

وزارة التعليم و البحث العلمي

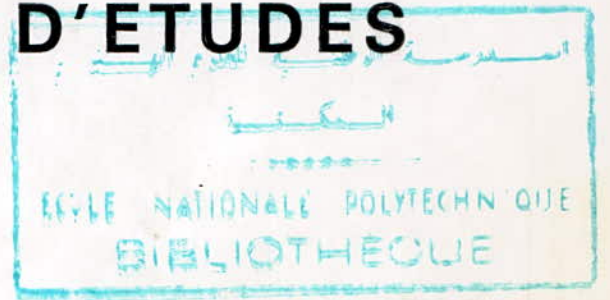
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DÉPARTEMENT : ELECTRONIQUE

PROJET DE FIN D'ÉTUDES

SUJET



SIMULATEUR DE
PANNEAUX SOLAIRES
500 W

Proposé par : M.
HADDADI

Étudié par :
- EL - KHELFAOUI
- ESCID

Dirigé par : M.
HADDADI

PROMOTION JUIN 85

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم و البحث العلمي
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : ELECTRONIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

SIMULATEUR DE
PANNEAUX SOLAIRES
500 W

Proposé par : M.
HADDADI

Étudié par :
- EL - KHELFAOUI
- ESCID

Dirigé par : M.
HADDADI

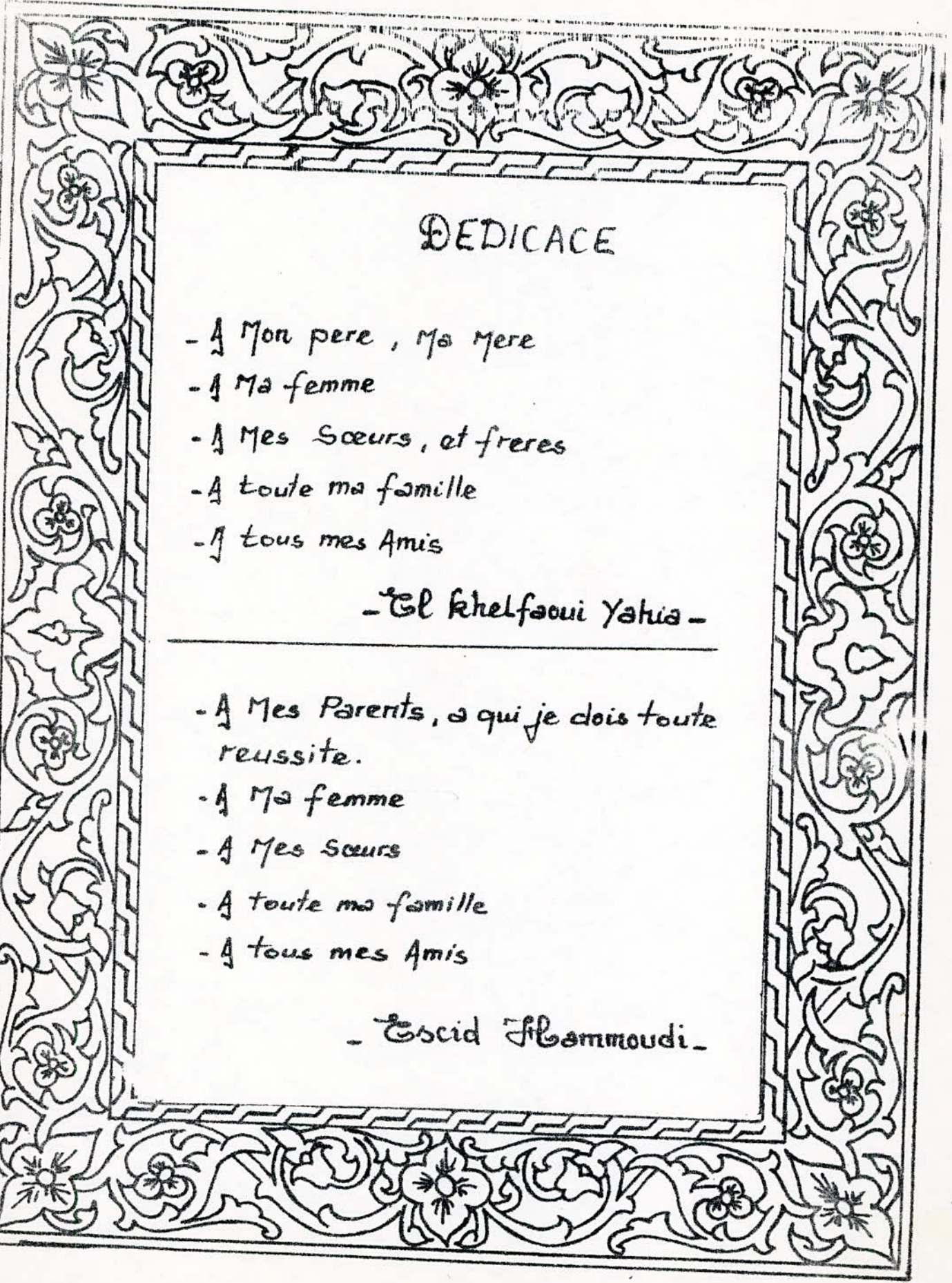
PROMOTION JUIN 85

E.N.P. 10 Avenue Hacen Badi - EL - HARRACH ALGER

قال الله تعالى

انهم ايتنا في الآفاق
وفي انفسهم، حتى تبين

لهم أنه الحق * صدق الله العلي العظيم



DÉDICACE

- A Mon pere , Ma Mere
- A Ma femme
- A Mes Sœurs , et freres
- A toute ma famille
- A tous mes Amis

- El Khelfaoui Yahia -

- A Mes Parents , a qui je dois toute reussite.
- A Ma femme
- A Mes Sœurs
- A toute ma famille
- A tous mes Amis

- Escid Hammoudi -

A decorative border with intricate floral and scrollwork patterns surrounds the central text. The border consists of an inner rectangular frame and an outer wide band with repeating floral motifs.

REMERCIEMENT

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciement à :

- Monsieur HADDADI MOURAD qui nous a proposé ce sujet et nous a permis de mieux cerner le côté pratique de l'électronique.

- Monsieur BENLAOUKLI LANCENE qui nous a beaucoup aidé dans notre réalisation.

- Mademoiselle DIF KHEDIDJA qui a tape ce manuscrit.

- À tous qui ont collaboré directement ou indirectement dans notre formation.

-- S O M M A I R E --

C H A P I T R E I.

1. ETUDE THEORIQUE DE LA JONCTION PN.

- 1.1 LA Jonction PN a l'équilibre.
- 1.2 La jonction PN dans l'obscurité.
- 1.3 Le courant qui traverse cette jonction.

2. PRINCIPE DE LA CONVERSION PHOTOVOLTAIQUE ET LES DIFFERENTS PARAMETRES QUI LA CARACTERISE.

- 2.1 Cellule photovoltaïque.
- 2.3 L'effet photovoltaïque.

A- Les paramètres influençant le rendement des photopiles.

- a. Le pouvoir d'absorption et de réflexion du matériau.
- b. Résistance série.
- c. Résistance Shunt.

B- Mesures expérimentales de la caractéristique d'une photopile.

- 2.4 Domaines de fonctionnement des photopiles.
- 2.5 Facteur de remplissage.
- 2.6 Influence de la température.
- 2.7 Influence de l'éclairement.
- 2.8 Influence de la charge sur le point de fonctionnement. des photopiles.

3. ELEMENTS CONSTITUTIFS D'UNE INSTALLATION PHOTOVOLTAIQUE.

- 3.1 Modules photovoltaïques.

CHAPITRE II.

LES SIMULATEURS DE GENERATEURS PHOTOVOLTAIQUES.

1. Simulateurs à résistances (V.D.R.).
2. Simulateurs à transistors.
3. Simulateurs utilisant les caractéristiques de circuit magnétiques.
 - 3.1 Simulateur à réactance de réglage.
 - 3.2 Simulateur utilisant la saturation du circuit magnétique d'une autoinductance.
 - 3.3 Simulateur à redresseurs à thyristors.
4. Simulateur numérique.

CHAPITRE III.

ETUDE ET REALISATION D'UN SIMULATEUR E REFERENCE PHOTOVOLTAIQUE.

- I - Principe de fonctionnement.
- II- Etude de différentes parties de l'appareil.

1. Amplificateur de tension.
2. Détecteur de linéarité.
3. Amplificateur de courant.
4. Charge électronique.
5. Alimentation du circuit de commande.
6. Alimentation de puissance.

CHAPITRE IV

RESULTATS EXPERIMENTAUX. CARACTERISTIQUES DU SIMULATEUR

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

L'utilisation de l'énergie solaire connaît de nos jours des progrès considérables et regagne le terrain sur beaucoup d'applications.

Ceci est le résultat de plusieurs facteurs, le premier étant le risque d'épuisement des énergies (fossiles) anciennes, ce qui fait qu'on tend à développer et à utiliser des énergies dites renouvelables, dont le solaire fait partie intégrante . Le deuxième étant le faible coût d'entretien de ces installations (particulièrement dans le cas du couplage direct). Le troisième étant la possibilité d'isolement géographique donc l'autonomie de l'installation.

Le seul obstacle qui freine l'extention rapide de l'électricité photovoltaïque est le coût élevé des photopiles fabriquées à base de matériaux semi-conducteurs. Cependant la puissance des installations augmente d'années en année et atteint aujourd'hui plusieurs dizaines de KW.

Toutefois les difficultés techniques croissent avec l'augmentation de la puissance, d'où la nécessité d'une étude détaillée du comportement d'une installation en laboratoire et l'idée de simuler des panneaux solaires, paraît bien indiquée et présente l'avantage d'être beaucoup moins onéreuse qu'une installation réelle.

Dans le premier chapitre nous rappellerons le principe de la conversion photovoltaïque et les différents paramètres influençant cette dernière. le chapitre II étudiera les différentes possibilités de simulations et indiquera les raisons du choix du type de simulation retenu. Dans le chapitre III nous décrirons le simulateur réalisé et son système électronique, utilisant une photopile de référence. Cette méthode permet un suivi du flux lumineux et de la température.

Enfin dans le chapitre IV nous présenterons les performances de l'appareil réalisé.

./.

CHAPITRE . I .

I)- ETUDE THEORIQUE DE LA JONCTION PN.

Dans le but de mieux comprendre la conversion photovoltaïque on va traiter la théorie de la jonction PN.

Le fonctionnement de la cellule repose entièrement sur les propriétés électroniques différentes acquises par le silicium quand des atomes sont placés dans un réseau cristalin (dopage). Si ces atomes contiennent plus d'électrons que le silicium de base, l'ensemble ainsi formé contiendra des électrons libres en excès et sera dit du type N à l'inverse, un dopage à l'aide d'atomes contenant moins d'électrons que le silicium de base., le semi-conducteur obtenu sera dit type P.

1.1 La jonction PN à l'équilibre :

Si une jonction PN est placée dans l'obscurité à température constante, et en l'absence de différence de potentiel appliquée, il n'y aura aucun courant qui circule entre les deux régions N et P. Dans ces conditions on dit que la jonction NP est à l'équilibre.

Cependant entre les deux régions les concentrations des électrons N_0 d'une part et des trous P_0 de l'autre part sont très différentes.

Soient N_d et N_a les concentrations respectives des donneurs et des accepteurs, elles sont grandes devant la concentration intrinsèque N_i dans le même semi-conducteur et petite devant les concentrations N_c et N_v des états possibles pour les électrons de bandes de conduction et de valence, on a alors :

- Région N (donneurs).

$$N_{on} = N_{d.} \quad (\text{majoritaires}) \quad (1.1) .$$

$$P_{on} = \frac{N_i^2}{N_d} \quad (\text{minoritaires}) \quad (1.2)$$

- Région P (accepteurs).

$$N_{op} = \frac{N_i^2}{N_a} \quad (\text{minoritaires}) \quad (1.3)$$

$$P_{op} = N_a \quad (\text{majoritaires}) \quad (1.4)$$

A l'équilibre, une barrière de potentiel s'oppose au mouvement des charges majoritaires, et ne peuvent plus diffuser dans le milieu voisin.

$$V_N - V_P = V_D \quad (1.5).$$

La concentration intrinsèque N_i en fonction des concentrations effectives N_C et N_V des états possibles pour les électrons dans les bandes de conduction et de valence, et de E_g est donnée par la relation :

$$N_i^2 = n p = N_C N_V \exp (E_g / kT) \quad (1.6).$$

avec

$$n = N_C \exp \left(\frac{E_C - E_F}{kT} \right) \quad (1.7).$$

$$p = N_V \exp \left(\frac{E_F - E_V}{kT} \right) \quad (1.8).$$

A l'état d'équilibre, le flux W_n^- , des électrons minoritaires dans la région P, qui passe dans la région N, (voir fig.1) va juste compenser le flux W_n^+ des électrons majoritaires dans le sens inverse.

De même les flux des trous W_p^- et W_p^+ se compensent aussi, si bien qu'aucun courant n'est perceptible dans le circuit extérieur.

1.2 La jonction PN polarisée dans l'obscurité :

Si la jonction est polarisée et placée dans l'obscurité. La tension de polarisation s'ajoute en valeur algébrique.

$$V_N - V_P = V_D + V \quad (1.9).$$

Suivant que V (tension de polarisation) est positive ou négative, elle favorise les flux W_n^- , W_p^+ , c'est à dire si V est positive, elle va diminuer la barrière de potentiel et la jonction sera dite polarisée en direct, si par contre V est négative, elle va augmenter la barrière du potentiel et la jonction sera dite polarisée en inverse.

1.3 Le courant qui traverse cette jonction (cas d'une diode polarisée en direct)

$$I_d = I_s \left(e^{\frac{-qV}{kT}} - 1 \right) \quad (1.10).$$

I_s : Courant de saturation crée par les charges minoritaires.

q : Charge élémentaire de l'électron.

V : Tension de polarisation.

K : Constante de Boltzman.

T : Température en degré Kelvin.

Les paires électrons-trou créés, diffusent dans le matériau, on définit des longueurs qui dépendent de deux paramètres, le premier étant la mobilité d'une charge élémentaire μ (par unité de champ électrique), le deuxième la durée de vie moyenne τ des porteurs avant leurs recombinaisons (fig.2).

Pour les électrons :

$$L_n = \sqrt{D_n \tau_n} \quad \text{avec} \quad D_n = \frac{Kt}{q} \mu_n$$

de même pour les trous

$$L_p = \sqrt{D_p \tau_p} \quad \text{avec} \quad D_p = \frac{Kt}{q} \mu_p$$

N_i est la concentration de porteurs intrinsèque / m^3

N_a est le nombre d'accepteurs / m^3

N_d est le nombre de donneurs / m^3

En général $N_a \gg N_i$.

D_n et D_p sont coefficients de diffusion.

T en degrés Kelvin.

$$K = 1,381 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$$

$$q = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

τ_n varie de 10^{-6} à 10^{-2} seconde.

D'autre part N_i varie en $T^{3/2} e^{\frac{-E_g}{kt}}$ et D_n varie en fonction de la température
Donc I_s est très sensible à la température .

I_s ; courant des minoritaires est donné par la fonction suivante

$$I_s = Sq n_i^2 \cdot \left(\sqrt{\frac{D_n}{\tau_n}} \cdot \frac{1}{N_a} + \sqrt{\frac{D_p}{\tau_p}} \cdot \frac{1}{N_d} \right) \quad (1.11).$$

S : surface du semi-conducteur .

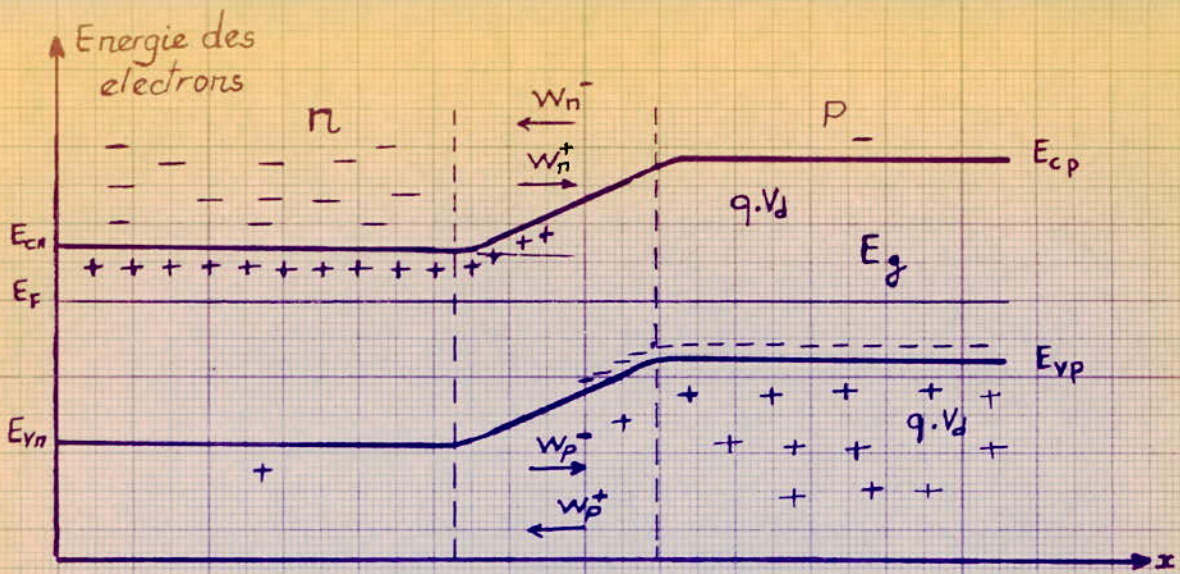
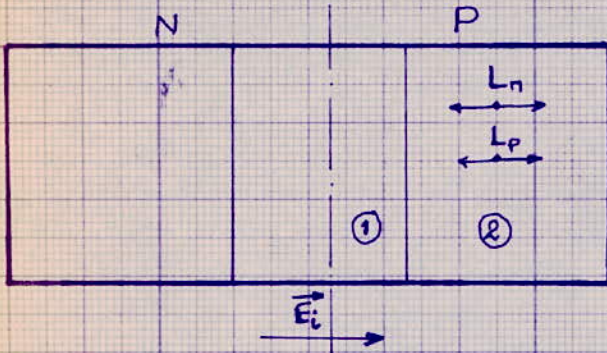


FIG 1 : - Niveau d'energie d'une jonction à l'état d'équilibre.



- ① zone d'espace où les paires electron-trou sont séparées par le champ interne \vec{E} .
- ② zone de recombinaison des paires electron-trou dans le matériau.

FIG: 2

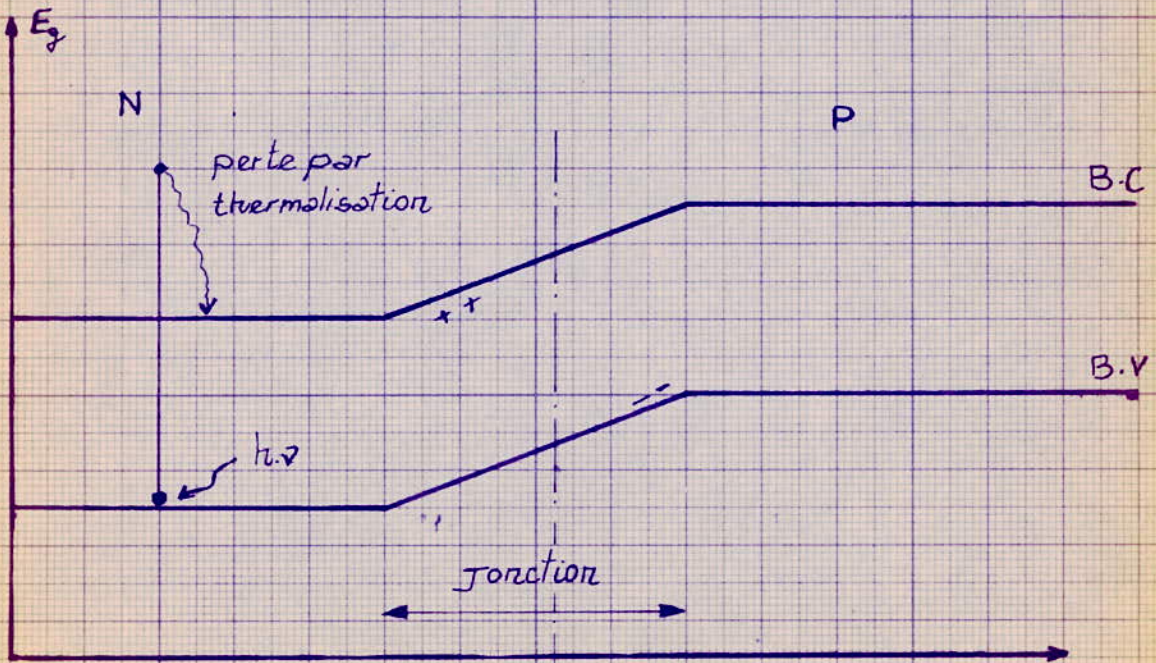


FIG: 3

2)- PRINCIPE DE LA CONVERSION PHOTOVOLTAIQUE ET LES DIFFERENTS PARAMETRES QUI LA CARACTERISE.

2.1 Cellule photovoltaïque.

La conversion photovoltaïque est le seul moyen de transformer directement l'énergie fournie par le soleil sous forme de lumière en énergie électrique. Cette transformation est assurée par des cellules photovoltaïques fabriquées par un matériau semi-conducteur dont le plus courant est le silicium. La cellule photovoltaïque est constituée par une plaquette de silicium dopée différemment sur chacune des faces. L'une est dopée positivement, l'autre négativement, d'où formation d'une jonction PN. Au voisinage de cette jonction, les charges positives et négatives créent un champ électrique interne E_i .

2.2 L'effet photovoltaïque :

Une cellule photovoltaïque est une jonction PN soumise à l'énergie du rayonnement solaire. Si l'énergie $h\nu$ du photon absorbé par le matériau semi-conducteur est supérieure à la largeur de la bande interdite E_g du matériau de base recevant le flux lumineux des électrons passent de la bande de valence à la bande de conduction.

Si cette énergie reçue par l'électron est très importante, celui-ci libère son excès d'énergie sous forme de chaleur, cette perte est appelée perte par thermalisation (fig. 3).

Si l'énergie de l'électron est inférieure à E_g il n'y a pas créations de paires électron-trou.

Si l'on appelle ν_f la fréquence limite au seuil d'absorption.

$$\nu_f = \frac{E_g}{h}$$

E_g : Largeur de bande interdite en V.

h : Constante de planck.

$$\lambda_f = \frac{c}{\nu_f}$$

c : Vitesse de la lumière dans le vide.

$$c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s.}$$

Donc si $\lambda < \lambda_f$ on a création de paires électrons-trous. La figure (4) présente des longueurs d'ondes utiles pour la création de ces paires électrons-trous dans différents matériaux solaires.

./.

2.3 Caractérisation d'une cellule photovoltaïque (schéma équivalent).

Une cellule photovoltaïque n'est rien d'autre qu'une jonction PN exposée au rayonnement solaire, cette dernière travaille alors en générateur de tension ou de courant selon la charge qui la polarise. La photopile convertit le flux d'énergie lumineux en énergie électrique.

Le schéma équivalent d'une photopile idéale est donné par la figure 5.

$$I = I_{ph} - I_d \quad (2.1).$$

A)- LES PARAMETRES INFLUENCANT LE RENDEMENT DES PHOTOPILES

a- Le pouvoir d'absorption et de réflexion du matériau est le paramètre principal qui caractérise le rendement d'une photopile. Ce paramètre permet de connaître la manière dont est absorbé le rayonnement polychromatique à une profondeur dans le matériau, le flux s'écrit :

$$\phi_x = \phi_x (1 - R) e^{-ax} \quad (2.2).$$

avec

$$R = \frac{\phi_r}{\phi_s}$$

ϕ_x : Flux à la profondeur X du matériau en W/m²

ϕ_s : Flux incident en W/m²

ϕ_r : Flux réfléchi en W / m²

R : Coefficient de réflexion

A : Coefficient d'absorption en cm.

La figure 6 donne les coefficients d'absorption pour différents matériaux photovoltaïques.

b- Résistance série :

Elle est due aux contacts localisés aux surfaces de séparation semi-conducteur, électrode et la résistance interne de celui-ci . Elle influe sur le rendement puisqu'elle est en série avec la charge aux bornes de la photopile.

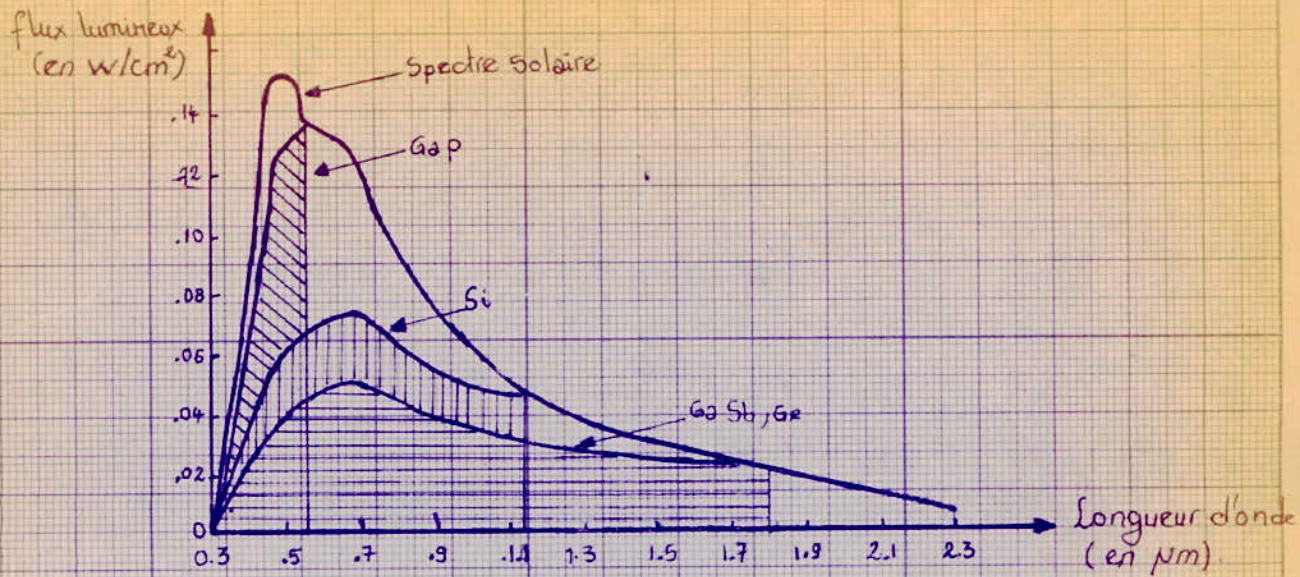


Fig: 4

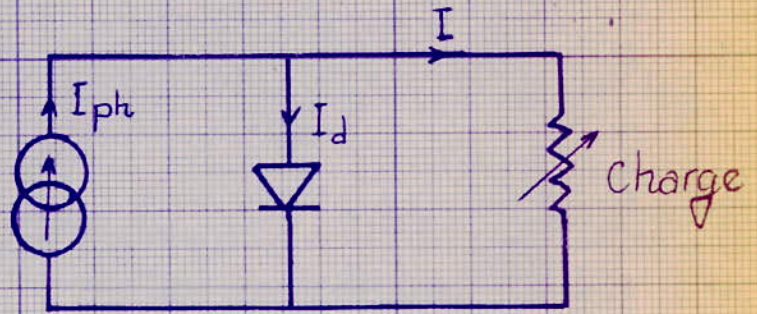


fig: 5

Coefficient d'absorption (en cm^{-1})

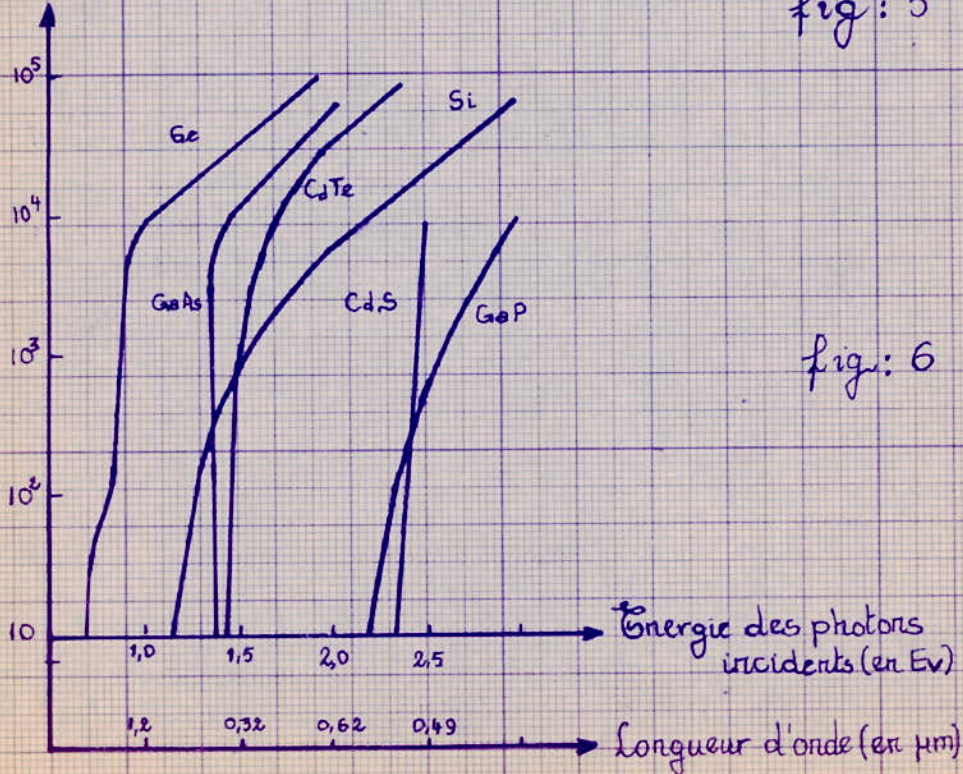


fig: 6

c- Résistance schunt :

Elle caractérise les défauts cristallins dans la jonction ainsi que les résistances de fuite sur les bords de la cellule.

Ainsi le courant I débitée dans la charge est donnée par la formule suivante :

$$I = \alpha \phi S - I_S \left(e^{\frac{q}{2kt} (V + \delta I)} - 1 \right) \quad (2.3).$$

α : coefficient tenant compte de a et de R .

$$\alpha = 2,5 \cdot 10^{-4} T + 0,224 \text{ en } \text{AW}^{-1} \quad (\text{pour le Si}).$$

ϕ : flux lumineux reçu en W/m^2

S : Surface de la cellule en m^2

S : Résistance série en Ω .

La figure 7 représente le schéma équivalent d'une photopile réelle.

Nous pouvons alors donner les caractéristiques d'une photopile de bonne qualité. Cette dernière doit avoir :

- Une absorption sur la plus grande partie possible du spectre solaire (création de paires électrons-trous dans une faible épaisseur du matériau).
- Une grande longueur de diffusion (ce qui implique τ et λ le plus grand possible).
- Un rapport $R = \frac{\phi_r}{\phi_s}$ le plus faible possible. $R = \frac{\phi_r}{\phi_s}$
- Une résistance série la plus faible possible.
- Une résistance Schunt la plus élevée possible.
- Un courant de diffusion le plus faible possible.
- Un champ interne le plus élevé possible.

./.

B. MESURES EXPERIMENTALES DE LA CARACTERISTIQUE D'UNE PHOTOPILE.

La cellule photovoltaïque qu'on va utiliser dans notre simulateur est une cellule complète de 57 cm² de surface dont on a mesuré ces caractéristiques dans le laboratoire. On a exposé cette cellule à un rayonnement de 1000 W/m² dont le spectre correspond à celui du soleil. La mesure a été faite à une température constante de 28 °, en isolant ce système dans l'appareillage approprié, on a obtenu la (Fig.8) qui n'est rien d'autre que la fonction :

$$I = f (V, \phi , S, T) \text{ donné par la formule (2.3).}$$

On trouve :

$$V_{CO} = 0,57.$$

$$I_{CC} = 2,5 \text{ A.}$$

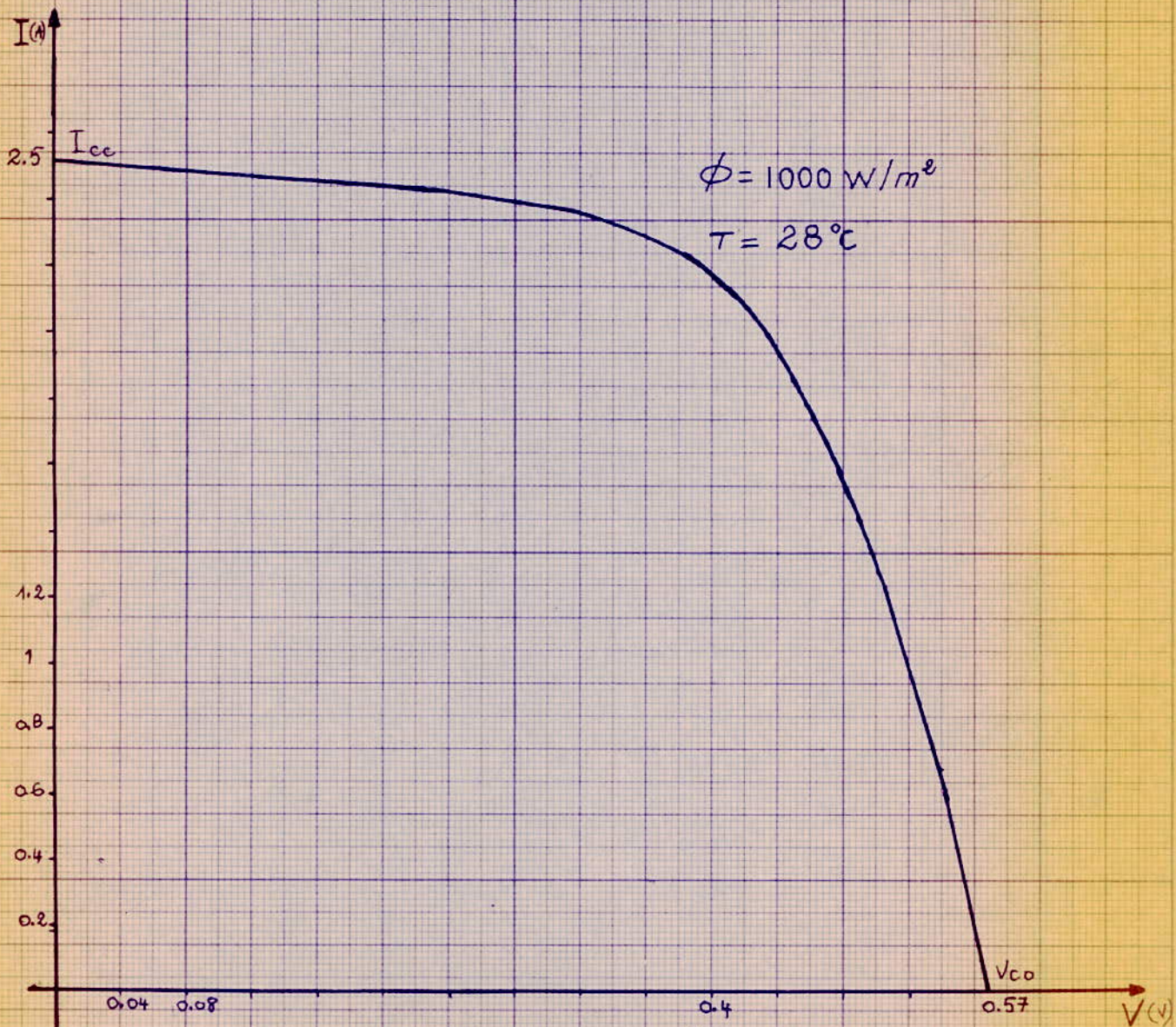
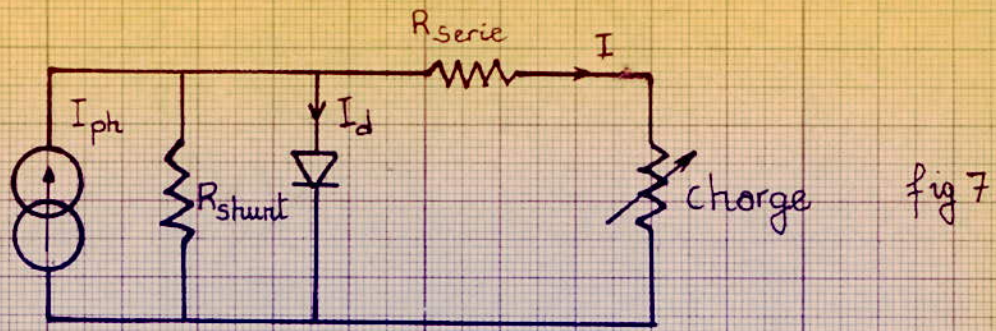


fig 8 : Caractéristique expérimentale d'une Cellule du type Photowatt

2.4 Domaines de fonctionnement des photopiles.

La figure 9 représente la caractéristique $I = F(V)$ d'une photopile sous obscurité (tracé 1) et de la même photopile sous éclaircissement (tracé 2 et 3) nous remarquons sur cette figure quatre quadrants :

. Les quadrants II et IV correspondent à un fonctionnement du photoélément en récepteur ($P = VI$ positif) tandis que le quadrant III concerne un fonctionnement en générateur ($P = VI$ négatif).

V_{∞} représente la tension de circuit ouvert $V = V_{\infty}$ $I = 0$, on obtient à partir de l'équation (2.4) l'expression de

V_{∞} équation (2.5).

$$I = I_{ph} - I_s \left(e^{\frac{qV}{2kt}} - 1 \right) \quad (2.4).$$

d'où

$$V_{\infty} = \frac{2kt}{q} \times \ln \frac{I_{ph}}{I_s} + 1 \quad (2.5).$$

I_{cc} représente le courant de court circuit , dans ce cas :

$$I = I_{cc} \quad \text{et} \quad V = 0 \quad \text{donc}$$

$$I_{cc} = I_{ph} \quad (\text{si la résistance série est très faible}) /$$

La courbe (3) représente l'évolution de la courbe (2) lorsque ma température s'élève de θ_2° à θ_3° .

2.5 Facteur de remplissage :

On appelle facteur de remplissage le rapport :

$$F = \frac{I_{op}}{I_{cc}} \cdot \frac{V_{opt}}{V_{co}} \quad (2.6) \quad \text{voir fig. 10.}$$

2.6 Influence de la température :

La figure 11 représente l'évolution avec la température de la courbe $I = F(V)$

fig: 10

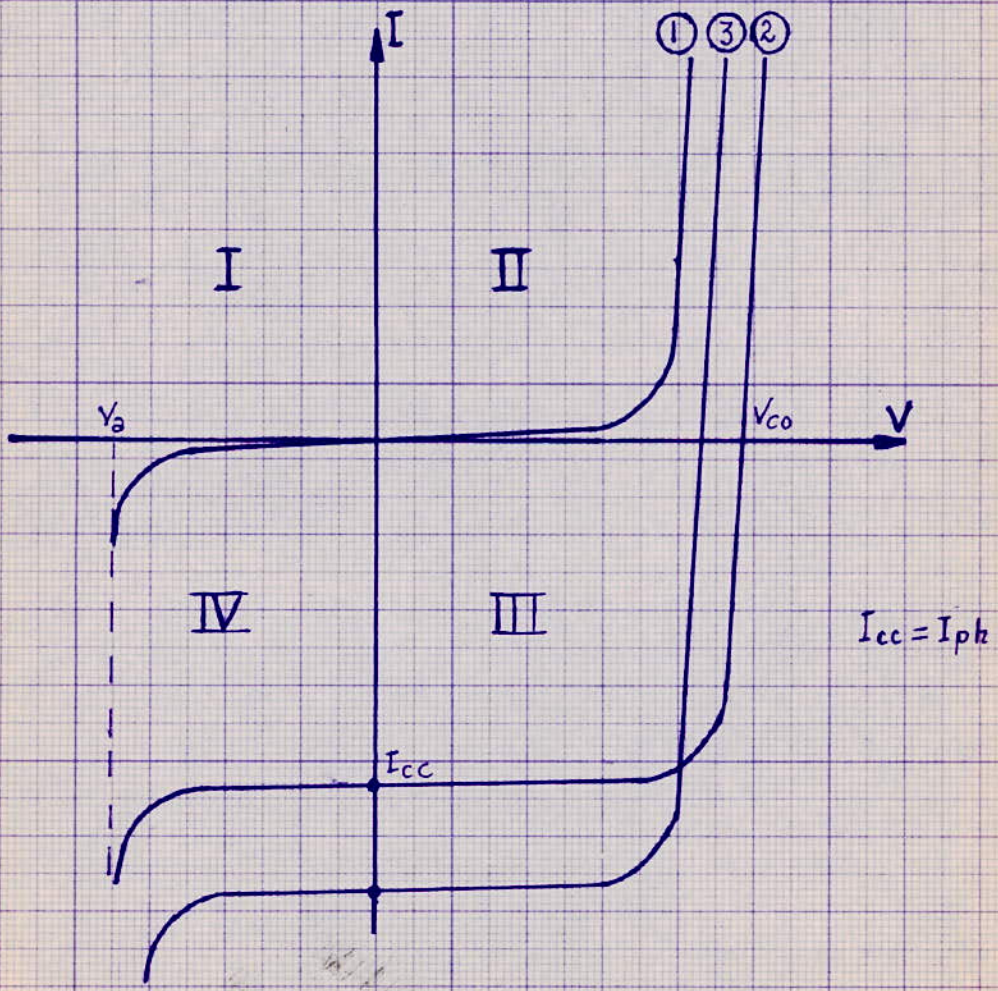
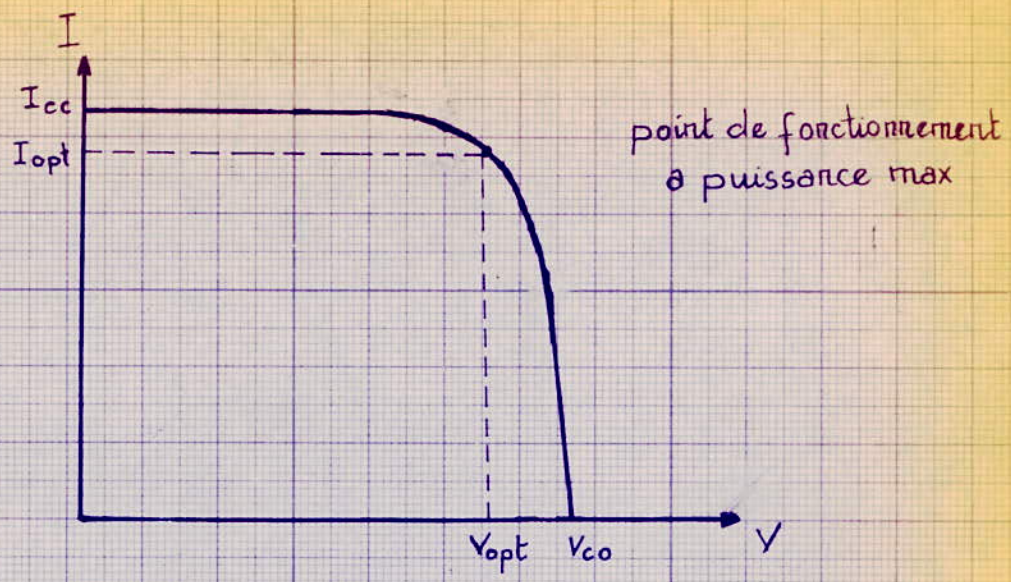


fig: 9

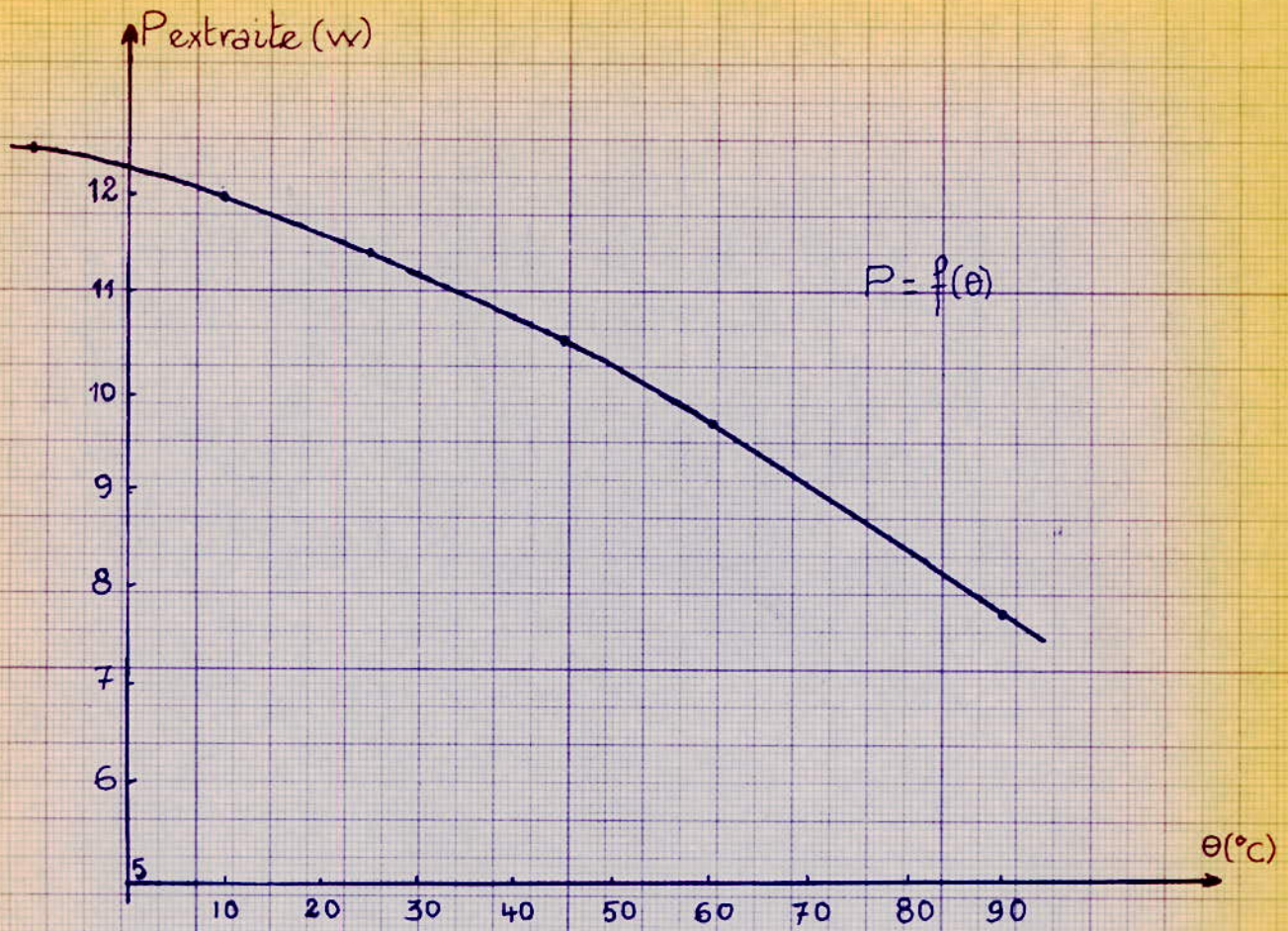


fig: 11

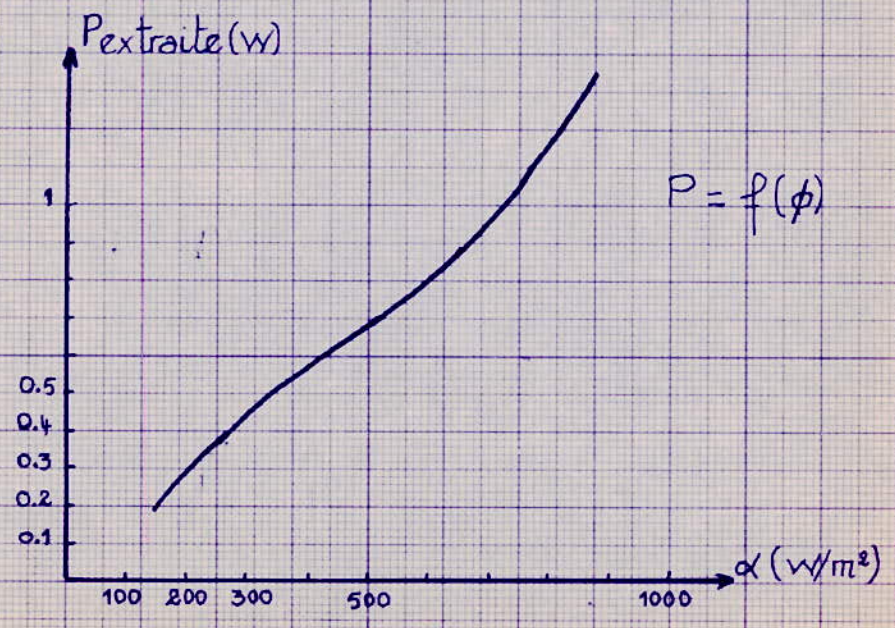


fig: 13

à un flux lumineux $\phi = 1000 \text{ W/m}^2$, on voit que la température à une large influence sur la puissance extraite des photopiles (fig. 12).

2.7 Influence de l'éclairement :

L'influence du flux lumineux est représentée sur la figure (13) dans le cas d'un module solaire photovoltaïque RTC BP X 47A. La figure (14) représente l'évolution de la puissance en fonction de la puissance extraite en fonction du flux lumineux.

2.8 Influence de la charge sur le point de fonctionnement des photopiles.

Sur la courbe $I = f(v)$ figure 15, on distingue deux zones de fonctionnement, la zone (1) correspond grossièrement à un générateur de tension dont les caractéristiques vont en se dégradant lors de l'augmentation du courant, la zone (2) correspond à un générateur de courant suivant la valeur de la charge, le point de fonctionnement se trouvera dans l'une ou l'autre de ces deux zones.

3)- ELEMENTS CONSTITUTIFS D'UNE INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE.

La figure (16) représente les différentes possibilités d'installation.

La méthode la plus simple consiste à faire un couplage direct des panneaux et de la charge, mais est réservée à des cas très particuliers.

L'adaptateur de charge permet une meilleure utilisation de l'énergie que peuvent fournir les groupements de modules solaires. En effet, la droite de charge d'un récepteur ne passe par le point de fonctionnement optimal que pour un éclairement donné, pour d'autres éclaircissements, le groupement de modules ne cédera pas, la puissance maximale susceptible d'être fournie.

L'adaptation permet d'utiliser cette puissance perdue en la transformant de manière adéquate pour la charge . On distingue 2 types d'adaptateurs :

L'adaptateur élévateur de tension et l'adaptateur abaisseur de tension. L'adaptateur d'impédance permet par exemple de faire démarrer un moteur sous faible ensoleillement

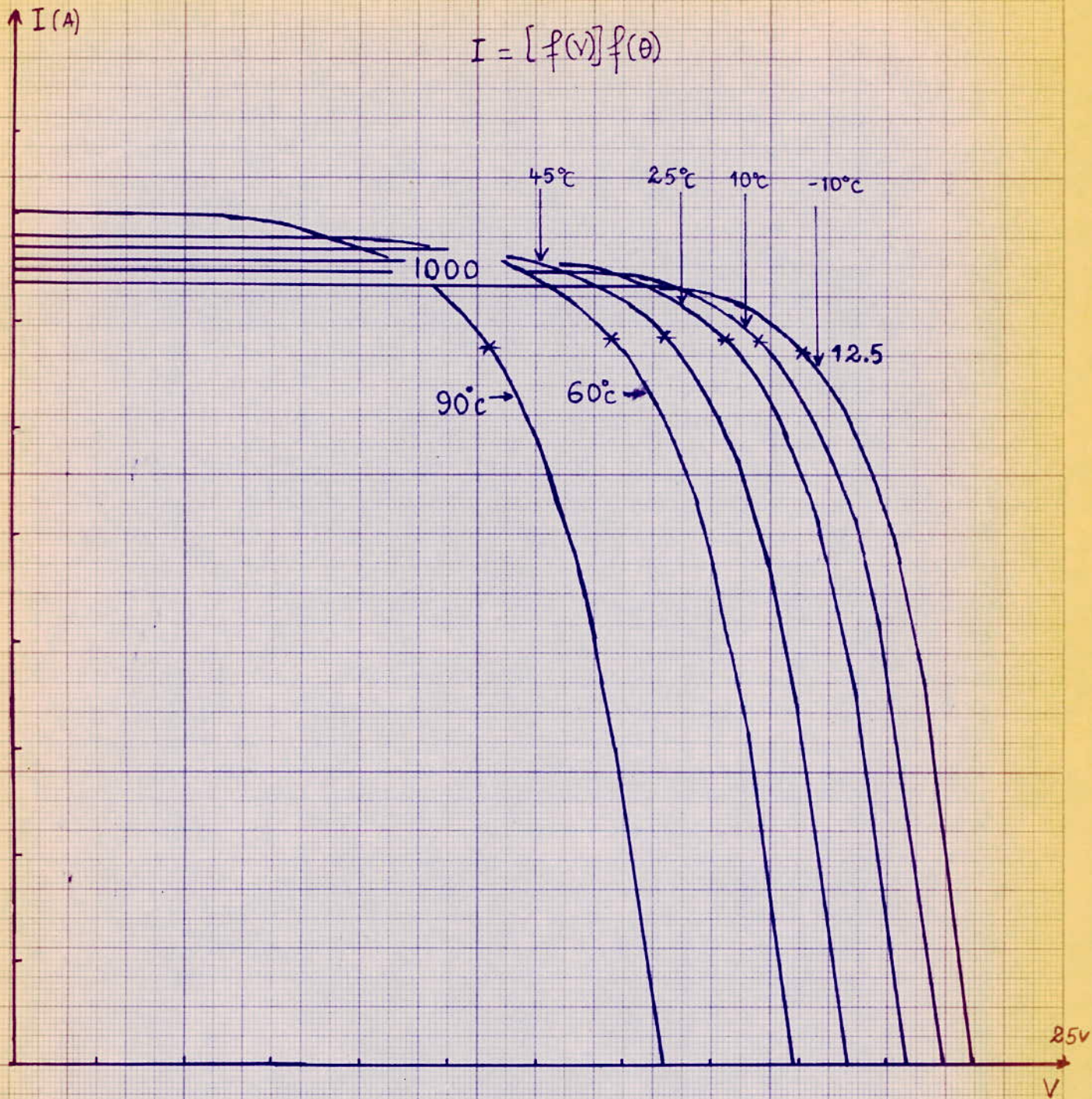


fig: 12

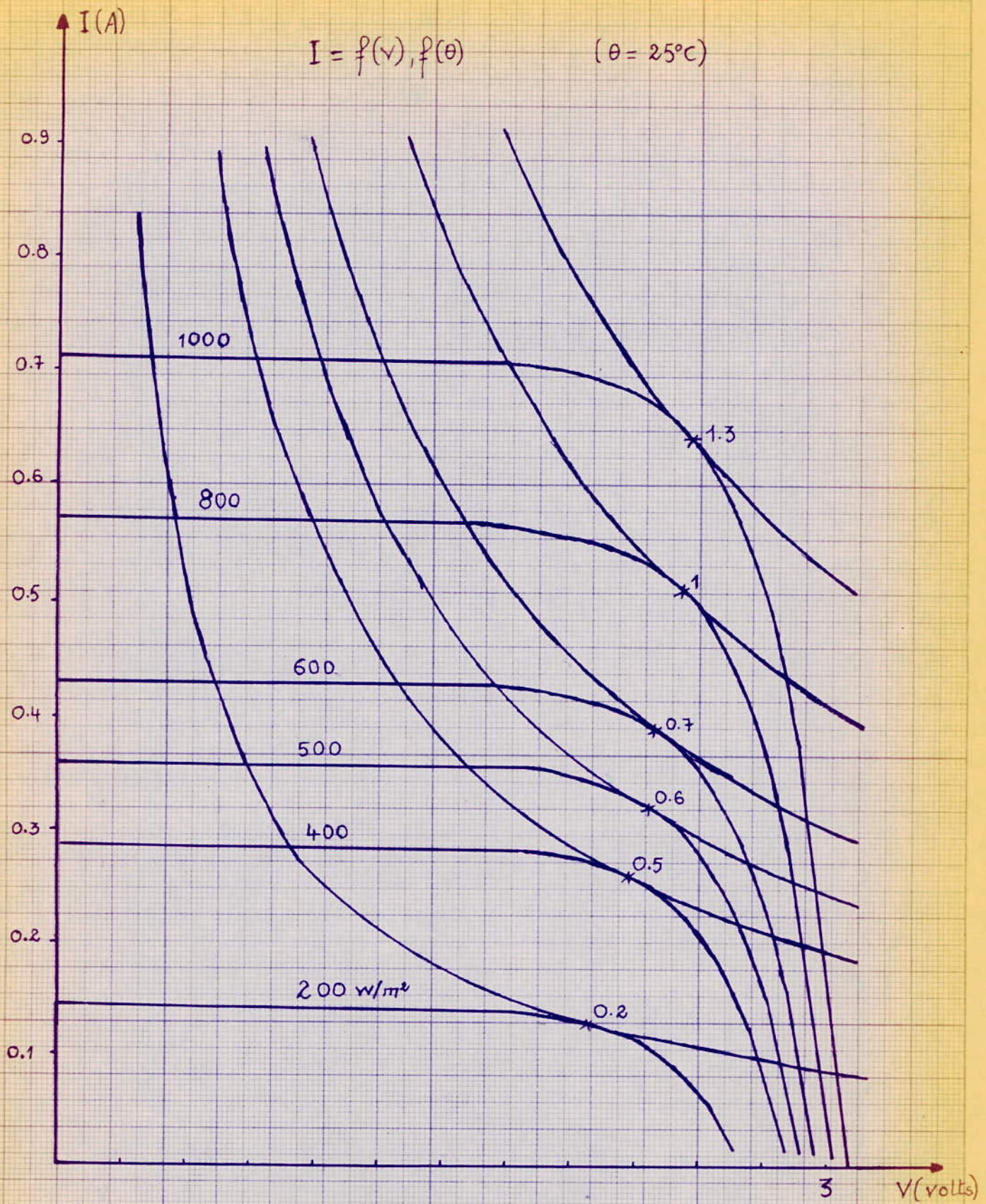


fig: 14

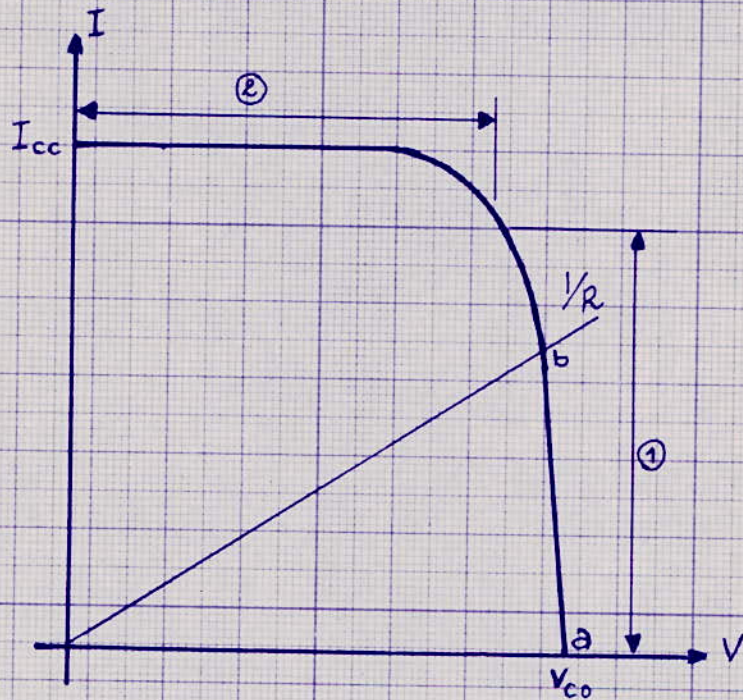


fig: 15

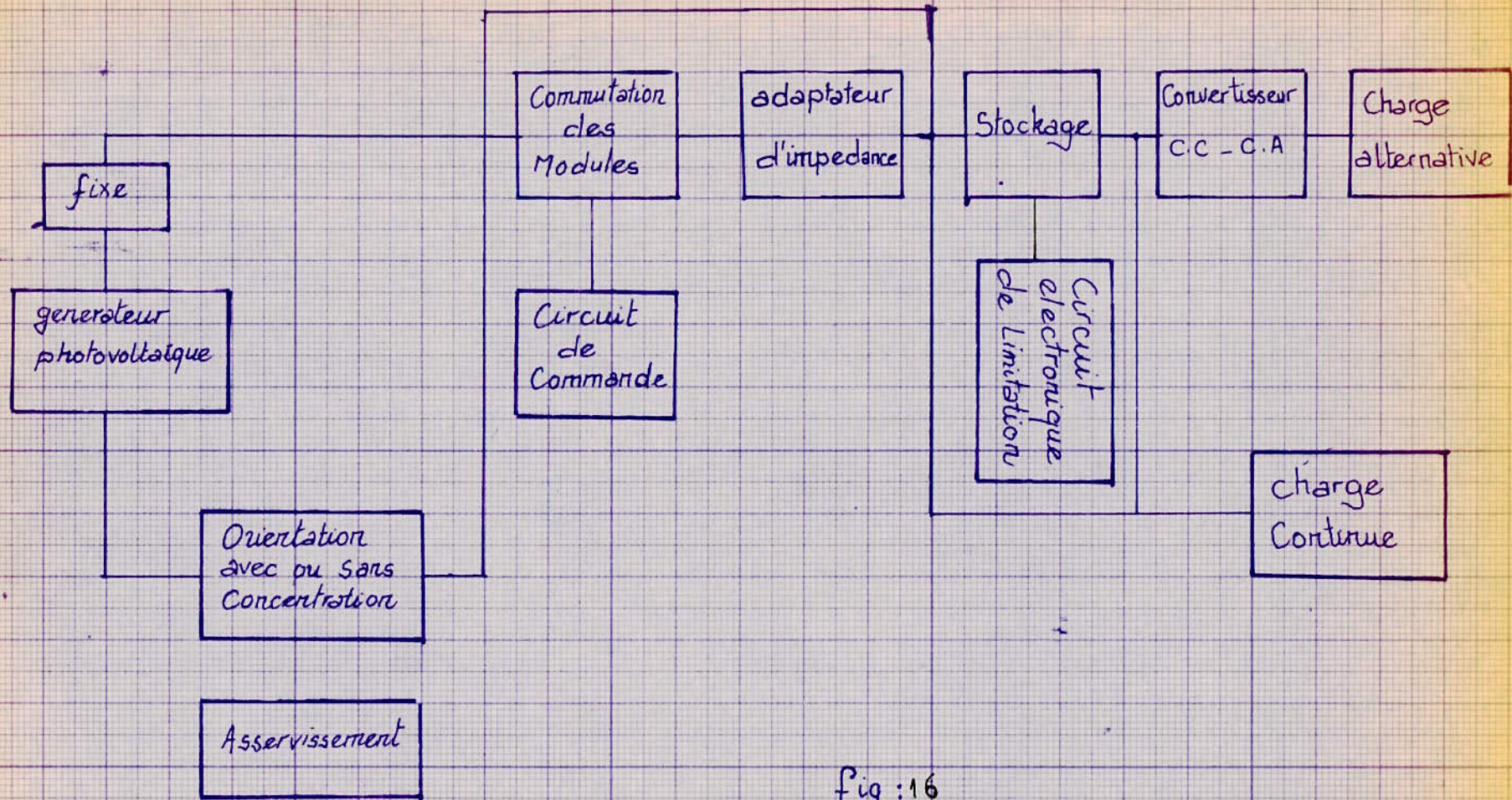


fig :16

alors que sans lui le moteur serait inopérant.

L'onduleur permet la transformation d'un courant continu en un courant alternatif. Le stockage sous forme électrique s'effectue à l'aide de batteries d'accumulateurs. Pour les puissances importantes, on utilise les accumulateurs au plomb. L'inconvénient de ces accumulateurs est d'exiger un entretien périodique. Leur avantage est d'être d'un faible coût. Dans les installations de faible dimensions les accumulateurs Cadmium Nickel sont utilisés en raison de l'absence pratiquement totale d'entretien.

Le circuit de commutation permet selon le moment de la journée et les besoins de l'installation de modifier automatiquement les branchements série-parallèle des modules solaires.

La concentration permet d'économiser des cellules en les soumettant à un rayonnement équivalent à celui reçu par une surface plus grande.

Avec la concentration apparaissent de façon accrue les problèmes de température et de disparité des cellules. De plus un système de suivi du soleil est nécessaire (à partir d'un certain niveau de concentration).

De tels systèmes ne sont guère utilisés que dans de petites installations.

3.1 Modules photovoltaïques:

La cellule est le composant essentiel d'un système photovoltaïque, mais rares sont les applications directes sous cette forme.

En effet, les caractéristiques mécaniques d'une cellule (fragilité) et de résistance à l'humidité ne pourraient lui garantir la longévité de ses performances.

D'autres parts, les caractéristiques d'une seule cellule (tension unitaire voisines de 0,5 V, puissance faible ...) ne permettent généralement pas d'alimenter directement un équipement électrique dont les tensions de fonctionnement sont normalisées (12, 24, 48 volts).

C'est pourquoi les cellules sont connectées électriquement (montage en série) et assemblées en modules pour constituer des systèmes plus performants . Pour éviter tout problème d'emballement thermique et de destruction de cellules, ces dernières sont choisies de manière à ce que leurs caractéristiques soient pratiquement identiques (surtout en courant).

3.2 Caractéristiques d'un module photovoltaïque.

Un module photovoltaïque est l'association, en série ou en parallèle ou en série-parallèle d'un certain nombre de cellules photovoltaïques.

a- Module constitué par des cellules en série

D'après le schéma équivalent de la fig 17, représentant n cellules identiques en série on peut écrire :

$$V_a - V_b = R_{ch} I = V_{d1} + V_{d2} \dots + V_{dn} - (R_{s1} + R_{s2} \dots + R_{sn}) I \quad (3.2).$$

$$I = I_{p1} - I_{p1} = I_{p2} - I_{d2} = \dots = I_p - I_d.$$

Si les cellules sont identiques alors :

$$V_d = V_{d2} = \dots = V_{dn} \text{ et } R_s = R_{s1} = R_{s2} = \dots = R_{sn}$$

On aura alors :

$$V_A - V_b = n (V_d - R_s I) \quad (3.2)$$

- Courant de court circuit

$$\text{En court circuit } R_{ch} = 0 \text{ d'où } I_{cc} = \frac{V_d}{R_s} \quad (3.3).$$

On remarque que le courant de court circuit est limité par la résistance de (R_s).

Pour les cellules au silicium : V_d est de l'ordre de 0,5 V et R_s a quelque centaine de milliohms d'où I_{cc} de l'ordre de 1 à 2 A (I_{cc} dépend de la surface de la cellule).

- Tension 'à vide

$$\text{En circuit ouvert on a : } R_{ch} = \dots \text{ d'où } I = 0 \text{ d'où } V_{co} = nV_d \quad (3.4).$$

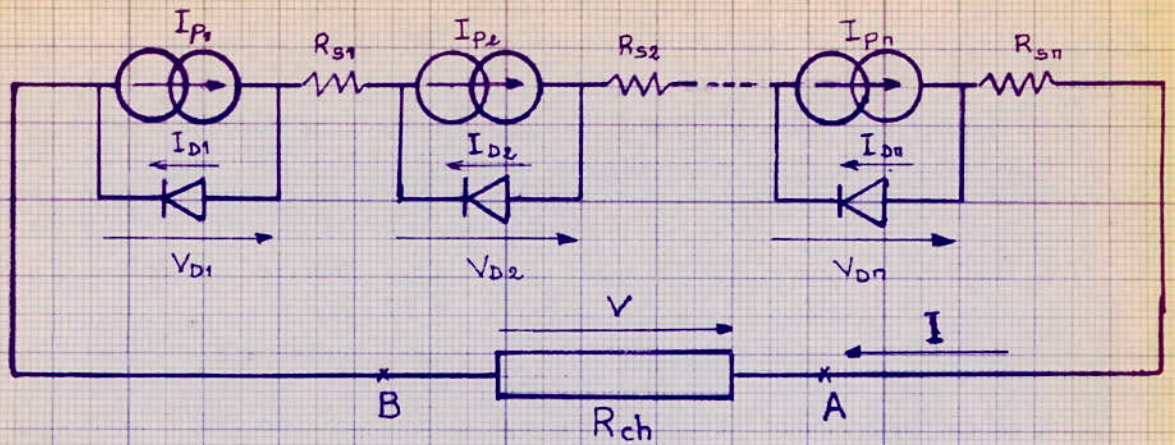
Or le nombre n de cellules en série est en moyenne de 35 cellules d'où V_{co} est de l'ordre de 20 V.

- Puissance :

La puissance dissipée dans la charge est donnée par le produit VI /

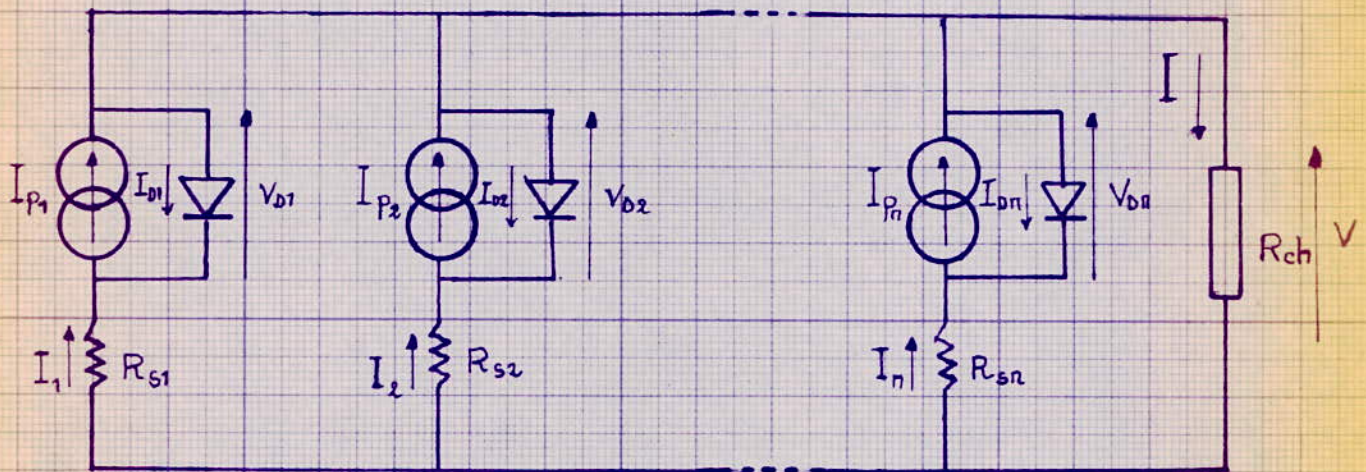
$$\text{Soit } P = VI = n(V_d - R_s I) I \text{ ou } P = nV_d I - nR_s I^2 \quad (3.5).$$

./.



Association des Cellules photovoltaïque en Serie (schema equivalent)

fig: 17



Association des Cellules photovoltaïque en parallèle (schema equivalent)

fig: 18

La puissance active est égale à la somme des puissances dans chaque cellule et la puissance dissipée sous forme d'effet joule dans les n résistances.

b- Module constitué par des cellules en parallèles/

D'après le schéma de la fig (18) on peut écrire :

$$V_A - V_B = R_{ch} \cdot I_t = V_1 = V_2 = \dots = V_n \quad (3.6).$$

$$\text{avec } I_t = I_1 + I_2 + \dots + I_n = I$$

Si les cellules sont identiques on aura :

$$V = R_{ch} \cdot I \quad I = I_{ph} - I_D \quad \text{et } V = V_D - R_S I \quad (3.7).$$

- Courant de court circuit :

$$R_{ch} = 0 \Rightarrow V = 0 \Rightarrow I_{CC} = \frac{V_{d,d}}{R_s}$$

Cette expression représente le courant de court circuit d'une seule branche et par conséquent le courant de court circuit total est n fois plus grand

$$I_{CC} = n I_{CC_1} \quad \text{ou encore}$$

$$I_{CC} = n \frac{V_{dd}}{R_s} = \left(\frac{V_{dd}}{R_s/n} \right) \quad (3.8).$$

L'expression (3.8) montre que R_s équivalente est n fois plus petite que dans le cas des cellules en série, ce qui fait augmenter le courant de court circuit de n fois.

- Tension à vide :

$$R_{ch} = \infty \quad \text{d'ou } I = 0 \quad \text{et } V_{co} = V_d \quad (3.9).$$

La tension V_{co} est très faible; de l'ordre de 0,5 V.

- Puissances :

$$P = VI = (V_d - R_s I_1) (n I_1) \quad (5)$$

$$\approx n V_d I_1 - n R_s I_1^2 \quad (3.10).$$

Comparant les 2 expressions (5) et (10) on peut dire que la puissance dissipée dans la charge dans les 2 cas est exactement la même.

3.3 Choix de l'association :

La tension très faible due à l'association parallèle ne permet pas d'alimenter des équipements électriques qui ont des tensions de fonctionnement normalisée (12,24 V)

de même dans le cas de l'association en parallèle, si une cellule s'arrête de fonctionner (placée sous un objet qui fait diminuer le flux) elle devient réceptrice et tous les courants des autres cellules la traversent surtout si la charge est relativement grande) et par conséquent ce fort courant risque de la détériorer.

C'est ainsi qu'on choisit généralement le montage série qui donne la même puissance mais une tension plus grande..

C'HAU'ITIRE '2

CHAPITRE II.

LES SIMULATEURS DE GENERATEURS PHOTOVOLTAIQUE.

Le prix des photopiles est encore élevé, c'est pourquoi il est souhaitable d'utiliser un simulateur permettant d'étudier et de tester des systèmes avant de les installer sur le site, généralement isolé, ou elles doivent fonctionner, deux types de simulateurs peuvent être réalisés :

- Ceux fonctionnant en aveugle; de conception électronique ou électrotechniques, qui reconstituent les caractéristiques $I = F(V)$ d'un ensemble de module mais ne répondent pas aux variations lumineuses.
- Ceux de référence photovoltaïque utilisant une ou plusieurs cellules photovoltaïques dont le courant et la tension sont amplifiés.

De tels simulateurs permettent non seulement de créer les caractéristiques $I = F(V)$ d'un générateur photovoltaïque mais également permettant de tester une charge dans les conditions réelles d'ensoleillement .

1. SIMULATEURS A RESISTANCES (V.D.R).

Les varistances sont des éléments fabriqués à partir de carbure de silicium. Le courant traversant la varistance dépend de la tension aux bornes de la V.D.R. (fig.19) au delà d'un certain courant, la tension aux bornes de la VDR n'augmente plus (on a atteint la tension de saturation de la V.D.R).

Le schéma de principe d'un tel simulateur est donné (fig.20).

Ce schéma équivalent ressemble à celui d'une cellule. Quant la charge est nulle (court circuit) on se trouve au point B de la fig. 14. En faisant varier la charge on détermine donc le point de fonctionnement (fig.18). Sur ce principe on ne peut pas créer de simulateur d'installations importantes car la puissance dissipable dans les varistances est très faible (quelques Watts).

2. SIMULATEUR A TRANSISTORS .

Ce type de simulateur exploite la caractéristique $V_{CC} = F(I_C)$ d'un transistor.

./.

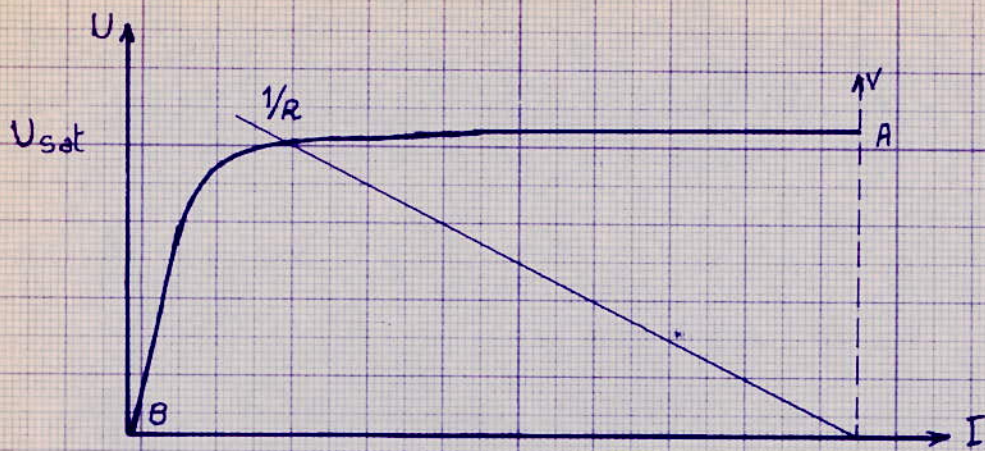


fig : 19

Simulateur à Resistance V.D.R

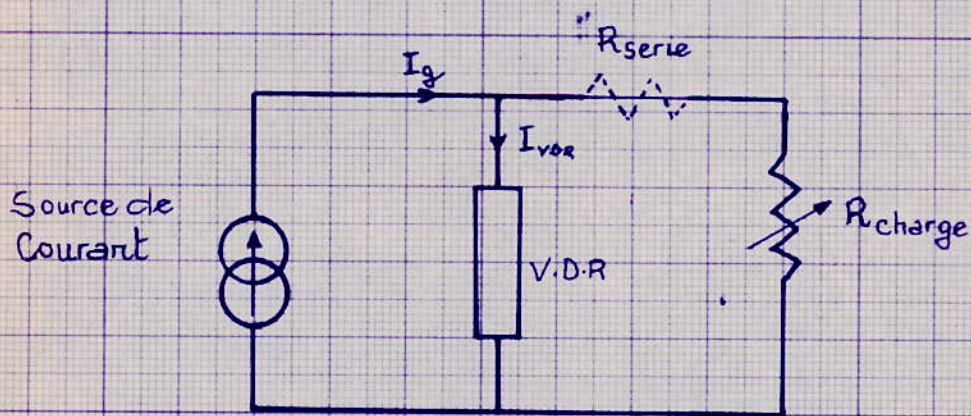


fig : 20

(fig.21).

Le schéma de principe d'un simulateur à transistors est donné (fig.22) et sa caractéristique (fig. 23).

D'après ce montage on a $V_{ce} + V_{charge} = E$ (1)

Pour $I = 0$ on a $V_{co} = 0$ d'où $V_{charge} = E$ point 2 fig. 23.

Lorsque $I = I_{cc}$ ($R_c = 0$) on a $V_{charge} = 0$ et $V_{ce} = E$ point 1 fig. 23

Pour les cas intermédiaires le point de fonctionnement se déplace sur la courbe caractéristique. Dans la fig. 23 le point 1 représente alors le point de fonctionnement en court circuit d'une photodiode.

Le point 2 est le point de fonctionnement en circuit ouvert.

La simulation de l'intensité se fait en agissant sur la commande courant qui fixe la valeur du courant de court circuit, ce dernier peut aussi régler la simulation du nombre de modules mis en parallèle.

Le réglage du nombre de modules série se fait en agissant sur la tension du générateur de puissance ($V_{co} = E$). La difficulté de la simulation à l'aide des transistors vient du fait qu'en fonctionnant en court circuit toute la puissance est absorbée par les transistors.

3. SIMULATEURS UTILISANT LES CARACTERISTIQUES DE CIRCUIT MAGNETIQUE.

3.1 Simulateur à réactance de réglage.

Le schéma de la fig.24 donne le schéma de principe d'un tel simulateur on a :

$$\vec{V}_0 = \vec{V}_1 + \vec{V}_{ch} \quad (2) \text{ et d'après le diagramme de la fig.23 on a :}$$

$$V_0^2 = V_c^2 + V_1^2 \text{ avec } V_c = L \omega \cdot I$$

$$\text{En court circuit on a } V_0 = V_1 = L \omega \cdot I_{cc} \text{ d'où } L \omega = \frac{V_0}{I_{cc}}$$

Donc on peut tirer l'équation suivante :

$$V_0^2 = V_c^2 + \left(\frac{V_0 I}{I_{cc}} \right)^2 \quad (3)$$

./.

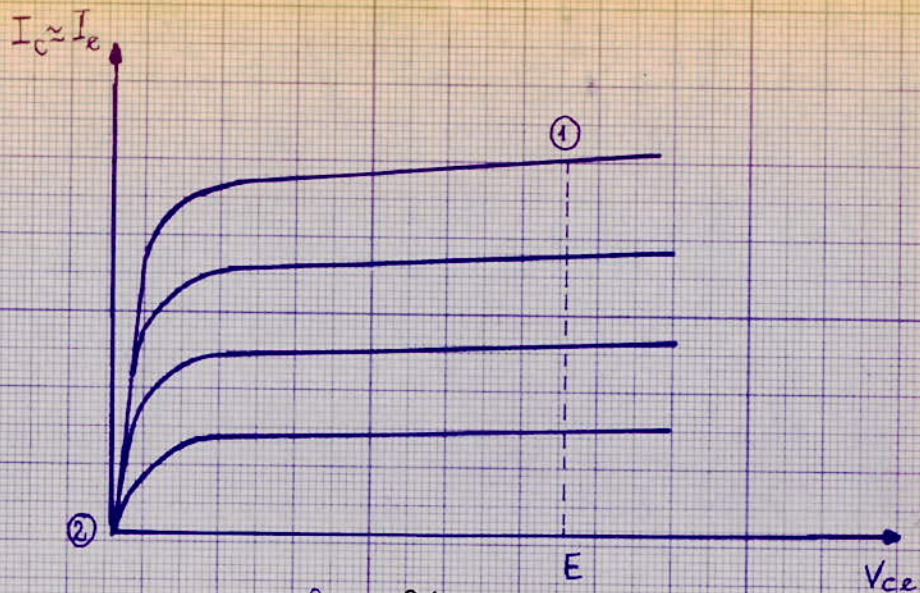


fig: 21

Simulateur à transistor

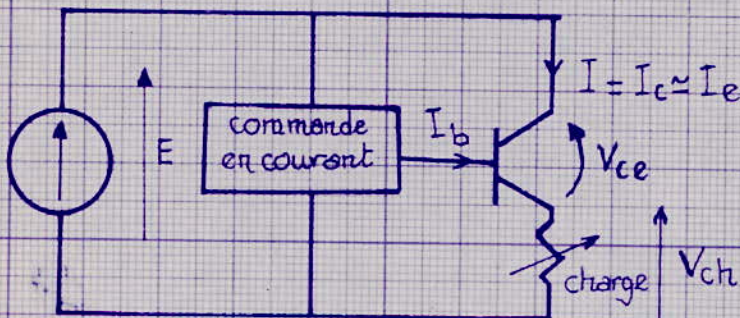


fig: 22

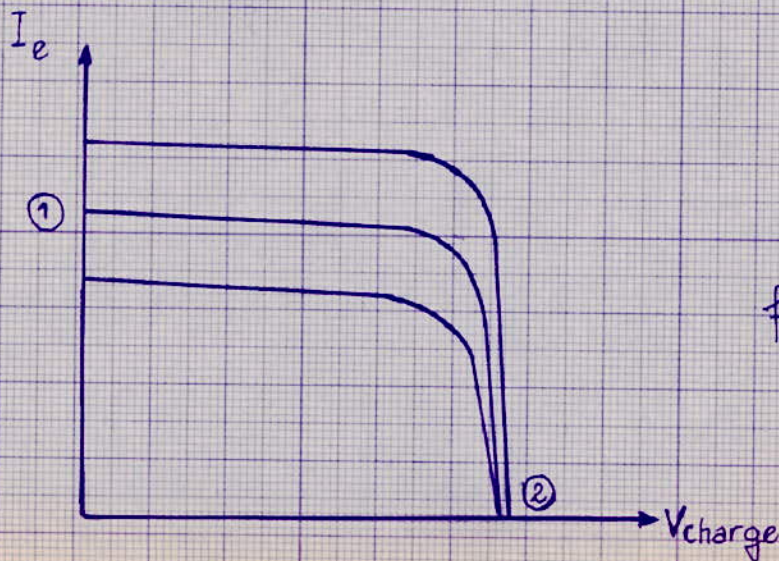


fig: 23

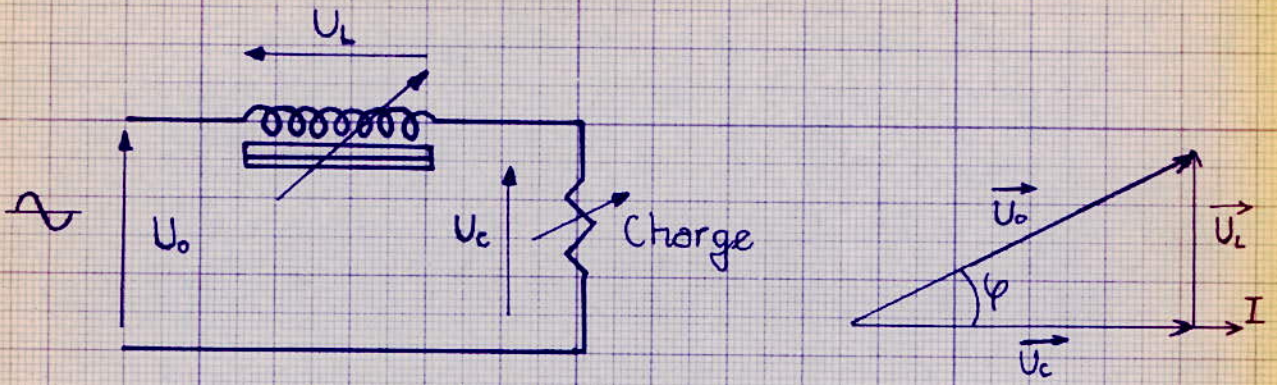


fig: 24

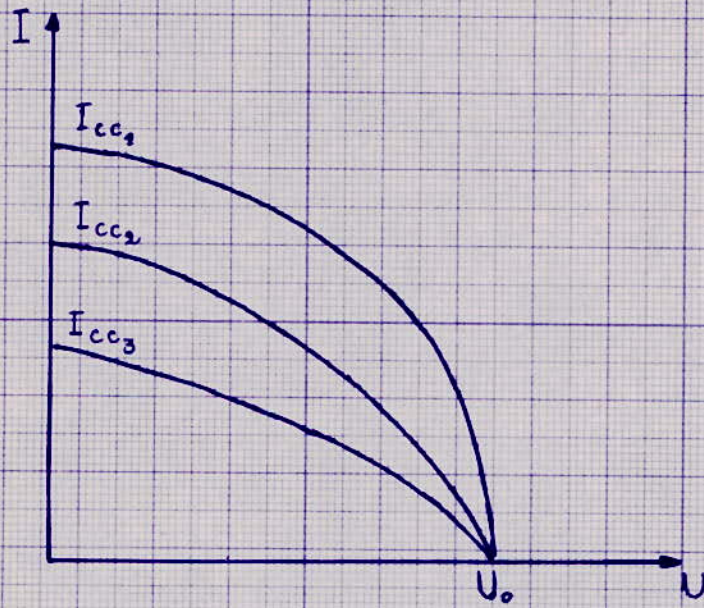


fig: 25

on a l'expression $\frac{V^2}{V_0} + \frac{I^2}{I_{CC}^2} = 1$ dont le tracé est représenté par la fig. 25.

En changeant la valeur de la réactance (modification du circuit magnétique) on change la valeur de I_{CC} ce qui correspond au réglage du flux lumineux et du nombre de module en parallèle.

Le réglage du nombre de modules en série se fait en changeant la tension V_0 , la caractéristique obtenue est celle d'un groupement de module de mauvaise qualité. Ce type de simulation ne peut être retenu qu'avec réserve, surtout en raison de la nécessité d'un redressement en aval de la bobine d'autoinduction.

3.2 Simulateur utilisant la saturation du circuit magnétique d'une autoinduction.

Si on suppose négligeable l'hystérésis du circuit magnétique on obtient la courbe $B = F(h)$ de la fig. 26.

Et de même on aura la courbe $V = F(I)$ fig. 27 .

Le schéma de principe de cette simulation (fig.28) ressemble à celui fait avec les VDR (on remplace alors la VDR par un bobinage) . L'utilisation d'une bobine nécessite l'utilisation d'une source de courant alternatif.

Lorsque le circuit est ouvert (charge infinie) on peut écrire :

$$I_c = 0 \quad V = V_{sat} \quad I = I_M$$

./.

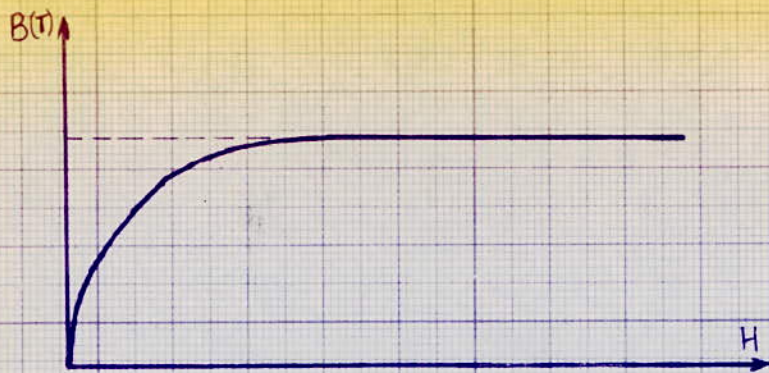


fig: 26

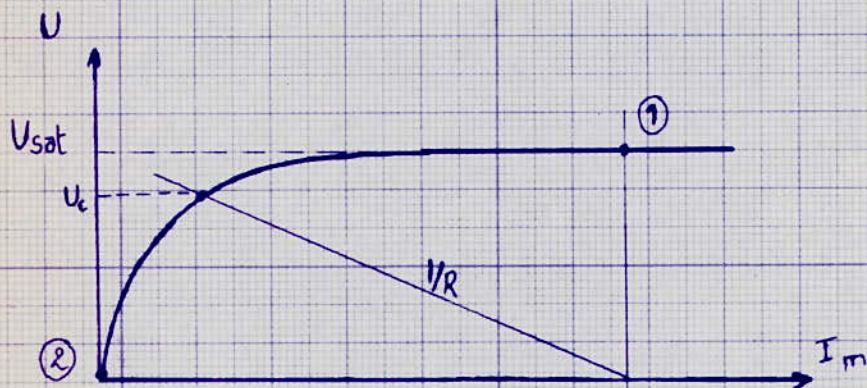


fig: 27

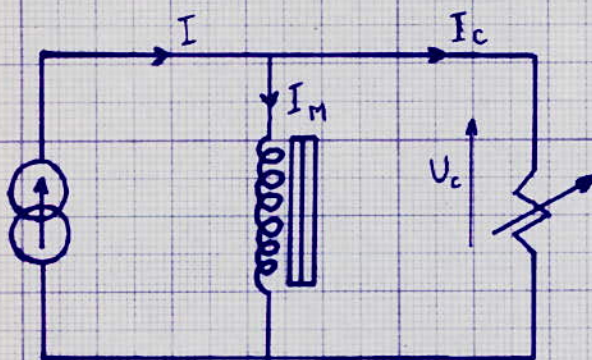


fig: 28



fig: 29

3.3 Simulateur a redresseur à thyristors.

Considérons un thyristor (fig.30.) que l'on commande par des impulsions qui interviennent à chaque période avec un retard θ_0 par rapport à la tension sinusoïdale ($e = E_M \sin \theta$, avec $\theta = \omega t$). Insérée dans le circuit d'anode, après l'amorçage, le thyristor se comporte comme un interrupteur fermé et l'on a la relation :

$$E_M \sin \theta = R_i + E_0 \quad (E_0 = 1 V). \text{ d'où } R_i = E_M \sin \theta - E_0$$

L'interrupteur s'ouvre à nouveau et le courant d'anode s'annule dès que $e = E_0$, d'où l'obtention d'une tension redressée.

Le principe de ce simulateur qui a fait l'objet d'une réalisation à Lyon utilise un générateur de poste à souder à l'arc. Pour cela on utilise un transformateur triphasé (pouvant supporter un courant de court-circuit sans être détruit) dont la caractéristique est représentée fig.31

Le secondaire de ce transfo comporte pour chaque phase 2 enroulements servant à contrôler la tension et le courant.

Le courant de court-circuit est fixé en agissant sur la commande d'intensité d'électrodes.

Les fig 33 et 34 donnent les courbes obtenues ; l'inconvénient de ce simulateur est d'avoir un taux d'ondulation non négligeable et de ne pas être asservi au flux lumineux. Cependant, la puissance fournie qui est assez élevée le rend très intéressant.

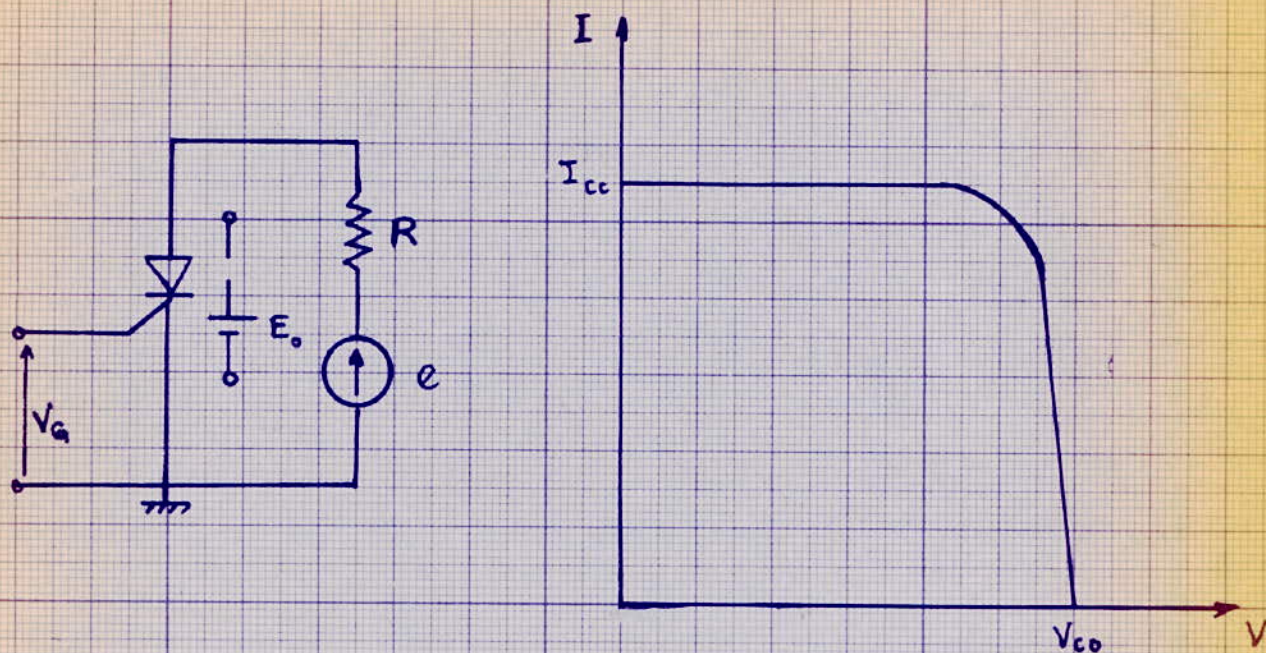


fig : 31

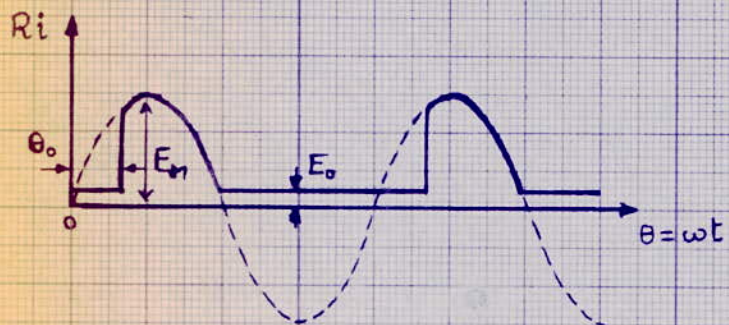


fig 30

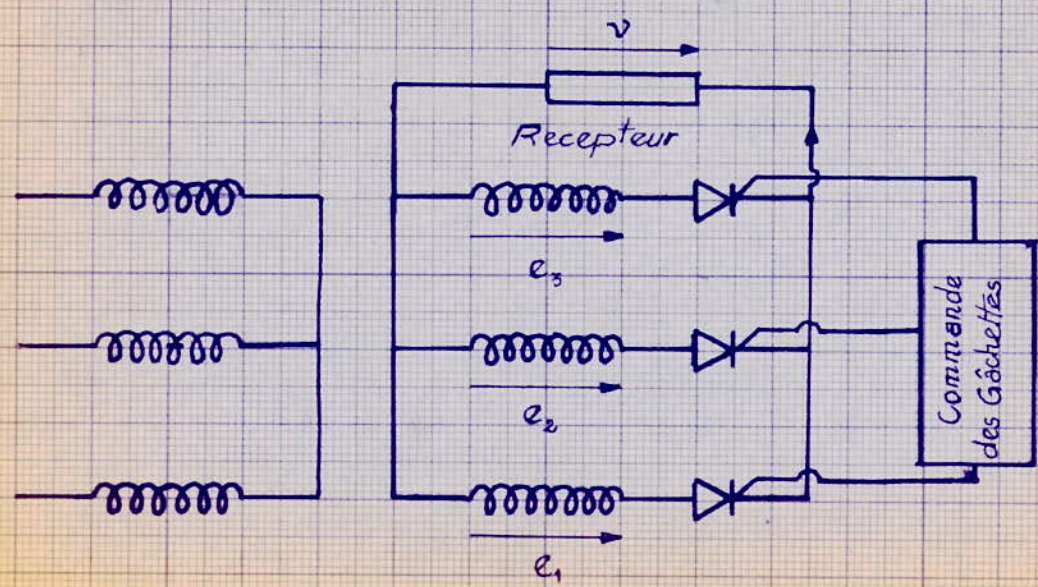
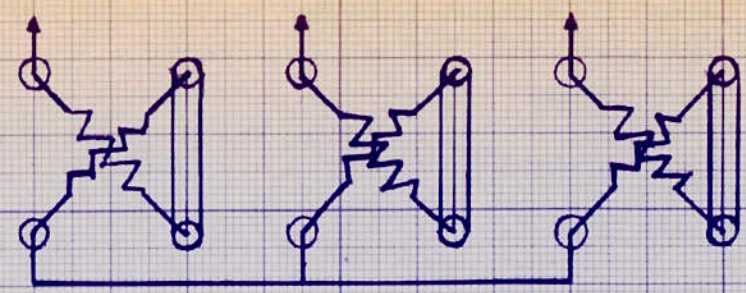


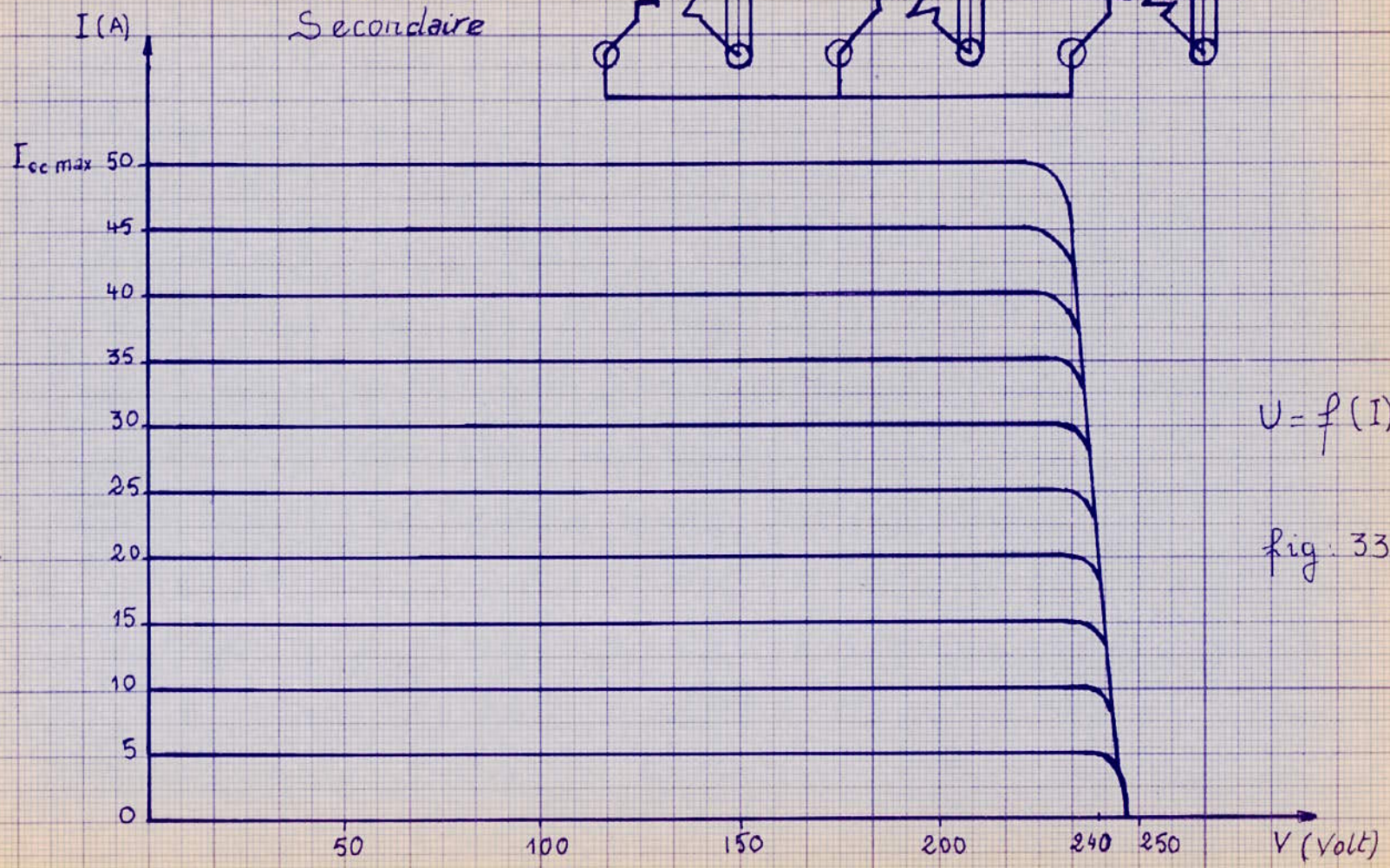
fig:32

SIMULATEUR DE PANNEAUX SOLAIRES 10 KW

position des
Cavalier au
Secondaire



Les 2 bobines
sont en Serie



$$U = f(I)$$

fig: 33

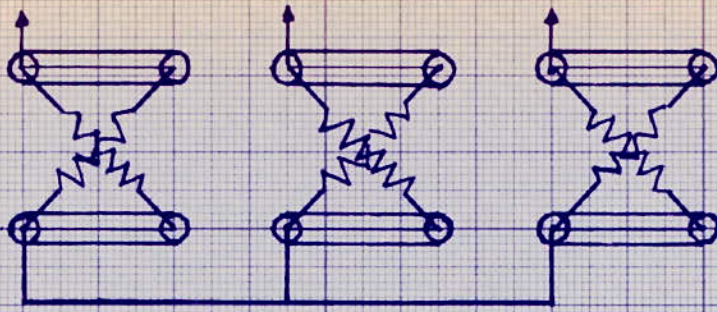
Enroulement 240V/50A

$V_{co} = 248V$

34

SIMULATEUR DE PANNEAUX SOLAIRES 10 KW

position des
Cavaliers au
Secondaire



Les 2 bobinages
sont en parallèle

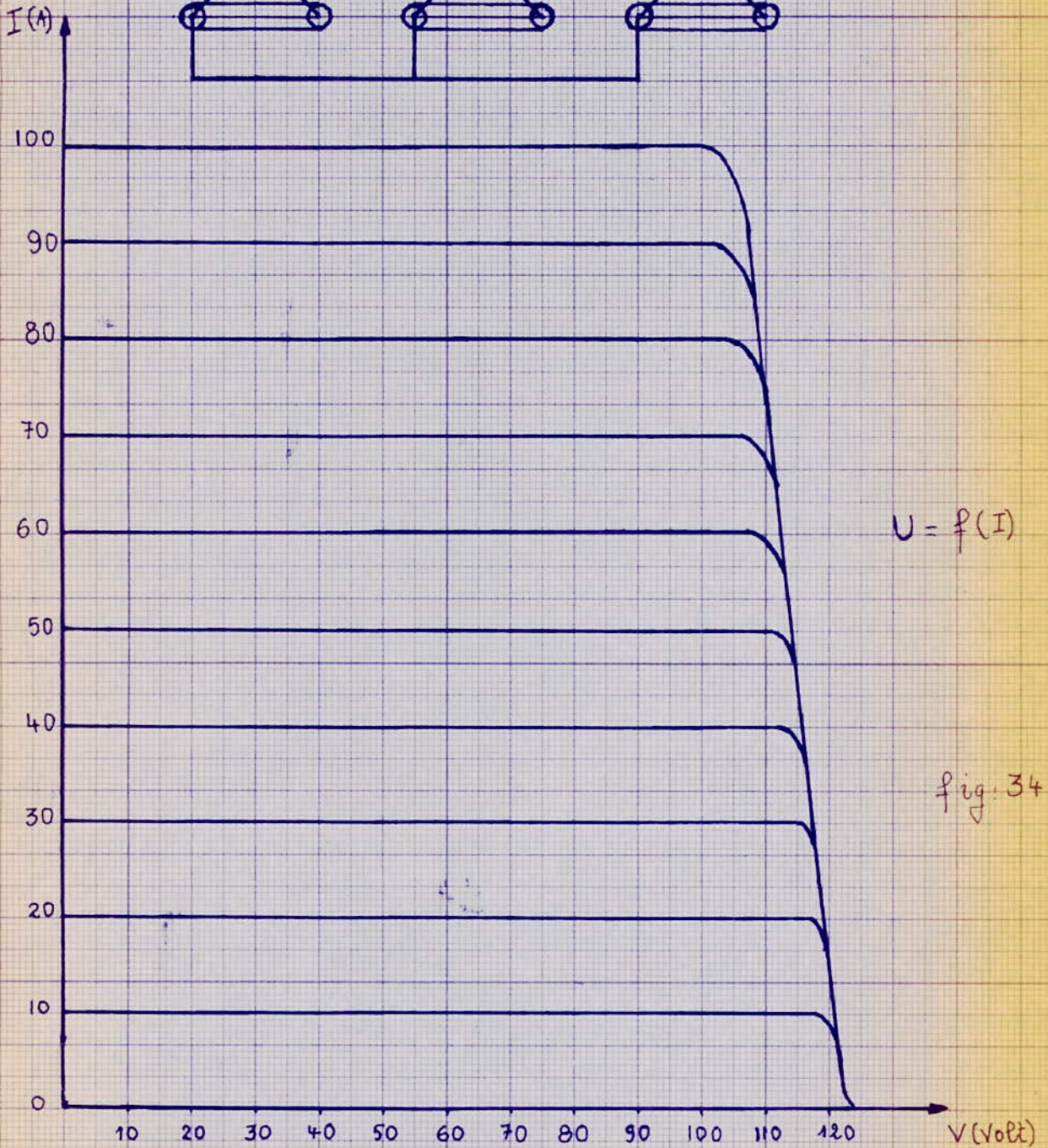


fig. 34

Enroulement 120V / 100A

$V_{co} = 124V$

4. Simulateur mathématique.

Cette simulation est relativement simple ; elle consiste à élaborer un programme sur ordinateur capable de reproduire la caractéristique $I = F(V)$ de n'importe quel panneau solaire et quelque soit sa puissance; ceci en fixant les paramètres naturels et physiques tels que:

- Le flux lumineux $\phi = (W/m^2)$.
- La température T .
- La surface de la cellule utilisée comme référence et sa résistance série.

A partir de la formule (2.3) donnée dans le chapitre I qui correspond à la fonction $I = f (V, \phi, S, T, \delta)$ d'une cellule photovoltaïque on a :

$$I = \alpha \phi S - I_s \left(\exp \frac{q}{2KT} (V + \delta I) - 1 \right) \quad (1)$$

avec $\alpha = 2,5 \cdot 10^{-4} T + 0,224$ pour une cellule du type BP X 47 A à partir de l'équation (1) on tire :

$$V = \frac{2KT}{q} \ln \left(\frac{I_s - I + \alpha \phi S}{I_s} \right) - \delta I \quad (2)$$

Pour chaque type de cellule donnée on fixe les paramètres physiques suivantes : $I_s, \delta, S,$

Dans le cas de cellule du type BP X 47 A on a :

$$\delta = \quad \phi = 57 \text{ cm} \quad S = 25,51 \text{ cm}^2.$$

$$I_s = 10 \mu A \quad \text{pour } T = 27^\circ C = 300^\circ K.$$

Après avoir fixé les paramètres physiques de la cellule; comment peut on simuler la caractéristique d'un panneau solaire ?

l'idée de base est la suivante :

Sachant qu'un panneau solaire n'est rien d'autre que l'association de n cellules photovoltaïques en série (fig.17).

$$I = I_{ph} - I_d \quad (3).$$

$$V_A - V_B = n (V_D - R_S I).$$

Dans ce cas on peut assimiler ce panneau à une grande cellule avec :

$$V_{AB} = n V_D - n R_S I = V'_D - R'_S I' \quad (4).$$

$V'_D = n V_D$: tension due à l'association de n cellule en série.

$R'_S = n R_S$: Résistance série équivalente.

$I' = I$: courant que débite une cellule.

de l'équation (4) on tire :

$$V_D = \frac{V_{AF}}{n} + R_S I \quad (5)$$

En utilisant cette formule dans l'équation(1) on a :

$$I = \alpha \phi S - I_S \left[\exp \frac{q}{2KT} \left(\frac{V}{n} + R_S I \right) - 1 \right] \quad (6)$$

on aura :

$$V = n \frac{2KT}{q} \ln \left(\frac{I_S - I + \alpha \phi S}{I_S} \right) - n \cdot R_S \cdot I \quad (7)$$

et sachant que I_S varie avec la température on a :

$$\frac{I_S(T_2)}{I_S(T_1)} = \left[\frac{T_2}{T_1} \right]^3 \exp \frac{E_g}{K} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \quad (8).$$

Si $T = 300^\circ K$ $I_S = 10 \mu A$ pour BP X 47 A.

$$I_S (T) = 2,38 \cdot 10^6 \cdot T^3 \exp \left(- \frac{12992,3}{3} \right) \quad (9)$$

On peut donc simuler maintenant par programmation de la formule (7) sur ordinateur n'importe quel type de panneauxolaire constitué à base de la BP X 47 A ; cependant il faut utiliser la formule (9) comme sous programme pour tenir compte de l'influence de la température sur le courant I_S .

{ 'HAIITIRE } }

CHAPITRE III

ETUDE ET REALISATION D'UN SIMULATEUR A REFERENCE PHOTOVOLTAIQUE.

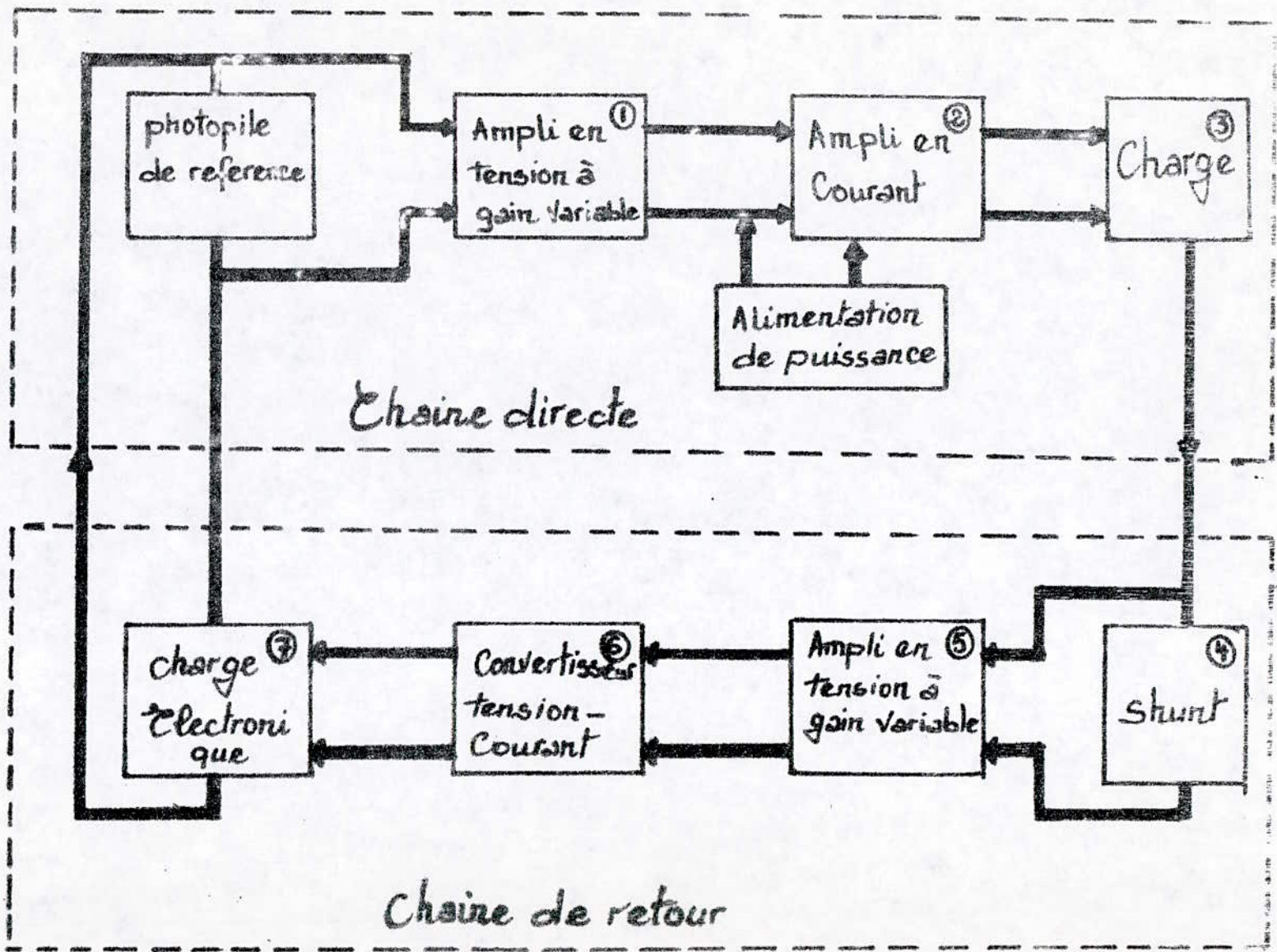
Les simulateurs décrits précédemment ont le défaut de ne pas être asservis aux conditions atmosphériques (surtout l'ensoleillement); c'est pourquoi l'appareil dont la fig.35 donne le synoptique, constitue une meilleure solution à ce problème de simulation.

L'idée de base est l'amplification du courant et de la tension donnés par photopile pour reproduire la courbe courant tension d'un générateur de puissance. La photopile sert donc de capteur de référence pour l'électronique, celle-ci traduisant ainsi toutes les variations de luminosité ou de température subies par la référence. Un bouclage entre sortie et entrée permet de fermer la photopile de référence sur une impédance variable qui est l'image de la charge alimentée par l'électronique de puissance. On peut fixer indépendamment le gain en tension et le gain en courant, donc modifier à volonté, pour une même puissance, le groupement serie-parallèle simulé. L'intérêt essentiel d'un tel pilotage est la possibilité de tester une chaîne d'appareils en dynamique : passages nuageux, effets transitoires etc...

I)- PRINCIPE. DE FONCTIONNEMENT.

Le synoptique de l'appareil est d'un principe relativement simple, les photopiles peuvent être exposés à un ensoleillement naturel pour simuler une installation en conditions réelles. L'amplificateur de tension 1 amplifie la tension que délivre la cellule avec un gain variable , c'est donc lui qui détermine le nombre de modules montés en série. L'amplificateur en courant 2 permet de contrôler l'énergie transmise par 1 .

Le Schunt 4 monté en série sur la charge permet de mesurer le courant qui circule dans la charge . La tension aux bornes du Shunt est transmise à l'amplificateur en tension à gain variable 5. qui détermine le nombre de modules montés en parallèle , cet amplificateur commande le convertisseur tension-courant 6. qui à son tour commande la charge électronique 7, Cette dernière fixe le point de fonctionnement de la photopile.



Schema Synoptique du Simulateur fig(35)

40.

Si le courant dans la charge diminue, la tension du Schunt va également décroître, la tension de l'amplificateur diminuera et le convertisseur tension-courant fera baisser l'impédance de la charge électronique 7. On voit que toute variation du courant de la charge a une influence sur l'impédance de la charge électronique, donc sur le point de fonctionnement de la photopile de référence. C'est à travers les éléments 4, 5, 6, 7 que la photopile de référence voit l'image de la charge 3. Ils constituent donc la boucle d'asservissement.

II) - ETUDE DES DIFFERENTES PARTIES DE L'APPAREIL.

1. Amplificateur de tension :

Cet étage est constitué par un amplificateur basse tension, attaquant un transistor haute tension.

a- Amplificateur faible tension :

Dans le schéma général il y a deux amplificateurs de faible tension l'un dans la chaîne principale, l'autre dans la chaîne de retour.

Ils sont identiques, sauf pour la valeur de leur gain. Pour notre réalisation nous avons choisi d'utiliser les amplificateurs opérationnels LM.741 pour deux raisons essentielles : pour leurs faibles coûts et leurs facilités d'approvisionnement. Leurs caractéristiques sont données en annexe.

La fig.36 présente le schéma de l'ampli faible tension. Le gain en tension A_V est donné par :

$$A_V = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

. R_3 sert à éliminer les courants de décalage, elle est donnée par :

$$R_3 = \frac{R_1 \cdot R_2 \text{ min}}{R_1 + R_2 \text{ min.}} \quad \text{avec} \quad R_3 \text{ moy} = \frac{R_3 \text{ min} + R_3 \text{ max}}{2} \quad \text{et}$$

$$R_3 \text{ max} = \frac{R_1 \cdot R_2 \text{ max}}{R_1 + R_2 \text{ max.}}$$

- R_4 est un ajustage qui permet d'annuler la tension d'offset.

Application numérique :

- Cas de l'ampli 1

Servant à amplifier la tension issue de la photopile, qui s'étend de 0 à 0,5v, donc sachant que la tension minimale qu'on peut avoir en sortie de l'ampli est fixée à 0,6 v et qui correspond au seuil de conduction du transistor on peut déterminer A_V min.

$$A_{V \min} = \frac{0,6}{0,037} = 16 \quad (0,037 \text{ étant la plus faible tension susceptible d'être amplifiée}).$$

$$\text{Si on prend } R_1 = 1 \text{ k}\Omega \quad R_2 = 15 \text{ k}\Omega$$

Le potentiomètre P_1 ($P_1 = 470 \text{ k}\Omega$) sert à augmenter le gain de l'ampli.

$$R_3 \min = 937 \quad R_3 \max = 997 \quad \text{d'ou } R_3 \text{ moy} = 967$$

$$\text{on prend } R_3 = 1 \text{ k}\Omega$$

- Cas de l'ampli 5

Identique à l'ampli 1 il sert à amplifier la tension aux bornes du shunt.

$$\text{Si on choisit } R_1 = 1 \text{ k}\Omega \quad R_2 = 470 \text{ k}\Omega$$

$$R_3 \min = 0 \quad R_3 \max = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_3 \text{ moy} = 500 \Omega \quad \text{on prend } R_3 = 470 \Omega$$

P_2 : sert à augmenter le gain de l'ampli.

b- Amplificateur haute tension (voir fig. 37).

La tension maximale de sortie que peut délivrer le LM 741 étant de 10V la tension emetteur-base du transistor BF 259 de 0,6 V et le courant de sortie de 15mA, on a :

$$R_{11} = \frac{10 - 0,6}{0,015} = 672 \Omega \quad \text{on prend } R_{11} = 680 \Omega$$

$$R_{11} = \frac{10 - 0,6}{15 \cdot 10^{-3}} = 626 \Omega \quad \text{on prend } R_{11} = 560 \Omega$$

La résistance $R_{12} = 68 \Omega$ sert à diminuer le courant de base du BF 259.

Sachant que $\beta=50$ et $I_{b \text{ max}} = 1,8 \text{ MA}$, $I_{c \text{ max}} = 90 \text{ MA}$.

Dans ce cas la tension collecteur est minimale, mais il faut qu'elle soit supérieure ou égale à 2 V pour ne pas bloquer les transistors BU.109, on peut ainsi calculer R_{13} /

$$R_{13} = \frac{48 - 2}{90 \cdot 10^{-3}} = 500 \Omega$$

On prendra 3 résistances de 150Ω , 7 W en série, ce qui fait

$$R_{13} = 450 \Omega$$

2. Détecteur de linéarité (fig.38).

ON a prévu deux détecteurs de linéarité dans le montage général, ils permettent de contrôler la tension de sortie de telle sorte que les amplificateurs travaillent dans la zone d'amplification.

- La tension de basculement du détecteur est fixée à l'aide d'une diode Zénet, de telle façon que, lorsque $V_e < 10 \text{ V}$, la tension de sortie sera égale à :

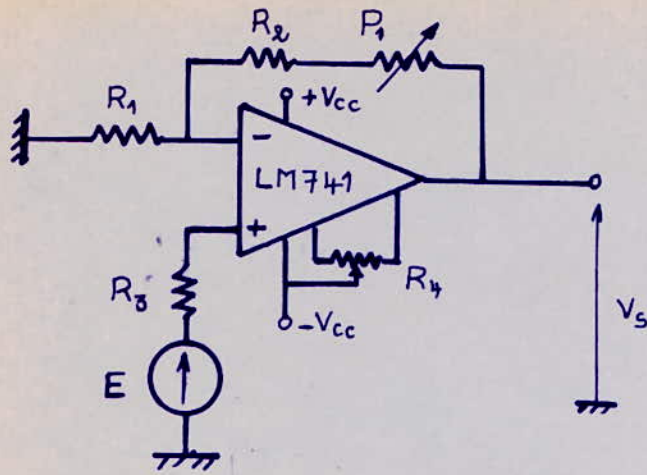
$V_s = -E = -12 \text{ V}$. Si par contre $V_e > 10 \text{ V}$ on aura $V_s = E = 12 \text{ V}$ et la LED s'allumera .

- La résistance R_6 sert à limiter le courant dans la LED, elle dépend de la tension inverse que peut supporter la LED

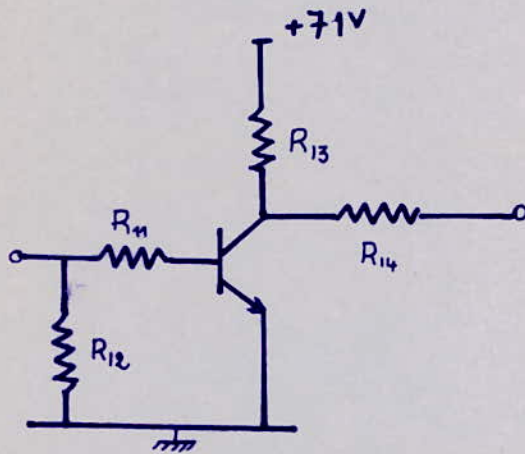
$$\text{on a : } V_z + R_5 I = E \text{ d'ou } R_5 = \frac{E - V_z}{I}$$

$I_s = 15 \text{ mA}$ (courant de sortie max de l'ampli-op).

$$I = 2,5 \text{ mA} \quad E = 12 \text{ V d'ou } R_5 = \frac{12 - 10}{2,5 \cdot 10^{-3}} = 800 \Omega$$



Amplificateur basse tension fig.36.



Amplificateur Haute tension fig.37.

On prend $R_5 = 820 \Omega$

La LED peut supporter une tension inverse de + 15 V.

$$R_6 I_5 = 15 \text{ V} \Rightarrow R_6 = \frac{15}{15 \cdot 10^{-3}} = 1 \text{ K}\Omega$$

3. Amplificateur de courant (voir fig 39)

Il est constitué par 10 transistors BU.109 montés en collecteur-commun et pouvant délivrer chacun en court circuit un courant de 1 A en sortie, ce qui nous permettra de recueillir dans la charge un courant de 10 A.

- A cause des disparités des caractéristiques et des gains des transistors, il est nécessaire de prévoir une correction du courant collecteur afin d'éviter un emballement des transistors ayant une faiblesse thermique ou ayant un gain supérieur à la moyenne, cette correction s'effectue en insérant une résistance R_e de faible valeur ($R_e = 0,5 \Omega$) sur l'émetteur de chaque transistor.

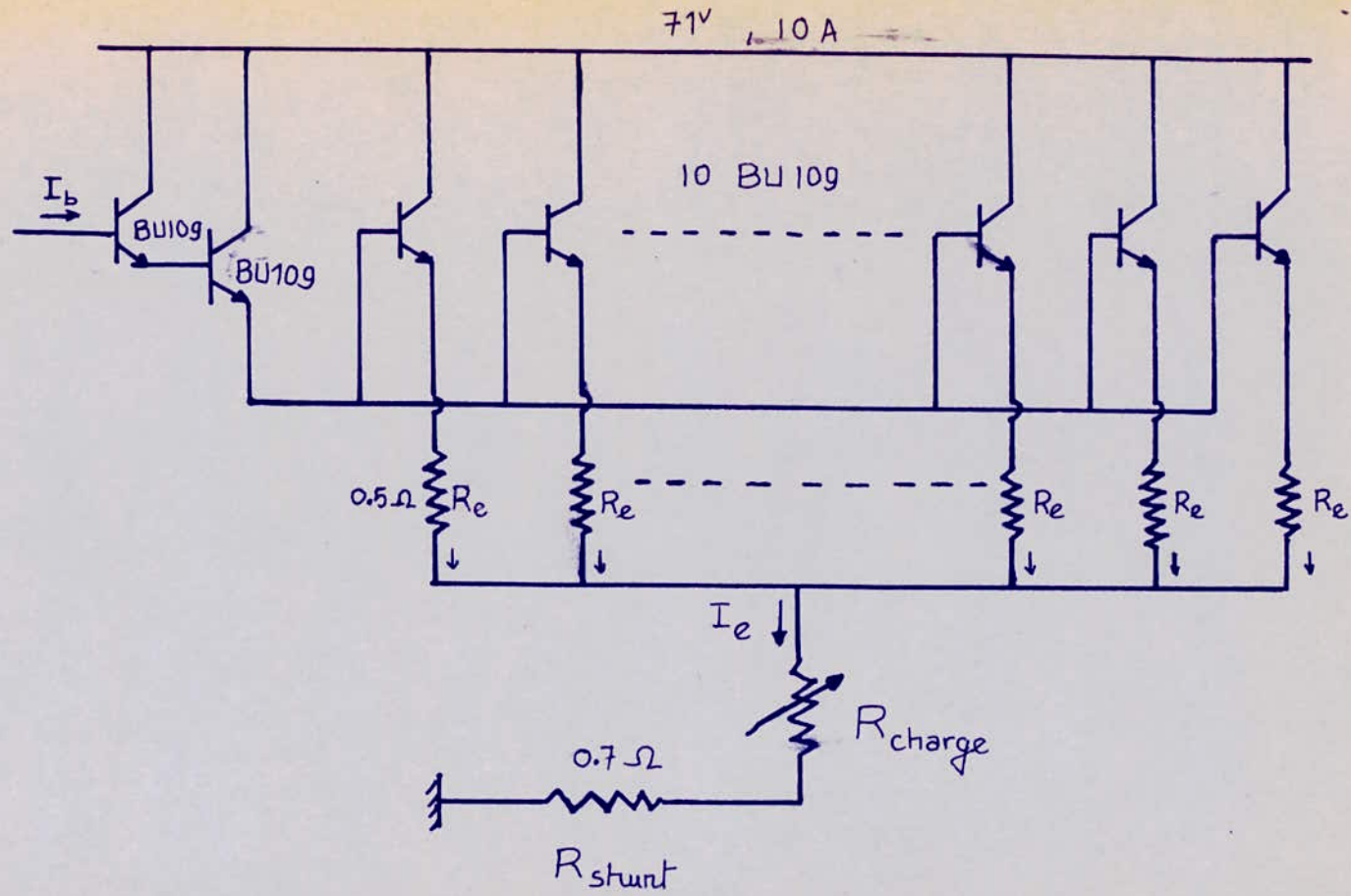
Dans le cas où tous les transistors débitent un courant de 1 A et sachant que $\beta_{\min} = 15$, alors leurs courants de base max sera de 66,6 mA, et puisque les bases sont communes d'où :

$I_{b \max} = 666 \text{ mA}$. Ce courant est contrôlé par un ballast qui n'est d'autre qu'un montage darlington qui amplifie le faible courant de l'étage de commande.

Le collecteur du BF.259 et la base du BU 109 sont reliés par une résistance R_{14} qu'on calcul de la façon suivante :

$$R_{14} = \frac{48 - 2}{2,96} \cdot 10^3 = 15,5 \text{ K}\Omega \text{ on prend } R_{15} = 15 \text{ K}\Omega$$

94.



Amplificateur de Courant. fig.39.

4. Charge électronique :

Commandée par le courant provenant du convertisseur tension-courant, elle sert à polariser la photopile.

Elle est constituée par un montage Darlington (fig.40) dans lequel on utilise deux transistors, un BF.259 avec un gain en courant $\beta_1 = 50$, et un BU 109 $\beta_2 = 15$.

Lorsque le courant de base est maximum, la photopile doit débiter dans la charge un courant de 2,5 A ($I_{CC} = 2,5$ A).

On peut écrire :

$$I_{cmax} = \beta_1 \beta_2 I_{b \max} \quad \text{d'ou} \quad I_{b \max} = \frac{I_{c \max}}{\beta_1 \beta_2} = \frac{2500}{750} = 3,33 \text{ mA.}$$

On a

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{I_{b \max}}{I_1} \quad \Rightarrow \quad \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{I_{b \max}}{I_1 + I_{b \max}}$$

et sachant que

$$I = I_{b \max} + I_1 = 15 \text{ mA} \quad \text{on :}$$

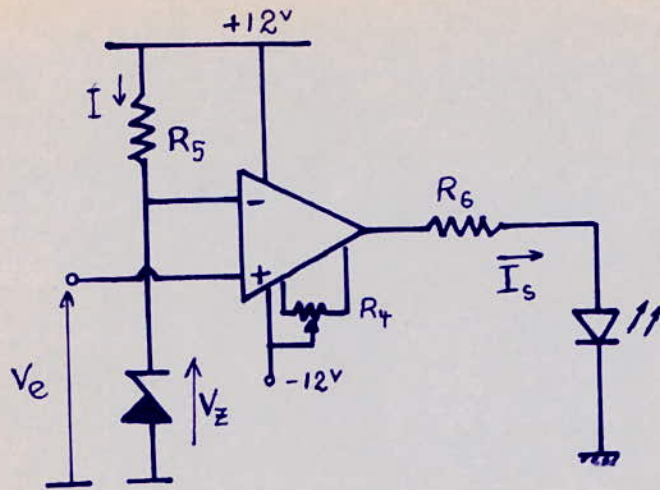
$$\frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{3,33}{15} \quad R_1 + R_2 = 4,5 R_1 \quad \text{et} \quad R_2 = 3,5 R_1$$

$$\text{Si on fixe } R_1 = 1 \text{ K}\Omega \quad \text{donc} \quad R_2 = 3,5 \text{ K}\Omega$$

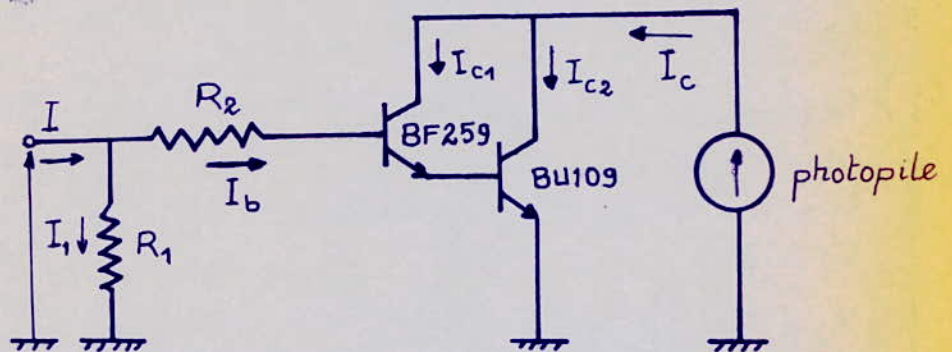
On prendra alors la valeur normalisée $R_2 = 3,3 \text{ K}\Omega$

5. Alimentation du circuit de commande :

Après avoir fait l'étude des différents étages constituant le montage et déterminer leur consommation, on peut définir maintenant les caractéristiques des alimentations des circuits de commande.



Detecteur de Linéarité. fig. 38.



Charge électronique fig. 40.

Ces dernières doivent fournir une tension ± 12 V, et un courant de 15mA

La fig 41.a donné le schéma électrique de cette alimentation dans laquelle on utilise un transfo dans le secondaire est à point milieu.

- . Le pont de diode sert au double redressement de la tension alternative, qui est ensuite filtrée par des capacités chimiques de 1000 μ F.
- . La régulation positive (respectivement négative) est assurée par le CI IM.7812 (resp.IM 7912). A la sortie du premier régulateur, on a une tension continue , stable de + 12 V; à la sortie du second une tension négative de - 12 V.

Les fig. 41b et 41 c donnent respectivement le circuit imprimé et le schéma d'implantation de l'alimentation.

6. Alimentation de puissance (fig. 42 a).

Cette alimentation polarise l'amplificateur haute tension et l'amplificateur de courant, elle délivre une tension + 48 V et un courant de 10 A.

Elle est constituée par un transformateur de puissance délivrant au secondaire une tension de 52 V efficace.

Le pont de diodes utilisé pour le double redressement de la tension alternative est constituée par des diodes, type MP.05 pouvant supportées un fort courant et une tension inverse supérieure à 48 V.

Les capacités de 10000 μ F 50 V servent au filetage de la tension redressée. On en a utilisé deux en série, qui est l'équivalent d'une seule capacité de 5000 μ F pouvant supporter 100 V à ses bornes.

La fig.42 b donne le circuit imprimé du pont de diodes de cette alimentation.

schéma électrique de l'alimentation +12

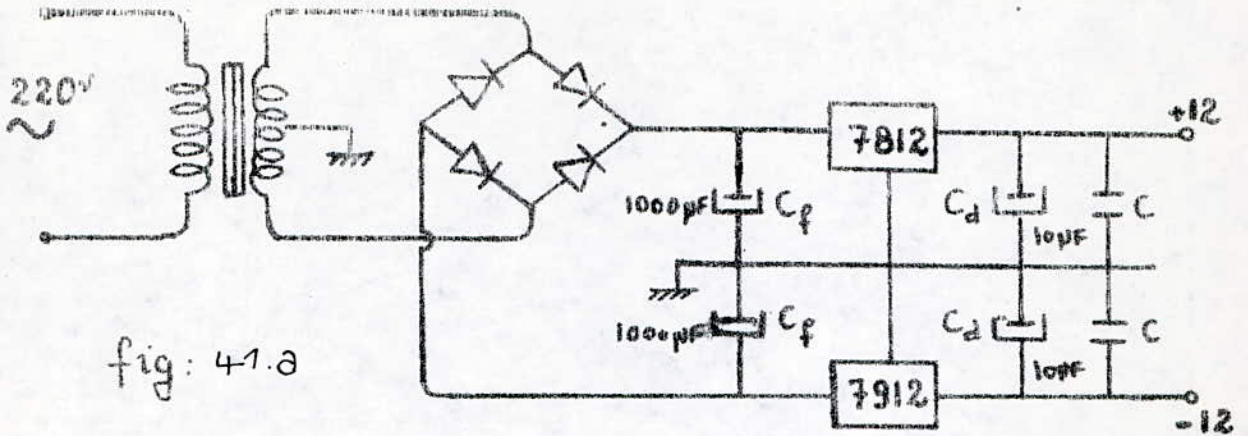


fig: 41.a



fig: 41.b

Circuit imprimé Coté Cuivre

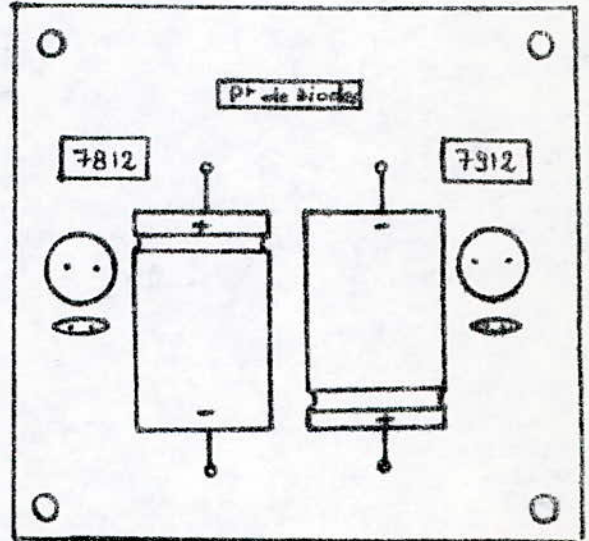


fig: 41.c

schéma d'implantation

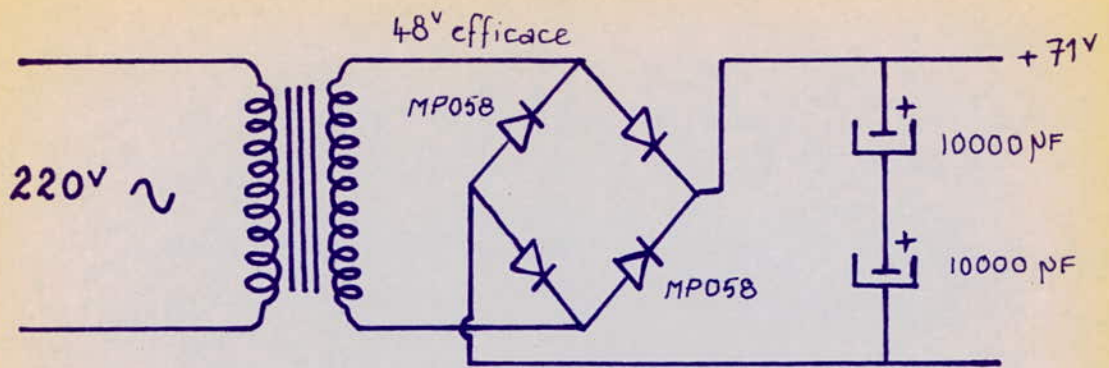


fig: 42.a Alimentation de puissance 71V.

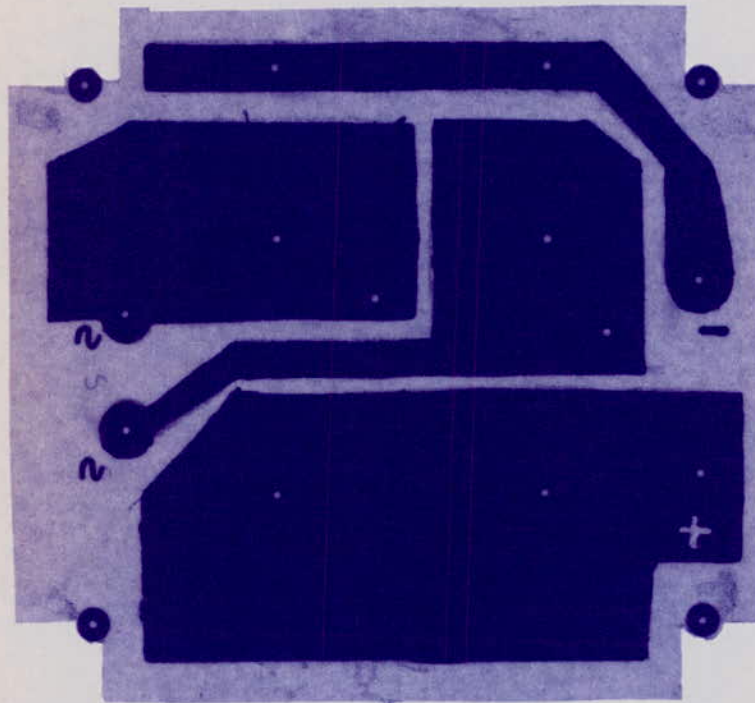


fig: 42.b Circuit imprimé - Coté Cuivre.
du pont de diodes de
l'alimentation de puissance.

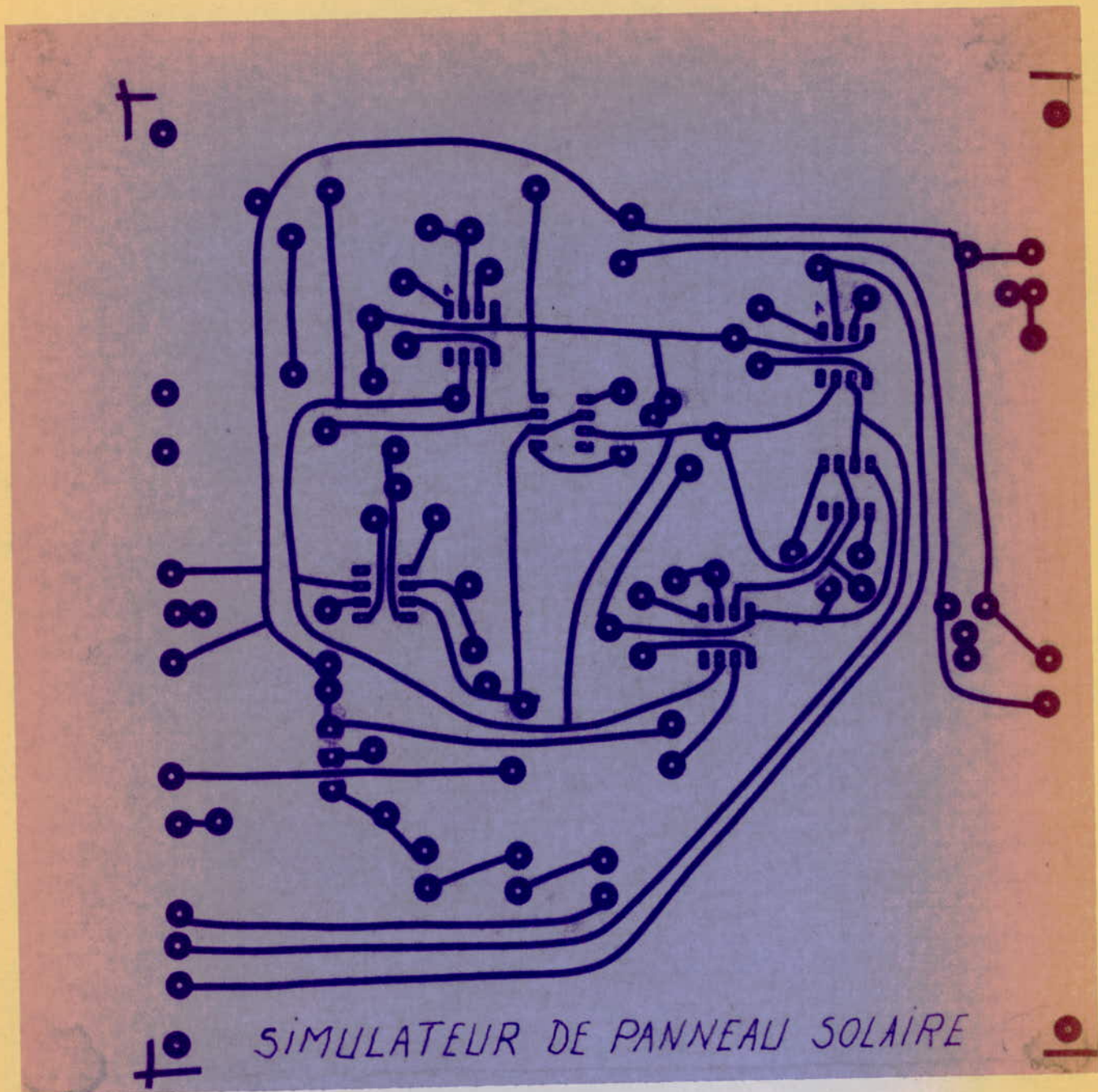


fig: 43 Circuit imprimé - Coté Cuivre
. du Schema general.

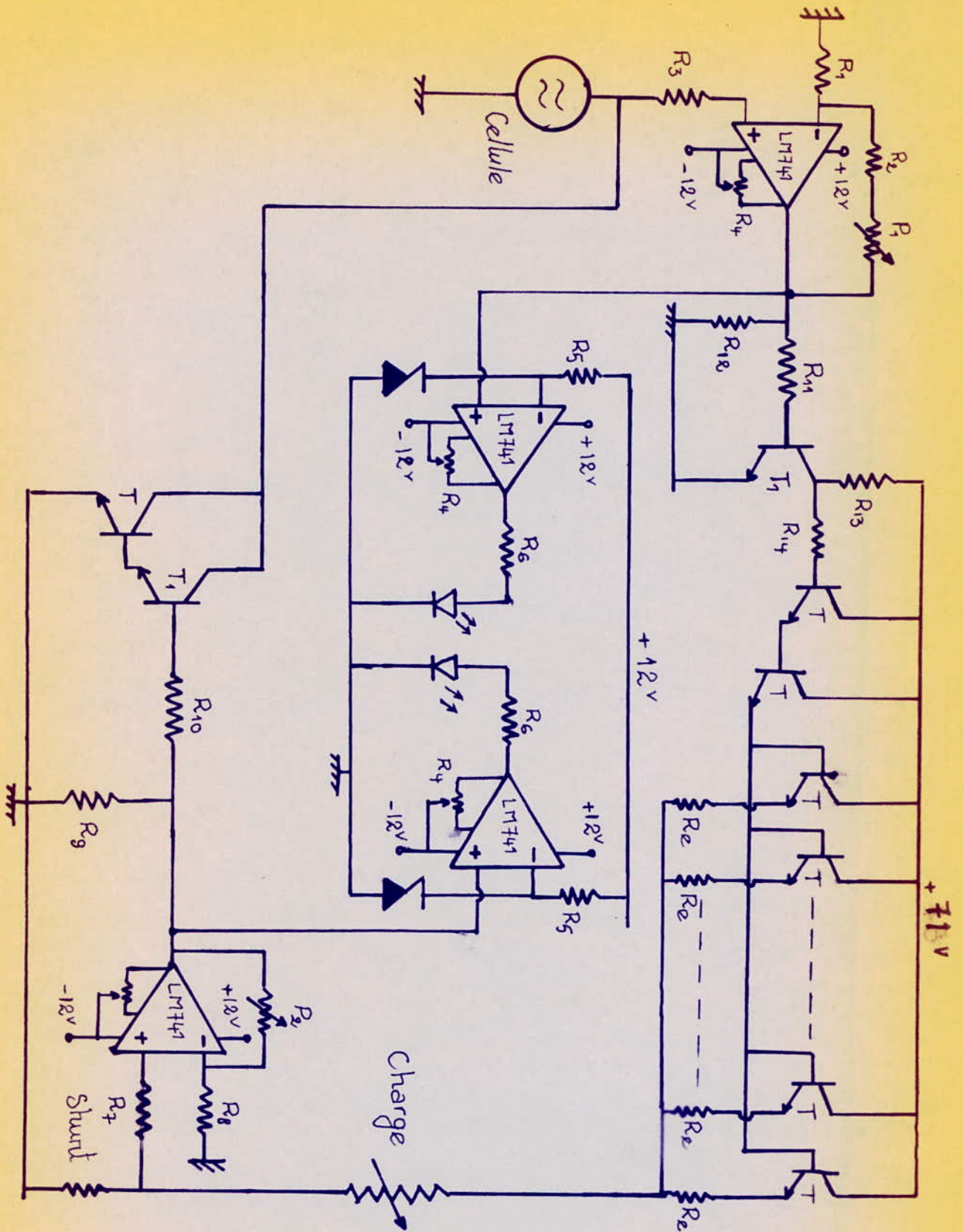


fig : 44 Schema Electrique du Simulateur

С'НАИ'ИТИРЕ 4

CHAPITRE IV.

RESULTATS EXPERIMENTA X . CARACTERISTIQUES DU SIMULATEUR.

Dans ce chapitre nous présenterons les caractéristiques à la sortie de notre simulateur.

I)- ON fait d'abord les essais tout en maintenant les potentiomètres P_1 et P_2 des amplificateurs à zéro; ainsi en faisant varier la charge on parcourt la caractéristique donnée en fig. IV - 1.

II)- Simulation de panneaux solaires en série.

En faisant varier le potentiomètre P_1 , P_2 étant dans une position fixe, la tension de sortie augmente, et revient à faire augmenter le nombre de module en série.

La fig. 2 - IV, donne les caractéristiques obtenues pour 3 positions différentes de P_1 et P_2 étant réglé de telle façon que I_{cc} soit égale à 10 A.

III)-Simulation de panneaux solaires en parallèle.

La fig. IV-3 donne les caractéristiques obtenues en variant P_2 , P_1 étant dans une position fixe. on remarque que le courant de sortie augmente, donc faire varier P_2 , revient à augmenter le nombre de modules en parallèle.

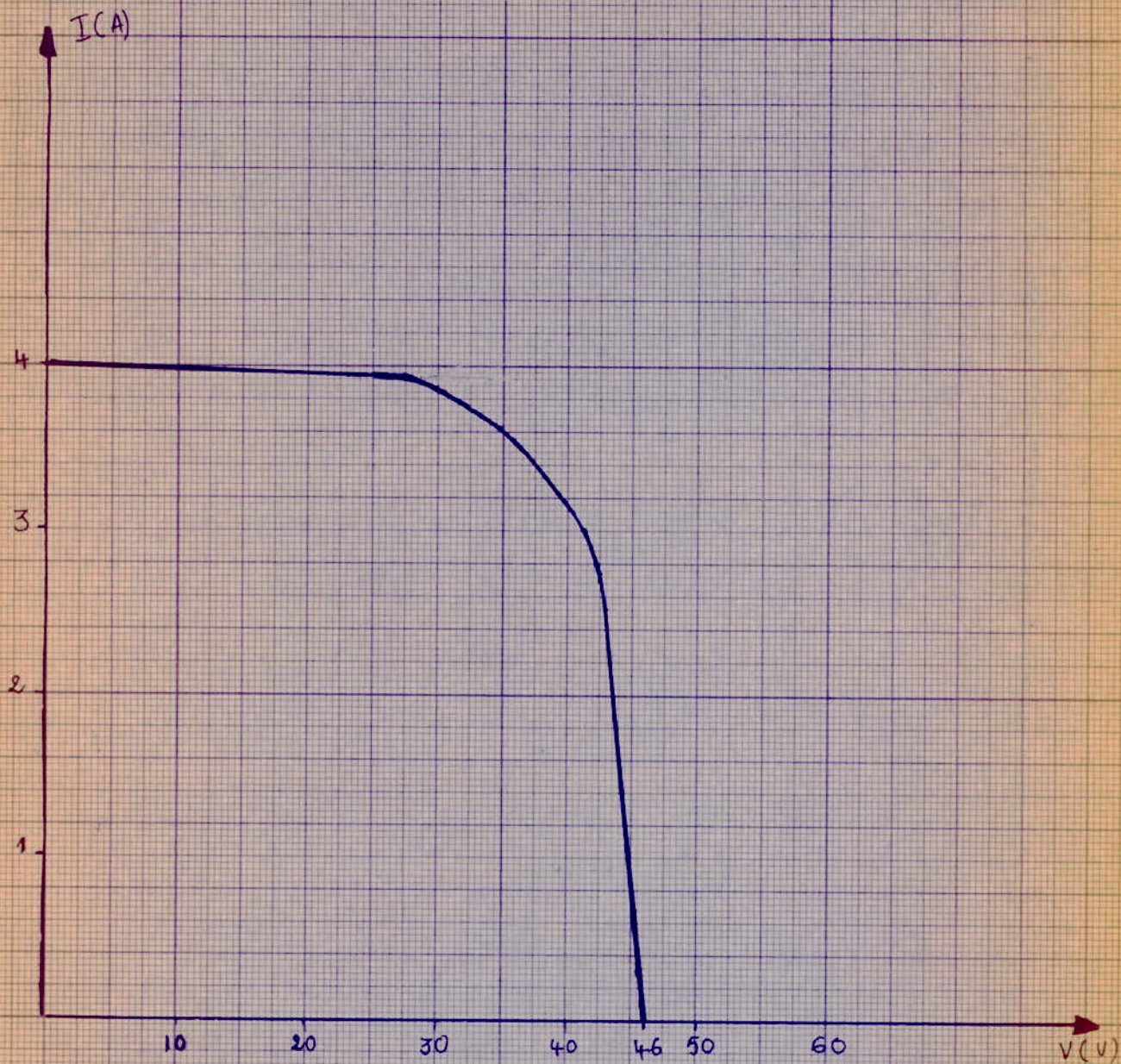


fig IV.1

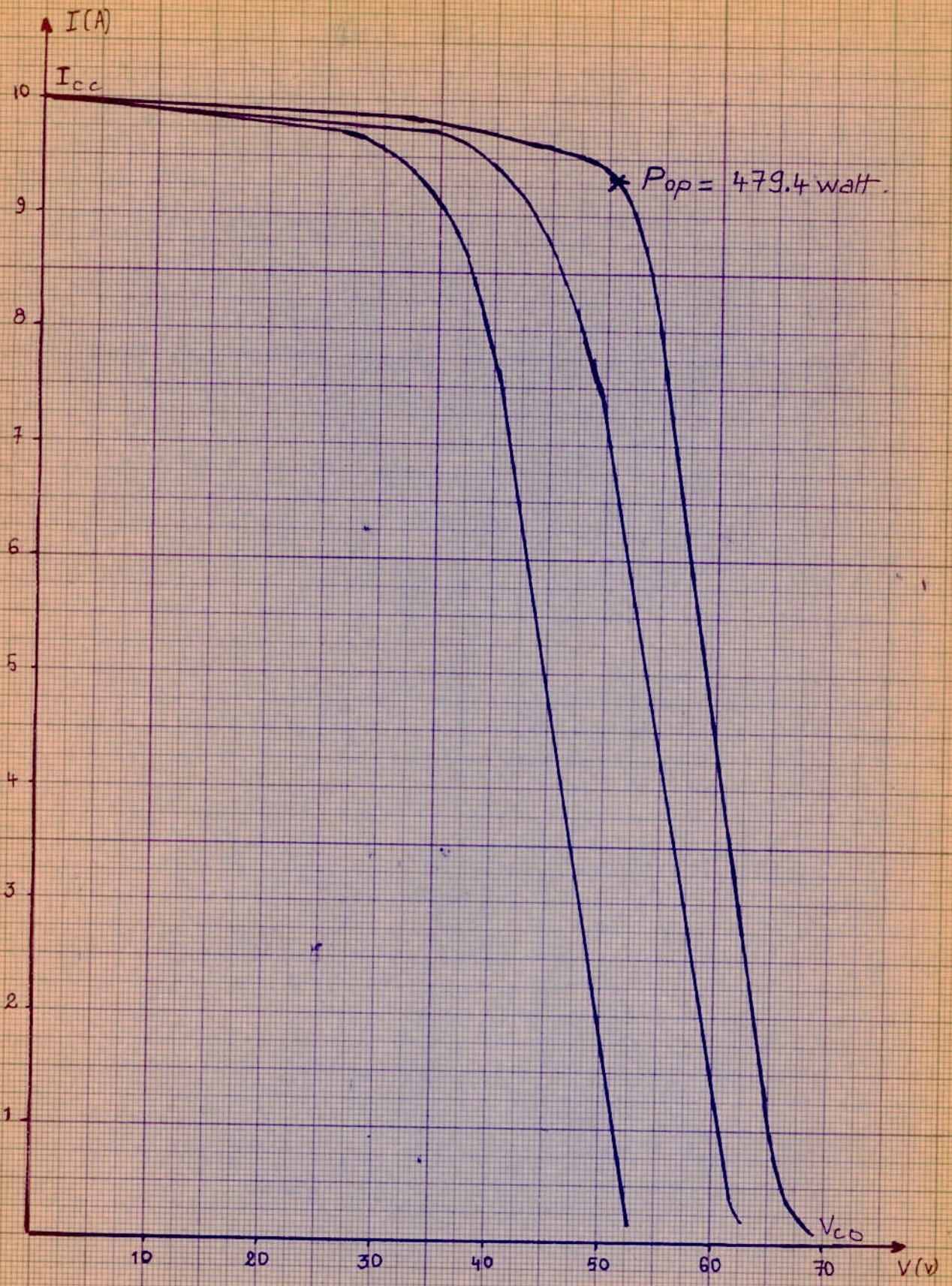


fig: IV.2

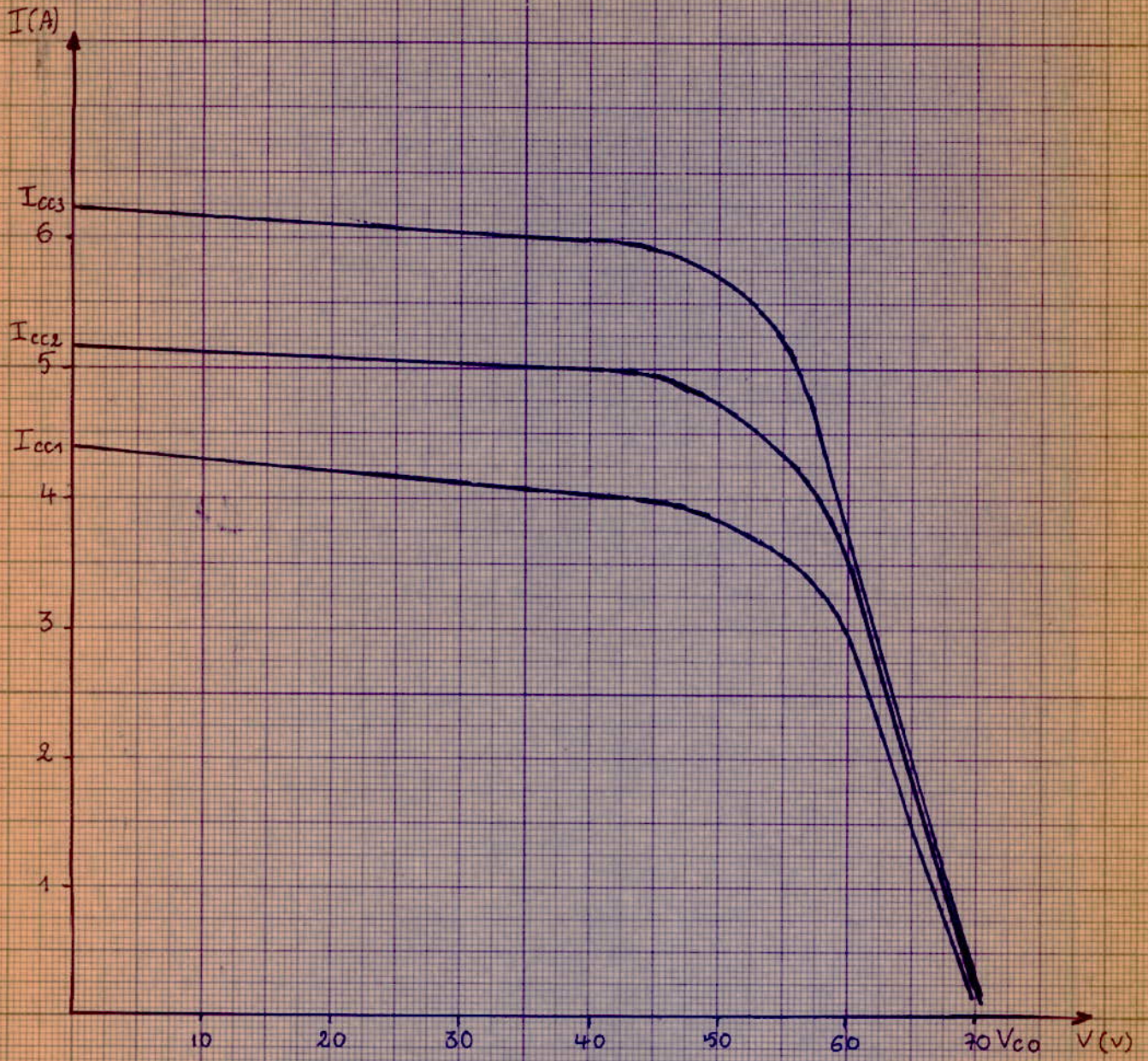


fig IV.3.

CONCLUSION :

L'appareil décrit et réalisé correspond au but qu'on s'était fixé au début .
Ce simulateur a l'avantage de tenir compte des conditions atmosphériques de ce fait, il présente un certain intérêt pour les concepteurs de système, en effet il permet par sa souplesse d'utilisation d'optimiser le nombre de modules nécessaires pour l'alimentation d'une installation en fonction des conditions météorologiques pour une cité donnée.

Il permet en outre d'analyser le comportement de la charge en régime dynamique.

Toutefois on peut suggérer deux idées pour l'amélioration de cet appareil, la première est de lui associer une table traçante qui donne automatiquement la caractéristique du panneau correspondant, la deuxième est la possibilité d'augmenter en puissance par la même idée de base c'est à dire en ajoutant le nombre de transistor de l'amplificateur de courant.

Annex 1.

BF 259 NPN EPITAXIAL PLANAR SILICON TRANSISTORS.

Designed for high. Voltage video out put stages in black and white and colour TV - Receivers.

- Very high $V_{(br) CkO}$ (300 V).
- Low feedback capacitance.
- High degree of insensitivity to voltage spikes.

Case	TO.39
Collector - Base voltage	300 V.
Collector - Emitter voltage (see note 1)	300 V
Emitter - Base voltage	5 V
Continuous collector current	200 MA
Continuous device dissipation at (or below) 25° case temperature (see note 2)	5 W
Continuous device dissipation at (or below) 25° free - Air temperature	1 W
Operating temperature range	200°C
Storage temperature range	65 to 200

Notes.

1. This value applies when the base-emitter diode is open circuited.
2. Derate linearly to 175° C case temperature at the rate of 33,3 m W/C°

ANNEXE 2.

CARACTERISTIQUES DU BU109

transistor type NPN

$$\beta = 15 \dots 45 / I_c = 5A$$

$$f_t = 10 \text{ MHz} \quad C_{cb} = 165 \text{ pF}$$

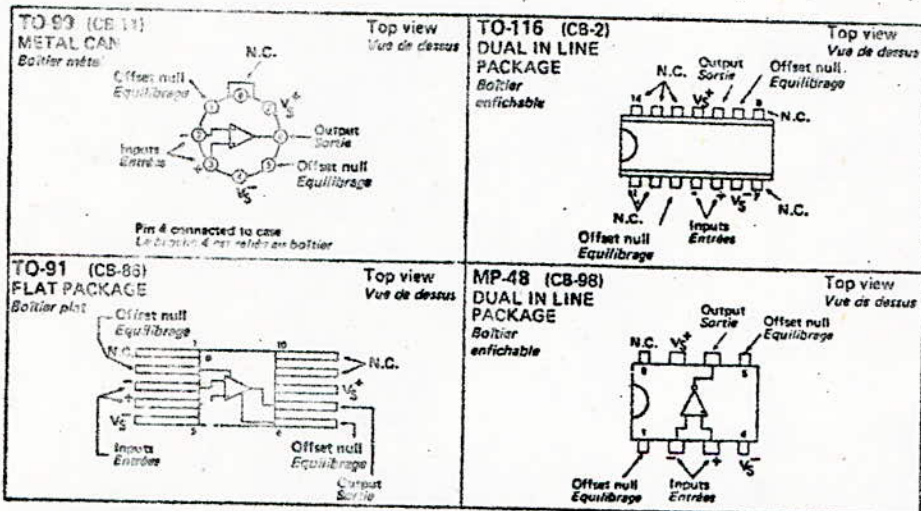
$$V_{CEmax} = 330 \text{ V} \quad I_{cmax} = 7A$$

$$P_{Dmax} = 85 \text{ W} / 25^\circ \text{C} (\text{Temperature Case})$$

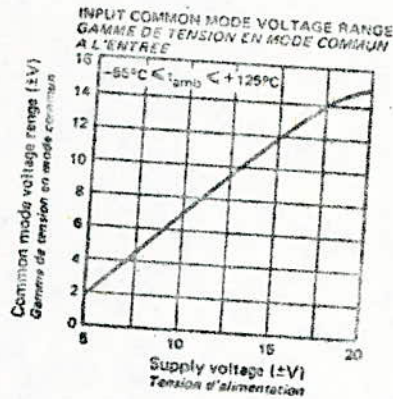
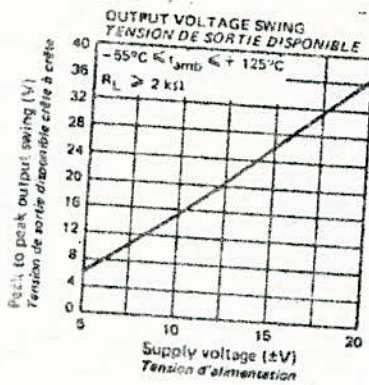
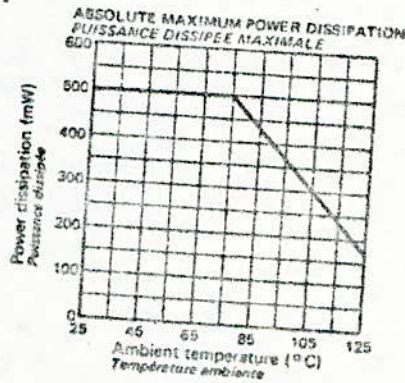
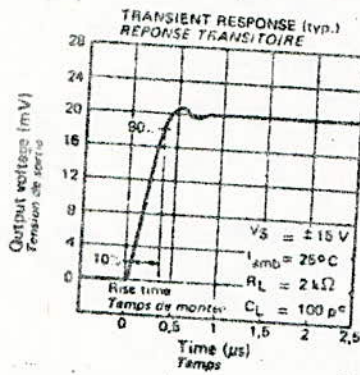
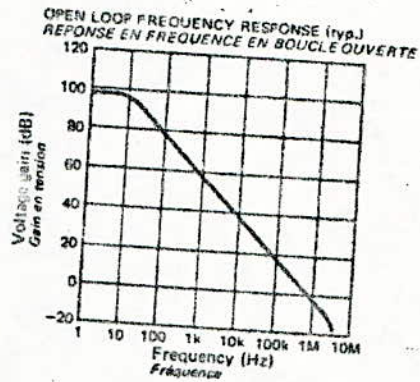
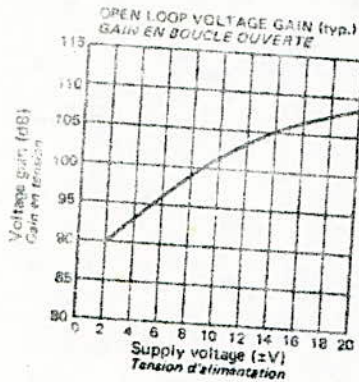
Silicium - Mésa - Commutation.

BOITIER : TO3

PIN CONFIGURATIONS
BROCHAGES



Schematic Schéma électrique	Principal features Données principales																																								
	<p>Typical applications :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Summing amplifier - Follower amplifier - Integrator circuitry - Active filter - Generator of functions. <p>Applications typiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Amplificateur sommateur - Amplificateur suiveur - Intégrateur - Filtre actif - Générateur de fonctions 																																								
<p>PIN CONFIGURATIONS BROCHAGES</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th></th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> <th>E</th> <th>F</th> <th>G</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>TO-99</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>TO-116</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>9</td> <td>10</td> <td>11</td> </tr> <tr> <td>TO-91</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>MP-48</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> </tr> </tbody> </table>		A	B	C	D	E	F	G	TO-99	1	2	3	4	5	6	7	TO-116	3	4	5	6	9	10	11	TO-91	2	3	4	5	6	7	8	MP-48	1	2	3	4	5	6	7	
	A	B	C	D	E	F	G																																		
TO-99	1	2	3	4	5	6	7																																		
TO-116	3	4	5	6	9	10	11																																		
TO-91	2	3	4	5	6	7	8																																		
MP-48	1	2	3	4	5	6	7																																		



ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Note 1)
CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES

PARAMETERS PARAMETRES	SYMBOLS SYMBOLES	TEST CONDITIONS CONDITIONS DE MESURE	VALUES VALEURS			UNITS UNITES
			MIN.	TYP.	MAX.	
Input offset voltage <i>Tension de décalage à l'entrée</i>	V_{DI}	$R_S < 10\text{ k}\Omega$ $t_{amb} = +25^\circ\text{C}$		1	5	mV
Input offset current <i>Courant de décalage à l'entrée</i>	I_{DI}	$t_{amb} = +25^\circ\text{C}$		20	200	nA
Input bias current <i>Courant de polarisation moyen</i>	I_B	$t_{amb} = +25^\circ\text{C}$		80	500	nA
Large signal voltage gain <i>Amplification en tension</i>	A_V	$V_O = \pm 10\text{ V}$ $R_L > 2\text{ k}\Omega$ $t_{amb} = +25^\circ\text{C}$	50	200		V/mV
Supply voltage rejection ratio <i>Taux de réjection dû aux alimentations</i>	SVR	$R_S < 10\text{ k}\Omega$		30	150	$\mu\text{V/V}$
Supply current <i>Courant fourni par les alimentations</i>	I_{CC1}, I_{CC2}	$t_{amb} = +25^\circ\text{C}$		1,7	2,8	mA
Common mode rejection ratio <i>Taux de réjection en mode commun</i>	CMR	$R_S < 10\text{ k}\Omega$	70	90		dB
Follower amplifier <i>Amplificateur suiveur</i>						
Rise time <i>Temps de transition à la croissance</i>	t_{TLH}	$V_I = 20\text{ mV}$ $C_L < 100\text{ pF}$ $R_L = 2\text{ k}\Omega$ Unity gain <i>Gain unité</i> $t_{amb} = +25^\circ\text{C}$		0,3		μs
Overshoot <i>Rabaissement</i>				5		%
Input resistance <i>Impédance d'entrée (différentielle)</i>	Z_I	$t_{amb} = +25^\circ\text{C}$	0,3	2		M Ω
Slew rate <i>Pente maximale du signal de sortie</i>	S_{VO}	$R_L > 2\text{ k}\Omega$ Unity gain $t_{amb} = +25^\circ\text{C}$ <i>Gain unité</i>		0,5		V/ μs
Output offset voltage <i>Tension de décalage à la sortie</i>	V_{DI}	$R_L > 10\text{ k}\Omega$	± 12	± 14	5	mV
Output voltage swing <i>Dynamique de sortie</i>	V_{OPP}					V
Input offset current <i>Courant de décalage à l'entrée</i>	I_{DI}	$R_L > 2\text{ k}\Omega$	± 10	± 13	100	nA
Input bias current <i>Courant de polarisation moyen</i>	I_B	$t_{amb} = +25^\circ\text{C}$		80	500	nA
4/10						
200						
Large signal voltage gain <i>Amplification en tension</i>	A_V	$V_O = \pm 10\text{ V}$ $R_L > 2\text{ k}\Omega$ $t_{amb} = +25^\circ\text{C}$	50	200		V/mV
Supply voltage rejection ratio <i>Taux de réjection dû aux alimentations</i>	SVR	$R_S < 10\text{ k}\Omega$		30	150	$\mu\text{V/V}$
Supply current <i>Courant fourni par les alimentations</i>	I_{CC1}, I_{CC2}	$t_{amb} = +25^\circ\text{C}$		1,7	2,8	mA
Common mode rejection ratio <i>Taux de réjection en mode commun</i>	CMR	$R_S < 10\text{ k}\Omega$	70	90		dB
Follower amplifier <i>Amplificateur suiveur</i>						
		$V_I = 20\text{ mV}$				

