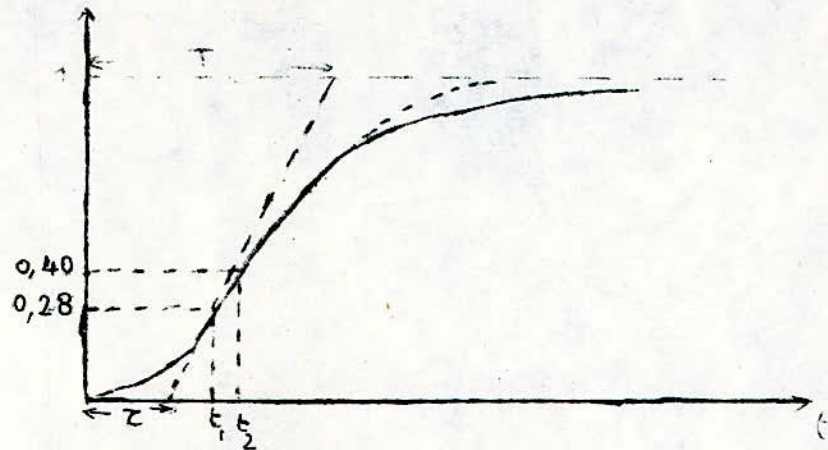


fig 5.1 caractéristique du relais





on calcule alors la constante de temps  $T$ , le retard pour  $\tau$ , et le gain  $G_1$  :  
statique par les formules :

$$T = 5,5 (t_2 - t_1)$$

$$\tau = 2,8 t_1 - 1,8 t_2$$

$$G_1 = \frac{V_{\max}}{V_e}$$

La transmittance du processus en boucle ouverte est donnée par  $G_p = G_1 \frac{e^{-\tau P}}{1 + TP}$   
pour notre cas:

$$t_1 = 20 \text{ min.}$$

$$t_2 = 27 \text{ min.}$$

$$V_e = 220 \text{ v}$$

$$V_{\max} = 37,75 \text{ mv.}$$

d'où  $G_s = 0,17 \cdot 10^{-3}$

$$\tau = 444 \text{ s}$$

$$T = 2310 \text{ s}$$

La fonction de transfert de notre processus est donc:

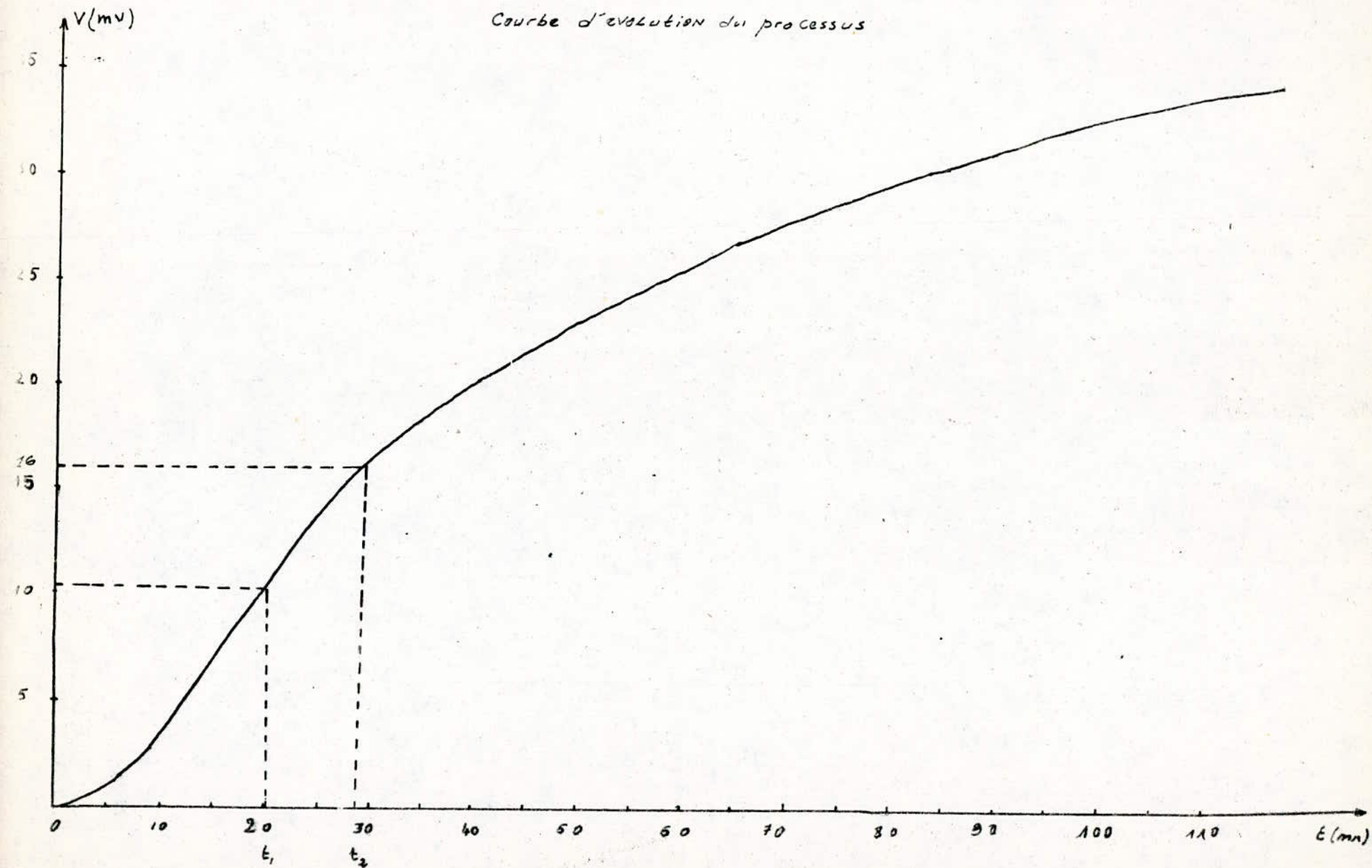
$$G(P) = \frac{0,1710^{-3} e^{-444P}}{1 + 2310 P.}$$

$T > \tau$  ce qui justifie l'utilisation d'un régulateur "tout ou rien"



fig 6.3

Courbe d'évolution du processus



Remarque :

Pour enregistrer la courbe de réaction du four, on a utilisé seulement deux phases pour ne pas endommager le four lorsque le regime établi sera atteint.

6.4. L'évolution du processus.

L'évolution du processus est représenté par les courbes enrégistrées pour les différents modes de fonctionnement :

- sans regulation fig.6.3.

La température monte en fonction du temps jusqu'a on elle atteint le regime établi.

- avec regulation normale (fig 6.4.).

La consigne est fixée à une température donnée (800° C par exemple), la température monte jusqu'a cette valeur où elle y reste en oscillant autour d'elle.

En augmentant la sensibilité de l'enregistreur, on peut voir la variation de l'écart entre la valeur de consigne et la température mesurée.

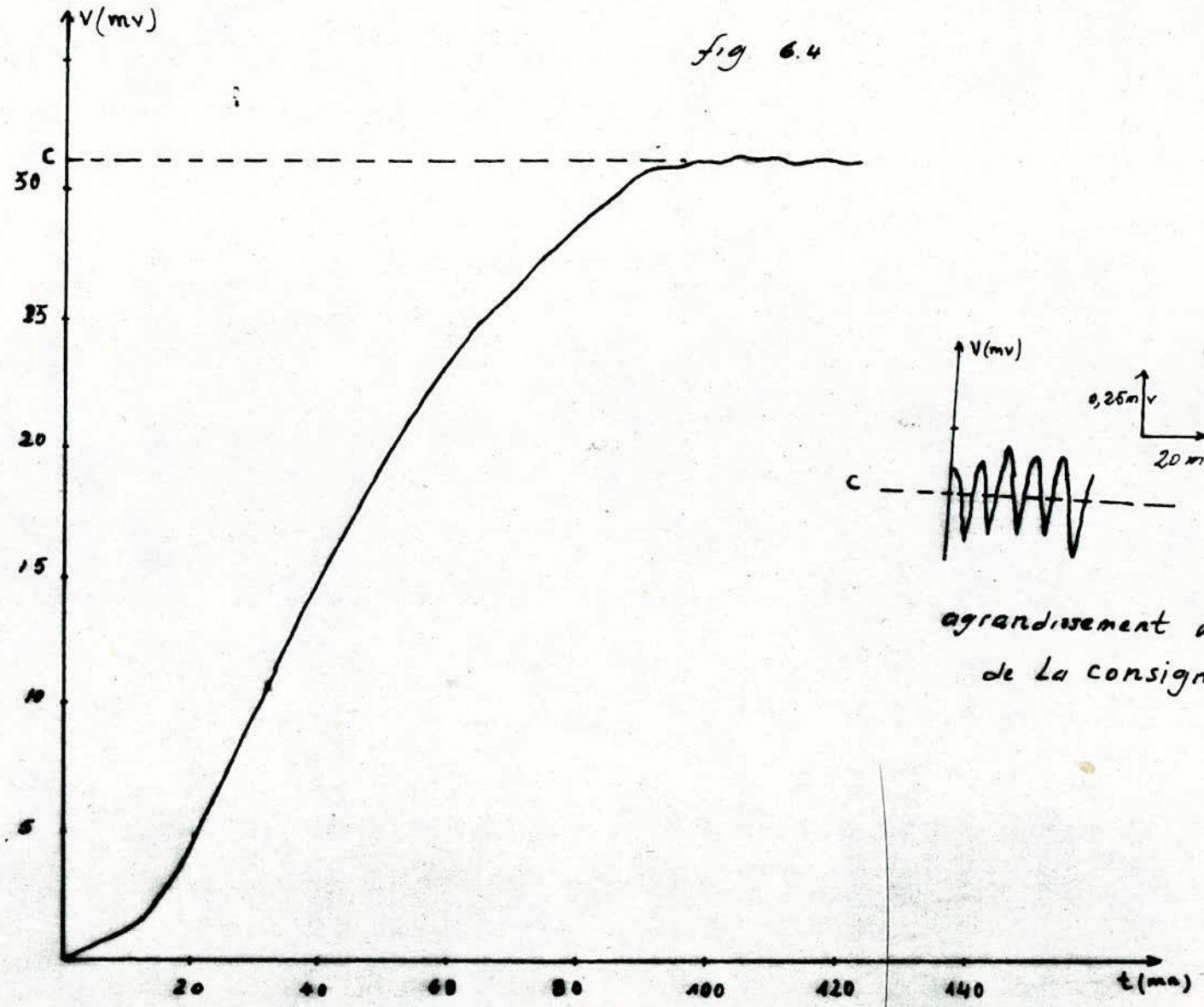
- avec regulation programmée ( fig.6.5.)

En choisissant un disque de programme, on fait suivre la température à une courbe déterminée la montée de température du four se fera suivant le profil de decoupe du disque.

Remarque :

L'enregistrement a été faite à partir du tube laboratoire sous l'air et sans debit d'eau .

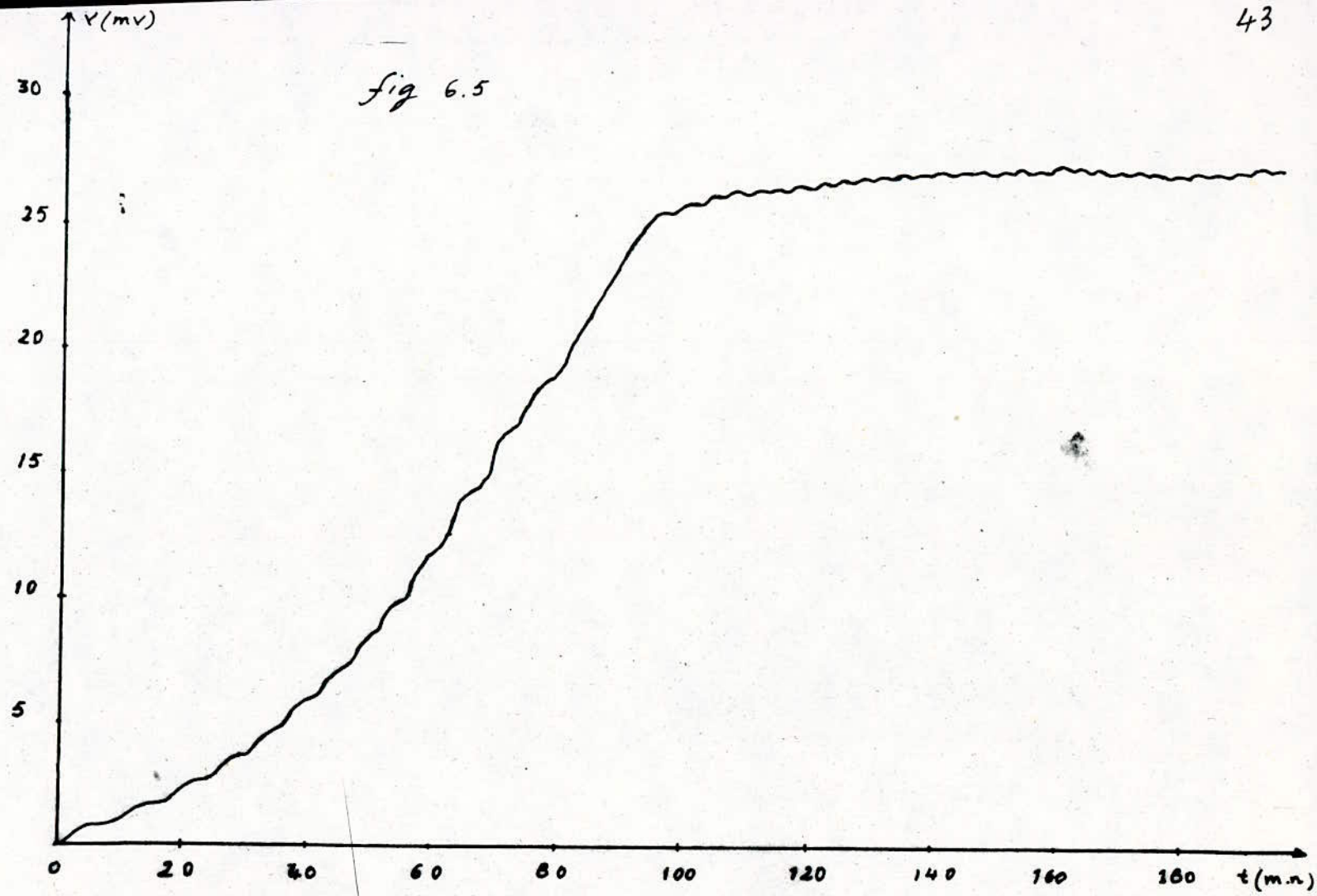
fig 6.4



agrandissement au voisinage  
de la consigne



fig 6.5



La modernisation de ce type de régulateur, tout en gardant le programmeur; ce qui fait de garder aussi la partie de mesure galvanométrique, consiste à choisir un système qui permet de repérer la position de l'aiguille pour la comparer à celle de l'index de consigne, et qui agit sur le système de commande transistorisé.

Ce repérage se fait de deux façons :

- repérage électromagnétique.
- repérage optique.

#### 7.1.1. Le repérage électromagnétique :

Le repérage électromagnétique est basé sur le couplage de deux bobines comme il est décrit dans le chapitre 5.

#### 7.1.2. Le repérage optique.

Le repérage optique consiste à utiliser une source de lumière (par exemple une L.E.D.) et un capteur optique (par exemple, un phototransistor) disposés comme il est indiqué sur la fig. 1, et fixés sur les orifices des bobines qui ne sont plus utilisés.

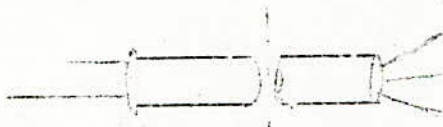


fig 1. disposition des éléments photoélectriques.

#### 7.2. Système de commande à transistor.

Cette solution consiste à garder les deux bobines couplées et de remplacer le circuit à tube par un autre à transistor, en changeant ainsi le relais.

On choisit un transistor à effet de champ (F.E.T.) qui a une grande impédance d'entrée, et une constante d'amplification de même ordre que celle du tube (par exemple). fig 7.1.

##### 7.2.1. Principe de fonctionnement.

Quand la plaque d'aluminium est en dehors des bobines couplées un courant continu passe dans le relais à travers la jonction collecteur-émetteur du transistor  $T_1$ .



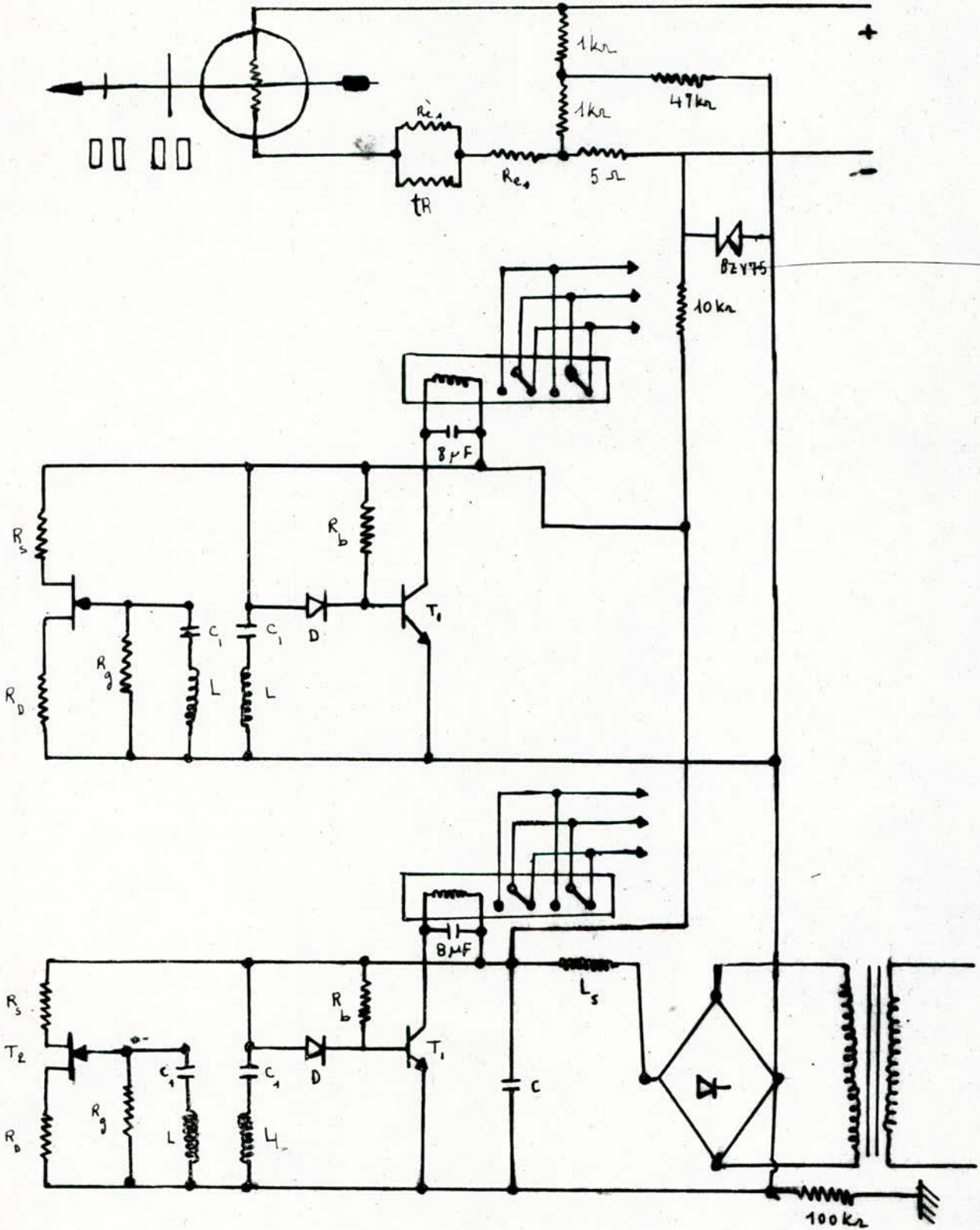


fig 7.1

Ce courant est suffisant pour exciter la bobine du relais si la plaque coupe l'espace entre les deux bobines, le coefficient du couplage de deux bobines chute, et des oscillations apparaissent aux bornes du circuit oscillant  $L_c$ . Ces oscillations seront redressées par la diode  $D_1$ , ce qui fait une tension négative sera appliquée à la base de  $T_1$ , ce qui entraîne son blocage et donc le courant passant dans relais diminue et sa position change.

### 7.2.2. Calcul des éléments du circuit.

#### 7.2.2.1. Alimentation fig.7.2.

$$\text{on a } V_{CC} = 2 \frac{(V_p - 1,4)}{\pi}$$

où 1,4 v est la chute de tension aux bornes du pont à diodes.

$$V_{CC} = \frac{2(24 - 1,4)}{\pi} = 14,4 \text{ Volts.}$$

on prend  $C = 10,0 \text{ F}$ , elle représente un court-circuit pour l'alternative et un circuit ouvert pour la fréquence du travail.

pour avoir un bon filtre, il faut que  $L_w$  au moins 10 fois plus que  $\frac{1}{C_w}$

$$L_w \geq 10 \frac{1}{C_w}$$

$$L \geq \frac{10}{C_w \omega^2}$$

$$C = 10,0 \text{ F} \quad \omega = 2\pi f$$

$f = 100 \text{ Hz}$  fréquence obtenue après le redressement en double alternance du secteur.

donc  $L \geq 0,25 \text{ mH}$ , on prend  $L = 0,5 \text{ mH}$

La résistance de la bobine est très faible (de l'ordre de  $20\Omega$ ) qui peut être considérée comme un court-circuit.

donc  $E \approx V_{CC} = 14,4 \text{ volts.}$

En l'absence des oscillations (la plaque en dehors) le schéma du circuit sera comme l'indique la fig 7.3.

La droite de charge de  $T_1$  à pour equation.

$$E = R_c I_c + V_{CE}$$

$$I_c = \frac{E - V_{CE}}{R_c}$$



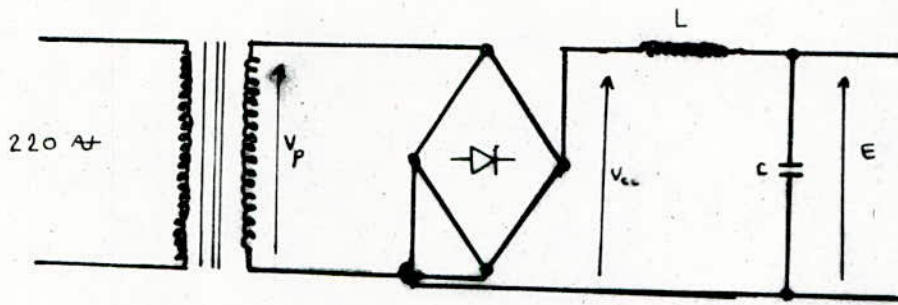


fig 7-2

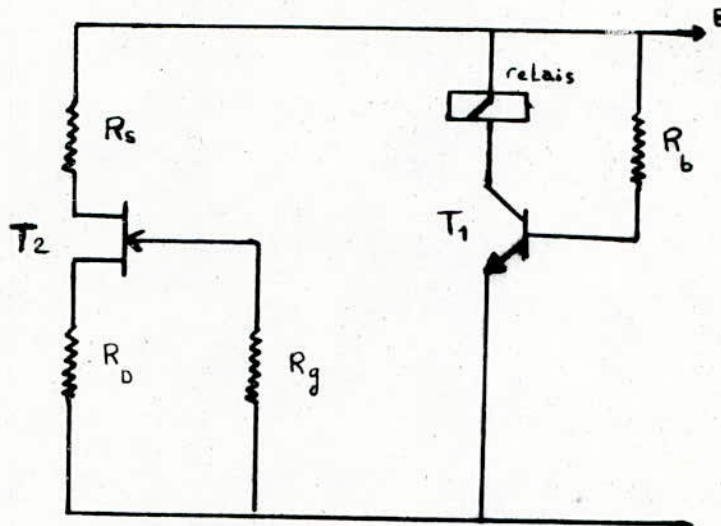


fig 7-3

où  $R_c$  est la resistance du relais  $R_c = 2,2 \text{ kr.}$

Le point de fonctionnement du  $T_1$  est choisit tel que :

$$I_c = 5 \text{ m A}$$

$$V_{cE} = 11 \text{ V.}$$

7.2.2.2 Calcul de  $R_b$  :

$$E = R_b i_b + V_{BE}$$

comme  $I_c = \frac{I_b}{B}$  ,

$$R_b = \frac{(E - V_{BE}) B}{I_c}$$

$$E = 14,4 \text{ v}$$

$$V_{BE} = 0,6 \text{ v}$$

$$B = 36$$

$$I_c = 5 \text{ m A}$$

$$R_b = 99360 \text{ r}$$

on prend une valeur normalisée de  $R_b$

$$R_b = 100 \text{ k}\Omega$$

pour le circuit oscilateur on a choisit un FET du type BF 244 A pour avoir une polarisation mediane, on prend.

$$R_s = \frac{1}{g_{m0}}$$

$$g_m = 5000 \text{ }\mu\text{S}$$

$$I_{DSS} = 5 \text{ m A}$$

$$V_{gs} = 13 \text{ v}$$

ce qui donne

$$R_s = 200 \text{ }\Omega$$

on prend une valeur normalisée de  $220 \text{ }\Omega$

$$R_D = 5 \text{ K}\Omega$$

$$R_g = 10 \text{ M}\Omega$$



Nomenclature

Transformateur : 220/24 V.

Pont à diodes M D A 920 - 3

$L_s$  : 0,5 mH

$L$  : 5,6 mH

$C_1$  : 10 pF

$C$  : 49 pF

$R_s$  : 220  $\Omega$

$R_b$  : 100 K  $\Omega$

$R_g$  : 10 M  $\Omega$

$R_D$  : 5 K  $\Omega$

$D$  : 1 N 4001

$T_1$  : B SS 28

$T_2$  : BF 244 A

relais

$R$  = 2,2K  $\Omega$

$E$  : 10 V.

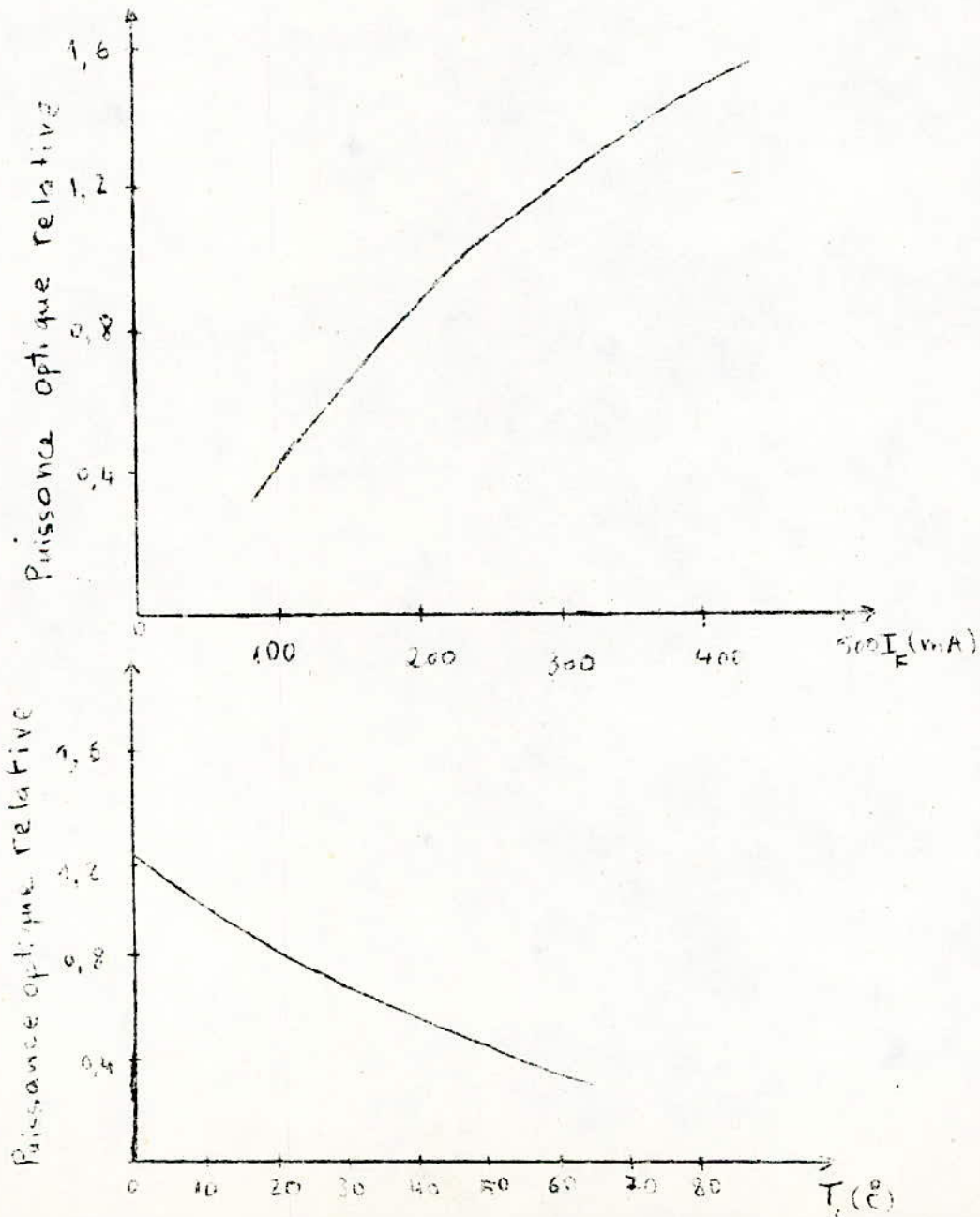
### 7.3. Système de commande à phototransistor.

#### 7.3.1. La source lumineuse

On utilise une diode électroluminescente (LED) où dans ce type de diode l'énergie libérée par la recombinaison d'un électron et d'un trou au niveau de la jonction PN se fait sous forme d'un photon.

#### 7.3.2. Caracteristiques electriques et optiques du LED.

La tension directe appliquée a la diode est voisine de 1,5 V ( $\pm 20\%$ ) pour courant nominal  $I_F = 50$  mA.





La puissance optique totale emise  $P_0$  est sensiblement proportionnelle à  $I_F$ . Dans le domaine normale d'utilisation ( fig.7.1.).

Cette puissance varie selon les types; de quelques dixième(0,1) de mW a quelques de mW. Le rapport  $P_0/I_F$  pouvant être compris entre quelques mW/A et quelques centaines. La puissance  $P_0$  dépend aussi de température comme, il est indiqué sur la courbe de la fig.7.2.

Lorsque on cherche des puissances de crête importante on utilise un courant  $I_F$  pulsé qui permet d'éviter un échauffement excessif.

#### 7.4. Capteur optique.

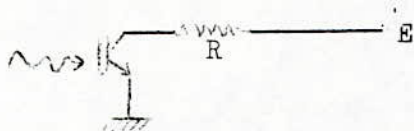
Il permet de traduire en signaux électriques de l'information portée par de la lumière visible ou des rayonnements de longueurs d'ondes voisines : L'infra-rouge ou l'ultra-violet.

On utilise un phototransistor qui peut être considerer comme l'association d'une photodiode et d'un transistor.

##### Phototransistor.

Constitution et principe du fonctionnement.

Il s'agit d'un transistor, en général au silicium et de type NPN dont l'element semi-conducteur constituant la base peut être éclairé, celle-ci n'étant en général pas electriquement accessible, aucune polarisation externe ne lui est appliquée alors qu'entre collecteur et emetteur la polarisation est normale.



toute la tension appliquée se trouve pratiquement à la jonction base-collecteur qui est polarisée en inverse alors que la différence de potentiel entre emetteur et base n'est pas sensiblement modifiée.

Lorsque la région voisine de la jonction base-collecteur est éclairée elle se comporte une photodiode en photoconducteur dont le courant est  $I_T = I_0 + I_p$

$I_0$  : courant inverse d'obscurité.

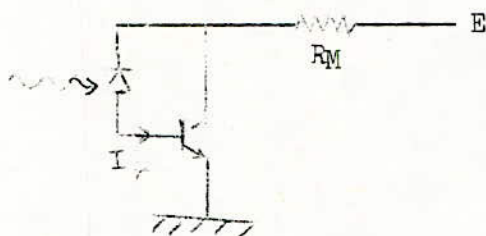
$I_p = q \frac{D(1-R)}{h c} \exp(-\frac{x}{L}) \lambda \phi_0$ , étant le courant d'origine photoelectrique dû au flux incident  $\phi_0$  ayant traversé l'épaisseur de base  $X$  et dont la longueur d'onde est  $\lambda$  avec la condition que  $\lambda < \lambda_s$  (longueur d'onde seuil).

Le courant  $I_r$  joue le rôle d'un courant de base et entraine donc par effet transistor, la circulation d'un courant collecteur

$$I_c = (B + 1) I_r = (B + 1) I_o + (B + 1) I_p$$

B est le gain en courant du transistor en emetteur commun  $(B+1)I_o = I_{co}$  : est le courant d'obscurité du phototransistor.

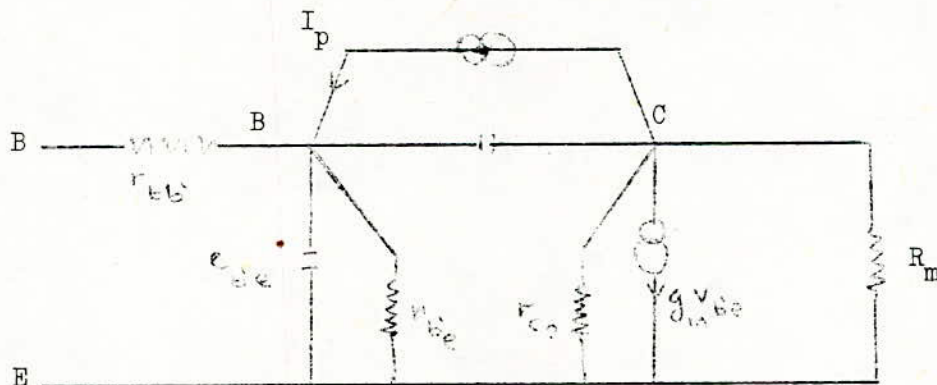
$(B + 1) I_p = I_{cp}$  : est le courant collecteur provoqué par le flux incident. On peut donc considerer le phototransistor comme l'association d'un photodiode et d'un transistor.



La première délivrant à la base le courant photoélectrique  $I_p$ . le second apportant l'amplification B.

Schema équivalent :

Schema électrique equivalent du phototransistor fonctionnant en "petits signaux" se deduit du schema physique de Giacole T10 en plaçant entre base uraie B et collecteur C, La source de courant photoélectrique  $I_p$ . Lorsque la base n'est pas electriquement connectée, le schéma est



Aux fréquences basses, en négligeant les capacités  $C_{be}$  et  $C_{bc}$  on a pour la tension  $v_m$  aux bornes de la charge  $R_m$  : celle-ci étant petite devant  $r_{ce}$ .



$$V_m = - ( g_m V_{be} + I_p ) R_m$$

Avec  $V_{be} = r_{be} I_p$  et  $g_m = B / r_{be}$ .

on a  $V_m = - ( B + 1 ) I_p R_m$

on peut donc aux fréquences basses assimiler le phototransistor à une source de courant  $( B + 1 ) I_p$ .

#### Courant d'obscurité.

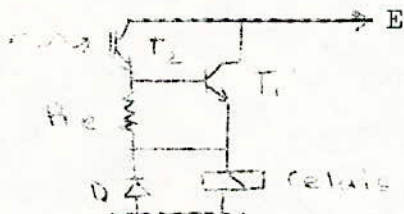
Le courant d'obscurité  $I_{co}$  à  $25^\circ\text{C}$  est de l'ordre  $10^{-8}$  A il dépend de la tension collecteur - émetteur et de la température.

Lorsque la base est accessible le courant d'obscurité peut être réduit en plaçant une forte résistance dans le circuit de base.

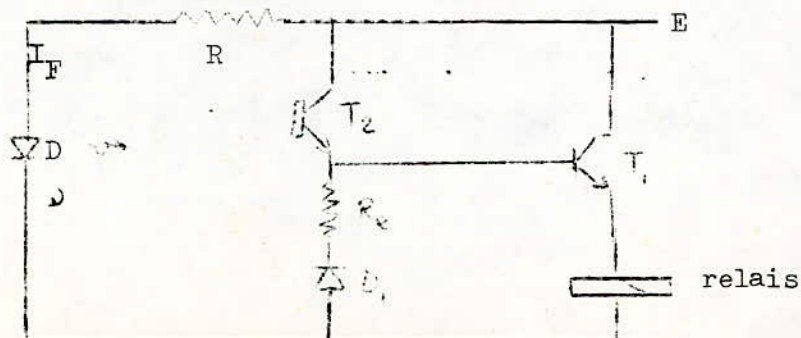
#### Phototransistor en commutation.

L'information est dans ce cas binaire : rayonnement présent ou non ou bien éclaircissement supérieur ou non à un seuil. Le transistor bloqué ou saturé assure la commande directe ou après amplification d'un relais (comme dans notre cas).

La rapidité de commutation qui est limitée par la résistance de charge du phototransistor peut être noblement améliorée si l'on fait suivre ce lui-ci d'un montage à faible impédance d'entrée.



Schema du régulateur à phototransistor et LED.



Si l'on recherche une bonne stabilité de la puissance emise, il ya interet à alimenter la diode par une source stabilisé.

Calcul des éléments du circuit :

- Pour la polarisation, on utilise la même alimentation calculé précédement c'est à dire une tension redressée et filtrée de 14V.

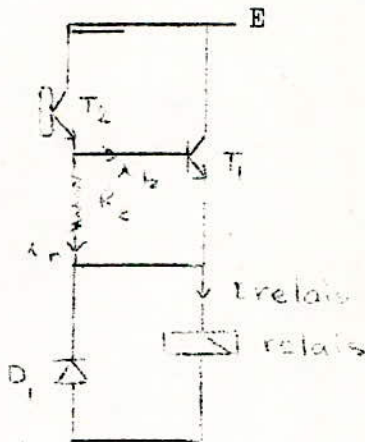
on determine la resistance de protection de la photodiode de telle façon qu'on a une tension de 1,5 v au borne de la photodiode qui correspond d'après les caractéristiques de C Q y 58 à un courant  $I_F$  de 50 mA.

donc R est donné par :

$$R = \frac{E - V_F}{I_F}$$

$$= \frac{14 - 1,5}{50 \cdot 10^{-3}} = 250 \text{ } \Omega$$

on prend une valeur normalisé de R : R = 260  $\Omega$ .



Le point de fonctionnement du phototransistor est déterminé par sa sensibilité au radiation captée.

La sensibilité minimale de la BPX29 est de 0,25 mA.

On choisit  $R_e$  de telle manière que un courant  $i_b$  de 50  $\mu$ A passe dans la base de  $T_1$  c'est à dire que  $T_1$  travaille en saturation

$$\text{comme } I_F = i_r + i_b$$



$i_r$  : courant qui passe dans  $R_e$

$$\begin{aligned} \text{donc } i_r &= I_F - i_b \\ &= 0,25 - 0,05 \\ &= 0,2 \text{ mA.} \end{aligned}$$

d'après l'équation :

$$R_e I_r = V_{BE}$$

$$\begin{aligned} \text{on tire : } R_e &= \frac{V_{BE}}{I_r} \\ &= \frac{0,6}{0,2} \\ &= 3 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

finalement dans le relais passe un courant de :

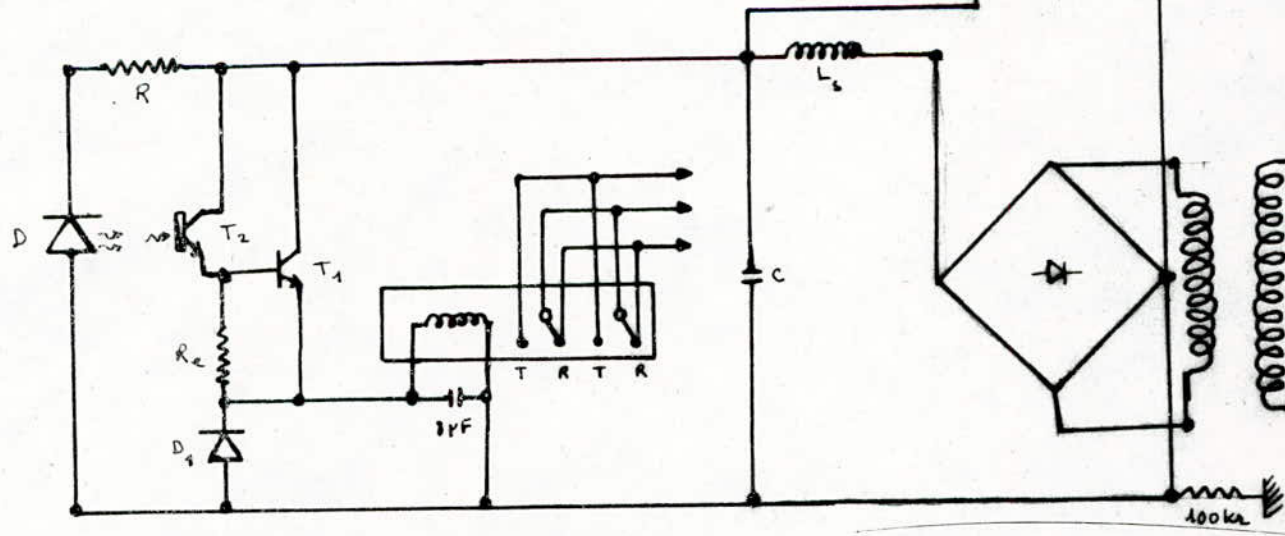
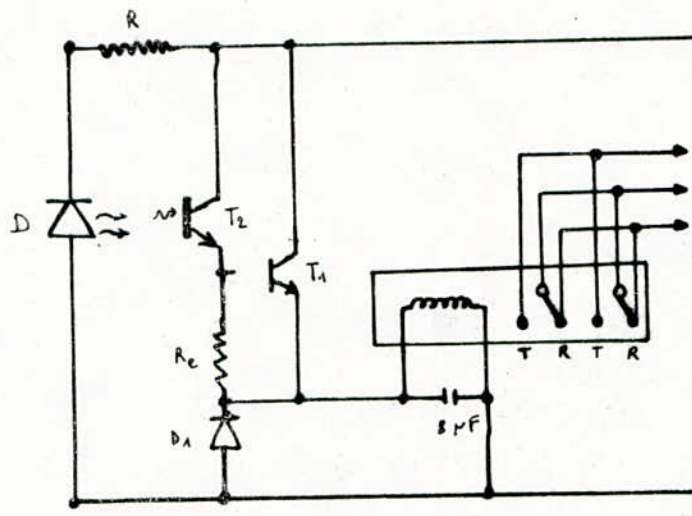
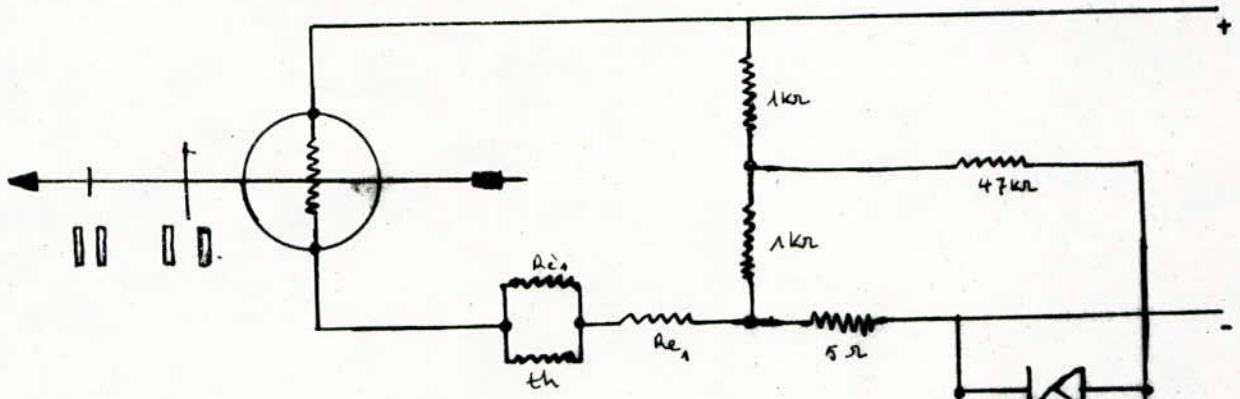
$$\begin{aligned} I_{\text{relais}} &= \beta i_b + I_r \\ &= 80 \times 50 + 0,2 \\ &= 4,2 \text{ mA} \end{aligned}$$

donc :

$$R : 260 \Omega$$

$$R_e = 3 \text{ k}\Omega$$

$$I_{\text{relais}} = 4,2 \text{ mA.}$$





Nomenclature

## Transistors. :

 $T_1$  : 2 N 222 A. $T_2$  : BP X 29

## Diodes :

 $D_1$  : 1 N 4001

D ; 9Y 58

## Résistance :

R : 260  $\Omega$  $R_e$  : 3 k $\Omega$ 

## Relais :

R : 2,2 K $\Omega$ 

E : 10 V.

-oOo C O N C L U S I O N oOo-  
o=c=o=c=o=c=o=c=o=c=o=c=o

Le travail qu'on a affectué constitue une contribution pour récupérer le matériel existant à l'ENP, et qui est en panne.

Dans ce but, on a fait l'analyse d'un régulateur programmeur du four " OPALINE" après l'avoir remis en état de fonctionnement.

Les schemas ont été reconstitués à partir du four, et les connexions des relais du régulateur ont été modifiées. Les essais expérimentaux concernant le four ont été effectués dans le but d'avoir des informations sur l'état de bon fonctionnement du four. Mais il reste encore :

- les fissures détectées sur le tube laboratoire qui doivent être soudées.
- les thermocouples doivent être changés et réétalonnés.

Pour terminer, nous espérons que le travail que nous avons accompli sera un outil utile et rendra service aux chercheurs et étudiants du département de métallurgie.



## I. Alimentation du four.

Comme la tension délivrée par le reseau triphasé est de 380v. alors que le four doit être alimenté par 220v(il n'est pas possible de connecter l'élément chauffant en étoile)il faut donc utiliser un transformateur triphasé 380/220v.

## II. Mise en service du four.

### 2.1. Mise sous tension

La mise sous tension: du four se fait par l'interrupteur "Commande générale à clé".  
Tous les voyants rouge s'allument.

### 2.2. Mise en marche des pompes.

Cette opération s'effectue pour la mise sous vide ou sous gaz.

- mise en marche de la pompe primaire.
- mise en marche de la pompe secondaire.

### 2.3. Mise en service de la chauffe du four.

Toutes les opérations préliminaires ayant été effectuées (mise en oeuvre du bâti de pompage soit pour travail sous vide, soit sous gaz), le débit d'eau étant normal, on peut faire chauffer le four.

#### 2.3.1. Fonctionnement manuel.

Pour effectuer un palier à une température donnée

- Mettre le bouton "Auto-manuel" sur la position "manuel"
- Regler les index de température chaude et froide sur les positions correspondant avec consigne désirées, ainsi que la distance entre eux qui détermine les fluctuations entre ces deux consignes.

- Mettre le tube laboratoire dans le four de chauffage en appuyant sur le bouton poussoir de translation avant

- Mettre le four en marche par le bouton "marche four"

(le voyant vert "marche four" doit s'allumer ).

### 2.3.2. Fonctionnement automatique.

- Mettre le bouton "Auto-Manuel" sur la position "auto"

- Tourner le bouton "marche four" à droite.

- Après avoir choisi le disque de programme positionner le zero (graduation du bouton en haut a gauche) avec le repere fixe (point rouge)

- La programmation de l'arrêt du four (cycle unique ) se fera par le réglage de l'index (bouton en haut a gauche) sur la graduation correspondante à la durée de chauffage du four.

Cette durée détermine le choix du moteur ainsi que les pignons (A et B) à partir du tableau qui se trouve en bas de l'armoire du regulateur (voir CH:4).

- Mettre le programmeur en marche sur l'un ou l'autre des cycles de de fonctionnement (cycle continu ou discontinu) par le commutateur qui se trouve en bas à gauche une lampe témoin verte s'allume.

Cette action met en mouvement le programme de chauffe du four.

- Appuyer sur le bouton poussoir "translation avant".

### 2.4. Arrêt de chauffage.

Il ne faut jamais couper l'alimentation du circuit de puissance alors que le four est à haute température.

pour arrêter le four, il faut ramener le programme à l'ambiante par la découpe du disque.

lorsque la température du four est suffisamment basse (300° à 400° C) on peut alors couper le courant.



## III L'étalonnage de l'appareil de mesure de température

Pour étalonner l'appareil de mesure de température à partir de la table de conversion de la f.e.m. en fonction de la température correspondante au thermocouple Ni cr - Ni Al, on utilise :

### 3.1 Four d'étalonnage :

Pour vérifier la f.e.m. des couples, il faut utiliser le four d'étalonnage, ce four possède plusieurs allures de chauffe et permet à l'aide d'un couple étalon d'effectuer l'étalonnage.

### 3.2 Générateur de millivolts :

Cet appareil destiné à fournir de mV, simule la f.e.m. des thermocouples à partir d'une pile étalon et d'un diviseur de tension. Cet appareil a une impédance de source comparable à celle des thermocouples couramment utilisés. Les résistances de ligne sont figurées par des potentiomètres montés en résistance variable.

#### 4. Caracteristiques des elements non lineaires.

Transistor BSS 28.

B : 30

$V_{cE}$  : 0,4v

$F_t$  : 400 MHz

valeur a ne pas depasser \

$V_{cB}$  = 50 V

$V_{cE}$  = 30 v

$I_{cM}$  : 1 A

FET BF 244 A.

$I_{Dss}$  : 5 mA (  $V_{Ds} = 15V$ ,  $V_{gs} = 0$  )

$g_m$  = 5000  $\mu$ S

valeurs à ne pas depasser.

$V_{Ds}$  = 30V

$I_D$  = 25 mA

Transistor 2N222 A.

caracteristique max

$V_{cB0}$  = 70 v

$V_{cE0}$  = 40 v

$V_{BE0}$  = 6 v

$I_c$  = 800 mA.

$I_c$  = 20 mA,  $V_{cE} = 20v$

$F_t$  = 300 MHz.



photodiode ( source ) : CQY 58.

max d'emission = 875 nm

tension appliquée  $V_F = 1,5V$  à  $I_F = 50$  mA.

intensité  $I_{FRM} = 50$  mA.

efficacité min 20 pour  $I_F = 20$  mA

Puissance 150 mW

Phototransistor.

max de sensibilité = 800 nm

surface sensible  $0,3$  mm<sup>2</sup>

Valeur max.

$V_{CE0} = 32$  V

$I_{CM} = 100$  mA.

Puissance :: 900 mW

sensibilité min = 0,25 mA.

courant d'obsairité 1 mA à  $V_{CE} = 24$  V.

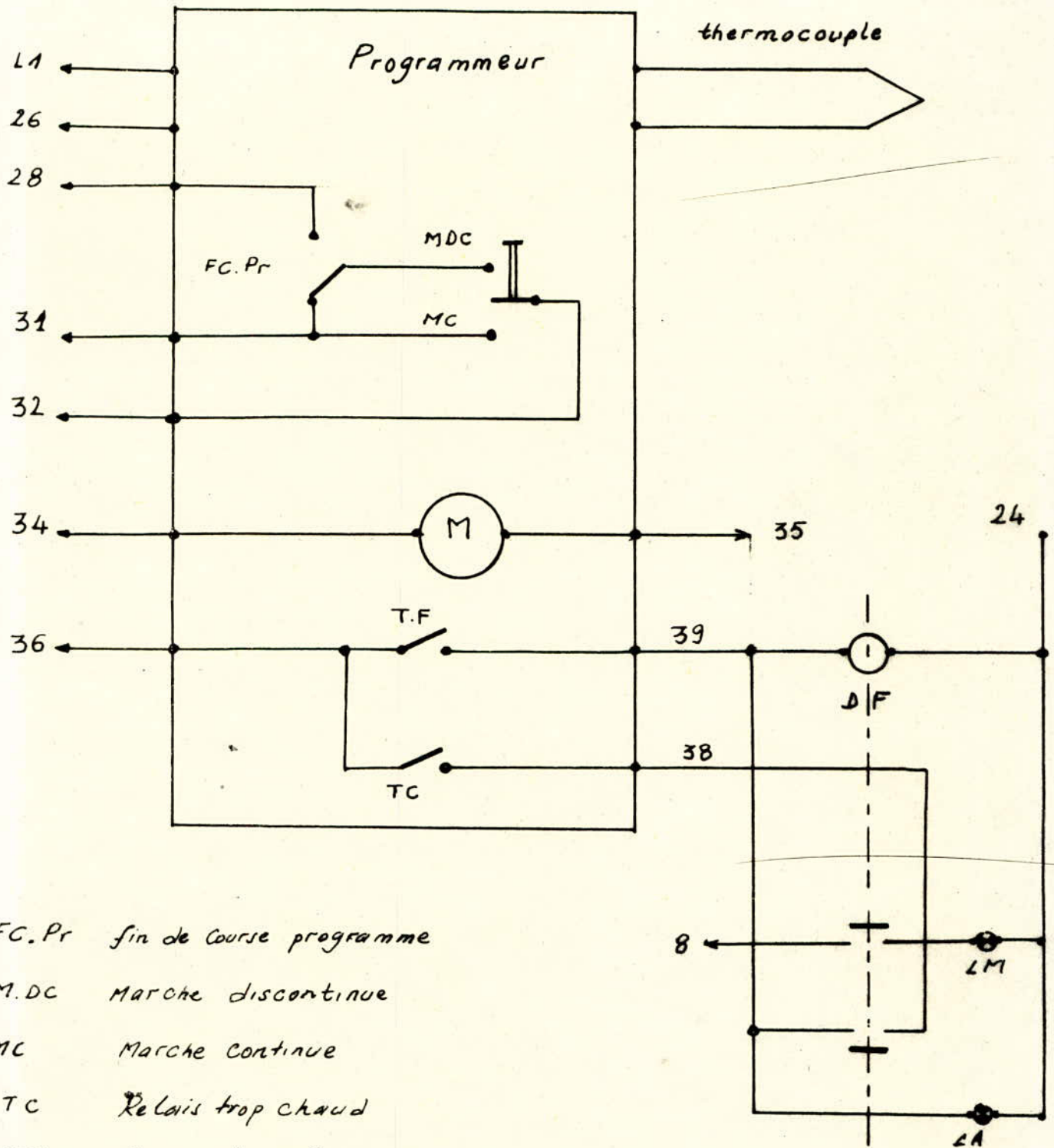
NICKEL-CHROME / NICKEL-ALUMINIUM

Force électromotrice en  $\mu\text{V}$ . Température en  $^{\circ}\text{C}$  (E.I.P.T. 1968) Jonction de référence à  $0^{\circ}\text{C}$

d'après la Norme NF C 42-321

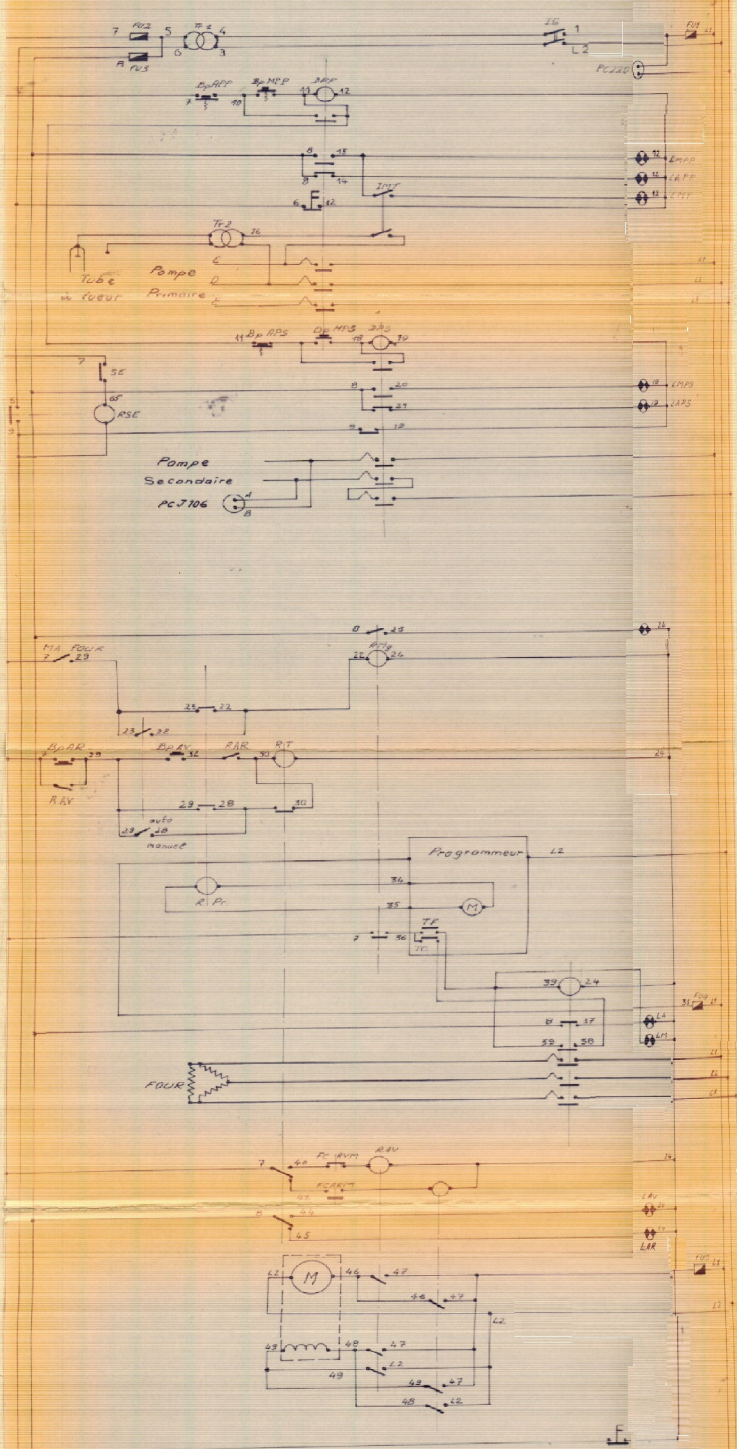
$^{\circ}\text{C}$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
- 200	-5891	-6035	-6158	-6262	-6344	-6404	-6441	-6458			
- 100	-3553	-3852	-4138	-4410	-4669	-4912	-5141	-5354	-5550	-5730	-5891
- 0	0	- 392	- 777	-1156	-1527	-1889	-2243	-2586	-2920	-3242	-3553
+ 0	0	397	798	1203	1611	2022	2436	2850	3266	3681	4095
100	4095	4508	4919	5327	5733	6137	6539	6939	7338	7737	8137
200	8137	8537	8938	9341	9745	10151	10560	10969	11381	11793	12207
300	12207	12623	13039	13456	13874	14292	14712	15132	15552	15974	16395
400	16395	16818	17241	17664	18088	18513	18938	19363	19788	20214	20640
500	20640	21066	21493	21919	22346	22772	23198	23624	24050	24476	24902
600	24902	25327	25751	26176	26599	27022	27445	27867	28288	28709	29128
700	29128	29547	29965	30383	30799	31214	31629	32042	32455	32866	33277
800	33277	33686	34095	34502	34909	35314	35718	36121	36524	36925	37325
900	37325	37724	38122	38519	38915	39310	39703	40096	40488	40879	41269
1000	41269	41657	42045	42432	42817	43202	43585	43968	44349	44729	45108
1100	45108	45486	45863	46238	46612	46985	47356	47726	48095	48462	48828
1200	48828	49192	49555	49916	50276	50633	50990	51344	51697	52049	52398
1300	52398	52747	53093	53439	53782	54125	54466	54807			





- FC.Pr fin de Course programme
- M.DC Marche discontinue
- MC Marche Continue
- TC Relais trop chaud
- TF Relais trop froid
- D.F Discontacteur four

Brochage du regulateur-Programmeur



SCHEMA ELECTRIQUE DU  
FOUR LPA "OPALINE"

- |         |   |
|---------|---|
| Fu1     | Fusible 2A  |
| Fu2     | Fusible 10A                                       |
| Fu3     | Fusible 3A  |
| Fu4 Fu5 | Fusible 63A                                       |
| Fu6     | Fusible 63A                                       |
| IG      | Fusible 63A                                       |
| Tf1     | Interrupteur general a def                        |
| Bp APP  | Bouton poussoir arret pompe primaire              |
| Bp MPP  | Bouton poussoir marche pompe primaire             |
| DMP     | Discontacteur pompe primaire                      |
| LMP     | Voyant lumineux marche pompe primaire (sur Bp)    |
| LAP     | Voyant lumineux arret pompe primaire (sur Bp)     |
| IMT     | Interrupteur marche tube a leur                   |
| LMT     | Voyant lumineux marche tube a leur                |
| Tf2     | Transfo 220/1500V                                 |
| Bp MPS  | Bouton poussoir arret pompe secondaire            |
| Bp LPS  | Bouton poussoir marche pompe secondaire           |
| DPS     | Discontacteur pompe secondaire                    |
| LMPs    | Voyant lumineux marche pompe secondaire (sur Bp)  |
| LAPs    | Voyant lumineux arret pompe secondaire (sur Bp)   |
| MA four | Marche Arrêt four                                 |
| RMG     | Relai marche generale                             |
| Bp AR   | Bouton poussoir translation arriere               |
| Bp AR   | Bouton poussoir translation avant                 |
| Rp      | Relai translation                                 |
| Rp      | Relai programme                                   |
| PCAVM   | fin de course AV moteur                           |
| PCARM   | fin de course AR moteur                           |
| AV      | Voyant lumineux translation avant four (sur Bp)   |
| AR      | Voyant lumineux translation arriere four (sur Bp) |
| SE      | Securite eau                                      |
| RSE     | Relai securite eau                                |
| DI      | Discontacteur four                                |



