

20/80

29/1/80

2e

U.S.T.A.

ECOLE NATIONALE
POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT ELECTRICITE
FILIERE D'INGENIEUR EN ELECTRONIQUE



PROJET DE FIN D'ETUDES



AUTOMATISATION D'UN BANC
DE FABRICATION DE CELLULES
SOLAIRES AU cds - cu₂s

A/ EVAPORATION DU cds

PROPOSE PAR :
Mr M. HADDADI

ETUDIE PAR :
A. GASMI
A. SAID

PROMOTION JANVIER 1980

U.S.T.A.

ECOLE NATIONALE
POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT ELECTRICITE
FILIERE D'INGENIEUR EN ELECTRONIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

.....

*AUTOMATISATION D'UN BANC
DE FABRICATION DE CELLULES
SOLAIRES AU cds - cu₂s*

A/ EVAPORATION DU cds

PROPOSE PAR :
Mr M. HADDADI

ETUDIE PAR :
A. G A S M I
A. S A I D

PROMOTION JANVIER 1980

oo oo oo oo oo oo oo



oo oo oooo oooo oo oo

A mon cher père qui, le premier,
me montra le chemin menant à la MOSQUEE .
A ma chère mère, pour son courage, et son grand
coeur illuminé par la foi rayonnante .
A mes frères et soeurs, avec toute mon affection .
A tous ceux qui me sont chers .

ABDELLATIF

oooooooooooooooooooo

A la mémoire de mon père .
A ma mère .
A mon oncle RACHID .
A mes frères et soeurs .
A tous mes amis .

AZEDDINE

oooooooooooooooooooo

REMERCIEMENTS

oo oo oo oo oo oo

Ce travail a été effectué au Centre des Sciences et de la Technologie Nucléaire (C.S.T.N), dans le laboratoire " Cristaux et Couches Minces ", sous la direction de Monsieur Mourad HADDADI, Professeur à l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger; qu'il veuille bien trouver ici le témoignage de gratitude et de nos sincères remerciements, pour son aide précieuse et ses bons conseils .

Nous tenons aussi à remercier Monsieur BENMALEK, Maître de conférence à l'U.S.T.A, pour sa gentillesse et sa modestie exemplaire .

Nos vives salutations vont à toute l'équipe de la division C.C.M composée par :

M^r DERDOURI

M^r MAHDJOUBI

M^r BOULMERKA

M^r MOHAND

M^{me} DRAGONIR et M^{elle} BELAMARA

pour leur accueil chaleureux .

PLAN

°° °° °°

Chapitre : I

I / INTRODUCTION

II/ FABRICATION DES CELLULES SOLAIRES

1) Préparation du substrat :

1-a : Découpage des plaquettes

1-b : Dégraissage

1-c : Décapage

1-d : Zingage

2) Dépôt de la couche de CdS par évaporation thermique

2-a : Principe de l'évaporation thermique

2-b : Dépôt de la couche de CdS

3) Dépôt de la couche de Cu_2S

4) Dépôt de la grille d'Or

III/ CARACTERISATION DES CELLULES SOLAIRES

Chapitre : II : AUTOMATISATION DE L'EVAPORATION DU CdS

I/ TECHNIQUE DE L'EVAPORATION DU CdS

1) Disposition actuelle

2) Automatisation de l'évaporation

II/ SYNOPTIQUE DU SYSTEME

1) Circuit de synchronisation

2) Commande de l'angle d'amorçage (Variateur de puissance)

3) Circuit de puissance

4) Minuterie

III/ SCHEMA GENERAL DU SYSTEME D'AUTOMATISATION

--Principe de fonctionnement

- 1) Générateur de dents de scie synchronisées
 - a) Générateur de dents de scie
 - b) Synchronisation
- 2) Générateur de rampe descendante
- 3) Comparateur
- 4) Déclenchement du triac et problèmes posés par les charges inductives
 - a) Utilisation d'un thyristor auxiliaire
 - b) Cellule de protection du triac
- 5) Schéma définitif

IV/ LOGIQUE DE COMMANDE

V/ MINUTERIE

Chapitre : III : REALISATION DU DISPOSITIF D'AUTOMATISATION

I/ PLAQUETTES MODULAIRES

- 1) Module Alimentation : -- face élément
-- face connexion
- 2) Module Variateur : -- face élément
--face connexion
- 3) Module Logique de Commande :
-- face élément
-- face connexion
- 4) Module Minuterie : -- face élément
-- face connexion

II/ NOMENCLATURE GENERALE

III/ RELEVÉ DES DIFFÉRENTES COURBES :

- 1) Signal de synchronisation
- 2) Dents de scie synchronisées
- 3) Créneaux
- 4) Créneaux dérivés
- 5) Impulsions de déclenchement du triac

IV/ NOTICE D'UTILISATION

- 1) Panneau avant de l'appareil
- 2) Panneau arrière de l'appareil
- 3) différents réglages

CONCLUSION GENERALE

ANNEXE I : Principe de fonctionnement du thyristor .

ANNEXE II: Principe de fonctionnement du triac .

BIBLIOGRAPHIE

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

L'évolution des techniques au cours de ces dernières années, a permis de remplacer très souvent des opérations manuelles routinières par des automates.

Les qualités telles que rapidité, précision, fiabilité et sécurité se trouvent nettement améliorées et renforcent la confiance d'utilisation dans une commande automatique.

C'est dans cet esprit que nous a été posé le problème suivant :

Dans un banc de fabrication de photopiles au CdS-Cu₂S, il s'agit d'automatiser un système d'évaporation sous vide, où le corps à évaporer (du CdS en poudre) est placé dans un creuset chauffé par un transformateur commandé manuellement.

Pour contrôler la puissance fournie au creuset, l'automatisme peut prendre la relève de la commande manuelle et minimiser ainsi les risques d'erreurs de manipulation, tout en augmentant les qualités de réglages.

En outre, l'automatisme apportera des sécurités supplémentaires telles que la prévention d'oublis ou d'étourderies inhérentes à la manipulation manuelle.

L'automatisation de cette commande peut être envisagée de deux manières : soit coupler un moteur à l'arbre de l'autotransformateur, soit utiliser un dispositif électronique de commande.

La commande automatique d'évaporation représente la première approche d'une automatisation plus poussée.

Il est alors certain qu'avec des moyens plus puissants (utilisation de microprocesseurs gérant par programme toutes les opérations et toutes les valeurs à ne pas dépasser), on arriverait à gérer en toute sécurité et de façon automatique tout le processus de fabrication de la photopile.

Notre travail qui a été effectué au laboratoire C.C.M du C.S.T.N.

sera présenté en 3 chapitres :

Dans le premier, on exposera la méthode de fabrication de la photopile.

La description du système d'automatisation de l'évaporation du CdS sera décrite dans le deuxième chapitre.

Enfin, la réalisation pratique du système, ainsi que nos résultats seront présentés dans le troisième chapitre.

Chapitre I:

FABRICATION DES CELLULES SOLAIRES Au CdS-Cu₂S

I/ INTRODUCTION:

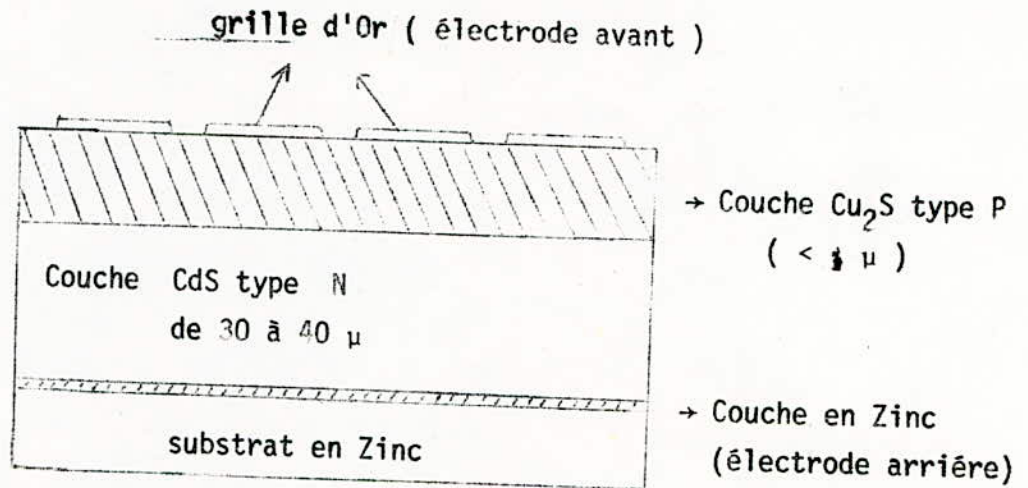
Les photopiles sont des dispositifs qui permettent la conversion directe de l'énergie lumineuse en énergie électrique. Actuellement les types les plus répandus sont à jonction Si (Silicium) monocristallin . Mais leur prix de revient reste élevé, malgré leur fabrication en grande série.

C'est la raison qui oriente la recherche actuelle vers d'autres matériaux de base moins onéreux et de technologie plus simple. Une photopile très étudiée est celle à hétérojonction CdS-Cu₂S. Dans ce qui suit nous allons détailler la méthode de fabrication de cette photopile, telle qu'elle s'effectue au Laboratoire "Cristaux et Couches Minces" du CSTN .

II/ FABRICATION DES CELLULES SOLAIRES:

Le schéma suivant qui montre les différentes couches composant la photopile permet de distinguer les quatre étapes de sa fabrication:

- Préparation du substrat
- Dépôt de la couche de CdS
- Dépôt de la couche de Cu₂S
- Dépôt de la grille d'Or

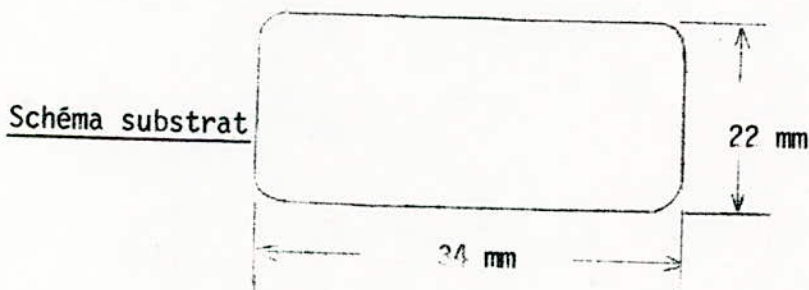


1/ Préparation du substrat:

Le substrat utilisé est une plaquette de zinc de dimensions (22 x 34) mm et d'épaisseur 1 mm préalablement traitée mécaniquement et chimiquement . Elle servira d'électrode arrière par l'adjonction d'une mince couche de zinc électrolytique.

a) Découpage des plaquettes:

Les plaquettes de zinc découpées à partir d'une grande plaque, sont lîmées sur tout leur pourtour et arrondies aux angles.



b) Dégraissage:

Une fois les plaquettes découpées, elles sont dégraissées dans une solution de Trichloro - Ethylène (C_2HCl_3) dans un bac à ultrason.

Le temps de dégraissage est d'environ une heure. Cette opération a pour but d'enlever toute matière grasse pouvant nuire au traitement suivant qu'est le décapage.

c) Décapage:

Le décapage et le polissage peuvent être fait mécaniquement ou chimiquement. On utilise le procédé chimique pour supprimer les impuretés qui se trouvent sur la surface des plaquettes.

Cette opération s'effectue dans une solution d'acide Nitrique (HNO_3) de concentration 30 à 50 %.

Le temps de décapage est juste égal à la durée de trempe des plaquettes dans la solution (5 secondes).

A leur sortie, les plaquettes sont lavées à l'eau distillée puis essuyées avec du coton bien propre. A ce stade elles se trouvent prêtes pour le zingage.

d) Zingage:

L'état de surface du substrat devant être bien soigné, on fait une opération d'électrolyse qui permet de déposer les atomes de zinc pur sur l'une des faces des plaquettes substrat.

La solution d'électrolyse est préparée dans les proportions suivantes:

- 20,5 g de ZnSO_4 (Sulfate de Zinc)
- 3,75 g de NaSO_4 (Sulfate de Sodium)
- 1 g de AlCl_3 (Chlorure d'Aluminium)
- 50 cm^3 d'eau distillée

L'anode est remplacée par une plaque de zinc, la cathode par la plaquette substrat.

Le temps de dégraissage est d'environ une heure. Cette opération a pour but d'enlever toute matière grasse pouvant nuire au traitement suivant qu'est le décapage.

c) Décapage:

Le décapage et le polissage peuvent être fait mécaniquement ou chimiquement. On utilise le procédé chimique pour supprimer les impuretés qui se trouvent sur la surface des plaquettes.

Cette opération s'effectue dans une solution d'acide Nitrique (HNO_3) de concentration 30 à 50 %.

Le temps de décapage est juste égal à la durée de trempe des plaquettes dans la solution (5 secondes).

A leur sortie, les plaquettes sont lavées à l'eau distillée puis essuyées avec du coton bien propre. A ce stade elles se trouvent prêtes pour le zingage.

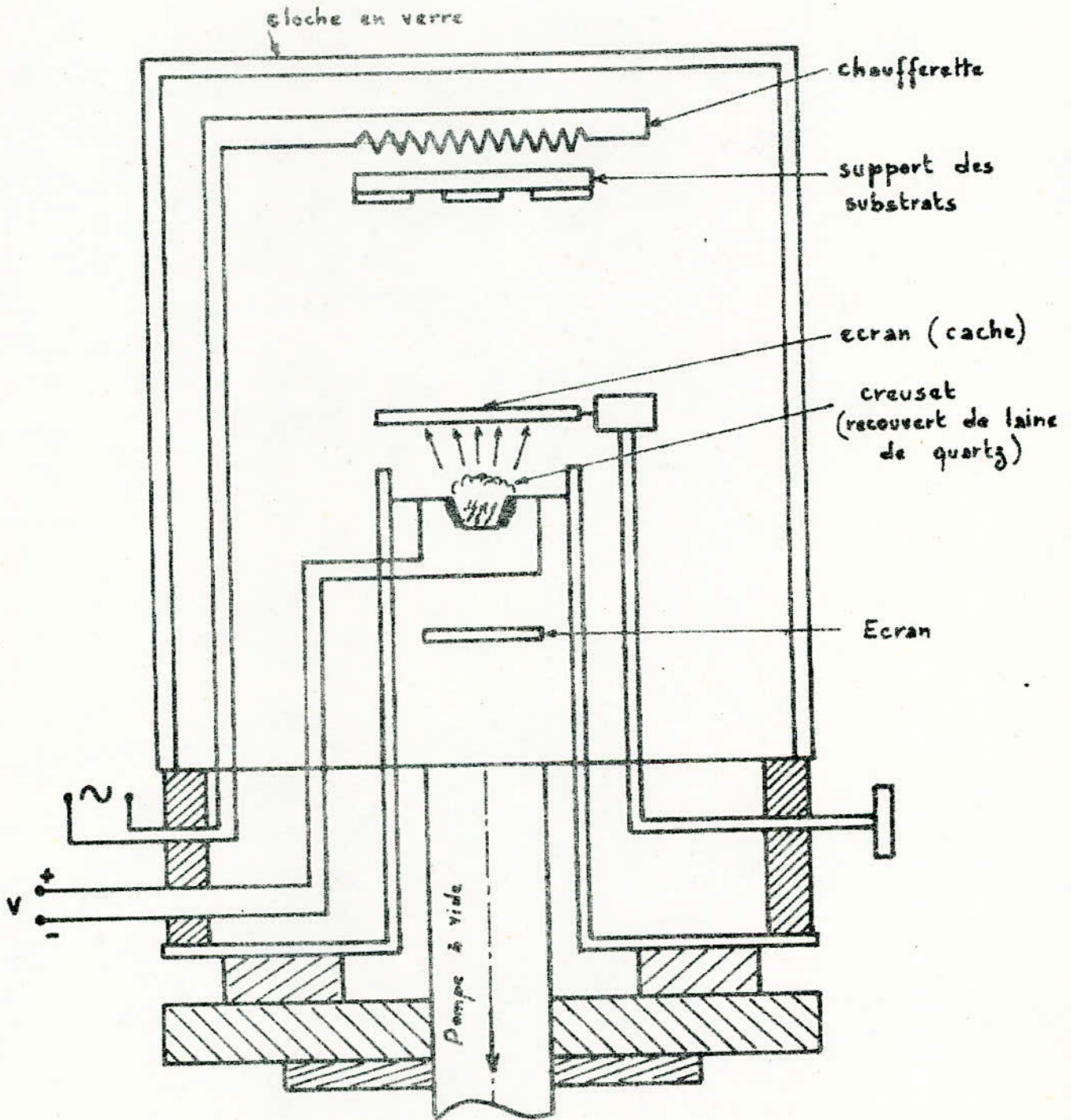
d) Zingage:

L'état de surface du substrat devant être bien soigné, on fait une opération d'électrolyse qui permet de déposer les atomes de zinc pur sur l'une des faces des plaquettes substrat.

La solution d'électrolyse est préparée dans les proportions suivantes:

- 20,5 g de ZnSO_4 (Sulfate de Zinc)
- 3,75 g de NaSO_4 (Sulfate de Sodium)
- 1 g de AlCl_3 (Chlorure d'Aluminium)
- 50 cm^3 d'eau distillée

L'anode est remplacée par une plaque de zinc, la cathode par la plaquette substrat.



Systeme d'Evaporation

b/ Dépot de la couche de CdS:

Une fois le substrat préparé, on procède à un dépôt de CdS, par évaporation thermique sous une pression voisine de 10^{-5} Torr. L'épaisseur de la couche déposée varie de 30 à 40 μ .

Le CdS utilisé est sous forme de poudre jaunâtre pure; il est déposé dans un creuset en Alumine ou en quartz, qui est chauffé par un enroulement de fil de tungstène.

Le creuset est placé dans une gaine de Stumatite remplie d'Alumine pour assurer une bonne isolation thermique et obtenir un chauffage uniforme de la poudre à évaporer. Après un long dégazage (avant l'évaporation) le creuset est porté progressivement à la température comprise entre 800° C et 1100° C

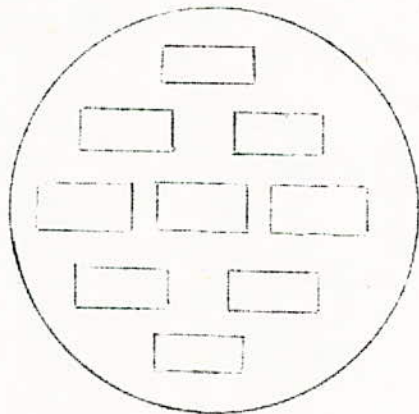
Un bouchon de laine de quartz évite les projections de poudre sur les parois de la cloche.

Cette évaporation dure une quinzaine de minutes pour une couche d'environ 10 μ .

La couche de CdS est la couche de base de la photopile. Il est donc nécessaire de déterminer les conditions optimales de sa préparation .

— Mise en place des substrats et évaporation:

Les substrats au nombre de neuf, sont placés dans l'enceinte sur un support.



Support Substrat :

La distance source-Substrat est de l'ordre de 20 cm . Pendant l'évaporation du CdS, les substrats sont portés à une température voisine de 180° C à l'aide d'une chaufferette solidaire du porte substrat (Cette température, après plusieurs essais, s'avère donner une meilleure adhérence de la couche de CdS sur le zinc) Après évaporation du CdS, la température du substrat est ramenée progressivement à la température ambiante afin d'obtenir une bonne cristallisation du CdS et d'éviter le décollage des couches. L'opération d'évaporation consiste à augmenter progressivement le courant dans le filament de tungstène qui entoure le creuset, afin d'éviter une évaporation brutale et désordonnée du CdS. Ce courant va jusqu'à 100 A avec une tension d'environ 10 V aux bornes des électrodes du filament. Le contact Zn-CdS est ensuite stabilisé par un recuit à l'étuve pendant 4 heures à une température de 100° C.

3/ Dépot de la couche Cu_2S :

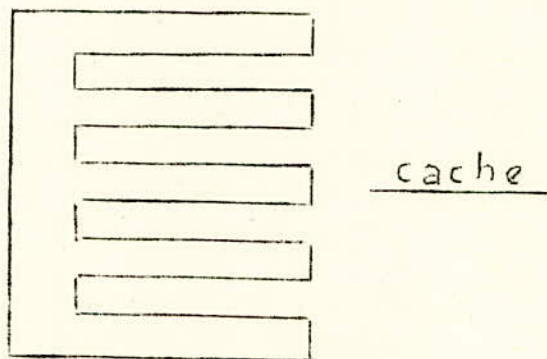
Pour déposer la couche de Cu_2S par évaporation, on suit le même processus que pour le CdS . Seulement au lieu d'évaporer du Cu_2S massif , on utilise de la poudre $CuCl$ (Chlorure de cuivre) qui, au contact de la couche mince CdS et par déplacement du soufre se transforme en Cu_2S selon la réaction chimique suivante:



Le $Cd Cl_2$ qui se forme à la surface de la cellule sera dissout par la suite dans une solution de Chlorure d'Amonium ($NH_4 Cl$) ou dans l'eau distillée. La couche de Cu_2S ainsi obtenue a une épaisseur de 0,1 à 0,3 μ , et sera exposée directement au rayonnement solaire (couche photosensible). A ce stade on prévoit un deuxième recuit, qui permet de stabiliser la jonction CdS- Cu_2S . Ce recuit ne dure que quelques minutes.

4) Dépot de la grille d'Or:

Sur la couche de Cu_2S on dépose, toujours par évaporation, une grille collectrice qui servira d'électrode avant. Cette grille est obtenue par un cache en forme de peigne. (fig ci-dessous)



Les dimensions de la grille sont les suivantes:

- Epaisseur des dents : 0,5 mm
- Espace entre dents : 2 mm
- Surface de contact : $4 \times 1,9 \text{ mm}^2$

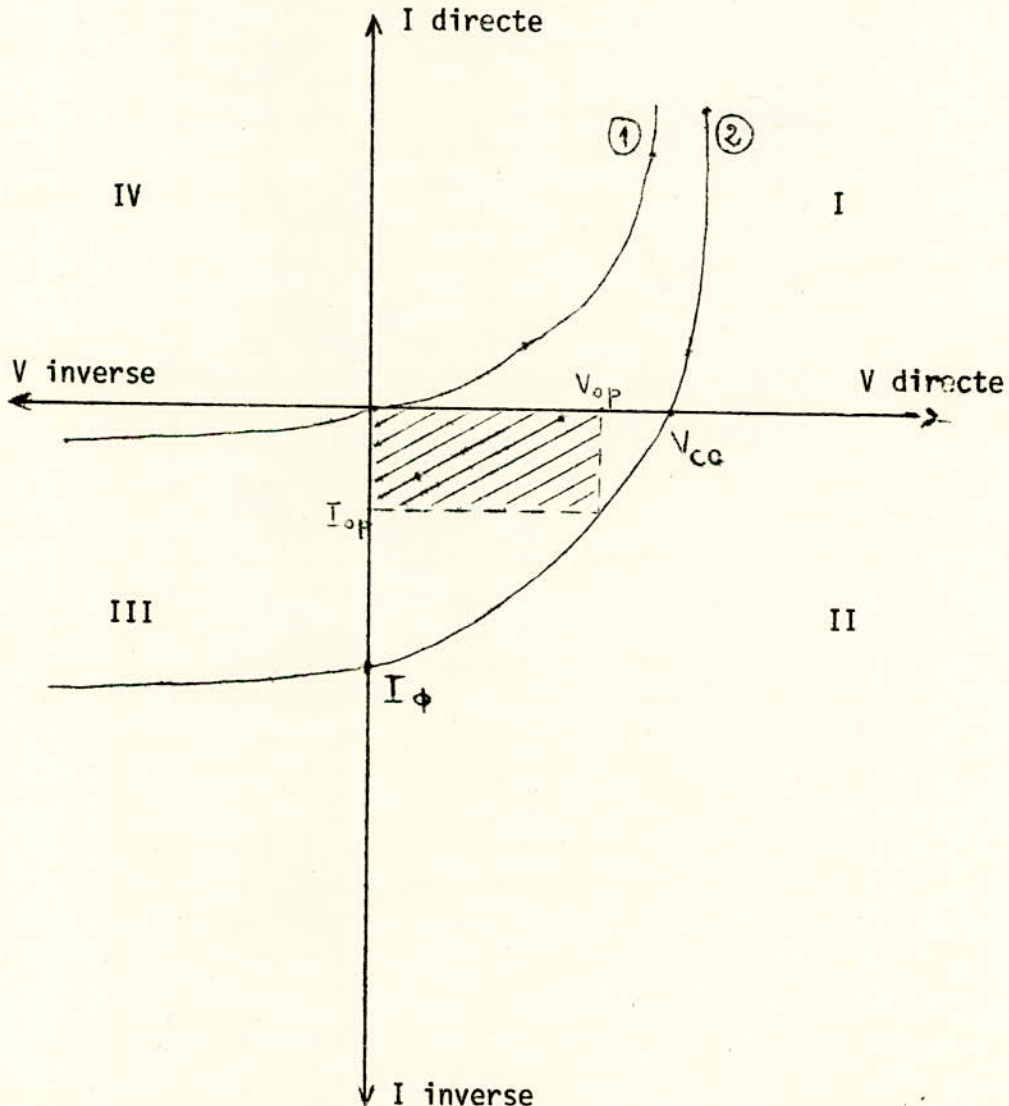
III) Caractérisation des cellules solaires:

La principale caractéristique des photopiles est certainement la représentation courant-tension, sous éclairnement et à l'obscurité. Cette caractéristique permet la détermination des principales propriétés de la photopile, en vue de son utilisation.

Caractéristique I-V d'une photopile:

Sur la figure suivante, la courbe N° 1 représente la caractéristique $I = f(V)$ pour une photopile dans l'obscurité: C'est celle d'une diode normale. La courbe N° 2 représente la caractéristique $I = f(V)$ de la même photopile soumise à un certain flux lumineux ϕ : cette différence détermine les propriétés d'une photopile.

Remarquons que la courbe N° 2 se déduit de la courbe N° 1 par simple translation de $+ I_{\phi}$.



Dans le quadrant II, la cellule fonctionne en générateur d'énergie; c'est la région d'utilisation normale des photopiles.

La puissance électrique $P = I \times V$ fournie, passe par un maximum pour une certaine valeur de I et de V : ce sont les valeurs I_{op} et V_{op} pour un flux incident ϕ déterminé.

Quel que soit le type de photopiles, ces dernières sont caractérisées de la façon suivante.

I_{cc} : Courant de court circuit pour un éclairement donné.

V_{co} : Tension à vide pour un éclairement et une température déterminés.

I_{op} : Courant débité par la photopile au point de fonctionnement optimal.

η : Rapport entre l'énergie électrique fournie et l'énergie lumineuse reçue (rendement).

T_{max} : Température limite de fonctionnement.

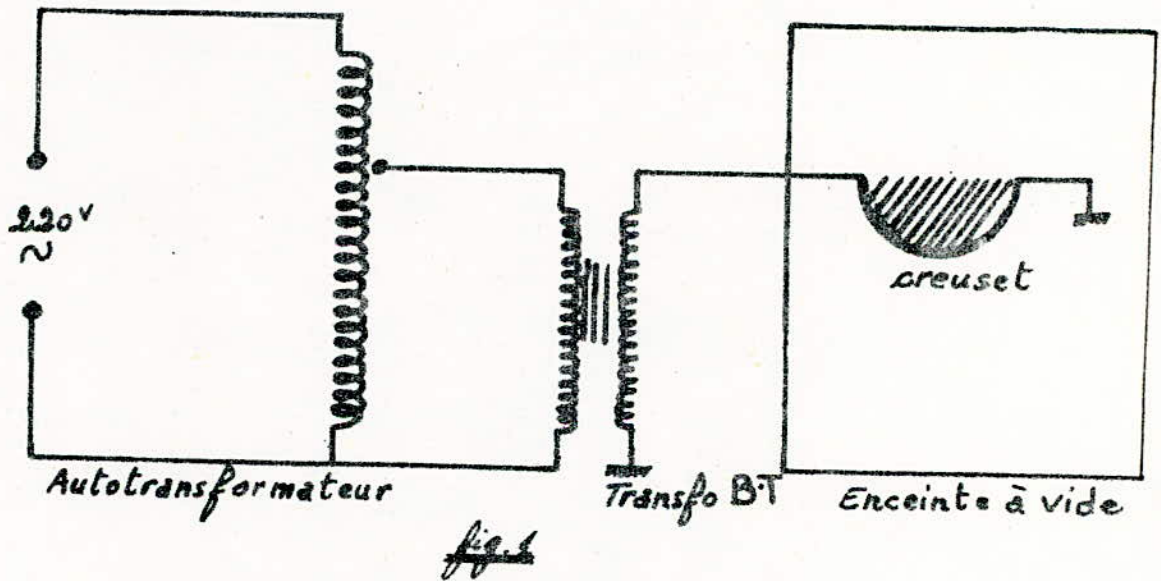
CHAPITRE II:

AUTOMATISATION DE L'EVAPORATION DU CdS:

I / TECHNIQUE DE L'EVAPORATION DU CdS:

1) Disposition actuelle:

Nous avons vu que le CdS à évaporer est placé dans un creuset chauffé par le secondaire d'un transformateur haute intensité, dont le primaire est commandé par un autotransformateur alimenté par le secteur. (figure ci-dessous).



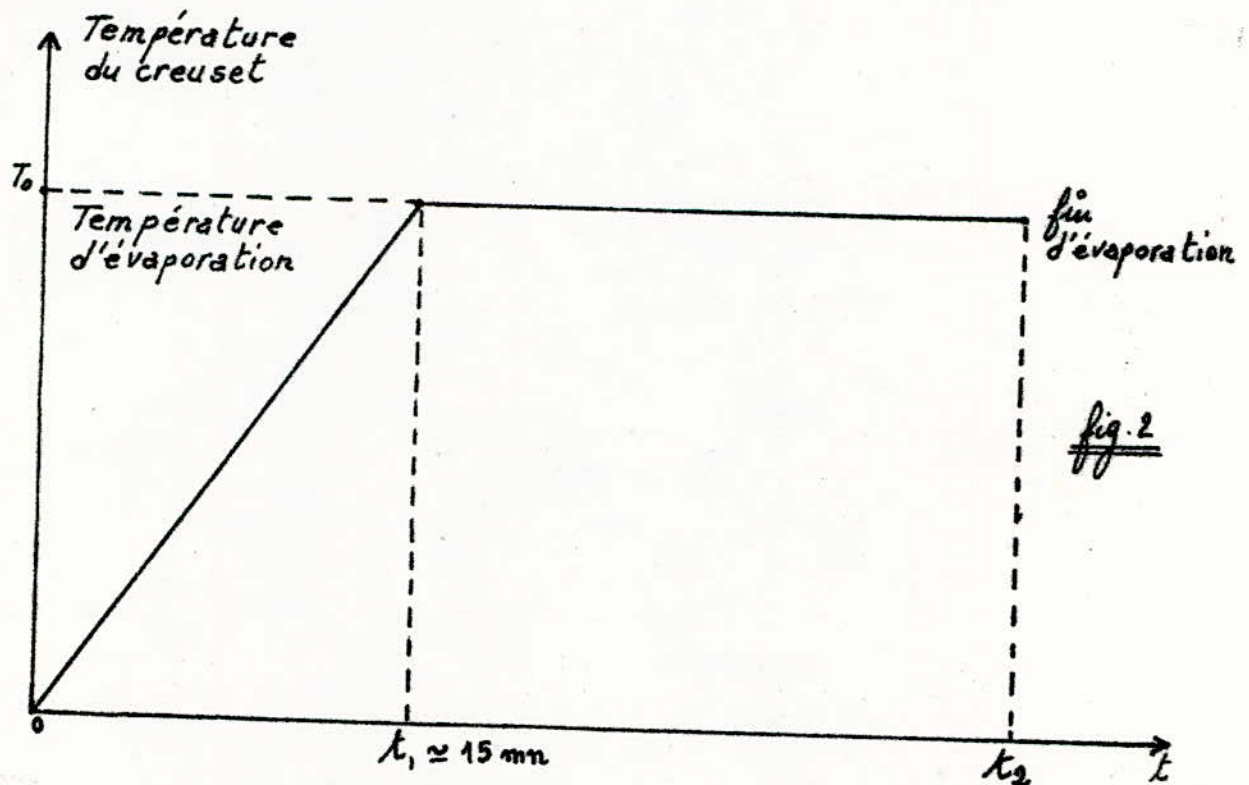
Cette disposition permet une augmentation progressive du chauffage.

En effet, une évaporation brutale du CdS serait néfaste pour la qualité de la couche déposée.

Ainsi divers chercheurs ont proposé une technique d'évaporation qui convient le mieux au dépôt de ces couches.

Le creuset devra être porté à la température d'évaporation de manière progressive; la durée de cette opération étant de l'ordre de 15 mn. Ensuite cette température sera maintenue, le temps nécessaire à l'obtention de l'épaisseur voulue.

La courbe suivante résume ce processus.



2) Automatisation de l'opération:

Il s'agit évidemment de réaliser de manière automatique le processus décrit ci dessus.

La solution consiste à remplacer l'autotransformateur commandé manuellement, par un dispositif électronique qui permettra l'automatisation.

La solution du moteur couplé à l'arbre de l'autotransformateur n'a pas été retenue surtout au vu de ses inconvénients mécaniques. Ainsi nous lui avons préféré celle qui consiste à remplacer l'autotransformateur par un triac commandé de manière convenable. En effet, en commandant l'angle de passage du triac, on commande la tension aux bornes du creuset, donc sa température. Pour obtenir une augmentation progressive de la température du creuset à partir de l'instant initial, il faudra lui délivrer une puissance de chauffage graduelle. Ceci pourra se faire en augmentant de la même manière, l'angle de conduction du triac

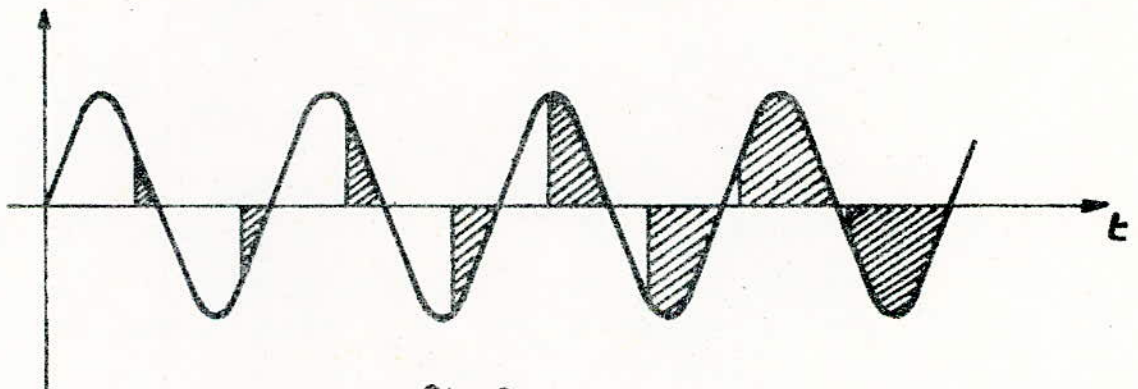
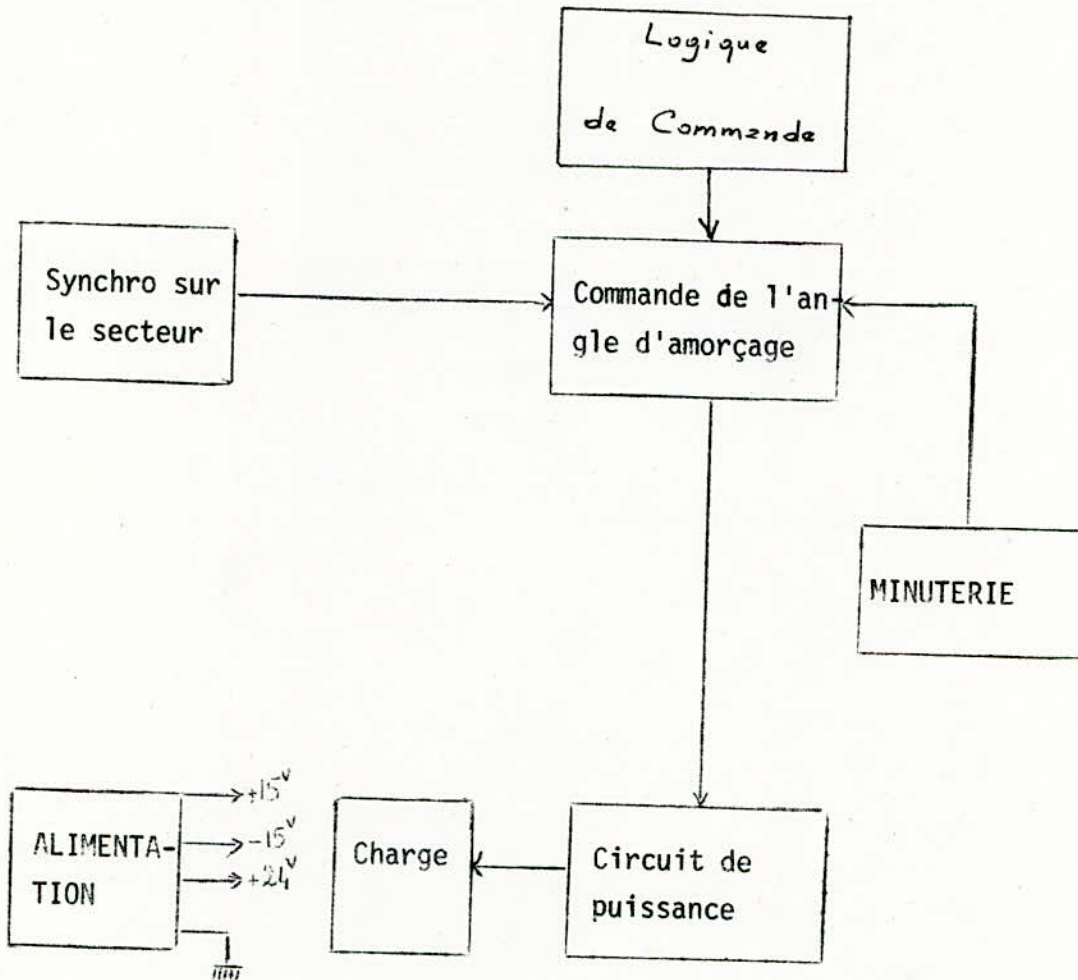


fig. 3

Les parties hachurées correspondent à la puissance délivrée à la charge. La température finale du creuset pourra être fixée en s'arrêtant à une puissance déterminée.

Enfin, l'arrêt complet de l'opération pourra s'effectuer en coupant la commande à l'aide d'une minuterie. D'où le synoptique de notre montage.

II / SCHEMA SYNOPTIQUE DU SYSTEME D'AUTOMATISATION:



1) Circuit de synchronisation:

La majorité des utilisations sur le réseau alternatif 50 Hz nécessite une synchronisation entre les sinusoides du secteur et l'instant de déclenchement du triac, afin de bénéficier de la précision de commutation.

La commande de l'angle d'ouverture du triac doit commencer au début de chaque demie période. Le passage par zéro est pris comme référence. Ce circuit est donc un détecteur de zéro.

2) Commande de l'angle d'amorçage: (Variateur de puissance)

La commande de l'angle d'amorçage du triac est une classe d'utilisation réservée à l'alimentation de charges opérant sur un réseau alternatif. Son principe consiste à retarder systématiquement l'instant de déclenchement, et par conséquent à commander l'angle de conduction, par suite la puissance fournie à la charge.

3) Circuit de puissance:

Ce circuit se compose du triac et de la charge.

4) Minuterie:

C'est un temporisateur longue durée qui servira à arrêter complètement l'évaporation au bout d'un temps prédéterminé.

III/ SCHEMA GENERAL DU SYSTEME D'AUTOMATISATION:

- Principe de fonctionnement:

La puissance délivrée à la charge devant être progressive, c'est le triac qui doit voir son angle de conduction augmenter de la même manière. Ceci peut être réalisé de la façon suivante:

Un comparateur voit à ses 2 entrées, respectivement une dent de scie synchronisée sur le secteur (référence), et une rampe descendante. A la sortie, on aura alors un signal carré de rapport cyclique variable.

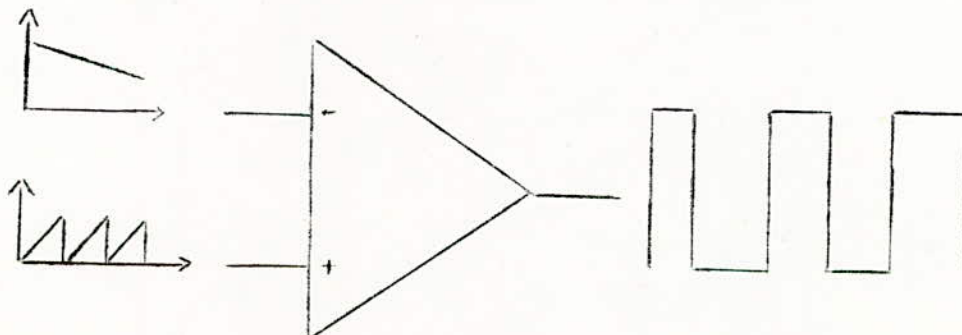


fig 4:

1) GENERATEUR DE DENTS DE CSIE SYNCHRONISEES:

a) Générateur de dents de scie:

Il est réalisé en chargeant une capacité à courant constant, de façon à avoir des dents de scie linéaires.

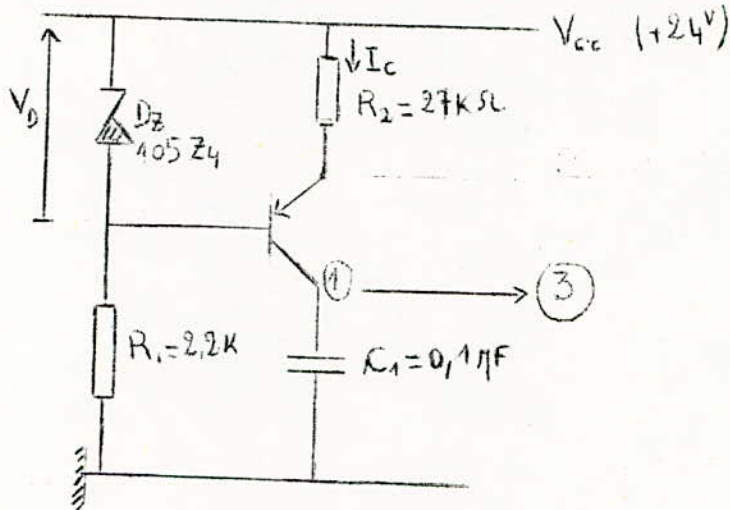


fig 5.

Pour que le montage soit bien polarisé il faut que $V_D = R_2 \cdot I_c + V_{be}$ avec $I_e \simeq I_c$

- Si la charge augmente, le courant I_c diminue, la tension $V = R_2 \cdot I_c$ diminue, et comme V_D est constante, V_{be} augmente, I_b augmente et I_c augmente.

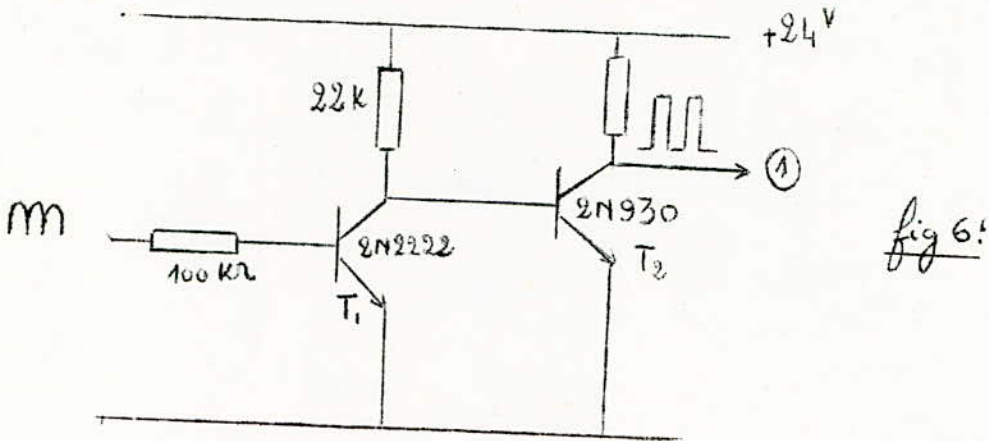
- Si maintenant la charge diminue, le courant I_c augmente, la tension $V = R_2 \cdot I_c$ augmente, et comme V_D est constante, V_{be} diminue, I_b diminue, I_c alors diminue.

Il y a bien une régulation de courant et nous sommes bien en base commune puisque nous rentrons les variations sur l'émetteur et nous sortons sur le collecteur:

$$I_c = \frac{V_D - V_{be}}{R_2}$$

b) Synchronisation:

Pour synchroniser sur le secteur, les dents de scie délivrées par le générateur à courant constant, réalisons le générateur d'impulsions suivant.



Au passage à zéro, le transistor T_1 est bloqué; ce qui entraîne la saturation du transistor T_2 pendant ces instants. Saturé, T_2 servira à décharger la capacité C_1 à chaque passage à zéro du secteur.

2) GENERATEUR DE RAMPE DESCENDANTE:

On décharge une capacité C , à courant constant (on lui fournit un courant négatif). voir figure 7.

À la mise sous tension la capacité a 15 volts à ses bornes.

Puis à mesure que le transistor conduit le potentiel V_A augmente et la tension aux bornes de la capacité diminue.

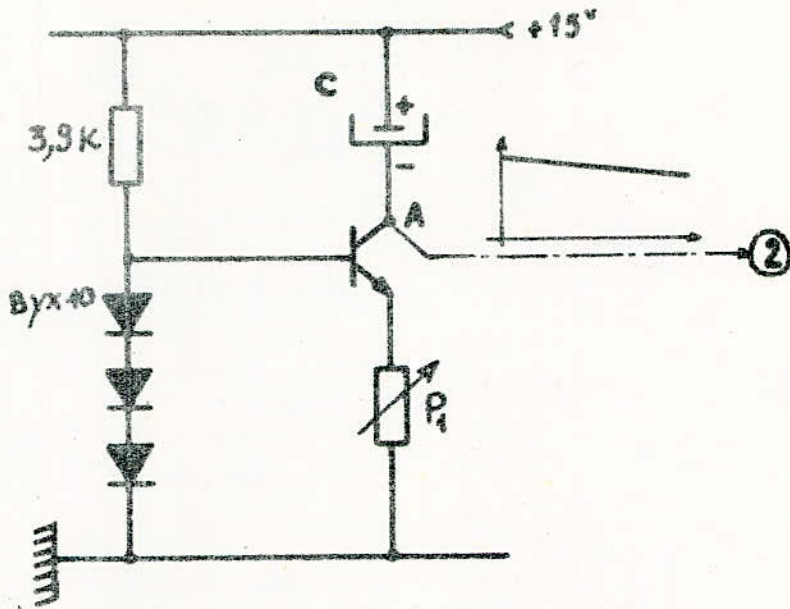
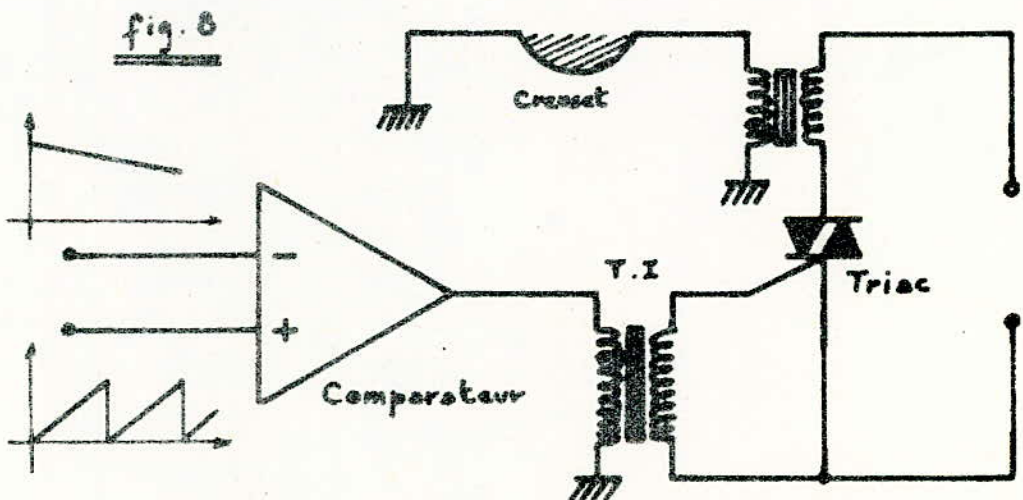


fig 7:

3) Le comparateur:

Sur l'entrée moins du comparateur on envoie la rampe, et sur l'entrée plus la dent de scie synchronisée .

Les créniaux obtenus à la sortie du comparateur vont exciter le triac à travers un transformateur d'isolement.



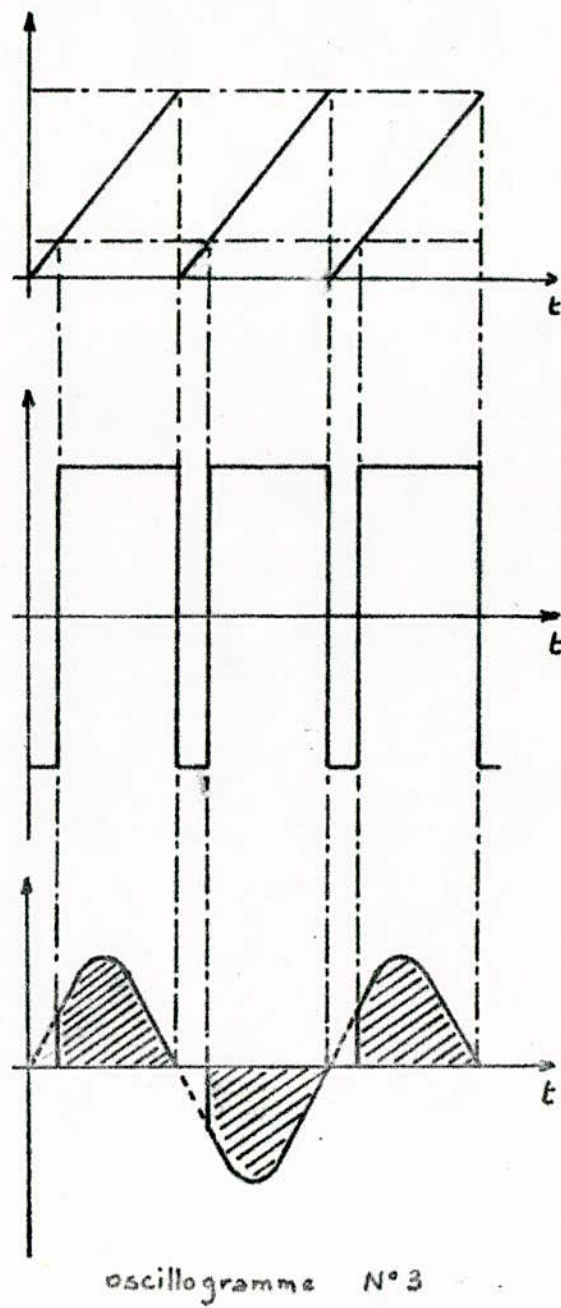
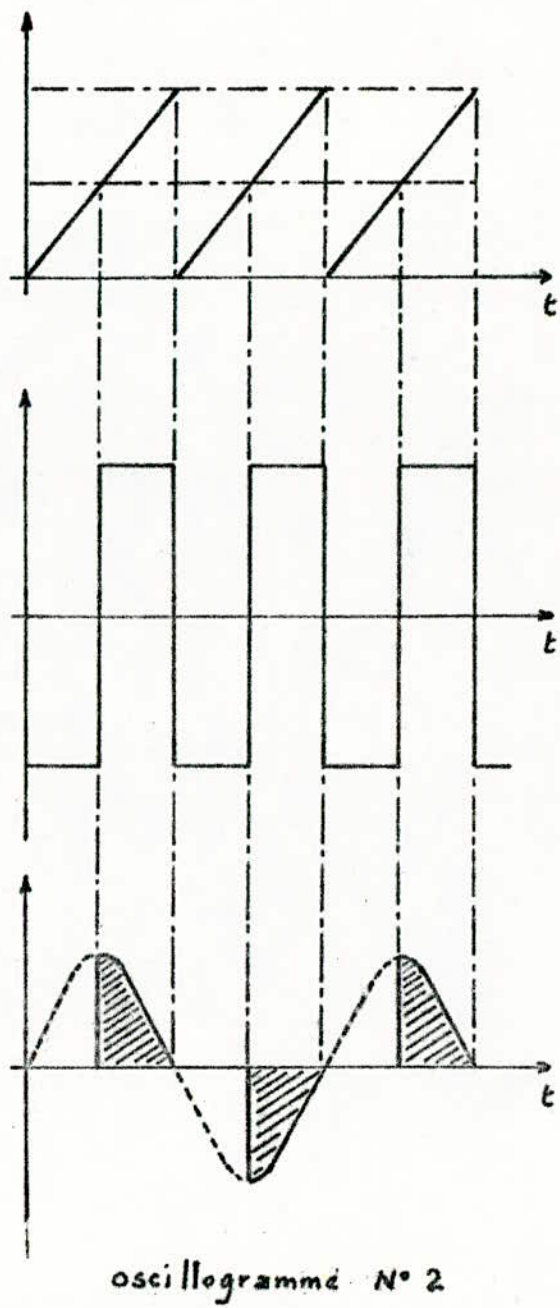
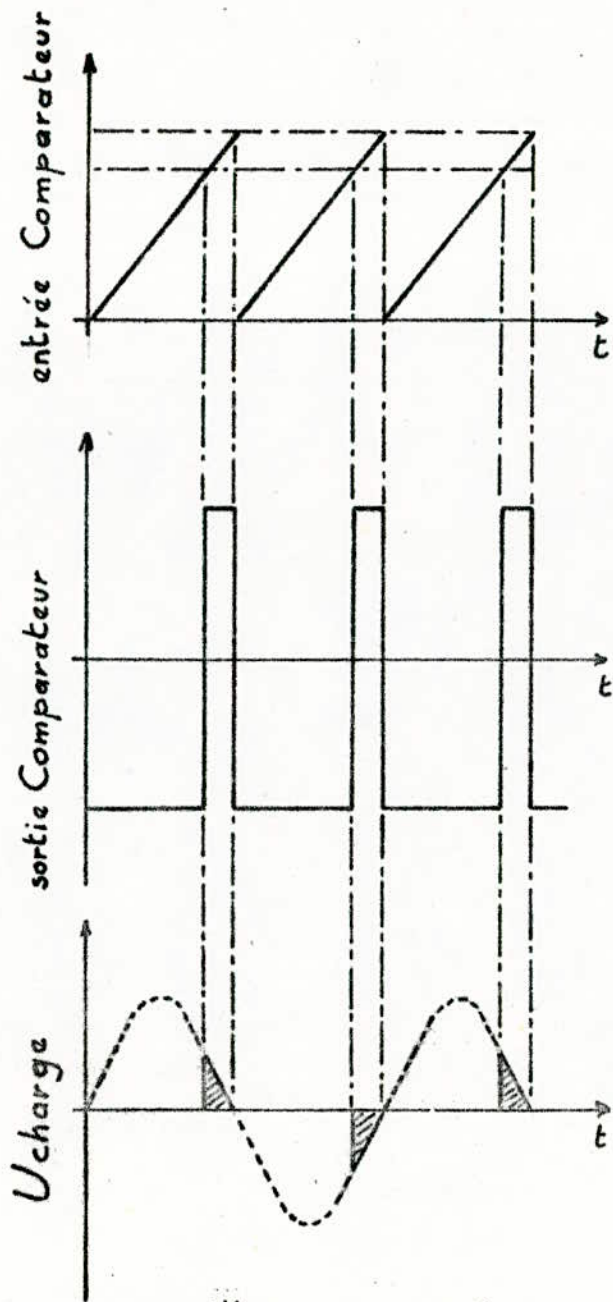
Ceci étant évidemment un schéma théorique.

Les oscillogrammes de la page 22 permettent de comprendre le fonctionnement :

Tant que le niveau de la rampe est supérieur à celui de la dent de scie, le comparateur est à son état bas.

Il change d'état lorsque ses 2 entrées sont égales . A mesure que le niveau de la rampe diminue, la durée de l'état haut du comparateur augmente; et la puissance fournie à la charge augmente à son tour. Lorsque la rampe atteint sa valeur minimale (environ 1 volt), la durée de l'état bas du comparateur devient petite devant celle de l'état haut .

Par suite si l'on sélectionne les fronts de montée pour amorcer un triac, ce dernier restera pratiquement conducteur pendant toute la période, et la puissance délivrée à la charge serait alors maximale (voir oscillogramme N° 3).



4) Déclenchement du triac et problèmes posés par les charges inductives:

a) Utilisation d'un thyristor auxiliaire:

Dans le cas d'une charge inductive, le courant traversant le triac est déphasé par rapport à la tension à ses bornes.

Ce déphasage est cause d'une dissymétrie entre les alternances, et peut dans certains cas supprimer complètement une polarité.

En effet, en se référant au diagramme de la figure 9, on remarque qu'une impulsion appliquée pendant l'intervalle ϕ_1 (valeur du déphasage due à la composante inductive) ne permettrait pas la conduction de l'alternance négative. La charge ne serait alimentée que par les alternances positives.

Pour éviter ce défaut, on utilise un thyristor auxiliaire qui permet de déclencher le triac par un signal se prolongeant jusqu'à la fin de l'alternance. Le thyristor maintient l'excitation après la disparition de l'impulsion (voir fig 10).

Le montage utilisant le thyristor auxiliaire est un montage qui assure la maximum de sécurité (voir fig 11).

b) Cellule de protection du triac:

Un deuxième problème se pose dans le cas d'une charge inductive c'est les déclenchements intempestifs du triac, causés par les $\left(\frac{dV}{dt}\right)_c$ (appelés facteurs de commutation).

α) Définition du facteur de commutation:

Lorsque la charge est inductive, le déphasage entre courant et tension est responsable de l'apparition d'un transitoire de tension lors du blocage du triac. En effet après le blocage du triac, la tension aux bornes de la charge décroît très vite (la vitesse de décroissance n'est limitée que par les capacités parasites) et la tension aux bornes du triac remonte donc très rapidement à la valeur de celle du secteur. Ce phénomène qui est cause d'un réamorçage spontané du triac est appelé facteur de commutation : $\left(\frac{dV}{dt}\right)_c$.

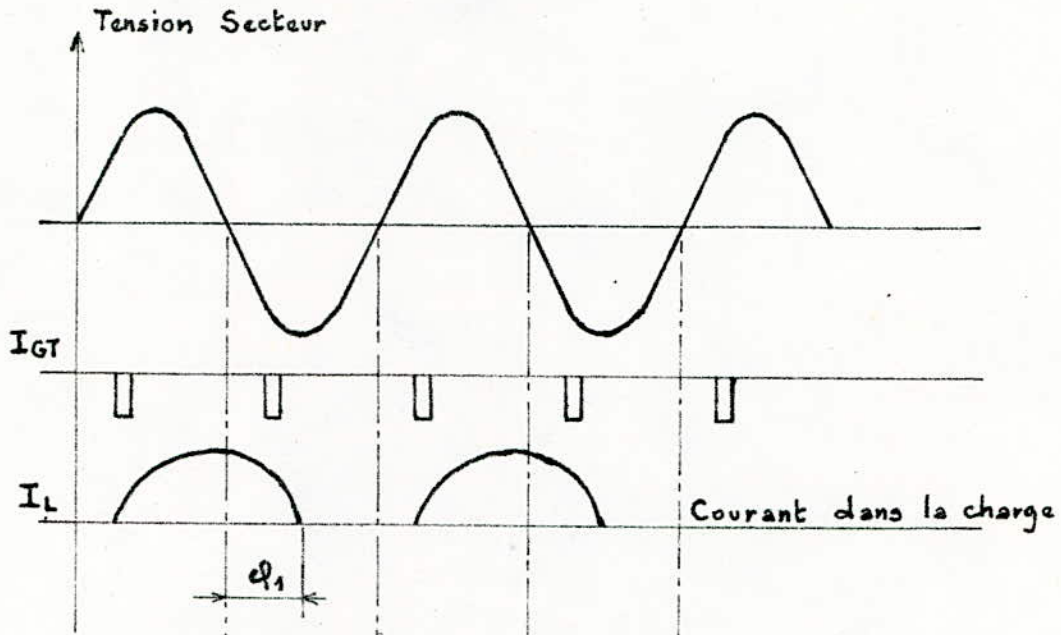


fig. 9

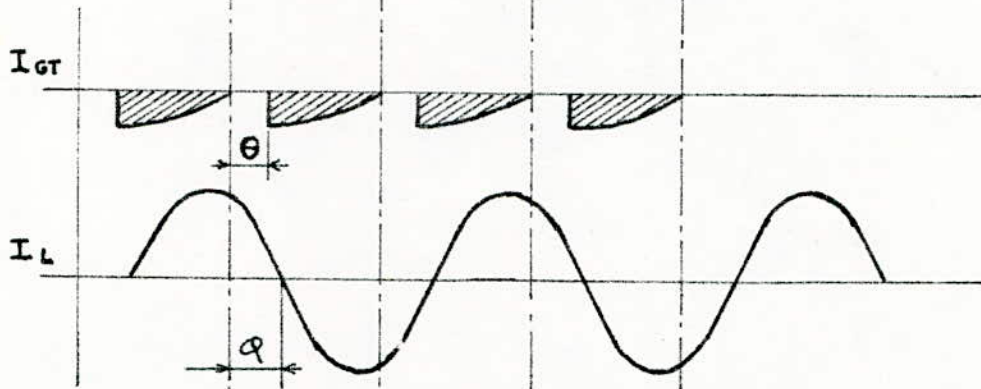
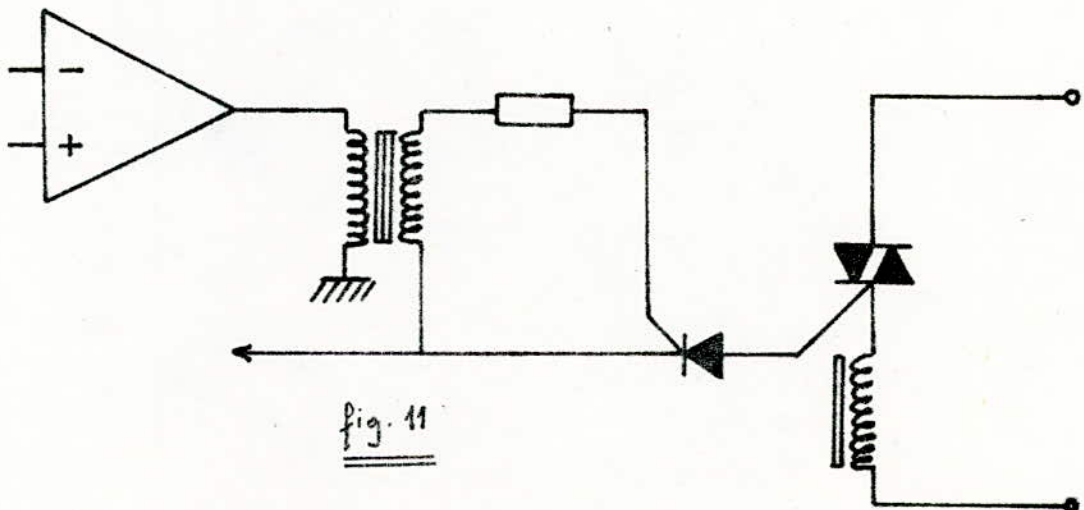


fig. 10

θ : retard dû au courant d'accrochage du thyristor



Il s'exprime en $V/\mu s$ (vitesse critique de croissance de la tension à la commutation)

β) Limitation du $\left(\frac{dV}{dt}\right)_c$:

Pour limiter ce $\left(\frac{dV}{dt}\right)_c$, on place une cellule R - C aux bornes du triac.

Le choix de cette cellule est délicat. En effet, le condensateur du circuit de protection constitue avec l'inductance de la charge, un circuit oscillant. La résistance R amortissant ce circuit oscillant son choix est alors déterminant pour obtenir une efficacité maximale du réseau.

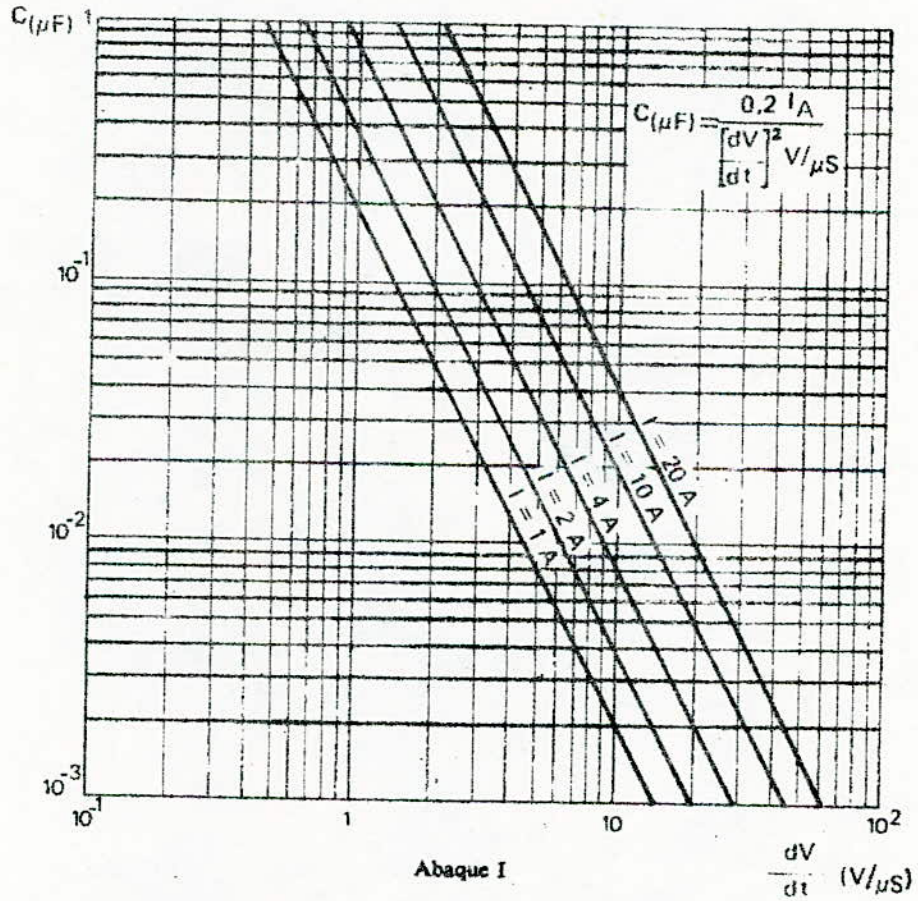
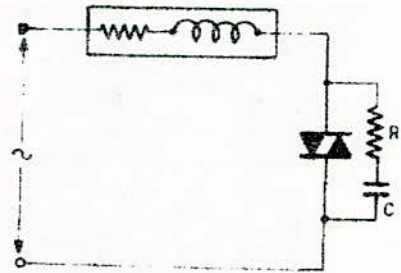
- Choix du condensateur :

L'abaque N° 1 permet, en fonction du $\left(\frac{dV}{dt}\right)_c$ souhaité, de choisir la valeur de C.

Le courant choisi sera celui qui circulerait dans le triac, celui-ci ayant un angle de passage de 360° . Le $\left(\frac{dV}{dt}\right)_c$ sera la valeur

maximale autorisée par le constructeur .

Fig. — Le circuit de protection est constitué par un réseau R-C. Le condensateur, en se chargeant, limite la vitesse de croissance de la tension aux bornes du tube. La résistance amortit le circuit oscillant constitué par l'inductance de charge et le condensateur C.



- Choix de la résistance :

Il est primordial que le circuit soit correctement amorti. Si R est trop faible, le triac risque d'être détérioré à la mise en conduction. Par ailleurs une oscillation résultant d'un échange d'énergie entre l'inductance et la capacitance du circuit se traduit par une surtension aux bornes du triac. Si le circuit n'est pas amorti, la tension peut théoriquement atteindre deux fois la tension de crête. Le triac pourra être réamorcé par dépassement de V_{DRM} (tension répétitive de pointe à l'état bloqué). L'abaque N° II permet de choisir la résistance R. Les paramètres étant C précédemment choisie et le courant réactif dans la charge.

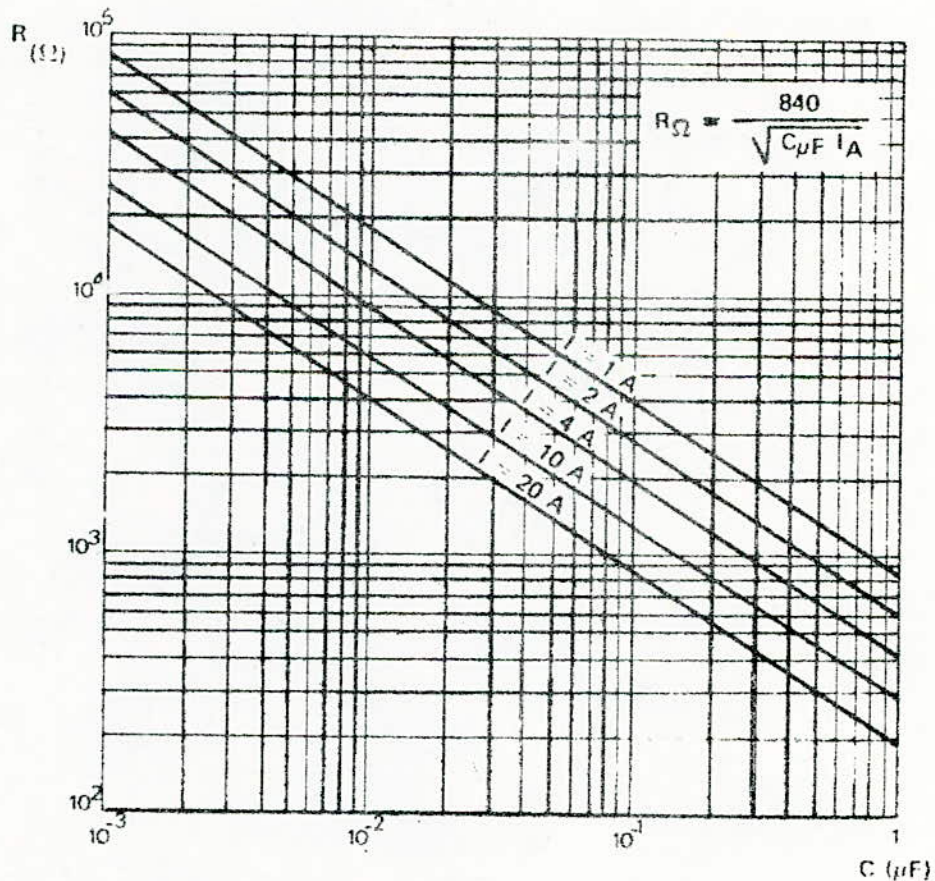


FIG. La résistance sera choisie en fonction du courant maximal dans la charge et du condensateur déterminé avec le diagramme de l'abaque I.

5) Schéma définitif:

En définitive le schéma de la figure 12 a été retenu. Il est composé des différents étages précédemment cités, auxquels on a rajouté les étages suivants, afin d'améliorer le fonctionnement du montage.

a) Un étage T_2 qui permet de retarder l'application de la dent de scie sur l'entrée plus du comparateur, car à la mise sous tension, la charge brusque de la capacité C_3 provoque un créneau de comparaison, d'où un amorçage intempestif du triac.

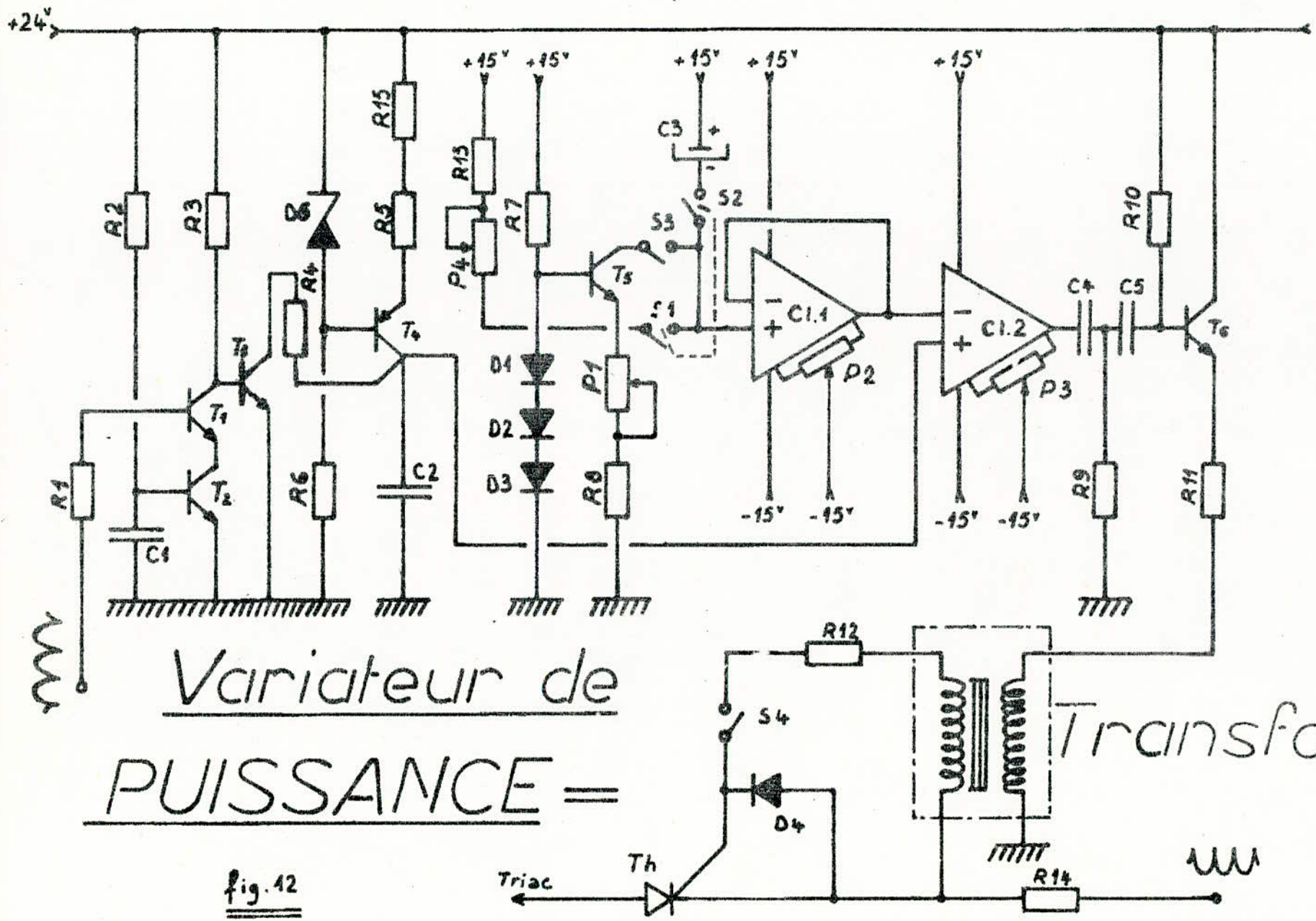
T_2 sera saturé lorsque C_1 aura fini de se charger, ainsi T_1 pourra conduire.

b) Une cellule (C_4, R_9) pour dériver les créneaux obtenus à la sortie du comparateur; sinon le thyristor va conduire tout le temps et on ne pourra plus commander son angle de conduction.

c) Un étage adaptateur:

Le courant à la sortie du comparateur étant limité on ne pourra pas attaquer directement le transformateur d'impulsions.

C'est pour cela qu'on intercale un étage collecteur commun T_6 .



Variateur de
PUISSANCE =

Transfo.

fig. 42

IV/ LOGIQUE DE COMMANDE:

L'évaporation du CdS se fait en deux étapes :

1) Le chauffage graduel du creuset jusqu'à la température d'évaporation du CdS (comprise entre 900°C et 1100°C), pendant un temps t_1 (ce temps correspond à la décharge de la capacité C_3).

2) Le maintien de cette température jusqu'à l'obtention de l'épaisseur voulue; (il suffira de maintenir fixe la tension aux bornes de la capacité C_3 : ainsi la puissance fournie au creuset sera constante).

D'autre part, nous nous sommes proposés d'interdire l'évaporation du CdS si le vide dans l'enceinte n'est pas suffisant : (en effet, dans ce cas, les couches obtenues seraient de qualité médiocre).

Le schéma de cette logique de commande sera alors représenté sur la figure 13.

IL est composé de deux blocs:

a) Bloc température:

Ce bloc est constitué de : - Un amplificateur CI1
- Un comparateur CI2

La température du creuset est relevée à l'aide d'un thermocouple; elle est ensuite amplifiée et lue sur un thermomètre.

Cette température (tension) est comparée à la température d'évaporation. Lorsque cette dernière est atteinte, le relais se déclenche, ce qui entraîne l'arrêt de la décharge de la capacité C_3 , et par suite le maintien de cette température.

Si celle-ci vient à baisser (suite par exemple à la charge de C_3), le relais colle et vient décharger la capacité C_3 , on obtient ainsi une régulation de la température du creuset.

b) Bloc pression:

Nous utilisons la sortie analogique d'une jauge de pression. Pour permettre ou interdire l'excitation du relais, cette tension analogique est comparée à une référence fixe: tant que la référence n'est pas atteinte (vide non atteint), le transistor T_1 reste saturé si bien que le relais ne peut être excité.

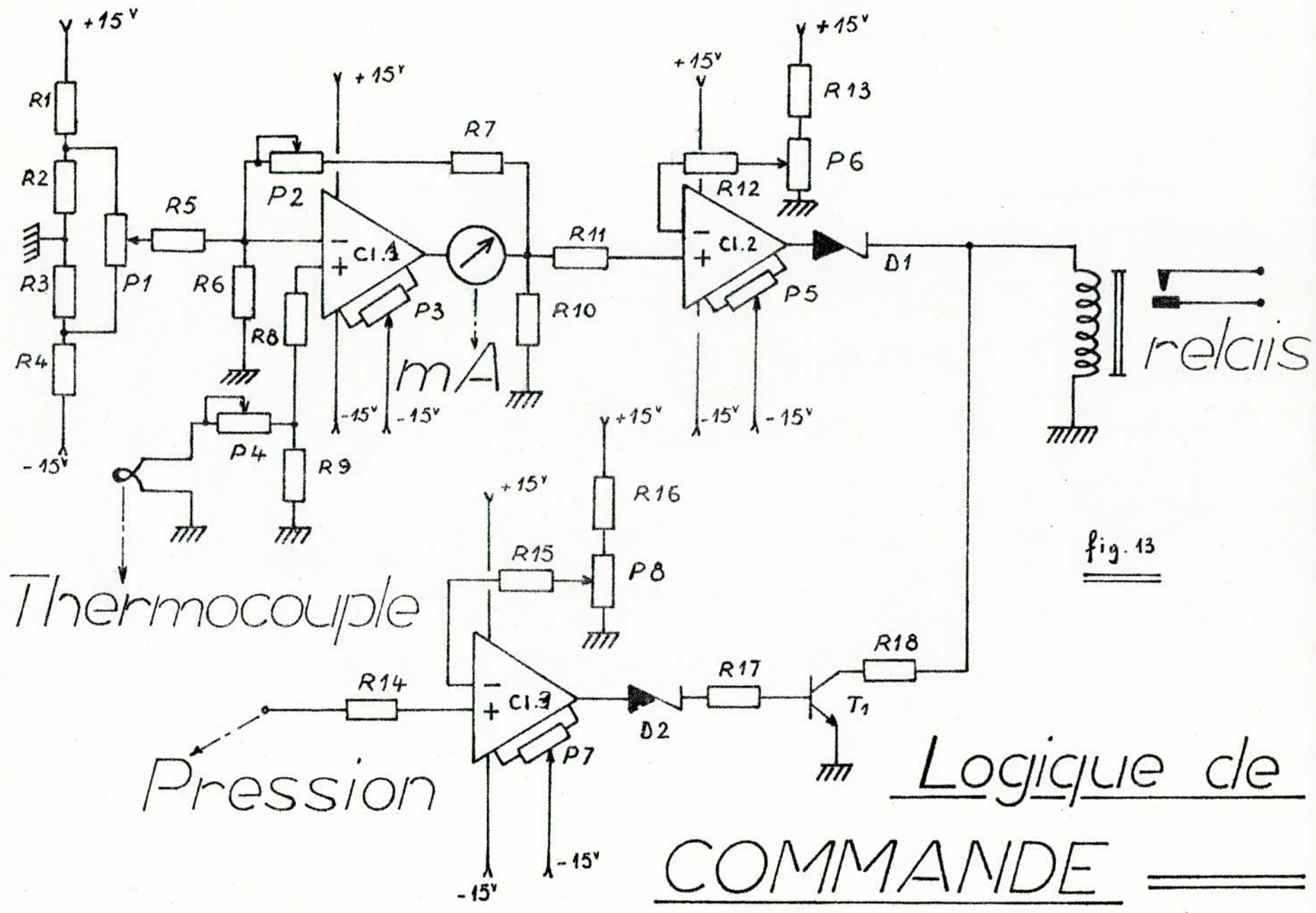
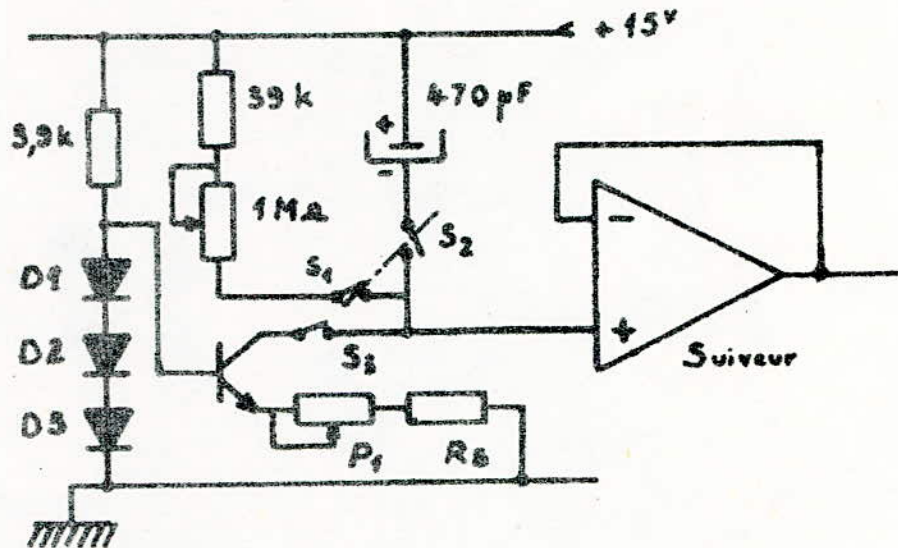


fig. 13

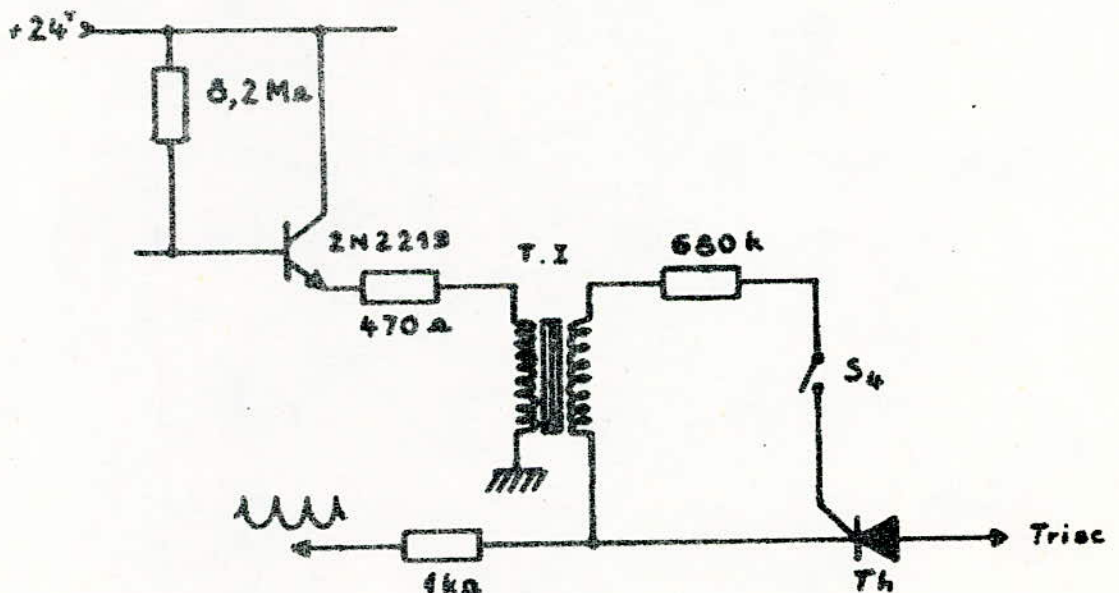
Logique de
COMMANDE

En plus de ces deux blocs on a utilisé :

- Un interrupteur I ayant deux positions S_1 et S_2 qui déterminent respectivement la position manuelle et la position automatique.
- Un deuxième interrupteur S_3 dont l'ouverture permet de maintenir la charge aux bornes de la capacité C_3 .



- Un troisième interrupteur S_4 permet d'arrêter l'alimentation de la charge (c'est à dire ici, le primaire du transformateur) dès que le relais du temporisateur déclenche.

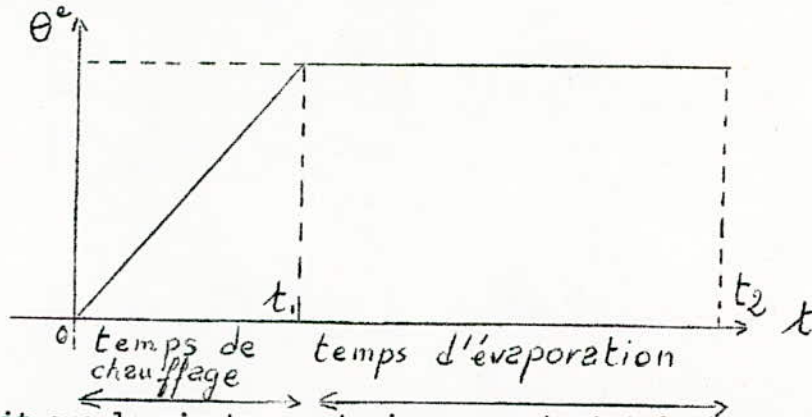


V) MINUTERIE :

Pour réaliser ce temporisateur, on charge une capacité C_1 à courant constant, puis à l'aide d'un suiveur, on attaque un comparateur dont l'entrée plus est la tension aux bornes de C_1 et l'entrée moins est une référence fixe V_{D3} . Lorsque V_{C1} atteint V_{D3} , le comparateur bascule entraînant ainsi l'excitation du relais.

Sur la figure 13, on remarque que la gâchette du thyristor est attaquée à travers un interrupteur S_1 qui est la sortie du relais de la minuterie (voir figure 14).

Si on reprend la figure de la variation de la température du creuset en fonction du temps :



On voit que le minuteur est mis en marche à $t=0$ c'est à dire au début du chauffage du creuset. Ainsi lorsque le temps t_2 sera écoulé, le temporisateur met hors circuit la gâchette du thyristor, donc les impulsions de déclenchements n'exciteront plus ce dernier d'où l'arrêt de l'évaporation du CdS.

La précision des temps de temporisation est ^{de} l'ordre de 8 à 10 % vu que la capacité de charge qu'on a utilisé (C_1) est une capacité électrochimique ordinaire, donc présentant certaines fuites. Le résultat serait meilleur si l'on utilisait des capacités au mylar ou en papier.

- On termine ce chapitre par l'alimentation qu'on a utilisée.

Elle nous donne les tensions suivantes:

- a) + 24 v
- b) + 15 v
- c) - 15 v

(voir figure 15)

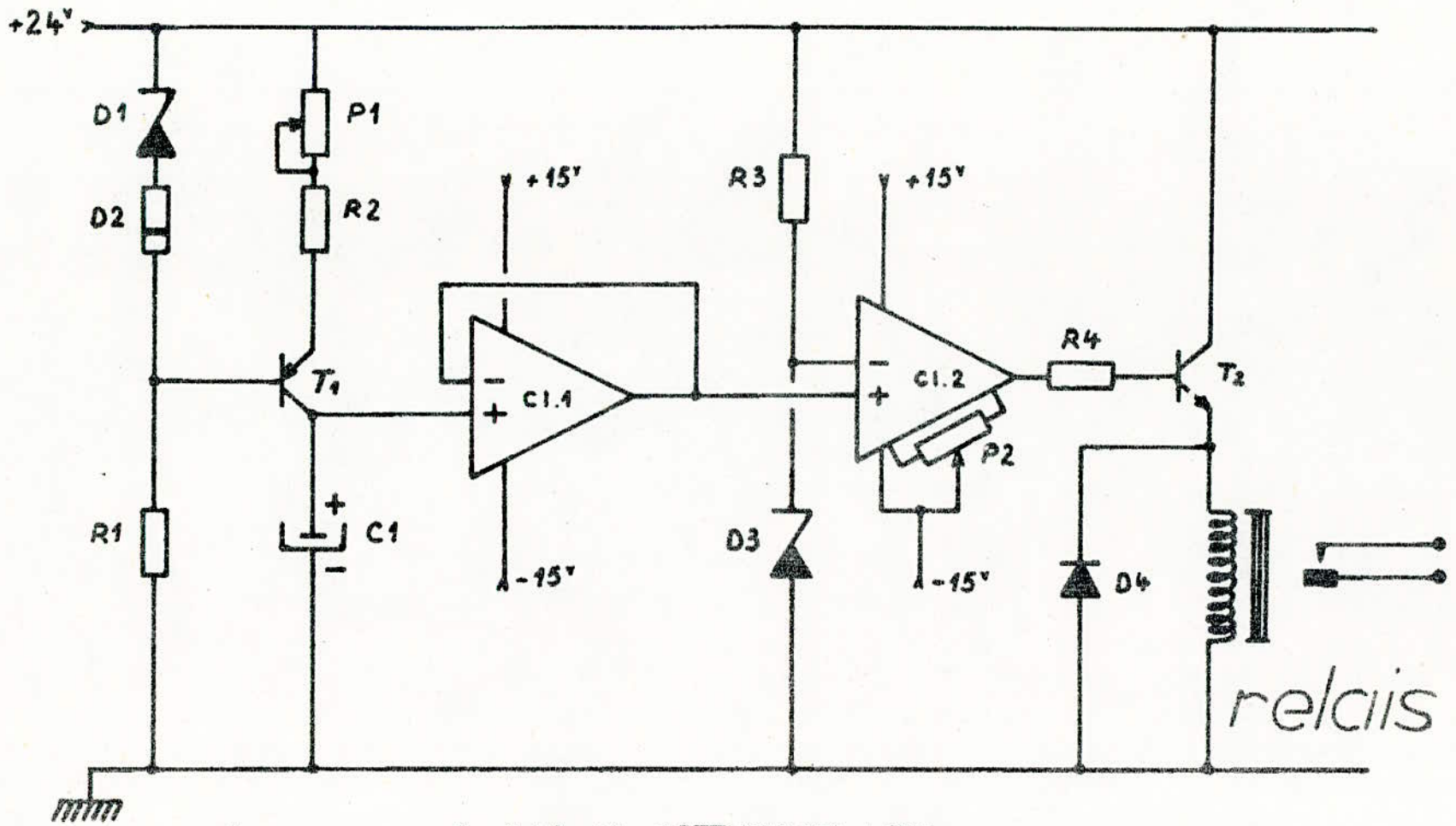
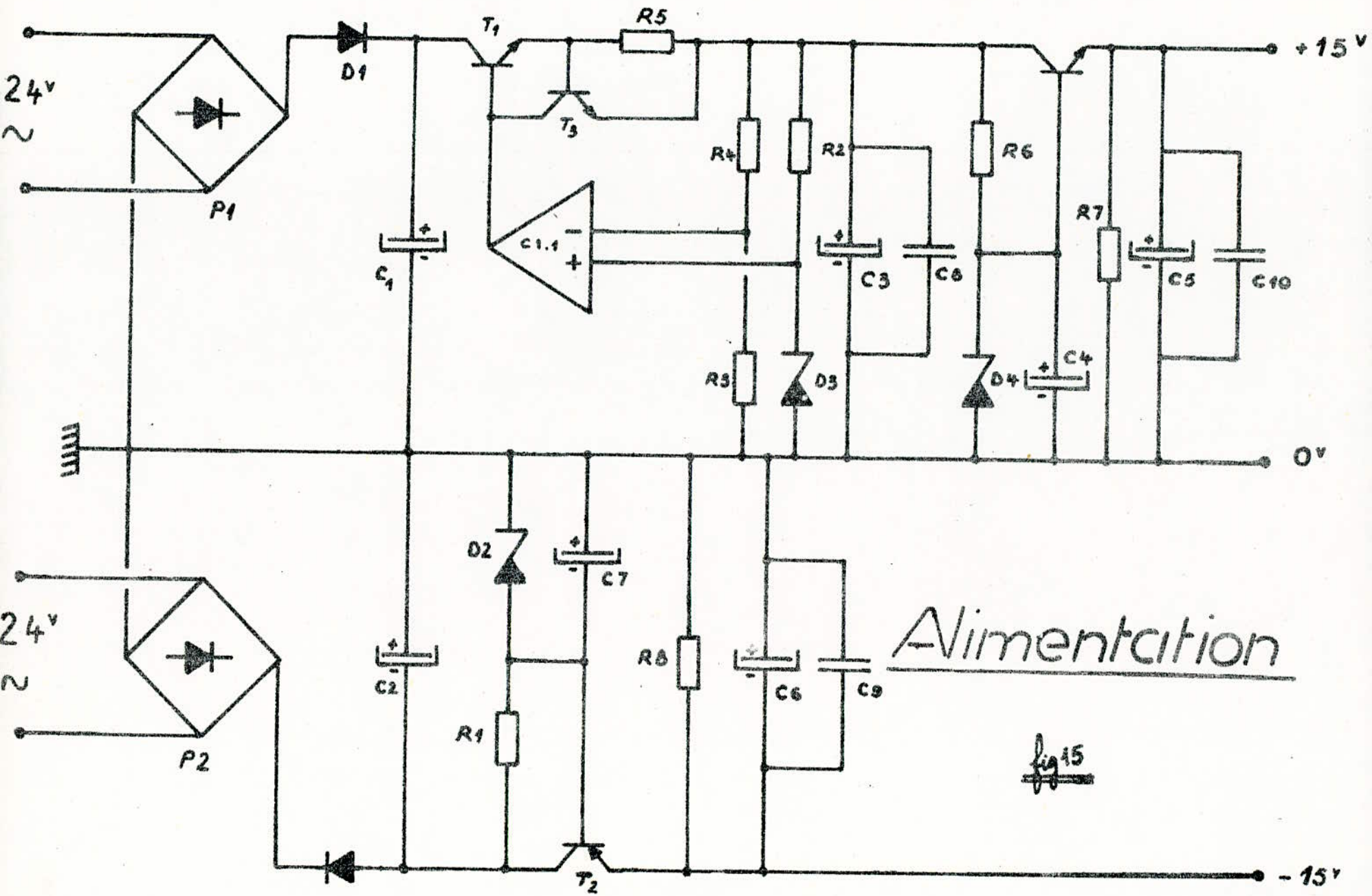


Fig 14:

MINUTERIE =



Alimentation

fig 15

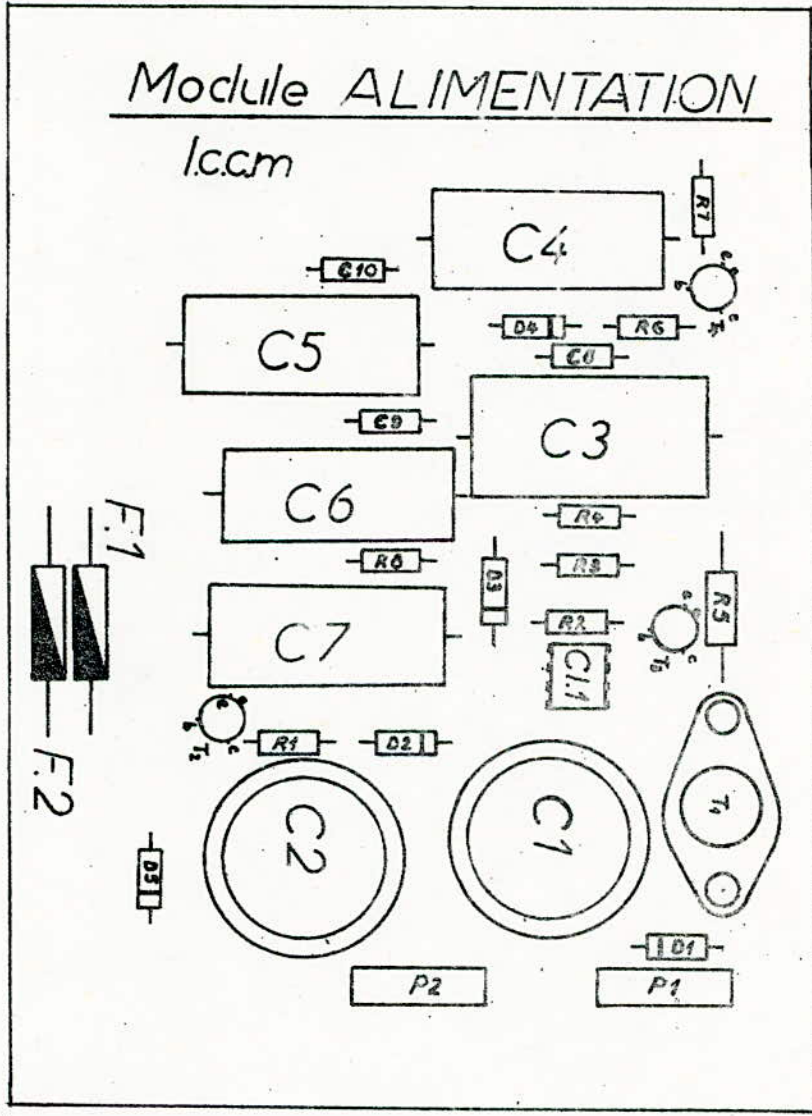
CHAPITRE III

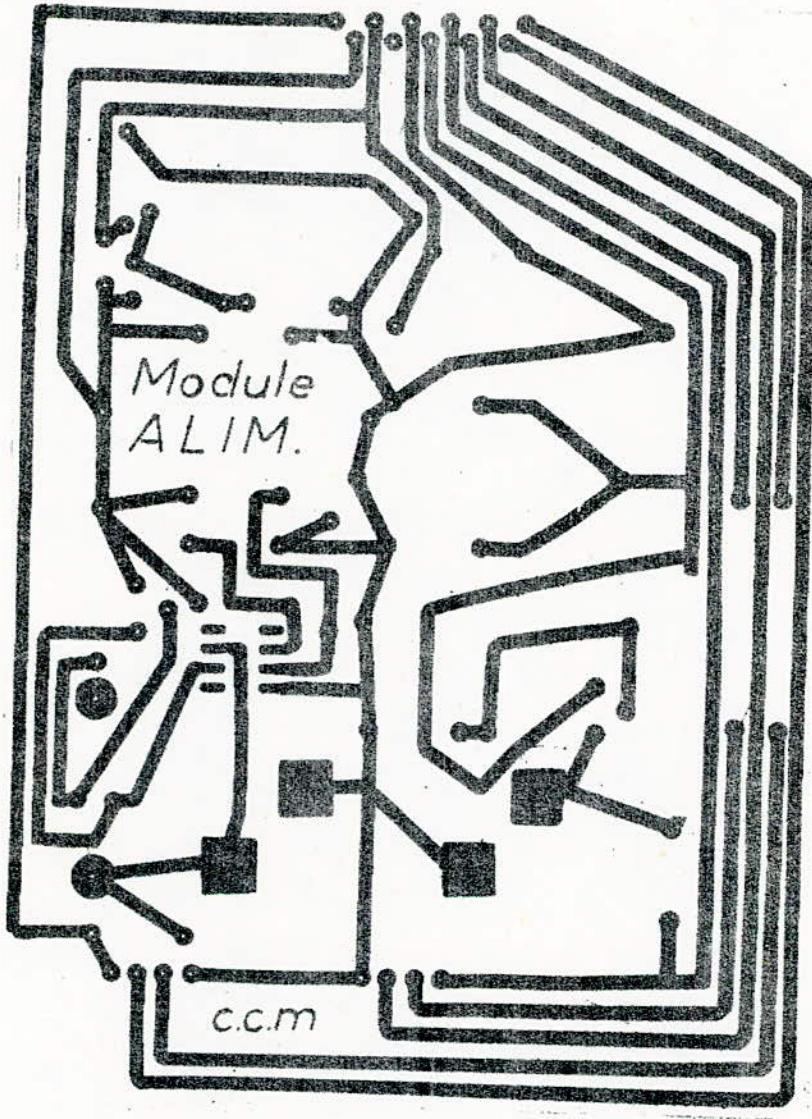
REALISATION DU DISPOSITIF D'AUTOMATISATION

I/ PLAQUETTES MODULAIRES :

1° Module Alimentation

- face élément :



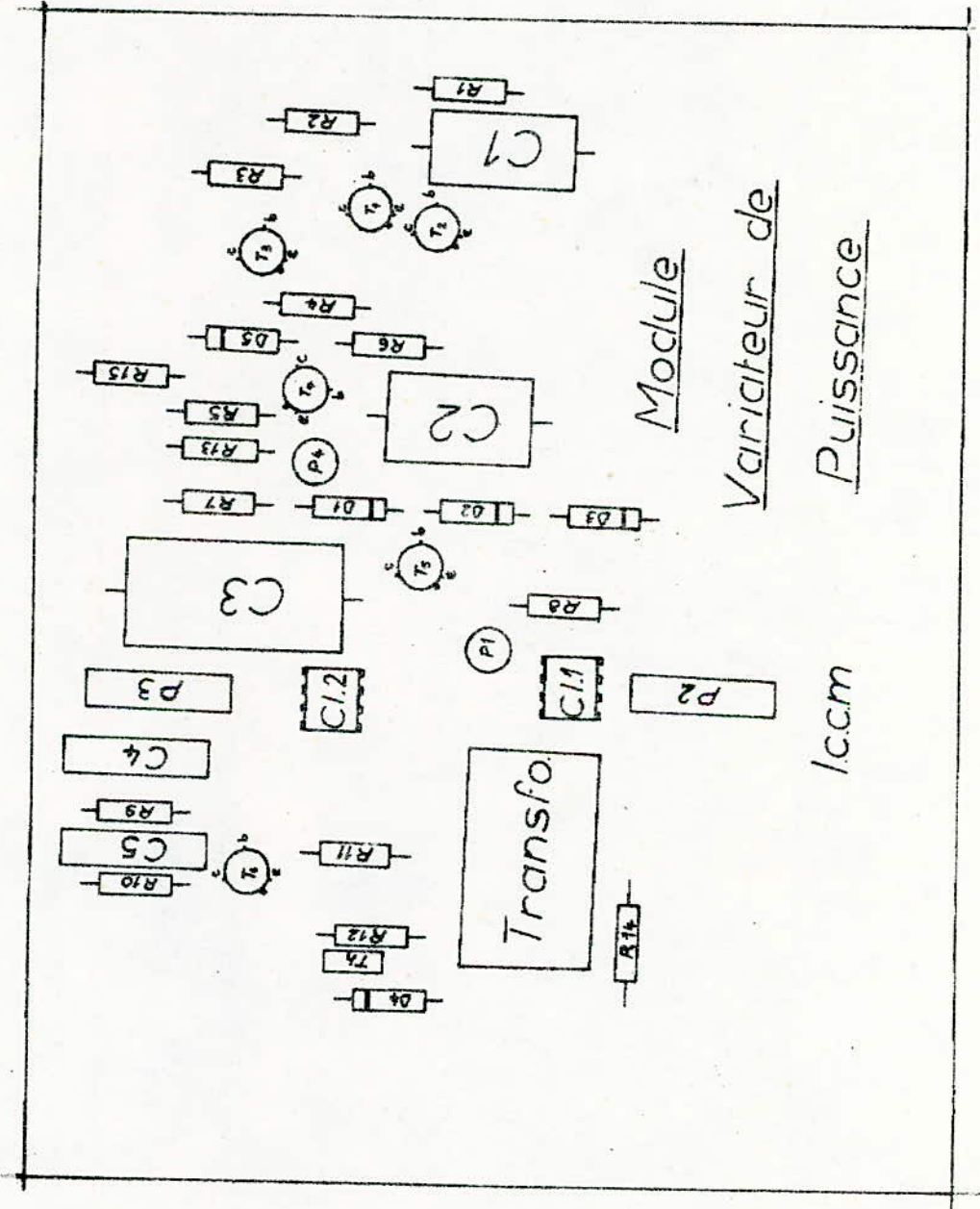


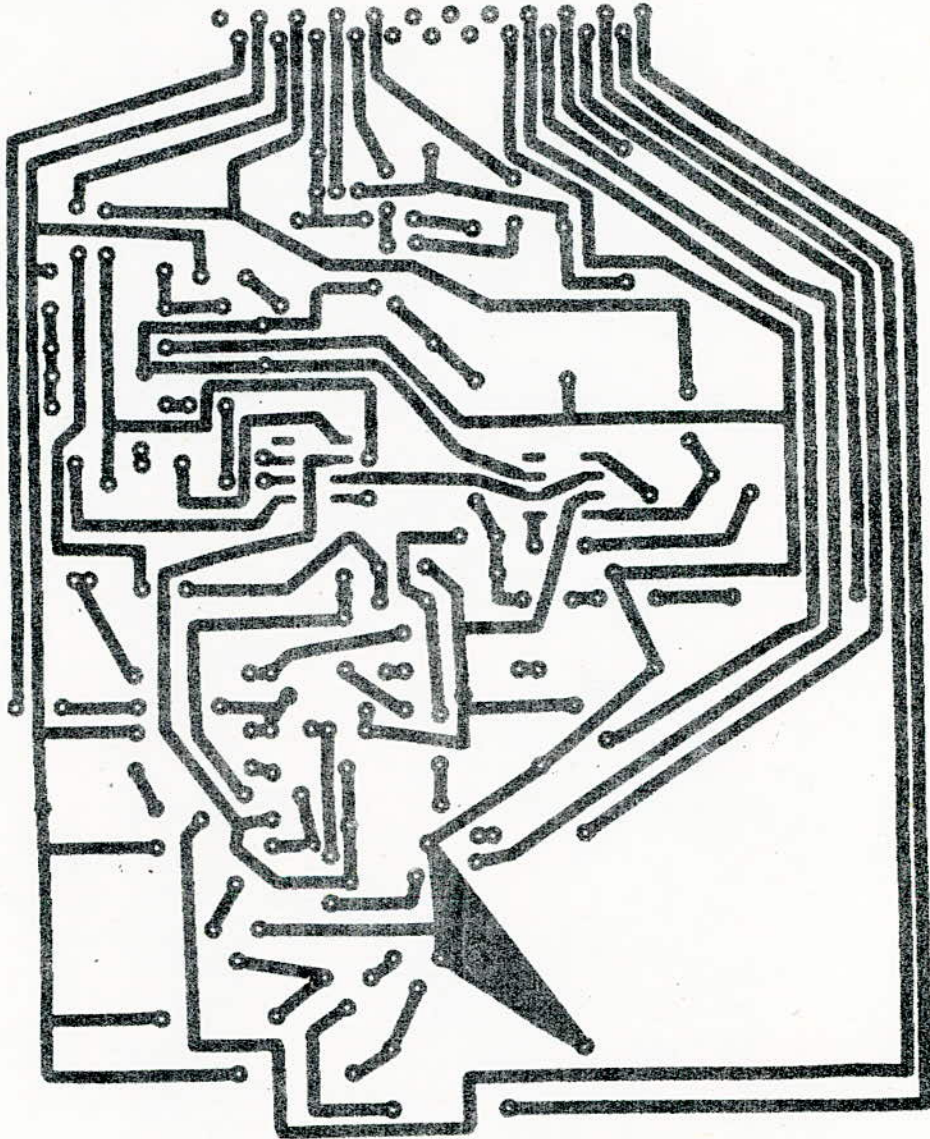
Circuit imprimé du module

Alimentation (Echelle : 1)

2) Module Variateur :

- face élément :

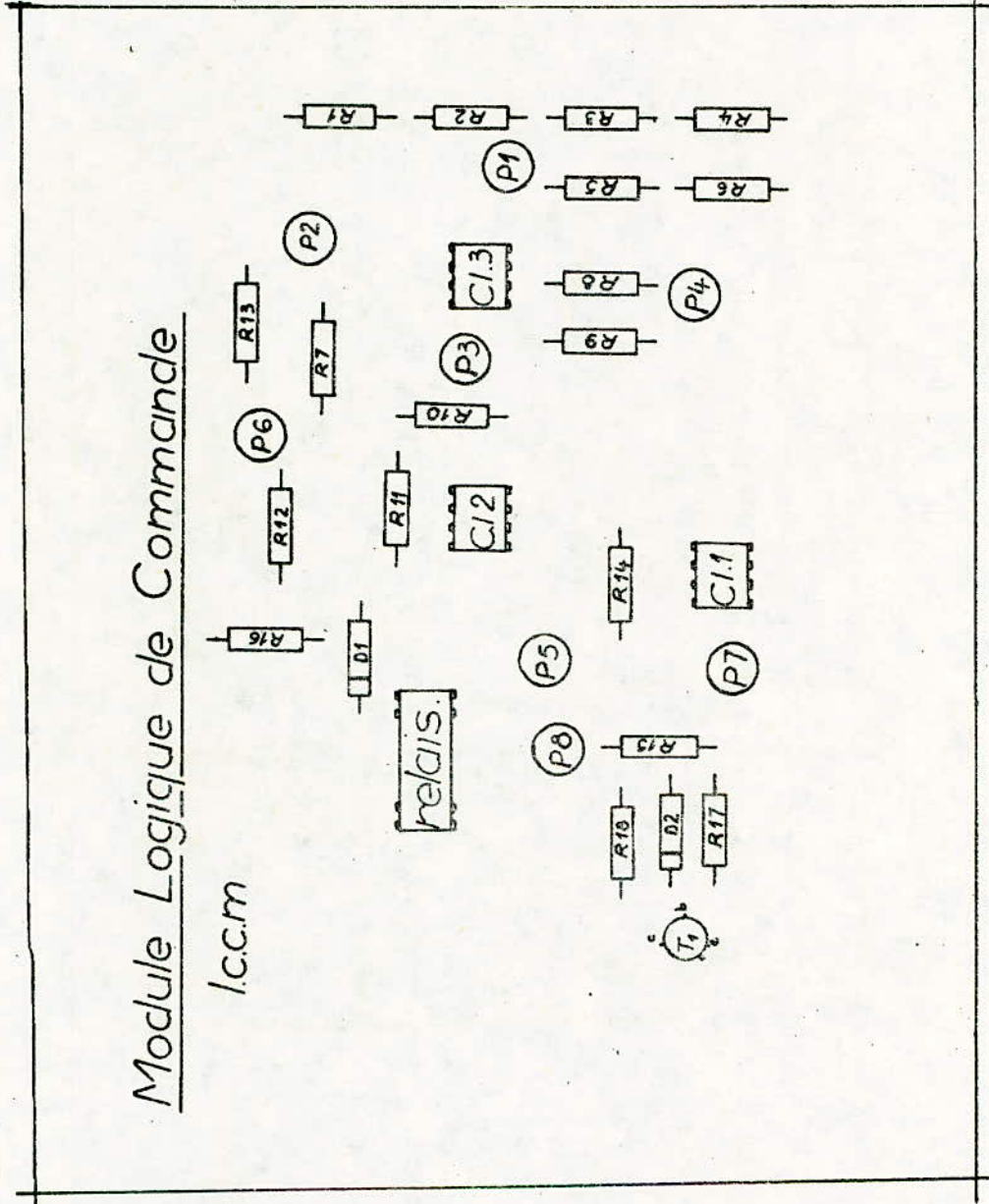


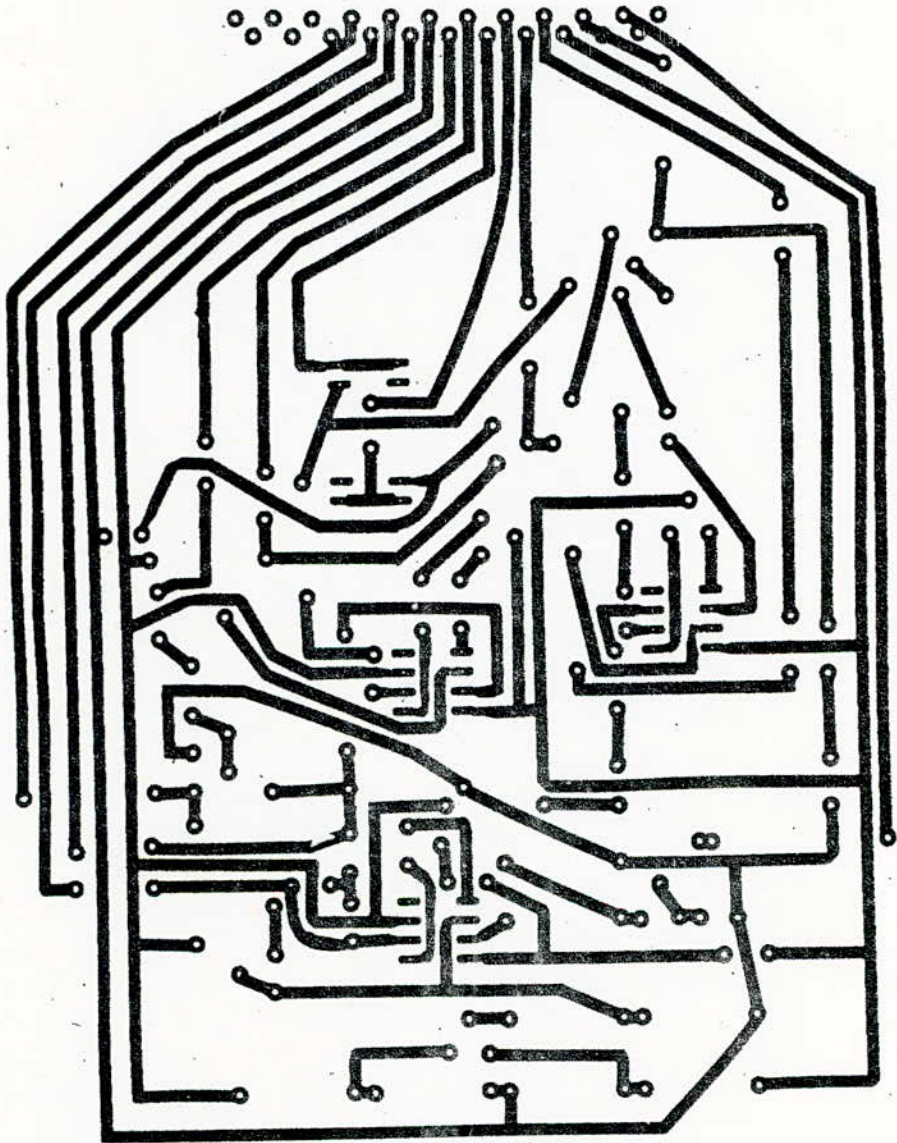


Circuit imprimé du module
Variateur de Puissance (Echelle: 1)

2) Module Logique de Commande :

- face élément :



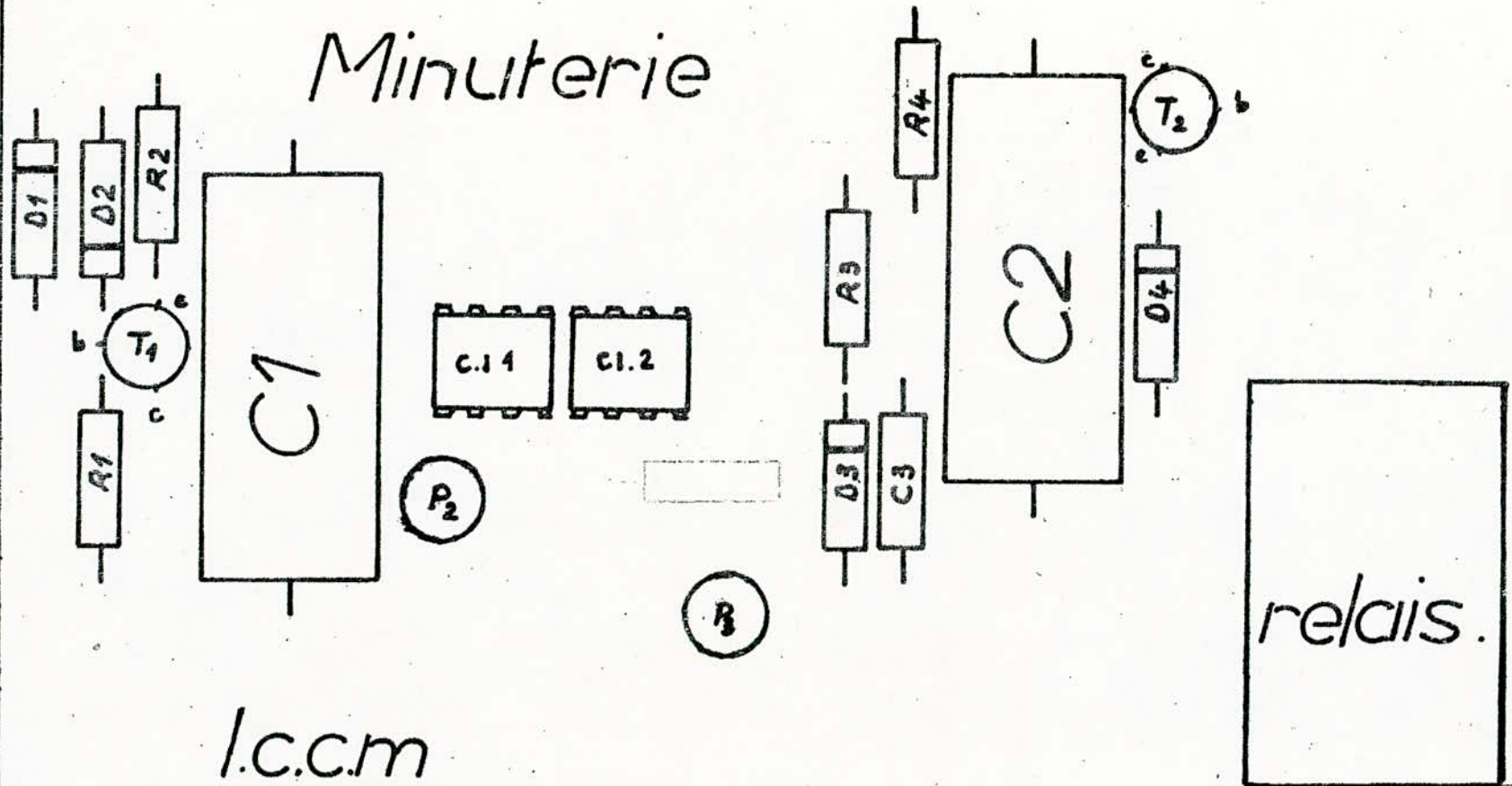


Circuit imprimé du module

Logique de Commande (Echelle : 1)

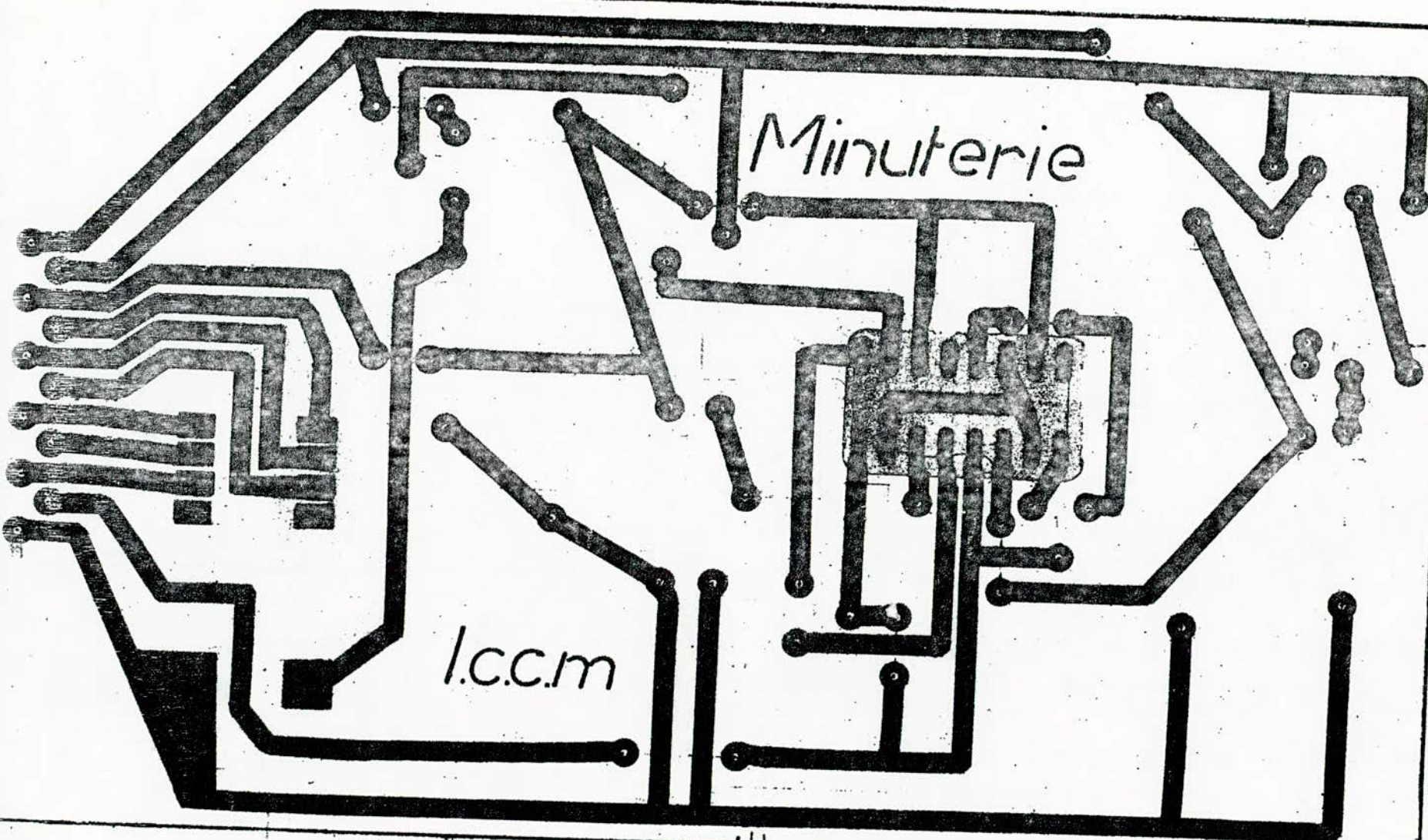
43

Minuterie



I.c.c.m
echelle:2

relais.



Minuterie

I.C.C.M

Nomenclature :

1/ Variateur :

Resistances		Condensateurs	
R1	: 100 k Ω	C1	: 100 μ F
R2	: 470 k Ω	C2	: 0,1 μ F
R3	: 22 k Ω	C3	: 470 μ F
R4	: 47 Ω	C4	: 68 nF
R5	: 27 k Ω	C5	: 0,68 μ F
R6	: 2,2 k Ω	Potentiometres	
R7	: 3,9 k Ω		
R8	: 220 k Ω	P1	: 250 k Ω
R9	: 10 k Ω	P2	: 10 k Ω
R10	: 8,2 M Ω	P3	: 10 k Ω
R11	: 470 Ω	P4	: 1 M Ω
R12	: 680 k Ω	Semi-conducteurs	
R13	: 39 k Ω		
R14	: 270 Ω	T ₁	: 2N2222
R15	: 3,9 k Ω	T ₂	: 2N2222
Diodes		T ₃	: 2N 930
		T ₄	: 2N2905
D1	: BYX 10	T ₅	: 2N 2219
D2	: BYX 10	T ₆	: 2N 2219
D3	: BYX 10	Th	: 2NG239
D4	: BYX 10		
D5	: 105 Z4		
		Cl.1	: μ A741
		Cl.2	: μ A741
		T.I	: Transformateur d'impulsions
		Triac	: 2 (2N6343) ; 1 (6394)

2° Logique de Commande :

Resistances				Potentiometres			
R1	:	12	k Ω	P1	:	5	k Ω
R2	:	47	Ω	P2	:	25	k Ω
R3	:	47	Ω	P3	:	10	k Ω
R4	:	12	k Ω	P4	:	25	k Ω
R5	:	47	k Ω	P5	:	10	k Ω
R6	:	470	Ω	P6	:	500	Ω
R7	:	1	k Ω	P7	:	10	k Ω
R8	:	330	Ω	P8	:	500	k Ω
R9	:	470	Ω	Semi-conducteurs			
R10	:	470	Ω				
R11	:	1	k Ω	C1.1	:	μ A 741	
R12	:	1	k Ω	C1.2	:	μ A 741	
R13	:	15	k Ω	C1.3	:	μ A 741	
R14	:			T ₁	:		
R15	:			DZ1	:	ZF 12	
R16	:			DZ2	:		
R17	:						
R18	:						
1 : micro-relais							

3° Minuterie :

Resistances				Diodes			
R1	:	1,8	k Ω	D1	:	ZF 3,6	
R2	:	3,9	M Ω	D2	:	BYX 10	
R3	:	8,2	k Ω	D3	:	10BZ4	
R4	:	1	k Ω	D4	:	BYX 10	
Condensateurs				Semi-Conducteurs			

C1 : 100 μ F	T ₁ : 2N 2894 T ₂ : 2N 2193 C1.1 & C1.2 : μ A 741
Potentiometres	
P1 : P2 : 10 k Ω P3 : 10 k Ω	1 : relais

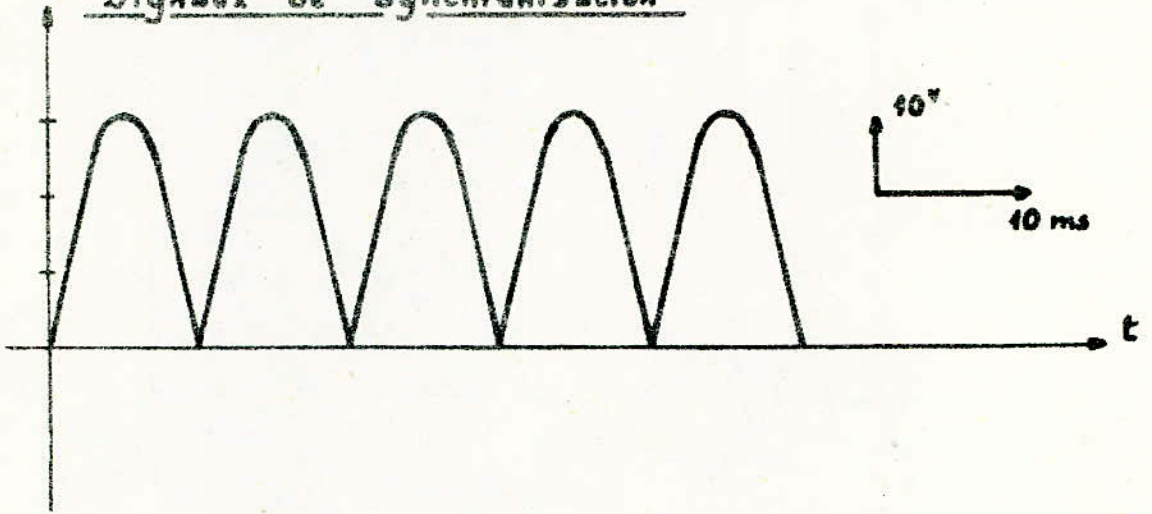
4/ Alimentation :

Resistances			Condensateurs														
R5 : 0,6 Ω	R6 : 10 k Ω	R2 : 3,9 k Ω	R3 : 1,5 k Ω	R4 : 10 k Ω	R7 : 22 k Ω	R1 : 10 k Ω	R8 : 22 k Ω	C1 : 4000 μ F	C3 : 1000 μ F	C8 : 22 nF	C4 : 100 μ F	C5 : 64 μ F	C10 : 68 nF	C2 : 1000 μ F	C7 : 100 μ F	C6 : 100 μ F	C9 : 10 nF
Diodes			Transistors														
D1 : 1N 4006	D3 : ZF 7,5	D2 : ZF 15	D4 : ZF 15	D5 : 13 J2	T ₁ : 2N 3054 (Puissance)	T ₂ : 2N 2222A	T ₃ : 2N 2894	Ponts à diodes			P1	P2					
Circuits integres																	
C1.1 : μ A 741																	

III RELEVÉ DES DIFFÉRENTES COURBES :

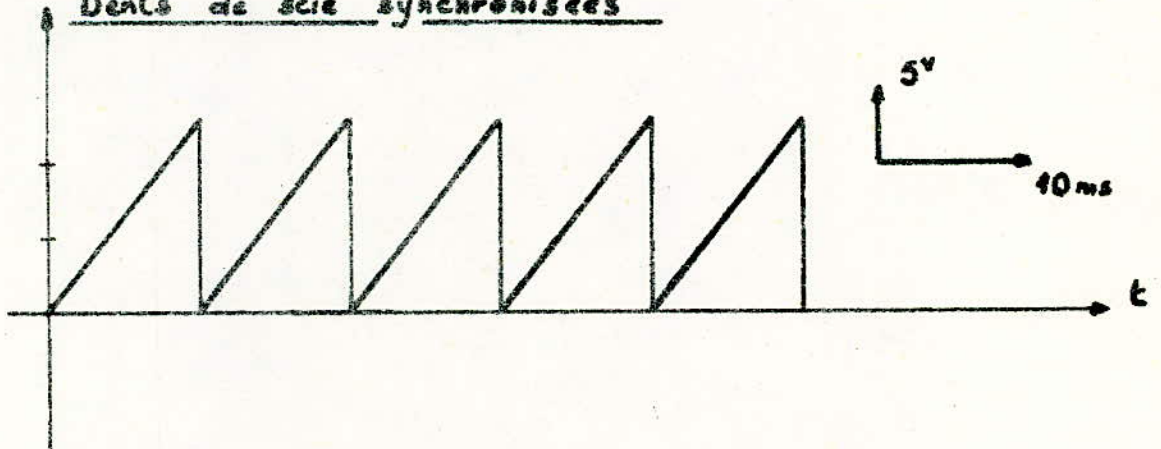
1/

Signaux de synchronisation

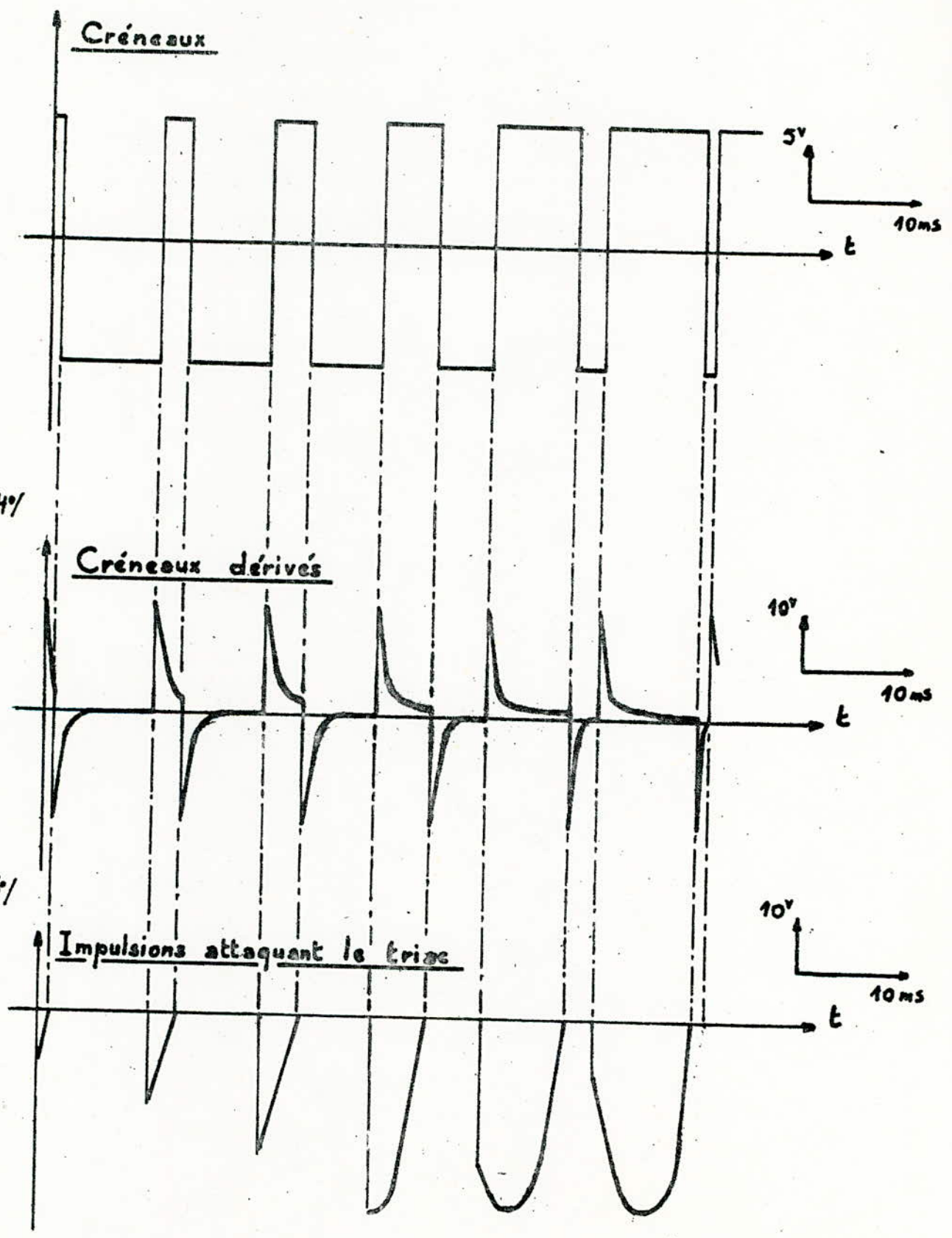


2/

Dents de scie synchronisées



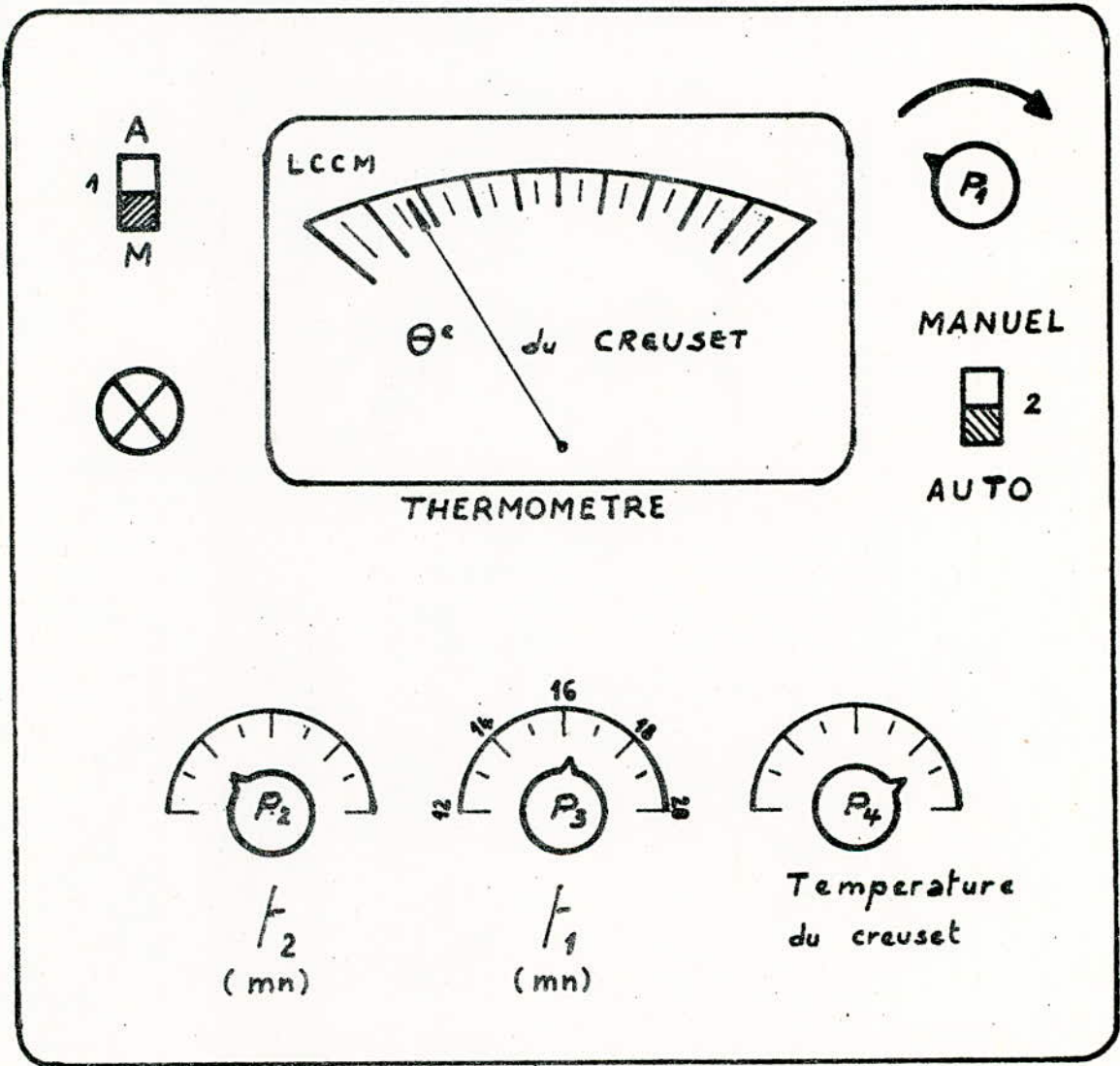
3/



5/

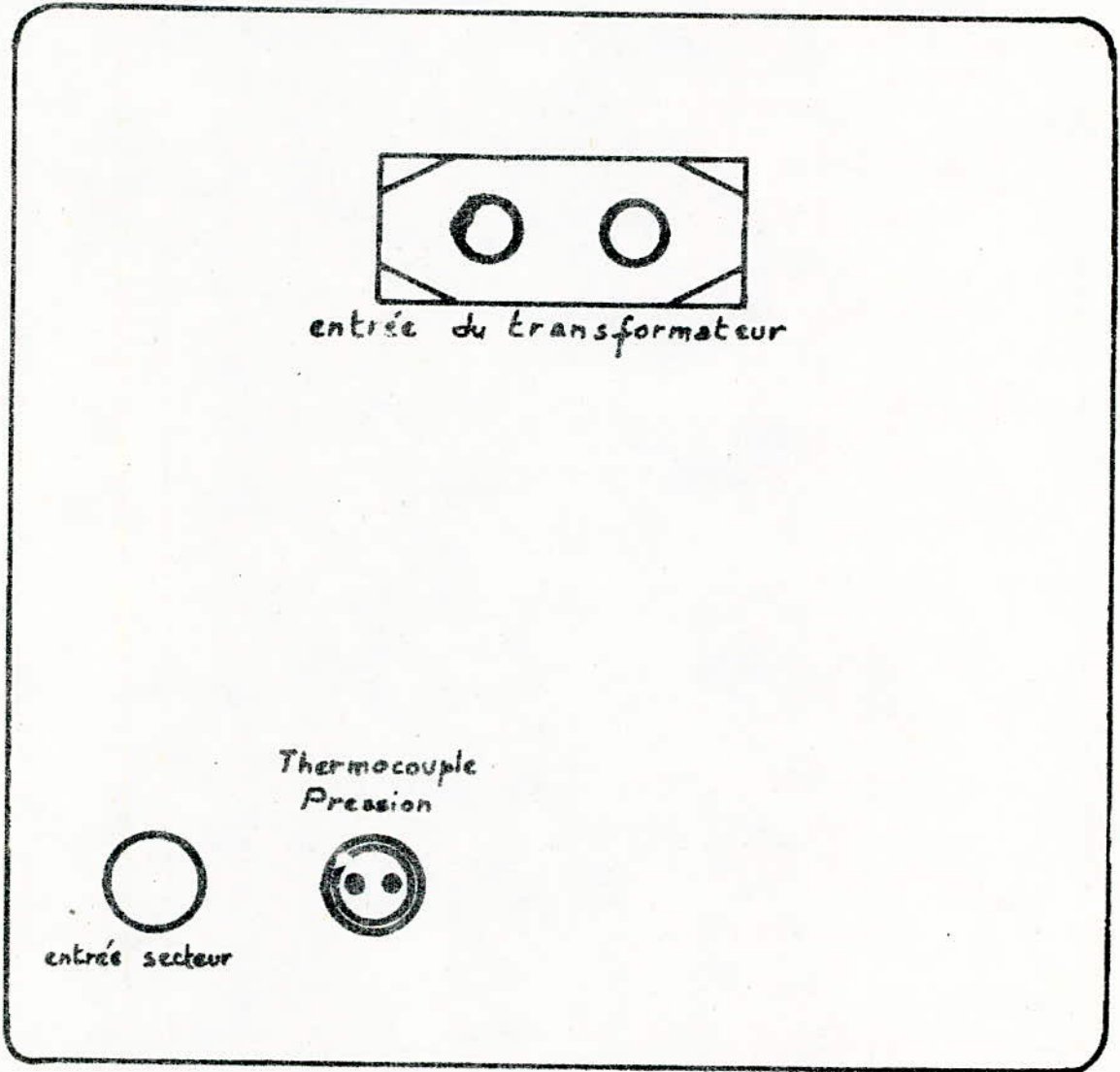
IV NOTICE D'UTILISATION :

1°/



FACE AVANT
de
L'APPAREIL

2°/



FACE ARRIERE
de
L'APPAREIL

3) Différents réglages

a) Branchement de l'appareil sur le secteur

Le cordon du secteur sort de la face arrière de l'appareil.

La borne noire doit être impérativement reliée au neutre du secteur (220^V).

b) Mode opératoire

- L'interrupteur 1 (de gauche) permet la mise en marche et l'arrêt de l'appareil.

- L'interrupteur 2 (de droite) permet à son tour une commande manuelle (Position haute) à l'aide du potentiomètre P₁, et une commande automatique (Position basse) de la puissance délivrée au creuset.

- Les 3 potentiomètres P₂, P₃, P₄ (en bas du panneau) permettent respectivement le réglage de la durée totale d'évaporation, du temps de chauffage, et de la température du creuset.

- Au milieu du panneau avant, un thermomètre nous donne directement en degré celsi s, la température du creuset.

c) Branchement du banc de fabrication sur l'appareil

Le transformateur du creuset sera branché sur la prise femelle du panneau arrière.

Sur le même panneau, existe une entrée du thermocouple et de la jauge de pression.

C O N C L U S I O N

L'appareil que nous avons réalisé, quoique simple, sera certainement un auxiliaire précieux pour le fabricant des photopiles.

En effet, il permet un réglage du temps de chauffage du creuset, et de la durée totale d'évaporation. Il permet aussi de fixer la température d'évaporation à la valeur voulue avec l'avantage d'une stabilisation de température du creuset.

Ainsi toute l'étape du dépôt de la couche de CdS pourra être menée à bien dans de bonnes conditions, ce qui laissera espérer une amélioration des qualités de cette couche.

Le tout sera de trouver le réglage convenable de l'appareil.

Il est certain que beaucoup d'autres améliorations peuvent être apportées à notre dispositif (meilleure précision ; simplification des circuits, par exemple l'utilisation d'une alimentation en circuits intégrés).

Remarquons, enfin que de meilleurs résultats peuvent être obtenus par une autre conception de l'appareil. Nous pensons à une commande par circuits logiques qui offrira une très grande souplesse d'emploi (commande par paquet d'ondes, paliers intermédiaires de températures, etc...).

ANNEXE I :

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN THYRISTOR:

I) Définition du thyristor:

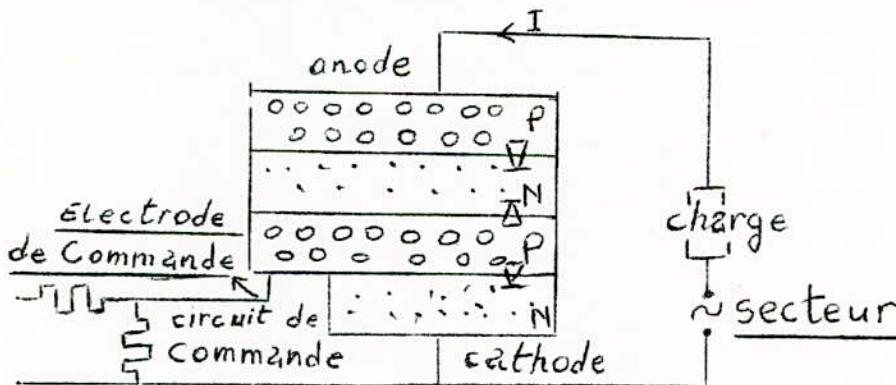
Le thyristor est une soupape au silicium munie d'une électrode de commande, gâchette.

- En l'absence de courant dans la gâchette, le thyristor reste bloqué.
- Lorsque l'anode est positive par rapport à la cathode, un courant de gâchette déclenche le thyristor;
- Le thyristor conducteur ne peut être bloqué par sa gâchette; il est bloqué par l'interruption ou l'inversion de la tension d'anode.

Le réglage de phase consiste à faire varier l'instant de la période à partir duquel conduit un redresseur à l'électrode de commande .

On règle ainsi la tension continue du redresseur et la puissance qu'il fournit à la charge.

Le thyristor est donc un commutateur à réglage de phase.



II) Principe:

Le thyristor est un semiconducteur au Silicium, à quatre couches alternativement P et N .

Les couches extrêmes constituent l'anode et la cathode.

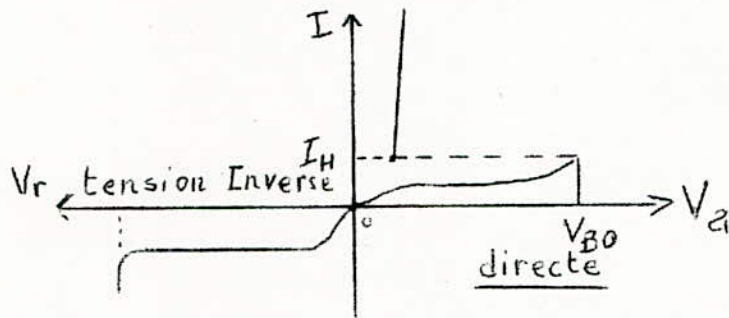
Lorsque l'anode est positive par rapport à la cathode, la jonction médiane, dite la jonction de commande, bloque le thyristor; une impulsion de courant dans la jonction P-N de cathode fait effondrer la barrière de potentiel de la jonction de commande et le thyristor devient conducteur.

L'électrode de commande ou gâchette est généralement la région P voisine de la cathode, il existe des thyristors à commande par l'anode; la gâchette est alors la région N voisine de la couche d'anode.

III) Caractéristique directe et inverse:

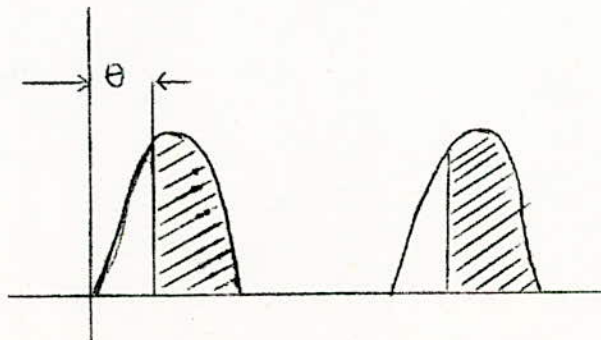
En l'absence de courant de gâchette, le thyristor ne s'amorce que pour une tension directe V_{BO} élevée, qu'il ne faut pas atteindre dans les applications; après amorçage, la tension entre anode et cathode est très faible (ordre du volt).

Le courant n'est alors limité que par la charge en série avec le thyristor. La conduction cesse lorsque le courant devient inférieur à une certaine valeur I_H , dite courant de maintien.

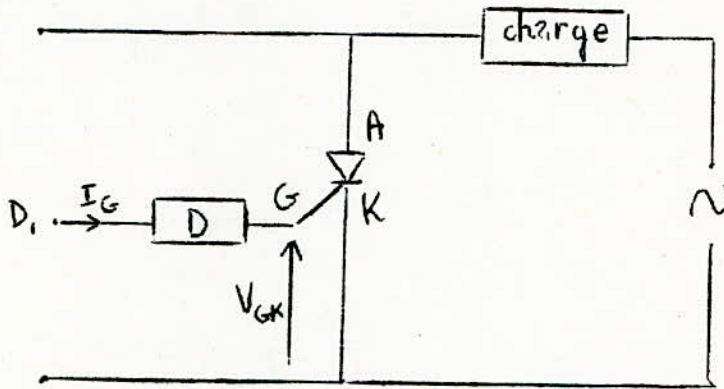


Une tension inverse élevée provoque un claquage par avalanche. La puissance dégagée dans le thyristor est très élevée et le détériore. Le fabricant indique donc des valeurs maximales pour les tensions et les courants.

IV) Caractéristique de gâchette:



θ : Angle de blocage.



Pour déclencher le thyristor, la tension V_{GK} et le courant I_G de gâchette doivent être suffisant. Le constructeur donne les courbes $V_{GK} - I_G$ permettant de déterminer les circuits de commande. Le courant de commande doit avoir une durée supérieure au temps d'amorçage par la gâchette (turn on time).

ANNEXE II

LE TRIAC:

Le triac s'insère tout naturellement dans la famille des thyristors puisqu'il constitue un thyristor bidirectionnel.

1) Définition:

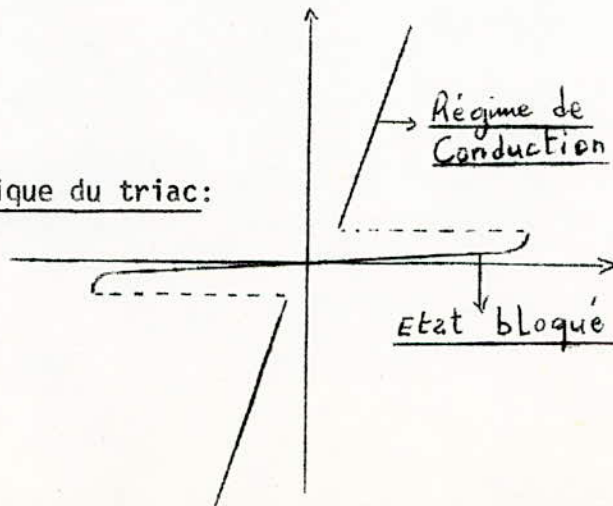
Le triac est un dispositif semi-conducteur à trois électrodes dont une de commande (la gâchette) et deux de conduction principale. Ce dispositif peut passer d'un état bloqué à un régime conducteur dans ses deux sens de polarisation (quadrants I et III, figure a), et repasser à l'état bloqué par inversion de tension ou par diminution du courant au-dessous de la valeur du courant de maintien I_H .

Le triac est donc la version bidirectionnelle du thyristor: dans sa représentation électrique, on peut le comparer à l'association en antiparallèle de deux thyristors.

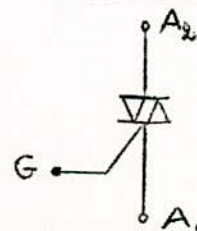
Cependant, par rapport au schéma à deux thyristors où la commande des gâchettes ne peut se faire que par un transformateur d'impulsion, on bénéficie des deux avantages fondamentaux suivants:

- Du fait qu'il existe q'une électrode de déclenchement, le circuit de commande est simplifié;
- Le dispositif peut basculer à l'état passant quelles que soient les polarités de gachette ou d'anode (le déclenchement s'effectue dans les quatre quadrants).

a) Caractéristique du triac:

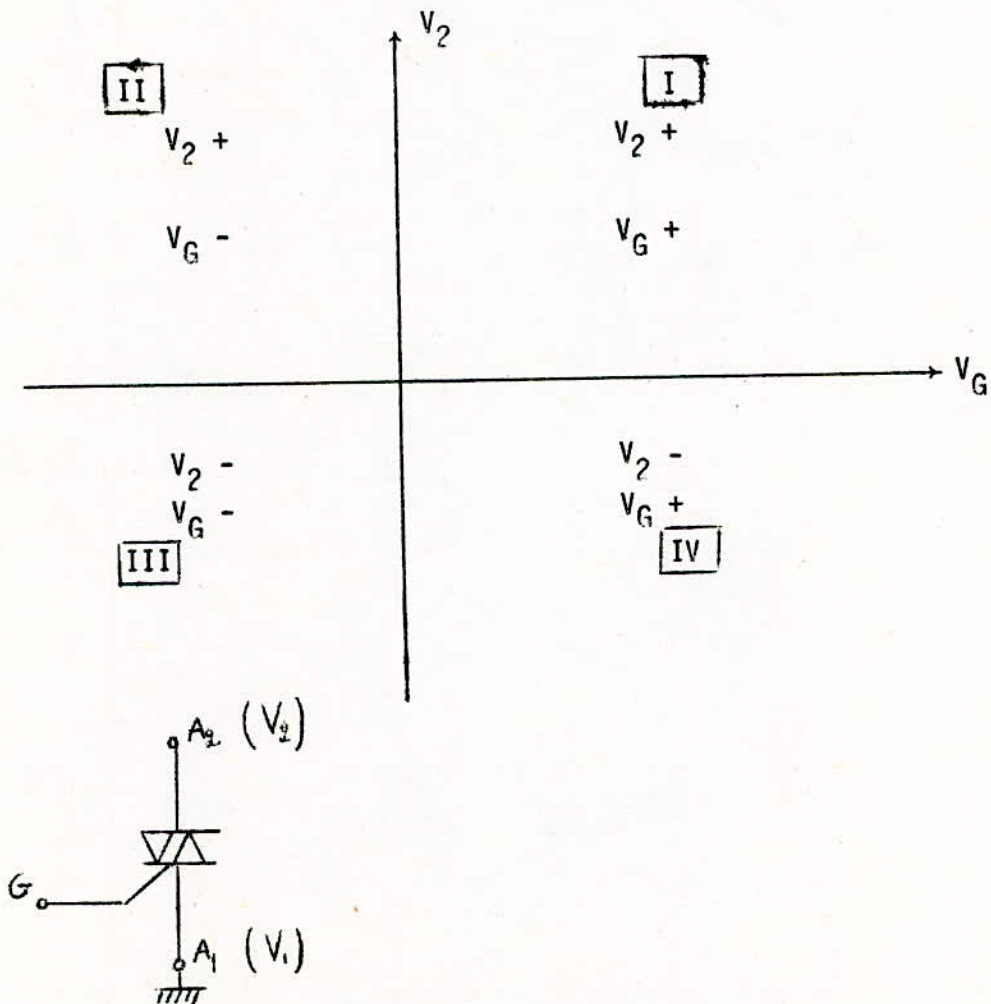


b) Symbole:



2) Amorçage du triac:

En appliquant la tension V_1 à l'anode A_1 , la tension V_2 à A_2 , la tension V_G à la gâchette et si l'on prend V_1 comme référence de masse ($V_1 = 0$), on peut définir quatre quadrants de polarisation qui caractérisent le fonctionnement du triac.



BIBLIOGRAPHIE

oo oo oo oo oo oo oo

1/ RADIO-PLANS (Commande de mise sous tension graduelle)

Septembre 1978

2/ J.P CHABANNE (Les triacs) Edition Radio

3/ H. LIEN (Thyristors et triacs) Edition Radio

4/ PROJET DE FIN D'ETUDES (Etudes théoriques des hétéro-

jonctions et réalisation de cellules solaires

CdS-Cu₂S) .

Janvier 1979 (ABABZI et MESLEM)

5/ PROJET DE FIN D'ETUDES (Etude et réalisation d'un

régulateur PANNICAU SOLAIRE-BATTERIE)

Janvier 1979 (KHIARI et DOUANIA)