

2/78  
led

UNIVERSITE D'ALGER

المدرسة الوطنية للعلوم الهندسية

المكتبة

DEPARTEMENT ELECTRICITE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

BIBLIOTHEQUE

FILIERE D'INGENIEUR EN ELECTRONIQUE

1978

PROJET DE FIN D'ETUDES

المدرسة الوطنية للعلوم الهندسية  
المكتبة  
ECOLE NATIONAL POLYTECHNIQUE  
BIBLIOTHEQUE

BANC D'ESSAIS POUR  
PHOTOPILES

SUJET :

PROPOSE PAR : M<sup>r</sup> A. Adane

REALISE PAR :

Med Benabdellah

Med Boulemden

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تَبَارَكَ الَّذِي جَعَلَ فِي السَّمَاءِ بُرُوجًا وَجَعَلَ فِيهَا  
سِجْرًا وَقَمَرًا مُنِيرًا ﴿٦١﴾

سُورَةُ الْفُرْقَانِ

وَالشَّمْسُ تَجْرِي لِمُسْتَقَرٍّ لَهَا ذَلِكَ تَقْدِيرُ الْعَزِيزِ  
الْعَلِيمِ ﴿٣٧﴾ وَالْقَمَرَ قَدَرْنَا مِنْ آزَلٍ حَتَّىٰ عَادَ كَالْعُرْوَةِ  
الْقَدِيمِ ﴿٣٨﴾ لَا الشَّمْسُ يَنْبَغِي لَهَا أَنْ تُدْرِكَ الْغُرُوبَ  
وَلَا اللَّيْلُ سَابِقُ النَّهَارِ وَكُلٌّ فِي فَلَكٍ يَسْبَحُونَ

سورة يس

صدق الله العظيم

0---000---000---000---000---000---000---000---000---000---0



E D I C A C E

0---000---000---000---000---000---000---000---000---0

A mon père et ma mère, les  
deux êtres qui m'ont offert au  
berceau le don le plus précieux:  
celui de la FOI.

M<sup>ed</sup>. BENABDELLAH.

A mes frères ABDELLAH MOKHLOUFI, AHMED REMITA,  
MOKHTAR ZITOUNI , ainsi qu'à l'ensemble des  
autres frères de la M O S Q U E E .

M<sup>ed</sup> BOULEMDEN

## REMERCIEMENTS

Nos remerciements sinceres à Monsieur A. ADANE Docteur-Ingenieur qui n'a cessé, tout au long de ce travail, de consentir de grands efforts pour nous aider à bien mener notre tache.

Nous tenons aussi à remercier Monsieur Zubrowski Maitre de conférences pour l'aide qu'il nous a apportée dans l'élaboration de la partie régulation de ce projet.

Que Monsieur ABDESSALLAM, Directeur de l'école, trouve ici l'expression de notre sincere gratitude et de nos profonds respects.

MOHAMMED BOULEMDEN

MOHAMMED BENABDELLAH

De tous temps, l'homme tenta, dans le domaine de la science, de connaître les lois de la création, de découvrir les trésors cachés de la terre, et de diriger toutes les forces jusqu'ici ignorées de l'esprit et de la matière. Il essaya, et essayera, d'explorer toutes les contrées du savoir et de la puissance, et de soumettre tout ce qui existe sur terre et dans les cieux au profit de l'homme.

Seule sa conscience de DIEU pourra, à chaque stade de cette recherche et de cette investigation, l'empêcher de faire un mauvais usage de la science et des méthodes scientifiques.

Ainsi, plus l'homme verra clair dans le domaine de la science, plus sa FOI en DIEU en sera renforcée.

"On nous apprend à voler comme les oiseaux, et à nager comme les poissons, mais nous ignorons toujours comment vivre sur la terre."

SOMMAIRE  
 ●●●●●●●●●●

	<u>PAGES</u>
<u>Introduction</u>	1
<u>Chapitre 1</u> : La mesure de la caractéristique I-V d'un capteur photovoltaïque	3
1.1. Généralités	3
1.2. La mesure de $I_{cc}$	5
1.3. La mesure de $V_o$ :	8
1.4. La mesure du maximum de puissance $P_m$	8
1.5. Présentation des photopiles à mesurer:	
Caractéristiques données par le constructeur	11
1.5.1. Caractéristiques principales	11
1.5.1.1. Caractéristiques générales	12
1.5.2. Caractéristiques du BPX47A fonctionnant sur batterie 12V	12
1.5.3. Caractéristiques mécaniques	14
1.5.4. Caractéristiques dimensionnelles	14
1.5.5. Caractéristique $I_L = f(V_L)$	14
1.5.6. Caractéristique $P_L = f(T_j)$	14
1.5.7. Caractéristique $P_L = f(V_L)$	20
1.6. Plage dans laquelle se situe $R_c(opt)$	20
<u>Chapitre 2</u> : Etude théorique d'un système de mesure de $I_{cc}, V_o, P_{opt.}$	21
2.1. Schéma fonctionnel général de la chaîne de mesure	21
2.1.1. Mesure de $I_{cc}$	21
2.1.2. Mesure de $V_o$	21
2.1.3. Mesure de $P_{opt.}$	21

2.2. Rôle des différents blocs de la chaîne de mesure	25
2.2.1. Le thermocouple	25
2.2.2. L'amplificateur à découpeur	26
2.2.3. La liaison mécanique	30
2.2.4. Le multiplicateur	30
2.2.5. Le système à régulation extrême	31
<u>Chapitre 3</u> : Etude théorique et mise au point du circuit de mesure de $I_{cc}$ et $V_o$ .	32
3.1. Mesure de $I_{cc}$	32
3.1.1. Caractéristique du thermocouple	32
3.1.2. Etalonnage de l'ampèremètre à thermocouple	35
3.2. Mesure de $V_o$	35
3.2.1. Etalonnage du voltmètre	35
3.2.1.1. Etalonnage d'un système potentiométrique	36
3.2.1.2. Etalonnage du voltmètre	36
<u>Chapitre 4</u> : Etude théorique et mise au point du circuit de mesure de $V, I$ et du produit $V.I$ .	38
4.1. La mesure de $I$ :	40
4.2. La mesure de $V$ :	40
4.3. La mesure du produit $V.I$ :	42
4.3.1. L'amplificateur à découpeur	43
4.3.1.1. Le multivibrateur astable	45
4.3.1.2. Le découpeur équilibré	47
4.3.1.3. L'amplificateur	51
4.3.1.4. Le redresseur	58
4.3.2. Le multiplicateur	59
4.3.2.1. Présentation du multiplicateur adopté	59

Chapitre 5: Mise au point du système asservi ajustant $P_{opt}$ .	63
5.1. Principe de fonctionnement	63
5.2. Choix des différents éléments	64
5.2.1. Organe de mémoire	64
5.2.2. L'inverseur	65
5.2.3. Le dérivateur	65
5.2.4. Le bistable	66
5.2.5. Le moteur	69
Conclusion	71
Annexe 1: Principe de fonctionnement d'une photopile	
Annexe 2: Mesure sur les photopiles	
Annexe 3: Prospectives sur les photopiles solaires (Rapport présenté par Monsieur A. Adane)	
Annexe 4: Caractéristiques des transistors 2N 1711 et 2N 388	

## INTRODUCTION

oooooooooooo

Ce travail a été effectué dans le cadre de la recherche qui a débuté, au sein du département d'Electronique et d'électrotechnique (E.N.P.), dans le domaine des photopiles solaires et de leurs applications, sous forme de projets de fin d'études.

En effet, l'énergie solaire qui est inépuisable, gratuite et non polluante, pourrait résoudre, dans le cas des applications, les problèmes posés par la crise énergétique (Annexe 1)

Rappelons qu'actuellement les ressources fossiles telles que le pétrole et le charbon sont en voie d'épuisement, car elles sont limitées alors que les besoins de l'industrie contemporaine sont énormes. Ainsi, a-t-on recours à l'énergie nucléaire qui est très polluante et dangereuse pour l'humanité, mais qui a l'avantage de développer les milliers de mégawatts que réclame l'époque contemporaine !

Le développement de micro-centrales à conversion photovoltaïque, disposées un peu partout sur la surface du globe, comme source d'énergie d'appoint pourrait limiter les inconvénients des centrales nucléaires, tout en répondant notablement aux besoins mondiaux en électricité. En effet le principe de la photopile est de convertir l'énergie solaire en énergie électrique par effet photoélectrique. Il apparaîtra alors à ses bornes une f.e.m. qui varie avec l'éclairement.

Le but de ce projet est un essai de mise au point d'un dispositif de mesure automatique de la puissance optimale délivrée par une photopile ou une association de convertisseurs photovoltaïques, ainsi que les paramètres : Courant de court-circuit et tension à vide. Ces trois grandeurs suffisent pour la détermination de la caractéristique I-V de la photopile.

Il est à noter que la détermination de la puissance optimale d'une photopile est un problème théorique important et difficile à résoudre, car la courbe  $I=f(V)$  et, par suite,  $P=f(V)$  sont des fonctions implicites.

.....

CHAPITRE 1.  
oooooooooooooooo

LA MESURE DE LA CARACTERISTIQUE I-V D'UN CAPTEUR  
PHOTOVOLTAIQUE.

1-1 Généralités :

Le choix de mesure a été fixé sur la mesure de la puissance optimale, de la force électromotrice à vide, et du courant de court-circuit. On détermine plusieurs photopiles.

Ces trois facteurs fournissent le coefficient de forme  $F$  de la photopile et déterminent la caractéristique  $I-V$  pour un éclairage donné.

Le coefficient  $F$  est défini par: 
$$F = \frac{V_m I_m}{V_o I_{cc}} \quad (1-1)$$

$V_m$ : Tension optimale

$I_m$ : Courant optimale

$V_o$ : Tension à vide

$I_{cc}$ : Courant de court-circuit

La figure 1 donne la caractéristique d'une photopile au silicium à la température de  $35^\circ C$ .

Cette caractéristique dépend de l'éclairage et de la température (annexe 1)

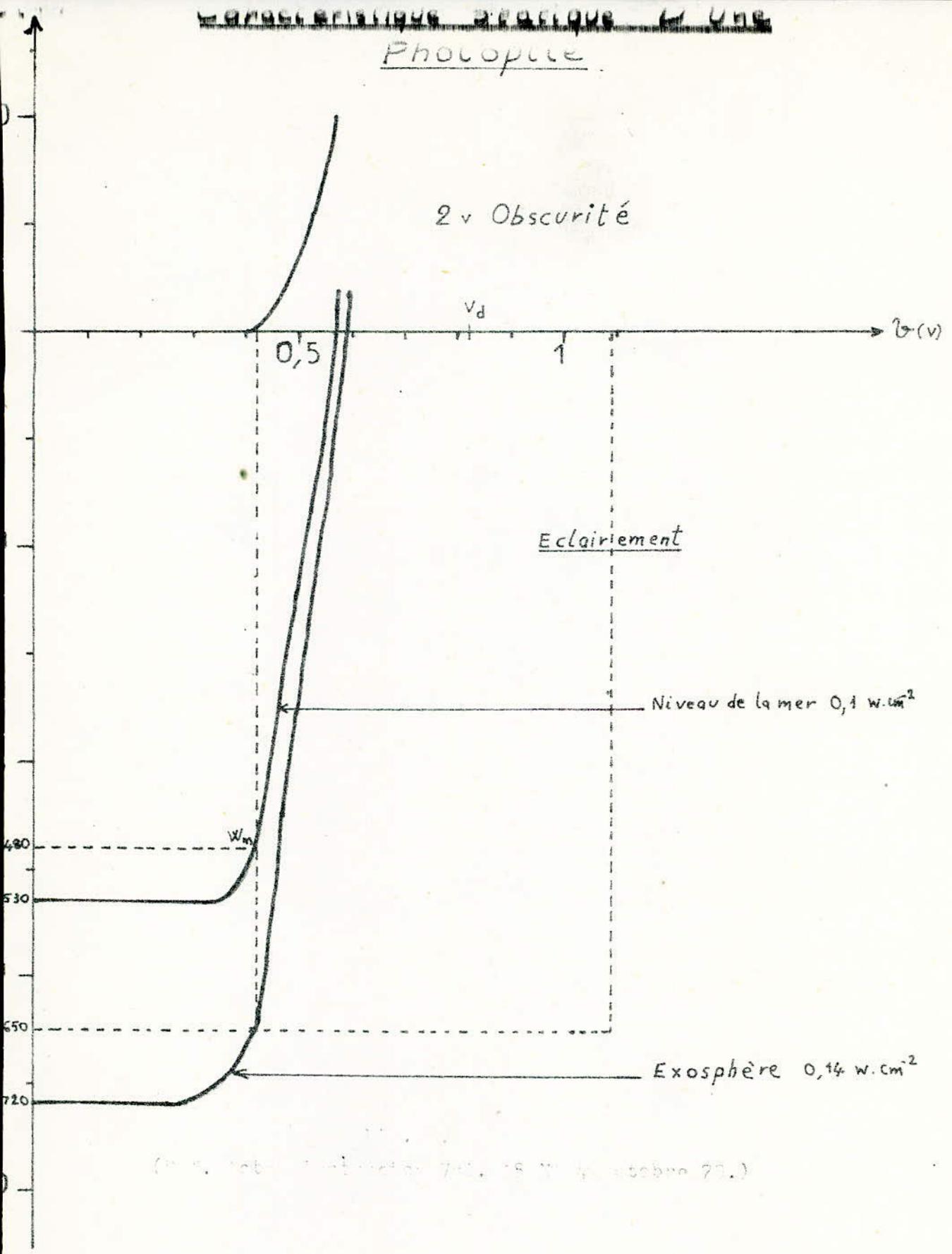
Remarque: Pour un éclairage donné et une température donnée la caractéristique  $I-V$  d'une photopile est inscrite dans un rectangle (en pointillé sur la figure)

La raison de ce choix est due à l'aspect industriel de ce type de mesure, et au temps réduit que demande l'expérience correspondante, moyennant une méthode automatique;

Cela nous permettra de classer les éléments photovoltaïques ayant les mêmes paramètres  $P_{opt}$ ,  $V_o$  et  $I_{cc}$  en série pour une fabrication de panneaux solaires.

Les facteurs de précision et rapidité de la mesure nous ont amené à rechercher une méthode automatique pour la mesure de  $P_{opt}$ , plus adaptée à l'utilisation en série de photoéléments.

Photopluie



(M. S. Rob. - 14/10/71 - 18/10/71 - 20/10/71.)

1-2-1 La mesure de  $I_{cc}$ :

La structure de la photopile pose des problèmes pour la mesure. En effet la résistance interne d'une photopile n'est pas élevée (0,561 ohms à 0,958 ohms pour une cellule au silicium) (annexe 1).

Si l'on branche un appareil de mesure dont l'impédance d'entrée est très élevée par rapport à cette résistance interne le courant se refermera à l'intérieur de la photopile et la mesure sera ainsi faussée.

On doit donc pouvoir éliminer l'effet de la résistance externe.

Pour cela, on utilise une méthode d'opposition (Fig. 3);

D'autre part même dans le cas où la résistance de charge est très faible, le courant n'est jamais rigoureusement proportionnel à l'éclairement (Fig. 1'). On devrait donc avoir une résistance de charge nulle pour pouvoir mesurer le courant de court-circuit. En fait comme on le voit sur la figure 1', on peut aux éclairements faibles autoriser une résistance de charge plus élevée sans que la proportionnalité ne soit altérée. Ce qui est avantageux car on a besoin en ce moment d'accroître la sensibilité du microampèremètre.

Le principe de la mesure est donc le suivant (Fig. 3):

La résistance  $R$  est fixe, alors  $V_p$  est variable grâce à un potentiomètre. À l'équilibre (zéro du galvanomètre) on a:

$V$

$$V_p = R \cdot I_{cc} \quad \text{soit} \quad I_{cc} = \frac{V_p}{R_{cc}}$$

Si  $R$  est en mégohms, la valeur de la tension  $V_p$  sera de l'ordre du volt et celle du courant en millibampères (s'il s'agit d'une cellule unique). L'erreur commise sur  $I_{cc}$  est:

$$\Delta I_{cc}/I_{cc} = \Delta V_p/V_p + \Delta R/R$$

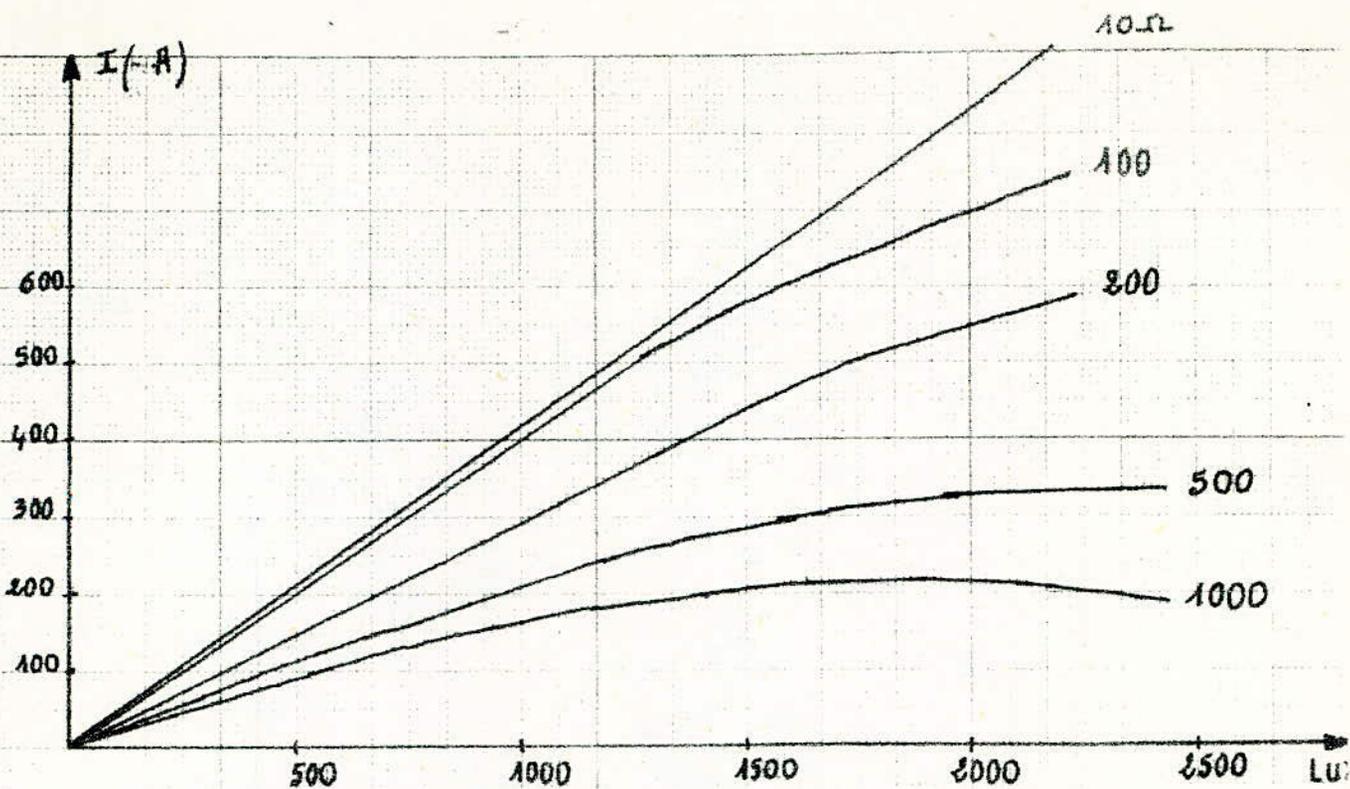


FIG. 1.

(Ref. Acta electronica vol. 8 No. 4 Oct. 75)

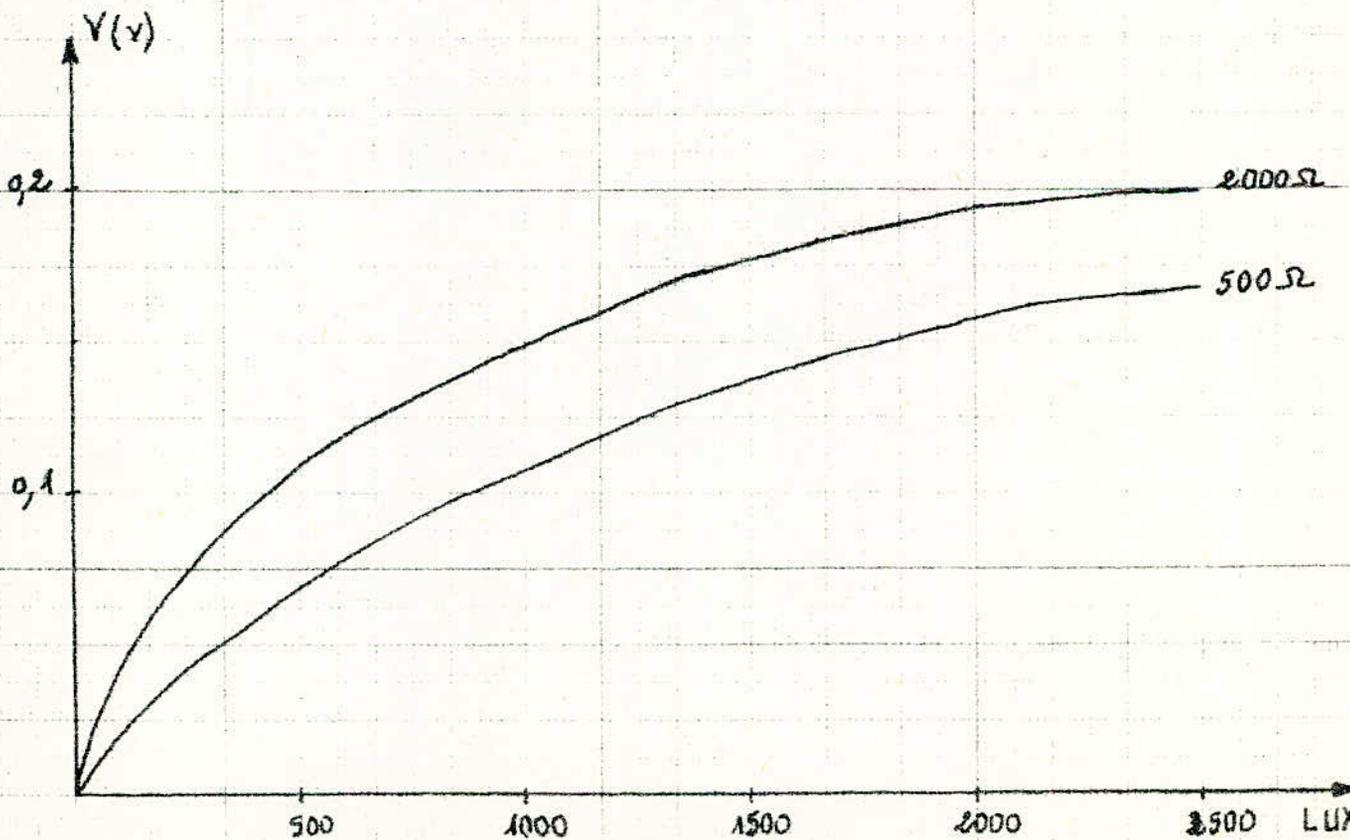


FIG. 2.

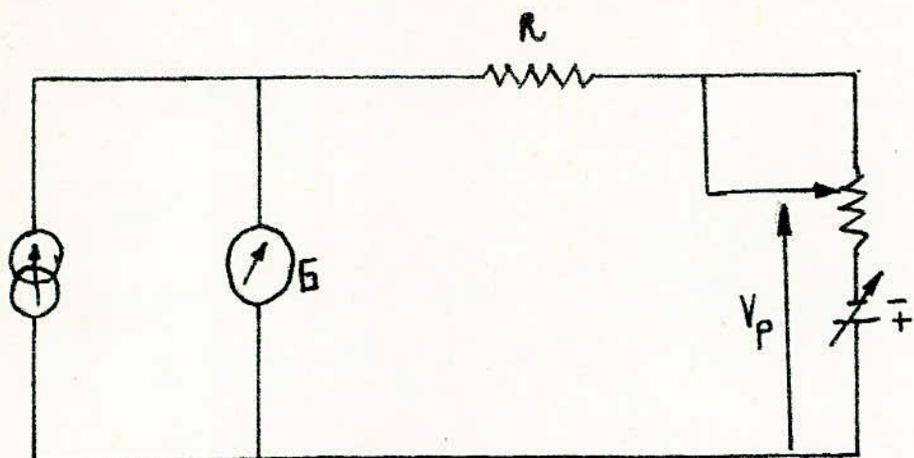


FIG. 3. MESURE de  $I_{cc}$ .

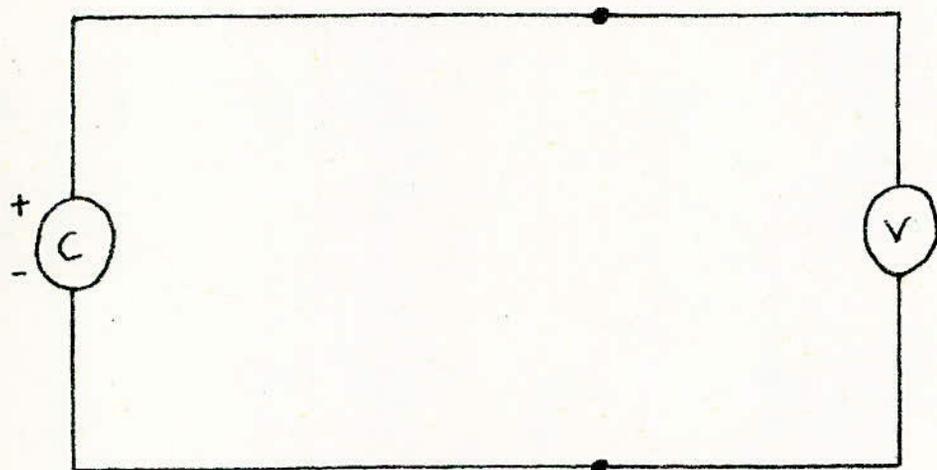


FIG. 4. MESURE de la tension à Vide  $V_o$ .

### 1.3 La mesure de $V_o$

La figure 2 montre qu'il n'y a proportionnalité entre la tension aux bornes de la photopile et l'éclairement que pour des valeurs de la charge élevées. Nous avons donc intérêt, pour la mesure de  $V_o$ , à employer un voltmètre à très grande impédance d'entrée. La précision sera celle du voltmètre (Fig. 4).

### 1.4 La mesure du maximum de puissance $P_m$

A chaque charge placée aux bornes de la photopile, correspond une puissance telle que

$$P = U \cdot I = U^2 / R_c \quad (1-2)$$

(Fig. 5 et 6). La caractéristique (U-I) de cette cellule, coupe la droite de charge  $U = R_c \cdot I$  au point M correspondant  $P_1 = U_1 \cdot I_1$ . Si on utilise un potentiomètre en charge, on aura pour différentes valeurs de  $R_c$ , des points de puissance (de fonctionnement) différents. Il existera alors une résistance de charge optimale  $R_{c\text{opt}}$ , qui permettra l'obtention de la plus grande puissance et telle que:

$$P_m = R_{c\text{opt}} \cdot I^2 = U^2 / R_{c\text{opt}}$$

La caractéristique  $P = f(R_c)$  est donnée par la figure 7.

Il est possible de rechercher le point  $P_m$  en utilisant un voltmètre aux bornes de la photopile pour la mesure de  $U$ , pour différentes valeurs connues de  $R_c$ . Mais cette méthode simple présente d'énormes inconvénients: elle est lente et peu précise. Le facteur précision ainsi que la rapidité de la mesure comme nous l'avons déjà dit nous ont amené à élaborer une méthode automatique de mesure de  $P_m$ .

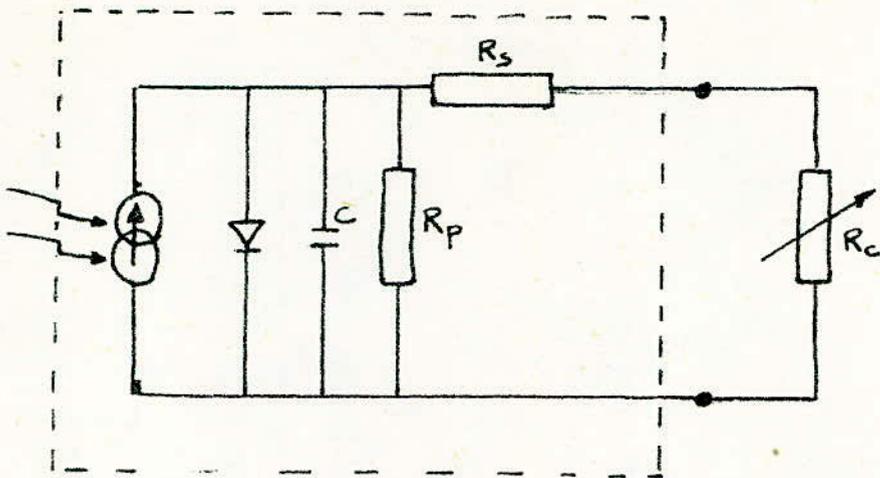


FIG. 5. RECHERCHE du Maximum de Puissance

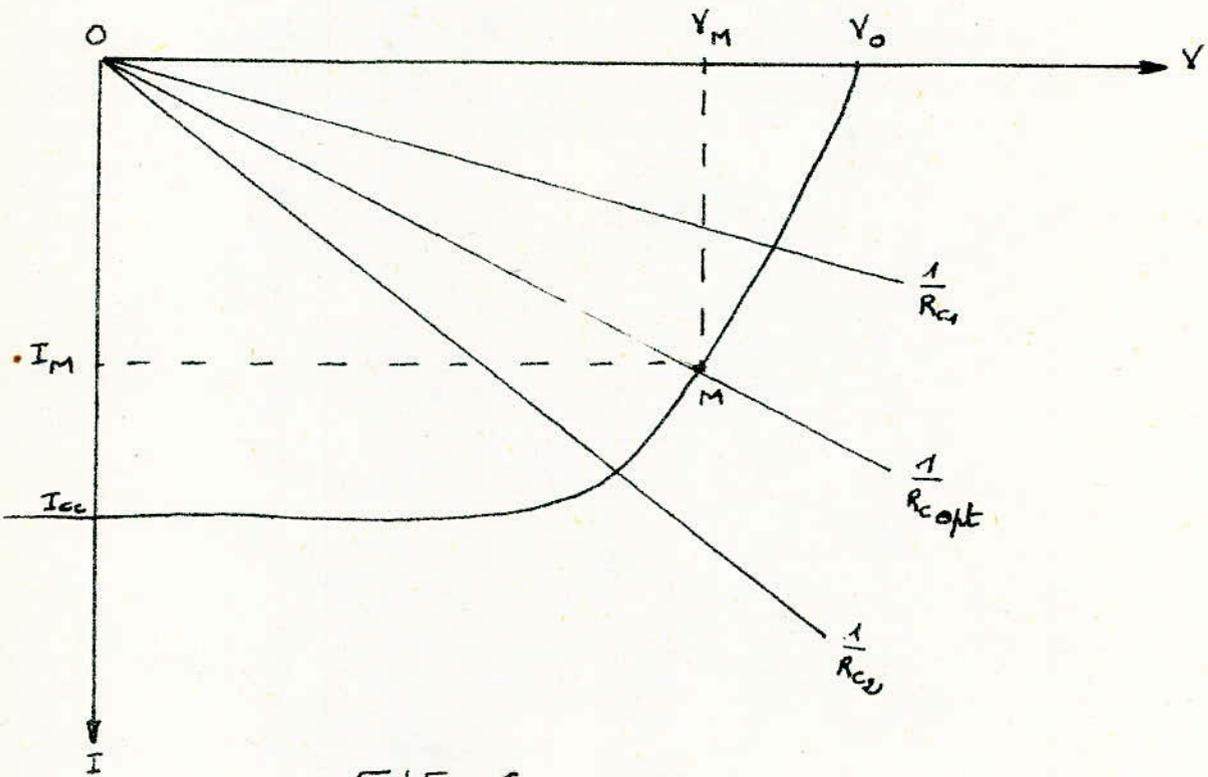


FIG. 6.

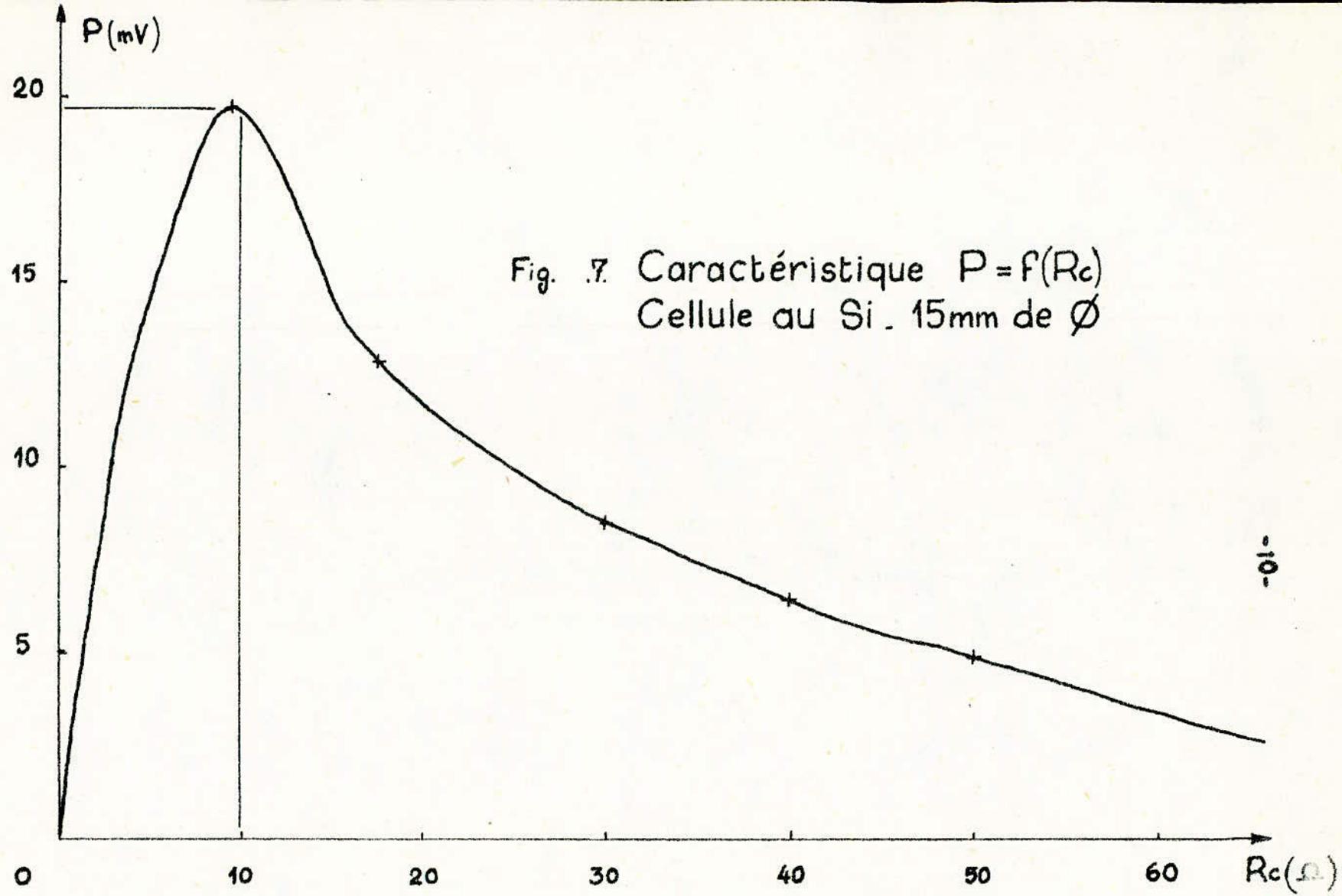


Fig. 7. Caractéristique  $P=f(R_c)$   
Cellule au Si. 15mm de  $\varnothing$

(Ref. Acta Electronica Vol. 8 N°4 Oct. 75.)

I.5. Présentation des photopiles à mesurer: Caractéristiques  
donné es par le constructeur.

Les cellules à contrôler appartiennent au module BPX47A constitué de 34 cellules solaires au silicium d'un diamètre de 57 mm montées en série. Les cellules solaires et les connexions électriques sont moulés dans une résine comprise entre deux plaques de verre. L'encapsulation transparente assure un faible échauffement des cellules au rayonnement solaire et confère au BPX47A un fonctionnement adapté aux températures des pays les plus chauds.

Le modèle BPX47A répond aux normes d'essais I.E.C.68(Annexe I), comprenant les essais :

- Au gel et aux températures.
- Au vent de sable.
- Au brouillard salin

I.5.I. Caractéristiques principales.

Pour un éclairement de $1 \text{ kW/m}^2$ et à $T_{\text{amb.}} = 25^\circ\text{C}$	
$P_L(15,5)$ puissance sous éclairement à 15,5 V.....	11 Watts
$V_L$ .....	15,5 V
$I_L$ .....	700mA

I.5.1. Caractéristiques générales.

Température de jonction $T_j(^{\circ}\text{C})$ .	0	25	60
Puissance optimale $P_L(\text{W})$ .....	12	11	9,7
Tension optimale $V_L(\text{V})$ .....	18	15,5	14,3
Courant optimal $I_L(\text{mA})$ .....	665	700	680
Tension en C.O. $V_o(\text{V})$ .....	22,2	20,5	18,2
Courant en C.C $I_{cc}(\text{mA})$ .....	700	720	740
Ecart entre la température de cellule et la température ambiante pour $E = 1 \text{ kW/m}^2 \dots T_j - T_{\text{amb.}} = 15^{\circ}\text{C}$ Température de stockage..... $-40^{\circ}\text{C}$ et $+85^{\circ}\text{C}$			

I.5.2. Caractéristiques du BPX47A en fonctionnement sur batterie 12 V :

Les caractéristiques électriques du BPX47A sont définies pour l'éclairement, la tension et la température correspondant aux conditions d'utilisation les plus fréquemment rencontrées, telles que:

-Eclairement  $E = 1 \text{ kW/m}^2$

-Tension : la tension de fonctionnement ( $V_L$ )

du module est celle de la batterie.

Pour une batterie de plomb de valeur nominale 12 V , la tension fin de charge est de 2,25 V par élément, soit une tension de 13,5 V à laquelle s'ajoute la chute de tension  $V_f$  aux bornes de la diode, soit :

$$V_L = 14,3 \text{ V}$$

A cette tension de batterie  $V=14,3 \text{ V}$ , le module doit fournir le courant  $I$  nécessaire à l'alimentation directe de l'utilisation.

Température .

L'encapsulation transparente du BPX47A lui confère un échauffement particulièrement faible aux rayons solaires.

Pour un éclairement de  $1 \text{ KW/m}^2$  :  $T_j - T_{amb.} = 15^\circ \text{ C}$  et pour une température ambiante telle que :

$$T_{amb.} = 45^\circ \text{ C}$$

La température de fonctionnement des cellules est  $T_j = 60^\circ \text{ C}$ . Dans ces conditions d'utilisation les caractéristiques du BPX47A sont

$P_L = 9,7 \text{ W}$
$V_L = 14,3 \text{ V}$
$I_L = 680 \text{ mA}$

Remarques:

a/ Les caractéristiques sont établies pour un éclairement de  $1 \text{ KW/m}^2$  au sol (air masse=1); Elles sont typiques et données à  $\pm 10\%$

b/ Les caractéristiques sont données en températures de cellule ( $T_j$ ) car c'est la seule condition contrôlable en fabrication.

c/ Pour un module constitué de cellules montées sur circuit imprimé  
 $T_j = 80^\circ \text{ C}$

La tension  $V_L = 14,3 \text{ V}$  est la tension du module constitué de 34 cellules en série, soit une tension de :

$$14,3/34 = 0,42 \text{ V par cellule}$$

CE qui donne la puissance  $P_L$  par cellule :

$$P_L = 680 \cdot 0,42 = 285,60 \text{ mW} \quad \text{soit} \quad P_L = 0,3 \text{ W}$$

Ainsi dans les conditions d'utilisation ci-dessus les caractéristiques d'une cellule sont:

$$\begin{array}{l} P_L = 0,3W \\ V_L = 0,42V \\ I_L = 680mA \end{array}$$

### 1.5.3 Caractéristiques mécaniques;

Les caractéristiques mécaniques de la cellule sont données en Fig.8

### 1.5.4 Caractéristiques dimensionnelles:

Les dimensions de la cellule sont données en Fig.9

### 1.5.5 Caractéristique $I_L = f(V_L)$

La figure 10 donne la caractéristique  $I_L = f(V_L)$  pour différentes températures  $T_j$  pour  $E = 1 \text{ kW/m}^2$ .

La figure 11 donne la caractéristique  $I_L = f(V_L)$  pour différents éclairagements  $E$  pour  $T_j = 60^\circ\text{C}$ .

### 1.5.6 Caractéristique $P_L = f(T_j)$

La figure 12 donne la caractéristique  $P_L = f(T_j)$  à 14,5 V

### documentation provisoire

Module pour la conversion directe de l'énergie solaire en énergie électrique

Le module BPX 47 A est constitué de 34 cellules solaires au silicium à un diamètre de 57 mm montées en série.

Les cellules solaires et les connexions électriques sont montées dans une résine comprise entre deux plaques de verre.

L'encapsulation transparente assure un faible échauffement des cellules au rayonnement solaire et confère au BPX 47 A un fonctionnement adéquat aux températures des pays les plus chauds.

Le modèle BPX 47 A répond aux normes d'essais I.E.C. 68 (voir page 6) comprenant les essais

- au gel et aux températures élevées.
- au vent de sable
- au brouillard salin.

## Caractéristiques principales

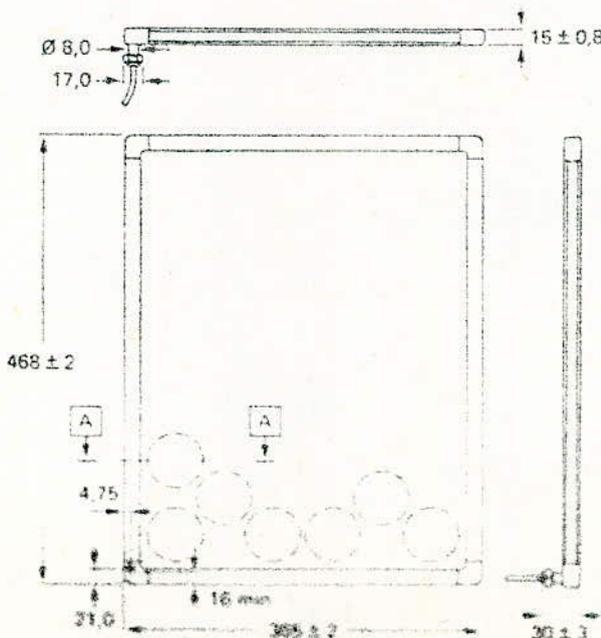
Pour un éclairement de  $1 \text{ kW/m}^2$  au sol (A.M. 1) et  $25^\circ\text{C}$ .

$P_L(15,5 \text{ V})$ Puissance sous éclairement à $15,5 \text{ V}$	typ	11 Watts
$V_L$	typ	15,5 V
$I_L$	typ	700 mA

## Caractéristiques mécaniques

(voir détail page 7)

(Dimensions en mm)



Poids :

2,4 kg

Dimensions extérieures : 468 mm x 365 mm

Épaisseur :

15 mm

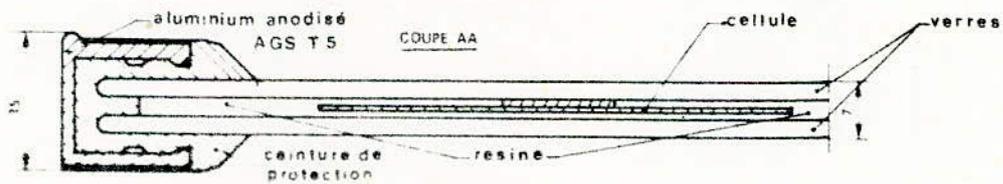
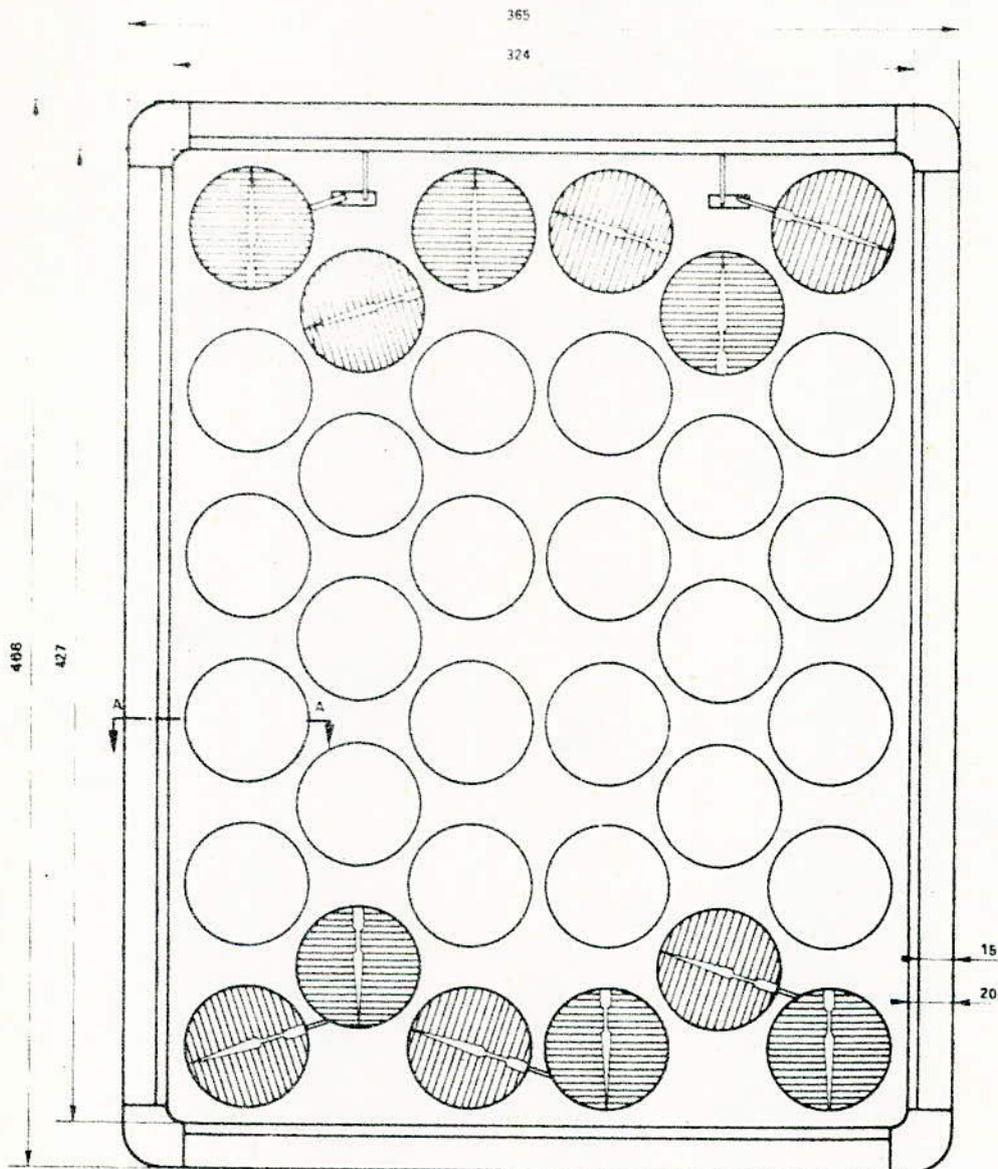
Câble bifilaire - sortie face arrière

longueur 1 m

potentiel nég = -

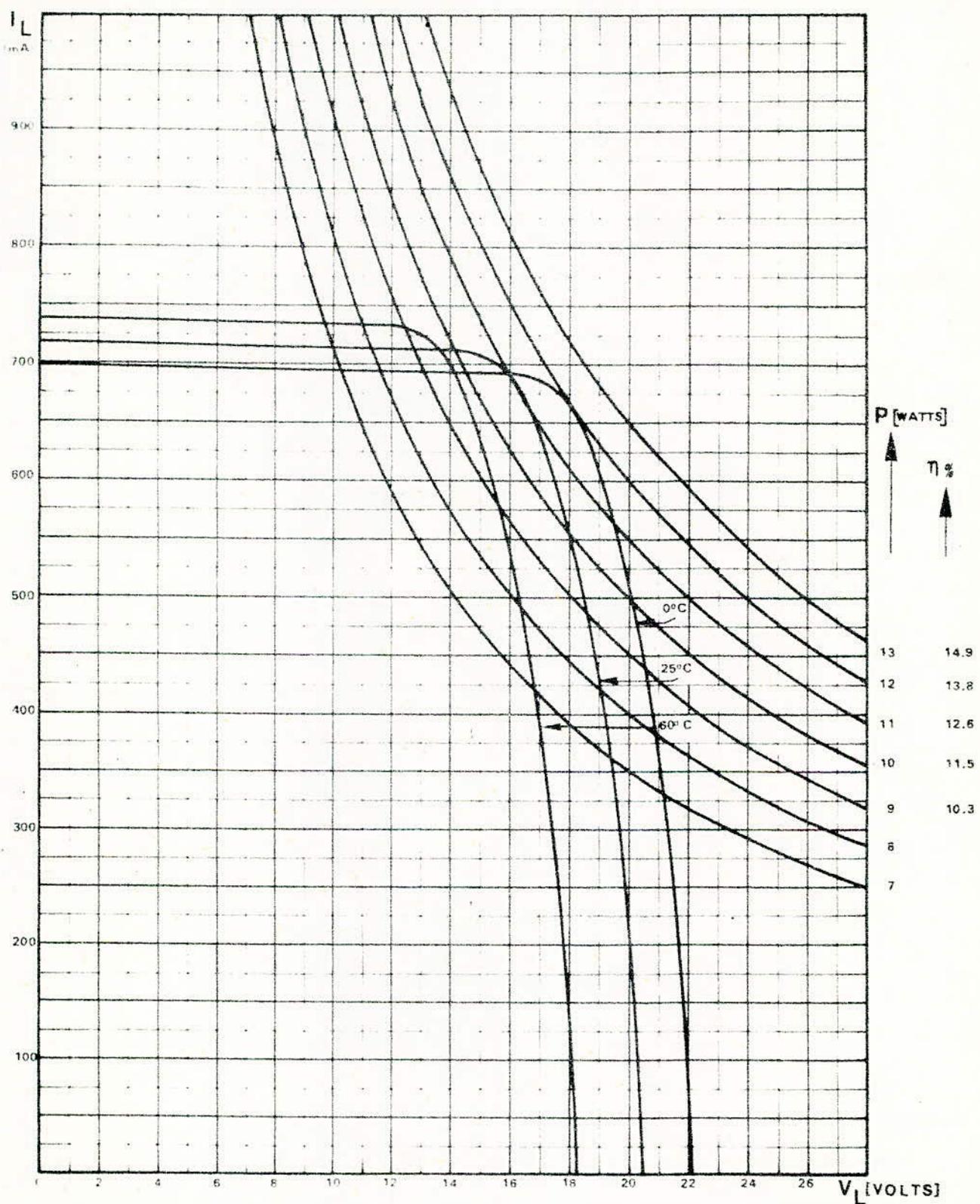
troué = +

## Caractéristiques dimensionnelles

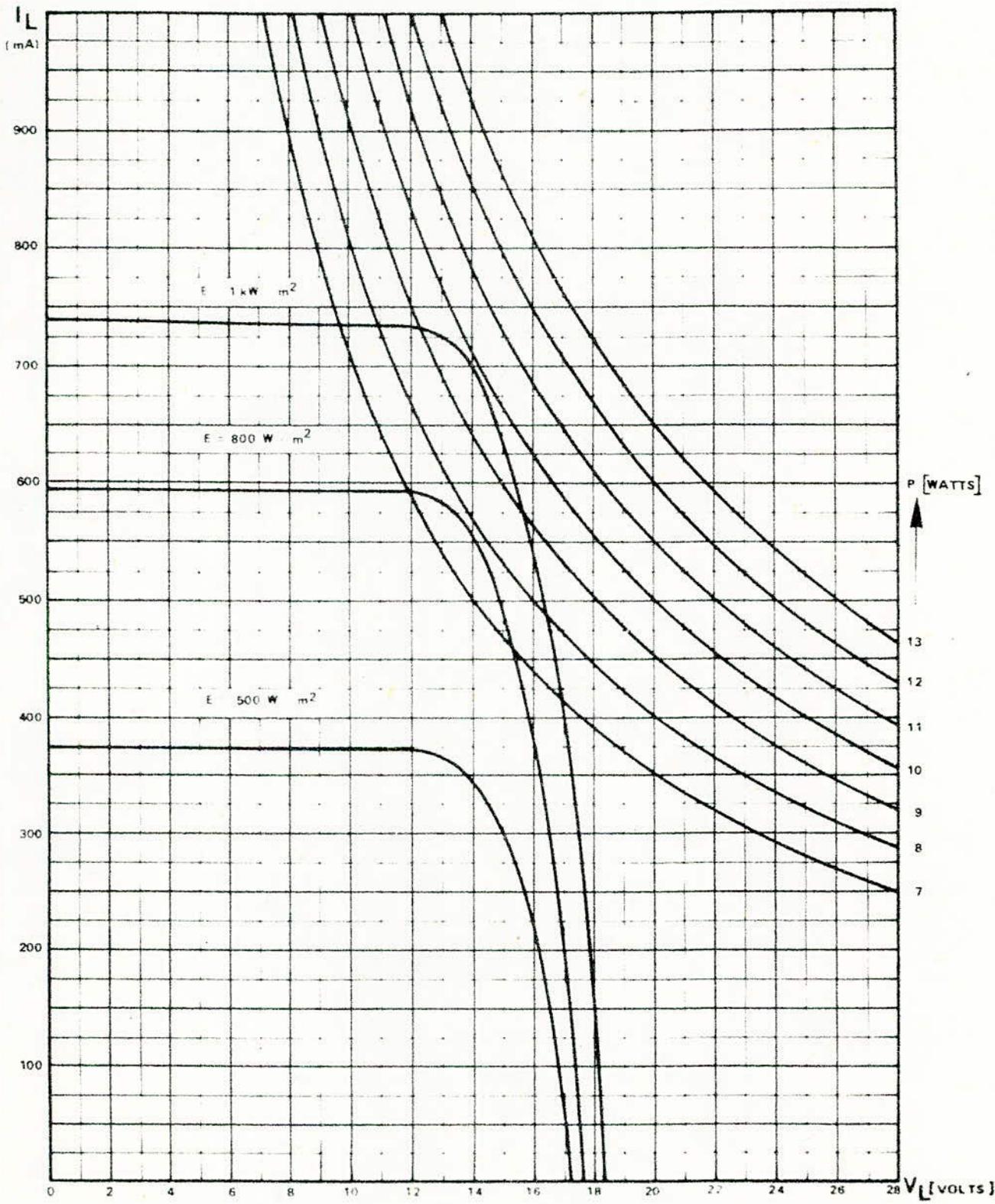


## Sortie électrique

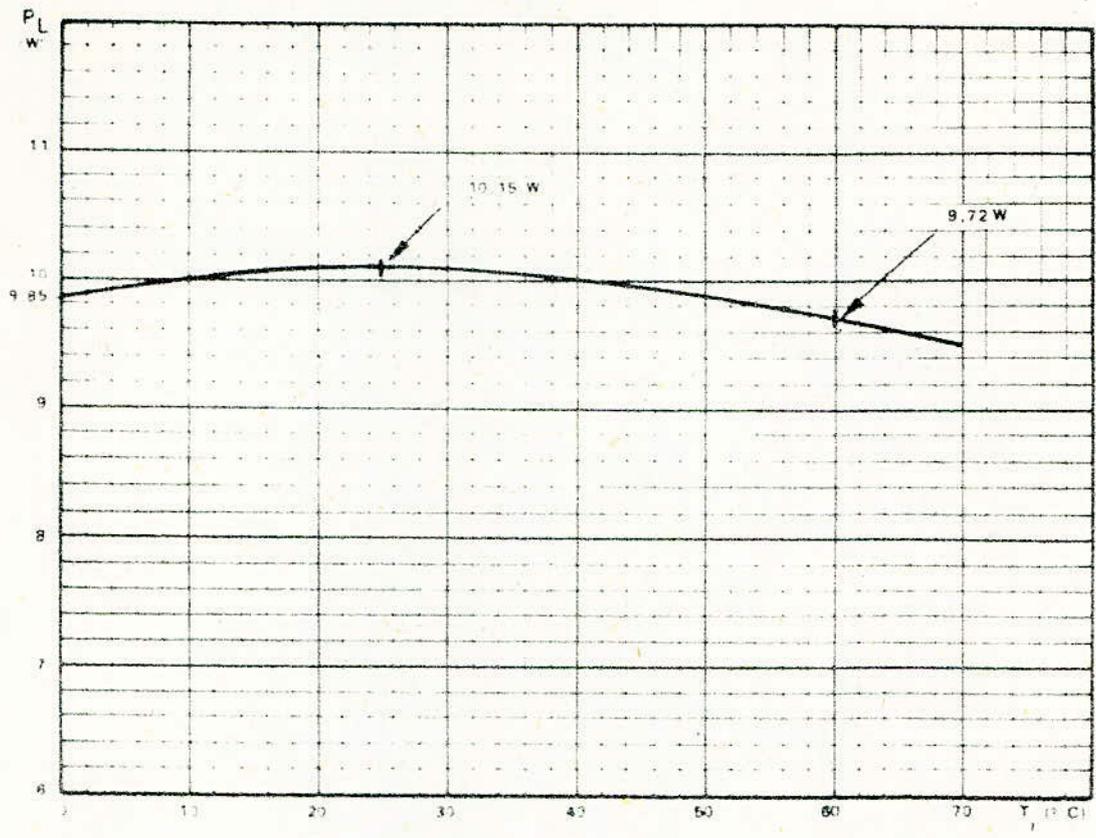
par câble tertiaire  
 longueur 1 m  
 ext. du câble 5.5 mm  
 ext. des fils 2 x 1.8 mm  
 polarité noir =  
 rouge = +



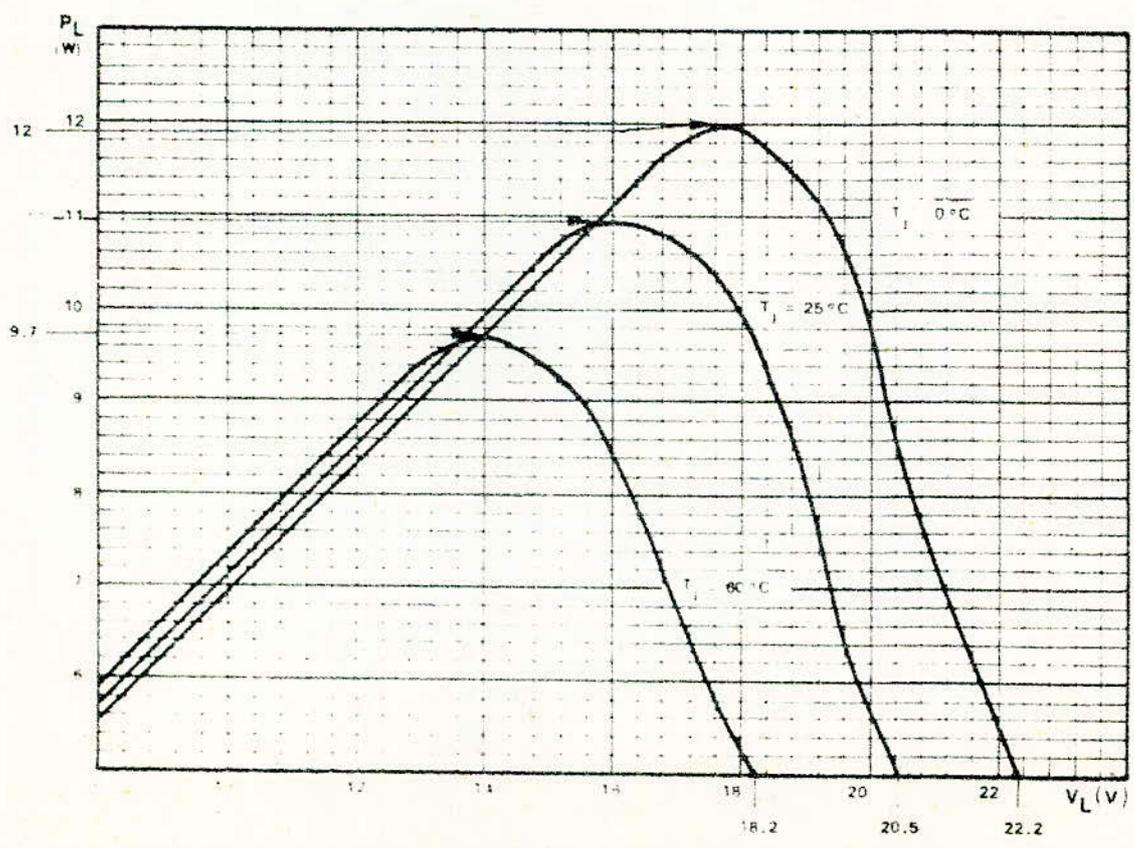
$V_L = 2V_L$  (condition:  $\text{temp} = 25^\circ\text{C}$ ,  $E = 1 \text{ kW/m}^2$ )



$I_L = f(V_L)$  at different irradiance levels.  $E$  as in 1.  $60^\circ\text{C}$



$P_L = 10.15 \text{ W}$



I.5.7 Caractéristique  $P_L = f(V_L)$  :

La figure (I3) donne la caractéristique  $P_L = f(V_L)$  pour différentes températures  $T_j$ .

I.6 Plage dans laquelle se situe  $R_{c \text{ opt}}$

$$R_{c \text{ opt}} = \frac{V_L}{I_L}$$

pour  $T_j = 0^\circ\text{C}$        $R_{c \text{ opt}} = \frac{18 \cdot 10^3}{665} = 27 \text{ Ohms.}$

pour  $T_j = 25^\circ\text{C}$        $R_{c \text{ opt}} = \frac{15,5 \cdot 10^3}{700} = 22,1 \text{ Ohms.}$

pour  $T_j = 60^\circ\text{C}$        $R_{c \text{ opt}} = \frac{14,3 \cdot 10^3}{680} = 21 \text{ Ohms.}$

Nous prévoyons un dispositif capable de mesurer la puissance optimale pour une plage de  $R_{c \text{ opt}}$  allant jusqu'à 30 Ohms.

La charge utilisée est un potentiomètre 0 - 50 Ohms du type ultrapot.

67.

CHAPITRE 2.  
oooooooooooo

ETUDE THEORIQUE D'UN SYSTEME DE MESURE AUTOMATIQUE DE:

$I_{cc}, V_o, P_{opt}.$

1. Schema fonctionnel général de la chaîne de mesure

Ce schema est donné par la (Fig. 14);  $K_1, K_2, K_3, K_4$  et  $K_5$  sont des interrupteurs,  $K_6$  est un commutateur à trois plots.

1.1. Mesure de  $I_{cc}$ . (Fig. 15)

Dans ce cas,  $K_1, K_2, K_3$  sont fermés,  $K_4, K_5$  ouverts, tandis que le commutateur  $K_6$  se trouve en position (2). La charge  $R_c$  est dans ce cas court-circuitée. La photopile débite alors sur le thermocouple qui lui-même débite sur un galvanomètre. Nous avons placé en parallèle avec le thermocouple une source de tension  $E_g$  suivie d'une grande résistance  $R_g$ , le tout formant une source de courant montée en opposition avec la photopile, et enfin une résistance fixe  $R_p$ . La résistance  $R_g$  sert à ajuster le courant débité par la source  $E_g$ . Le voltmètre placé en position (2) mesure alors la tension  $V_p$  aux bornes de  $R_p$ .

1.2. Mesure de  $V_o$ . (Fig. 16)

Dans ce cas  $K_1$  est ouvert, le commutateur en position (3), le voltmètre indique alors  $V_o$ . Cette mesure ne pose pratiquement pas de problèmes.

1.3. Mesure de  $P_{opt}$ . (Fig. 17)

Dans ce cas  $K_1, K_4, K_5$  sont fermés;  $K_2, K_3$  ouverts, tandis que le commutateur se trouve en position (3) (Fig. ). Le voltmètre mesure alors la tension  $U$  à la sortie du multiplicateur  $M$  laquelle est proportionnelle à la puissance fournie par la photopile. Cette proportionnalité est obtenue (voir Fig. II.1.) par le processus suivant:

Nous plaçons en série avec la photopile un thermocouple (TH75) et un potentiomètre  $R_c$  qui est relié mécaniquement à un autre potentiomètre identique,  $R_c$ .

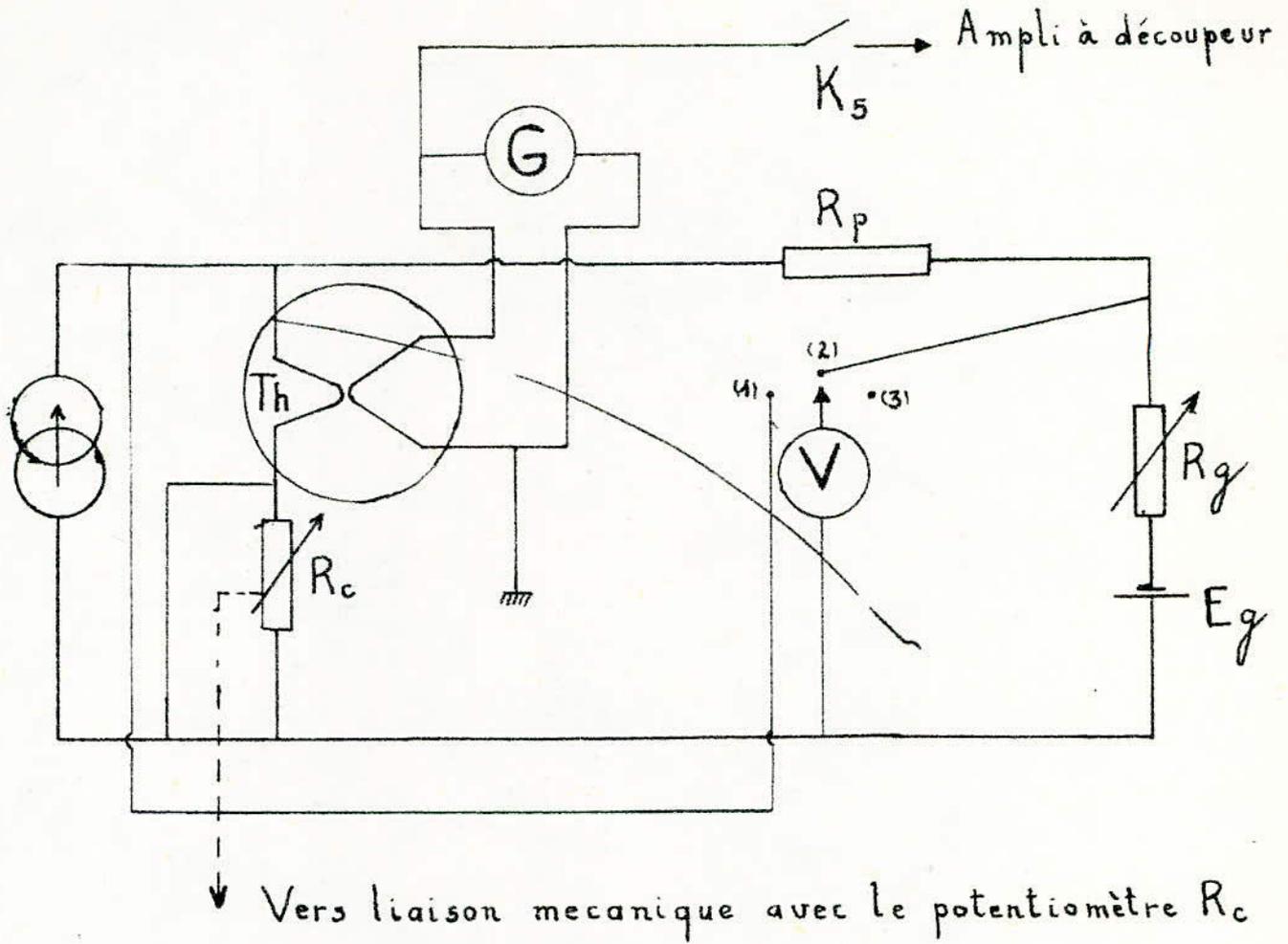


Fig. 15. La mesure de  $I_{cc}$

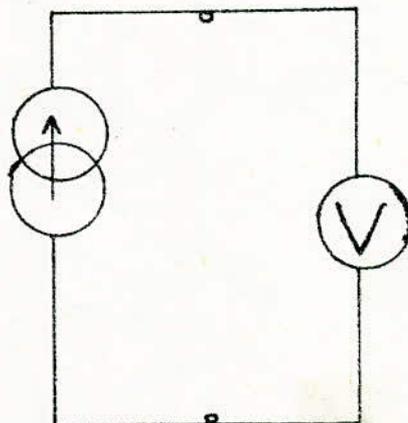
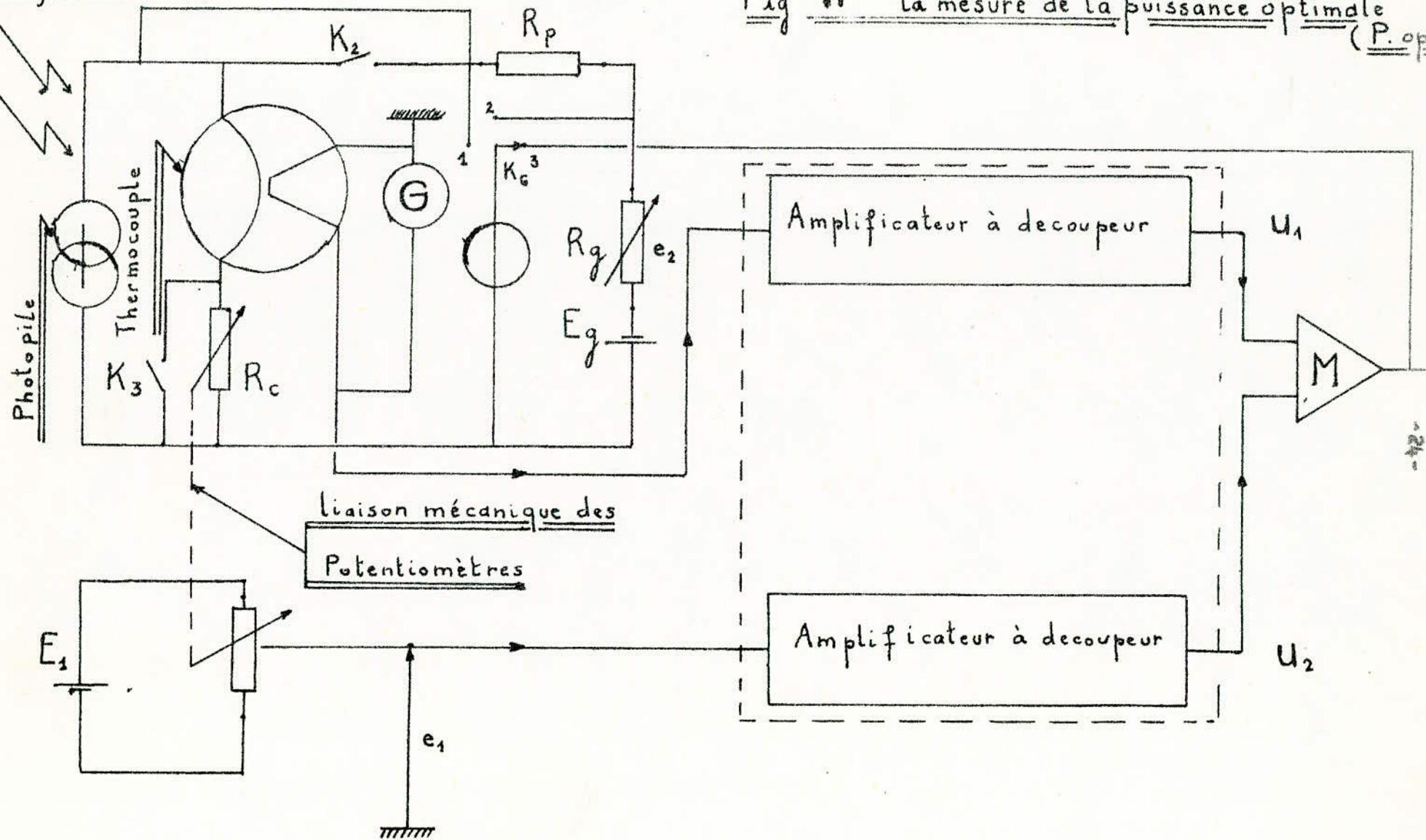


Fig. 16. La mesure de  $V$ .

Rayons solaires

Fig 17 La mesure de la puissance optimale ( $P_{opt}$ )



La tension  $e_2$  aux bornes du thermocouple est appliquée à un amplificateur à découpeur.

La tension  $e_1$  aux bornes du deuxième potentiomètre est elle-même appliquée à l'entrée d'un autre amplificateur à découpeur.

Les sorties  $U_2$  et  $U_1$  des deux amplificateurs à découpeurs sont appliquées à un mutiplicateur M qui fournit alors en sortie une tension

$$U = U_1 \cdot U_2 / K$$

Celle-ci est appliquée à l'entrée d'un système à régulation extrémale qui est lui-même constitué d'une mémoire, d'un ampli. A, d'un inverseur I, d'un dérivateur, d'une bascule bistable et enfin d'un moteur. Ce dernier est lié mécaniquement à la charge  $R_c$  de la photopile.

## 2. Rôle des différents blocs de la chaîne de mesure.

### 2.1. Le thermocouple.

Notre souci majeur lors de cette étude, consistait à trouver un moyen d'isoler électriquement la photopile du reste de la chaîne de mesure. En effet, le dispositif de mesure étant composé d'éléments actifs (Amplificateurs) et de sources de polarisation, un courant risquerait, faute d'isolement, de s'injecter dans la photopile pouvant ainsi la détériorer ou du moins fausser le résultat de la mesure. Cette difficulté se trouve contournée par l'utilisation d'un thermocouple par conduction comme capteur. Il n'y a pas, dans ce cas, de contact électrique entre le fil chauffant, traversé par le courant de la photopile, et les fils du couple. Le couplage thermique se fait par l'intermédiaire de perles de verre ou de borax.

Lorsqu'un courant  $I$  traverse le fil AB de résistance  $r$ , la puissance dissipée par effet Joule est égal à  $r \cdot I^2$ . Elle engendre une f.e.m.  $e$  aux bornes des fils du thermocouple. On appelle efficacité du thermocouple le rapport:

$$\sigma = e / r \cdot I^2 \quad (\text{mV/W}) = e = \sigma \cdot r \cdot I^2 \quad (\text{Fig.18})$$

En résumé, le thermocouple joue ici un double rôle:

- Isoler électriquement le circuit principal (Photopile) du circuit de mesure.
- Capter le courant  $I$  débité par la photopile et le traduire en une tension  $e_2$  de la forme:

$$e_2 = k.I^2$$

$I$  est de l'ordre de 700 mA;  $k$  dépend du thermocouple. Ce dernier doit résister à un courant de cette grandeur et être assez sensible pour délivrer une tension facilement amplifiable.

## 2.2. L'amplificateur à découpeur.

Dans tous les domaines de la science (science ou science appliquée) on a toujours tenté de mesurer avec la plus grande précision la grandeur des variables rencontrées lors des travaux.

On chercha toujours soit à visualiser les phénomènes en jeu soit à les transformer en grandeurs électriques importantes afin de pouvoir effectuer des mesures qui s'imposaient de plus en plus exactes.

Ainsi l'électronicien eut-il à s'attaquer tout d'abord à l'amplification des faibles signaux électriques lorsque les phénomènes apparaissaient sous cette forme. Ensuite, on lui demanda pour les besoins de la mesure, de transformer des variations de pression, de température, de champ magnétique etc., en variation de tension électrique. On mesura ainsi des tensions qui devenaient de plus en plus faibles.

Plusieurs techniques ont été développées au fur et à mesure des exigences et des difficultés rencontrées dans l'amplification des faibles tensions électriques quasi-continues.

Pour amplifier des tensions électriques afin de pouvoir les mesurer, on utilisait des amplificateurs classiques à tubes électroniques en cascade. Leurs liaisons inter-étages étaient capacitives lorsque le signal à amplifier n'était formé que de composantes

alternatives. Lorsque ce signal contenait une composante continue, le condensateur de liaison était banni et les liaisons devenaient directes.

Le signal à amplifier devenait de plus en plus faible, la limite inférieure du possible fût atteinte car on s'aperçut alors que l'amplificateur couplé au transducteur de mesure devenait générateur de signaux parasites importants dont la répartition spectrale était améatoire.

-Bruit dû aux tubes (effet de grenaille) et aux résistances utilisées dans le montage (effet Johnson)

-La dérive c'est-à-dire fluctuations de fréquence très basse La dérive, de beaucoup plus importante que le bruit, est principalement due à la variation de la tension d'alimentation, aux variations de température au vieillissement des composants utilisés.

Les variations de polarisation entraînent des variations de gain en régime dynamique, par ailleurs, ce qui ne permettait pas la construction d'appareillages de mesures fidèles.

Examinons par exemple le schéma de la figure (19) qui représente le principe de branchement d'un thermocouple à un amplificateur du type classique. Soit:

-Re : résistance d'entrée de l'amplificateur.

-Rch: résistance de charge.

-Vmc: potentiel en mode commun (Potentiel aux bornes 1 et 2 d'entrée de l'amplificateur).

La tension Vmc qui est, soit constante, soit variable, au rythme de la fréquence du secteur, est intégralement amplifiée, ce qui entache d'erreur toute mesure.

Pour la précision de la mesure il fallait donc rendre l'amplificateur indépendant de cette tension en mode commun.

Dans le cas de la figure (20), la tension Vmc est appliquée aux deux entrées d'un amplificateur différentiel. Alors la tension résiduelle Vr n'est jamais nulle du fait que pratiquement R et R'

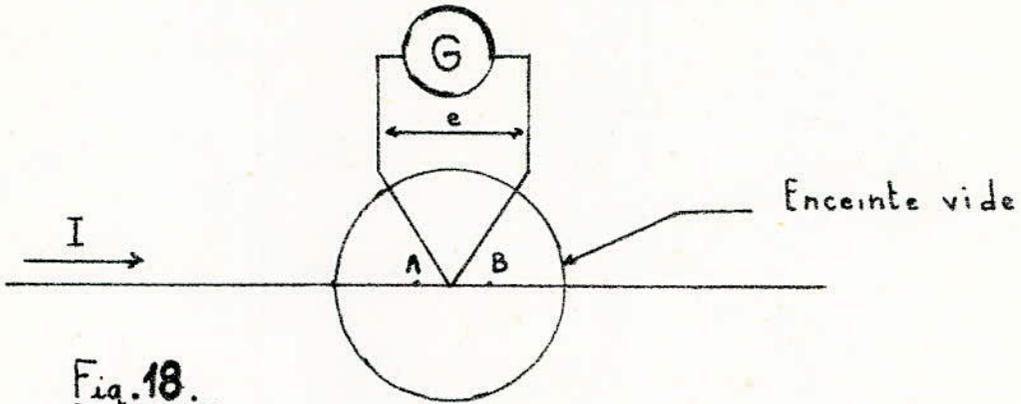


Fig. 18.

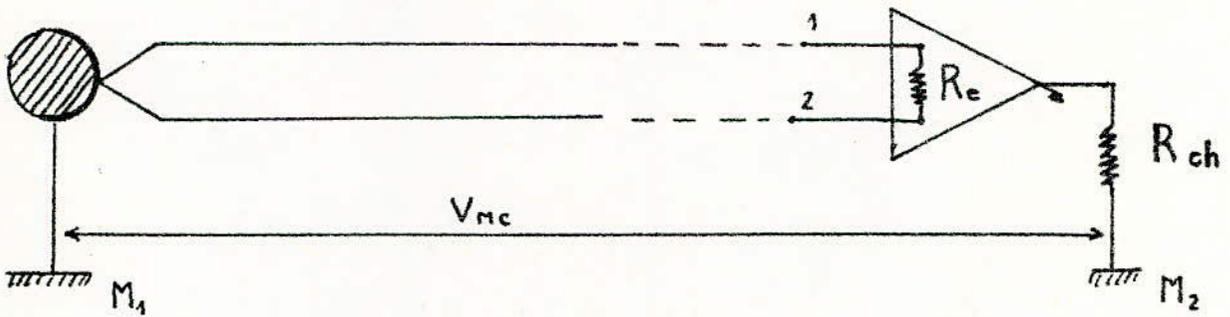


Fig. 49.

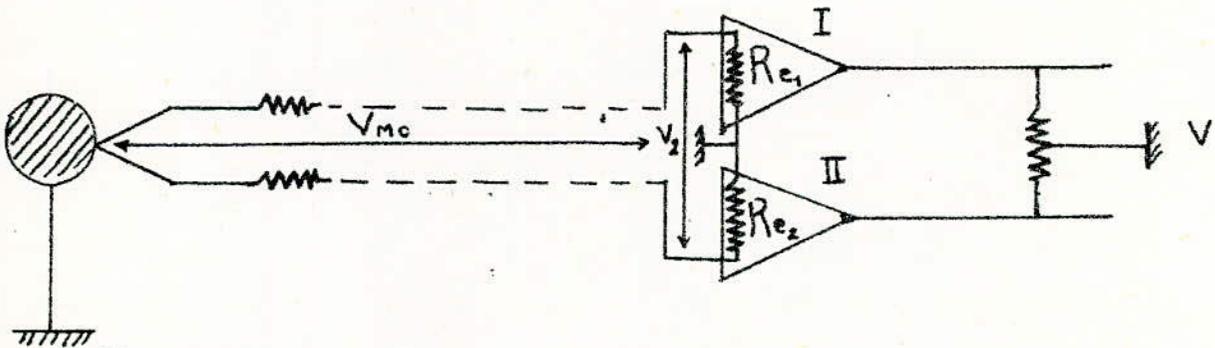


Fig. 20.

sont toujours différentes, ainsi que l'appareillage des deux amplificateurs. On définit alors le facteur  $V_{mc}/V_r$  comme facteur de réjection en mode commun.

Par ailleurs, dans le cas où les amplificateurs I et II sont du type assymétrique à liaison directe, leurs dérives en tension  $V_{d1}$  et  $V_{d2}$  apparaissent à la sortie, mais se compensent, car leur variation se fait dans le même sens en général.

De ce fait, la tension de sortie  $V_s$  devient pratiquement indépendante de la tension en mode commun  $V_{mc}$  et de la dérive en tension  $V_d$ .

Dans ce type d'amplificateur couramment utilisé, les réglages sont longs et fréquents.

Pour réduire au minimum le bruit, on utilise des triodes à faible bruit, et on sous-alimente tous les tubes.

Avec l'emploi des transistors qui sont, comme on le sait, très sensibles à la température ambiante, la dérive augmente, ce qui interdit l'emploi d'amplificateurs à liaison directe.

A ce niveau de la technique, on utilise des choppers, ou modulateurs, qui découpent la tension continue, ce qui permet l'utilisation d'un amplificateur classique à liaison R-C.

Deux types de choppers sont couramment utilisés:

-Chopper mécanique .

-Chopper électronique, qui possède des performances moins bonnes, mais présente de sérieux avantages sur son rival: robustesse, faible consommation, durée de vie très grande.

En résumé le rôle de l'amplificateur à découpeur consiste à:

-Découper la tension  $e_2 = k.I^2$  issue du thermocouple.

-Amplifier  $e_2$ .

-Redresser  $e_2$  de façon à obtenir à la sortie du thermocouple une tension  $U_2 = A.e_2$  soit:

$$U_2 = A.k.I^2$$

2.3. La liaison mécanique.

La charge Rc de la photopile est un potentiomètre du type Ultrapot. On établit une liaison mécanique entre cette charge et un autre potentiomètre identique. Soit R la valeur des potentiomètres. Le diviseur de tension formé par la source continue E<sub>1</sub> et le potentiomètre Rc permet l'obtention d'une tension variable e<sub>1</sub> à la charge et telle que:

$$e_1 = Rc \cdot E_1 / R$$

soit en posant  $E_1 / R = k'$  il vient;

$$e_1 = k' \cdot Rc$$

Cette tension proportionnelle à la charge Rc est appliquée au deuxième amplificateur à découpeur. A la sortie de ce dernier on obtient une tension  $U_1 = A \cdot e_1$  soit:

$$U_1 = A \cdot k' \cdot Rc$$

2.4. Le multiplicateur.

Les tensions U<sub>1</sub> et U<sub>2</sub> sont appliquées à la l'entrée d'un multiplicateur M. A la sortie de celui-ci on obtient une tension U telle que :

$$U = k'' \cdot U_1 \cdot U_2 \quad k'' : \text{constante}$$

$$U = A^2 \cdot k \cdot k' \cdot k'' \cdot Rc \cdot I^2 \text{ soit en posant } C = A^2 \cdot k \cdot k' \cdot k''$$

$$U = C \cdot Rc \cdot I^2$$

Or le terme  $C \cdot Rc \cdot I^2$  représente justement la puissance au coefficient C près.

$$U = C \cdot P$$

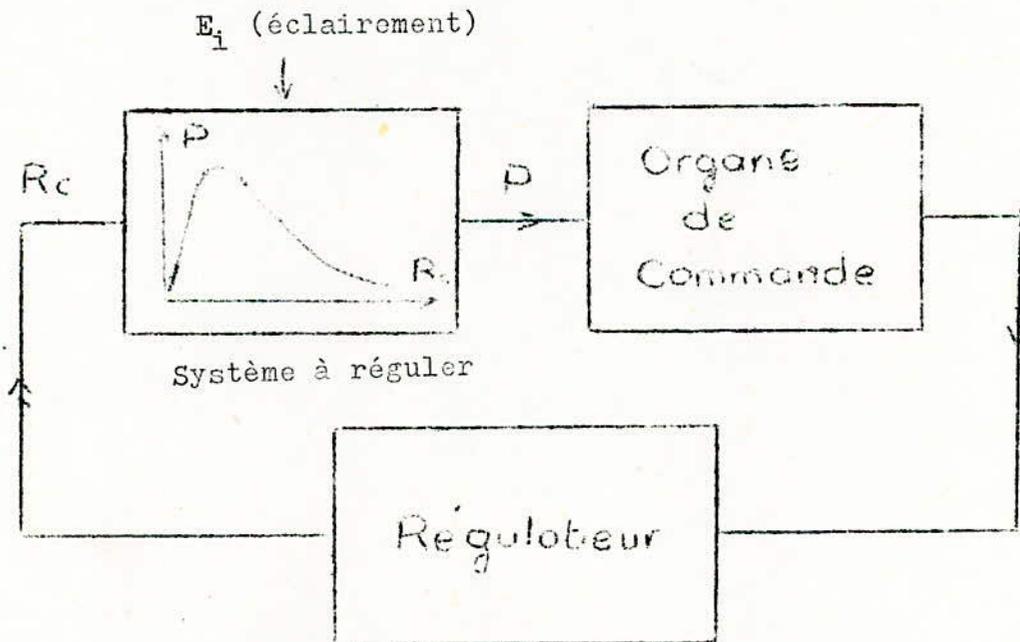
On obtient de ce fait à la sortie du multiplicateur une tension U proportionnelle à la puissance délivrée par la photopile.

2.5. Le système à régulation extrême.

Comme système asservi de mesure, la technique appelée "régulation extrême" sera le moyen impératif pour l'obtention du point  $P_M$ . Il est ici nécessaire de simuler la charge  $R_c$  alimentée par la photo pile éclairée, à un système dont la sortie serait la puissance et l'entrée la valeur instantanée de la charge  $R_c$  (Fig. ci-dessous)

La commande de la sortie  $P$ , ou la régulation de l'entrée  $R_c$  dépend de l'éclairement  $E_i$ , considéré comme élément perturbateur et caractérisant les conditions de fonctionnement.

Ce système asservi non linéaire a pour rôle de maintenir la puissance à sa valeur maximale. Il est possible, dans le but de concevoir de pareils systèmes auto-adaptatifs, de procéder de différentes manières. Comme méthode, on a choisi un à mémoire à maintien de l'extrémum.



CHAPITRE 3.  
oooooooooooo

ETUDE THEORIQUE ET MISE AU POINT DU CIRCUIT DE MESURE DE  
I<sub>cc</sub> ET V<sub>o</sub>.

1. Mesure de I<sub>cc</sub>.

Pour la mesure de I<sub>cc</sub> on utilise donc une méthode d'opposition (Fig. 21 ). Au courant i<sub>2</sub> débité par la photopile, on oppose un courant i<sub>1</sub> débité par la source de courant (E<sub>g</sub>, R<sub>g</sub>). A l'équilibre (zéro du galvanomètre), on a :

$$V_p = R_p \cdot I_{cc} \quad \Rightarrow \quad I_{cc} = V_p / R_p$$

L'erreur relative est :

$$I_{cc} / I_{cc} = V_p / V_p + R_p / R_p$$

La tension V<sub>p</sub> est mesurée par un voltmètre, le courant par un galvanomètre à thermocouple.

1.1. Caractéristique du thermocouple. (Fig. 22 )

Le thermocouple utilisé est un TH 75. Il ne supporte que des courants allant à 400mA. Comme la photopile débite un courant maximum (De court circuit) allant jusqu'à 740 mA, on est astreint à shunter le thermocouple. On verra par la suite comment se fera une telle opération. Une autre solution serait d'utiliser deux thermocouples et de les disposer de telle façon qu'ils aient leurs entrées (filaments) en parallèle et leurs sorties en série. De cette manière le courant maximum traversant chaque thermocouple ne dépasse pas 370 mA. De même, la tension délivrée à la sortie sera de celle délivrée par un seul thermocouple. Ce montage est donc avantageux sur tous les points de vue.

La caractéristique  $e = f(i)$  du thermocouple a été déterminée expérimentalement car celle du constructeur n'est pas disponible.

La caractéristique du TH 75 a été obtenue en injectant un courant  $i$  de valeur connue à travers le filament et en lisant la tension  $e$  correspondante  $e$  sur un millivoltmètre branché à la sortie du thermocouple. Les résultats sont consignés dans le tableau suivant:

$i$ (mA)	$e$ (mV)	$k(V/A^2)$
12	0.025	0.21
20	0.065	0.21
25	0.11	0.21
40	0.39	0.24
60	0.68	0.20
80	1.35	0.21
100	2.16	0.21
160	6	0.23
260	15	0.22
350	26.7	0.22
400(claquage)	32	0.20

Au delà de 400 mA le TH 75 est détruit. Pour la détermination de  $k$  il suffit de faire le rapport  $e/i^2$  pour chaque couple de valeurs ( $i, e$ ) on prend ensuite le  $k$  moyen donné par:

$$k = \sum_{j=1}^{11} k_j / 11 = 0.21 \text{ V/A}^2$$

$$\boxed{k = 0.21 \text{ V/A}^2}$$

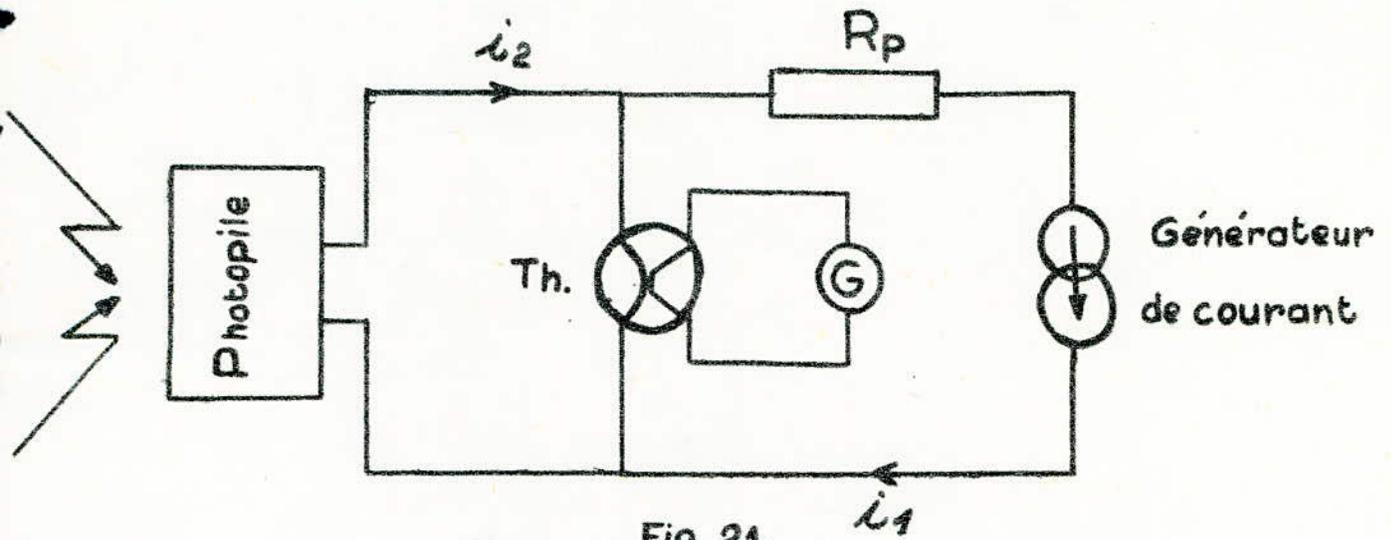


Fig. 21.  
Mesure de  $I_{cc}$ .

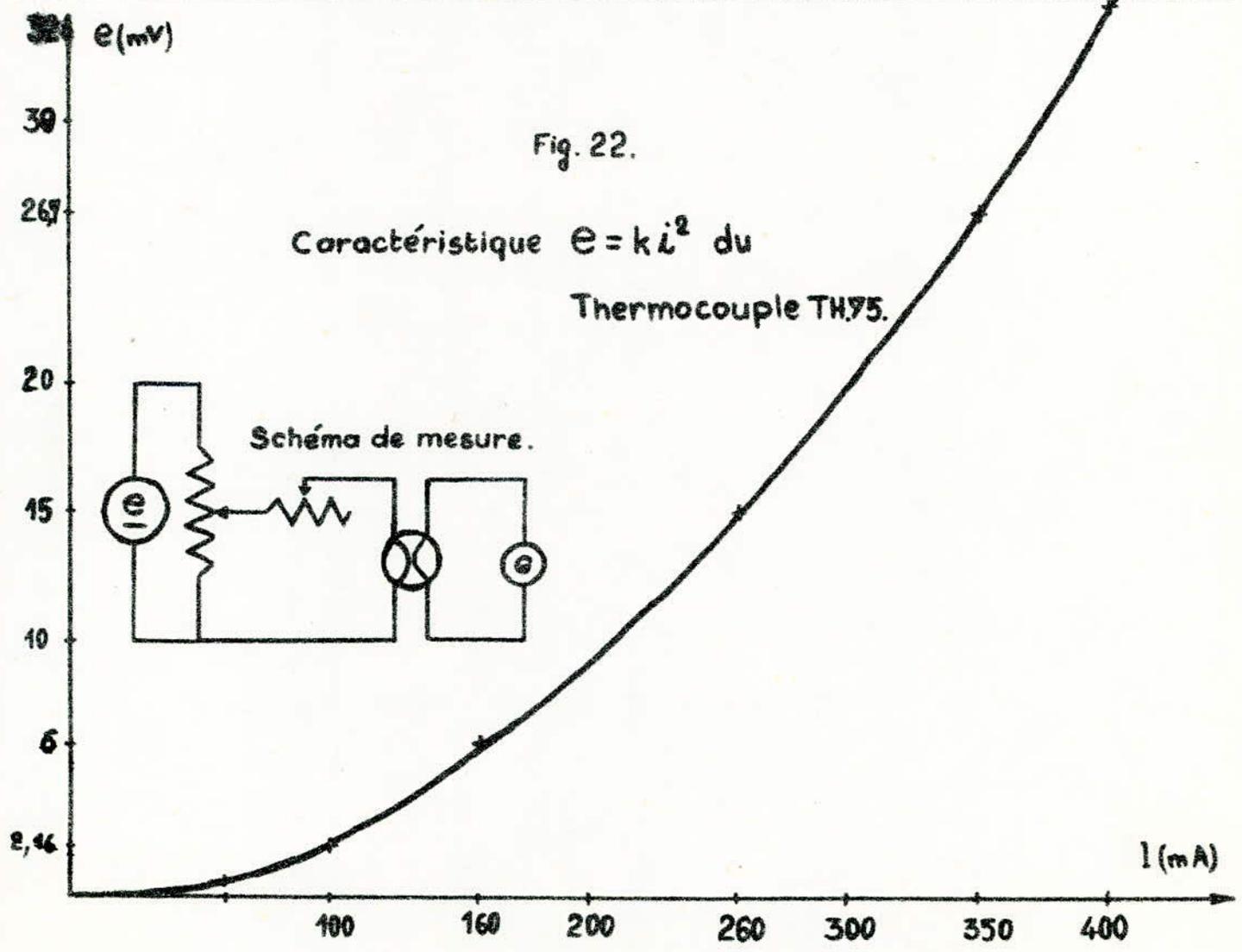


Fig. 22.  
Caractéristique  $e = kI^2$  du  
Thermocouple TH75.

### 3.1.3. Etalonnage de l'ampèremètre à thermocouple.

Un ampèremètre à thermocouple est essentiellement composé d'un thermocouple associé à un galvanomètre : On n'a pas ici à tenir compte de l'effet Peltier car on utilise un thermocouple par conduction. Etalonner l'ampèremètre revient donc à construire la courbe :  $\alpha = ki^2$ ,  $\alpha$  étant la déviation du galvanomètre,  $i$  le courant traversant le filament.

La déviation  $\alpha$  est indiquée par le galvanomètre, le courant  $i$  est quant à lui déterminé par le montage de la Fig.23.

Si  $R_f$  est la résistance du thermocouple,  $R$  une résistance variable, le voltmètre indique la tension  $U$  aux bornes de l'ensemble  $R + R_f$ . Le courant  $i$  qui traverse cet ensemble (donc le filament du thermocouple) est :

$$i = U/(R+R_f)$$

$U, R$  et  $R_f$  étant des valeurs précises et bien déterminées. A chaque valeur de  $i$  correspond une déviation  $\alpha$  du galvanomètre. En faisant varier  $R$ , on obtient différentes valeurs de  $i$ . On peut ainsi construire la courbe d'étalonnage  $\alpha = k.i^2$ .

### 3.2. Mesure de $V_0$ .

Comme nous l'avons déjà mentionné, la mesure de  $V_0$  se fera à l'aide d'un voltmètre à très grande impédance d'entrée. On l'obtient en plaçant le commutateur en position (I) avec  $K_I$  ouvert.

#### 3.2.1. Etalonnage du voltmètre.

### 3.2.1.1. Etalonnage d'un système potentiométrique.

Le montage de la Fig. 24 constitue une mise au point d'un système étalonné à partir d'une pile étalon  $E_0$ .

Si  $E_0$  est un élément Weston :  $E_0 = 1,0183 \text{ V}$

La résistance du potentiomètre est constituée par des boîtes de résistances  $R$  et  $S$  qui sont de très bonne qualité. La source  $U$  sera supérieure aux f.e.m. à mesurer par la suite. On fait d'abord  $R_0 = 10183$ , puis on règle avec  $S$  la valeur du courant qui donne une chute de tension, égale à  $E_0$ , aux bornes de la résistance  $R_0$ .

$$E_0 = R_0 \cdot I \quad \text{c.à.d.}$$

$$1,083 = 10.183 \cdot I$$

La valeur de  $R_0$  est notée, et il faudra, par la suite, maintenir la somme  $R_0 + S_0 = \text{Cte}$  afin que  $I$  soit constant.

La résistance de  $10 \text{ K}$  en série avec la pile étalon à pour but de limiter les courant débité par la source  $E_0$ , à une valeur toujours inférieure à  $100 \text{ A}$ , Lorsque la mesure est dégrossie on court-circuite alors cette résistance et le système afin que le système reprenne sa sensibilité maximale.

### 3.2.1.2. Etalonnage du voltmètre.

On adjoint au montage précédemment étalonné, un autre circuit comprenant une source de courant continu, un rhéostat, une résistance  $r$  ( Fig. 25 ). Le voltmètre à étalonner est branché aux bornes de  $r$ . Le galvanomètre est connecté entre  $r$  et  $R_0$ .

Le circuit est fermé par des résistances  $r$  et  $R$ , .

En faisant varier le courant  $i$  à l'aide du rhéostat, la tention aux bornes de la résistance  $R$  varie , faisant prendre à l'aiguille du voltmètre des déviations correspondantes. On prend différents points de repère de l'échelle et on compare les différentes tensions obtenues avec le système potentiométrique par le passage d'un courant nul dans le galvanomètre. On obtient ainsi, plusieurs valeurs de  $V$  qui vérifient la relation générale :

$$V(\text{volt}) = R.I,0183/10.183 = R/10.000$$

Il suffit alors de noter les valeurs de  $R$  pour connaître la d.d.p. qui correspond exactement aux repères de l'échelle de l'appareille.

Dans le cas d'une d.d.p. trop élevée on substitue à la résistance  $r$  un diviseur potentiométrique. Si le rapport est par exemple tel que:

$$V' = V/10 \quad \text{on a alors:} \quad V = R/1000$$

.....

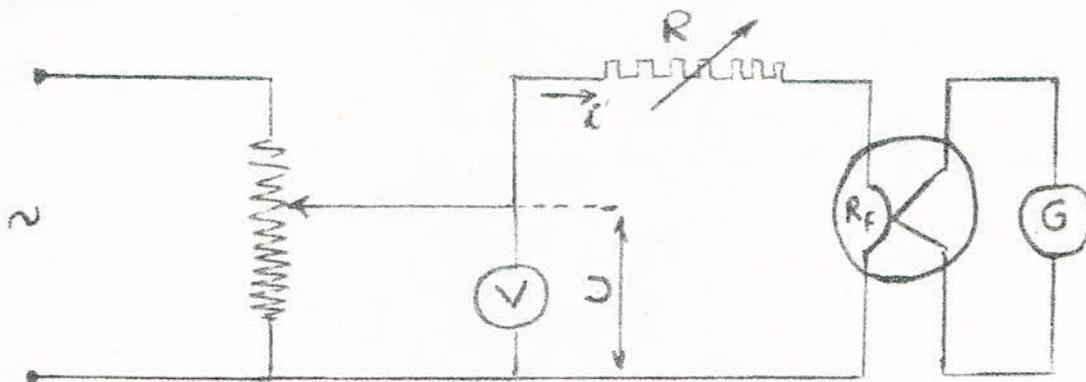


Fig.23.

Etalonnage de l'expérimente à thermocouple

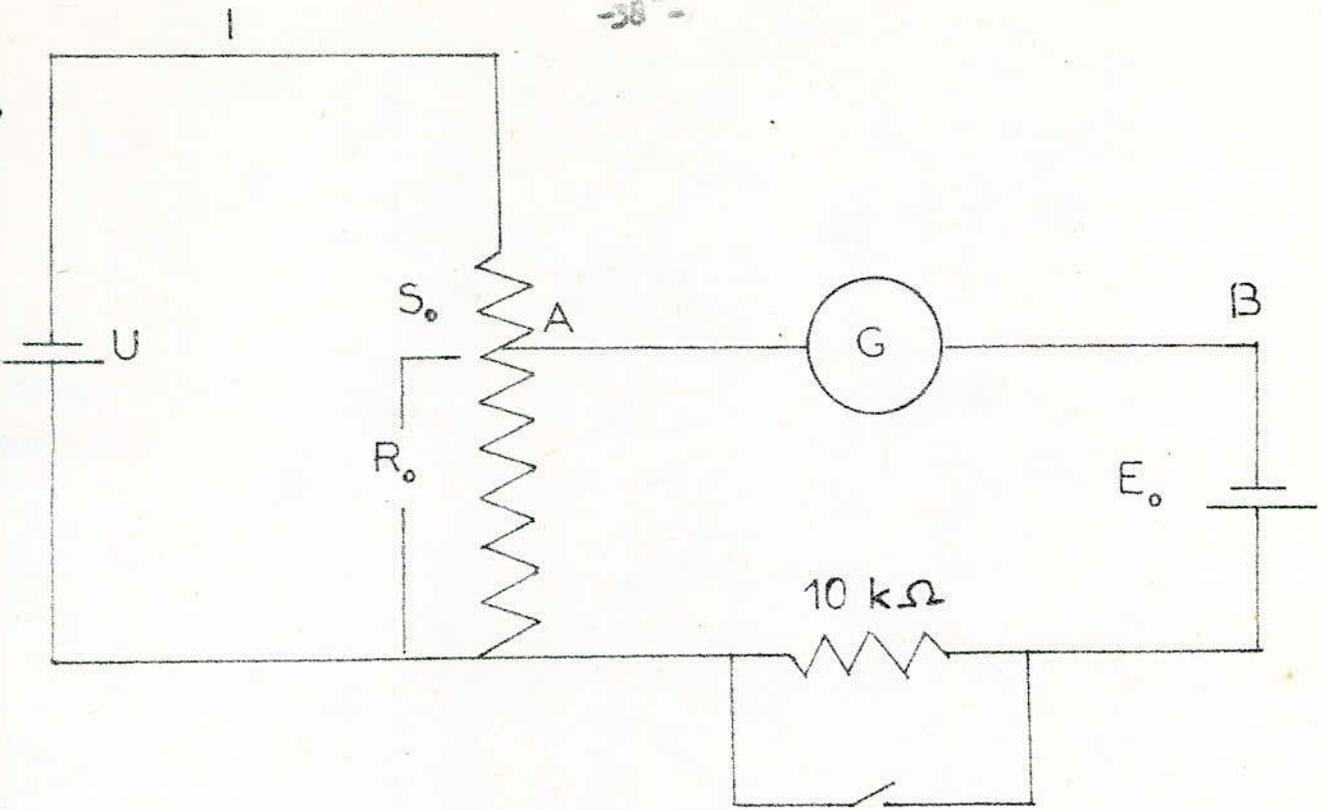


Fig. 24

(Ref. Mesures Radioélectriques. Gaston REZE. Pages 48, 49)

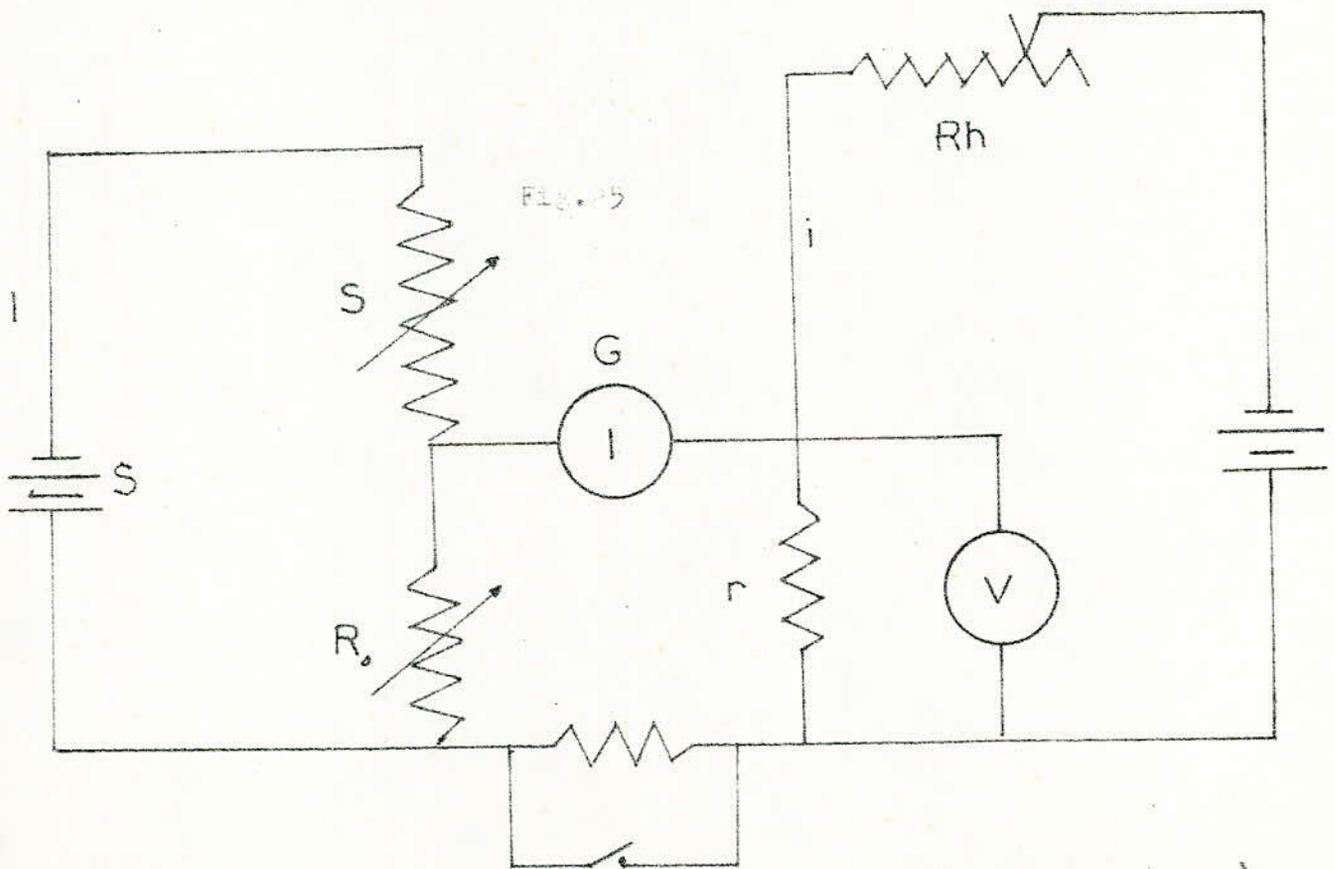


Fig. 25

CHAPITRE 4

ETUDE THEORIQUE ET MISE AU POINT DU CIRCUIT DE MESURE DE V, I

ET P = V.I

Dans tout ce qui suit, les interrupteurs  $K_1$ ,  $K_4$  et  $K_5$  resteront fermés;  $K_2$  et  $K_3$ , ouverts. Le commutateur  $K_6$  est en position (3). Ainsi le système constitué de la source de courant ( $E_g, R_g$ ) et la résistance  $R_p$  se trouve hors-circuit. La photopile débite sur sa charge  $R_c$ .

En fait, la photopile débite aussi sur la faible résistance du filament du thermocouple. Ainsi donc; on oubliera pas, à chaque fois qu'on détermine  $R_{c_{opt}}$ , de lui ajouter la résistance  $r$  du filament du thermocouple. Finalement,  $R_{c_{opt}}$  est :

$$(R_{c_{opt}})_{réelle} = (R_{c_{opt}})_{mesurée} + r$$

La source  $E_I$  débite sur une charge, constamment égale à  $R_c$ , prise sur un potentiomètre de valeur maximale  $R$ .

Les expressions des signaux  $e_1$  et  $e_2$  prises respectivement à la sortie du circuit ( $E_I, R_c$ ) et du thermocouple sont:

$$\begin{aligned} e_1 &= k' \cdot R_c & \text{où } k' &= E_I / R \\ e_2 &= k \cdot I^2 & \text{où } k &= 0,214 \text{ V/A}^2 \end{aligned}$$

La source de tension  $E_I$  vaut 12 volts.

La valeur maximale  $R$  des potentiomètres vaut :  $R = 100 \Omega$

$$\begin{aligned} E_I &= 12 \text{ V} \\ R &= 100 \Omega \end{aligned} \quad \text{d'où } k' = E_I / R = 12 / 100 = 0,12 \text{ A}$$

#### 4.1. La mesure de I.

Le courant I débité par la photopile est mesuré directement par l'ampèremètre à thermocouple déjà étalonné. Le courant optimal  $I_L$  se situe aux alentours de 700 mA. Notre dispositif évolue à partir d'une charge nulle ( $R_c=0$ ). A ce moment le courant I est égal au courant de court-circuit qu'on prendra égal à 800 mA pour plus de sécurité. La tension  $e_2$  sera donc :

$$e_2 = k \cdot I^2 = 0,214 \cdot (800)^2 \cdot 10^{-6} = 0,13 \text{ V}$$

Supposons que la charge augmente jusqu'à atteindre sa valeur maximale  $R = 100$  , sachant que la tension aux bornes du BPX47A est de 14,3 V (on prend 15 V) le courant sera alors :

$$I = 15/100 = 0,15 \text{ A}$$

La tension  $e_2$  sera donc :

$$e_2 = k \cdot I^2 = 0,214 \cdot (150)^2 = 0,0045 \text{ V.}$$

Nous retiendrons donc que :

- a) Le courant I évolue de 150 mA à 800 mA.
- b) La tension  $e_2$  évolue de 4,5 mV à 130 mV.

#### 4.2. La mesure de V.

Le voltmètre en position (3) mesure la tension :

$$U = C \cdot P = C \cdot R_c \cdot I^2 = C \cdot V \cdot I.$$

D'où

$$V = U/C \cdot I$$

U et I étant connus . La constante C sera déterminé par la suite.

Examinons maintenant la plage dans laquelle va se situer la tension  $e_I$  issue du circuit auxiliaire ( $E_I, R_c$ ).

Nous avons dit, au paragraphe précédent, que la charge évolue de 0 à  $R = 100$  . En réalité , ceci n'est pas rigoureusement vrai puisque, grâce au système à régulation extrême,  $R_c$  va effectivement partir de la valeur 0, cependant arrivée au voisinage de  $R_{c_{opt}}$  , elle va finalement osciller autour de cette valeur jusqu'à stabilisation totale. Nous savons que  $R_{c_{opt}}$  est située au voisinage de  $20 \Omega$  . Aussi, pour limiter le temps de stabilisation, on réduit la course des potentiomètres à une plage allant de 5 à 30

$$R_c = 5 \quad \text{on a : } e_I = k' \cdot R_c = 0,12 \cdot 5 = 0,6 \text{ V .}$$

$$R_c = 30 \quad \text{on a : } e_I = k' \cdot R_c = 0,12 \cdot 30 = 3,6 \text{ V .}$$

Corrélativement, les variations de  $e_2$  deviennent :

$$R_c = 0 \quad , \quad I = I_{cc} = 800 \text{ mA} \quad \text{d'où} \quad e_2 = 130 \text{ mV.}$$

$R_c = R_{c_{opt}} = 20$  , l'expérience montre que le courant ne descend pas en deça de 400 mA soit une tension  $e_2 \cong 32 \text{ mV}$ . En résumé :

$e_{Imin} (V)$	$e_{Imax} (V)$
0,6	3,6

$e_{2min} (V)$	$e_{2max} (V)$
0,032	0,130

Les valeurs supérieures de  $e_I$  et  $e_2$  serviront au calcul des gains des amplificateurs à découpeurs.

4.3. La mesure du produit  $P = V.I$  (puissance)

Commutateur en position (3), le voltmètre mesure la tension  $U = C.P = C.R_c.I^2 = C.V.I$ .

La tension  $U$  aux bornes du multiplicateur n'est pas égale à  $U_1.U_2$ , mais à  $(U_1.U_2)/4$ , car le multiplicateur divise par 4 le produit des signaux appliqués à ses deux entrées. De plus celui-ci étant polarisé par  $-12\text{ V}$ ,  $+12\text{ V}$ , la tension  $U$  à la sortie ne doit pas dépasser  $12\text{ V}$  afin d'éviter sa saturation. On doit donc avoir :

$$U_1.U_2 \leq 36\text{ V}$$

Prenons :

$$U_{1\text{max.}} = 8\text{ V.}$$

$$U_{2\text{max.}} = 4\text{ V.}$$

Soient  $G_1$  et  $G_2$  les gains respectifs des amplificateurs 1 et 2.

On a alors :

$$G_1 = U_{1\text{max.}}/e_{1\text{max.}} = (4.10^3/130) = 31$$

$$G_2 = U_{2\text{max.}}/e_{2\text{max.}} = 8/3,6 = 2,2$$

En réalité, les découpeurs et les redresseurs introduisent une atténuation de  $1/3$  au signal. Pour cela, les gains respectifs des amplificateurs doivent être :

$$G_1' = 3.G_1 = 93 \quad \text{et} \quad G_2' = 3.G_2 = 6,6$$

En résumé, pour une bonne amplification, on donne aux deux amplificateurs des gains  $G_1 = 93$  et  $G_2 = 7$

Dans tous les paragraphes précédents, il faut se référer à la Fig. I4.

#### 4.3.I. L'amplificateur à découpeur

Le schéma synoptique d'un amplificateur à découpeur est donné (Fig. 26).

Un multivibrateur envoie des tensions de commande (de commutation) aux bases de deux choppers à transistor, afin de découper la tension continue. La tension ainsi obtenue est amplifiée dans un amplificateur alternatif. Un redresseur restitue la composante continue amplifiée.

En l'absence de signal à l'entrée, il apparaît à chaque commutation, des impulsions parasites. Aussi, après amplification et détection, le signal de sortie n'est pas nul quel que soit la position du curseur du chopper équilibré.

Pour remédier à cet inconvénient, on utilise une détection synchrone.

Le redresseur, qui est un chopper utilisé en démodulateur, est attaqué à sa base par un signal provenant du multivibrateur (Fig. 27).

Ainsi, suivant la polarité du signal appliqué sur la base, le transistor se comporte comme un interrupteur ouvert ou fermé.

La capacité  $C$  se charge quand la base est positive et se décharge quand la base est rendue négative.

Une tension aux bornes de  $R$  est recueillie, avec la polarité de l'alternance sortant de l'amplificateur à cet instant.

Afin de supprimer toute trace de porteuse, une cellule d'intégration peut être utilisée après le détecteur.

Ainsi, suivant la phase de l'onde alimentant la base du transistor,

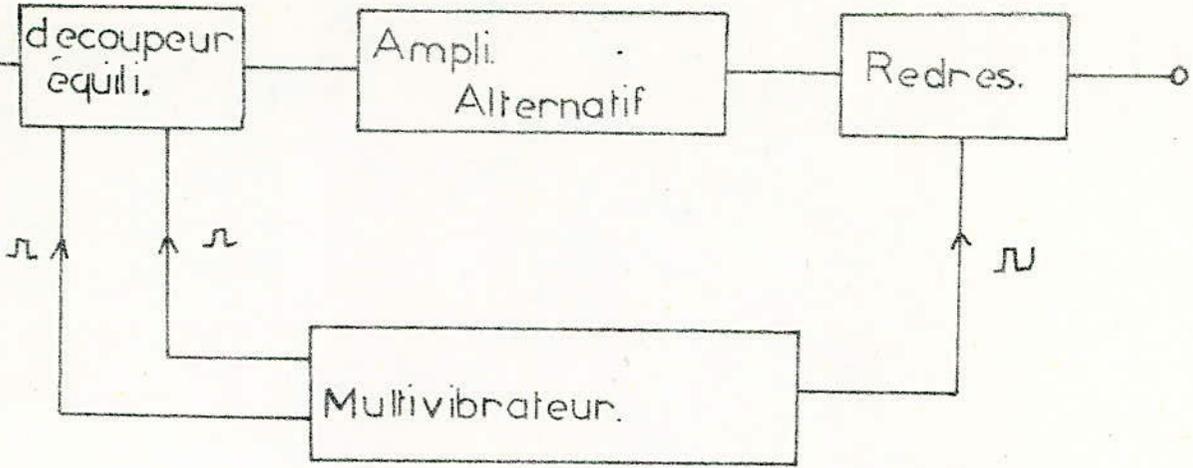


Fig. 26

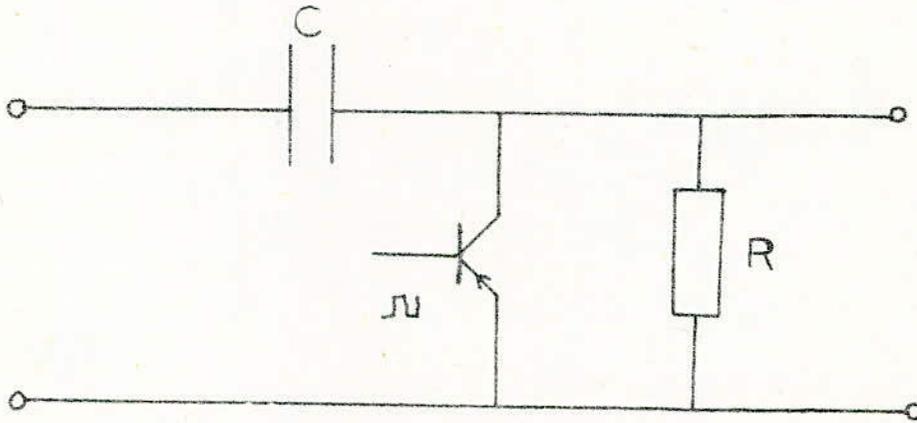
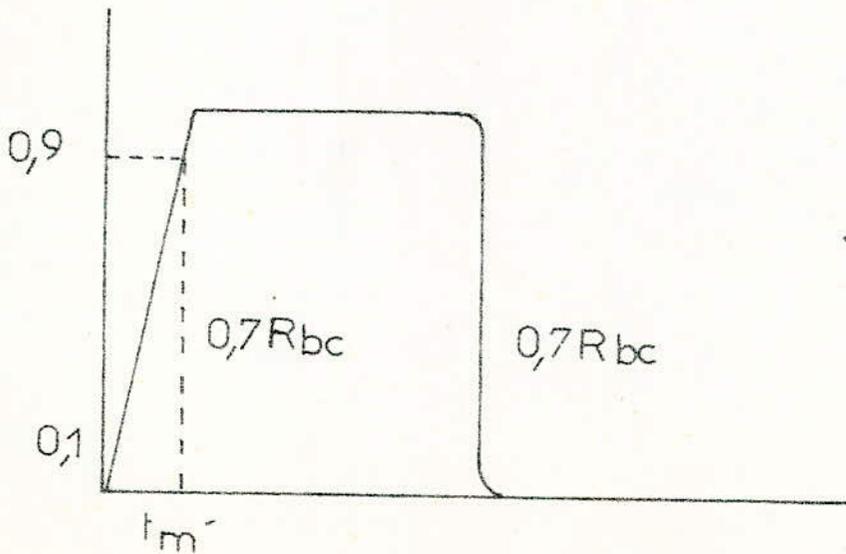


Fig. 27



-Fig. 28

il est donc possible d'obtenir une tension détectée de polarité désirée.

En décalant le curseur autour de la position médiane, on rend sans effet les impulsions de commutation.

On obtient à la sortie une tension détectée nulle à l'entrée.

#### 4.3.1.1. Le multivibrateur astable.

Soit à réaliser un multivibrateur qui délivre:

$$V = 10 \text{ V}$$

$$F = 1650 \text{ Hz}$$

$$t_m = 25 \mu\text{s}$$

La tension d'alimentation est  $V_c = 10 \text{ V}$

Le choix du transistor est fonction de la fréquence de coupure:

$$f_c \longrightarrow t_m$$

$$\text{soit en prenant } w_c t_m = 2,2 \implies w_c = 2,2/t_m$$

$$f_c = 2,2/2 t_m = (2,2/2 \cdot 25) 10^6 \approx 14 \cdot 10^3 \text{ Hz}$$

$$\text{soit } f_c = 14 \text{ KHz}$$

Nous choisirons pour cela un type de transistor H.F Le transistor 2N 1711 convient.

#### 4.3.1.1.1. Calcul des éléments du circuit.

Nous choisissons un montage symétrique, avec deux transistors 2N 1711, et les mêmes valeurs de  $R_c$  et  $R_b$ .

#### 4.3.1.1.2. Choix de $R_c$ .

$$\text{Gain statique en courant : } \beta = 60$$

$$I_{cs} = 3 \text{ mA}$$

$$\text{D'où } R_c = V_{cc}/I_{cs} = 10/3 \cdot 10^3 = 3,3 \text{ K}\Omega.$$

#### 4.3.I.I.3. Choix de Rb .

On doit avoir :  $R_b \leq \beta . R_c$

$$R_b \leq 60.3,3 \implies R_b \leq 196$$

On choisit  $R_b = 100 \text{ K}$  , car risque de diminuer avec la température.

#### 4.3.I.I.4. Choix de la capacité C.

$$T/2 = 0,7 . R_b . C \implies C = T/2 . 0,7 . 100 = 1/2 . 0,7 . 100 . 1650$$

$$C = 4,34 \text{ nF} .$$

On prend la valeur normalisée

$$C = 4,7 \text{ nF} .$$

L'oscillograme se trouve représenté par la Fig. 28 , le multivibrateur est schématisé par la Fig.29.

#### 4.3.I.I.5. Quelques améliorations apportées au multivibrateur.

Les transistors du multivibrateur, travaillant en commutation, il nous intéresse d'augmenter la rapidité de fonctionnement en les faisant travailler en régime de surrexcitation basé sur le principe suivant :

On commande la base par des impulsions d'amplitude plus forte. Ainsi, on réduit le temps de montée. D'autre part, on cherche à réduire le temps de descente en envoyant un courant de base beaucoup plus petit que le normal.

On réduit ainsi les temps de montée et de descente. Cependant, l'inconvénient de réduire le temps de montée en envoyant une impulsion fortement positive, est qu'on augmente en même temps le temps de stockage, qui correspond à l'écoulement de la charge

dans la jonction base-émetteur lorsque l'impulsion est coupée.

Pour cela, on arrive à un compromis pour ne pas augmenter le temps de stockage.

Pour ce faire, après avoir augmenté le courant de base, afin de réduire le temps de montée, il faut revenir au courant normal avant le blockage. On monte alors une cellule R-C qui transforme l'impulsion carrée en impulsion dérivatrice (Fig. 30).

Pour avoir une meilleure stabilisation en continu, on ajoute une résistance d'émetteur au montage. Dans le montage émetteur commun, on obtient une meilleure stabilisation si la valeur de la résistance d'émetteur est forte. On choisit  $R_e = 2,7 \text{ K}\Omega$ . La tension de sortie du multivibrateur n'est plus maintenant 10 V, mais : (Fig. 31)

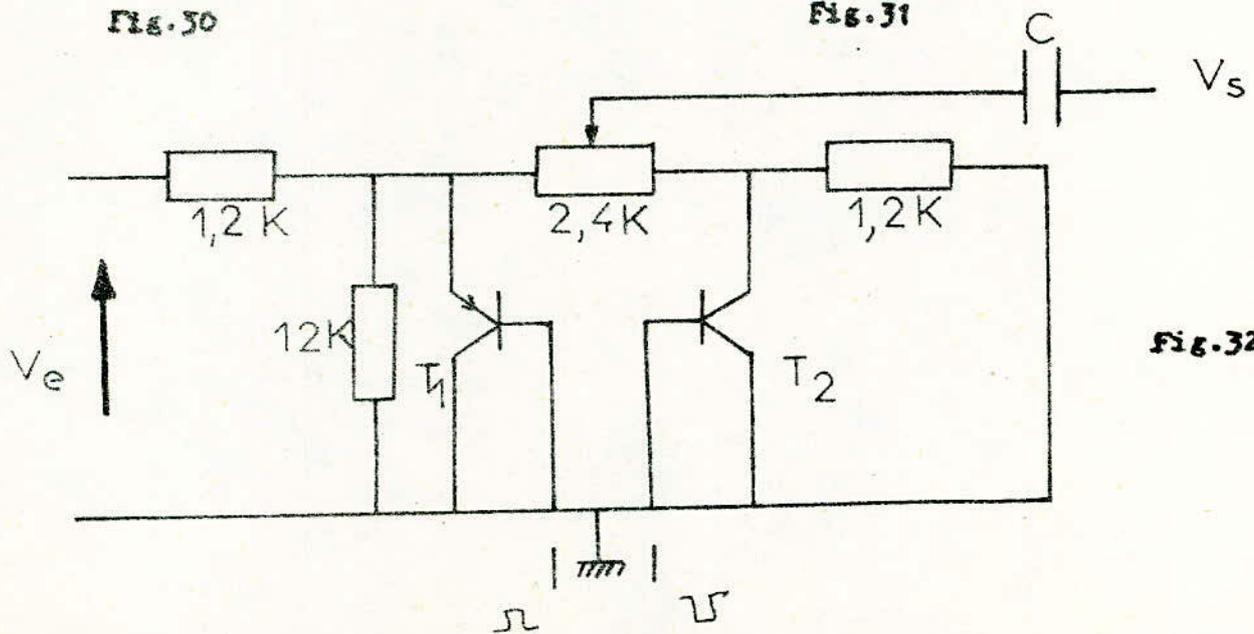
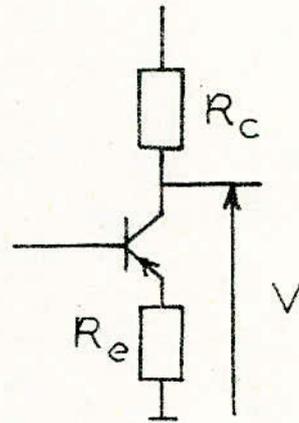
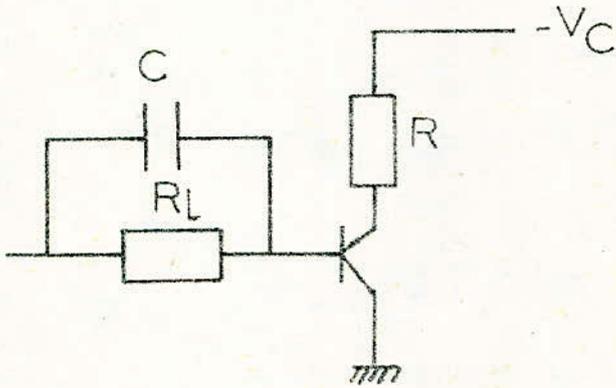
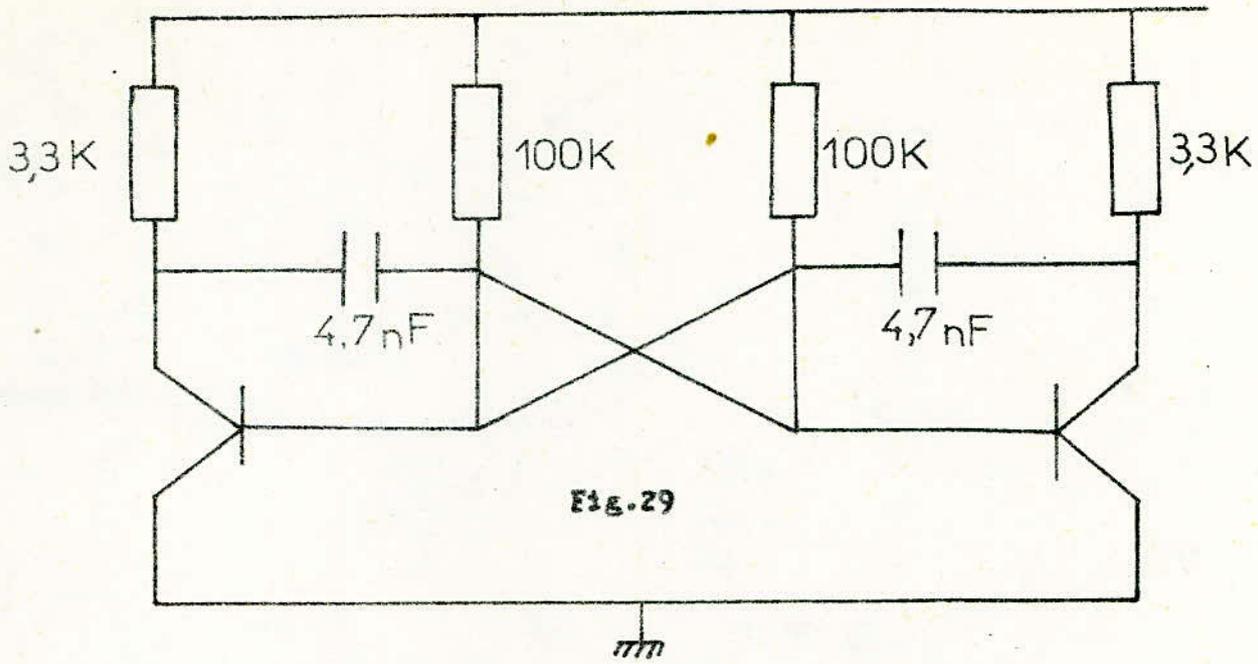
$$V = 10 \cdot R_e / (R_c + R_e) = 10 \cdot 2,7 / (2,7 + 3,3) = 5 \text{ V} .$$

Cette tension servira par la suite à l'attaque du découpeur et à la synchronisation du redresseur.

#### 4.3.1.2. Le découpeur équilibré.

La Fig. 32 représente le schéma du découpeur utilisé. Nous connaissons le fonctionnement d'un tel dispositif : Des impulsions provenant du multivibrateur attaquent les bases des deux transistors choppeurs qui se bloquent ou se saturent alternativement. Les tensions de commande sur les bases des transistors étant symétriques, on aura toujours un transistor bloqué pendant que le second est conducteur. Deux cas seront donc examinés :

- $T_1$  saturé pendant que  $T_2$  bloqué.
- $T_1$  bloqué pendant que  $T_2$  saturé.



a) Premier cas.

T<sub>I</sub> saturé (Interrupteur fermé).

T<sub>2</sub> bloqué (Interrupteur ouvert)

On obtient alors le schéma représenté par la Fig.33.

$$V_{sI} / V_{satI} = 2,4 / (1,2 + 2,4) = (2/3) \cdot V_{satI}$$

b) Deuxième cas .

T<sub>I</sub>: bloqué , T<sub>2</sub>: saturé.

D'après la Fig.34 représentant cet état d'équilibre, il vient:

$$V_{s2} = (2/3) \cdot V_{sat2} + V_e/3$$

A la sortie du découpeur , on recueille une tension égale à:

$$V_s = V_{s2} - V_{sI} \quad \text{soit :}$$

$$V_s = V_e/3 + (2/3) \cdot (V_{sat2} - V_{satI})$$

Si les deux transistors sont rigoureusement identiques, on a:

$$V_{satI} = V_{sat2}$$

Mais pratiquement, il est impossible d'avoir deux transistors parfaitement identiques. Le problème consiste donc à annuler cette tension, résultat de la différence des tensions de saturation des deux transistors, en réalisant l'appairage des deux circuits choppers

Un potentiomètre permet la mise au point de l'aquilibrage.

Il sera réglé de telle façon à obtenir une tension nulle en l'absence de signal à l'entrée.

Remarquons que le découpeur introduit une atténuation de 1/3 de la tension d'entrée.

.....

.....

.....

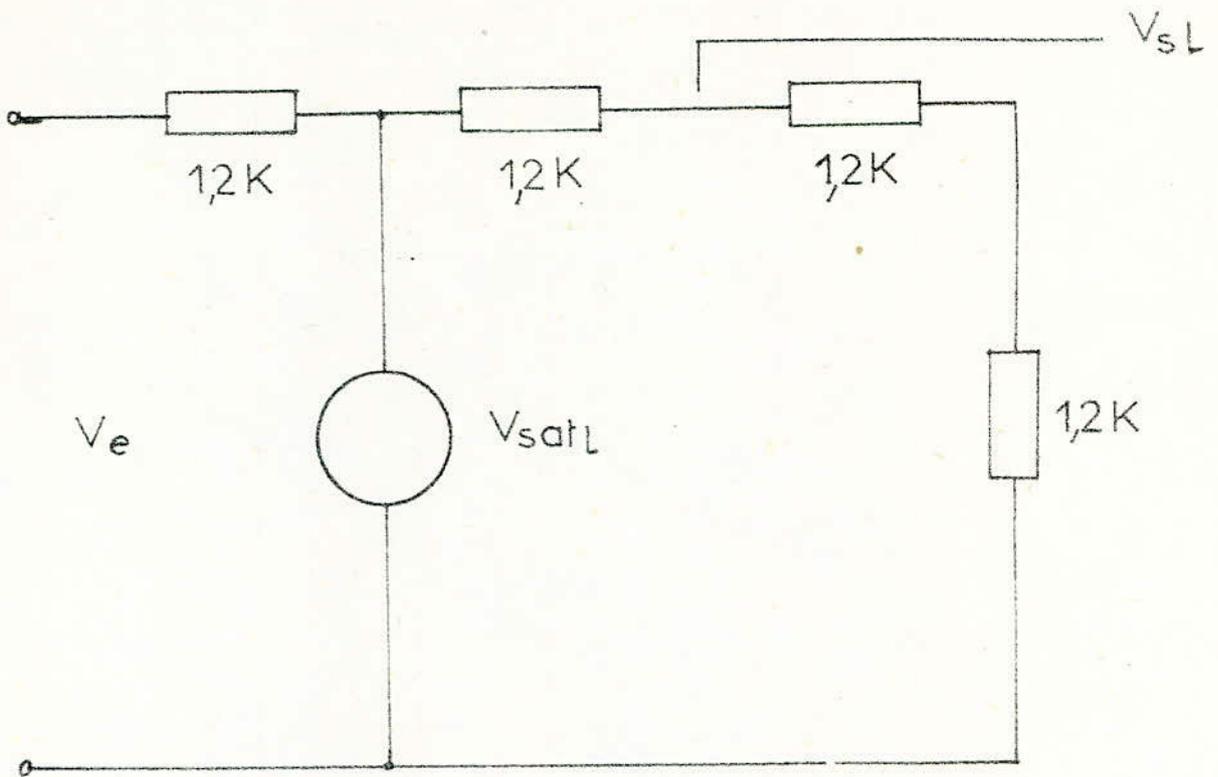


Fig. 33

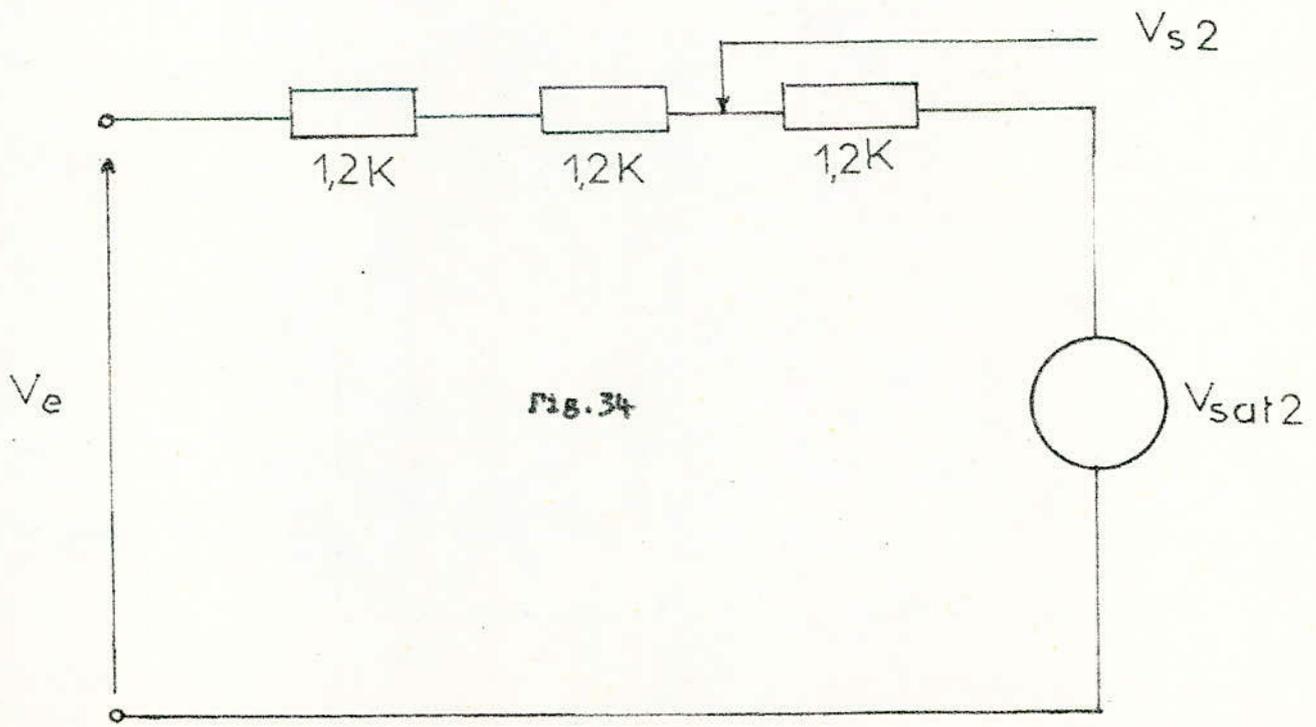


Fig. 34

4.3.1.3. L'amplificateur.

Considérons le schéma d'un amplificateur de tension à source d'alimentation unique, représenté par la (Fig. 35)

Résistance de charge en continu

$$R_{cc} = R_e + R_c$$

Résistance de charge en alternatif.

$$R_{ca} = (R_c \cdot R_l) / (R_c + R_l)$$

Coordonnées du point de polarisation  $P_o$

$$V_{P_o} = E / (1 + R_{cc} / R_{ca})$$

$$I_{P_o} = V_{P_o} / R_{ca} = E / (R_{ca} + R_{cc})$$

Etude en courant alternatif.

Pour étudier l'étage en courant alternatif, nous diviserons la bande de fréquences en trois régions:

a) Région des fréquences intermédiaires.

La réaction de la capacité de liaison et de découplage ainsi que celles des capacités du transistor n'interviennent pas, étant négligeables.

Le schéma équivalent de l'étage est celui de la (Fig. 36) où nous avons :

$$r_i = r_b + r_c (\beta_o + 1)$$

$$R_b = R_{b1} \cdot R_{b2} / (R_{b1} + R_{b2})$$

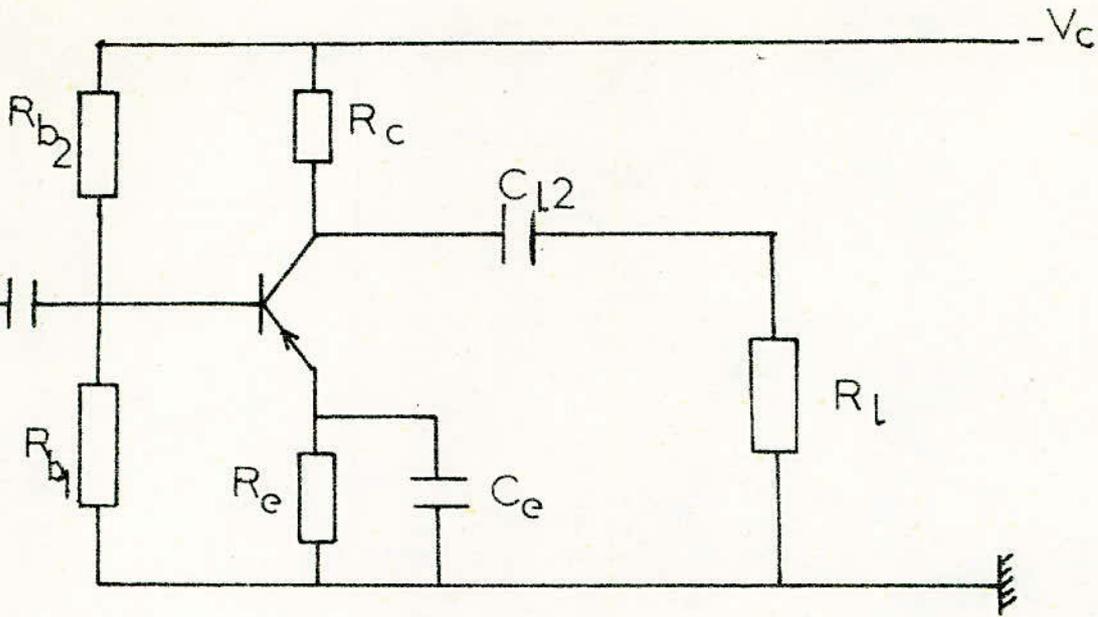


Fig. 35

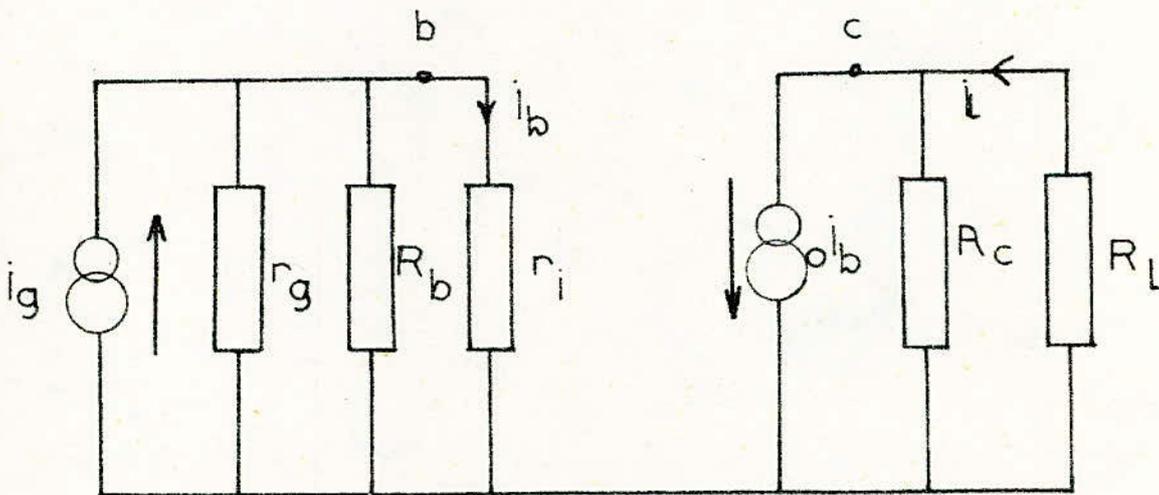


Fig. 36

$$R_c' = R_c \cdot r_d / (R_c + r_d) = R_c$$

Car  $r_d = r_c(1 - \alpha_2)$  étant la résistance de sortie du transistor pour l'entrée en circuit ouvert, est supérieur à  $R_c$ .

Le gain en courant est donc :

$$A_{co} = i_1 / i_g = (i_1 / i_b) \cdot (i_b / i_g) = \frac{R_c}{R_c + R_1} \cdot \frac{r_g'}{r_g' + r_i}$$

Avec

$$r_g' = r_g \cdot R_b / (r_g + R_b)$$

b) Région des fréquences basses.

On fait intervenir dans ce cas les capacités de liaison et de découplage. (Fig.37)

On a une contre-réaction série de la sortie à l'entrée due à l'impédance  $Z_e$  de l'émetteur.

L'impédance d'entrée de l'étage est donc :

$$r_i' = r_i + Z_e(\beta_o + 1) \quad (1)$$

$$Z_e = R_e / (1 + j\omega R_e C_e) \quad (2)$$

Le gain en courant devient :

$$A_c = (R_c / (R_c + R_1)) \cdot (r_g' / (r_g' + r_i')) = A_{co} \cdot \frac{r_g' + r_i}{r_g' + r_i + Z_e(\beta_o + 1)} \quad (3)$$

On définit alors :

$$w_1 = 1 / R_e \cdot C_e \quad (4)$$

$$\text{et } w_2 = \frac{1}{R_e \cdot C_e} \cdot \frac{r_g' + r_i + R_e(1 + \beta_o)}{r_g' + r_i} \quad (5)$$

Si l'on tient compte uniquement des condensateurs de liaison (Fig.38. ), le gain en courant s'écrira :

Fig. 37

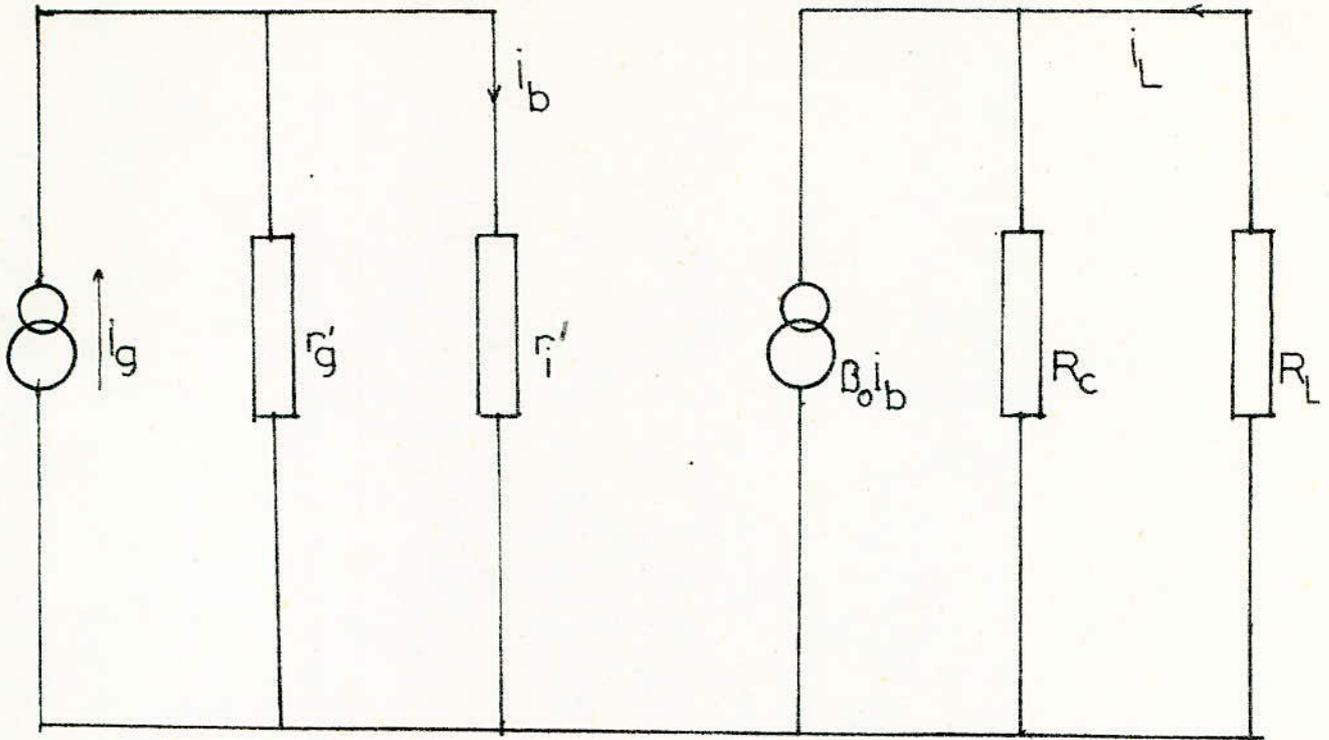
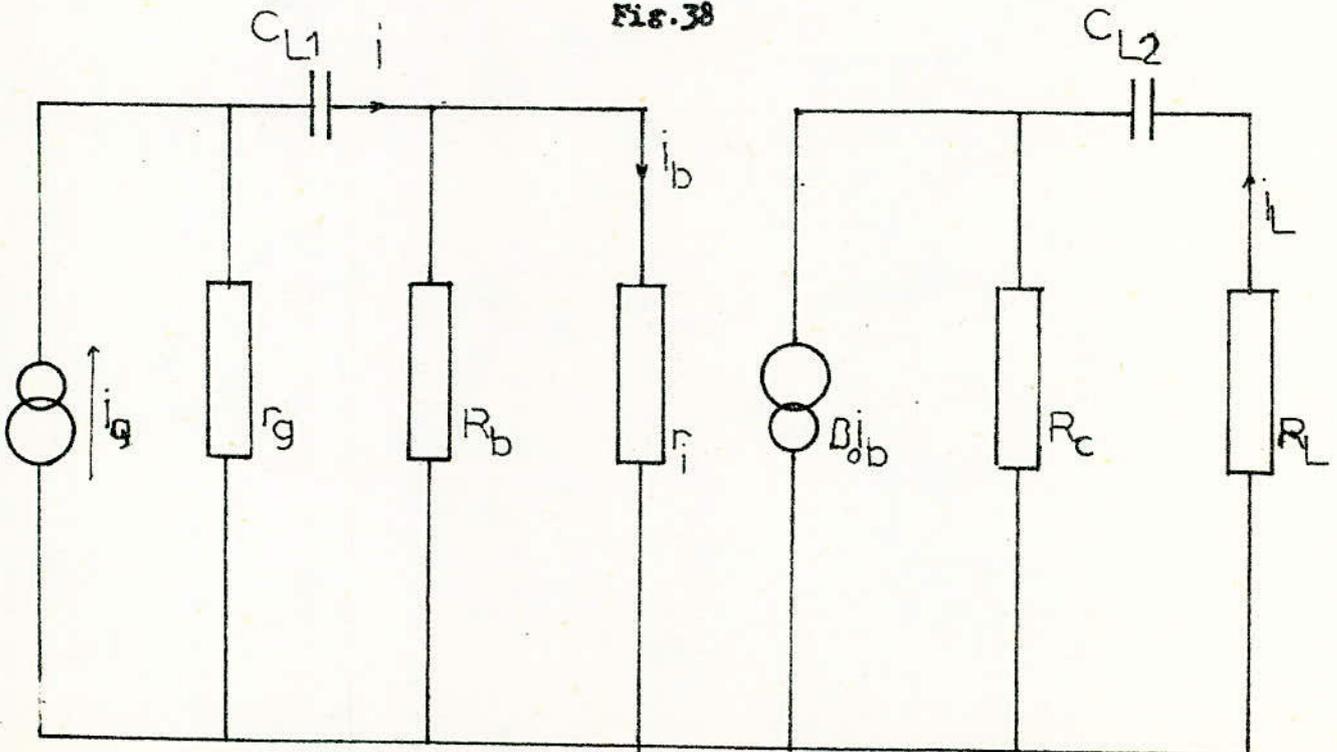


Fig. 38



$$A_c = \frac{i_l}{i_g} = \frac{i_l}{i_b} \cdot \frac{i_b}{i} \cdot \frac{i}{i_g} \quad (6)$$

Avec :

$$\frac{i_l}{i_b} = \frac{R_c}{R_c + R_l + 1/j\omega C_{L2}} \quad \frac{i_b}{i} = \frac{R_b}{r_i + R_b} \quad (7-8)$$

et :

$$\frac{i}{i_g} = \frac{r_g}{r_g + R_b' + 1/j\omega C_{L1}} \quad (9)$$

Avec :

$$R_b' = \frac{R_b \cdot r_i}{R_b + r_i}$$

Avec :

$$w_1 = \frac{1}{C_{L1}(r_g + R_b')} \quad (10)$$

$$w_2 = \frac{1}{C_{L2}(R_c + R_l)} \quad (11)$$

c) Région des hautes fréquences.

Seules les capacités propres du transistor interviennent dans la limitation de la réponse en fréquence. Fig.

On a alors :

$$g_e = g_{b'e} + g_{bc}(1 + g_m R_l') \neq g_{b'e} \quad (12)$$

$$X_e = C_{be}' + C_{bc}'(1 + g_m R_l') \quad (13)$$

$$r_g' = r_g \cdot R_b / (r_g + R_b)$$

$$R_l' = R_c \cdot R_l / (R_c + R_l) \quad (14)$$

Le gain en courant est donc :

$$A_c(s) = \frac{i_l}{i_g} = \frac{R_c}{R_l + R_c} \cdot \frac{g_m \cdot r_g' \cdot y_e}{y_e (1 + R_g \cdot y_e)} \quad (15)$$

Avec :  $y_e = g_e + s\chi_e = g_{b'e} + s\chi_e$

Application

$$V_{cc} = 10 \text{ V}$$

$$r_g = 1,2 \text{ K}$$

$$S = 3,5$$

$$V_p = 3,3 \text{ V}$$

$$I_p = 0,8 \text{ mA}$$

$$R_{b1} = 4,7 \text{ K d'où } R_{b2} = 30 \text{ K}$$

d'où :  $R_{cc} = 8,4 \text{ K}$

$$R_{ca} = 4,12 \text{ K}$$

La droite de charge et le point de fonctionnement se trouvent donc bien définis.

Détermination de  $R_1$

L'équation (11) donne :  $R_1 = 8,1 \text{ K}$

Détermination de  $R_{b1}$  et de  $R_{b2}$

D'après (8), on a :

$$R_b = 4,1 \text{ K}$$

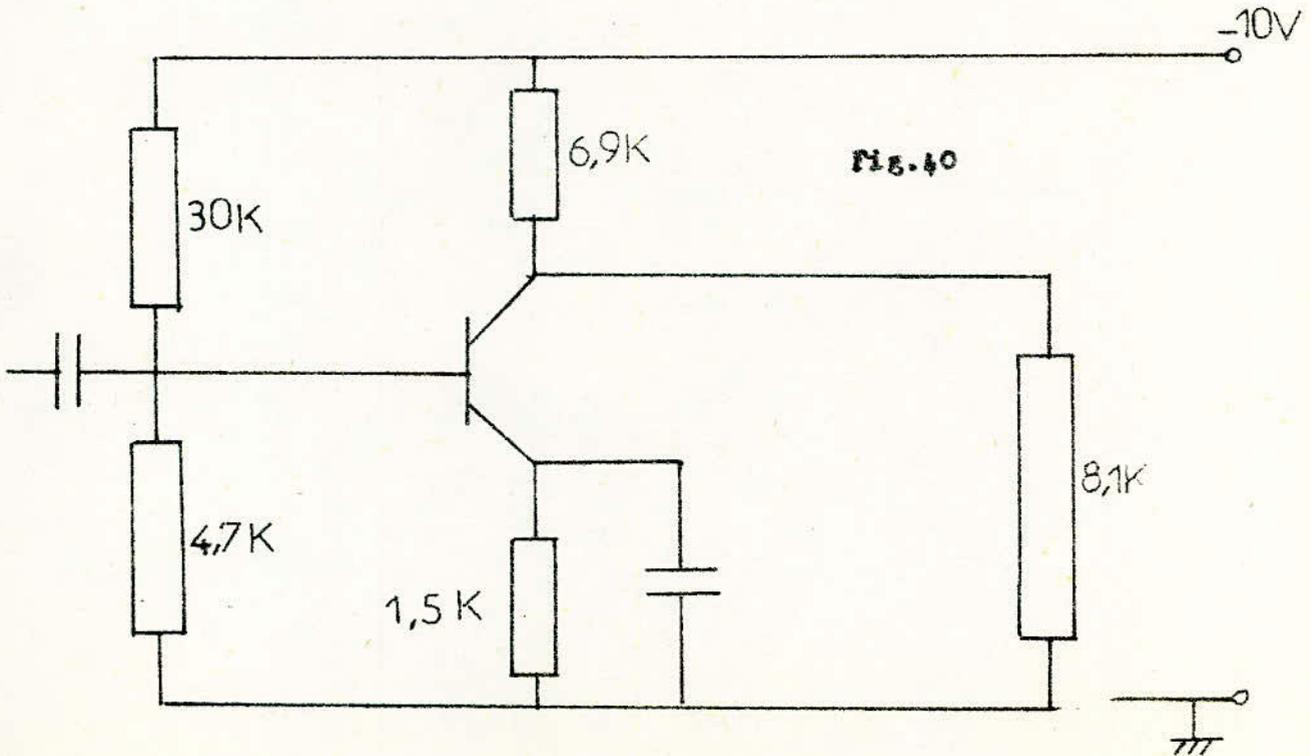
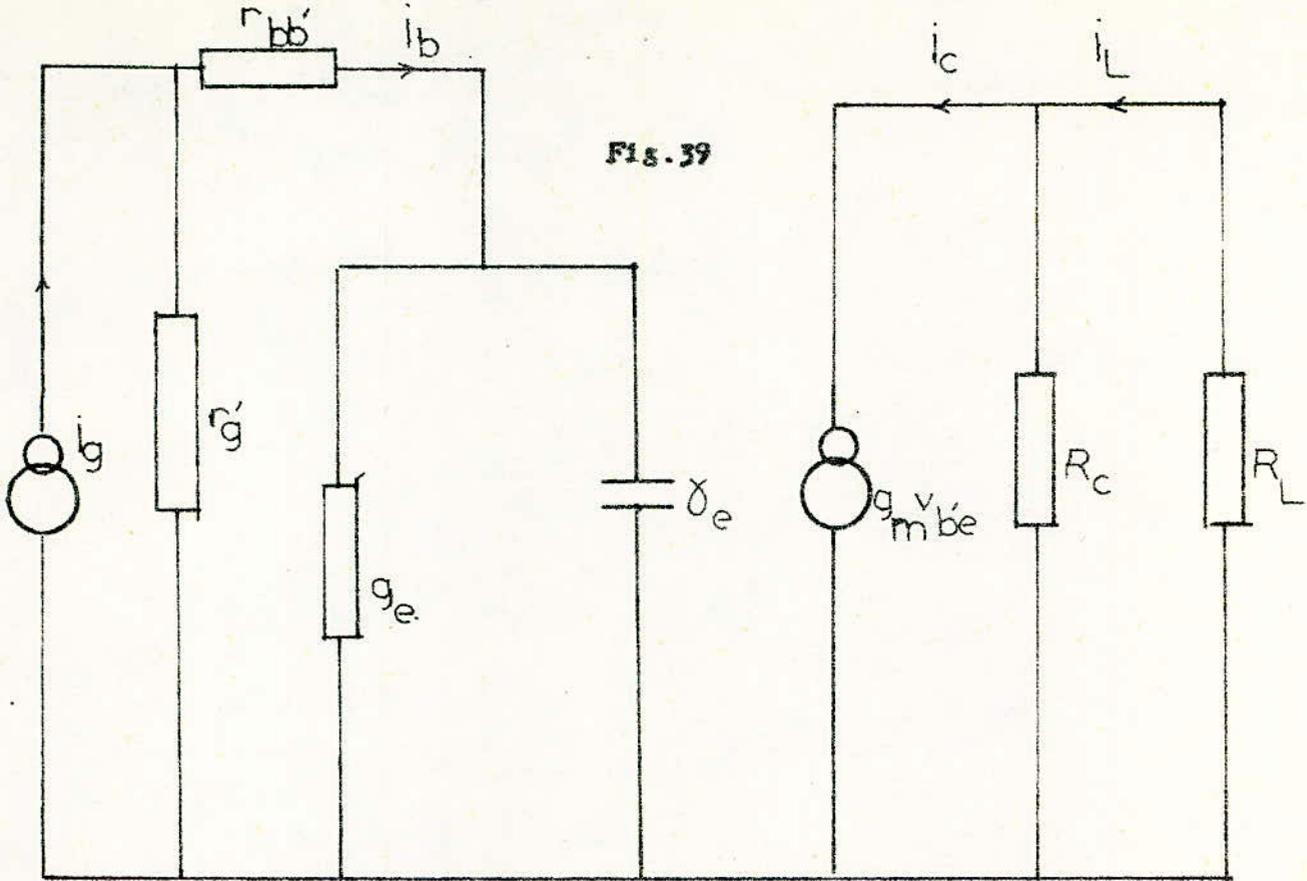
Détermination de  $R_c$

De l'expression du coefficient de stabilité

$$S = \frac{R_e + R_b}{R_e + R_b(1-\alpha_o)}$$

on tire ;  $R_e = 1,5 \text{ K}$  d'où ;  $R_c = 6,9 \text{ K}$

Le schéma de l'amplificateur ainsi déterminé est représenté



par la Fig.

Etude en alternatif.

Le gain en tension est donné par

$$A_v = - \frac{\beta r_{i2}}{r_{i1} + r_g}$$

$$\beta = 25$$

$$r_g = 1,2 \text{ K}$$

$$r_i = 1,3 \text{ K}$$

$$R_b = 4,1 \text{ K}$$

$$r_{i1}' = \frac{r_{i1} \cdot R_b}{r_{i1} + R_b} = 1 \text{ K}$$

$$r_{i2}' = r_{i1}' // R_b // R_c = 0,85 \text{ K}$$

$$A_v = - 9$$

Détermination de la fréquence de coupure haute :

La fréquence de coupure haute peut s'exprimer par :

$$f_{ch} = \frac{1 + r_{b'e}/R_g}{1 + R_1'/R_{1c}} \cdot f_g$$

La résistance critique  $R_{1c}$  étant définie par :

$$R_{1c} = \frac{C_{b'e}}{C_{b'c} \cdot g_m}$$

Avec :

$$C_{b'e} = 7 \text{ pF}$$

$$C_{b'c} = 12 \text{ pF}$$

$$g_m = 40 \text{ mA/V}$$

$$g_{b'e} = 700 \mu\text{A/V}$$

$$f_s = 17 \text{ MHz}$$
$$R_1 = R_c / R_1 = 3,5 \text{ K}$$
$$f_{ch} = 3,2 \text{ MHz}$$

La fréquence de coupure ainsi obtenue permet donc à l'amplificateur de passer correctement les impulsions carrées qu'il doit amplifier .

En choisissant  $C = 50 \mu\text{F}$  , on obtient d'après

$$f_2 = 860 \text{ Hz}$$

#### 4.3.1.4. Le redresseur .

Un chopper simple, identique aux choppers d'entrée et qui fonctionne en synchronisme avec eux, permet la restitution de la composante continue, grâce à une capacité de quelques  $\mu\text{F}$  qui se décharge dans une résistance.

N.B. Dans la réalisation pratique, on utilise pour l'amplification de  $e_1$  et  $e_2$  respectivement des amplificateurs ayant pour gains 9 et 90. Le premier comportera deux étages, le second n'en comportera qu'un seul. Le transistor utilisé pour cette amplification est le 2N 388. Les caractéristiques des transistors 2N 1711 et 2N 388 sont données en ce chapitre.

La valeur théorique du coefficient  $C$  de la formule  $U = C.P$  sera alors :

$$C = k k' k'' G_1 G_2 = 5,1 \text{ W/V}$$

#### 4.3.2 LE multiplicateur

Il existe une grande variété de multiplicateurs électroniques analogiques.

Les principaux utilisent soit des générateurs de fonctions quadratiques (paraboliques) soit des générateurs de fonctions logarithmiques.

Les multiplicateurs utilisant des générateurs de fonctions paraboliques, réalisent le produit de deux tensions  $x$  et  $y$  à partir de l'égalité :

$$xy = \frac{1}{4} (x+y)^2 - (x-y)^2$$

Il s'agit donc d'obtenir les tensions  $(x+y)$  et  $(x-y)$  à la sortie de deux sommateurs, puis de les appliquer à l'entrée de deux générateurs de fonctions paraboliques pour obtenir les tensions  $(x+y)^2$  et  $(x-y)^2$ .

Le schéma synoptique de ce multiplicateur est représenté à la (fig. 41)

- L'utilisation des générateurs de fonctions logarithmiques pour la multiplication de deux tensions  $x$  et  $y$  consiste à obtenir les logarithmes de chacune des tensions  $\text{Log}x$  et  $\text{Log}y$  au moyen de circuits logarithmiques puis faire la somme  $\text{log}x$  et  $\text{log}y$  au moyen d'un sommateur; on obtient  $xy$  en faisant anti-log  $(\text{log}x + \text{log}y)$  comme le montre la (figure 42)

##### 4.3.2.1 Présentation du multiplicateur adopté

Le multiplicateur adopté est le MC 1495L dont les caractéristiques et les spécifications d'utilisation sont données par les notes d'applications Motorola.

Il est du type analogique et est indiqué pour des usages où la sortie est un produit linéaire de deux tensions d'entrée.

Son principe de fonctionnement est basé sur la variation de la transe conductance d'un amplificateur par une tension d'entrée l'autre tension étant appliquée directement sur l'entrée de l'amplificateur. Ce multiplicateur réalise le produit  $P$  des tensions d'entrée  $X$  et  $Y$  à un facteur d'échelle près  $K$  qu'on peut ajuster à la valeur  $1/4$ .

Précisons spécialement qu'il présente :

- une excellente linéarité: 2% d'erreur maximale à l'entrée  $X$   
4% " " "  $Y$
- une excellente stabilité vis à vis de la température
- une bande passante à - 3dB de l'ordre de 1 MHz
- des entrées pour compenser la tension de décalage aux entrées  $X$  et  $Y$  et à la sortie.

Le schéma de ce multiplicateur est représenté à la (figure.43)

Multiplicateurs

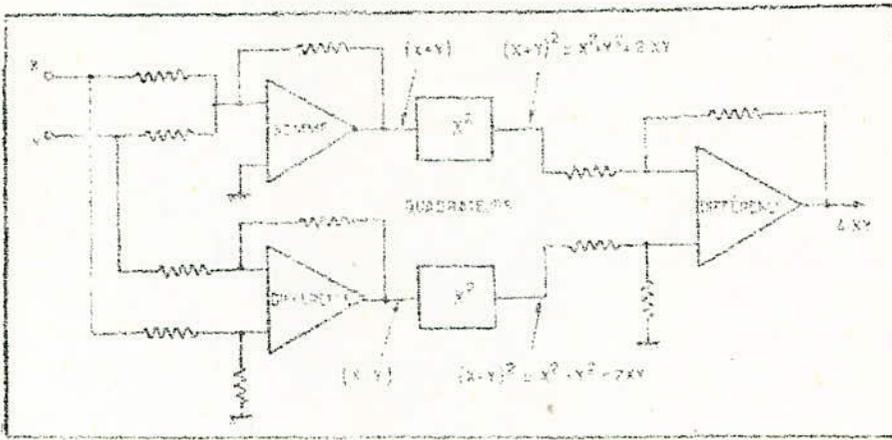


Fig.41

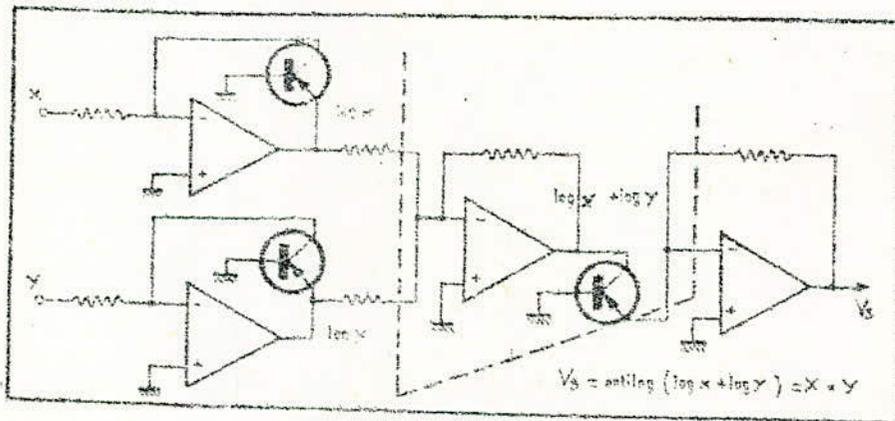
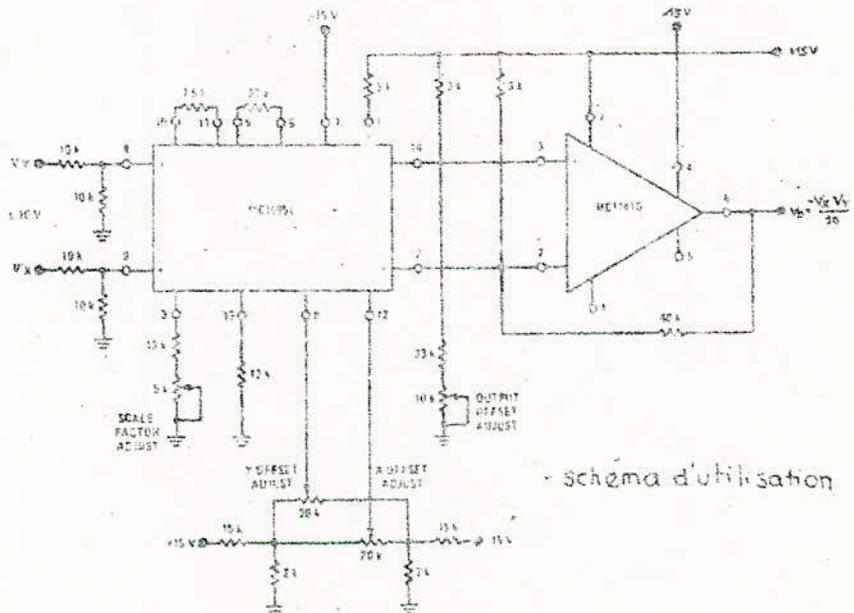
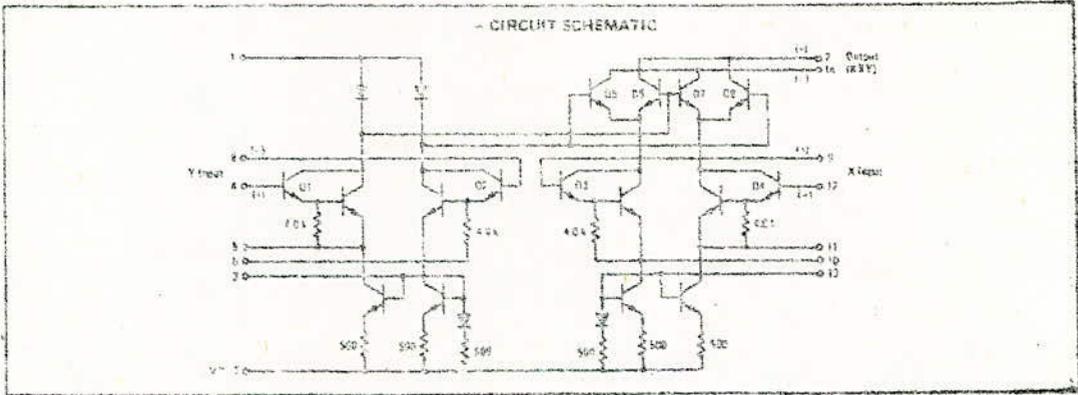
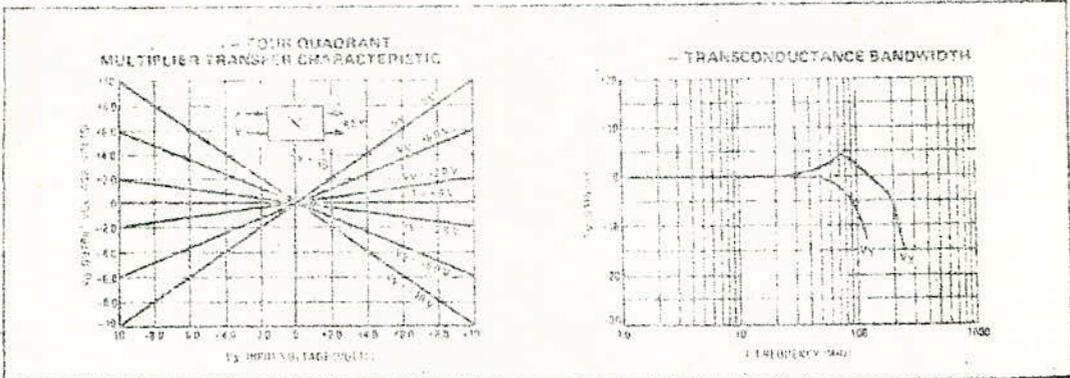


Fig.42

# MC1495L MULTIPLIER



schema d'utilisation

fig.43

CHAPITRE 5.  
oooooooooooooooo

MISE AU POINT DU SYSTEME ASSERVI AJUSTANT LA PUISSANCE P<sub>opt</sub>.

5.1. Principe de fonctionnement

Le but recherché par la régulation extrémale, consiste à maintenir la grandeur de sortie à sa valeur maximale (ou minimale) lorsque la grandeur d'entrée est soumise à des variations.

La puissance débitée par une photopile dépend d'une part, de l'éclairement auquel elle est soumise, d'autre part, de la résistance de charge dans laquelle elle débite. Il faut donc mettre au point un dispositif qui fixe automatiquement la puissance à sa plus haute valeur et ce, quelque soient les variations de l'éclairement et de la charge. La figure représente le schéma d'un tel système.

La tension  $U=CP$ , prise à la sortie du multiplicateur, est appliquée aux bornes du condensateur  $C_1$ , placé en parallèle avec un autre condensateur  $C_2$ , lui-même monté en série avec une diode  $D$ .

Dans la phase de croissance de la puissance, un courant traverse la diode. Le condensateur  $C_2$  se charge à travers la résistance directe (faible) de la diode. On a alors :

$$U = U_2 + v$$

Où  $v$  est la faible tension aux bornes de la diode, et  $U_2$  celle aux bornes de  $C_2$ . Après amplification,  $v$  devient :

$$\dot{v} = A.v$$

est l'état logique 1 (logique positive) à cette tension.

A la sortie de l'inverseur I on se trouve donc à l'état 0, soit une tension nulle à l'entrée du dérivateur. Le bistable conserve son état précédent laissant, de ce fait, le moteur tourner dans le sens de la croissance de la résistance de charge.

Une fois la valeur maximale de la puissance dépassée, U commence alors à décroître. A un certain moment,  $U_2$  (tension mémorisée) devient alors supérieure à U.  $C_2$  a alors tendance à se décharger à travers la résistance inverse de la diode, de valeur très grande.

Le courant circulant dans la diode est pratiquement nul. On a :

$$v = 0 \implies v' = 0$$

Le bistable reçoit donc une impulsion du dérivateur et fait changer le sens de rotation du moteur. La charge  $R_c$  commence à décroître, faisant ainsi augmenter la puissance. Et le même processus se répète.

## 5.2. Choix des différents éléments.

### 5.2.1. Organe de mémoire.

Les capacités  $C_1$  et  $C_2$  doivent avoir une tension de charge supérieure à 12 V.  $C_2$  ne doit pas, en plus, avoir une valeur trop grande pour que le temps de charge soit réduit. On choisit alors  $C_1$  et  $C_2$  telles que :

$$C_1 = 20 \text{ F} \quad ; \quad C_2 = 2,2 \text{ F}$$

La tension aux bornes de la diode est de l'ordre de 0,2 V. Sachant que la tension à la sortie de l'amplificateur est fixée à 4 V, le gain de l'amplificateur est donc :

$$A = \frac{4}{0,2} = 20$$

5.2.2. L'inverseur.

C'est un simple transistor NPN fonctionnant en régime de commutation. (Fig. 44)

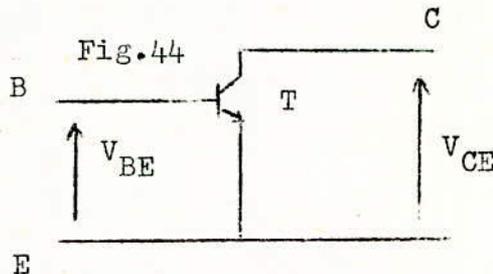
Le transistor possède alors deux états, bloqué et saturé, correspondant respectivement à un circuit ouvert ou à un court-circuit et dont les équations simplifiées sont :

-Transistor NPN bloqué.

On a :

$$I_B = 0, \quad V_{BE} < 0$$

$$I_C \approx 0, \quad V_{CE} < 0$$



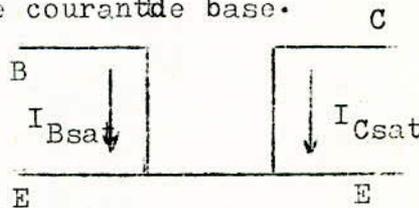
Le schéma équivalent approché correspond à un circuit ouvert.

-Transistor NPN saturé.

Dire que le transistor est saturé, c'est dire qu'il est conducteur, que sa tension  $V_{CE}$  est devenue très faible et que le courant  $I_{Csat}$  n'est plus commandé par le courant de base.

$$I_B > 0, \quad V_{BE} \approx 0$$

$$I_C < \beta I_B, \quad V_{CE} \approx 0$$



Le transistor se comporte comme un court-circuit.

On prend  $R_{ci} = 3 \text{ K}\Omega$   $r_b = 1 \text{ K}\Omega$

La résistance  $r$  permet la limitation du courant dans le circuit de base. La tension de polarisation du transistor est  $E = 8 \text{ V}$ .

5.2.3. Le dérivateur.

Son rôle se limite à l'envoi d'impulsions de basculement

au bistable .L'écart entre ces impulsions est pratiquement égal à la durée du passage de la tension de  $+V_{cc}$  à  $-V_{cc}$ . Ce temps d'oscillation  $t_o$  ( $t_o = t_m + t_d$ ) est de quelques secondes. On peut donc choisir la constante de temps du dérivateur:

$$R_d \cdot C_d = 50 \text{ ms.}$$

Ce qui donne :

$$R_d = 100 \text{ K} , \quad C_d = 500 \text{ nF.}$$

#### 5.2.4. Le bistable.

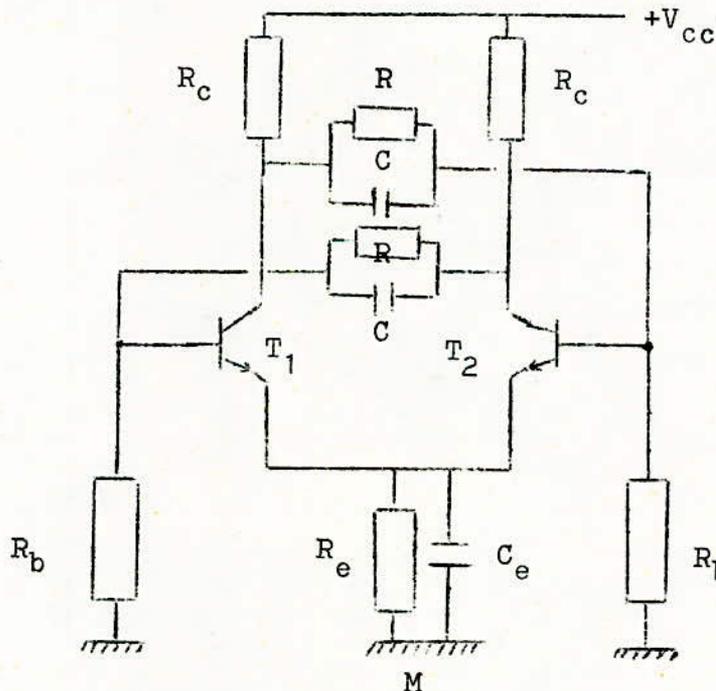


Fig. 45

La figure ci-dessus représente le bistable qui sert à alimenter le moteur. Lorsque le transistor est saturé, le potentiel de son collecteur est  $V_{Re} + V_{CEsat}$ . Lorsqu'il est bloqué, le potentiel

de tension aux bornes de la résistance  $R_c$ , due d'une part au courant  $I_{CBO}$  et d'autre part au courant traversant la résistance  $R$ .

La chute de tension  $R_c \cdot I_{CBO}$  est considérée comme négligeable.

D'autre part, le courant qui traverse  $R$  est égal à :

$$I_R = \frac{V_{CC}}{R_c + R + R'}$$

$R$  étant en général grand devant  $R_c$ ; la chute de tension aux bornes de  $R_c$  (due à ce courant) est faible devant  $V_{CCE}$ . On pourra admettre qu'elle est inférieure à  $V_{CCE}/15$ .

La tension de sortie  $V_s$  est donc :

$$V_s = V_{CC} - V_{Re} - V_{CE\ sat} - V_{Rc}$$

On peut donc en première approximation écrire que :

$$V_{CC} = V_s + V_{Re}$$

Connaissant  $V_s$  et  $V_{Re}$  on détermine donc la tension de polarisation. Les points de saturation et de blocage sont déterminés par les de charge qui dépendent de  $R$  et de  $R_b$ .

La résistance  $R_e$  est donnée par :

$$R_e = \frac{V_{Re}}{I_{CE\ sat}}$$

Les conditions de saturation et de blocage permettent de tracer les courbes  $(R_b)_{\max} = f(R)$  et  $(R_b)_{\min} = g(R)$  sur un même graphique où apparait une région pour laquelle les couples de valeurs  $(R, R_b)$  répondent à la fois aux deux conditions de fonctionnement. Il suffit de choisir alors  $R$  et  $R_b$  dans cette région.

-Condition de blocage (transistor NPN)

$$V_{BE} \ll (V_{BE})_{\text{blocage}} \quad R_b \ll \frac{(V_{BE})_b + V_{Re}}{\frac{(V_{CE})_s - (V_{BE})_b}{R} + I_{CBO}}$$

-Condition de saturation.

$$V_{BE} \gg (V_{BE})_s \quad R_b \gg \frac{(R + R_c)(V_{BE \text{ sat}} + V_{Re})}{V_{CC} - V_{Re} - V_{BE \text{ sat}} - R_c \cdot I_{CBO}}$$

Pour la mesure de  $C_e$ , on sait que le temps de montée le plus faible est obtenu pour :

$$C = \frac{1}{R_b \cdot W}$$

La capacité  $C_e$  découplant  $R_e$  s'évaluera de manière à empêcher la variation de  $V_{Re}$  lors du basculement.

Les valeurs suivantes conviennent:

$V_s$	$V_{CC}$	$R_c$	$R_e$	$R_b$	$R$	$C$	$C_e$	$t_r$	$f$	$I_{CBO}$
7 V	10 V	1 K	300 $\Omega$	50 K	10 K	2 nF	1 $\mu$ F	2 $\mu$ s	10 K	5 $\mu$ A

La condition de blocage peut être faussée si  $I_{CBO}$  varie assez sensiblement. C'est pour cette raison qu'on a choisi le milieu de l'intervalle dans lequel les valeurs de  $R$  et  $R_b$  vérifient les deux conditions précédentes.

On peut obtenir le basculement de deux manières :

- En envoyant une impulsion positive sur les deux bases
- En s'arrangeant pour que l'impulsion positive soit acheminée directement à la base du transistor bloqué et ce,

à l'aide du dispositif de la figure 46.

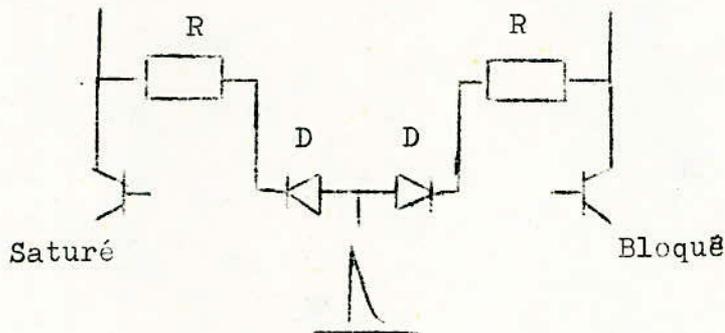


Fig.46.

### 5.2.5. Le moteur.

Le moteur ne commande pas directement la charge. Cette opération se fait par l'intermédiaire d'un réducteur de rapport  $n$ .

Les paramètres qui entrent en jeu pour la détermination de cette partie du système sont :

- $w_m$  : vitesse angulaire du moteur
- $w_p$  : vitesse angulaire du potentiomètre
- $n = \frac{w_p}{w_m}$  : rapport du réducteur
- $t_o = t_r$  : temps nécessaire au moteur pour changer complètement de sens.

- $R$  : résistance totale du potentiomètre de charge.

- $\theta_p$  : angle de rotation maximal du potentiomètre.

- $t_m$  : temps au bout duquel  $R_{copt}$  est atteinte.

$t_o$  étant le temps nécessaire pour que le moteur change de sens, l'erreur sur la résistance optimale est :

$$\Delta R = \frac{nw_m t_o R_p}{\theta_p} = t_o \cdot \frac{w_p}{\theta_p / R_p}$$

Le temps  $t_m$  est alors donné par :

$$t_m = R_c \text{ opt} \cdot \frac{\theta_p}{R_p} \frac{1}{w_p}$$

On remarque que :

$$\Delta R \cdot t_m = R_c \text{ opt} \cdot t_o$$

Cette relation montre que  $\Delta R$  et  $t_m$  sont inversement proportionnels. En d'autres termes, si l'on veut obtenir une mesure rapide, la précision de cette mesure se trouve diminuée d'autant. Si l'on veut obtenir de bonnes performances simultanément sur la précision et sur la rapidité, il faut réduire, autant que possible, le temps  $t_o$ .

A.N.  $t_o = 10 \text{ s}$  ,  $R_c \text{ opt} = 20 \Omega$  ,  $t_m = 5 \text{ s}$

Alors :

$$\Delta R = 0,04 \Omega$$

Détermination de  $w_p$ ,  $w_m$  et  $n$ .

$$w_p = \frac{\theta_p}{R_p} \frac{R_c \text{ opt}}{t_m}$$

$R_p = 100 \Omega$ ,  $\theta_p = 10 \pi$  ,  $t_m = 5 \text{ s}$

Alors :

$$w_p = 0,2 \text{ tr/s}$$

On choisit un moteur fonctionnant sous une tension de 7 V, et dont la vitesse est 60 tr/min ou encore 1 tr/s. On a alors :

$$n = \frac{w_p}{w_m} = \frac{0,2}{1} = \frac{1}{5}$$

=====

## CONCLUSION

En conclusion, nous pouvons dire que malgré les difficultés de conception et de disponibilité de matériel, la réalisation d'un banc de mesure pour photopiles, basée sur la présente étude est dorénavant du domaine du possible.

Pour ce faire, il convient avant tout de mettre à la disposition du département, le matériel nécessaire (multiplicateur, moteur, potentiomètre à plusieurs tours etc...)

De plus certaines parties du dispositifs peuvent bénéficier d'une amélioration. On peut citer essentiellement la mesure de la puissance optimale d'une photopile; cette opération comporte en effet des difficultés car la résistance optimale est dans certain cas très faible et est presque de l'ordre de la résistance du filament du thermocouple.

Il est aussi nécessaire de se pencher sur l'étude de la stabilité du système afin de déterminer la précision des mesures.

Cette précision essentiellement de la dernière partie du circuit ( bistable, moteur, potentiometre)

Cette étude marque un pas vers la réalisation du dispositif.

Nous avons grand espoir que les prochains étudiants puissent achever ce travail.



Notons<sup>1</sup> simplement que cette caractéristique diffère selon l'éclairement et la température.

### I.3. Schéma dynamique équivalent d'une photopile.

Ce schéma est représenté par la figure (48)

#### I.3.1. Résistance série $R_s$ .

Elle est due aux contacts des électrodes avec le semi-conducteur et à la résistance intérieure homogène de celui-ci. La puissance optimale est conditionnée par cette résistance série qui modifie donc la caractéristique (I-V) de la photopile de manière à diminuer le produit  $V_m \cdot I_m$ . Cette résistance diminue à l'éclairement et augmente avec la température.

#### I.3.2. Résistance parallèle $R_p$

La cause principale de l'existence de cette résistance est liée aux effets de surface de la cellule. En effet, si la surface du matériau utilisé n'est pas parfaite (existence de fissures), elle devient alors le siège de phénomènes physiques assimilables à une résistance. Au niveau de la jonction, le phénomène est nuisible. Notons que cette résistance a tendance à augmenter quand la cellule fonctionne sous rayonnement.

#### I.3.3. Capacité de la jonction.

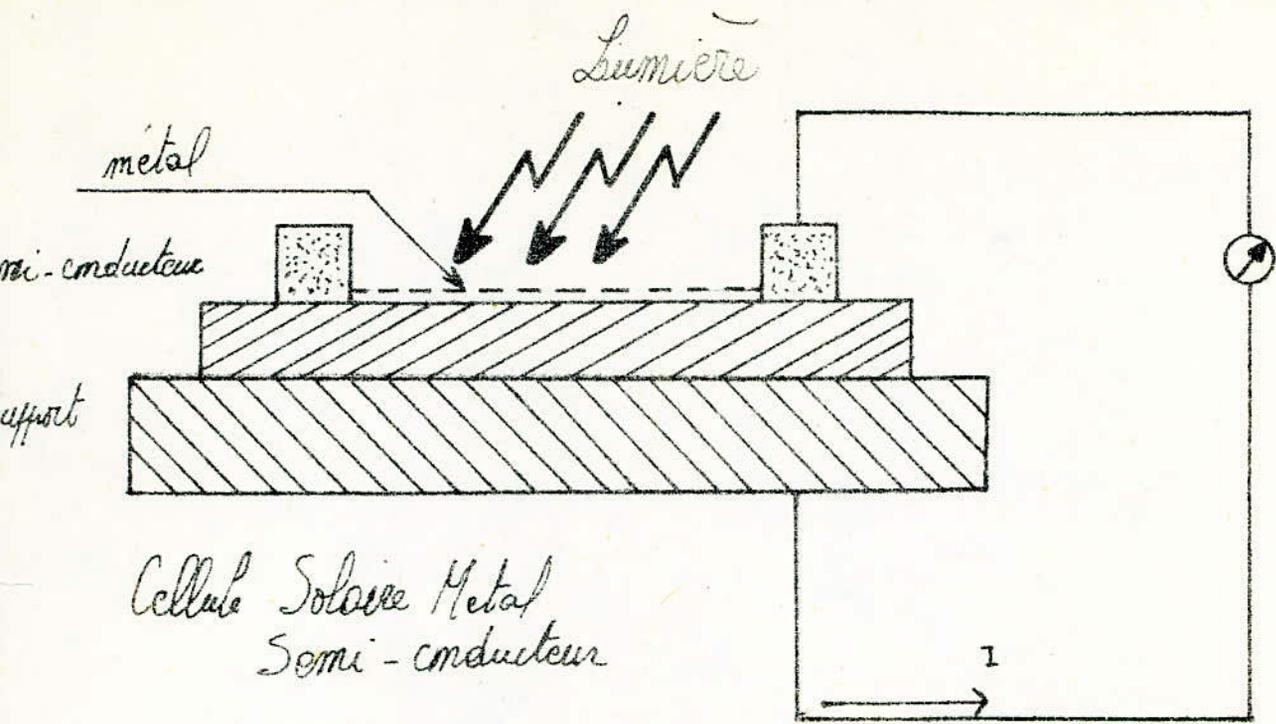
Son influence intervient quand la cellule travaille au signaux variables. La valeur de la capacité dépend de l'injection des photons. Pour une cellule au silicium de surface  $1/3 \text{ cm}^2$ , elle est égale à 12.000 pF.

#### I.3.4. Conditions optimales de fonctionnement.

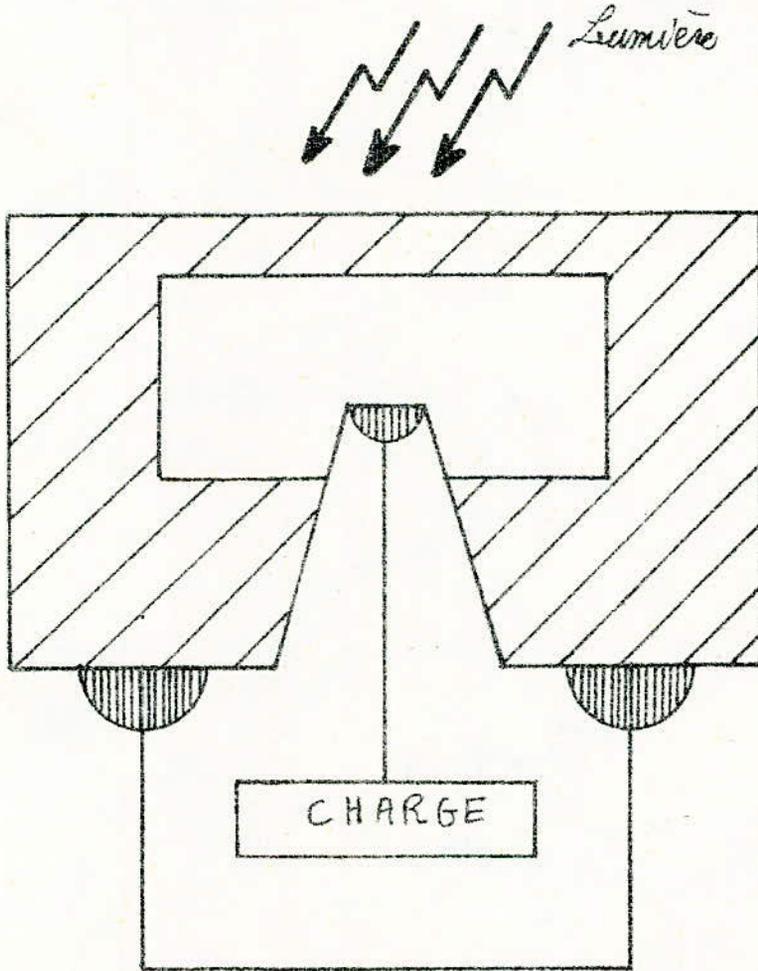
Ces conditions sont réalisées quand la cellule fournit le maximum de puissance à la charge. Il existe un point sur la caractéristique (I-V) qui répond à ces conditions. Les coordonnées du point de puissance optimale  $P_1$  sont  $V_L$  et  $I_1$ .

$$P_1 = V_1 \cdot I_1$$

Cette puissance est représenté par l'aire du rectangle hachuré sur la (Fig.49) . Le point de fonctionnement optimal  $P_1$  est une obtenue pour une résistance de charge optimale  $R_{c_{opt}}$ .



Cellule Solaire Metal  
Semi-conducteur



Cellule Solaire à jonction PN

Fig 47

# Schéma équivalent d'une photopile

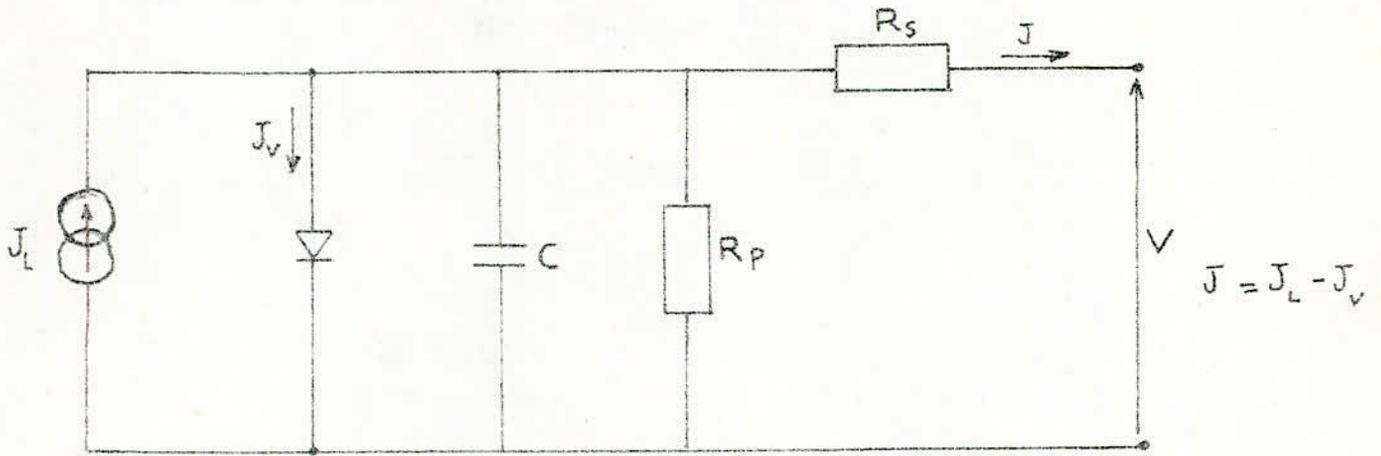


fig 48

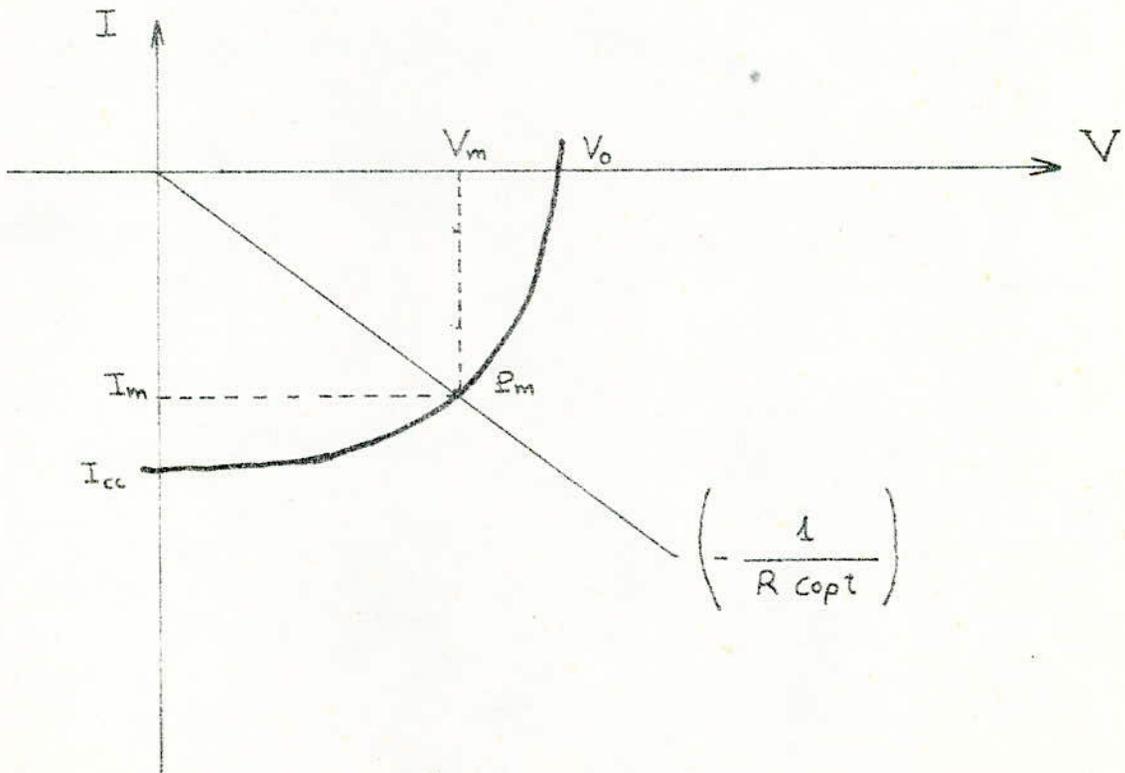


fig 49

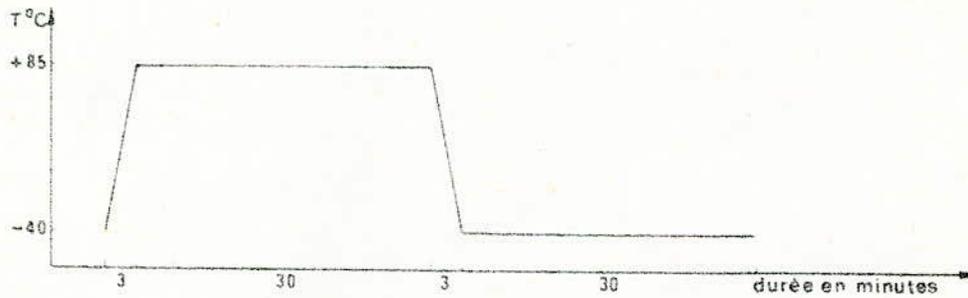
# Tenue aux conditions climatiques

Le BPX 47 A répond aux essais de la norme I.E.C. 68.

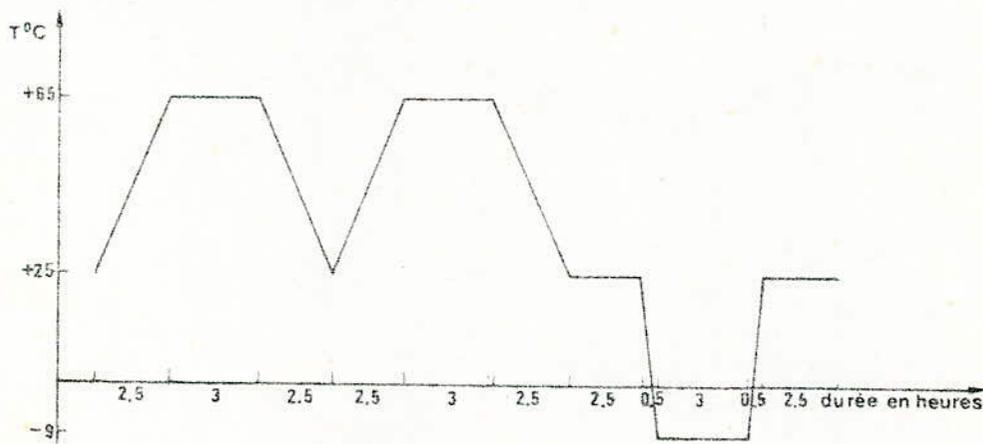
PUBLICATION	ESSAIS	CONDITIONS
Tenue aux essais thermiques		
2-1 essai A	· stockage	16 h à -40 °C
2-14 essai Na	· variation rapide de température	10 cycles -40 °C - 85 °C
2-2 essai B interne	· stockage	16 h à +85 °C
2-38 essai Z/AD	· glacage avec pellicule d'eau	16 h à -40 °C
2-11 essai Ka	Résistance à l'humidité	10 cycles +25 °C, +65 °C, -9 °C
	Brouillard salin	48 h à 35 °C
	Vent	Pression équivalente à 280 km/h
Norme AIR 7303	Vent de sable sur verre de protection	

## Diagramme d'un cycle

2-14 essai Na - Variation rapide de température

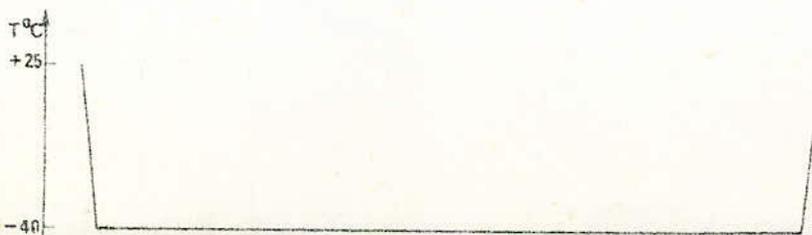


2-38 essai Z/AD - Résistance à l'humidité (humidité relative 95 %)



interne

Glacage



ANNEXE II.  
○○○○○○○○○○○○○○○○

MESURES SUR LES PHOTOPILES.

II.I. Présentation des différentes mesures.

Diverses mesures ayant trait à la photopile sont relativement possibles. Les unes, sortant du cadre de l'utilisation pratique des cellules photovoltaïques sont plutôt des mesures physiques théoriques, tenant compte de quantifications plus détaillées, touchent l'aspect subjectif du phénomène.

D'autres, sont liées à l'amélioration directe des performances des cellules, schématisent globalement, et selon le besoin, le phénomène, mais de façon plus objective. Elles doivent enchaîner l'étape de fabrication.

Enfin, restent les "mesures nommées de terrain", liées à la fiabilité et éventuellement au contrôle lors de l'utilisation.

II.I.I. Les mesures physiques .

II.I.I.I. La mobilité.

A l'étape primaire de fabrication et de conception, un élément déterminant pour l'obtention d'un rendement acceptable est le choix de la forme du cristal. On sait par exemple que le Se à l'état amorphe, n'est guère utilisé ici, et doit être transformé en structure cristalline hexagonal adéquate, qui sera sa forme optimale.

Par ailleurs, on sait que le degré d'impureté lors du dopage est assez précis (substrat, couche épitaxiale relative....).

On est donc mené à faire une étude physique du solide et de cristallographie, liée intrinsèquement au comportement du semi-conducteur de nos cellules.

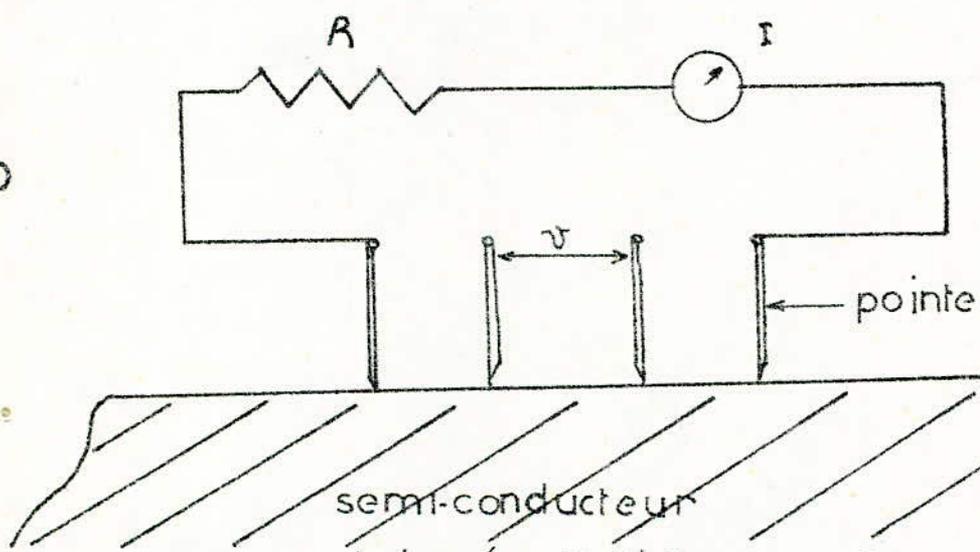
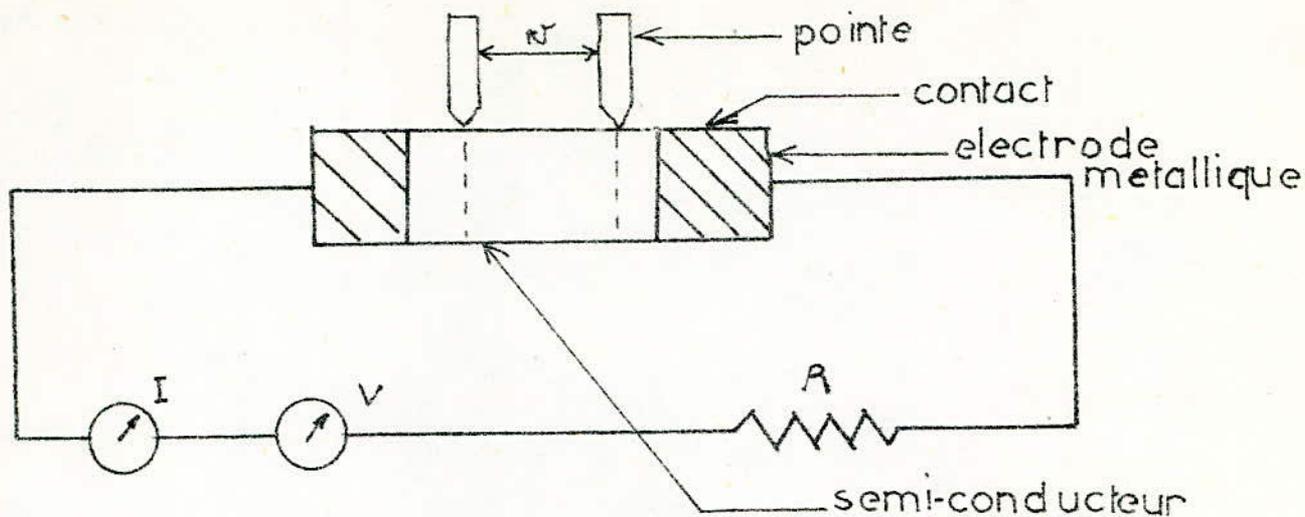
Dans un métal ou un semi-conducteur qu'on introduit dans un champ magnétique perpendiculaire à la direction d'un courant traversant le matériau, il apparaît un champ électrique transversal donc une d.d.p. Les électrons animés de la vitesse  $V$  sont déviés sous l'action de la force de Lorentz :  $F = q \cdot V \wedge B$ . On utilise ce phénomène pour étudier la mobilité du semi-conducteur tel que le CdS par exemple, liée à la structure cristalline et au dopage.

#### II.I.12. La résistivité.

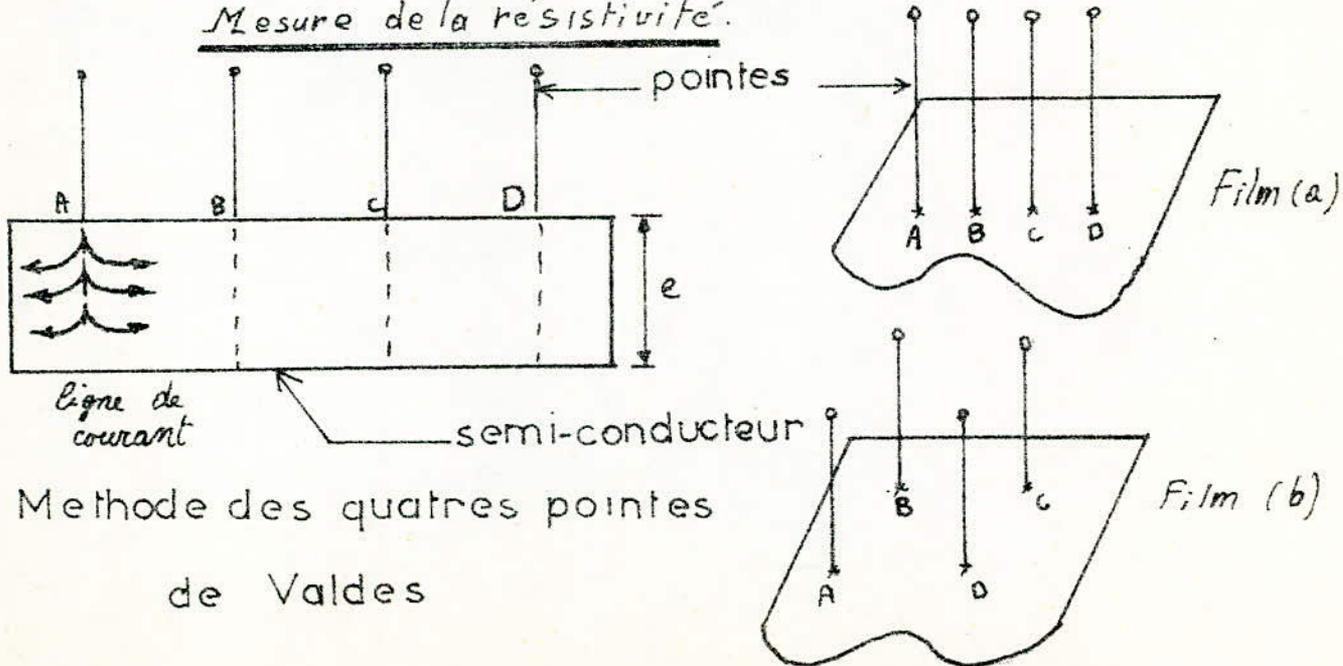
Celle-ci, pour le matériau du type N ou P de la photopile, est mesurée par la méthode des quatrespôintes.

La mesure habituelle de la tension et du courant d'un barreau de semi-conducteur pour la détermination de sa résistance n'est pas facile. En effet, les contacts entre les électrodes métalliques et le barreau ne sont des contacts ohmiques et révèlent des propriétés électriques différentes de celles des contacts de deux métaux.

Dans le but de mesurer correctement la résistivité d'un semi-conducteur homogène, on procède à la réalisation de deux contacts métalliques aux deux extrémités du barreau, par simple pression, par exemple. Ces deux contacts, souvent dissymétriques, peuvent être ohmiques, et permettent de donner naissance à un courant  $I$ , qui traversera le semi-conducteur. Sur une des faces latérales du barreau on pose deux pointes métalliques (Fig. 50) distantes l'une de l'autre



Mesure de la resistivite.



Methode des quatres pointes  
 de Valdes

de l'écart  $d$ . Que le contact entre les pointes et le semi-conducteur soit ohmique ou pas, la différence de potentiel existant entre ces deux pointes est identique à celle qui s'est développée entre les deux sections du barreau distantes de  $d$  mais mesurée par la méthode du zéro; la nature des pointes n'intervenant pas, on déduit la résistivité du semi-conducteur par la connaissance de sa géométrie et des valeurs de  $I$  et  $V$ .

#### Méthode des quatre pointes de VALDES

Une méthode plus rapide et plus simple pour la recherche de la résistivité du semi-conducteur, et reposant sur le même principe, décrite ci-dessus utilise quatre pointes fines

On affecte deux d'entre elles à la mesure du courant et les deux autres à la tension. On procède au contact par l'utilisation d'un système mécanique qui appuyera les quatre pointes, par pression réglable et reproductible, sur la face du barreau du semi-conducteur.

Celui-ci se présentant sous de pastilles minces pour les photopiles au silicium, ou sous forme de couches très minces (5 à 20  $\mu$ ) telles que les cellules au  $\text{CdS}$ .

#### II.I.I.3. Epaisseur de la jonction.

Plus la zone de charge d'espace est large, et moins l'effet photoélectrique est affecté. D'où l'intérêt de la mesure de cette épaisseur. Dans ce but, on dispose en premier lieu d'une cellule photoélectrique finie. On la scinde en deux, suivant un angle quelconque.

La cellule est ensuite soumise à un produit chimique spécial qui aura la propriété de déposer beaucoup plus sur la zone N que P du semi-conducteur. On détermine alors, à l'aide d'un microscope électronique l'épaisseur de la jonction, connaissant la valeur  $\alpha$ . Ceci nous oblige de procéder par distribution.

#### II.I.I.4. Mesure des paramètres C, L, S.

La recherche de la durée de recombinaison  $t$  et du coefficient  $L$  (longueur de diffusion), a attiré à des mesures théoriques, qui n'auront aucun intérêt dans la performance. Quant à la mesure de la vitesse de recombinaison  $S$  des particules, elle offre beaucoup de difficultés.

#### II.I.2. Les mesures de fabrication.

Le facteur le plus important sur lequel on soulève les discussions dans l'utilisation d'une photopile fabriquée, est le rendement. Celui-ci est imposé par la résistance  $R_s$  série et par l'éclairement  $E$ .

La charge optimale est :  $R_{c_{opt.}} = V_1 / I_1$

Le facteur de forme est :  $F = V_1 \cdot I_1 / I_{cc} \cdot V_0$

Où  $I$  est le courant lumière,  $V_0$  la tension à vide aux bornes de la photopile

En mesurant par une méthode appropriée  $F$ , on en déduit les qualités de notre photopile pour des valeurs de ce facteur se rapprochant de l'unité.  $F$  étant lié à  $R_s$ , est donné par la puissance optimale  $P_1 = V_1 \cdot I_1$

### II.1.2.1. Le coefficient d'absorption.

L'importance de la mesure du coefficient de réflexion n'est pas négligeable surtout pour des photopiles à couches non minces. Plus l'absorption est grande et plus le rendement photo-  
niquique (quantique) croît. Seulement ce type de mesure sort du cadre de notre travail, s'intégrant dans le domaine des expériences d'optique.

### II.1.2.2. Etalonnage et fiabilité.

Afin d'obtenir des puissances d'utilisation valables (100 W pour 1 m<sup>2</sup> de surface), on superpose des photocellules identiques dans des panneaux solaires. On envisage alors, la fabrication en série. Chaque cellule doit subir un test de sélection. On est donc amené à concevoir une cellule étalon qui servira de référence lors du contrôle.

### II.1.2.3. La cellule étalon.

La fabrication d'une telle cellule dépendra du type de matériau qui la compose. La photopile étalon au CdS n'est pas très stable, alors que celle au Si a, au contraire, peu de dérive. Ce type de dérive propre est dû essentiellement à la température. La cellule référence au Si, présente des fluctuations en début de fonctionnement, puis demeure stable pendant une douzaine d'années, puis reprend la dérive. On est donc obligé de procéder à un contrôle sous température constante réglée.

ANNEXE III

RAPPORT SUR LES PROSPECTIVES DES  
PHOTOPILES SOLAIRES

Présenté par M<sup>r</sup> A. ADANE  
Docteur Ingénieur à l' E.N.P.

## PROSPECTIVES SUR LES PHOTOPILES SOLAIRES

### 1 - Introduction.

Ce rapport est la présentation sommaire d'un programme de recherche sur les photopiles solaires. Son but est de mettre l'accent sur l'opportunité de créer un laboratoire ou un groupe de laboratoires, dont le rôle serait de fabriquer des convertisseurs photovoltaïques et de les appliquer aux besoins en énergie électrique.

Rappelons que, lors du premier séminaire national sur l'énergie solaire, l'avenir des centrales solaires avait été largement discuté. Durant ce fructueux débat, il est apparu que l'électrification de régions suffisamment ensoleillées, pourrait être rentabilisée par une répartition convenable de petites centrales à conversion photovoltaïque. En effet, ces dernières étant disposées près des points d'utilisation, on ferait, ainsi, l'économie des lignes électriques et des pylones. En outre, de telles sources d'énergie électrique nécessitent peu de frais d'entretien et le flux solaire est gratuit. Mais, les photopiles actuelles sont chères. Aussi, un bon moyen de diminuer le coût de ces composants, consisterait à faire proliférer les microcentrales à conversion photovoltaïque. Notons, par ailleurs, que la fiabilité des photopiles est, en général, assez grande. Les équipements pourraient, donc, être renouvelés au bout d'un temps suffisant pour qu'une économie dans les investissements soit réalisée. Un autre paramètre fondamental est le rendement de conversion qui, aujourd'hui, ne dépasse pas 14%. Théoriquement, la valeur maximale qu'on pourrait atteindre, serait de l'ordre de 20%.

L'optimisation des trois facteurs: coût, rendement et fiabilité, permettrait à la conversion photovoltaïque de concurrencer les autres modes de production électrique.

En particulier, le prix de revient trop élevé des photopiles est dû, en grande partie, à la grosse consommation d'énergie en période de fabrication. Aussi, est-on amené à concevoir des procédés de fabrication dissipant le moins d'énergie possible!

Mais, avant de s'attaquer à un tel problème, il faudra, tout d'abord, mettre en place des structures de mesure et d'essai sur les composants photoélectriques et acquérir les techniques classiques relatives à la métallurgie de la matière première, la construction et l'utilisation des photopiles.

Dans l'immédiat, des travaux pourraient débiter simultanément sur les questions posées par la réalisation et l'emploi des photopiles. En effet, les moyens humains et matériels existent, au moins, en partie, au C.S.T.N. et à l'E.N.P.

Par la suite, l'industrialisation des photopiles et la recherche de techniques nouvelles permettront de fabriquer ces composants en grande série et à bon marché. En outre, les convertisseurs photoélectriques devront être conçus de façon que le public puisse les employer sans aucune difficulté. En vulgarisant, ainsi, la photopile, on pourrait contribuer, efficacement, à diminuer son prix.

## 2 - Présentation des projets de recherche possibles.

### 2-1 - Les structures de mesure.

Dès le début, on doit être capable de reproduire, en laboratoire ou sur le terrain, toutes les manipulations habituellement faites sur la photopile.

Dans presque tous les cas, on aura à effectuer des mesures électriques car, les propriétés les plus importantes de la photopile sont de nature électrique. Ainsi, la puissance optimale débitée et le rendement de conversion peuvent se déduire du tracé des courbes courant - tension en fonction de l'éclairement. La résistance série qui est due principalement aux contacts métal-semiconducteur, est l'une des causes fondamentales des pertes de rendement. La capacité de la jonction et sa résistance de fuite caractérisent, respectivement, le genre et la qualité de cette jonction. Les mesures non électriques les plus utiles sont celles de l'analyse cristallographique, de la résistance à la rupture du matériau semiconducteur et du reflet des photopiles.

L'étape suivante consistera à définir, en fonction des résultats de mesure, un schéma équivalent à la photopile. Après, on pourrait essayer d'ajuster, à l'aide de l'informatique, cette représentation, de sorte que ses propriétés soient la réplique fidèle de celles de la photopile.

Par la modélisation, on peut, ainsi, sélectionner les paramètres caractéristiques qui peuvent être optimisés. Ensuite, pour appliquer, effectivement, les résultats de cette optimisation, à la photopile, il suffira de régler de tels paramètres à l'aide d'expériences appropriées de physique fondamentale.

### 2-2 - La métallurgie de la matière première semiconductrice.

Les matériaux semiconducteurs qui semblent, actuellement, donner de bons résultats sont: le silicium, le sulfure de cadmium et l'arséniure de gallium.

Les cristaux semiconducteurs doivent être très purs et dépourvus de défauts, afin que les porteurs de charge puissent être diffusés à grande distance et contribuer, ainsi, à l'amélioration du rendement des photopiles.

L'industrie chimique peut fournir des semiconducteurs purs à 99,99% près. Par des méthodes de raffinage chimique et de fusion de zone, on peut obtenir des puretés de l'ordre de  $10^{-10}$  (la pureté d'un semiconducteur pouvant être déterminée par la mesure de sa résistivité). Ensuite, on effectue un premier dopage, par alliage, avec des impuretés bien choisies et on procède au tirage de monocristaux, à partir d'une zone fondue.

Le Service "Cristaux et Couches Minces" du C.S.T.N. a acquis une certaine maîtrise des techniques de purification de l'anthracène, par fusion de zone. Cette structure est, donc, favorable pour produire des semiconducteurs purs et convenablement dopés. Mais, les semiconducteurs employés dans les photopiles posent des problèmes technologiques différents car, ils sont moins fusibles que l'anthracène. On pourrait se demander si la fabrication des photopiles ne serait pas plus rentable au sein du complexe électronique de la SONELEC (Sidi Bel Abbès). En effet, celui-ci doit alimenter, bientôt, le marché

national en composants électroniques tels que les transistors ou les diodes au silicium. Mais, du point de vue des caractéristiques physiques et électriques, les cellules photovoltaïques au silicium utilisent un substrat différent de celui qui sert à réaliser les autres composants semi-conducteurs. En outre, ce complexe est, encore, à l'état de chantier. Aussi, il vaudrait mieux développer l'industrie des capteurs photovoltaïques dans le cadre d'un Laboratoire de Photopiles qui prendrait naissance au sein du Service "Cristaux et Couches Minces". L'un des rôles essentiels de ce laboratoire sera de former des spécialistes. Ensuite, on pourra chercher à améliorer les méthodes de purification, de cristallisation et de découpage du matériau semi-conducteur car, les procédés actuels sont très coûteux. En effet, si on prend l'exemple du silicium, les opérations de purification et formation des monocristaux sont lentes et entraînent une grosse consommation d'énergie. En outre, le tronçonnage du silicium (300  $\mu$  d'épaisseur) fait perdre la moitié de ce matériau.

Pour aboutir à une baisse sensible du prix de revient de la matière première, il faudrait rechercher de nouvelles techniques qui permettrait de minimiser la dissipation d'énergie et la perte de sciage. Dans le même ordre d'idée, on pourrait se demander si l'application des fours solaires à la métallurgie des semi-conducteurs constituerait une solution économique. Pour traiter de telles questions, il faudrait un personnel spécialisé en métallurgie, en chimie minérale, en physique des semi-conducteurs et en économie.

### 2-3 - La fabrication des photopiles.

Après le découpage en rondelles du silicium et le polissage chimique, on peut former, soit des jonctions PN par diffusion d'impuretés en phase gazeuse, soit des jonctions métal-semi-conducteur par évaporation contrôlée sous vide.

Le Service "Cristaux et Couches Minces" est en mesure de fabriquer des photopiles métal-semi-conducteur, à condition d'être approvisionné en rondelles au silicium convenablement dopées. Celles-ci pourraient être achetées auprès de laboratoires spécialisés tels que, par exemple, le L.B.P., en attendant que le silicium puisse être fabriqué par le futur Laboratoire de Photopiles.

Actuellement, les structures en couches minces font l'objet de nombreuses recherches (en particulier, dans les cas du sulfure de cadmium et du silicium polycristallin) car l'incidence économique peut être considérable. Mais, le Service "Cristaux et Couches Minces" possède, maintenant, une grande expérience sur le dépôt, sous vide, de films métalliques ou sur la formation de couches d'oxyde. Ce service pourrait, donc, effectuer des travaux sur les photopiles en couches minces du type M-S (métal-semiconducteur) ou M-O-S (métal-oxyde-semiconducteur).

Pour obtenir de fortes puissances, il faudrait associer un grand nombre de photopiles (une centaine à un millier, pour n'obtenir que 100 W). Aussi, il est indispensable de pouvoir réaliser ces dernières, en grande quantité. En outre, la recherche d'un faible coût des photopiles impose une orientation des travaux vers l'optimisation des procédés de fabrication.

Ainsi, dans le cadre du Laboratoire de Photopiles, faudra-t'il mettre en place, le plus vite possible, des structures de production en grande série des capteurs photovoltaïques!

#### 2-4 - Utilisation des photopiles.

Tout au début de ce rapport, nous avons mis en évidence que le degré d'utilité des photopiles était étroitement lié à l'avenir des microcentrales électrosolaires.

En effet, les besoins du public en électricité vont de l'alimentation de la lampe de poche jusqu'à celle du fer à repasser ou de la machine à laver. Par conséquent, la gamme de consommation pour chaque individu va s'étendre du watt à quelques kilowatts. Or, il existe, en Algérie, des endroits peuplés, ne bénéficiant pas, encore, de l'électrification. Ce sont, justement, des zones à fort ensoleillement, comme les régions désertiques ou montagneuses. Par suite, il serait économique d'associer une microcentrale solaire de quelques kilowatts, à chaque habitation qui serait située en de tels lieux. D'ailleurs, il en résulterait de meilleures conditions sociales pour les populations qui vivent dans ces régions.

Dans le secteur professionnel, des installations comme les liaisons hertziennes ou les signalisations lumineuses, se trouvent le plus souvent éloignées des réseaux de distribution. En outre, elles consomment peu de puissance et sont prévues pour fonctionner durant des années. Toutes ces considérations plaident en faveur de l'emploi de la conversion photovoltaïque, car celle-ci représente, certainement, pour de tels cas, une solution économique.

De même, l'alimentation des équipements portables (radios, téléviseurs, montres, ...) ou des dispositifs mobiles (bateaux, automobiles, satellites, ...) pourrait être rentabilisée par l'utilisation des cellules solaires.

Pour la majorité des applications, les photopiles sont groupées sous forme de panneaux. Et, l'énergie fournie par ces derniers mais, non consommée, est stockée dans des accumulateurs (en général, au plomb). L'électricité emmagasinée est, ainsi, prête à être resservie, lors de la disparition du soleil.

Comme nous venons de le voir, l'impact socio-économique qui peut découler de l'emploi des cellules photovoltaïques, est d'une importance capitale.

Dans l'immédiat, il est, donc, indispensable d'apprendre à se servir des photopiles et d'orienter les recherches vers la réalisation de microcentrales électrosolaires. Ce genre de travail peut se subdiviser en deux axes: la technologie des panneaux et l'étude des systèmes électriques.

La technologie des panneaux consiste à rechercher un assemblage économique et fiable des photopiles.

Dans le cas des applications terrestres, les panneaux doivent être conçus pour résister le plus longtemps possible aux dégradations dues aux phénomènes atmosphériques (actions du vent, de l'humidité, du sable, de la température, ...). En particulier, l'un des effets de la température est son influence sur le rendement de conversion. Pour le silicium, ce dernier décroît rapidement avec l'augmentation de la température et devient mauvais au delà de 70°C. Aussi, l'élimination de cet inconvénient impose le refroidissement des cellules et la régulation de la température ambiante.

D'autre part, le branchement entre photopiles doit être organisé de façon que les éventuels court-circuits ou les possibles coupures internes n'affectent presque pas le bon fonctionnement du panneau. Ce résultat peut être obtenu par l'emploi de montages série-parallèle et de câblages imprimés.

Dans l'étude des systèmes, on cherche à résoudre les problèmes de la régulation, de la distribution et du stockage de l'énergie convertie.

Ainsi, pour un éclairage donné, il existe, sur la caractéristique courant-tension de la photopile, un point pour lequel la puissance fournie à la charge est maximale; la charge optimale étant déterminée par la connaissance de ce point. Mais, pendant l'exploitation, le flux solaire varie constamment selon les heures et les saisons. Ces variations entraînent un déplacement correspondant du point de fonctionnement optimal. En outre, les caractéristiques de la charge peuvent fluctuer notablement en fonction des besoins en énergie des utilisateurs. Dans ces conditions, il faudrait prévoir un dispositif régulateur qui puisse adapter la charge à la source d'énergie. Le régulateur doit être associé à un organe de commutation dont le rôle serait de répartir l'énergie électrique issue des panneaux, vers la charge ou les éléments de stockage. Pendant la disparition du soleil, cet organe de commutation devra distribuer l'énergie stockée vers les circuits d'utilisation et empêcher la décharge des accumulateurs dans les cellules solaires. Il devra, aussi, assurer la sécurité en cas de court-circuit dans un panneau.

Lorsqu'on procède à l'installation d'une microcentrale dans une région, il faut faire l'étude préalable des conditions climatiques et de la consommation en énergie électrique des usagers. L'analyse de ces deux paramètres nous permet, ensuite, de dimensionner les panneaux et les éléments de stockage.

Pour récupérer le maximum d'énergie possible dans la journée, les panneaux solaires peuvent être fixés dans une orientation qui les expose le plus longtemps possible à l'ensoleillement. Cependant, on pourrait penser que la collection journalière d'énergie solaire serait maximale si les panneaux suivaient le soleil dans sa course.

Ceci n'est valable que par temps clair. En effet, en période de temps diffus, il n'existe pratiquement pas de direction privilégiée pour le flux d'énergie solaire. En outre, les servo-mécanismes qui serviraient à orienter les panneaux, sont de gros consommateurs d'électricité. Mais, pour que la captation d'énergie solaire soit optimisée, il suffirait de déplacer, à des instants déterminés, les panneaux vers une position qui les mette face au soleil. Par suite, les servo-mécanismes ne seraient alimentés qu'au moment de la mise en mouvement des panneaux et ne consommeraient que peu d'énergie dans une journée. La recherche des instants d'échantillonnage qui correspondraient à la commande optimale des panneaux solaires, est un problème très important de l'automatique. Une autre question intéressante est la normalisation et la compatibilité des caractéristiques des microcentrales électrosolaires, à celles des appareils consommateurs d'énergie électrique.

En conclusion, l'aspect socio-économique important de cette recherche impose le développement immédiat des travaux, sans attendre la mise en place des structures de fabrication au sein du Service "Cristaux et Couches Minces".

La mise au point de microcentrales électrosolaires de 1kW nécessite l'emploi de près d'un millier de photopiles. Si on fait référence à l'article de W. PALZ qui a paru, en 1975, dans le volume 55 de l'Onde Electrique, l'achat de mille photopiles au silicium représenterait une dépense de près de 200 000 DA.

Comme nous venons de le voir, l'étude de l'application des photopiles est, pour une grosse part, de nature électrique. Elle nécessite, donc, des spécialistes en électrotechnique, en électronique, en automatique et en sciences socio-économiques. Par suite, de tels travaux pourraient être effectués au sein du Département Electricité (E.N.P.), où une infrastructure de génie électrique existe. Remarquons qu'il faudra, aussi, prévoir une structure de mesure mobile pour les essais sur le terrain (contrôle de la fiabilité, ...). Naturellement, toutes les possibilités de recherche que nous venons de décrire, devront être coordonnées et planifiées dans le cadre du Laboratoire de Photopiles.

### 3 - Etat actuel des travaux effectués au sein du Département Electricité.

La recherche sur les applications des photopiles a débuté, au sein du Département Electricité, sous forme de projets de fin d'études d'ingénieur en électronique.

Deux étudiants ont été chargés de faire le point sur la technologie des photopiles et des mesures faites sur celles-ci. Leur projet devrait, normalement, aboutir à la conception d'un système de mesure automatique de la puissance optimale et du facteur de forme des caractéristiques I-V d'une photopile. Ce banc de mesure est destiné au contrôle rapide d'une série de photopiles.

Deux autres étudiants s'intéressent, actuellement, à la commande optimale d'un panneau de photopiles.

Malheureusement, ces travaux sont limités à l'état d'étude bibliographique, par manque de photopiles et de composants semi-conducteurs du type professionnel.

Afin de développer ces thèmes sur le plan expérimental, il faudra, donc, acquérir le plus rapidement possible au moins une centaine de photopiles au silicium.

### 4 - Conclusion.

Pour résumer le but que l'on doit viser, est la construction de microcentrales à conversion photovoltaïque, délivrant la centaine de Watts. En effet, ce sont celles-ci que des unités comme, par exemple, la SONELGAZ, l'ENEMA ou les services techniques des PTT, pourraient exploiter dans un proche avenir.

Dans le cadre de cet objectif, deux axes importants peuvent être développés: la fabrication et l'utilisation des photopiles.

Au sein du Service "Cristaux et Couches Minces", il est possible d'obtenir facilement, par des techniques d'évaporation sous vide, des jonctions du type métal-semi-conducteur. Par exemple, on pourrait mettre au point des photopiles du type Si-Al ou Si-Au puis, les fabriquer en grande série. Durant la conception de ces cellules solaires, il faudra apprendre à réaliser les électrodes qui doivent relier la jonction au circuit extérieur. Aujourd'hui, la technique qui est employée pour le dépôt d'électrodes sur la face photosensible des cellules solaires, est celle de la géométrie en grille. Ce procédé qui diminue

la surface utile de la face photosensible, améliore le rendement de conversion. En effet, les bons contacts ohmiques qui sont, ainsi, réalisés entraînent une nette diminution de la résistance série.

Pour mener à bien cette tâche, il faudrait près d'un millier de pastilles au silicium de type N. L'acquisition de mille rondelles au silicium d'épaisseur 300 $\mu$ m et de diamètre 9 cm correspondrait à une dépense de l'ordre de 30 000 DA.

Parallèlement, en attendant que les cellules solaires produites au C.S.T.N. deviennent opérationnelles, on pourrait acheter une centaine de photopiles au silicium et construire un prototype de microcentrale débitant 100W.

La structuration du Laboratoire de Photopiles devra se faire par étape. En effet, les opérations de fabrication des semi-conducteurs et de formation des jonctions nécessitent des équipements scientifiques très onéreux (et la recherche d'un faible prix de revient des capteurs photovoltaïques risquerait, bientôt, de modifier sérieusement la technologie de fabrication). D'autre part, les dépenses de fonctionnement sont lourdes sur le plan financier.

Un autre point noir est le recrutement et la formation des chercheurs algériens. En effet, les quelques spécialistes qui pourraient se consacrer efficacement à ces travaux, sont largement accablés par des tâches d'enseignement et d'administration. En outre, les élèves ingénieurs qui se sont formés dans le domaine de l'énergie solaire, doivent, à la fin de leurs études, effectuer leur Service National. Après, ils risqueraient d'aller vers un secteur plus rémunéré. Il faudrait ajouter que, dans la nouvelle structure universitaire, la post-graduation n'a été pensée que pour les étudiants titulaires d'un D.E.S. et le corps enseignant qui serait capable d'assurer des études post-universitaires à des ingénieurs, est, actuellement, inexistant.

Si l'C.N.R.S. pouvait résoudre ces problèmes de finance et de recrutement, le Laboratoire de Photopiles atteindrait rapidement un régime de croisière et pourrait honorer des contrats d'engineering ou de recherche. À ce moment, le Laboratoire de Photopiles pourrait traiter toutes les questions qui présenteraient une certaine corrélation avec l'effet photoélectrique. Par exemple, on pourrait y aborder l'étude de la photosynthèse ou rechercher de nouveaux moyens de stockage.

A. ADANE *Adane*

chercheur au Service "Cristaux et Couches Minces"  
(C.S.T.N.)

# TRANSISTOR A JONCTIONS NPN au germanium moyenne fréquence 150mW

300

Boîtier TO 5  
Poids: 0,9 g  
Échelle 1/1



Ce transistor NPN, de gain élevé, est spécialement destiné aux applications professionnelles de la commutation à moyenne vitesse. Il est spécifié à 200 mA en gain statique et temps de commutation.

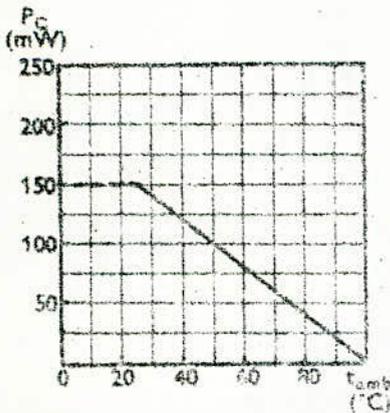
La base est reliée au boîtier.

## VALEURS LIMITES ABSOLUES D'UTILISATION A $t_{amb} = 25^\circ C$

Tension collecteur-base	$V_{CB}$	25	V
Tension émetteur-base	$V_{EB}$	15	V
Tension collecteur-émetteur	$V_{CE}$	20	V
Courant collecteur	$I_C$	200	mA
Puissance dissipée à l'air libre	$P_C$	150	mW
Température de stockage	$t_{stg}$	-55 +100	$^\circ C$

## PUISANCE DISSIPÉE MAXIMALE

à l'air libre, en fonction de la température ambiante, dans les conditions optimales d'utilisation



## CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES A $t_{amb} = 25^\circ C$

statiques.

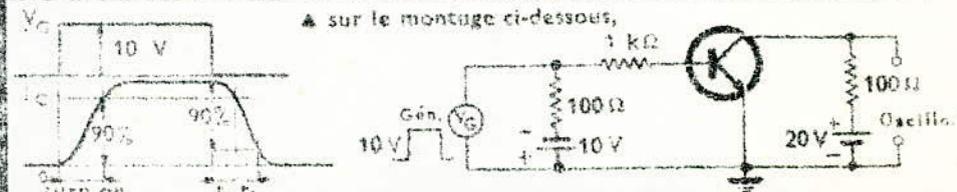
		min.	moj.	max.	
Courant résiduel du collecteur ( $I_E = 0$ )	$V_{CB} = 1 V$		2	5	$\mu A$
	$V_{CB} = 20 V$		3	20	$\mu A$
Courant résiduel de l'émetteur ( $I_C = 0$ )	$V_{EB} = 1 V$		1,8	5	$\mu A$
	$V_{EB} = 15 V$		2,5	10	$\mu A$
Courant résiduel du collecteur ( $R_{BE} = 10 k\Omega$ )	$V_{CE} = 20 V$		20	50	$\mu A$
Valeur statique du rapport de transfert direct du courant	$I_C = 30 mA$ $V_{CE} = 1 V$		60	120	180
	$I_C = 200 mA$ $V_{CE} = 0,75 V$		30	120	
Tension base-émetteur en saturation	$I_C = 200 mA$ $I_B = 10 mA$		0,7	1,5	V

dynamiques (pour petits signaux).

Capacité de sortie en base-commune	$I_C = 1 mA$ $V_{CB} = 6 V$		19	25	pF
Fréquence de coupure en base-commune	$I_C = 1 mA$ $V_{CB} = 6 V$		5	17	MHz

commutation.

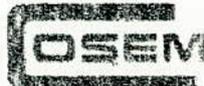
Temps d'établissement (turn on)	$t_d + t_r$		0,6	1	$\mu s$
Temps d'accumulation des porteurs	$t_s$		0,3	0,7	$\mu s$
Temps de décroissance	$t_f$		0,3	0,7	$\mu s$



6-62

2N\_388\_1\_2

Compagnie générale



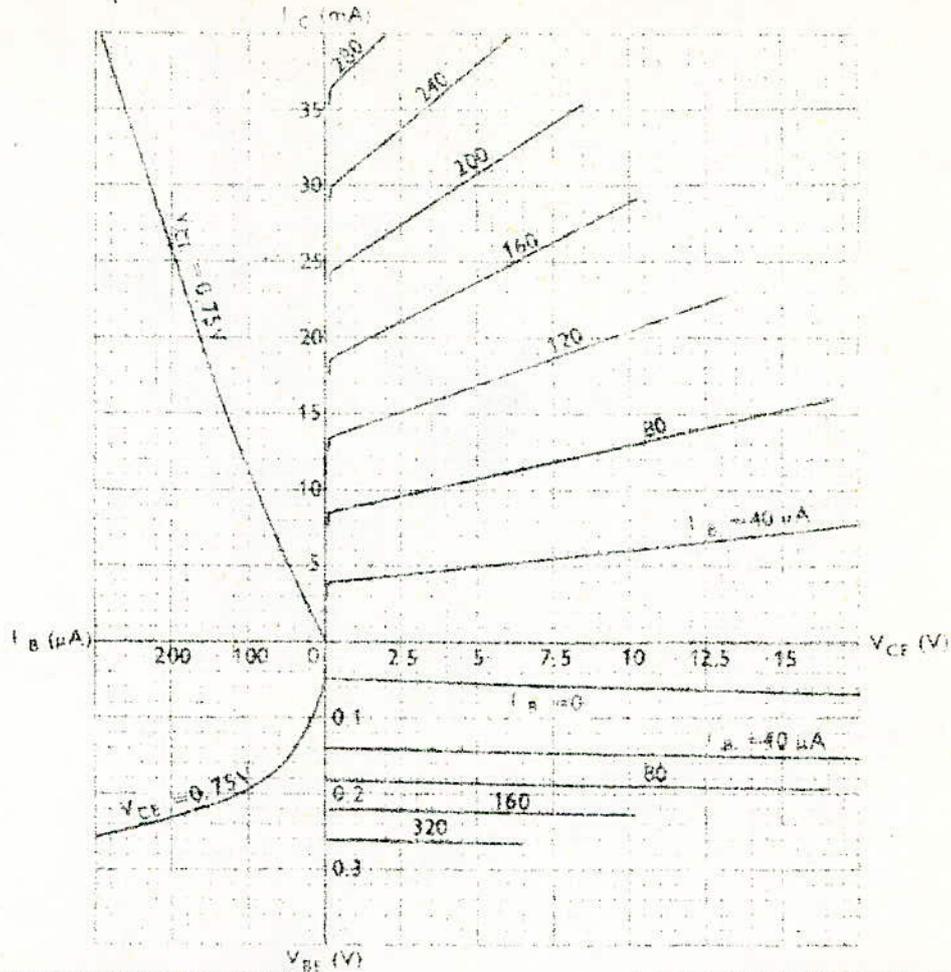
des Semi-conducteurs

Société Anonyme au Capital de 12.400.000 Nouveaux Francs.

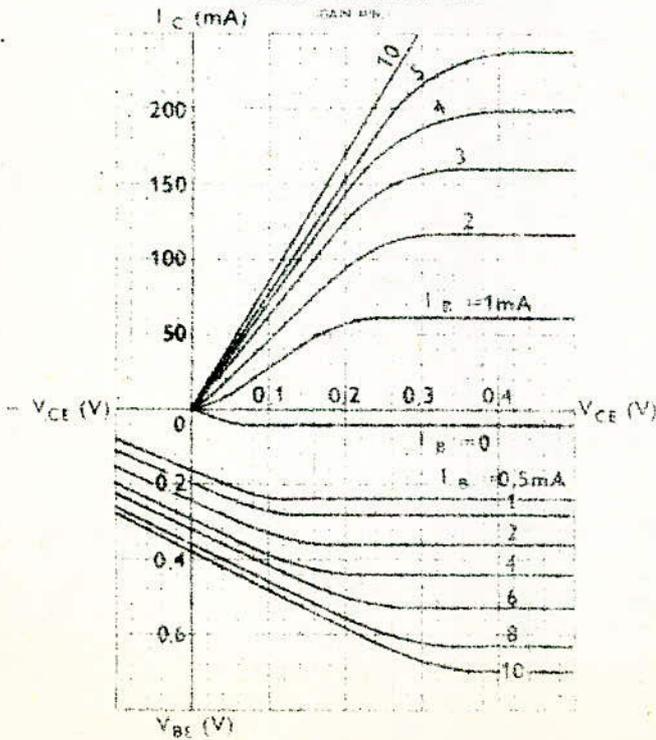
Siège Social : St-Egrève (Isère) - R.C N° 60 B 44 - Grenoble

12, Rue de la République - PUTEAUX - (Seine) - LONGchamp 50-98

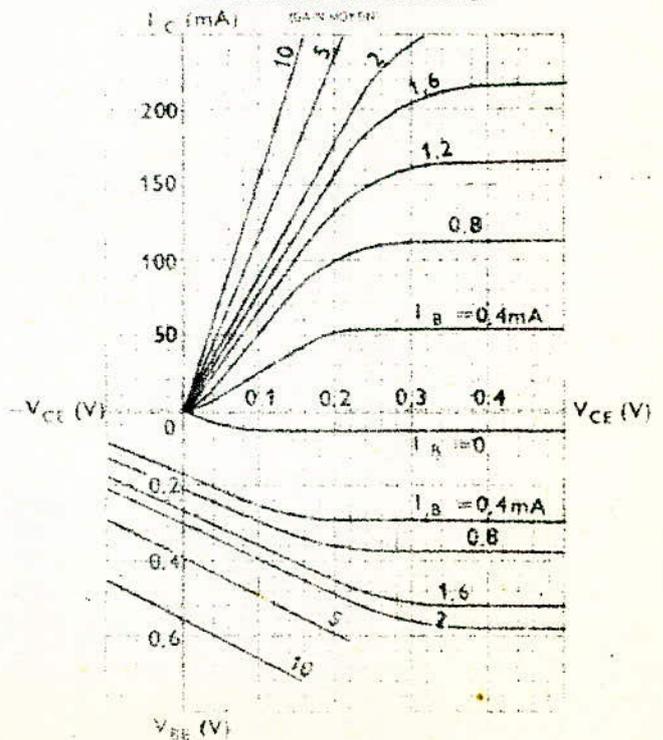
2N  
388



**AGRANDISSEMENT POUR FAIBLES TENSIONS**



**AGRANDISSEMENT POUR FAIBLES TENSIONS**



VALEUR STATIQUE DU RAPPORT  
DE TRANSFERT DIRECT DU COURANT

$$h_{21E}$$

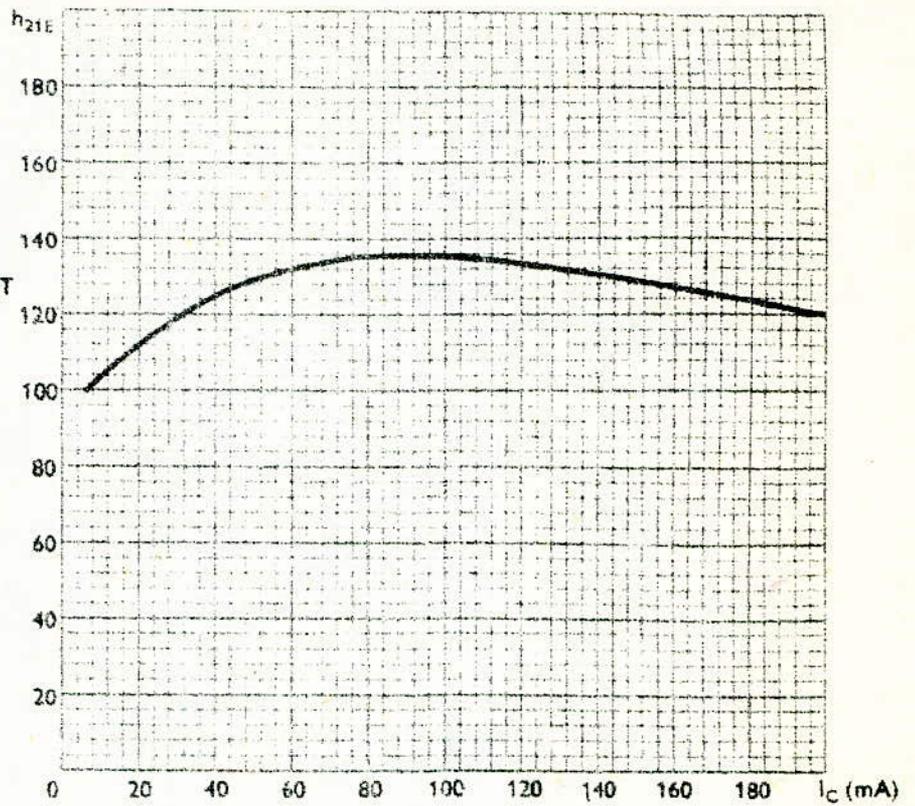
en fonction du

COURANT COLLECTEUR  $I_C$

(Mesures en impulsions  $t_i \approx t_{amb}$ )

Montage émetteur commun

$V_{CE} = 0,75V$   $t_{amb} = 25^\circ C$



VALEUR STATIQUE  
DE LA RÉSISTANCE D'ENTRÉE

$$h_{11E}$$

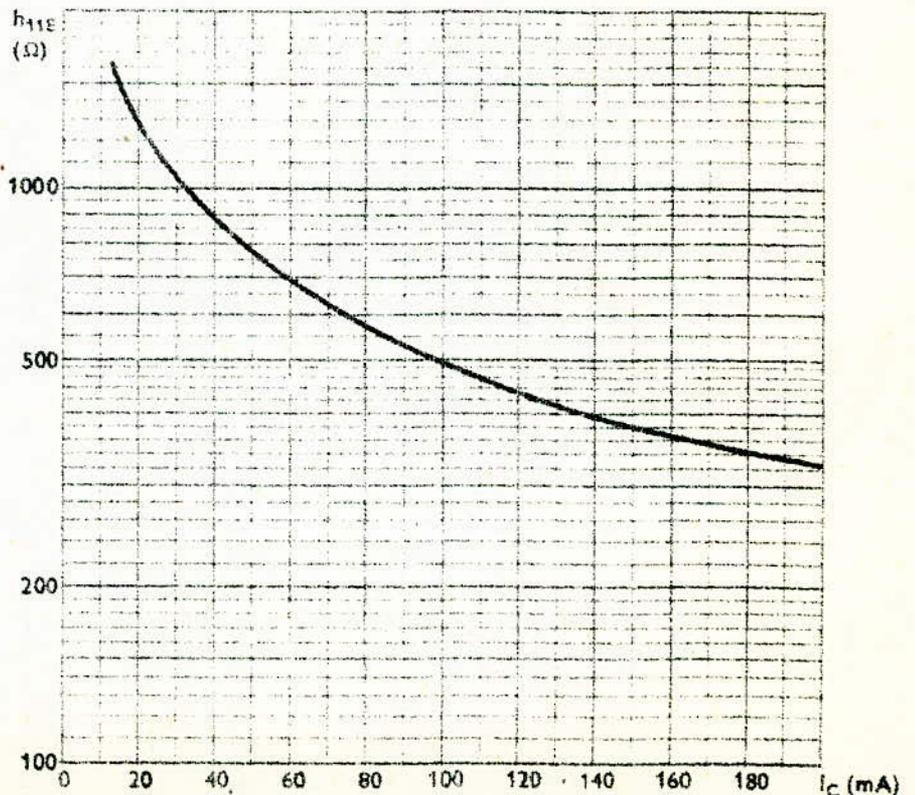
en fonction du

COURANT COLLECTEUR  $I_C$

(Mesures en impulsions  $t_i \approx t_{amb}$ )

Montage émetteur commun

$V_{CE} = 0,75V$   $t_{amb} = 25^\circ C$



2N  
388

CARACTÉRISTIQUES NORMALISÉES

VALEUR STATIQUE DU RAPPORT  
DE TRANSFERT DIRECT DU COURANT

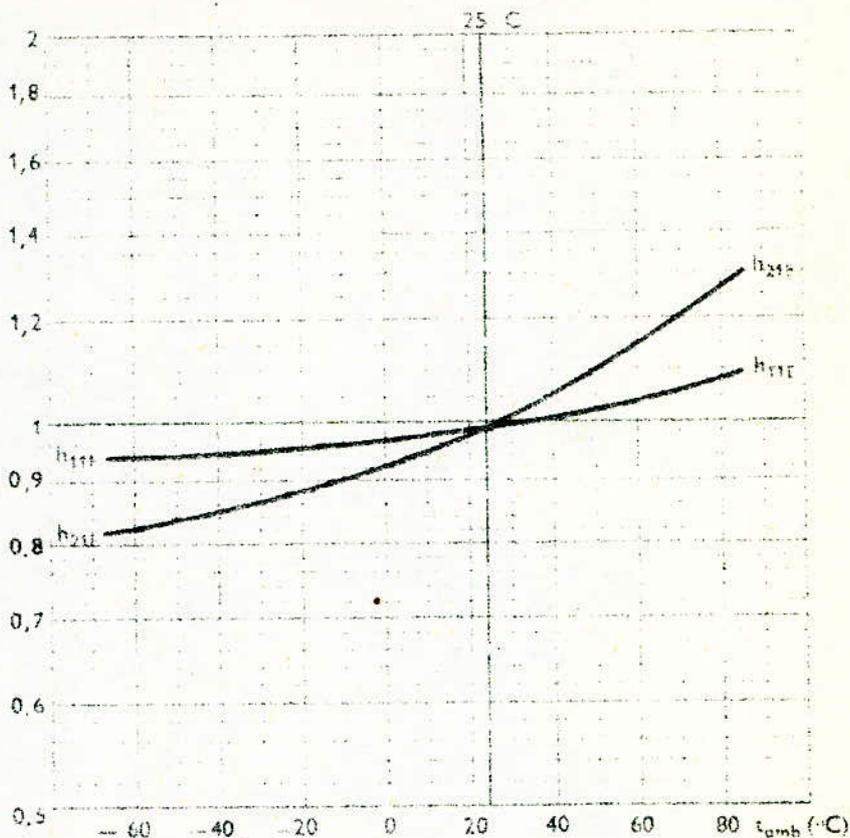
$$h_{21E}$$

VALEUR STATIQUE  
DE LA RÉSISTANCE D'ENTRÉE  $h_{11E}$

(Mesures en impulsions  $t_j = t_{amb}$ )

en fonction de la  
TEMPÉRATURE AMBIANTE

Montage émetteur commun  
 $I_C = 200 \text{ mA}$      $V_{CE} = 0,75 \text{ V}$

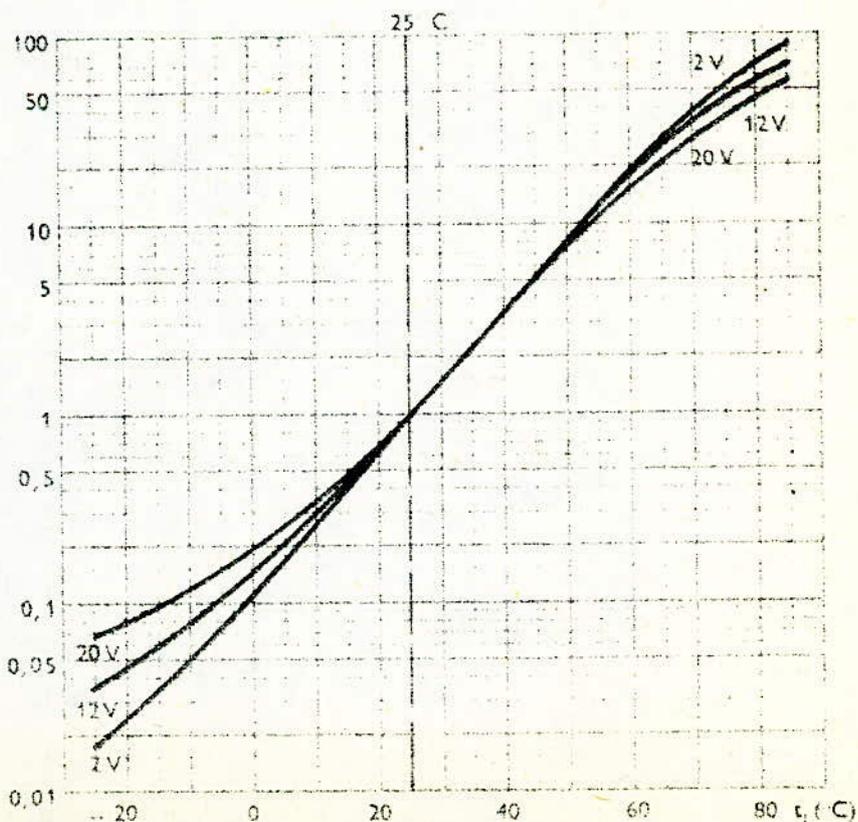


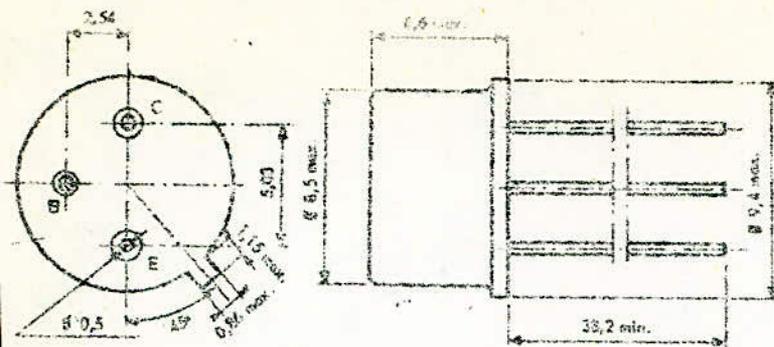
CARACTÉRISTIQUES NORMALISÉES

COURANT RÉSIDUEL DU COLLECTEUR

$$I_{CBO}$$

en fonction de la  
TEMPÉRATURE DE LA JONCTION





boîtier Jedec TO 5

Les transistors NPN au Silicium à structure PLANAR sont caractérisés par une dissipation élevée (3 W à 25°C boîtier) et leur possibilité de fonctionner aux très hautes fréquences.

- 1613 -  $V_{CBO} = 75 \text{ V}$ ;  $h_{21E \text{ min.}} = 40$
- 1711 -  $V_{CBO} = 75 \text{ V}$ ;  $h_{21E \text{ min.}} = 100$   $I_{CBO(\text{max})} = 0,01 \mu\text{A}$
- 1893 -  $V_{CBO} = 120 \text{ V}$ ;  $h_{21E \text{ min.}} = 40$

Utilisations : Comutation à grande vitesse  
Amplification haute fréquence

(COMPLIÉ)  
**TYPIQUE**  
2N 1613 - 2N 1711  
2N 1893

LIMITES ABSOLUES D'UTILISATIONS A 25°C (ambiante) (conf. indications constructeur)		2 N 1613	2 N 1711	2 N 1893	Unités
Dissipation max. admissible au collecteur					
- A l'air libre °	$P_C$	0,8	0,8	0,8	W.
- A 25°C boîtier °	$P_C$	3	3	3	W.
- A 100°C boîtier °	$P_C$	1,7	1,7	1,7	W.
Tension max. collecteur-base (émetteur ouvert)					
	$V_{CBO}$	75	75	120	V.
Tension max. collecteur-émetteur ( $R_{BE} \leq 10 \Omega$ )					
	$V_{CER}$	50	50	100	V.
Tension max. collecteur-émetteur (base ouverte)					
	$V_{CEO}$		28	80	V.
Tension max. émetteur-base (collecteur ouvert)					
	$V_{EBO}$	7	7	7	V.
Température de la jonction					
	$T_j$	- 65 à + 200			°C
Température de stockage					
	$T_s$	- 65 à + 300			°C

Diminuer de 4,57 mW par °C d'augmentation de température ambiante au dessus de 25°C.  
Diminuer de 17,7 mW par °C d'augmentation de température du boîtier au dessus de 25°C.

D3C. MC. 1. 63. 4010

**CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES À 25°C (ambiant)**  
(Les indications non grises)

		V <sub>CE</sub> = 5V		V <sub>CE</sub> = 10V		Unités	
		Min.	Max.	Min.	Max.		
<b>CARACTÉRISTIQUES STATIQUES :</b>							
Tension collecteur-base (émetteur ouvert) (I <sub>CBO</sub> = 100 μA)	V <sub>CE0</sub>	75	75	120		V	
Tension collecteur-émetteur (R <sub>LE</sub> = 10 Ω) (I <sub>CER</sub> = 100 mA)	V <sub>CEr</sub> *	50	50	100		V	
Tension collecteur-émetteur (base couverte) (I <sub>CEO</sub> = 20 mA)	V <sub>CE0</sub> *		24	80		V	
Tension émetteur-base (collecteur ouvert) (I <sub>EBO</sub> = 100 μA)	V <sub>EB0</sub>	7	7	7		V	
Gain en courant (I <sub>C</sub> = 100 mA ; V <sub>CE</sub> = 10 V)	h <sub>21E</sub> *	40	120	100	300	40	120
(I <sub>C</sub> = 10 mA ; V <sub>CE</sub> = 10 V)	h <sub>21E</sub>	35					
(I <sub>C</sub> = 10 mA ; V <sub>CE</sub> = 10 V)	h <sub>21E</sub> *			75		55	
(I <sub>C</sub> = 10 mA ; V <sub>CE</sub> = 10 V ; T <sub>A</sub> = -55°C)	h <sub>21E</sub>	20					
(I <sub>C</sub> = 10 mA ; V <sub>CE</sub> = 10 V ; T <sub>A</sub> = -55°C)	h <sub>21E</sub> *			35		20	
(I <sub>C</sub> = 0,1 mA ; V <sub>CE</sub> = 10 V)	h <sub>21E</sub>	20		35		20	
(I <sub>C</sub> = 500 mA ; V <sub>CE</sub> = 10 V)	h <sub>21E</sub> *	20		40			
(I <sub>C</sub> = 0,01 mA ; V <sub>CE</sub> = 10 V)	h <sub>21E</sub>			20			
Tension de conduction de la base (I <sub>C</sub> = 150 mA ; I <sub>B</sub> = 15 mA)	V <sub>BE(sat)</sub>		1,3		1,3	1,3	V
(I <sub>C</sub> = 50 mA ; I <sub>B</sub> = 5 mA)	V <sub>BE(sat)</sub>					0,9	V
Tension de saturation du collecteur (I <sub>C</sub> = 150 mA ; I <sub>B</sub> = 15 mA)	V <sub>CE(sat)</sub>		1,5		1,5	5	V
(I <sub>C</sub> = 50 mA ; I <sub>B</sub> = 5 mA)	V <sub>CE(sat)</sub>					1,2	V
Courant inverse collecteur-base (émetteur ouvert) (V <sub>CE0</sub> = 60 V)	I <sub>CBO</sub>		16		10		μA
(V <sub>CE0</sub> = 90 V)	I <sub>CBO</sub>					10	μA
(V <sub>CE0</sub> = 60 V ; T <sub>A</sub> = 150°C)	I <sub>CBO</sub>		10		10		μA
(V <sub>CE0</sub> = 90 V ; T <sub>A</sub> = 150°C)	I <sub>CBO</sub>					15	μA
Courant inverse émetteur-base (collecteur ouvert) (V <sub>EB0</sub> = 5 V)	I <sub>EBO</sub>				5	10	μA
<b>CARACTÉRISTIQUES EN BASSE FREQUENCE</b>							
Gain en courant (I <sub>C</sub> = 1 mA ; V <sub>CE</sub> = 5 V ; f = 1 kHz)	h <sub>21β</sub>	30	100	50	100	30	100
(I <sub>C</sub> = 5 mA ; V <sub>CE</sub> = 10 V ; f = 1 kHz)	h <sub>21β</sub>	35	150	70	200	45	
Résistance d'entrée (I <sub>C</sub> = 1 mA ; V <sub>CE</sub> = 5 V ; f = 1 kHz)	h <sub>11β</sub>			24	24	20	Ω
(I <sub>C</sub> = 5 mA ; V <sub>CE</sub> = 10 V ; f = 1 kHz)	h <sub>11β</sub>			4	4	4	Ω

CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES A 25°C (ambiante) (sauf indications contraires)		2 N 1613		2 N 1711		2 N 1893		Unités
		Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	
Rapport de réaction de tension ( $I_C = 1 \text{ mA}$ ; $V_{CB} = 5 \text{ V}$ ; $f = 1 \text{ kHz}$ )					5		1,25	$\times 10^{-4}$
( $I_C = 5 \text{ mA}$ ; $V_{CB} = 10 \text{ V}$ ; $f = 1 \text{ kHz}$ )					5		1,5	$\times 10^{-4}$
Conductance de sortie ( $I_C = 1 \text{ mA}$ ; $V_{CB} = 5 \text{ V}$ ; $f = 1 \text{ kHz}$ )				0,1	0,5		0,5	$\mu\text{mho}$
( $I_C = 5 \text{ mA}$ ; $V_{CB} = 10 \text{ V}$ ; $f = 1 \text{ kHz}$ )				0,1	1		0,5	$\mu\text{mho}$
<b>CARACTERISTIQUES EN HAUTE FREQUENCE</b>								
Gain en courant ( $I_C = 50 \text{ mA}$ ; $V_{CE} = 10 \text{ V}$ ; $f = 20 \text{ MHz}$ )			3		3,5		2,5	
Capacité de sortie ( $I_E = 0$ ; $V_{CB} = 10 \text{ V}$ ; $f = 1 \text{ MHz}$ )				25	25		15	pF
Capacité d'entrée ( $V_{EB} = -0,5 \text{ V}$ ; $I_C = 0$ )					80		85	pF
Facteur de bruit ( $I_C = 0,3 \text{ mA}$ ; $V_{CE} = 10 \text{ V}$ ; $f = 1 \text{ kHz}$ ; $R_G = 510 \Omega$ ) (bande passante : 100 Hz)				12	8			dB

Mesures effectuées en impulsions d'une durée  $\leq 300 \mu\text{s}$ ; facteur de forme  $\leq 2\%$

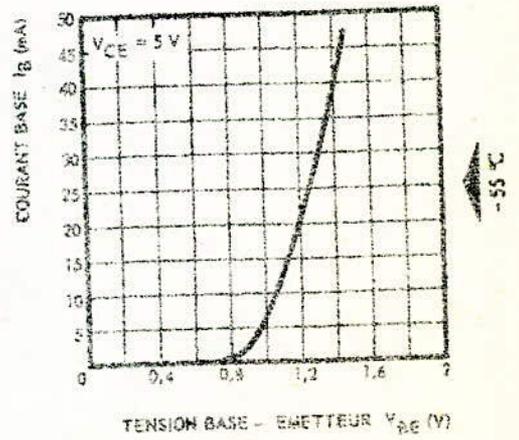
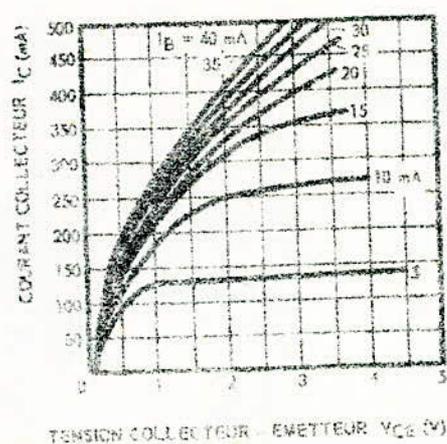
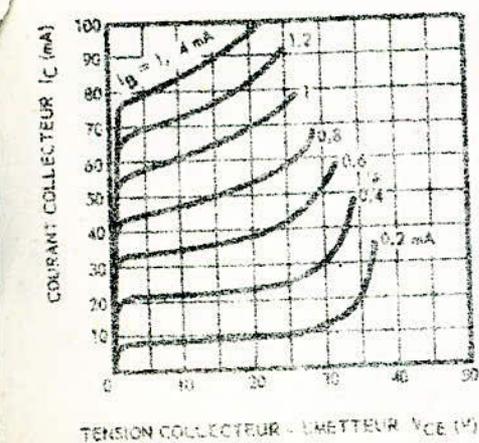
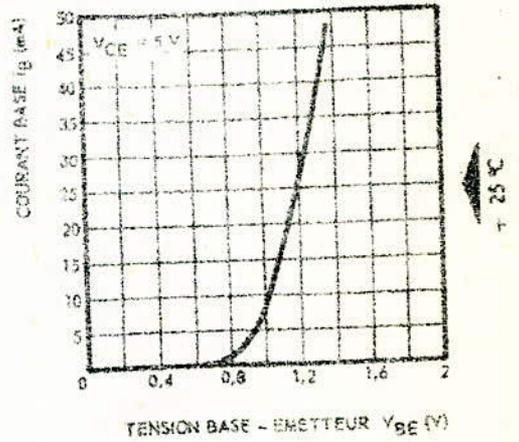
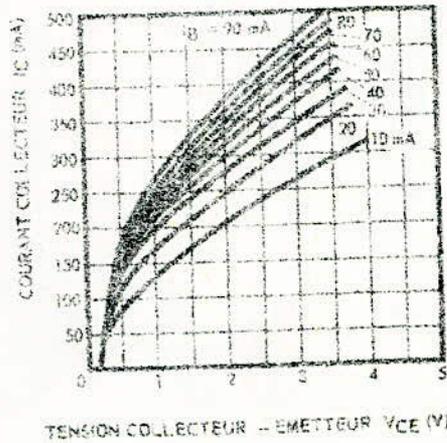
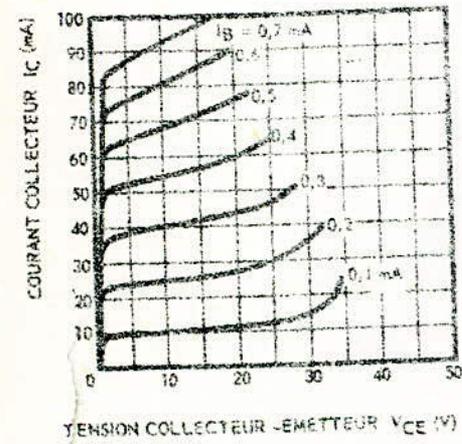
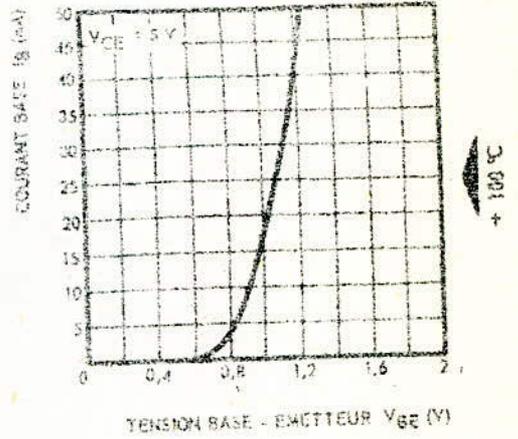
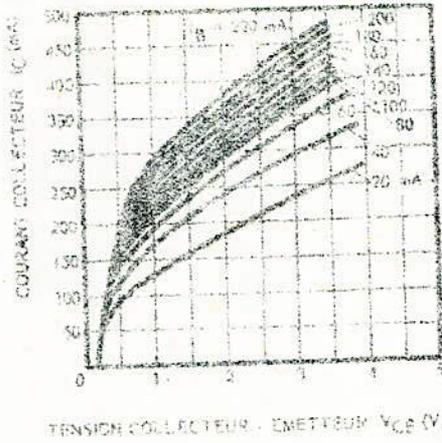
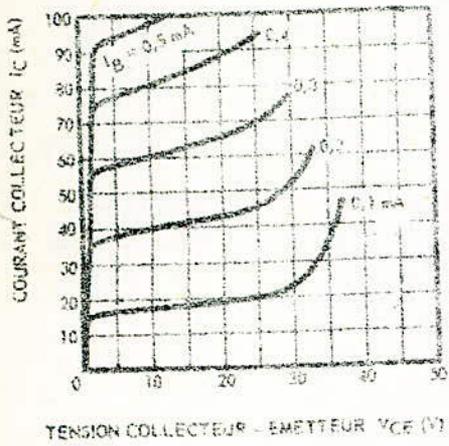


### CARACTERISTIQUES DE SORTIE $I_C = f(V_{CE})$

(Montage émetteur commun)

### CARACTERISTIQUES D'ENTREE $I_B = f(V_{BE})$

(Montage émetteur commun)



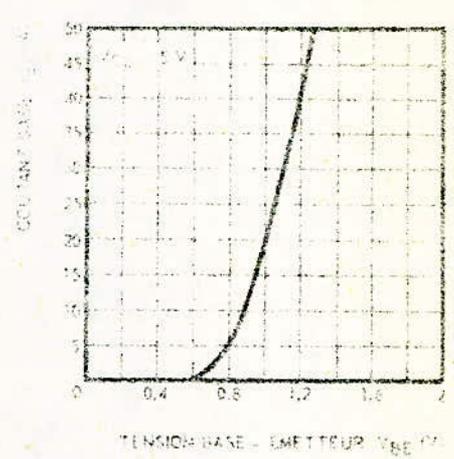
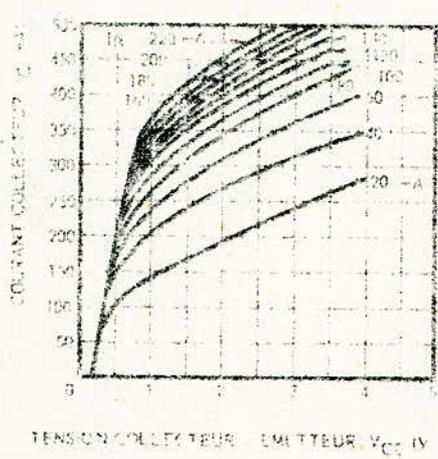
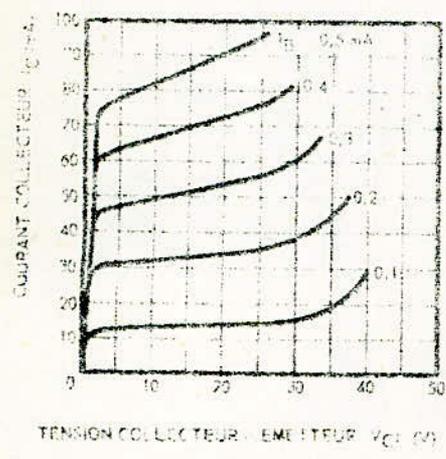
Nota : Courbes relevées sur oscilloscope TEKTRONIC 575 "curve tracer"



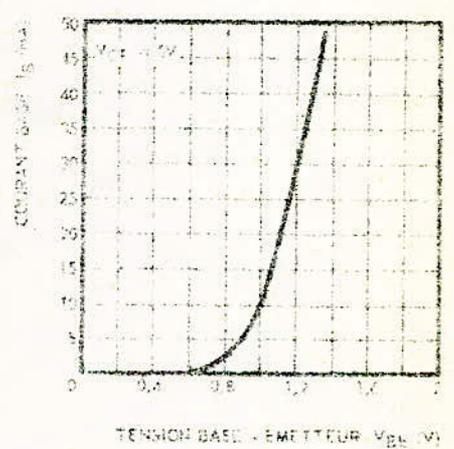
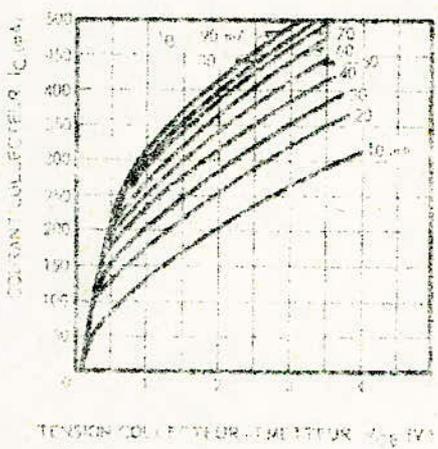
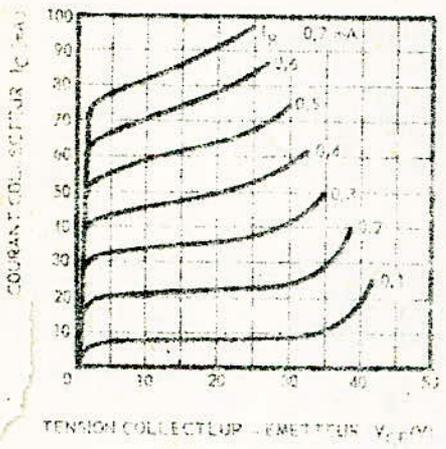
CARACTERISTIQUES DE SORTIE  $I_C = f(V_{CE})$   
(fonction émetteur commun)

CARACTERISTIQUES D'ENTREE  $I_B = f(V_{BE})$   
(fonction émetteur commun)

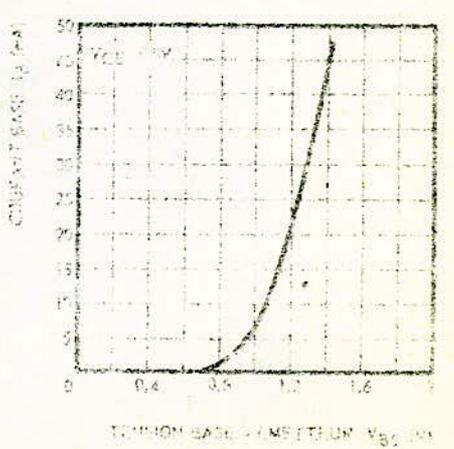
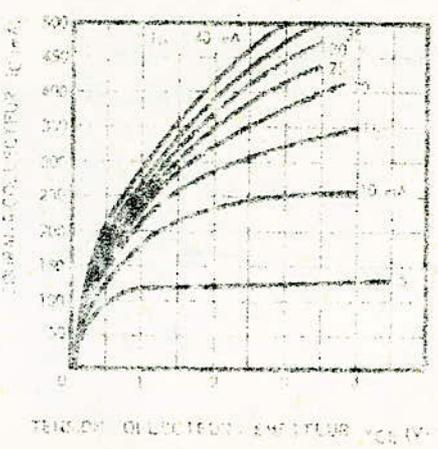
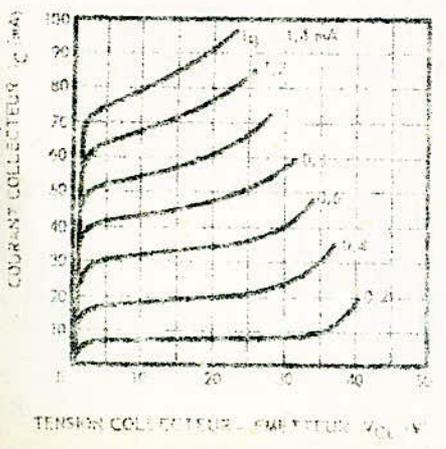
100 °C



25 °C

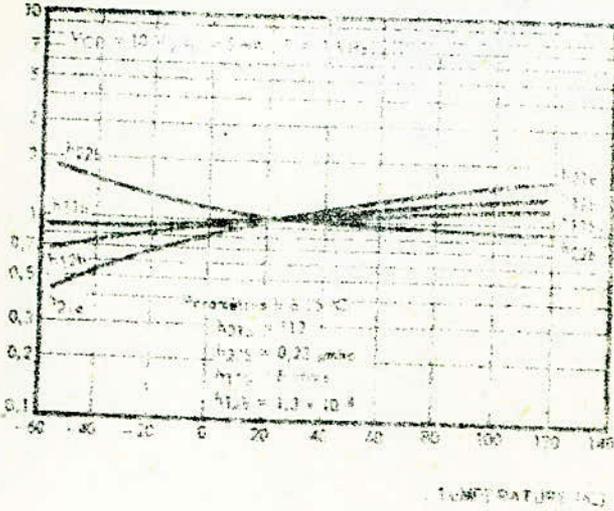


20 °C



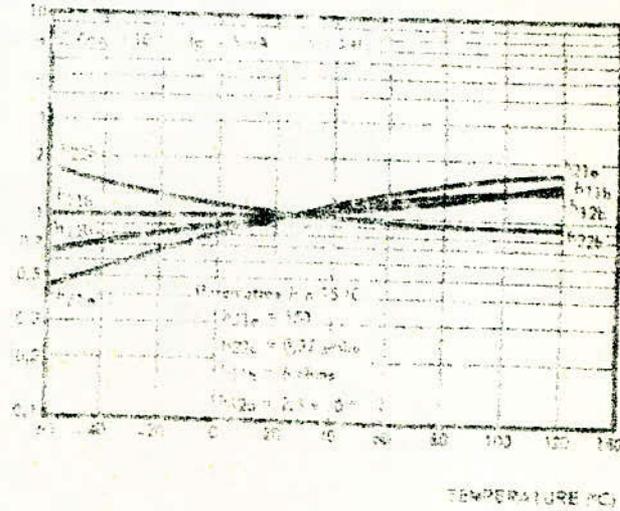
Nota: Carbes referes aos especificaões ELETROMIC 573 "carbes para"

VARIATION DES PARAMETRES h EN FONCTION DE LA TEMPERATURE AMBIANTE



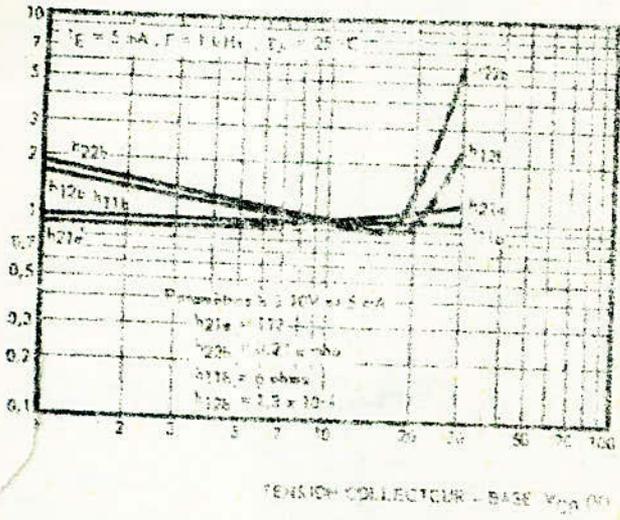
PARAMETRES h NORMALISES A L'UNITE A 25°C

VARIATION DES PARAMETRES h EN FONCTION DE LA TEMPERATURE



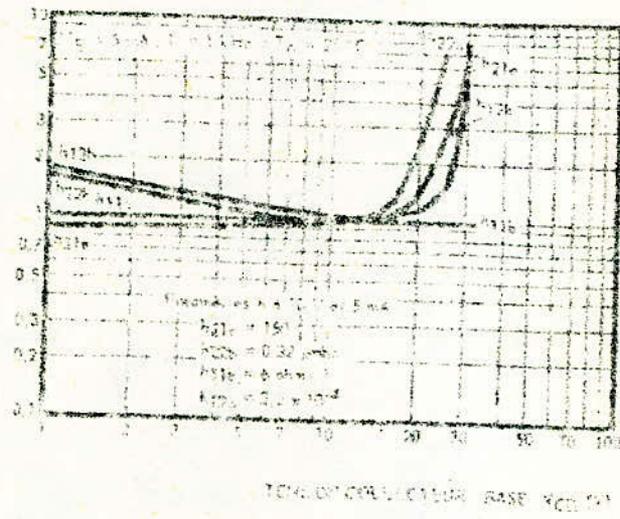
PARAMETRES h NORMALISES A L'UNITE A 25°C

VARIATION DES PARAMETRES h EN FONCTION DE LA TENSION COLLECTEUR-BASE

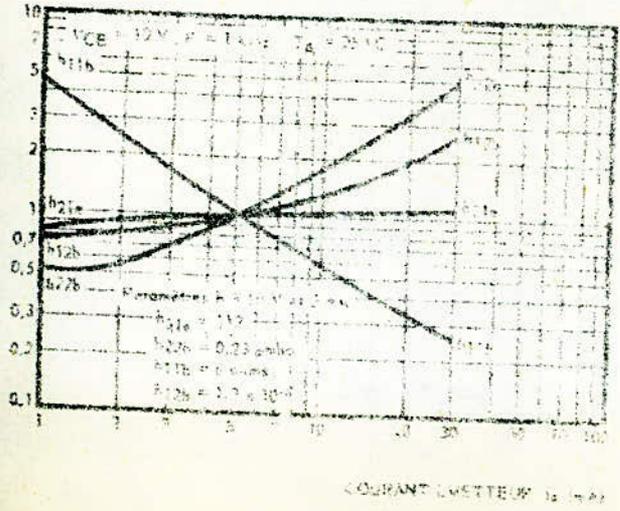


PARAMETRES h NORMALISES A L'UNITE A 25°C

VARIATION DES PARAMETRES h EN FONCTION DE LA TENSION COLLECTEUR-BASE

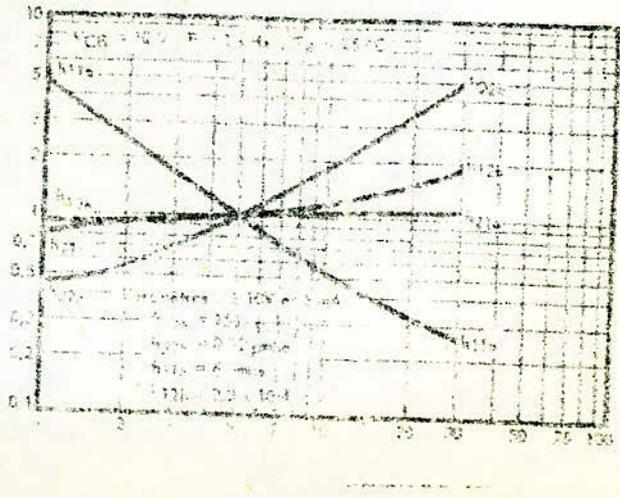


VARIATION DES PARAMETRES h EN FONCTION DU COURANT EMETTEUR



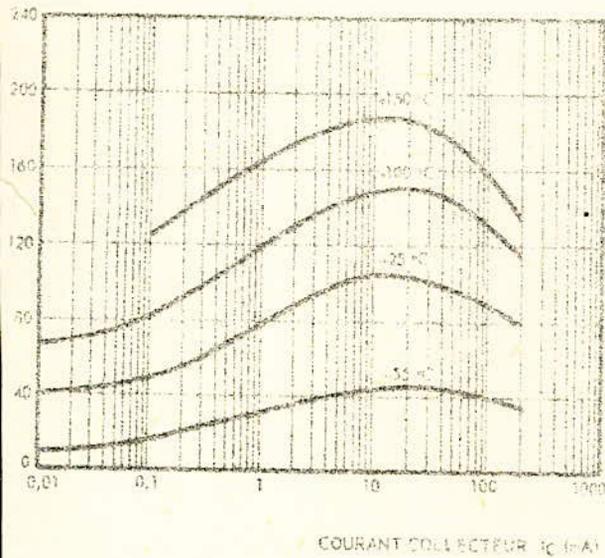
PARAMETRES h NORMALISES A L'UNITE A 25°C

VARIATION DES PARAMETRES h EN FONCTION DU COURANT EMETTEUR



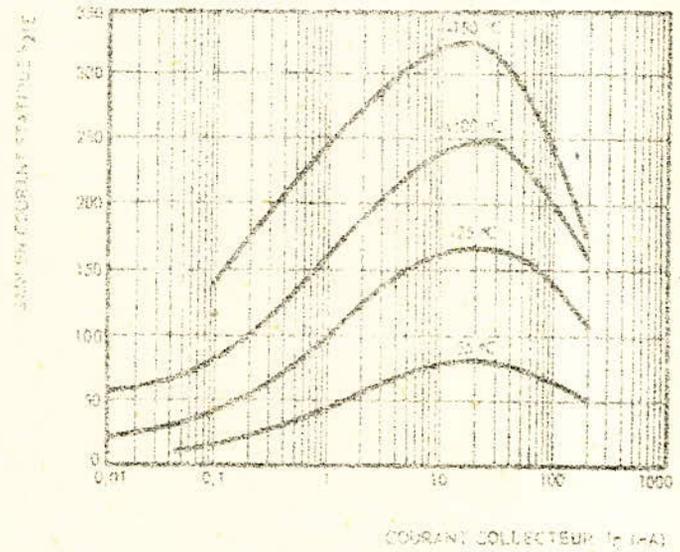
2N1613

VARIATION DU GAIN EN COURANT STATIQUE EN FONCTION  
DU COURANT COLLECTEUR  
( $V_{CE} = 10V$ )



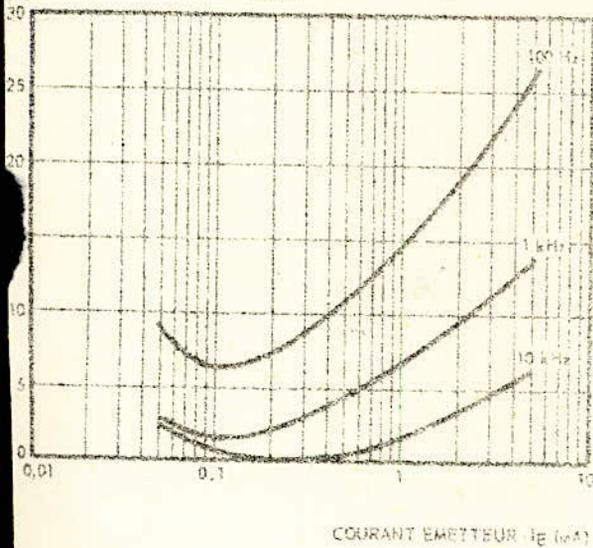
2N171

VARIATION DU GAIN EN COURANT STATIQUE EN FONCTION  
DU COURANT COLLECTEUR  
( $V_{CE} = 10V$ )



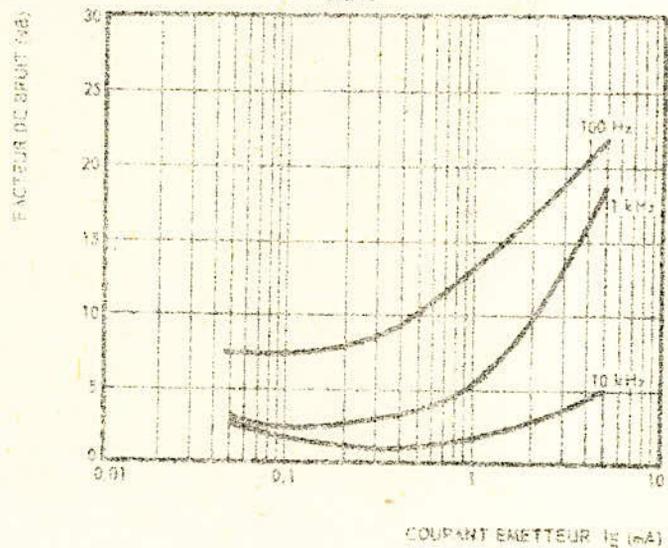
VARIATION DU FACTEUR DE BRUIT EN FONCTION  
DU COURANT EMETTEUR

$V_{CE} = 10V$   $R_{entree} = 500\Omega$   $T_A = 25^\circ C$



VARIATION DU FACTEUR DE BRUIT EN FONCTION  
DU COURANT EMETTEUR

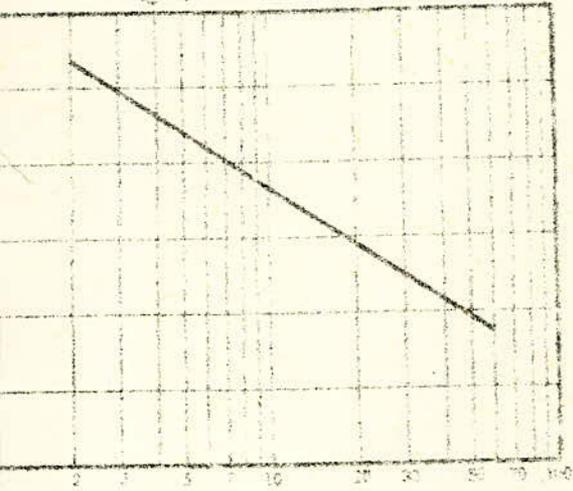
$V_{CE} = 10V$   $R_{entree} = 500\Omega$   $T_A = 25^\circ C$



VARIATION DE LA CAPACITE  $C_{cb}$  EN FONCTION DE LA TENSION COLLECTEUR - BASE

$C_{cb} = f(V_{cb})$

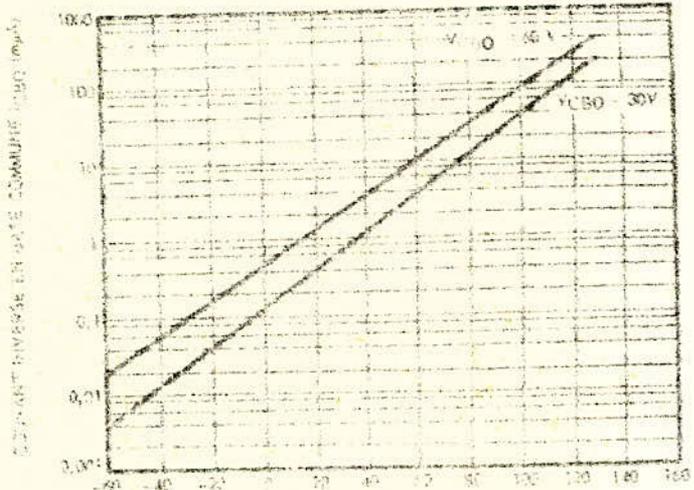
$I_C = 0$   $F = 1\text{MHz}$   $T_A = 25^\circ\text{C}$



TENSION COLLECTEUR - BASE  $V_{cb}$  (V)

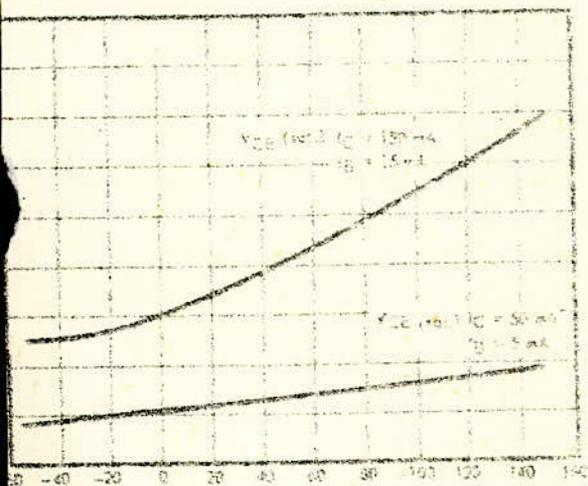
VARIATION DU COURANT INVERSE EN FONCTION DE LA TEMPERATURE

(Fluxage base commune)



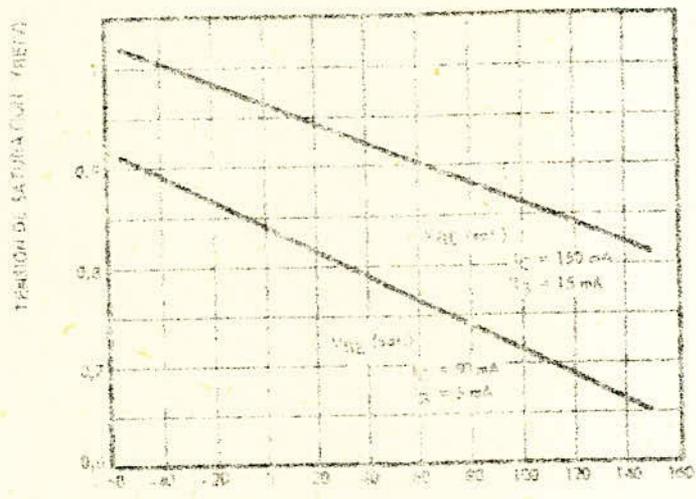
TEMPERATURE (°C)

VARIATION DE LA TENSION DE SATURATION COLLECTEUR - EMETTEUR EN FONCTION DE LA TEMPERATURE AMBIANTE



TEMPERATURE (°C)

VARIATION DE LA TENSION DE SATURATION BASE - EMETTEUR EN FONCTION DE LA TEMPERATURE AMBIANTE



TEMPERATURE (°C)

## BIBLIOGRAPHIE

Tèchnique de l'ingénieur(électronique) Vol.3 effet thèrmoélectrique

Circuits électronique et amplificateurs à tubes et à transistors

(Dunod) par L.CHAMBEAU

Tèchnique de la régulation par semi-conducteurs(Dunod)J.ZGUD

B.GRABOWSKI

Choppers à transistors complémentaires(Inter-électronique mars 66)

M.BARABE

Amplification et mesure de faible tension continu avec des

dispositif à semi-conducteurs(onde électrique n° 390)S.GUENNOU

Mesure de faible courants (Onde électrique n° 409)M.R.RICHARD-FOY

The analysis and performance of transistor choppers(Electric  
ingeneering Sept.66)D.J.FINLAY

Acta electrónica Vol.18 n° 4 (Oct. 1975)

L'amplificateur opérationnel Librairie parisienne de la Radio

1973 R. DUGEHAULT

HANDBOOK of integrated circuit opérationel amplifièrs

Prentice -Hall 1975 G.B. RUTKOWSKI

Les bases de l'automatique industrielle(DUNOD) S.WEGRZYN

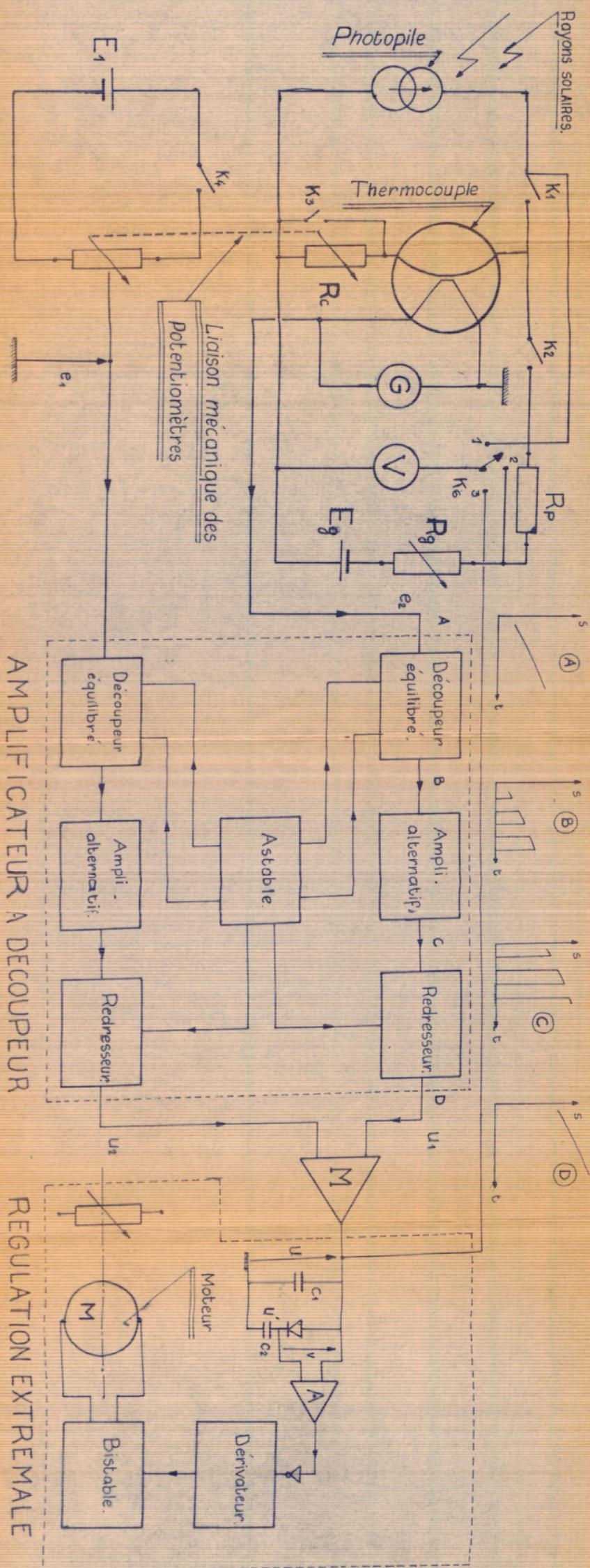
Les systèmes auto-adaptatifs P.I.TCHINAËV

L'automatisation collection ARMAND COLIN par MARCEL CHALVET

Mesures électronique (DUNOD) U.ZELBSTEIN

Mesures Radio-électriques Par GASTON REZE

Fig II.1.  
SCHEMA GLOBAL



# SCHEMA ELECTRIQUE GLOBAL

