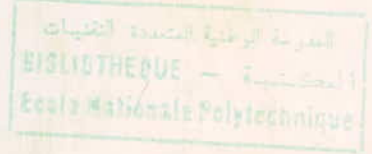


ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE



PROJET DE FIN D'ETUDES

en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état

S U J E T

**Etude Expérimentale
du Comportement d'un
Générateur Photo-Voltaïque
Couplé à une Charge**

Proposé par :

S.A. DARRADJI

Etudié par :

YETTOU IDIR

BELAID BOUDJEMAA

Dirigé par :

S.A. DARRADJI

PROMOTION : Janvier 1986

- Dédicaces -

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

A

la mémoire de ma mère
mon père
mes frères et sœurs
Zahir
tous mes amis (es).

Idir
YETTOU

Boudjema
BELAID

REMERCIEMENTS

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

Nous tenons à remercier.

- M^r SA DARRADJI, notre promoteur pour nous avoir suivi, et guidé dans l'élaboration de ce travail.

- M^r BELHAMEL, Directeur de la station solaire de Bouzaréah, pour le matériel, qu'il a bien voulu mettre à notre disposition.

- Tous les enseignants, qui ont contribué de près ou de loin à notre formation.

TABLE DES MATIERES

Introduction -

- CHAPITRE I -

Acquisition et traitement des données
météo-solaire.

I.1 - Appareils utilisés.

I.2 - Résultats obtenus

I.3 - Énergie solaire reçue par une surface inclinée

- CHAPITRE II -

Caractérisation des modules photo-voltaïque
type "ARCO-SOLAR M53"

II.1 - Description de la mini-centrale

II.2 - Condition d'association des modules.

2.1 - Association série.

2.2 - Association parallèle.

2.3 - Association mixte

II.3 Définitions

3.1 - Cellule solaire

3.2 - Module photo-voltaïque

3.3 - Panneau photo-voltaïque

II.4 Caractérisation des modules "M53"

4.1 - Méthode de relevés des courbes (V,I)

4.2 Résultats de la caractérisation

4.2.1 - Détermination de la puissance Maximale
délivrée par le module pour chaque rayonnement.

4-2-2 Tableau récapitulatif.

- CHAPITRE III -

Comportement du système fonctionnant
au fil du soleil

III.1 - Etude du moteur

1.1. avantages de ces moteurs

1.2. Caractéristiques du moteur

III.2 - Couplage direct - Générateur - moteur.

III.3 - Etude expérimentale du couplage direct.

3.1. Montage d'expérimentation

3.2. Résultats et interprétation

- CHAPITRE IV -

Comportement du système en régime
stationnaire.

IV.1. schéma synoptique de l'installation

IV.2. Caractéristiques du régulateur

IV.3. Batteries d'accumulateurs

3.1. Capacité d'une batterie.

3.2. Nombre de modules nécessaires pour charger
une batterie.

3.3. Capacité de décharge d'une batterie.

IV.4. Comportement du système en régime
stationnaire.

CONCLUSION

- Introduction -

La production d'énergie électrique et son transport à grande puissance et sur de longue distance nécessite des investissements très coûteux. Aussi quelque soit l'importance du maillage du réseau national, certaines populations se trouvent jusqu'à nos jours confrontées avec le problème d'énergie. Ceci est d'autant plus vrai pour certains sites isolés du territoire national.

Aussi, et à part l'argument d'économie d'énergie et de la préparation de l'après pétrole, il est urgent de réaliser certaines installations autonomes et de faibles ou moyennes puissances destinées principalement aux localités de faible densité de population et enclavées.

Le but de ce travail est de connaître le comportement réel d'un système énergétique solaire photovoltaïque, fonctionnant en différents régimes et parfaitement autonome.

Pour aborder cette étude, on se propose de caractériser le générateur d'énergie électrique du type à conversion photovoltaïque, ainsi que l'organe récepteur qui est un micro-moteur à courant continu.

Néanmoins, l'optimisation d'un tel système ne peut se faire sans la connaissance approfondie de l'énergie primaire qui est le rayonnement solaire, ce qui constituera le premier chapitre de ce travail.

D'autre part, dans tout système solaire le problème du stockage se pose.

Il s'avère donc intéressant de connaître les limites de fonctionnement d'un système panneau - moteur chargé soumis au rayonnement solaire qui est aléatoire.

CHAPITRE I. ACQUISITION ET TRAITEMENT DES DONNEES METEO-SOLAIRES

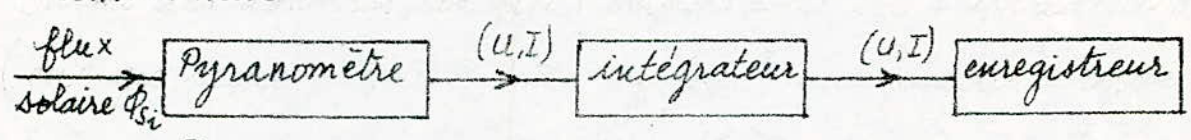
La connaissance des données météo-solaires du site d'implantation d'une installation solaire, permet de mieux dimensionner cette dernière.

Parmi les données, la plus importante est l'irradiation (énergie reçue par unité de surface) qui pourrait être reçue par jour sur une surface réceptrice. Les courbes journalières de l'irradiation nous renseigneront sur l'énergie moyenne reçue. Cependant, pour des installations appelées à fonctionner à long terme, la connaissance des courbes mensuelles et annuelles de l'irradiation aide à déterminer les énergies maximales et minimales reçues par le capteur solaire.

Des appareils sont conçus spécialement pour relever les courbes décrites précédemment.

I.1. Appareils utilisés.

La chaîne d'acquisition de données peut être schématisée comme suit :



I.1.1. Pyranomètre

C'est un appareil qui permet d'enregistrer l'irradiation globale du soleil [1]; le spectre mesuré à l'aide de cet appareil se situe approximativement entre $0,3 \mu m$ et $3 \mu m$ (lumière visible et proche de l'infrarouge).

La plupart des pyranomètres sont des thermocouples

adaptés à cet usage. L'appareil le plus couramment utilisé est le pyranomètre d'Eppley. La surface réceptrice se compose de deux anneaux concentriques en argent, l'anneau intérieur est recouvert de noir, l'anneau extérieur recouvert de blanc. Le pyranomètre convertit l'irradiation solaire en tension. Généralement, l'appareil est relié à un intégrateur.

I.1.2 - L'intégrateur.

Il mesure l'irradiation solaire. L'appareil est calibré en $[W/m^2]$ et calcule l'intégrale de l'irradiation pour les pas choisis, soit 10, 30 ou 60 minutes.

La tension recueillie au niveau du pyranomètre est amplifiée jusqu'à une valeur normalisée qui est convertie en fréquence. Les fréquences sont transmises à un micro-processeur qui les traduit en données numériques qui seront affichées sur l'écran et imprimées sur papier.

L'intégrateur possède des sorties "T" sur table traçante.

I.1.3 - L'enregistreur.

Il est branché sur les sorties "T" de l'intégrateur. Chaque valeur du flux solaire affichée par l'intégrateur est convertie en tension qui sera injectée sur un canal de l'enregistreur, ce dernier trace la courbe $U = f(t)$.

L'appareil possède 12 canaux, ce qui permet d'avoir le tracé de plusieurs courbes en même temps. (tension, courant, température, flux solaire,).

La vitesse de déroulement du papier peut être choisie sur une gamme variée soit 3, 6, 9, 12, cm/h.

I.2. Résultats obtenus.

Sur la figure (I.1), les courbes (a) et (b) illustrent les variations du flux solaire (global) pendant deux journées, l'une du "type bonne" et l'autre du "type mauvaise". Les courbes ont été tracées par l'enregistreur respectivement pour les journées du 30/11/85 et du 10/12/85 à l'Ecole Nationale Polytechnique.

Nous remarquons par exemple, sur la courbe "b" qu'entre 10h 25 min et 11h 40 min la valeur du flux incident augmente puis diminue continuellement, ceci s'explique par le fait que le soleil est tantôt visible, tantôt caché par les nuages. Dans le premier cas le capteur reçoit tout le rayonnement global et dans le second, il ne reçoit que le rayonnement diffus. A partir de la courbe "a" on tire les résultats représentés dans le tableau 1.

Heure	9	10	11	12	13	14	15	16
$\Phi_{si} (W/m^2)$	60	245	380	460	490	477	396	253

Tableau - 1 -

Afin de connaître l'énergie moyenne pour la journée du 30/11/85 entre 9h et 16h, on mesure la surface décrite par la courbe "a" avec un planimètre. Celle-ci est d'environ $S = 781 \text{ cm}^2$. Sachant que l'échelle adoptée est de 100 Wh/m^2 pour 28 cm^2 , on obtient pour cette journée une énergie solaire incidente de $E_j = 2790 \text{ Wh/m}^2$.

Le même procédé peut être utilisé pour la courbe "b"; où $S = 340 \text{ cm}^2$. L'échelle adoptée est de 100 Wh/m^2 pour 40 cm^2 , donc $E_j = 850 \text{ Wh/m}^2$. D'autre part l'intégrateur qui a été programmé de manière à

afficher les valeurs du flux pour chaque heure a donné les résultats - tableau 2.

A partir de ces résultats, on trace la courbe $\Phi_{sc} = f(t)$ pour la journée du 30/11/85 - figure (I-2). Nous remarquons que les résultats de l'intégrateur et de l'enregistreur coïncident.

journée du 10/12/85			journée - 30/11/85			journée du 1/12/85		
Heure	$\Phi_{sc} (W/m^2)$	Cumul	Heure	$\Phi_{sc} (W/m^2)$	Cumul	Heure	$\Phi_{sc} (W/m^2)$	Cumul
7	—	—	7	—	—	7	—	—
8	0,8	0,8	8	—	—	8	1,1	1,1
9	11,0	11,8	9	57,6	57,6	9	61,1	62,2
10	46,6	58,4	10	245,2	302,8	10	259,1	321,3
11	168,9	227,3	11	379,1	681,9	11	386,8	708,1
12	288,8	516,1	12	461,1	1143	12	438,8	1146
13	136,4	652,5	13	491,1	1634	13	462,7	1609
14	120,1	772,6	14	477,2	2111	14	440,2	2049
15	65,2	837,8	15	395,8	2507	15	370,5	2420
16	26,8	864,6	16	253,8	2760	16	243,8	2664
17	16,1	880,7	17	81,0	2841	17	101,6	2765

Tableau-2 -

Remarque :

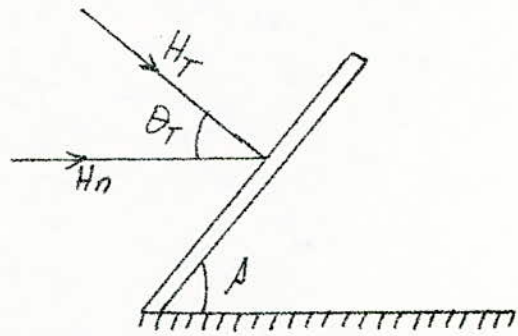
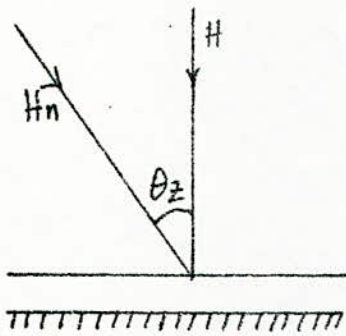
Le pyranomètre est installé horizontalement, par conséquent il mesure l'irradiation globale reçue par une surface horizontale. Dans la plupart des installations solaires, les panneaux sont inclinés d'un angle voisin de la latitude du lieu considéré. Pour passer d'un rayonnement reçu par une surface horizontale à celui reçu par une surface inclinée, on

doit multiplier le premier par un certain coefficient qui est défini par le taux de conversion solaire.

I.3. - Énergie solaire reçue sur une surface inclinée.

I.3.1. Taux de conversion solaire

Le taux de conversion solaire est défini comme étant le rapport de l'énergie reçue par un capteur plan incliné, sur l'énergie reçue par un capteur plan horizontal.



$$R = \frac{H_T}{H} = \frac{H_n \cos \theta_T}{H_n \cos \theta_z} = \frac{\cos \theta_T}{\cos \theta_z}$$

où : α : angle d'inclinaison du capteur.

θ : angle d'incidence entre la normale à la surface de captation et la direction des rayons solaires.

I.3.2. Représentation de la position d'un capteur plan en fonction des paramètres L, δ, H, α .

cette représentation est illustrée par la figure (I.3).

avec : L : la latitude qui détermine la position de la verticale du lieu.

δ : la déclinaison du soleil.

H : l'angle horaire qui indique la rotation du soleil autour de l'axe.

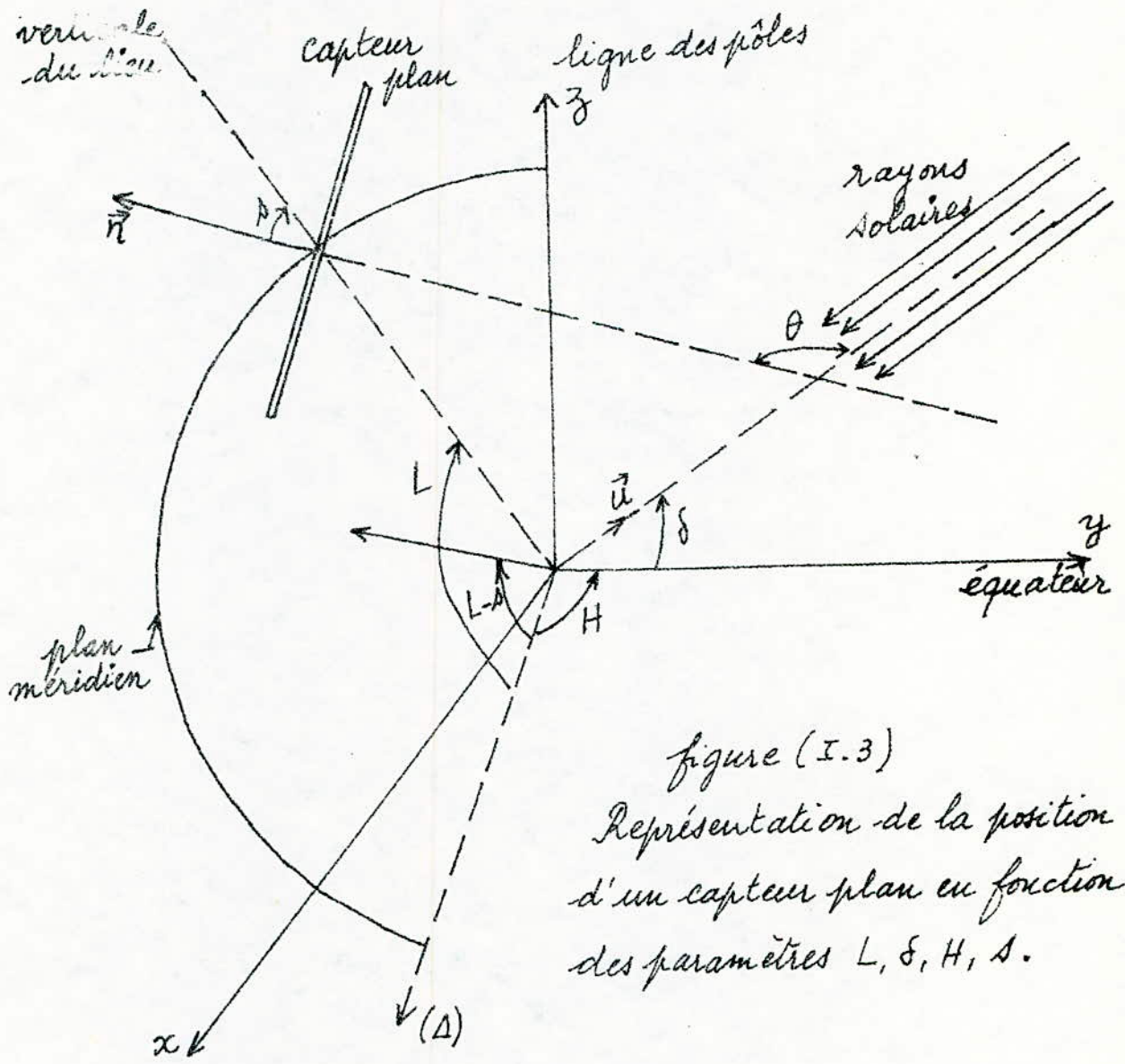


figure (I.3)
Représentation de la position
d'un capteur plan en fonction
des paramètres L, δ, H, Δ .

Dans le système de référence $[oxyz]$, les composantes des vecteurs \vec{n} et \vec{u} sont :

$$\vec{n} \begin{pmatrix} -\cos(L-\delta) \sin H \\ \cos(L-\delta) \cos H \\ \sin(L-\delta) \end{pmatrix}$$

$$\vec{u} \begin{pmatrix} 0 \\ \cos \delta \\ \sin \delta \end{pmatrix}$$

En faisant le produit scalaire $\vec{n} \cdot \vec{u}$, on trouve $\cos \theta$.

$$\vec{R} \cdot \vec{u} = \cos \theta_T = \begin{pmatrix} \cos(L-s) \sin H \\ -\cos(L-s) \cos H \\ \sin(L-s) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ \cos \delta \\ \sin \delta \end{pmatrix}$$

$$\cos \theta_T = \cos(L-s) \cos H \cos \delta + \sin(L-s) \sin \delta.$$

Le même calcul nous conduit à trouver $\cos \theta_Z$ pour un capteur plan horizontal en tenant compte de la valeur nulle de s .

$$\cos \theta_Z = \cos L \cos H \cos \delta + \sin L \sin \delta$$

d'où l'expression de R .

$$R = \frac{\cos(L-s) \cos H \cos \delta + \sin(L-s) \sin \delta}{\cos L \cos H \cos \delta + \sin L \sin \delta}$$

Les angles δ et H peuvent être calculés par les relations suivantes

$$\delta = 23,45 \sin \left(360 \cdot \frac{284+N}{365} \right) \quad [2]$$

$$H = 15(12-t) \quad [2].$$

Dans lesquelles, N : est le numéro du jour depuis le 1^{er} janvier
 t : est l'heure considérée.

Par convention : $H = 0$ à midi vrai
 $H = -90^\circ$ à 18 heures
 $H = +90^\circ$ à 6 heures.

H est positif du lever du soleil à midi vrai.

H est négatif de midi vrai au coucher du soleil.

Le calcul du taux de conversion solaire pour les 365 journées de l'année s'avère trop long. Un programme de calcul sur ordinateur s'impose. (voir résultats du listing).

et titre d'exemple; pour la journée 333 (30/11/85) et une inclinaison de 45° , sachant aussi que la latitude de l'ENP est de 37° ,

on obtient les résultats suivants :

Heure	8	9	10	11	12	13	14	15	16
R	3,42206	2,32875	2,02662	1,90985	1,87757	1,90885	2,02662	2,32875	3,42206

Le rayonnement reçu par le capteur incliné est, donc :

$$H_i = H_o R$$

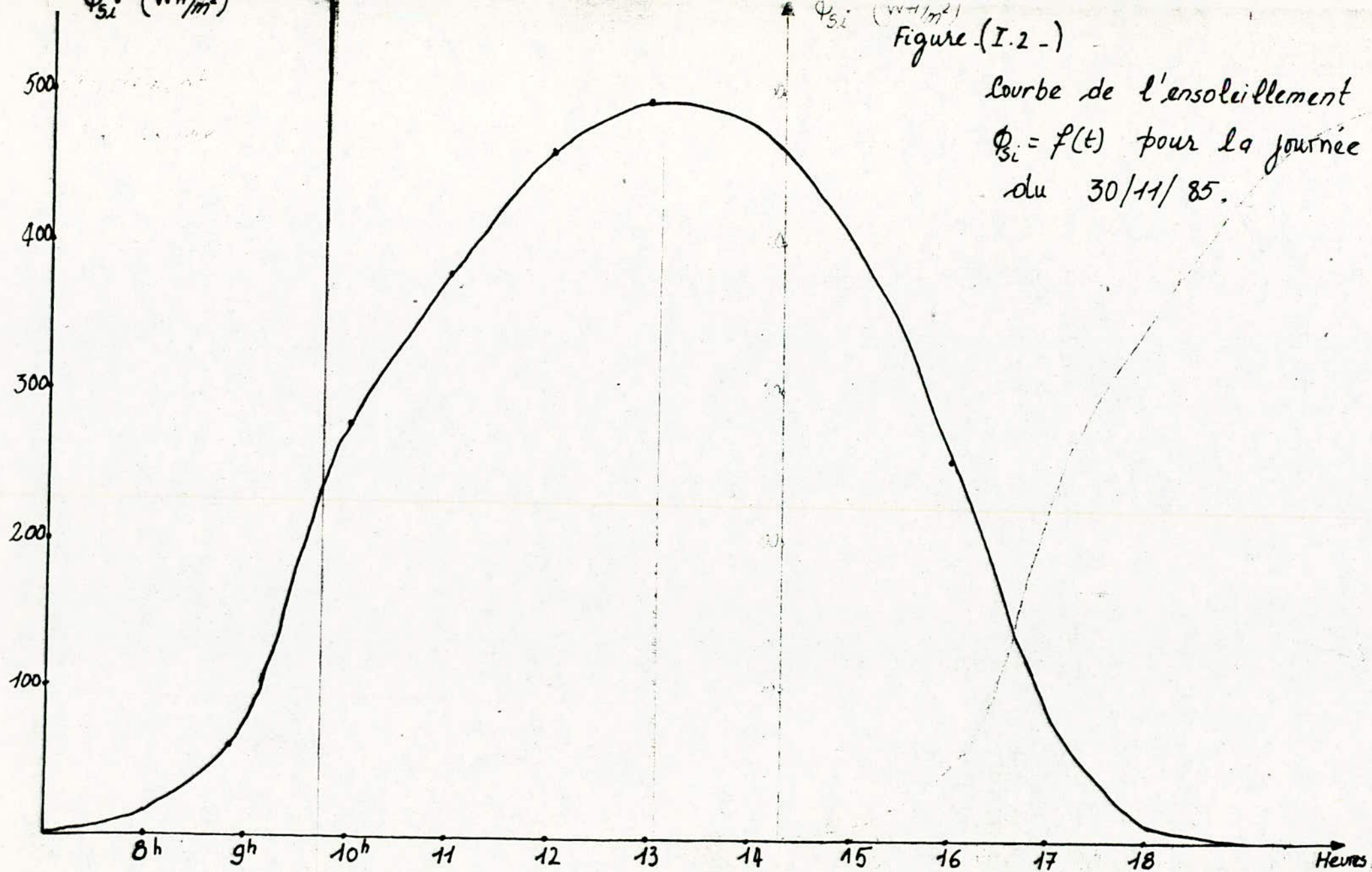
avec H_o rayonnement reçu par le capteur horizontal.

D'où les nouvelles valeurs du rayonnement reçu par le capteur incliné :

$H_o (W/m^2)$	57,6	245,2	379,1	461,1	491,1	477,1	395,8	253,8
$H_i (W/m^2)$	134,14	496,93	724,02	865,75	937,93	966,90	921,72	868,52

Conclusion.

Les courbes (I.1.a) et (I.1.b) représentant le rayonnement pour deux journées l'une "bonne" et l'autre "mauvaise", ont permis de déterminer les énergies moyennes journalières pour les deux types de journées considérées. Celles-ci serviront pour le dimensionnement du système à étudier.



_ CHAPITRE II _

CARACTERISATION DES MODULES PHOTO-VOLTAIQUES DU TYPE ARCO SOLAR M53

II-1: Description de la mini-centrale.

La mini-centrale comportant 12 modules du type "Arco-solar M53" inclinée d'un angle voisin de la latitude du lieu, soit environ 45° , orientée plein sud est installée sur la terrasse du département d'électronique de l'École Nationale Polytechnique.

Toutes les sorties des modules sont ramencés séparément sur une table, ce qui nous permet alors de faire les différentes associations des modules possibles selon le besoin de la charge. figures (II.2.1) et (II.2.3).

Les deux bornes principales de sortie (+ et -) sont reliées à une prise multiple au niveau du laboratoire au moyen d'un câble de section relativement importante ($2 \times 2,5 \text{ mm}^2$) afin de minimiser les chutes de tensions dues au transport.

Le montage a été réalisé selon le schéma de la figure (II.1)

II.2. Conditions d'associations des modules : [3]

Tous les modules qui vont être couplés en parallèle doivent avoir la même tension de circuit ouvert: V_{co} , et ceux qui vont fonctionner en série doivent avoir le même courant de court-circuit I_{cc} .

II.2.1. association série.

Lorsqu'on associe en série "n" modules, si le n-ième

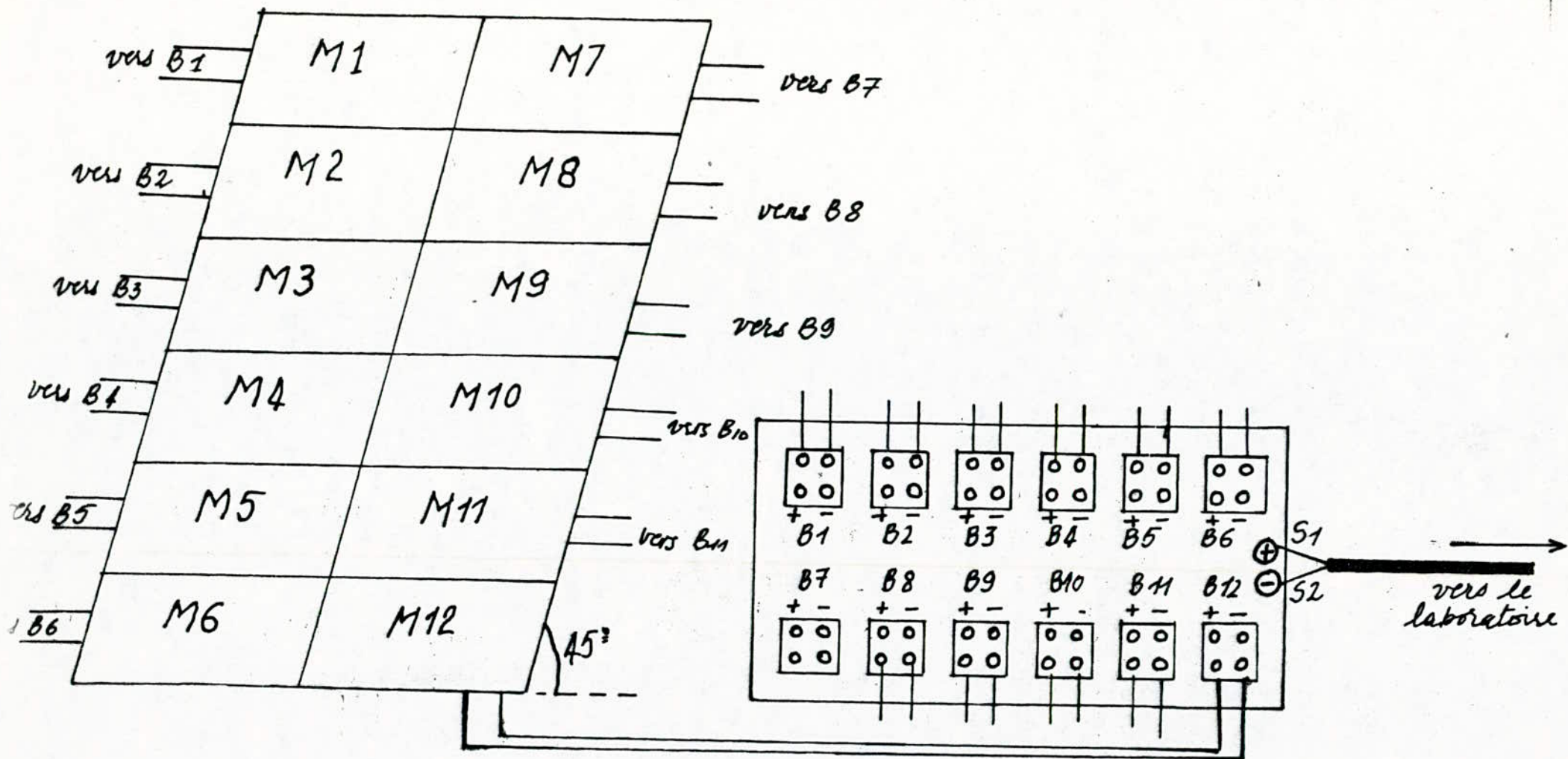


figure (II.1-1). Description de la mini centrale

- M1 à M12 : modules photovoltaïques.
- B1 à B12 : bornes de sortie des modules
- S1 et S2 : sorties principales vers l'utilisation.

module est à l'ombre lors du fonctionnement, celui-ci sera polarisé en inverse par la somme des forces électromotrices photovoltaïques résultantes des autres modules éclairés, ce qui tend à accroître le courant inverse provoquant ainsi une augmentation de température. Cette dernière, à son tour intensifie ce courant, ainsi de suite jusqu'à emballement thermique avant même d'atteindre la tension de claquage. figure (II.2.1).

Si on met en court circuit un ensemble de modules qui n'ont pas le même courant de court circuit, alors celui qui a le plus faible courant I_{cc} sera soumis à une tension inverse et risquera d'être détérioré.

Remarque :

La caractéristique équivalente de deux modules mis en série s'obtient en ajoutant point par point les deux caractéristiques $I = f(V_1)$ et $I = f(V_2)$ à courant constant, et cela pourra être généralisé pour n modules en série. figure (II.2.2).

II.2.2. association parallèle -

Ce genre de groupement augmente le courant et diminue la résistance interne du générateur.

Lorsque n modules sont mis en parallèle et si le n -ième est à l'obscurité alors que les autres sont soumis aux mêmes éclairagements, le module non éclairé sera parcouru par la somme des courants issus des $(n-1)$ autres modules, figure (II.2.3). Et si ce courant atteint le courant de

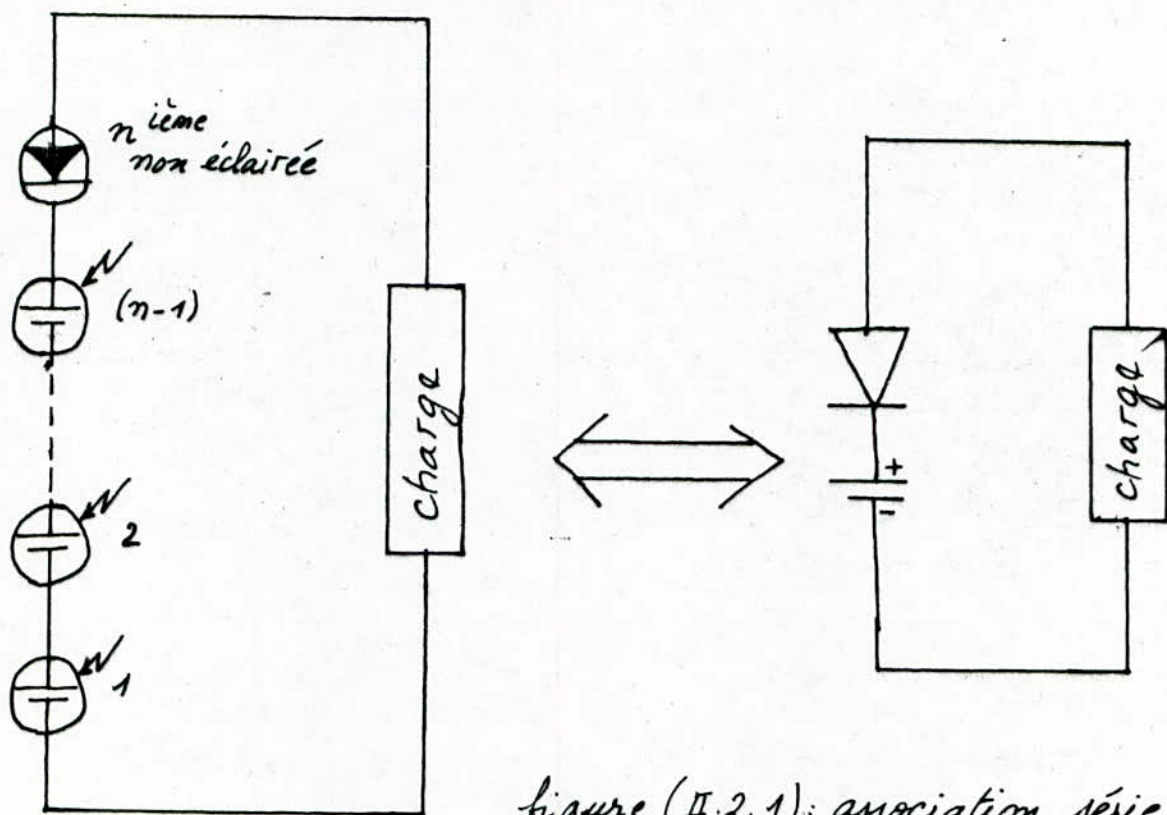


figure (II.2.1): association série.

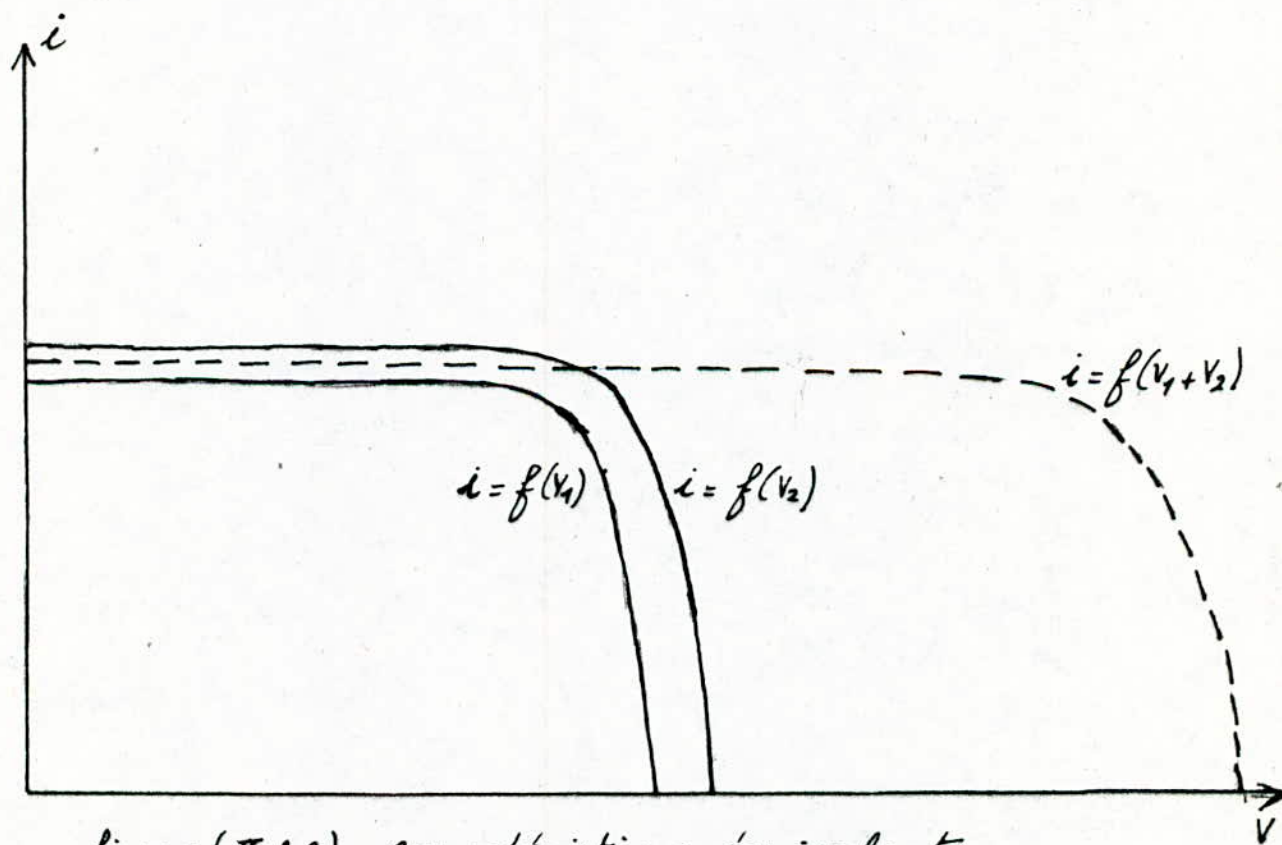


figure (II.2.2). Caractéristique équivalente de 2 modules en série.

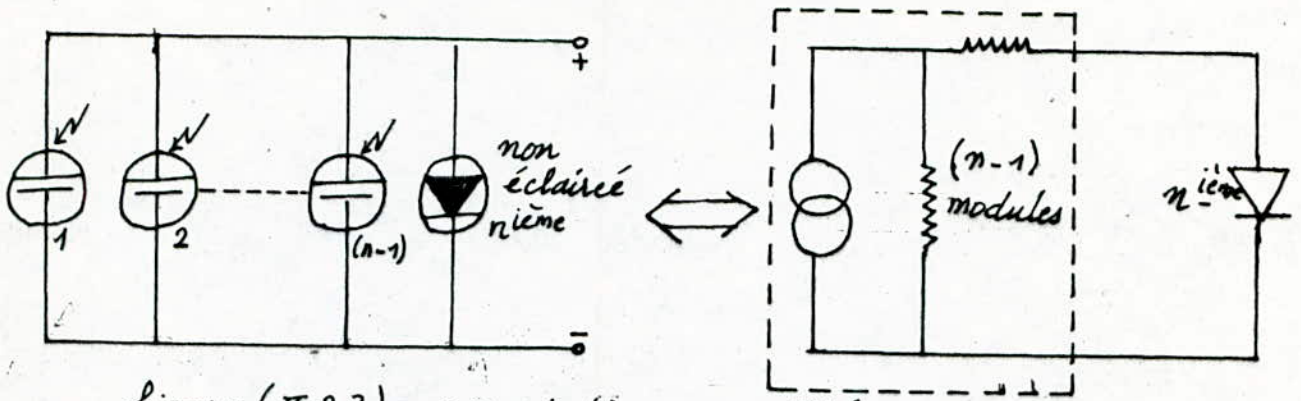


figure (II.2.3). association parallèle.

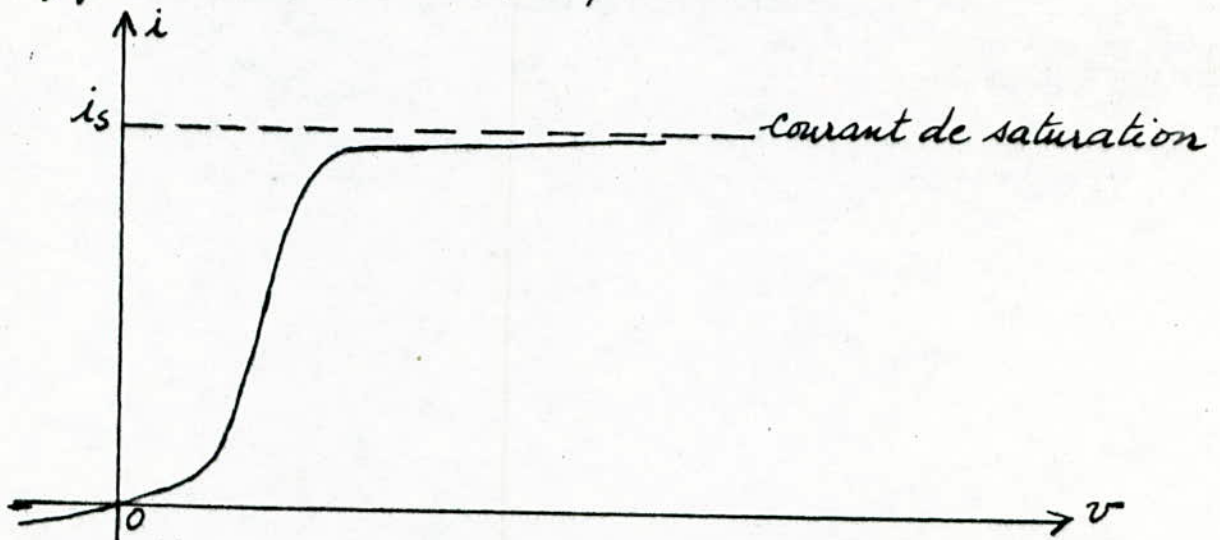


figure (II.2.4). caractéristique d'une diode.

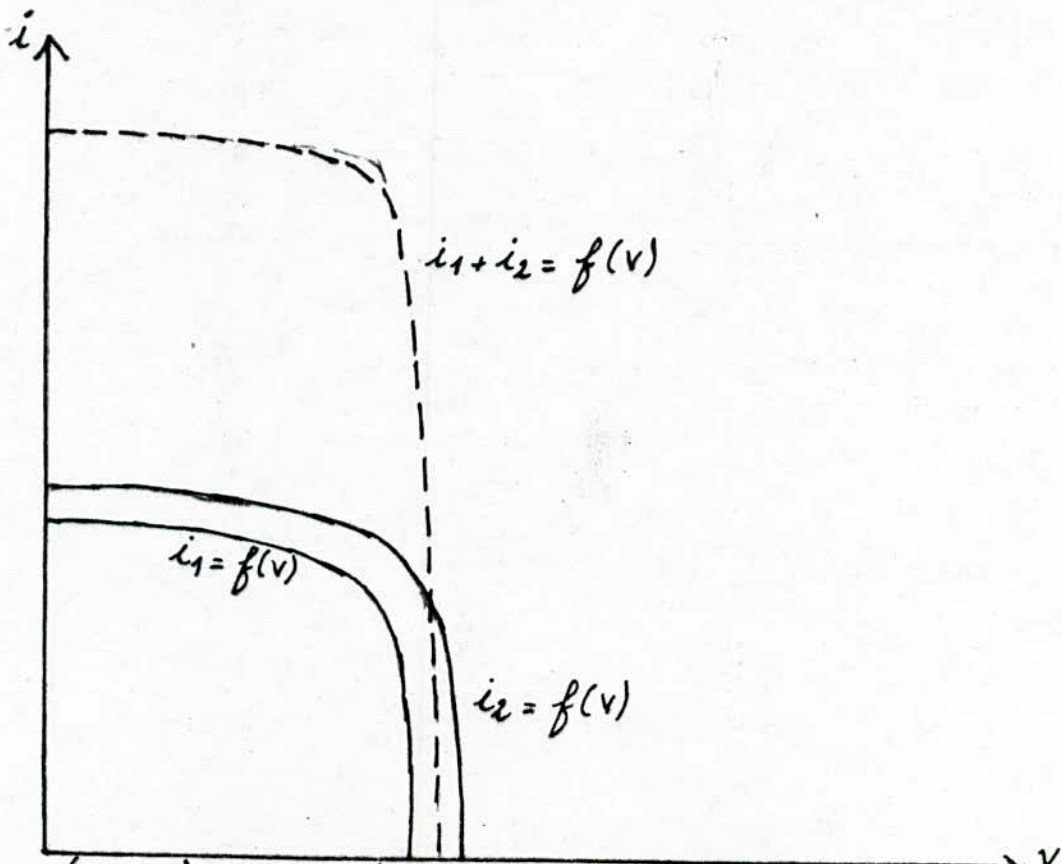


figure (II.2.5). caractéristique équivalente de 2 modules en parallèle.

saturation du même module, celui-ci risquera d'être endommagé. figure (II.2.4).

Remarque:

La caractéristique équivalente (I, V) de deux modules en parallèle s'obtient en ajoutant point par point les deux caractéristiques $I_1 = f(V)$ et $I_2 = f(V)$ à tension constante, de même pour n modules en parallèle.

figure (II.2.5).

II.2.3 - Association mixte.

Si les deux conditions d'associations ne sont pas respectées les modules qui possèdent les photocourants et les phototensions plus élevés dissipent leurs excès de puissance dans les modules de performances électriques moindres.

La puissance de sortie est alors réduite par un accroissement de température des modules dû à la dissipation de puissance interne.

II.3 - Définitions -

II.3.1: Cellule solaire photovoltaïque ou photopile [4]

La photopile transforme directement en électricité l'énergie lumineuse reçue. Elle peut être constituée soit par la jonction d'un métal et d'un semi-conducteur, soit par deux semi-conducteurs de types opposés, c'est le cas des photopiles au silicium (Si).

II.3.2. Module photovoltaïque:

Les cellules solaires sont interconnectées en série pour

constituer un module photovoltaïque.

Les photopiles sont enchassées dans une résine transparente qui assure le scellement et sont protégées contre les pénétrations d'humidité par une face avant en verre à haut pouvoir de transmission et une face arrière soit en verre (version bi-verre), soit constituée d'un complexe multicouches, soit enfin, d'une face arrière métallique. L'encadrement assure la protection et la rigidité mécanique de l'ensemble.

II.3.3: Panneau photovoltaïque.

Un panneau photovoltaïque est un assemblage de plusieurs modules interconnectés en série, parallèle ou série parallèle.

II.4. Caractérisation des modules Arco Solar M53.

La caractérisation d'un module consiste à relever les courbes de puissance (V, I) pour différentes valeurs du flux lumineux et de la température. A partir de ces courbes nous déterminerons les différents paramètres caractérisant ce module.

II.4.1. méthode de relevés des courbes (V, I) -

La méthode utilisée consiste à balayer tous les points de fonctionnement du module à l'aide d'une charge résistive variable connectée à ses bornes et d'une alimentation variable. figure (II.4.1).

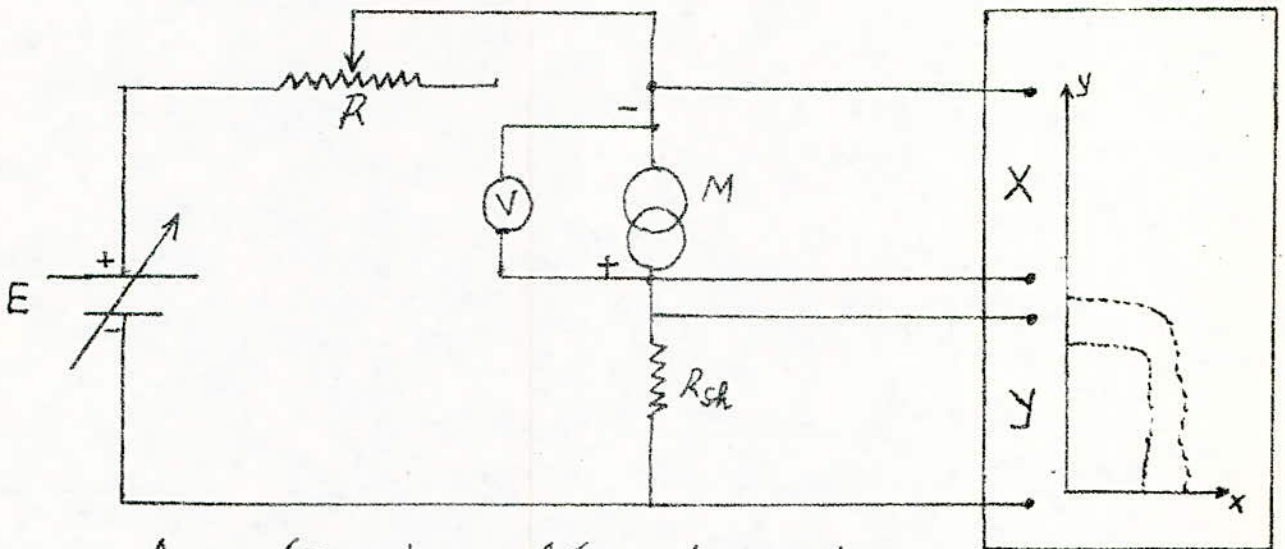


figure (II.4.1) - schéma de montage.

E : alimentation variable

R : résistance variable

Rsh : shunt 0,1 V ; 5 A

M : module photovoltaïque.

X, Y : entrées sur table traçante

Avant de brancher la table traçante, on procède d'abord à l'équilibrage des tensions de l'alimentation et du générateur photovoltaïque. L'ajustement se fait avec la résistance variable R, puis on coupe l'alimentation variable. Une fois que les entrées de la table traçante sont branchées, on règle son bras de manière à avoir la tension affichée par le voltmètre. Dès qu'on appuie sur le bouton marche de l'alimentation, la tension du générateur décroît très vite et s'annule. On obtient ainsi la courbe de puissance du module pour un flux et une température donnés.

La résistance Rsh permet d'avoir directement le courant I et ceci en faisant $I = \frac{V}{R_{sh}}$ avec $R_{sh} = \frac{0,1}{5} = 0,02 \Omega$.

Remarque :

Le capteur de température est collé contre la face inférieure du module.

II.4.2 - Résultats de la caractérisation -

La figure (II.4.2) montre la famille des courbes (V, I) du module considéré pour les différentes valeurs du flux et de la température. Les premiers résultats qui ressortent de ces courbes sont la tension de circuit ouvert du module et son courant de court circuit.

Φ_{Si}, T	924 ; 31	726 ; 27	468 ; 22
$I_{cc} (A)$	2,46	1,74	1,06
$V_{oc} (V)$	20,5	20	18,8

Φ_{Si} en W/m^2
 T en $^{\circ}C$.

Les courbes de puissance (V, I) permettent aussi de déterminer la puissance maximale que peut fournir le module.

II.4.2.1 - Détermination de la puissance maximale délivrée par le module pour chaque rayonnement.

Des courbes (V, I) du module pour différents flux et différentes températures, on relève les couples de valeurs (V, I) et on calcule la puissance maximale du module.

Les résultats sont donnés dans les tableaux 1, 2 et 3.

	$\Phi_{Si} = 924 W/m^2$											$T = 31^{\circ}C$			
V (V)	0	5	10	14	15	15,5	16	16,5	17	17,5	18	19	20,5		
I (A)	2,46	2,42	2,4	2,38	2,36	2,32	2,3	2,25	2,2	2,19	2	1,6	0		
P (W)	0	12,1	24	33,32	35,4	35,96	36,8	37,12	37,4	36,92	36	30,4	0		

Tableau 1.

		$\Phi_{se} = 726 \text{ W/m}^2$											$T = 27^\circ\text{C}$	
V (V)	0	5	10	14	15	15,5	16	16,5	17	17,5	18	19	20	
I (A)	1,74	1,73	1,72	1,7	1,68	1,67	1,65	1,62	1,56	1,47	1,34	0,8	0	
P (W)	0	8,65	17,2	23,8	25,2	25,88	26,4	26,7	26,5	25,72	24,12	15,2	0	

Tableau 2.

		$\Phi_{se} = 468 \text{ W/m}^2$											$T = 22^\circ\text{C}$	
V (V)	0	5	10	14	15	15,5	16	16,5	17	17,5	18	18,8		
I (A)	1,06	1,04	1,02	1	0,96	0,93	0,88	0,78	0,68	0,54	0,34	0		
P (W)	0	5,2	10,2	14	14,4	14,42	14,08	12,87	11,56	9,45	6,12	0		

Tableau 3.

La figure (II.4.3) montre les courbes $P = f(V)$; à partir de ces courbes on relève la puissance optimale du module et la tension optimale lui correspondant, puis des courbes (V, I) on lit le courant optimum. Maintenant, qu'on a déterminé la puissance maximale du module pour les différents flux, on peut calculer son rendement. On aura ainsi caractérisé le module considéré.

II.4.2.2. Tableau récapitulatif.

Pour un flux solaire donné, le module photovoltaïque est caractérisé par :

La tension de circuit ouvert V_{co}

le courant de court circuit I_{cc}

la tension optimale V_m

le courant optimal I_m

la puissance optimale $P_m = I_m V_m$

le rendement $\eta = \frac{P_m}{P_i} = \frac{P_m/S}{P_i}$

P_i = puissance incidente

$S = 0,37 \text{ m}^2$ surface du module Arco Solar M53.

Les valeurs numériques de ces paramètres sont consignées dans le tableau 4.

$\Phi_{sc} (\text{W/m}^2)$	924	726	468
$V_{co} (\text{V})$	20,5	20	18,8
$I_{cc} (\text{A})$	2,46	1,74	1,06
$V_m (\text{V})$	17	16,7	15,5
$I_m (\text{A})$	2,20	1,62	0,93
$P_m (\text{W})$	37,4	26,7	14,41
$\eta \%$	10,94	9,95	8,40

Tableau 4.

De la figure (II.4.2) on remarque que le photocourant est directement proportionnel au flux incident.

Pour voir l'influence du flux sur la phototension, nous avons choisi deux courbes à des rayonnements différents et températures égales - figure (II.4.4).

De la figure (II.4.4), on remarque que la phototension n'est pas trop affectée par le rayonnement solaire.

De même pour illustrer l'influence de la température sur les caractéristiques (I, V) nous avons relevé deux courbes ayant des rayonnements voisins et des températures différentes, l'une mesurée le matin et l'autre le soir - figure (II.4.5).

On voit que la phototension diminue lorsque la température augmente, mais en revanche le photocourant, lui n'est pas trop affecté.

En résumé, l'influence de la température et du rayonnement sont comme suit:

	Tension de circuit ouvert V_{co}	Courant de court-circuit I_{cc}
Eclairement	faible variation	grande variation
température	grande variation	faible variation

De la figure (II.4.3) on constate que la puissance maximale délivrée par le module augmente avec le rayonnement solaire, et que cette puissance optimale pour toutes les courbes $P=f(V)$ se situe dans une bande verticale très étroite.

Conclusion :

Puisque la tension du module varie en sens inverse avec la température, il est donc nécessaire d'aérer les modules pour diminuer la température, donc augmenter la tension et par conséquent améliorer le rendement de conversion.

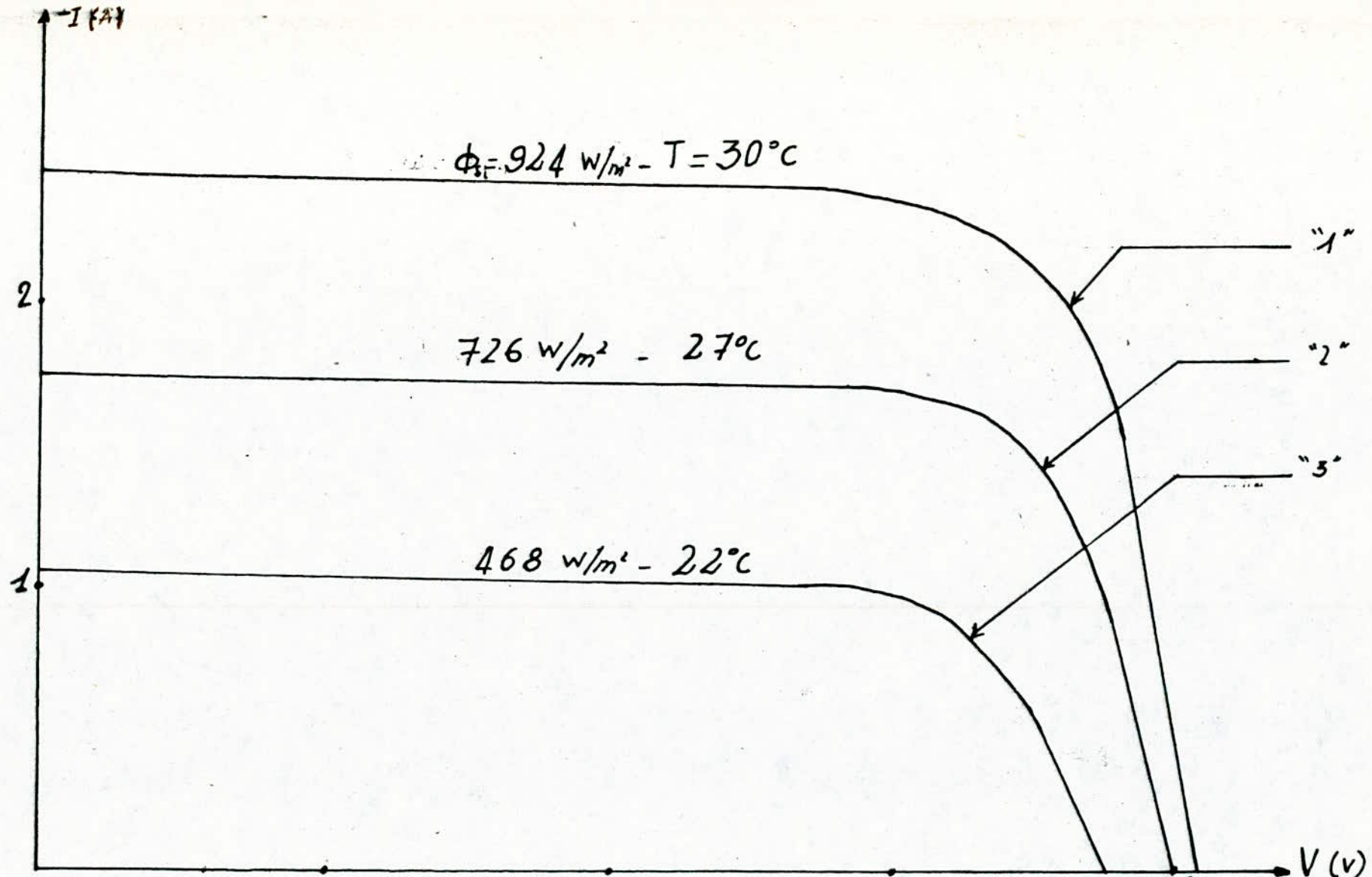


figure - (II 4-2) : Courbes de puissance - (I-V)

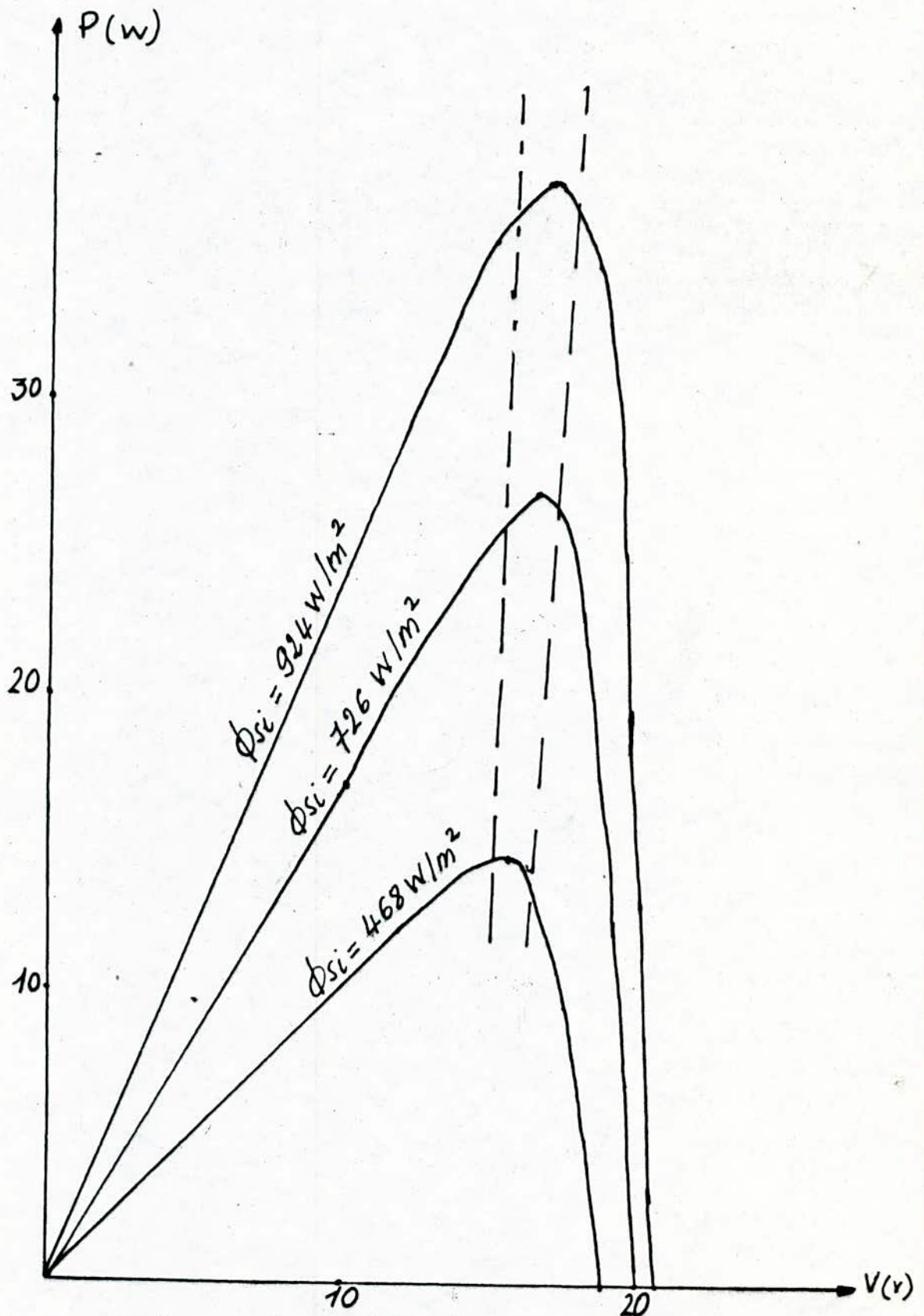


figure (II.4.3) - Courbes $P = f(v)$

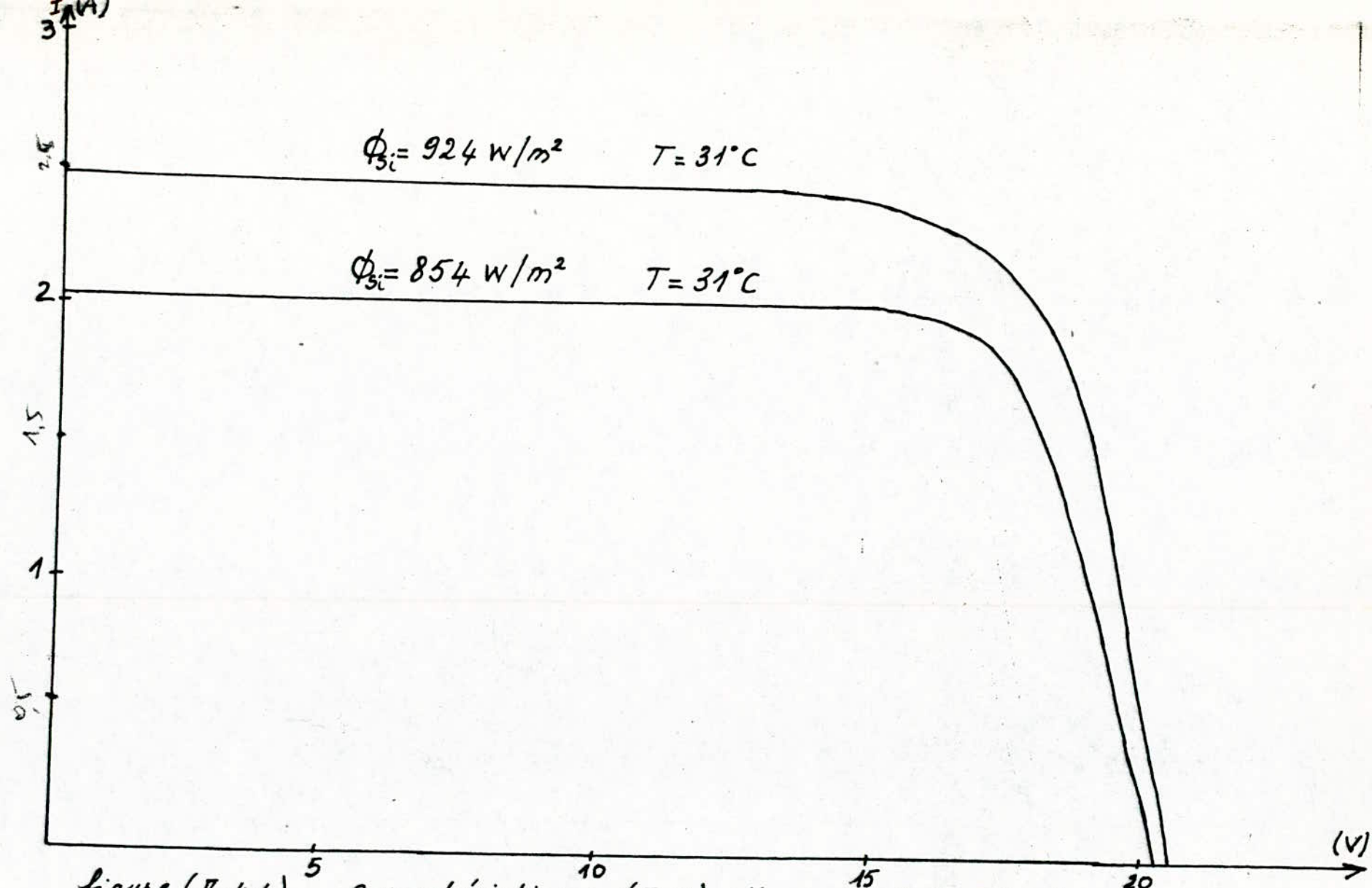


figure (II.4.4) - caractéristiques (I, V) d'un module à des rayonnements différents et températures égales.

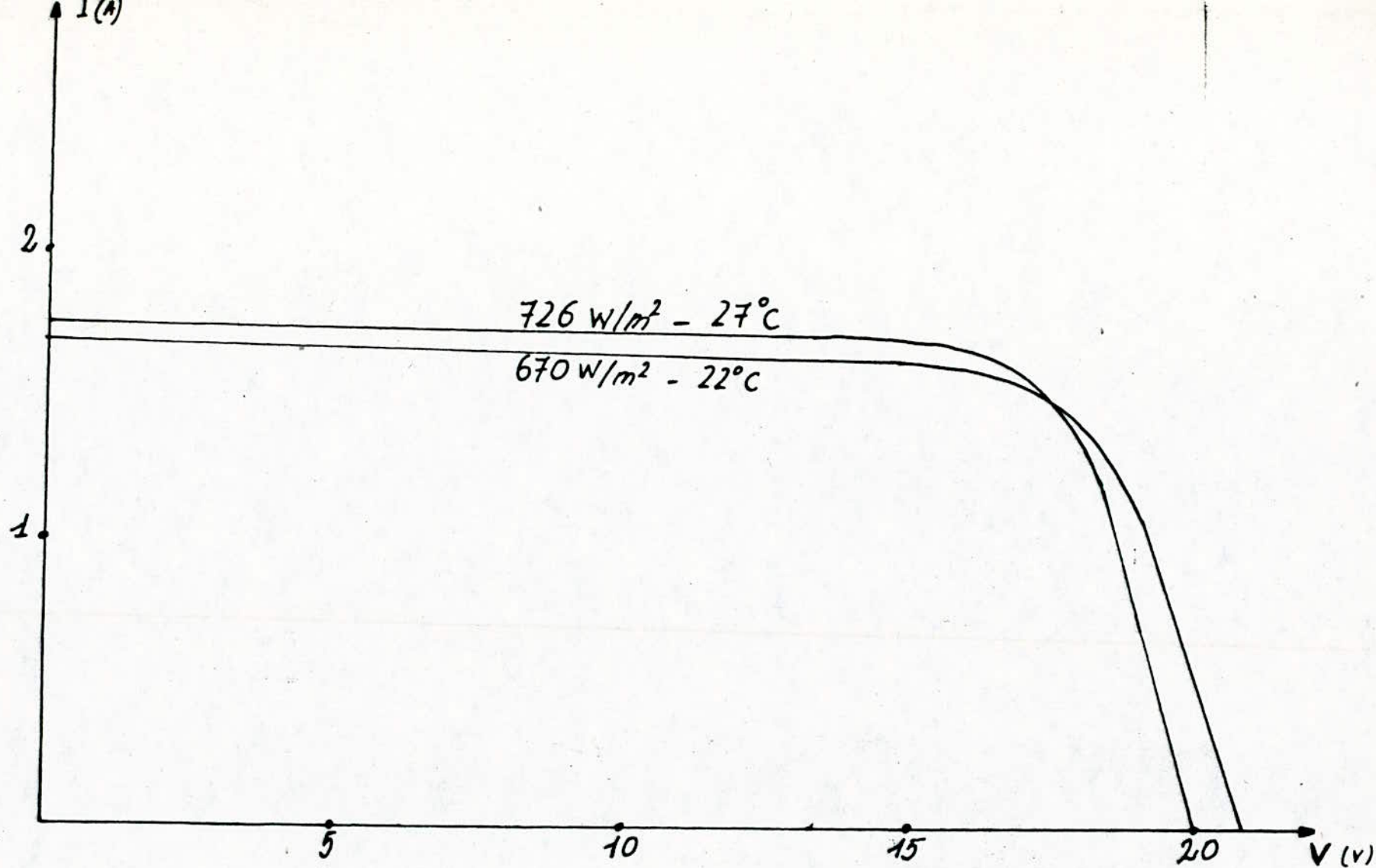


figure (II-4-5) - Caractéristiques (I-v) d'un module
à des rayonnements voisins et températures
différentes

CHAPITRE III COMPORTEMENT DU SYSTEME FONCTIONNANT AU FIL DU SOLEIL.

Dans ce chapitre, nous nous proposons d'étudier le comportement du générateur photovoltaïque, quand il est couplé directement au récepteur et par conséquent au moteur. Le récepteur utilisé est composé d'un moteur à courant continu à aimant permanent et d'une charge variable simulée par un mini-ascenseur. figure (III. 1).

Afin, de pouvoir étudier le comportement du système ainsi constitué, il est nécessaire de connaître toutes les caractéristiques des éléments le composant et en particulier celles du moteur.

III.1. Etude du moteur -

Dans tous les systèmes alimentés par énergie solaire, et dans lesquels, l'utilisation d'un moteur électrique de faible puissance s'impose, on choisit généralement un moteur à courant continu à aimant permanent.

III.1.1. Avantages de ces moteurs -

Les avantages que présente ce genre de moteurs sont :

- L'excitation ne nécessite pas une source d'alimentation extérieure.
- Leur flux ne dépend que très peu de la température du moteur et on considère qu'il est constant.
- Stabilité des caractéristiques de sortie.

- grande rapidité de réponse.

III-1.2. Caractéristiques du moteur.

Dans les moteurs à aimant permanent, le flux magnétique Φ est créé par l'aimant permanent, figure (III.2. a).

L'obtention des caractéristiques mécaniques et de réglage se fait de la manière suivante. [5].

On admet que le circuit magnétique est non saturé et que la réaction d'induit est négligeable.

Les équations de ces caractéristiques sont généralement exprimés en unités relatives.

Ainsi, on définit les paramètres suivants.

a - Le facteur de signal qui est donné par la relation:

$$\alpha = \frac{U_{com}}{U_{nom}}$$

où: U_{nom} est la tension nominale d'induit

U_{com} est la tension de commande, ou la tension appliquée aux bornes de l'induit.

α peut varier de 0 à 1,25.

b - La vitesse relative qui est définie par:

$$\Omega^r = \frac{\Omega}{\Omega_0}$$

où: Ω_0 est la vitesse de marche à vide idéale ($\alpha=1$).

Ω est la vitesse de rotation.

c - Le couple relatif défini par:

$$M^r = \frac{M}{M_d}$$

où: M^r est le couple moteur en unités relatives.

M_d est le couple au démarrage ($\alpha=1$).

Ces facteurs en unités relatives vont permettre de décrire le système.

- Description du système.

En partant des équations classiques des moteurs à courant continu à savoir $E = KN\Phi$ et $E = U - RI_a$, et après transformations on obtient :

$$\Omega = \Omega_0 - \frac{R_a}{(K\Phi)^2} M \quad (1)$$

où Ω_0 et K sont donnés par les relations

$$\Omega_0 = \frac{U_{nom}}{K\Phi} \quad (2)$$

$$K = \frac{NP}{2\pi a} \quad (3)$$

K étant la constante géométrique qui est fonction de :

N : nombre de conducteurs

a : nombre de paires de branches en parallèle.

P : nombre de paires de pôles de la machine.

Pour un moteur de faible puissance dont la tension d'induit est variable ; l'équation (1) tenant compte de (2) et pour une valeur quelconque de α , prend la forme suivante :

$$\Omega = \frac{\alpha U_{nom}}{K\Phi} - \frac{R_a}{(K\Phi)^2} M = \alpha \Omega_0 - \frac{R_a}{(K\Phi)^2} M \quad (4)$$

Divisons les deux membres de l'équation (4) par Ω_0 .

$$\frac{\Omega}{\Omega_0} = \alpha - \frac{R_a}{(K\Phi)^2 \Omega_0} M = \Omega^r \quad (5)$$

En annulant Ω dans l'équation (4), on trouve l'expression du couple au démarrage pour $\alpha = 1$.

$$M_d = \frac{(K\Phi)^2 \Omega_0}{R_a} \quad (6)$$

La combinaison des équations (6) et (5) donne l'expression suivante :

$$\Omega^r = \alpha - M^r \quad (7)$$

Le facteur de signal étant constant, l'expression (7) représente la caractéristique mécanique du moteur à commande d'induit, $\Omega^r = f(M^r)$ - figure (III.2.b).

Si le couple M^r est constant, l'équation (7) servira de la caractéristique de réglage: $\Omega^r = f(\alpha)$ - figure (III.2.c).

On remarque d'après ce modèle, que les courbes obtenues sont linéaires.

III.2. Couplage direct. Générateur-moteur :

Un groupement de cellules photovoltaïques est caractérisé par sa courbe de puissance pour un flux solaire incident Φ_{si} et une température T .

La tension qui apparaît aux bornes du générateur est :

$$V_p = f_{\Phi_{si}, T}(I_p) \quad (1)$$

avec :

$$V_p \leq V_{co} \quad (I = 0)$$

$$I_p \leq I_{cc} \quad (V = 0)$$

D'autre part un moteur à courant continu à aimant permanent est caractérisé par :

$$\Phi_{em} = \text{Constante}$$

$$I_a = I_M \quad \text{où } I_a \text{ est le courant d'induit.}$$

Les équations électriques du moteur sont :

$$V_M - R_a I_M = K N \Phi_{em} \quad (2)$$

$$\text{et } C_E = K \Phi_{em} I_M \quad (3)$$

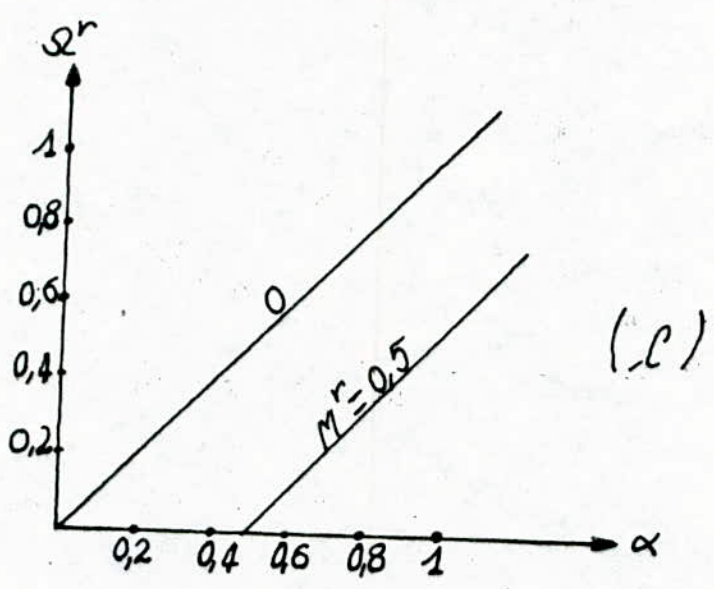
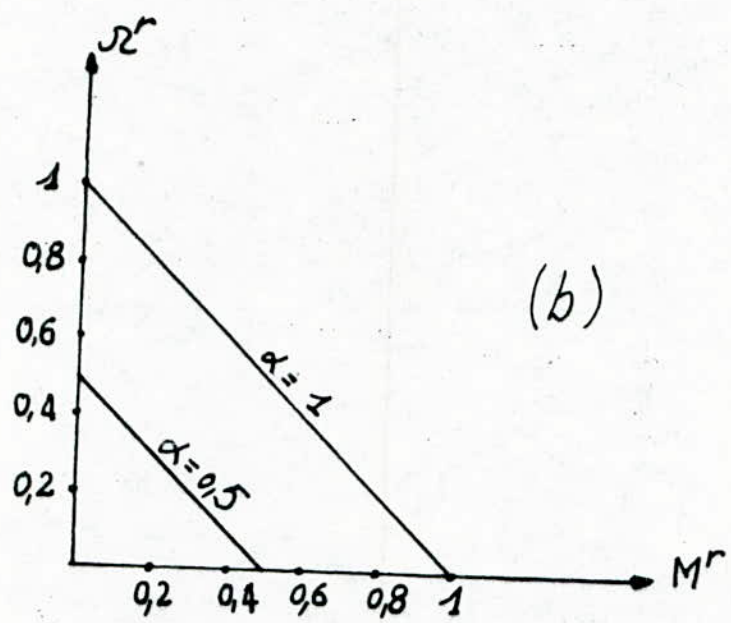
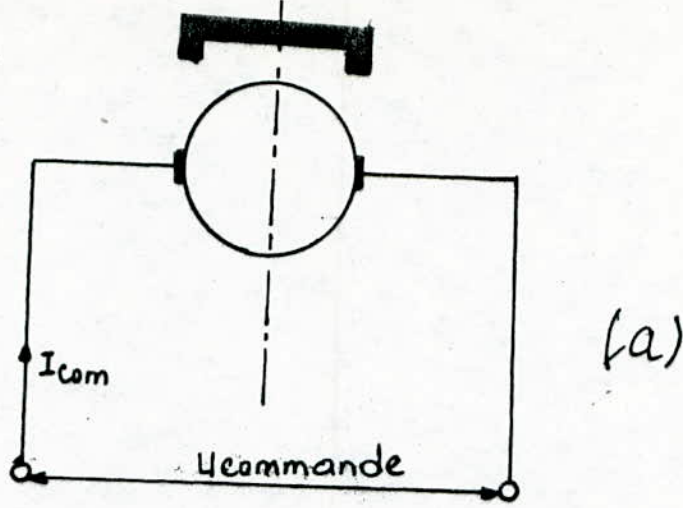


figure (III.2)
- a - Schéma de couplage d'un moteur à courant continu à commande d'induit.
- b - Caractéristiques mécaniques.
- c - Caractéristiques de réglage.

Lors du couplage direct, on aura :

$$I_p = I_M = I_a$$

$$V_p = V_M$$

Pour chaque vitesse du moteur, le couple résistant C_r est égal au couple C_E à l'équilibre et l'équation du couple C_E nous donne I_M . Cette valeur étant connue, l'équation (2) donne la tension V_M , et l'équation (1), le flux incident pour lequel la vitesse N est obtenue.

Pour chaque masse que doit soulever le moteur, on associe un couple de valeurs (V_p, I_p) délivré par le générateur photovoltaïque.

Ainsi pour chaque masse, le couple résistant est donné par la relation :

$$C_r = \frac{M g r}{Z}$$

où :

M est la masse à soulever.

g est l'accélération de la pesanteur.

r est le rayon de la poulie.

Z est le coefficient de réduction

- Le point de fonctionnement de l'ensemble est donné par l'intersection des courbes de puissance du générateur déterminées au chapitre II. et celles des courbes du couple $C_r = f(I)$.

III.3 - Etude expérimentale du couplage direct, G.PV - moteur.

Afin de vérifier le modèle théorique exposé plus haut à l'aide des équations en unités relatives, on se propose

- de réaliser un montage expérimentale.

III.3.1. Montage d'expérimentation :

Le montage réalisé est représenté par la figure (III.1) et se compose des organes suivants :

- Un générateur P.V dont les caractéristiques principales sont : pour un flux $\phi_{si} = 924 \text{ W/m}^2$.

$$U_m = 17 \text{ V}$$

$$I_m = 2,4 \text{ A}$$

$$P_m = 37 \text{ W}$$

- Moteur à courant continu à aimant permanent muni d'un réducteur de vitesse.

$$I_n = 1,7 \text{ A} \quad R_a = 12 : \text{résistance d'induit}$$

$$U_n = 12 \text{ V}$$

$$P_n = 20,4 \text{ W}$$

Le coefficient de réduction est égal à $Z = 49$.

- Ascenseur :

M qui est la charge variable

H = 1,50 m hauteur

r = 2 cm, rayon de la poulie.

Les essais effectués sous différents ensoleillements ont permis d'avoir les résultats suivants.

III.3.2. Résultats des essais et interprétations.

La courbe de la figure (III.3) donne les courants absorbés par le moteur en fonction des masses à soulever. Afin de relever les courbes de puissance (U, I) du récepteur, nous avons effectué un essai à tension d'alimentation variable

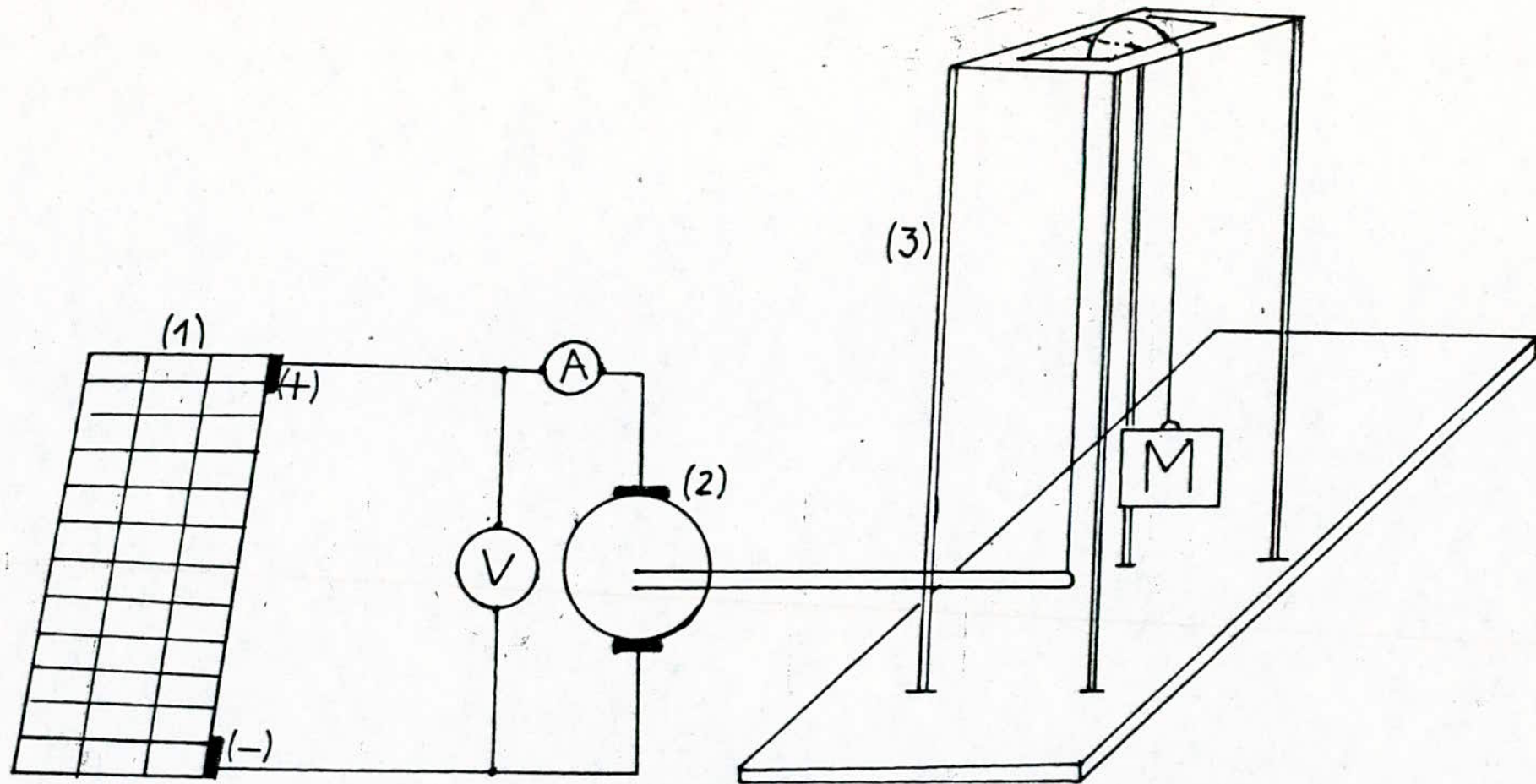


figure (III.1) Schéma de l'installation en couplage direct.

- 1- Générateur photo-voltaïque
- 2- Moteur à courant continu
- 3- Charge (représentée par un mini-ascenseur).

et pour des différentes masses - figure (III-4).

Les résultats sont donnés dans les tableaux 1 et 2.

Lors de la caractérisation du module Arco solar M53, nous avons déterminé le courant de court-circuit du module et sa tension en circuit ouvert pour trois flux solaires différents. Nous savons que la puissance délivrée par le générateur P.V, dépend essentiellement de ces deux paramètres. Pour connaître les performances du système, nous devons déterminer les flux nécessaires pour produire la puissance demandée par le moteur; pour cela nous avons établi le tableau suivant :

ϕ_{si} (W/m^2)	U_{co} (V)	I_{cc} (A)	Masses en grammes.
$1 \leq \phi_{si} \leq 50$	$15 \div 17$	$0,06 \div 0,1$	/
$50 \leq \phi_{si} \leq 300$	$17 \div 20$	$0,1 \div 0,45$	/
$300 < \phi_{si} \leq 600$	$17 \div 21$	$0,5 \div 1,5$	jus-qu' à 600 g
$\phi_{si} > 600$	$17 \div 21$	$1,5 \div 2,6$	jus-qu' à 1000 g

Le tableau ci dessus nous permet de tirer les conclusions importantes suivantes.

1- pour des flux solaires $1 \leq \phi_{si} < 50 W/m^2$ le générateur P.V développe un courant d'environ 80 mA. Ce courant est très faible pour faire tourner le moteur. Pour augmenter cette valeur, on connecte plusieurs modules en parallèle.

Le nombre de modules nécessaire pour développer un courant de 1,8 A est : $N = \frac{1,8}{80 \cdot 10^{-3}} = 23$ modules.

Ce nombre est très important, ce qui augmente sensiblement le prix de revient de l'installation.

Tableau 1.

$U = 12\text{ V}$

M (g)	200	400	600	800	900	1000	1200
I (A)	1,12	1,36	1,6	1,82	1,96	2,1	2,4

Tableau 2.

M = 300 (g)		M = 500 (g)		M = 700 (g)		M = 800 (g)	
V (v)	I (A)	V (v)	I (A)	V (v)	I (A)	V (v)	I (A)
2	0,96	2	0,96	2	0,97	2	0,97
5	1,02	5	1,1	5	1,18	5	1,24
7	1,95	7	1,2	7	1,33	7	1,44
10	1,2	10	1,38	10	1,56	10	1,78
12	1,28	12	1,5	12	1,72	12	1,96
14	1,34	14	1,6	14	1,89	14	2,18

2- Pour des flux $50 \leq \phi_{si} \leq 300 \text{ W/m}^2$; le courant produit est d'environ $0,4 \text{ A}$.

Le nombre de modules à mettre en parallèle est:

$$N = \frac{1,8}{0,4} = 5 \text{ modules.}$$

Ces deux exemples illustrent les possibilités de fonctionnement du système pour des flux solaires faibles (journée du type mauvaise). Pour remédier à ce problème deux solutions s'imposent.

- soit utiliser un nombre bien déterminé de modules en parallèle.
- soit alimenter le récepteur en transitant par des batteries d'accumulation.

3- Pour des flux supérieurs à 600 W/m^2 , le moteur peut soulever des masses ^{allant} jusqu'à 1000 g sans avoir recours aux batteries, c'est à dire le fonctionnement au fil du soleil et possible et voir plus rentable.

Remarque -

Les variations de température sont très faibles, donc elles n'influencent que très peu sur la tension délivrée par le module. Cette dernière ne descend pas au dessous de 15 V .

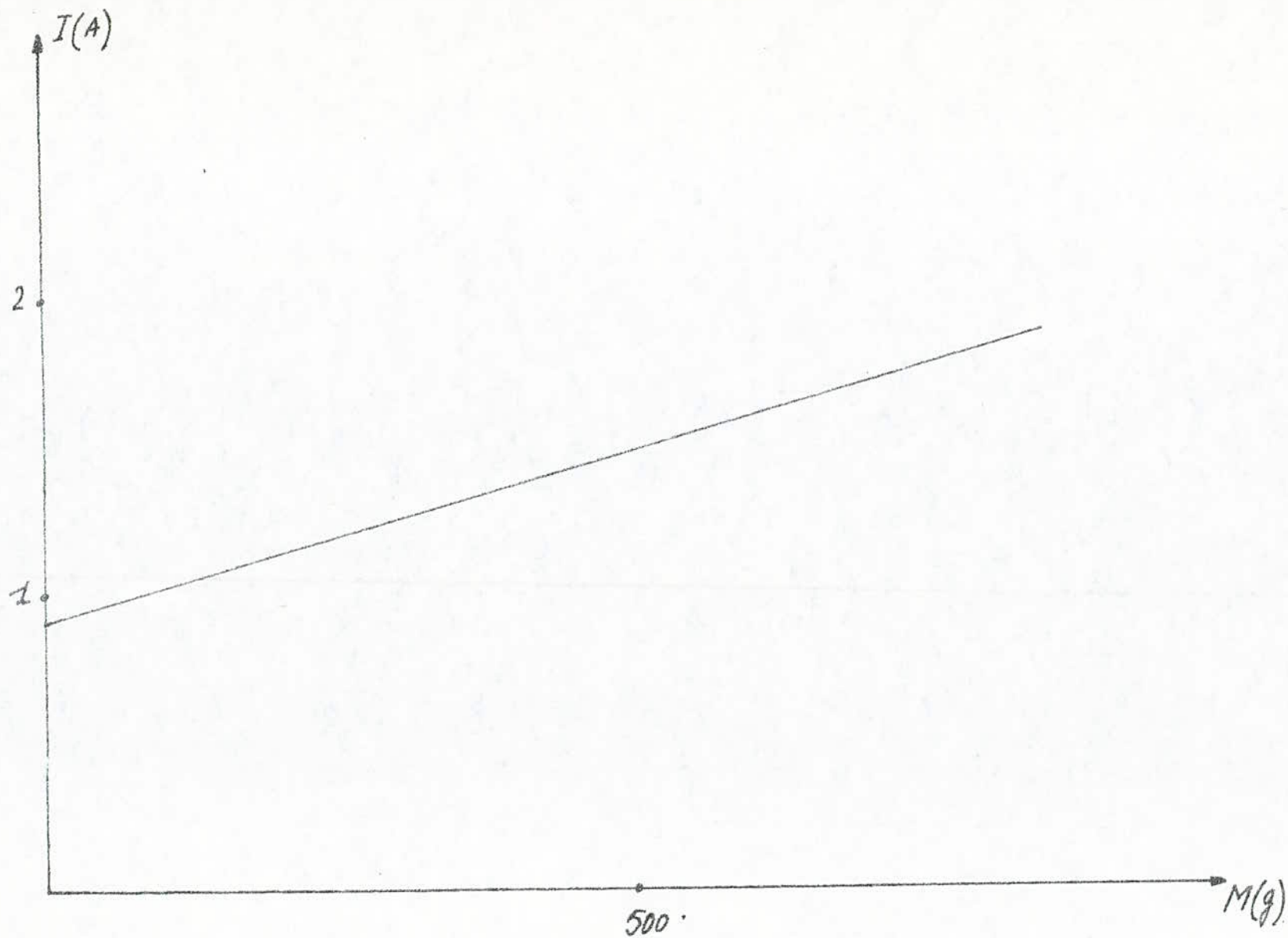


Figure (III.3): Courbe du couple en fonction du courant à tension constante $U = 12 (V)$.

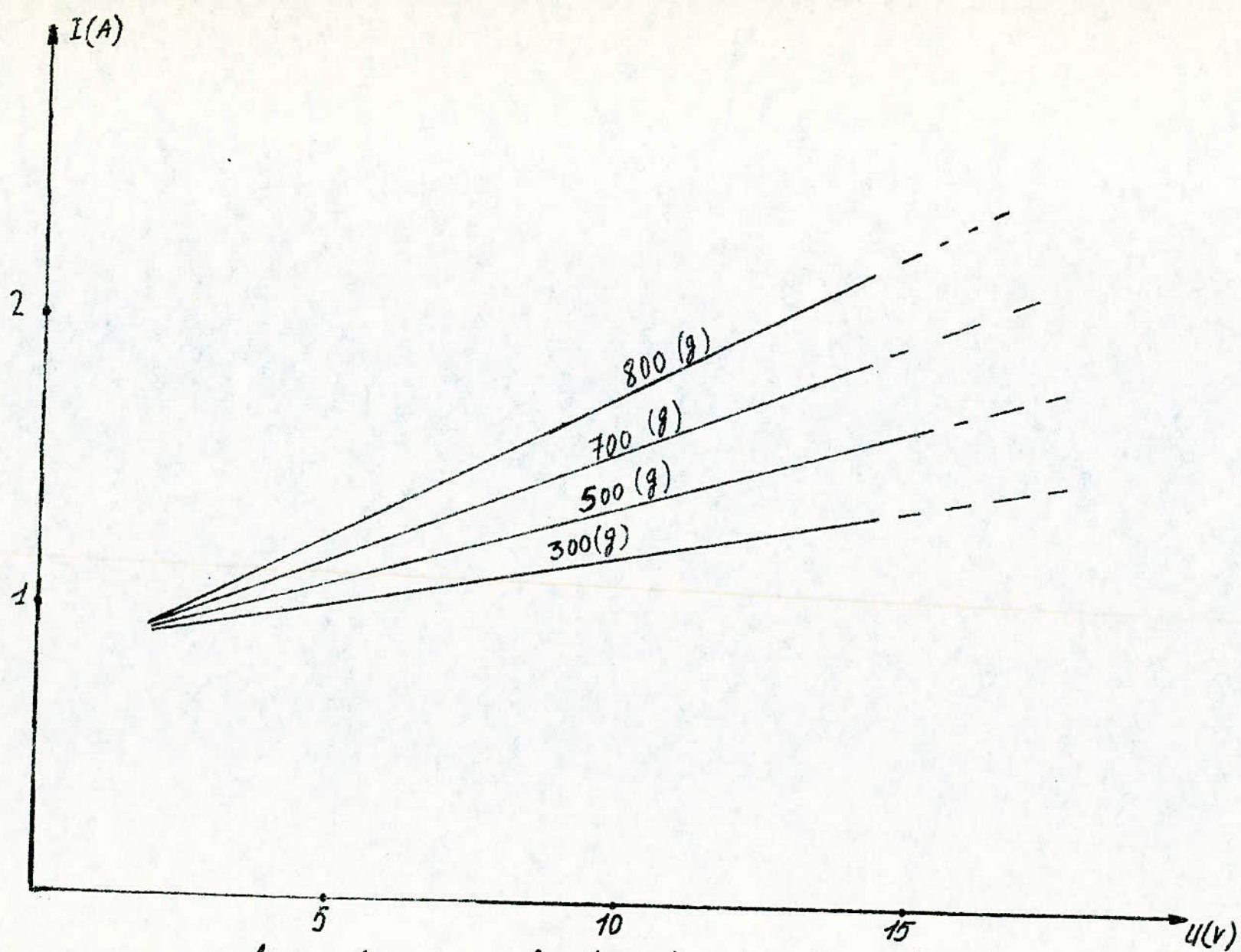


figure (III.4) : courbes (v, i) du moteur, pour des charges constantes.

CHAPITRE - IV - COMPORTEMENT DU SYSTEME EN REGIME STATIONNAIRE

La plupart des applications des générateurs photovoltaïques de faible puissance nécessitent des moyens de stockage. D'une manière générale, il est fait appel à des batteries d'accumulateurs dont le bon fonctionnement et la tenue des performances dans le temps résultent directement des conditions d'utilisations.

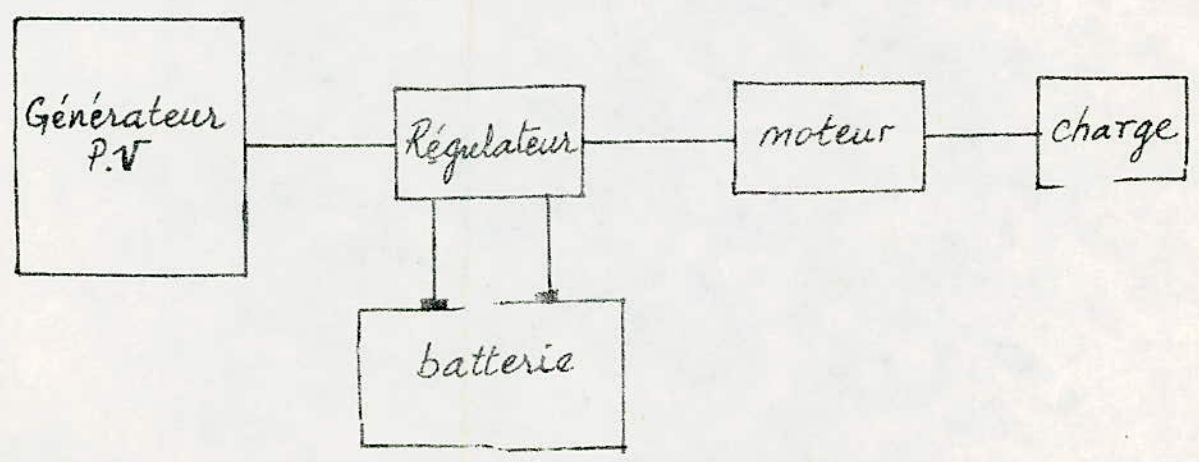
Afin de réaliser un contrôle précis de ces conditions de charge et de décharge, il est nécessaire d'intercaler entre les modules solaires et la batterie un dispositif de régulation électronique.

La nécessité de la régulation de charge est imposée par deux conditions.

- . limites de la charge et de la décharge de la batterie.
- . Point de fonctionnement optimum du générateur P.V.

IV-1. Schéma synoptique de l'installation -

l'installation peut être schématisée comme suit :



IV.2. Caractéristiques du régulateur

on a utilisé le régulateur réalisé dans le cadre du projet de fin d'études intitulé: "Téléviseur alimenté par énergie solaire", promotion juin 1984 (S. A. DARRADJI).

Ce régulateur est prévu pour une tension maximale de 14,1 Volts lors de la charge de la batterie; et une tension minimale de 11,4 Volts lors de la décharge de la batterie. Il convient donc à protéger:

- la batterie contre les décharges profondes,
- la batterie contre les surcharges,
- le générateur P.V. contre le retour d'énergie lorsque sa tension est inférieure à celle des ^{batteries} générateur.

Le schéma électrique du régulateur est donné par la figure (IV-1).

IV.3. Batteries d'accumulateurs.

La batterie est un élément réversible qu'on peut charger et décharger plusieurs fois. Elle permet de réaliser la conversion:

Énergie électrique \rightleftharpoons énergie chimique.

Elle comporte un certain nombre d'éléments reliés en série dont chacun peut être placé dans un bac individuel renfermant l'électrolyte, un tel élément contient plusieurs plaques positives et d'autres négatives.

Il existe trois grandes utilisations particulières de l'accumulateur. [6]

- . la batterie de démarrage.
- . la batterie de traction
- . la batterie stationnaire.

a - Batterie de démarrage.

Elle est utilisée pour le démarrage, l'allumage et l'éclairage dans les véhicules. Elle est caractérisée par son aptitude à fournir une forte intensité en quelques secondes.

b - Batterie de traction.

Elle est employée, en général, pour des véhicules lents transportant des charges relativement importantes. Ses caractéristiques sont :

- . sa capacité donnée en 5 heures pour une tension d'arrêt de 1,70V par élément.
- . décharge profonde quotidienne de 80%.

c - Batterie stationnaire.

Elle est utilisée en cas de coupure secteur dans différents domaines; elle est adaptée selon le cas :

- . à la décharge lente à partir de 3 heures jusqu'à 100 heures.
- . à la décharge rapide avec parfois des autonomies de 5 minutes.
- . sa capacité est donnée en 10 heures.

d - Batterie solaire -

La batterie solaire possède les performances de la batterie de traction et de la batterie stationnaire.

Batterie de traction, parcequ'on lui demande un cycle

journalier de décharge (pas toujours suivi de recharge).
Batterie stationnaire, parce qu'on lui demande de stocker une énergie et de la restituer en cas de coupure secteur, qui sera le non ensoleillement.

IV.3.1. Capacité d'une batterie

Définition: c'est le nombre d'ampères-heures que peut délivrer une batterie pour un courant et une tension de fin de décharge bien définie.

Elle varie avec le régime de décharge et la température. Généralement, la capacité des batteries solaires est donnée en 10h pour une tension d'arrêt par élément de 1,85 V.

Bien entendu, selon la profondeur de décharge, la capacité retenue sera différente.

Les batteries utilisées dans notre installation sont du type chlorure 12V; 75 Ah (soit 2V par éléments)

IV.3.2. Nombre de modules nécessaires pour la charge de la batterie.

- nombre de modules en série.

$$N_{ms} = \frac{V_B}{V_m}$$

$V_B = 12V$ tension de la batterie

$V_m = 16V$ tension optimale du module

$$N_{ms} = \frac{12}{16} \approx 0,7$$

Soit $N_{ms} = 1$ module

- nombre de modules en parallèle.

$$C = 75 Ah = I_{ch} \cdot t$$

I_{ch} = courant de charge.

$t = 10$ h, temps de charge.

$$I_{ch} = \frac{75}{10} = 7,5 \text{ A.}$$

$$N_{sp} = \frac{I_{ch}}{I_m} = \frac{7,5}{1,5} = 5 \text{ modules en parallèle.}$$

I_m : courant optimal du module.

Le nombre total de modules nécessaires est :

$$N_m = N_{ms} \times N_{sp} = 5 \text{ modules.}$$

IV.3.3. Capacité de décharge.

Généralement pour une durée de vie de 10 ans ; la profondeur de décharge $P = 31\%$ de C_{10} . [7].

$$C_{dech} = \frac{75 \times 31}{100} = 23,25 \text{ Ah.}$$

Connaissant le courant moyen de décharge $I_{dech} = 1,8$ A, l'autonomie de la batterie sera :

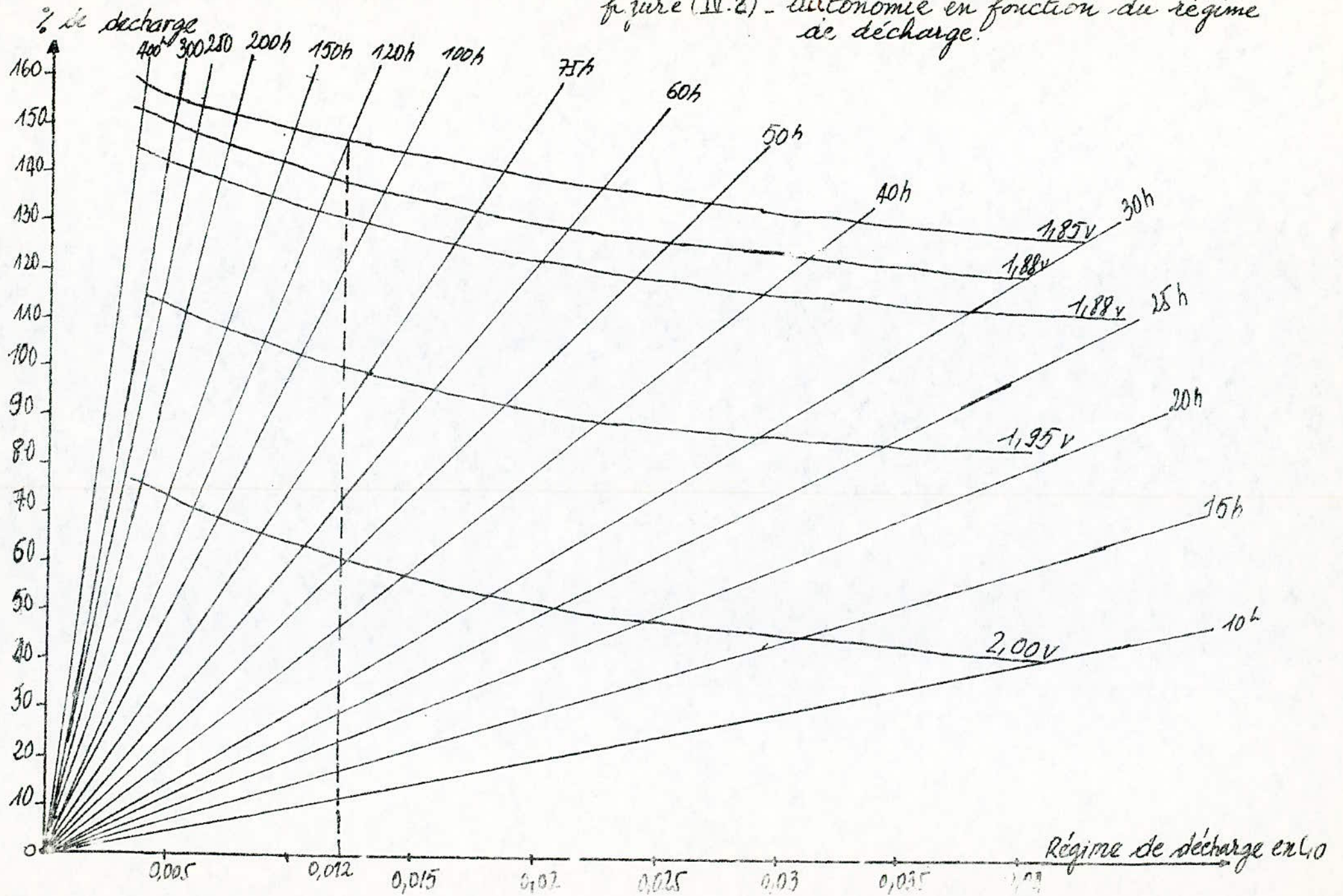
$$\Delta t = \frac{23,25}{1,8} = 13 \text{ heures.}$$

soit 2 jours en travaillant en moyenne 6 heures par jour. Cette autonomie est insuffisante en tenant compte du non ensoleillement éventuel du site et de la latitude du lieu.

Pour une latitude comprise entre 30 et 40° , le temps de stockage est de 20 jours, [8], qui est égale à 120 heures dans notre cas. Pour satisfaire cette condition, calculons la capacité correspondante.

Sur la figure (IV.2), cherchons l'intersection de la droite 120 h et de la courbe 1,85 V ; l'abscisse correspondante donne le régime de décharge ; soit 0,012 C_{10} .

figure (IV.2) - autonomie en fonction du régime de décharge.



-d'où $I_{deck} = 0,012 C_{10} = 1,8 A$

$$C_{10} = \frac{1,8}{0,012} = 150 Ah.$$

IV A - Comportement du système en régime stationnaire.

Le fonctionnement du système est différent selon le niveau du rayonnement solaire. En effet :

1 - Pour des flux solaires $1 \leq \phi_{si} \leq 50 W/m^2$, l'intensité délivrée par le générateur photovoltaïque est très faible, par conséquent la puissance transmise au moteur est insuffisante pour le faire démarrer.

Le régulateur intercalé entre le générateur, la batterie et le récepteur détecte cette insuffisance et déconnecte automatiquement le générateur P.V pour connecter le moteur directement sur la batterie.

L'autonomie des batteries chlorures calculée précédemment est de 13 heures, donc pour une journée du "type mauvaise",

$\phi_{si} \leq 50 W/m^2$, le générateur P.V est déconnecté et la puissance demandée par la charge est fournie uniquement par la batterie.

2 - pour des flux solaires $50 \leq \phi_{si} \leq 300 W/m^2$, on peut avoir les cas suivants :

a - un seul module est branché, la puissance délivrée par ce dernier est faible le moteur sera donc branché sur la batterie.

b - Cinq modules sont branchés en parallèle, la puissance fournie par ces derniers suffit pour faire tourner le moteur.

c - Plus de cinq modules sont branchés en parallèle, dans ce cas l'excédent de puissance ira vers la batterie.

3 - Pour des flux solaires telle que: $\Phi_{si} \geq 600 \text{ W/m}^2$,
Le générateur photovoltaïque fournit assez de puissance pour alimenter la charge et le surplus de puissance est stocké dans les batteries.

à titre d'exemple, soit un flux solaire $\Phi_{si} = 924 \text{ W/m}^2$,
Pour soulever une masse de 800 g et pour une tension d'alimentation de 12 V, le moteur absorbe un courant de 1,94 A. (point B sur la figure IV.3).

La puissance absorbée est alors:

$$P_{abs} = 12 \times 1,94 = 23,28 \text{ W}$$

D'autre part, de la figure (II.4.3) à $u = 12 \text{ V}$ et $\Phi_{si} = 924 \text{ W/m}^2$ on lit la puissance délivrée par le générateur P.V.

Soit $P_{GpV} = 33,2 \text{ W}$ ce qui correspond au point A de la figure (IV.3).

Ainsi le bilan de puissance accusera une différence:

$$\Delta P = P_{GpV} - P_{abs} = 33,2 - 23,8 = 9,92 \text{ W}$$

Cet excédent de puissance sera stocké dans les accumulateurs, afin d'être utilisé lors d'un déficit éventuel.

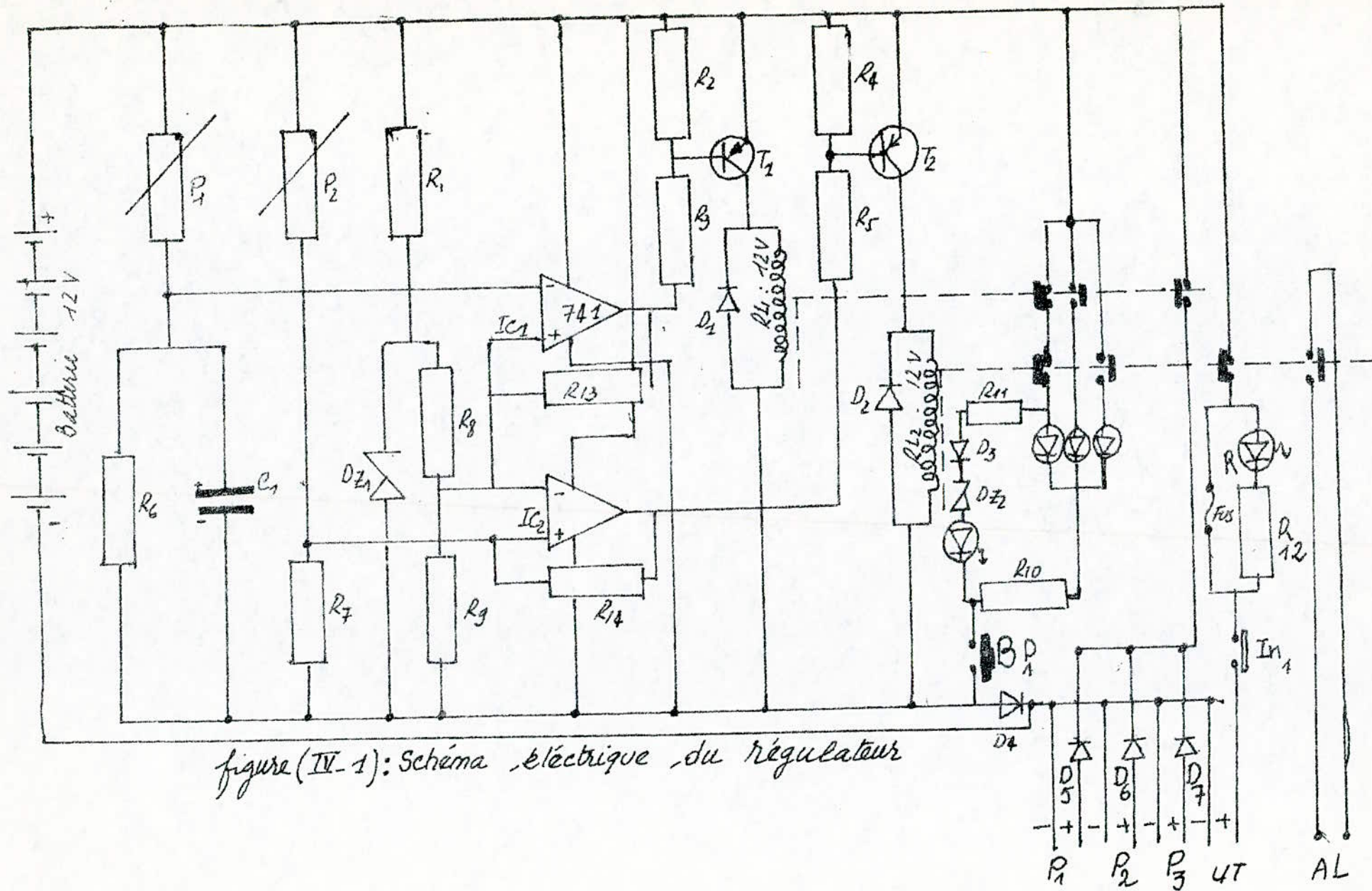


figure (IV-1): Schéma électrique du régulateur

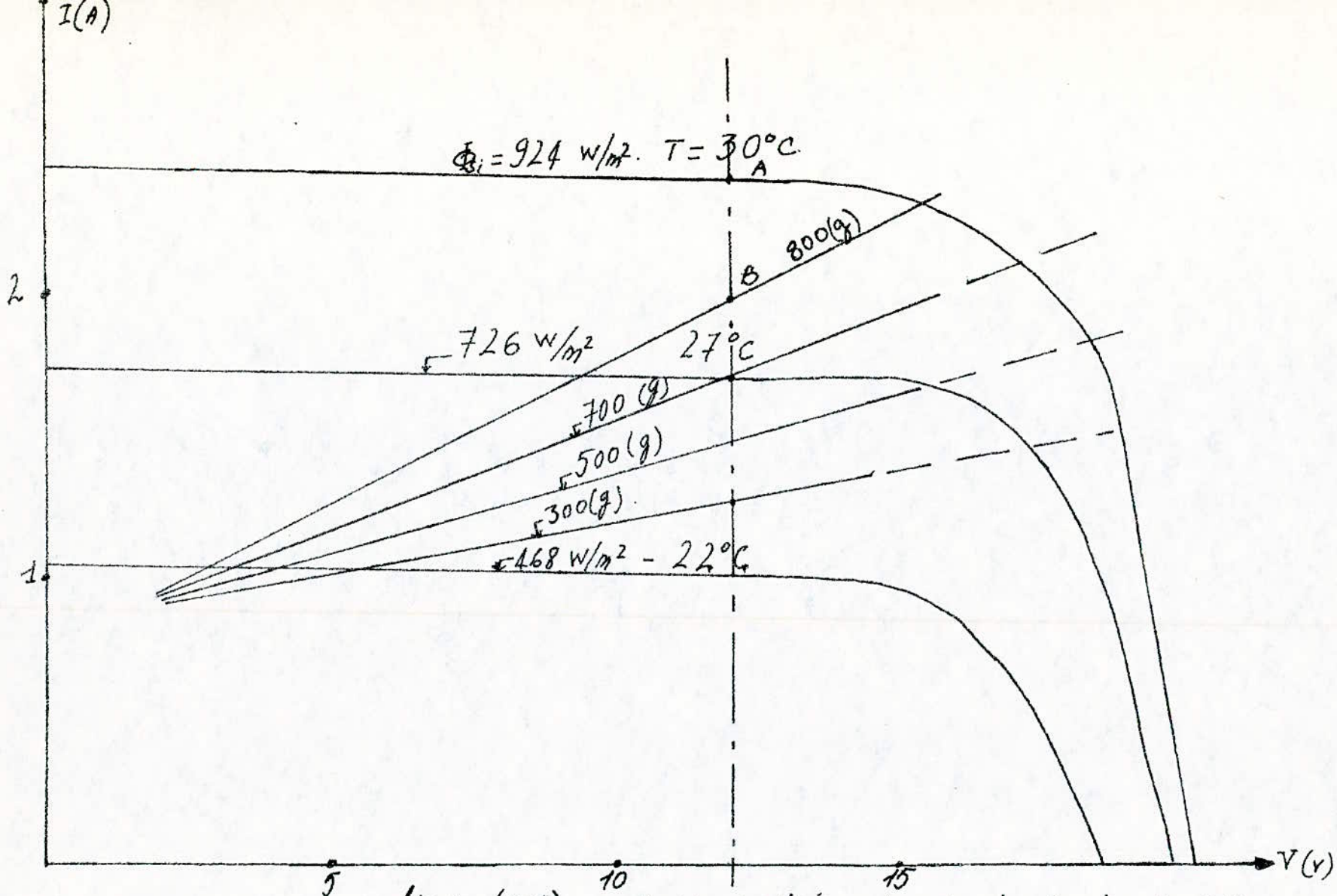


figure (II-3) : Superposition des courbes (V, I) du GPV.
et des courbes (V, I) du récepteur.


```

10 READ F1,S
15 FOR N=273 TO 285
20 LET D=.41*SIN(1.2*3.14159*((274+N)/365))
25 FOR T=0 TO 1
30 LET H=.25*(18-T)
35 A=(COS(F1-S)*COS(D)*COS(H)+SIN(F1-S)*SIN(D))
40 B=(COS(F1)*COS(D)*COS(H)+SIN(F1)*SIN(D))
45 R=(A/B)
46 PRINT N,T,R
50 NEXT T
55 NEXT N
65 DATA .64877,.7653
70 END

```

329	0	2.25492
329	9	2.26294
329	10	1.73385
329	11	1.67279
329	12	1.34724
329	13	1.37470
329	14	1.25176
329	15	2.14902
329	16	2.25492
330	0	2.24284
330	9	2.25446
330	10	1.74113
330	11	1.67534
330	12	1.35673
330	13	1.37197
330	14	1.24675
330	15	2.25446
330	16	2.24284
331	0	2.23047
331	9	2.24101
331	10	1.74807
331	11	1.68473
331	12	1.36345
331	13	1.37679
331	14	1.25101
331	15	2.23971
331	16	2.23047
332	0	2.21751
332	9	2.22739
332	10	2.21746
332	11	1.75344
332	12	1.37263
332	13	1.38344
332	14	2.21746
332	15	2.21439
332	16	2.21101
333	0	2.20402
333	9	2.21375
333	10	1.76143
333	11	1.75313
333	12	1.37757
333	13	1.38971
333	14	2.20402
333	15	2.20173
333	16	2.20000
334	0	2.19011
334	9	2.19974
334	10	2.19043
334	11	1.76943
334	12	1.38430
334	13	1.39717
334	14	2.19043
334	15	2.18800
334	16	2.18511

322	8	2.15204
322	9	2.15219
322	10	1.71188
322	11	1.10557
322	12	1.75877
322	13	1.11137
322	14	1.51181
322	15	2.15229
322	16	2.15224
323	8	2.15275
323	9	1.10510
323	10	1.52310
323	11	1.10517
323	12	1.73179
323	13	1.10517
323	14	1.52346
323	15	2.15213
323	16	2.15275
324	8	3.03753
324	9	2.15232
324	10	1.57477
324	11	1.10522
324	12	1.10743
324	13	1.10522
324	14	1.57477
324	15	2.15232
324	16	3.03753
325	8	2.10117
325	9	2.10377
325	10	1.24514
325	11	1.10417
325	12	1.11164
325	13	1.10417
325	14	1.24519
325	15	2.10377
325	16	2.10117
326	8	1.10101
326	9	2.10213
326	10	1.10211
326	11	1.10311
326	12	1.10441
326	13	1.10311
326	14	1.10211
326	15	2.10243
326	16	1.10301
327	8	1.10557
327	9	2.10795
327	10	1.10732
327	11	1.10114
327	12	1.10151
327	13	1.10194
327	14	1.10752
327	15	2.10743
327	16	3.10157
328	8	3.1119
328	9	2.10300
328	10	1.10701
328	11	1.10747
328	12	1.10642
328	13	1.10747
328	14	1.10731
328	15	2.10309
328	16	1.10110

CONCLUSION

Ce travail a permis d'aboutir aux points suivants :

1. - Le relevé continu et ce, pendant environ 3 mois, du rayonnement solaire sur le site de l'École Nationale Polytechnique. Les relevés peuvent être archivés et exploités éventuellement par la suite.
2. - La mise au point d'un banc d'essai permettant la caractérisation rapide de tout module photovoltaïque. Ce banc a été largement utilisé dans le cadre du présent travail afin d'identifier parfaitement un type récent de module à savoir Arco-solar modèle M53; et de vérifier ses performances électriques.
3. - Dans le chapitre III, on arrive à un résultat important concernant les limites de fonctionnement, au fil du soleil d'un micro-moteur à courant continu, à savoir le dimensionnement serré qui doit être effectué préalablement afin d'éviter le "décrochage" du système.
Pour y remédier, il est nécessaire de faire appel à un stockage d'énergie électrique, c'est les résultats du chapitre IV.

Enfin, cette étude a eu pour but, certains points précis. Il est donc intéressant de la relier aux autres sujets traités par des projets de fin d'études antérieurs; et surtout avec des projets à venir.

Bibliographie

- [1] Revue photowatt SA
- [2] Cours du module ER 6010 "CEN"
- [3] Projet de Fin d'étude - DPT. ELECTROTECHNIQUE
"T.V. alimenté par énergie solaire"
Promotion juin 84.
- [4] A. BENSETTA - M. MEBARKI - A. BENSADA
Semi-Conducteurs - De La technologie
Aux dispositifs.
- [5] E. ARMENSKI - G. FALK édition Russe
. Micromatines électriques
- [6] Catalogue "Société HOLDMAN"
Batteries solaires
- [7] Revue: Centrale photovoltaïque de Mellouka - (ADRAR).
- [8] Cours du module ER. 6033. "CEN"
- [9] Revue Acta-électronica 18.4.1975
Rayonnement solaire.