

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : Electrotechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

المسئولية الوطنية للعلوم الهندسية
الممكنة
Téléviseur alimenté par
énergie solaire

Proposé par :

Mr S. A. DERRADJI

Mr Z. BARSKI

Etudié par :

AOURAGH Mohamed

ABIDA Bachir

Dirigé par :

Mr.s. A. Derradji

Mr.z. Barski



PROMOTION : Juin 1984



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

»O«

وزارة التعليم والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement et de la Recherche Scientifique

»O«

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

»O«

Département : Electrotechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

*Téléviseur alimenté par
énergie solaire*

Proposé par :

Mr S. A. DERRADJI

Mr Z. BARSKI

Etudié par :

ABIDA Bachir

AOURAGH Mohamed

Promotion : Juin 1984



-D E D I C A C E S-

A ma mère ;à mon père ;à mes frères et soeurs ;

à tous les amis .

A B I D A

B A C H I R

A O U R A G H

M O H A M E D

-- R E M E R C I E M E N T --

Nous exprimons notre gratitude a Monsieur Z. BARSKI, et Monsieur S.A. DERRADJI, NOS PROMOTEURS ,de nous avoir suivi et corrigé dans notre travail.

Nos sincères remerciements a Monsier BELHAMEL Directeur de la station de l'énergie solaires de BouZérah, de nous avoir autorisé a travailler a la station, et d'avoir mis a notre disposition tous les moyens pour assurer notre travail, Ainsi qu'a l'ensemble du personnel de cette station.

es remerciements a Monsieur ABIDA ABDELKADER, de nous avoir aidé dans ~~la rédaction~~ le tirage de ce projet.

RESUME

Dans ce projet nous présentons l'étude détaillée des composantes d'un système d'alimentation d'un téléviseur à partir d'un panneau solaire et la réalisation d'un régulateur de charge de batteries au plomb.
Nous proposons un dimensionnement économique d'une installation solaire pour quelques villes Algériennes.

SUMMARY

In this project, we present a detailed study of television supply system constituents from solar panel, and the realization of a throttle for loading leaden batteries.
We move an economic solar installation for some Algerian's towns.

ملخص

نقدم في هذا المشروع دراسة مفصلة لمكونات جملّة تغذية جهاز تلفزيون بالطاقة الشمسية، ولا نجاز منظم لشحن بطاريات الرصاص.
نقترح لبعض المدن الجزائرية تجهيزاً شمسية اقتصادياً.

Noms et Prénoms: ACURACH Mohamed

ABIDA Bachir

Promoteurs: DERRADJI et BARSKI

TABLE DES MATIERES

	PAGE N°
INTRODUCTION	01
CHAP/01 - ETUDE DES RADIATIONS SOLAIRES.	
1-1 INFLUENCE DE L'ATMOSPHERE SUR LES RADIATIONS SOLAIRES	02
1-2 CALCUL THEORIQUE DU FLUX DE RAYONNEMENT SOLAIRE AU NIVEAU DE LA TERRE	04
1-3 INCIDENCE DES RADIATIONS SOLAIRES SUR UNE SURFACE INCLINEE	07
1-4 APPAREILS DE MESURE DE RAYONNEMENT	09
CHAP/02 - DESCRIPTION DU SYSTEME .	
2-1 GENERALITE	11
2-2 PANNEAUX SOLAIRES .	
2-2-1 CONDITIONS D'ASSOCIATIONS DES PANNEAUX SOLAIRES	13
2-2-2 PANNEAUX SOLAIRES A CONCENTRATION	16
2-2-3 REFROIDISSEMENT DES PANNEAUX	17
2-3 REGULATION .	
2-3-1 CONDITIONNEMENT DE PUISSANCE	23
2-3-2 REGULATEUR DE CHARGE	24
2-3-3 REALISATION D'UN REGULATEUR	24
2-4 BATTERIES D'ACCUMULATEURS	31
2-4-1 CARACTERISTIQUES DES ACCUMULAYEURS	32
2-4-2 TYPES D'ACCUMULATEURS	34
2-4-3 CHARGE ET DECHARGE DES ACCUMULATEURS	40
2-4-4 FACTEURS QUI INFLUENT SUR LA CAPACITE DES ACCUMULATEURS	41
2-4-5 CHOIX DES ACCUMULATEURS	42
CHAP/03 - ETUDE EXPERIMENTALE.	
3-1 PANNEAUX SOLAIRES	48
3-2 BATTERIES D'ACCUMULATEURS	50
3-3 DIMENSIONNEMENT DE L'INSTALLATION	50
CONCLUSION	61
ANNEXE 1 REPERAGE DU SOLEIL	63
ANNEXE 2 CELLULES SOLAIRES	65
BIBLIOGRAPHIE	79

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

La croissance de la demande énergétique dans le monde, a largement stimulé la recherche de nouvelles sources d'énergie dont l'énergie solaire est une des plus prometteuse.

Depuis bien des années, les bases scientifiques nécessaires à son utilisation étaient acquises et les perspectives d'une exploitation facile et économique de cette nouvelle source d'énergie est capable de satisfaire dans des proportions non négligeables les besoins énergétiques dans le proche avenir.

Il existe en particulier dans les pays en voie de développement, des besoins plus adaptés du point de vue social et permettant la décentralisation de la production d'énergie pour de petites communautés isolées, l'énergie solaire s'adapte parfaitement à ce type de production à cette échelle dans les endroits reculés.

La conversion de l'énergie solaire en électricité par effet photovoltaïque apparait comme un fait nouveau. En effet c'est seulement depuis un quart de siècle environ que l'on utilise la conversion à l'aide des cellules solaires, alors que les autres inventions pour la conversion de l'énergie solaire, ont été faites au siècle dernier où bien avant.

La conversion de l'énergie solaire par effet photovoltaïque présente des avantages assez séduisantes tel que robustesse, simplicité et propreté, mais elle a l'inconvénient d'être couteuse à ce jour.

Dans ce projet, nous avons essayé de dégager les principes élémentaires qui permettront l'installation d'un système à conversion photovoltaïque pour l'alimentation de n'importe quel dispositif électrique entre autres un téléviseur, ainsi que la réalisation d'un régulateur de charge de batteries au plomb.

Nous pensons par ce travail apporter une modeste contribution à l'étude et l'application de cette nouvelle source d'énergie, dont les avantages sont incontestables comme source d'énergie renouvelable.

CHAPITRE I

ETUDE DES RADIATIONS SOLAIRES

UNE grande quantité d'énergie est transmise par le soleil dans l'espace sous forme de rayonnement, dont une partie est reçue par la terre.

Ces radiations qui arrivent, ont des longueurs d'onde se situant essentiellement entre 0,25µm et 0,5 µm, celles qui transportent le plus d'énergie sont avoisinantes de 0,5 µm

On estime que le rayonnement solaire est constitué de 3% d'ultra-violet, 42% visible et 55% d'infra-rouge (fig 1.1)

1.1-INFLUENCE DE L'ATMOSPHERE SUR LES RADIATIONS SOLAIRES:

Lors de la traversée de l'atmosphère, le flux de rayonnement solaire subit les effets suivants:

--ABSORPTION: En traversant l'atmosphère les radiations solaires se trouvent plus ou moins absorbées suivant la position du soleil.

C'est ainsi que fut introduite la masse d'air "m"./11/

* m = 1 correspond à OM₀ Pour une pression au sol de 1000mb

*Pour P ≠ 1000mb $OM_0 = 1 \frac{m P}{1000}$ P en (mb)

Il est évident que nous recevons le plus d'énergie quand le soleil est au Zénith (h = 90°) Voir (fig 1.2)

$OM = OM_0 / \sin h = P / 1000 \sin h$

.../..

OM : trajet des rayons solaires

Durant la traversée de l'atmosphère; les radiations solaires sont absorbées selon leurs longueurs d'ondes, ainsi pour:(fig1.3)

- * $\lambda > 0,18 \mu\text{m}$ (rayon X et ultra-violet) absorbée totalement au dessus de 60 Km
- * $0,18 < \lambda < 0,25 \mu\text{m}$ absorbée par O₂ ET O₃
- * $0,25 < \lambda < 0,4 \mu\text{m}$ partiellement absorbées
- * $0,4 < \lambda < 0,75 \mu\text{m}$ (visible) peu absorbées

--DIFFUSION: En plus des absorptions s'ajoute la diffusion par les particules contenues dans l'atmosphère et par les molécules d'air

--ALBEDO "a" : C'est la fraction d'énergie incidente diffusée par un corps.

- * pour un corps noir $a=0$
- * pour la neige fraîche $a=0,90$
- * pour le sol nu $a= 0,15 \text{ à } 0,25$

REMARQUE: AM₀ (air mass 0) = rayonnement moyen en dehors de l'atmosphère = 1,38 KW/m²

AM₁ = rayonnement maximum au niveau de la mer = 1 KW/m²
au niveau des montagnes = 1,1kw/m²

1.2- CALCUL THEORIQUE DU FLUX DE RAYONNEMENT SOLAIRE
 AU NIVEAU DE LA TERRE :

La constante solaire est le flux de rayonnement solaire reçu par une surface plane hors de l'atmosphère, pour une distance soleil-terre moyenne.

Cette constante est égale à environ 1,38Kw/m2 mais étant donné que la distance soleil-terre varie considérablement durant l'année, alors, le flux de rayonnement solaire pour une époque de l'année S' doit être différent de la constante solaire S₀ /1/

$$4\pi R^2 S' = 4\pi R_0^2 S_0$$

$$\text{d'où } S' = \frac{R_0^2}{R^2} S_0 = \frac{1}{r^2} S_0 \quad (1)$$

r : Distance soleil-terre relative exprimée en unité de R₀.

(voir tableau 1.1)

R₀ : " " moyenne
 R : " " pour n'importe quelle époque de l'année

JANV	FEV	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILL	AOUT	SEPT	OCT
+3,4	+2,8	+1,8	+0,2	-1,5	-2,8	-3,5	-3,1	-1,7	-0,3
NOV	DEC	Tableau 1.1: Variation relative de la distance soleil-terre (en % de R ₀)							
+1,6	+1,8								

.../...

Le flux incident sur surface horizontale S'' est moindre que celui reçu par une surface perpendiculaire aux rayons solaires S' (fig 1.4)

$$S'' = S' \cos Z = S' \sinh \quad (2)$$

Z : Zenith

h : hauteur du soleil

de (1) et (2) on déduit la formule donnant le flux de rayonnement solaire au niveau du sol en l'absence de l'atmosphère.

$$S'' = \frac{S_0}{r^2} \sinh$$

$$\text{mais } \sinh = \sin L \sin \delta + \cos L \cos \delta \cos H$$

$$\text{alors } S'' = \frac{S_0}{r^2} (\sin L \sin \delta + \cos L \cos \delta \cos H)$$

$$- S'' \gg 0 \quad \text{si } Z \ll \frac{\pi}{2}$$

$$- S'' = 0 \quad \text{si } Z \gg \frac{\pi}{2} \quad \text{c'est à dire que le soleil est sous l'horizon}$$

Le flux de rayonnement solaire incident est maximum au niveau du sol, si les deux conditions sont réalisées simultanément.

$$\dagger \cos H = 1 \quad (H=0)$$

$$\ast \sin L \sin \delta + \cos L \cos \delta = 1 \quad (L = \delta) \text{ "hauteur maximale du soleil"}$$

Le flux est minimum pour :

$$\sin L \sin \delta + \cos L \cos \delta \cos H = 0$$

$$\text{où } \cos H = -\text{tg} L \text{tg} \delta \quad (\text{lever et coucher du soleil}) \quad \dots/\dots$$

La variation de la déclinaison solaire pendant la journée est insignifiante, les valeurs $A = \frac{S_0 \sin L \sin \delta}{r^2}$ et $B = \frac{S_0 \cos L \cos \delta}{r^2}$ sont considérées comme constantes.

$$S'' = A + B \cos H = A + B \cos Wt$$

W : Vitesse angulaire de la terre

t : Temps compté a partir de midi vrai

Le Flux Total du rayonnement solaire s'écrit comme suit :

$$\int_{-t_0}^{+t_0} S'' = \frac{S_0}{r^2} \int_{-t_0}^{+t_0} (\sin L \sin \delta + \cos L \cos \delta \cos Wt) dt$$

$$\int S'' = \frac{2S_0}{W r^2} (H_0 \sin L \sin \delta + \sin L \sin \delta \sin Wt_0)$$

($H_0 = Wt_0$)

Le Flux total des radiations solaires au niveau du sol dans les conditions réelles d'un ciel clair sur une surface horizontale s'écrit /1/.

$$\int S'' = \frac{S_0}{r^2} \int_{-t_0}^{+t_0} P_m \cdot m (\sin L \sin \delta + \cos L \cos \delta \cos Wt) dt$$

P_m : coefficient de transparence de l'atmosphère

m : masse d'air

.../?.

On aura : $C_1 = 0$

$$A_1 = \sin i \sin \delta$$

$$B_1 = \cos i \cos \delta$$

La formule (6) devient :

$$S_h = S_m (A_1 + B_1 \cos H) = S_m \sin h.$$

La surface inclinée acquiert un terme de plus $C_1 \sin H$, qu'une surface horizontale.

* Pour une surface verticale $\theta = \pi / 2$

$$A_1 = \cos a_n (\operatorname{tg} i \sin \delta - \sin i \sin l)$$

$$B_1 = \cos a_n \sin l \cos \delta$$

$$C_1 = \cos \delta \sin a_n$$

$$\text{Alors } S_v = S_m \cos h \cos(a_n - a_n)$$

L'Angle d'inclinaison optimal d'un capteur disposé face au sud dans l'hémisphère nord est pris généralement comme étant égal à la latitude du lieu; Ceci est valable pour une installation devant fonctionner sur une année entière, mais l'influence de la déclinaison du soleil devient importante si l'installation fonctionne sur une saison d'hiver seulement (Oct, Mars) ou l'été seulement (Avril, sept).

Un calcul précis est alors nécessaire, la formule donnant cette angle est: /2/

$$\theta_o = \arctg \frac{\sum_j (S_j \operatorname{tg} (l + \delta_j))}{\sum_j S_j}$$

S_j : Moyenne journalière de la radiation direct en $\text{MJ/m}^2 \text{ jour}^{-1}$ pour le mois "j" considéré.

1.4 - APPAREILS DE MESURE DE RAYONNEMENT : /3/

A- HELIOGRAPHIE :

C'est un appareil qui mesure la durée d'ensoleillement, il est sensible aux irradiations directes, en les enregistrant au dessus d'un seuil d'éclairement de 210 W/m^2 , soit $1/5$ du maximum possible.

Compte tenu des écarts entre instruments et conditions de mesures, ce seuil limite peut varier entre 70 et 280 W/m^2 .

Exemple : l'héliographe CAMPBELL-STOKES. Qui se compose d'une sphère en verre d'environ 10 cm de diamètre, qui permet de concentrer les rayons solaires sur une bande de carton bleu foncé sur laquelle le rayonnement laisse une trace de brûlure.

B- PYRANOMETRE :

C'est un appareil qui permet d'enregistrer l'irradiations globales du soleil;

L'instrument repose sur support horizontale de façon à mesurer le rayonnement incident sur une surface horizontale/.

Le spectre mesuré à l'aide du pyranomètre se situe approximativement entre $0,3\mu\text{m}$ et $3\mu\text{m}$ (Lumière visible et proche de l'infra-rouge)

La plupart des pyranomètres sont des thermopiles 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. .../...

La différence de température entre les deux anneaux est mesurée par des thermocouples en contact thermique avec les surfaces intérieures des anneaux, mais qui en sont électriquement isolées, l'ensemble est hermétiquement scellé à l'intérieur d'une hémisphère de verre.

C-PYRHÉLIOMETRE;

C'est un appareil qui permet de mesurer les irradiations directes, il se comporte d'une ouverture réduite et une surface réceptrice qui doit être maintenue normale aux rayons solaires.

Le pyrhéliomètre reçoit, par un tube allongé, une énergie qui provient uniquement du disque solaire, et d'un étroit anneau concentrique.

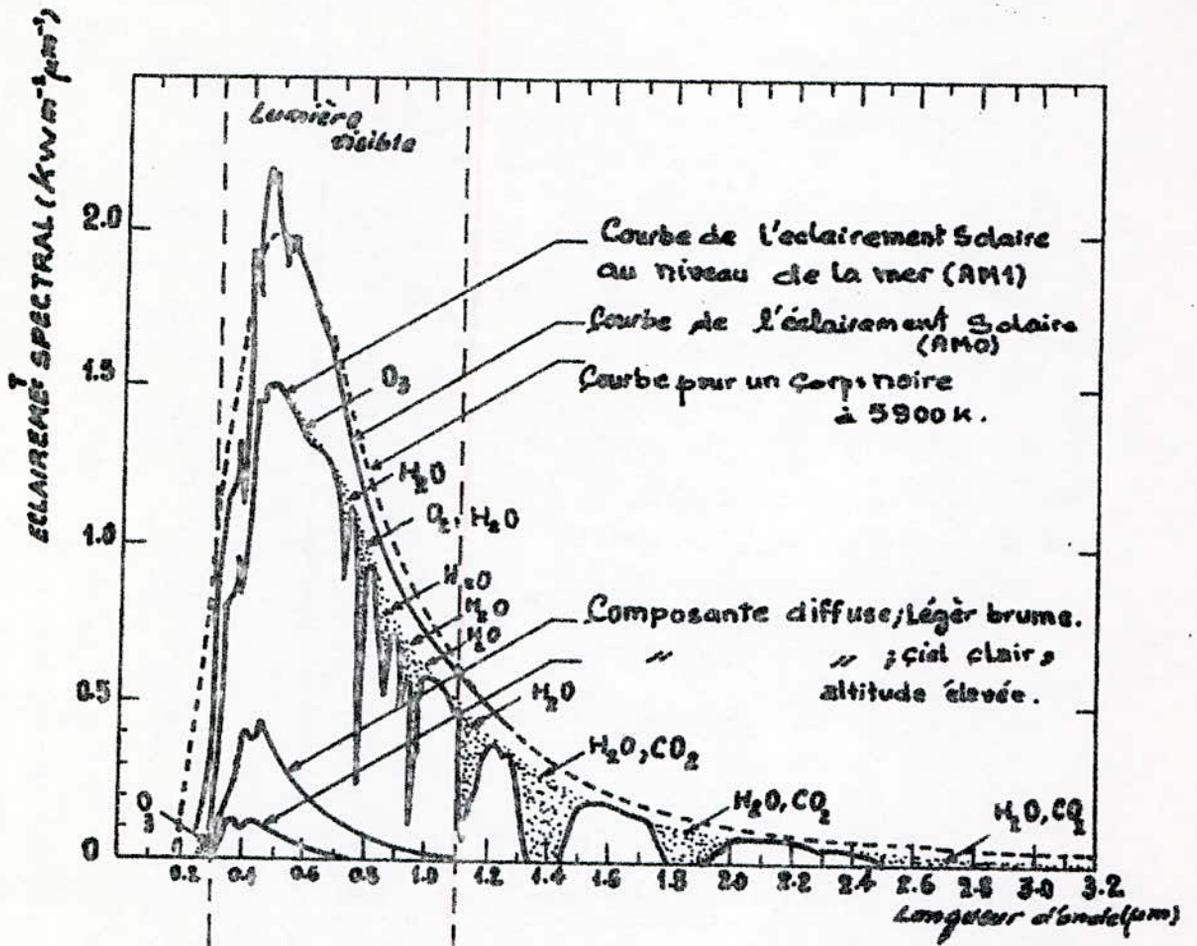


fig. 1.3. Spectre solaire hors atmosphère et au niveau du sol.

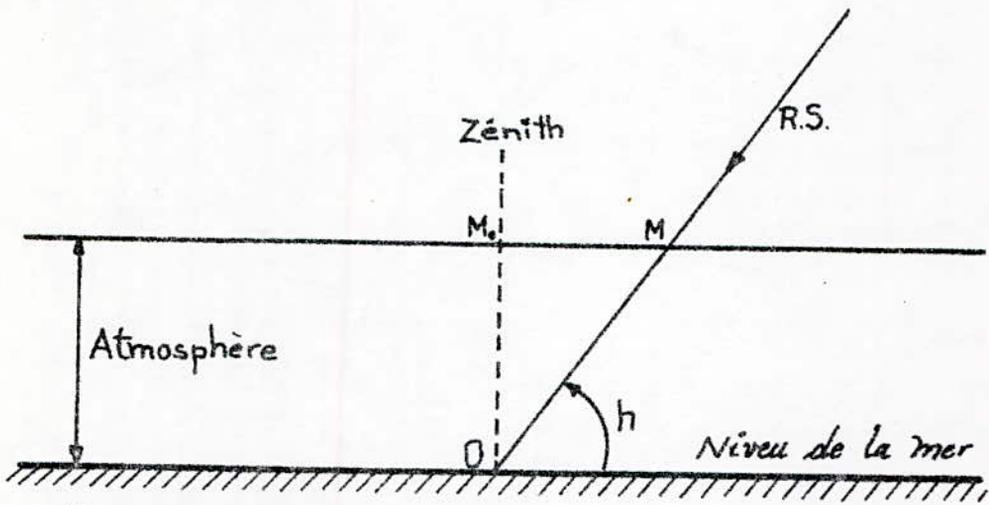


fig. 1.2. Masse d'air.

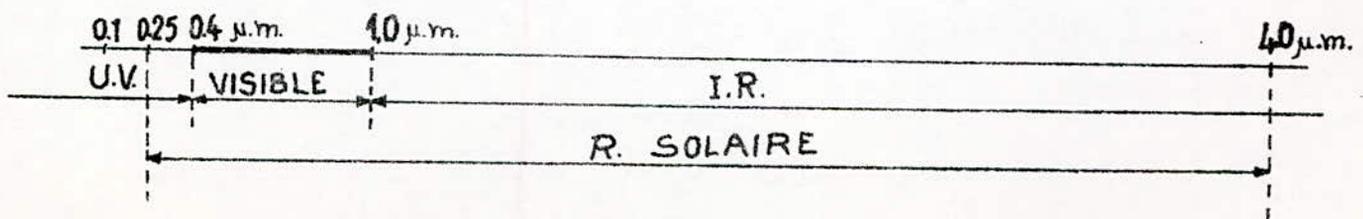


fig. 1.1. Longueur d'onde du rayonnement solaire.

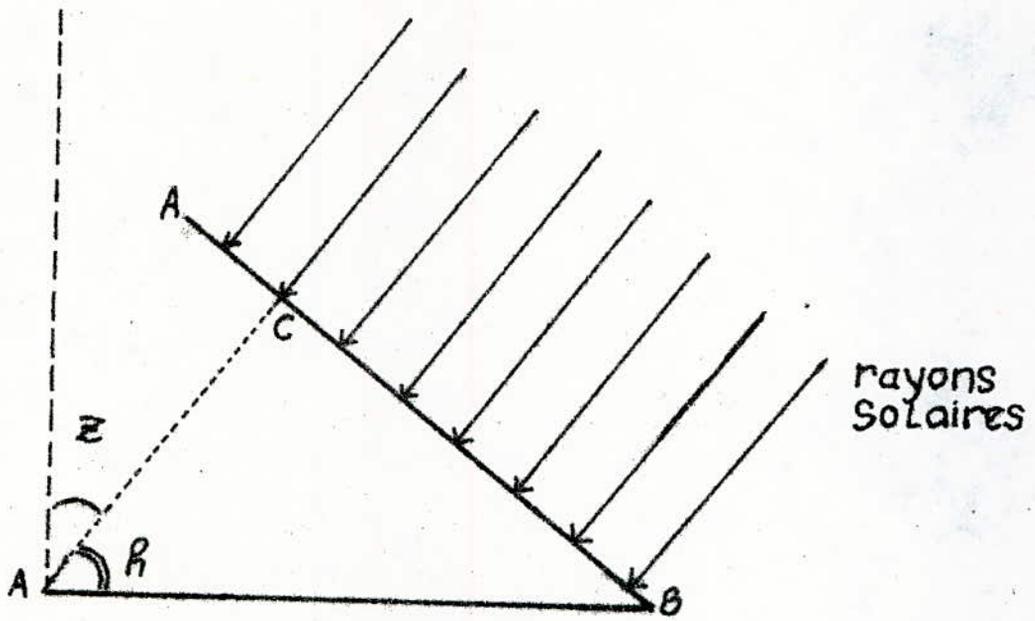


Fig 1.4: rayons incidents sur une surface perpendiculairement.

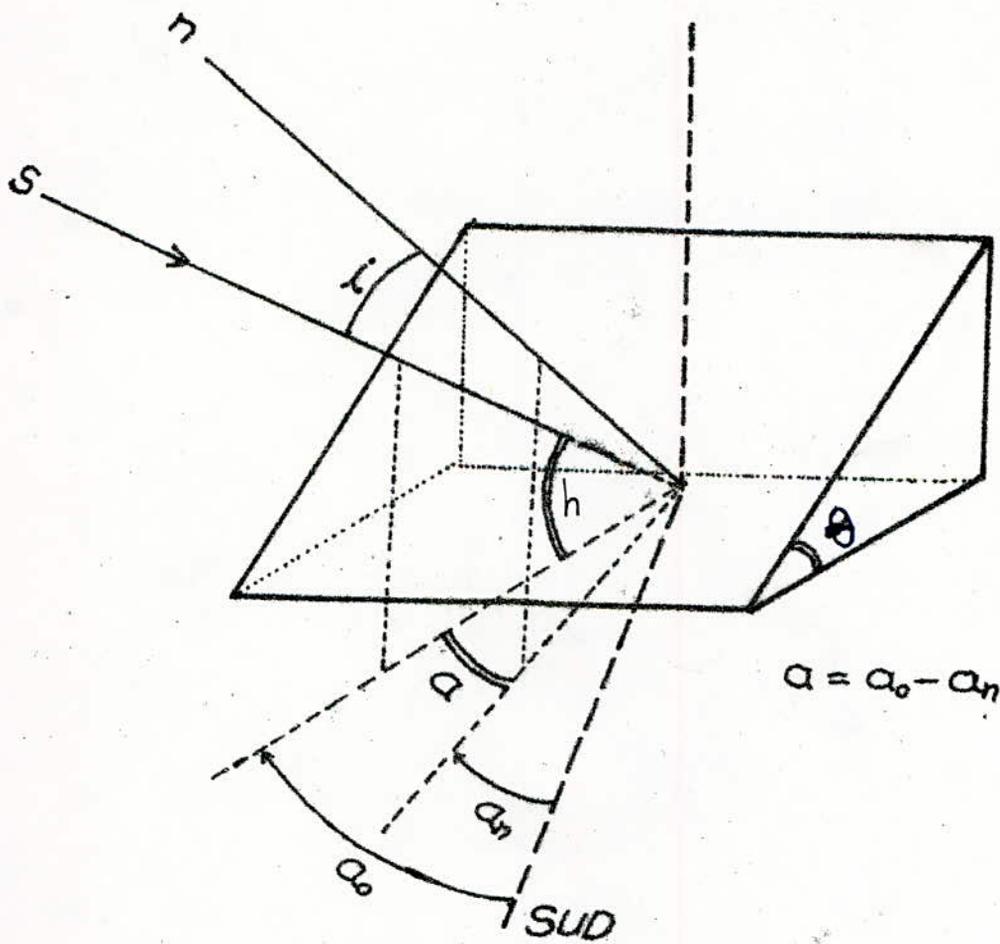


Fig 1.5: Surface inclinée

CHAPITRE 2

DESCRIPTION DU SYSTEME

2.1 - GENERALITES:

Les équipements solaires offrent l'intérêt d'être très souple, l'énergie solaire peut être produite dans les unités adaptées à l'utilisation et l'emplacement qui convient.

Les installations solaires à conversion photovoltaïque comportent ~~différents~~ suivant leur importance et leur consommation de puissance, un nombre plus au moins élevé de panneaux solaires et de batteries d'accumulateurs.

Il est possible de concevoir différents montages pour alimenter un récepteur électrique comme l'indique la figure 2.1 (a,b,c).

MONTAGE "a" : C'est le cas où l'on peut se permettre d'utiliser à chaque instant toute l'énergie fournie par les photovoltaïques, mais un fonctionnement pendant la nuit n'est demandé.

Exemple : Pompe solaire, l'électrolyse .

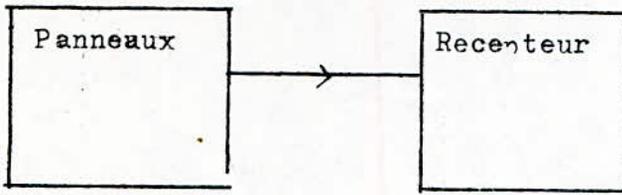
MONTAGE "b" : C'est le cas où le besoin en électricité est permanent ou presque, pour cela on prévoit un système de stockages d'énergie électrique (les batteries d'accumulateurs), muni d'un dispositif de régulation et protection.

En périodes non éclairées (exemple la nuit), c'est aux accumulateurs de prendre la relève pour la distribution de l'électricité.

Exemple : appareils électroménagers, éclairages solaires...

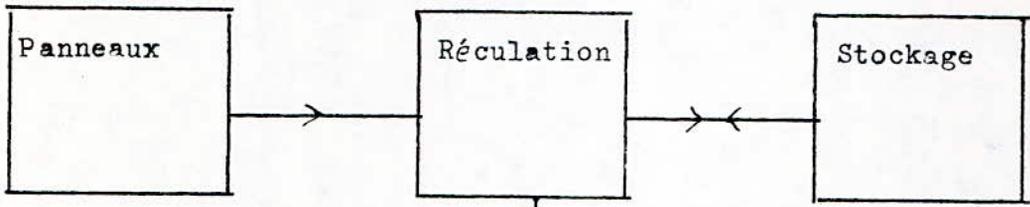
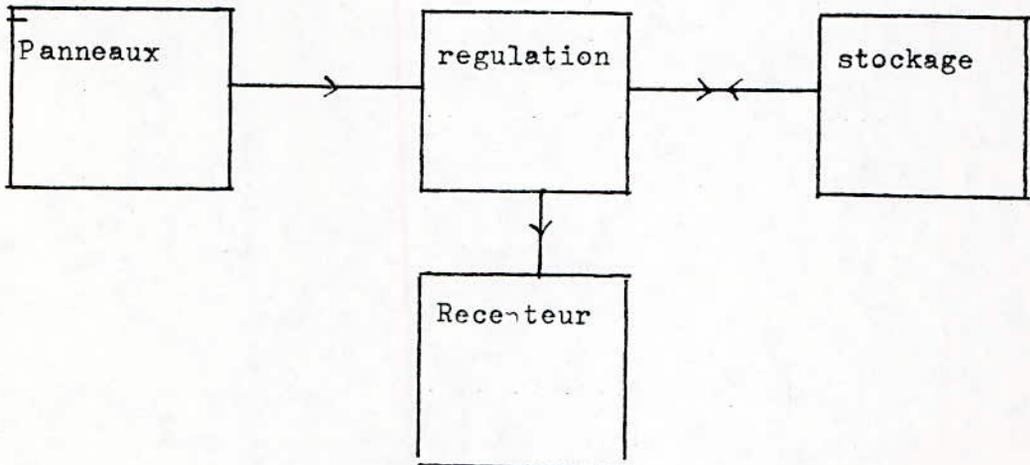
MONTAGE "c" : C'est le même schéma que le précédent auquel on adjoint un convertisseur(CC-CC) ou (CC-CA)

* Les montages b et c conviennent à l'installation solaire pour l'alimentation du téléviseur.

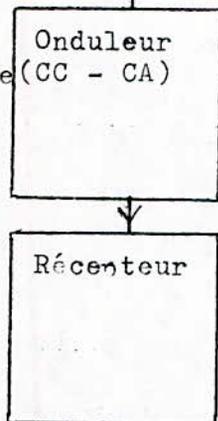


-a - Montage simple

-b- Montage d'une installation solaire "recepteur alimenté en C.C "



"c" Montage d'une installation solaire (CC - CA) "recepteur alimenté en CA"



-fig 2.1 schémas synoptiques

2.2 - PANNEAUX SOLAIRES:

Le panneau solaire est la plus petite unité mécanique de photovoltaïques assemblées en parallèle, en série ou mixte selon la puissance et la tension désirée.

Il est constitué de cellules encapsulées entre deux plaques de protection. Ces plaques doivent avoir la propriété de réfléchir les radiations Infra-rouge afin d'éviter l'échauffement des cellules et laissant passer la lumière en assurant en même temps une protection contre les agents atmosphériques (humidité, poussière, ...).

2.2.1- CONDITIONS D'ASSOCIATIONS DES PHOTOPILES :

Toutes les cellules, qui vont être couplées en parallèle devraient avoir la même tension de circuit ouvert " V_c " et surtout la même tension pour le point de puissance maximale " V_m ".

Et celles qui vont fonctionner en série devraient avoir le même courant de court-circuit I_{cc} et le même courant de P_{max} I_m .

a - ASSOCIATION SERIE : /4/.

Lorsque, on associe en série " n " photovoltaïques qui ont la même caractéristique $I.V$, et si la $n^{ième}$ cellule est à l'ombre lors de fonctionnement, celle-ci sera polarisée en inverse par la somme des f.e.m. Photovoltaïques résultantes des autres cellules éclairées ce qui tend à accroître le courant inverse provoquant ainsi une augmentation de température. laquelle, à son tour intensifie ce courant, ainsi de suite jusqu'à emballement thermique avant même d'atteindre la tension de claquage (fig 2.2)

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

REMARQUE :

La caractéristique équivalente de 2 photovoltaïques mises en série s'obtient en ajoutant point par point les 2 caractéristiques $I = f(V1)$, $I = f(V2)$, à courant constant et cela pourra être généralisé pour n photovoltaïques en série (fig 2.3).

b- ASSOCIATION PARALLELE: /4/

Ce genre de groupement augmente le courant et diminue la résistance interne du générateur (panneau), lorsque n photovoltaïques sont mises en // et si la n^{ième} est à l'obscurité, alors que les autres sont soumises aux memes éclairagements, la cellule non éclairée sera parcourue par la somme des courants issus des (n-1) autres cellules (fig 2.4).

Et si ce courant atteint le courant de saturation de la n^{ième} Photovoltaïque, celle ci risquera d'être endommagée (fig 2.5).

REMARQUE :

La caractéristique équivalente I.V de deux Photovoltaïques en// s'obtient en ajoutant point par point les 2 caractéristiques $I1 = f(V)$, $I2 = f(V)$, à tension constante, de meme pour n cellules en // (fig 2.6).

c- ASSOCIATION MIXTE : /3/

Si les deux conditions d'associations ne sont pas respectées les Photovoltaïques qui possèdent les Photocourants et les Phototensions plus élevées dissipent leurs excès de puissance dans les Photovoltaïques de performances électriques moindres.

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

.../...

Pour les assemblages de puissance importante et de tension élevée, il faut tenir compte du problème des "points chauds" (hot-spot).

Si ce problème est négligé, une cellule defectueuse dans couplage en parallele peut detruire l'ensemble du panneau.

EXEMPLE;

Voir la (fig 2.7) : Si une cellule est dégradée soit parce qu'elle est defectueuse, soit parce que les contacts sont mal soudés, soit tout simplement parce qu'il y'a de l'ombre sur la cellule;

Chaque groupe monté en // a pour tension (v) egale a celle d'une cellule, alors que le courant est 3 fois plus (3i), sauf pour le groupe 2 qui contient la cellule defectueuse.

Mais dans les groupes montés en serie, le courant doit s'écouler entre chaque groupe, par consequent le courant i est imposé au groupe 2, ce courant correspond a une tension V2 (négative) plusieurs fois supérieure a (v), ainsi la dissipation de puissance dans les 2 autres cellules du groupe 2 devient (i.V2), alors que la puissance est (i.v) pour les 3 cellules du même groupe lorsqu'il est en "bon état"; D'ou augmentation de la température de ces cellules jusqu'a faire fondre leurs connections soudées et l'arrêt du fonctionnement du panneau .

Mais en pratique , la tension de sortie du panneau est imposée soit par une batterie où un système de contrôle de puissance, donc les autres groupes en bon état devront compenser la chute de tension en ramenant la tension v à V1(nouvelle-tension) de façon que :

$$V = 4v = 3V1 - V2$$

V : tension de sortie du panneau

V1: tension de chaque groupe intact

V2: tension du groupe defectueux

v ; tension d'une photovolt

.../..

Le point de fonctionnement des groupes intacts se déplace sur la caractéristique I-V vers une tension plus élevée et un courant plus faible, donc une diminution de puissance fournie par le panneau.

Pour éviter ce problème, il faut mettre le plus grand nombre possible en //, sinon, il faut brancher une diode en // avec chaque rangé, ce qui permette passage d'un important courant inverse sous une faible tension négative, chaque fois qu'une cellule devient défectueuse.

2.2.2- PANNEAUX SOLAIRES A CONCENTRATION :

L'avantage essentiel des panneaux à concentration est de permettre la réduction de la surface "active" de générateurs solaires .

A puissance égale, la surface des photovoltaïques est réduite d'un facteur égal au facteur de concentration du système .

La surface totale est approximativement égale dans les 2 cas (avec et sans concentration) , mais pour les appareils à concentration, la plus grande partie de l'espace est occupée par les miroirs optiques ou les lentilles.

Parmi les plus importants :

a - SYSTEME A CONCENTRATION SIMPLE;

Le plus simple se compose d'un réflecteur de section trapézoïdale (auge) (fig 2.8) .

La lumière est concentrée sur une cellule solaire de grandes dimensions, une quantité de lumière diffus est concentrée par les miroirs.

Le facteur de concentration K de l'appareil est donné par: /3/

$$K = \frac{a + 2x}{a} \quad \text{avec} \quad x = a \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg}^2 \alpha - \operatorname{tg} \alpha}$$

$$K = K_{\max} = 3 \quad \text{pour} \quad X = x_{\max} = a$$

Le rendement des systemes a auge est limité par le fait que les rayons incidents qui tombent loin de l'axe de symetrie (avec un angle α), sont réfléchies avec le meme angle que les rayons plus proches de cet axe.

b- CONCENTRATION PAR MIROIRÉ COURBES :

Ce Modele perfectionné choisi de façon a faire décroître progressivement l'angle d'incidence, afin de diriger les rayons solaires extérieurs vers les Photoniles (Fig 2.9) .

c- CONCENTRATION PAR LENTILLES:

Les lentilles utilisées dans le domaine Photovoltaïque et en particulier celles de FRESNEL, doivent être concentrique et dans une moindre mesure des lentilles lineaires (lentilles souvent en acryl ou en verre);

Jusqu'à un facteur de concentration de l'ordre de 200 les Photoniles au silicium conventionnelles peuvent convenir, cependant les propriétés des cellules solaires doivent être adaptées pour éviter les pertes chimiques de tension dues aux courants d'intensités très élevés qui peuvent être collectés.

Il existe des cellules qui fonctionnent sous des tensions élevées avec un faible courant, ainsi les pertes chimiques et l'échauffement seront évitées.

2.2.3- REFROIDISSEMENT DES PANNEAUX SOLAIRES:

2.2.3- REFROIDISSEMENT DES PANNEAUX SOLAIRES:

La température a un effet négative sur le rendement des cellules solaires, d'où l'intérêt de refroidissement des panneaux et surtout ceux a concentration (Tableau 2.1)

F.C	Appareil optique	Poursuite	refroidissement de la cell	types de cell solaire
1-2	Forme trapézoïdale	Non	Non	Cellules conventionnelles au silicium
2-8	Système de concentration composite	nécessaire pour obtenir les facteurs de concentration élevés	Non	Cellules conventionnelles au silicium avec des grilles collectrices plus nombreuses
5-100	Miroir cylindrique ou cylindro-parabolique lentilles de Fresnel linéaire	Oui	jusqu'à un F.C 50, un refroidissement passif (ailettes) suffit, au dessus de 50 un refroidissement actif (eau) est nécessaire	cell. conv. au Si avec une couche N plus mince et des grilles collées plus nombreuses
50-5000	Reflecteur parabolique	Oui	refroidissement par eau	cellules solaires à multijonctions verticales cellules GaAs

TABLEAU 2.1 : Classification des appareils à concentration photovoltaïques et leurs modes de refroidissement/3/

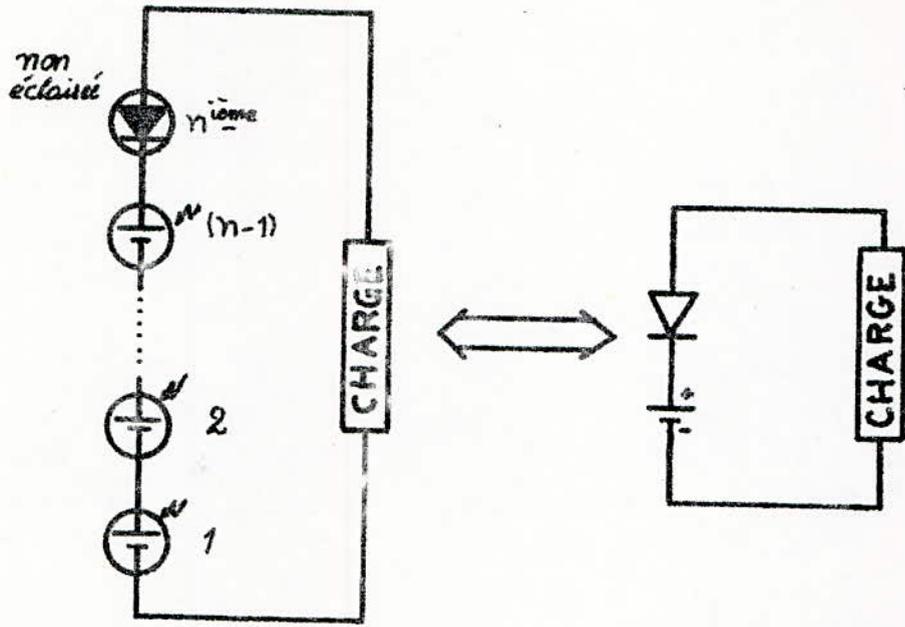


fig. 2.2. Association série.

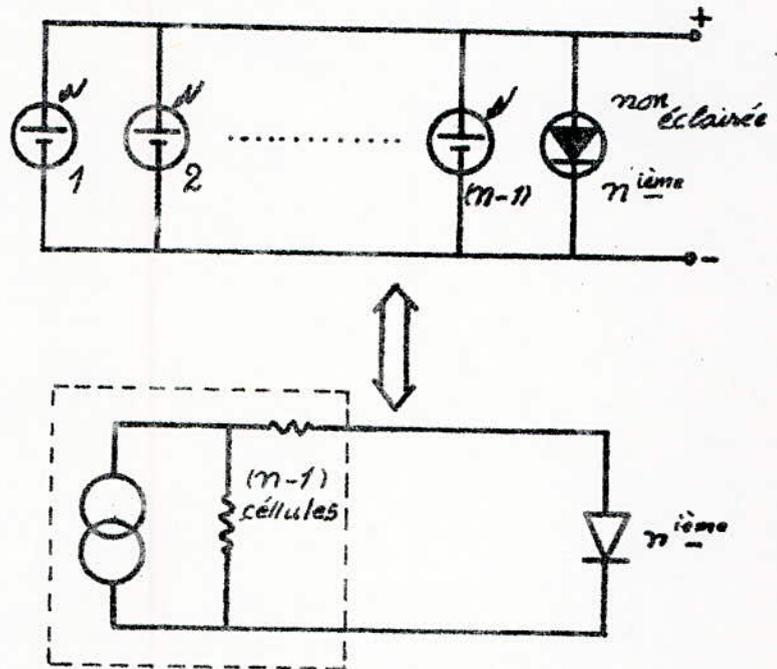


fig. 2.4. Association parallèle.

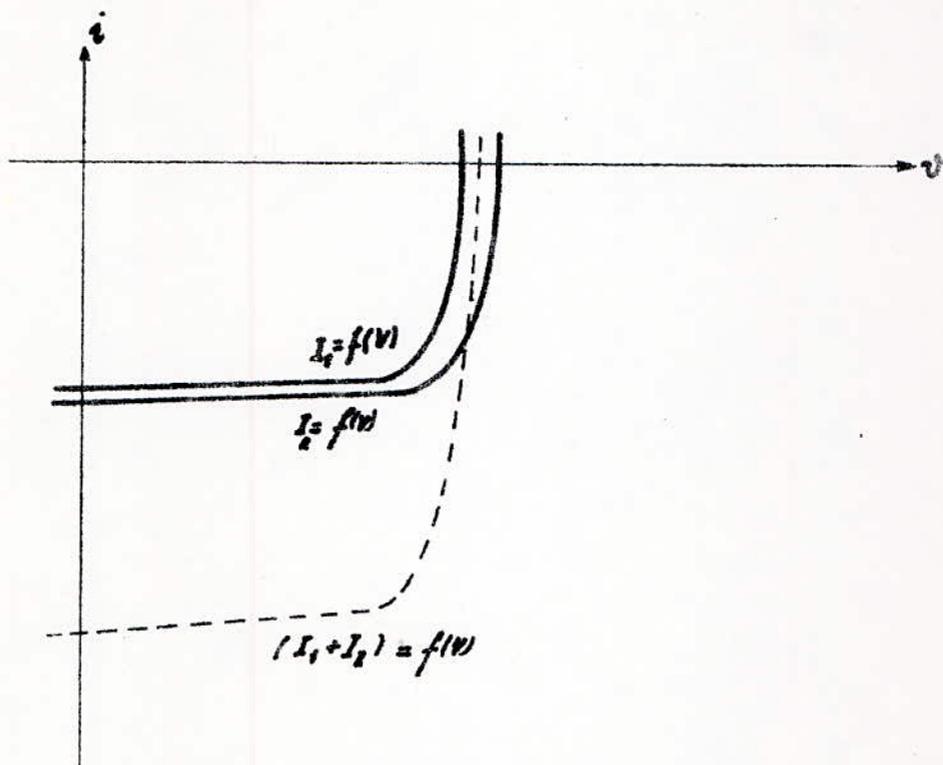


fig. 2.6. Caractéristique résultante de deux photopiles en II.

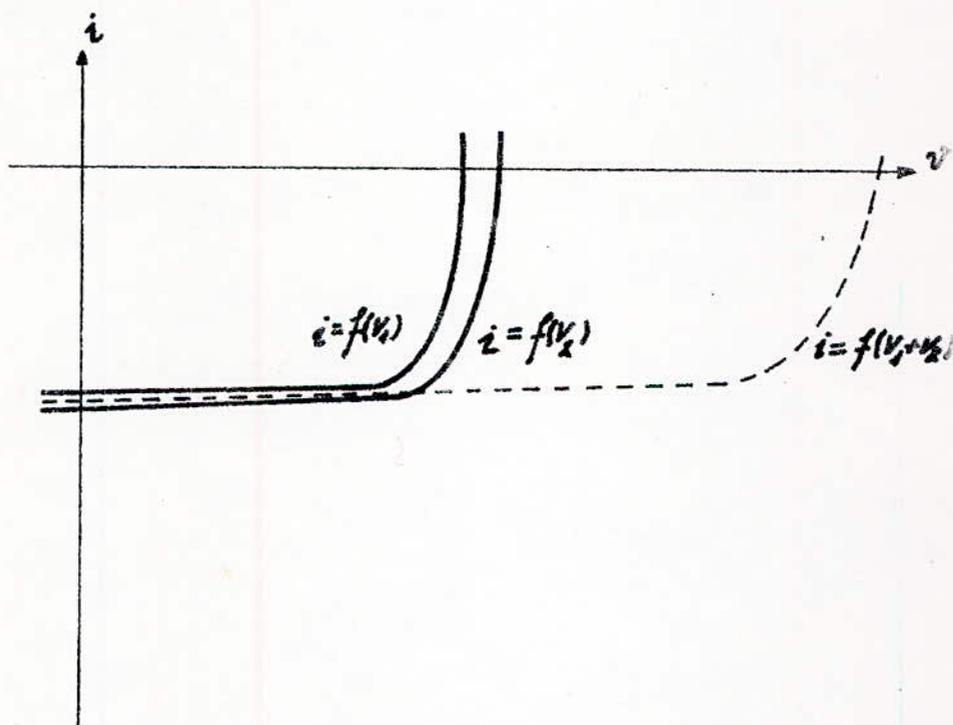


fig. 2.3. Caractéristique résultante de deux photopiles en série.

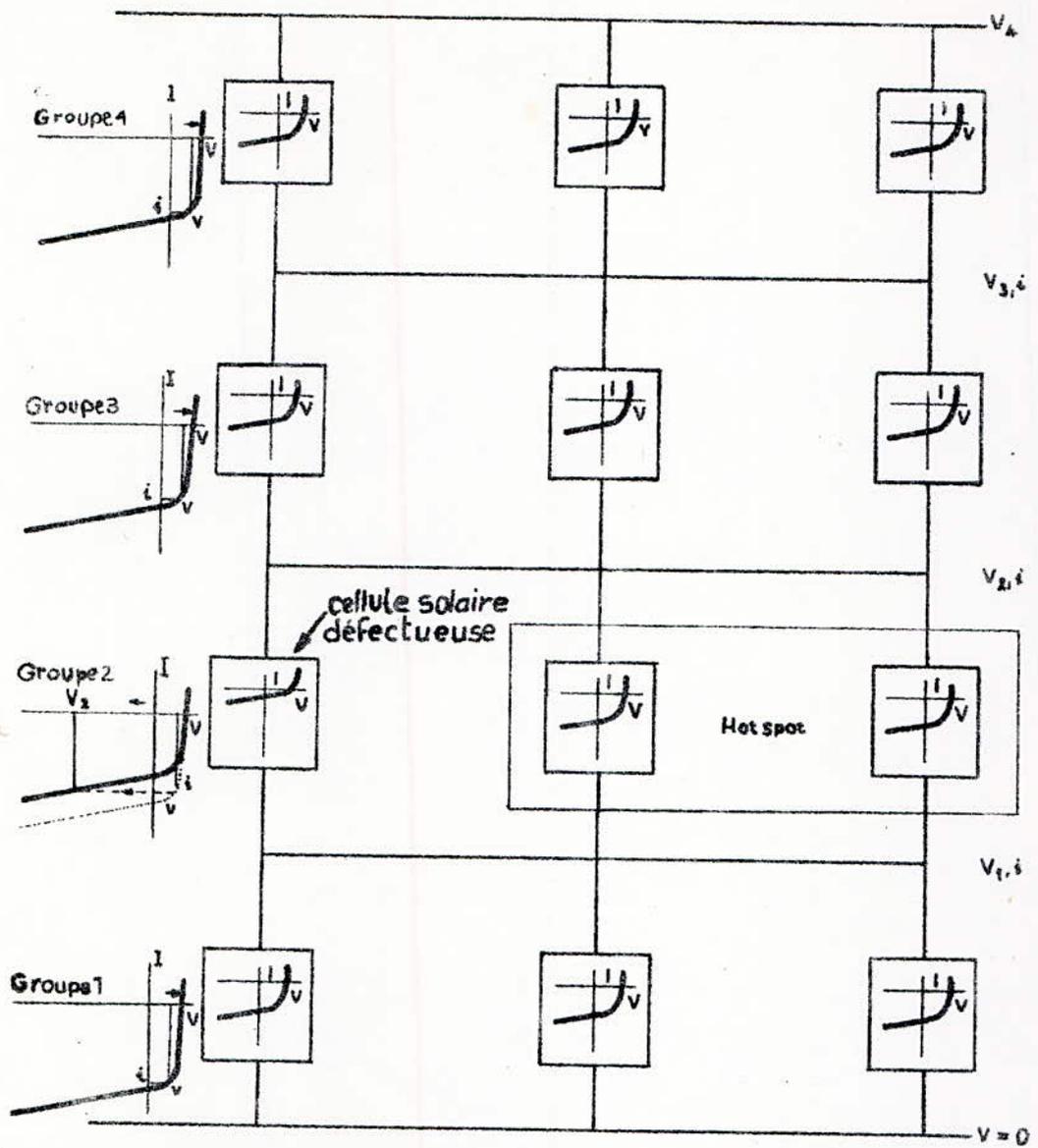


fig. 2.7. Principe du problème du point chaud "hot-spot"

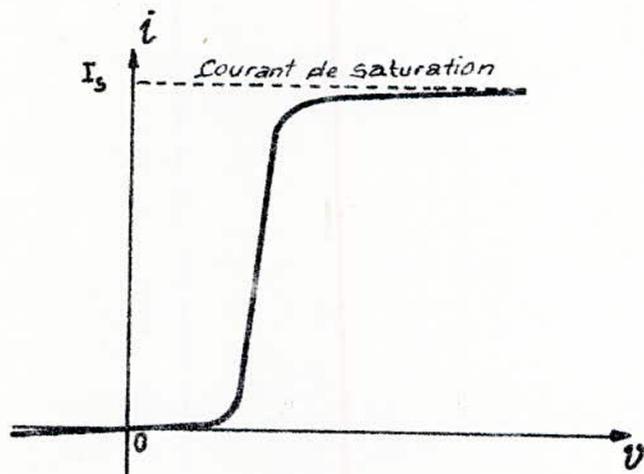


fig. 2.5. Caractéristique d'une diode.

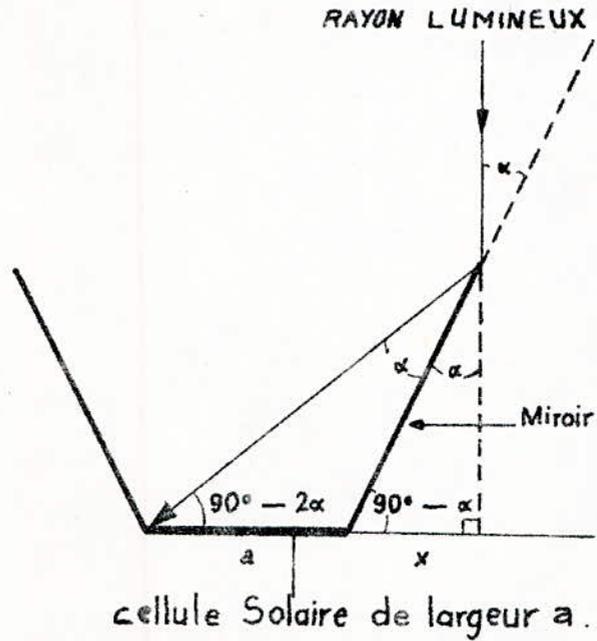


fig. 2.8. Système à Concentration simple pour cellules Solaires (auge)

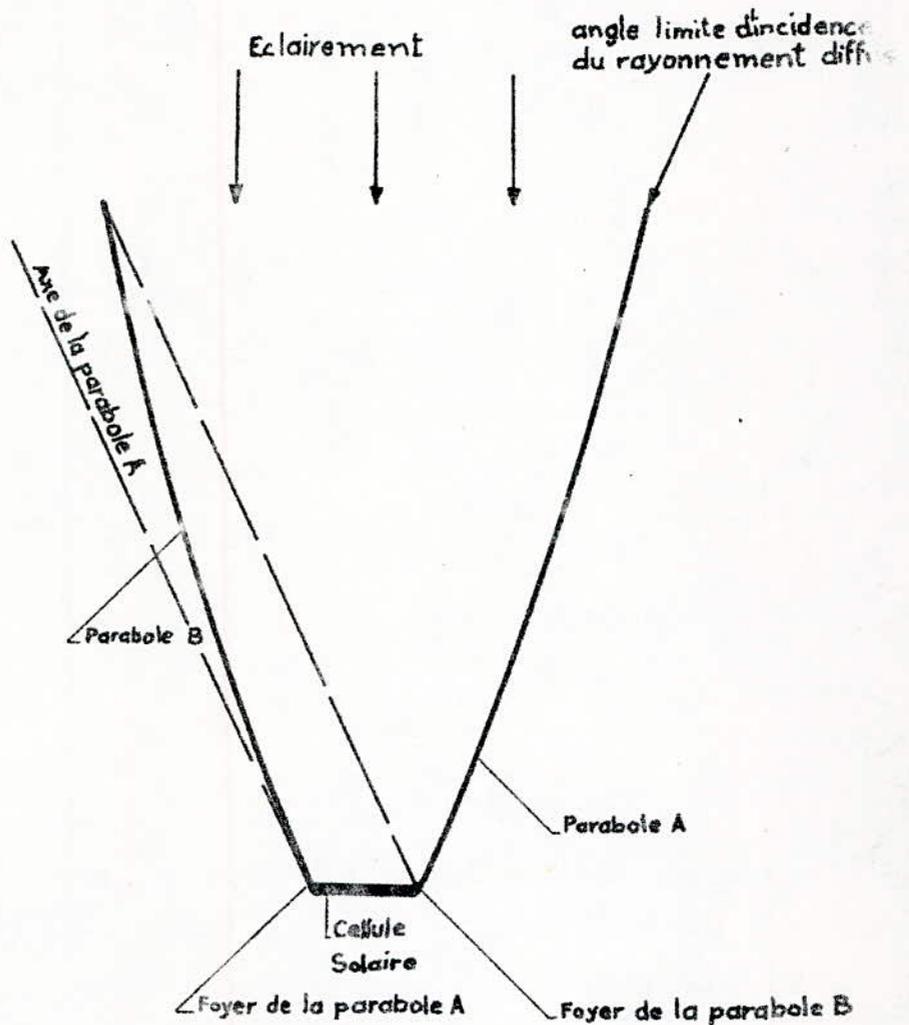


fig. 2.9. SCHEMA D'UN SYSTEME A CONCENTRATION PARABOLIQUE COMPOSITE (OU appelé parfois collecteur de WINSTON).

2.3 - REGULATION ;

2.3.1- CONDITIONNEMENT DE PUISSANCE :

C'est la partie électrotechnique du générateur destinée à transformer le courant contenu produit par les groupes de modules en une forme pouvant convenir à la charge .

Généralement, le système de conditionnement de puissance comprend les éléments suivants :

--- Contrôle automatique du point de fonctionnement des modules, le point de puissance maximale des caractéristiques courant/tension des modules varie en fonction du rayonnement et de la température, une régulation peut suivre la variation de ce point. (fig 2.7 annexe 2)

--- Mise en route du générateur au lever du jour et arrêt au coucher de soleil.

--- Système d'interface avec le système de stockage pour le contrôle de l'état de charge et de décharge.

--- Conversion du courant contenu en courant alternatif mono ou triphasé par l'intermédiaire d'un onduleur.

--- Interface avec le réseau, s'il y a lieu couplage, ce système peut être intégré au convertisseur.

Pour les générateurs Photovoltaïque de petite taille de quelques Watts, ou quelques dizaines à même centaines de Watts il est possible d'éviter le système de conditionnement de puissance ou le réduire au plus simple, ce qui est le cas dans notre étude. .../...

Mais dans les systemes importants il est indispensable d'utiliser un conditionnement de puissance sophistiqué sinon d'importantes pertes d'énergie se produisent et un mauvais fonctionnement peut conduire a la dégradation du générateur.

2.3.2- REGULATEUR de CHARGE ;

La nécessité de la régulateur de charge est imposée par deux conditions :

--Limites de la charge et de la décharge de la batterie d'accumulateur (fig 2.11; 2.12)

--Point de fonctionnement optimum du générateur photovoltaïque "panneaux solaires".

(les figures 2.11 et 2.12 montrent les limites de la tension qu'il faut ^{ne} pas dépasser lors de la charge et de la décharge de la batterie.)

2.3.3- REALISATION D'UN REGULATEUR ;

a- CARACTERISTIQUES DU REGULATEUR:

Le régulateur réalisé possède les caractéristiques et les fonctions suivantes:

--Protection de la batterie des surcharges.

--Délestage de l'utilisation dans la limite donnée de la tension, pour éviter une décharge profonde des accumulateurs

--Protection du generateur solaire contre le retour d'energie lorsque sa tension tombe au dessous de celle de la batterie

-- Visualisation de l'état de charge de la batterie par un systeme de quatre diodes électroluminiscentes:

- * LED rouge : batterie déchargée, circuit de l'utilisation coupé
- * LED verte : batterie chargée
- * LED jaune : surcharge de la batterie, circuit de la source est coupé (panneau)

--Protection de la batterie contre les court-circuits a l'aide d'un fusible, plus une LED de visualisation de cet etat (protège aussi le receuteur. exemple: T.V de 25W, 12v le fusible est de 2,1 A)

--Possibilité d'associer au régulateur un systeme d'alarme qui sera déclenché par la coupure de l'utilisation.

Le circuit du régulateur est protégé contre les inversions accidentelles de polarité

--Possibilité de connecter trois entrées.

b- PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT , :

LA régulation de charge est basée sur le principe de la régulation serie par coupure électro-mécanique (fig 2.10) pour éviter les pertes d'énergie, ce qui est le cas dans la régulation par Ballaste.

L'énergie sera déconnecté de la batterie lorsque la tension de celle ci atteint un seuil maximum pré-réglé, et se rétaglie à nouveau lorsque sa tension redescend avec un certain hysrérises(H) (fig 2.11) de meme pour le seuil maximum (fig 2.12)

Chaque Ampli-Opérationnel a deux entrées, l'une reliée a une tension de consigne V_c stabilisée a l'aide d'une diode Zener DZ1, l'autre est reliée au pont de resistances dont la tension est déterminée par une ajustable Aj1 Ou Aj2 : C'est la tension de mesure (fig2.13).

La tension de sortie $V_s = (V_c - V_m)A$ où $V_s = (V_m - V_c)A$ des 2 Amplificateurs respectivement .

A : Gain de l'amplificateur (assez grand)
 Donc la difference $\pm(V_c - V_m)$ de quelque mV est capable de saturer l'Ampli-Opérationnel .

Si la difference est négative le transistor correspondant passe de l'etat bloqué a l'etat saturée donc l'excitation du relais qu'il commande .

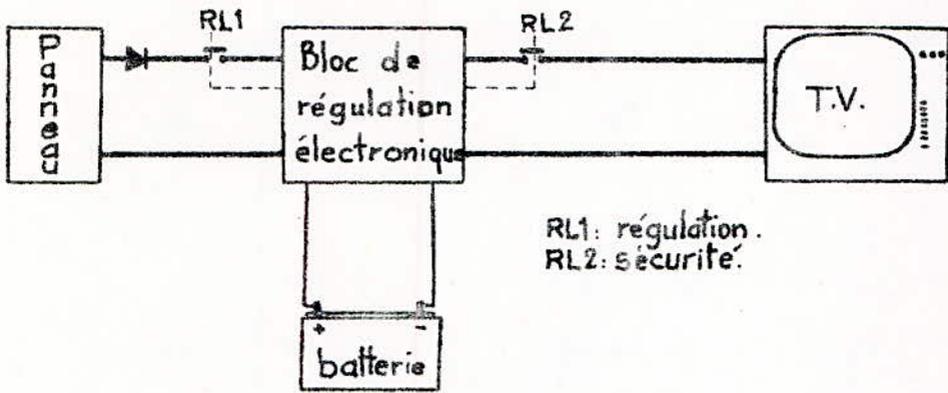
la capacité C1 est nécessaire pour éviter les fluctuations de la tension de mesure de Ic1 lors des coupures successives de la " regulation "

L'Hystérisis est assuré par les resistances de reaction des Amplificateurs Opérationnels.

c- PRESENTATION DU REGULATEUR :

-- NOMENCLATURE :

- Circuits Intégrés : Ic1=Ic2 = uA741
- Capacité : C1 = 47 uF, 10V
- Transistors : Tr1=Tr2 = 2N2905
- Diodes : D1=D2=D3 = 1N4001
 D5=D6=D7 = MR500
- L.E.D : LED1=LED2-vertes
 LED3= jaune
 LED = rouge
- Relais : RL1 = RL2(12V ; 160 OHMS)
- RESISTANCES : R1 = R2 = R3 = R4 = R5 = 1,2Kohms
 R6 = R7 = R8 = 10Kohms
 R9 = 47Kohms R10 = 2,2Kohms R11= 120 ohms
 R12 = 4,7Kohms R13 = 160Kohms R14 = 68Kohms
 Aj1 Aj2 = 25Kohms
- Accessoires : BP 1 = Bouton poussoire
 In1 = Intérrupteur
 Fus = Fusible



RL1: régulation.
RL2: sécurité.

fig. 2.10 SYNOPTIQUE DU SYSTEME.

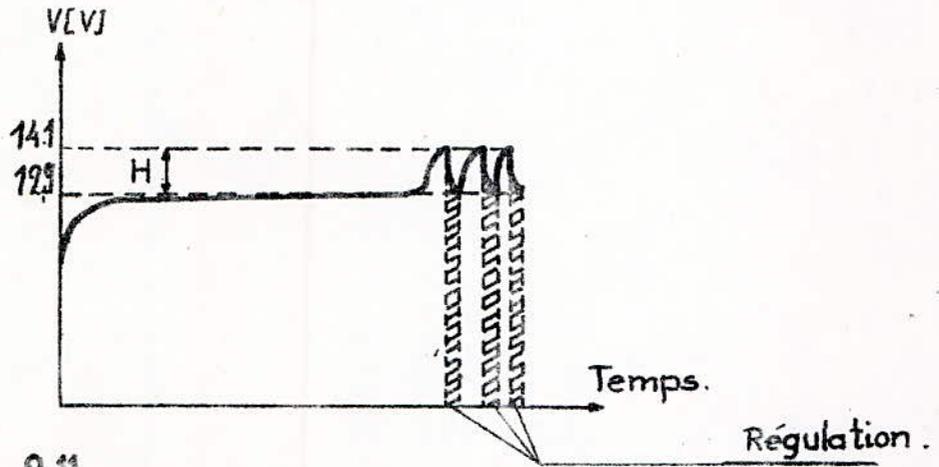
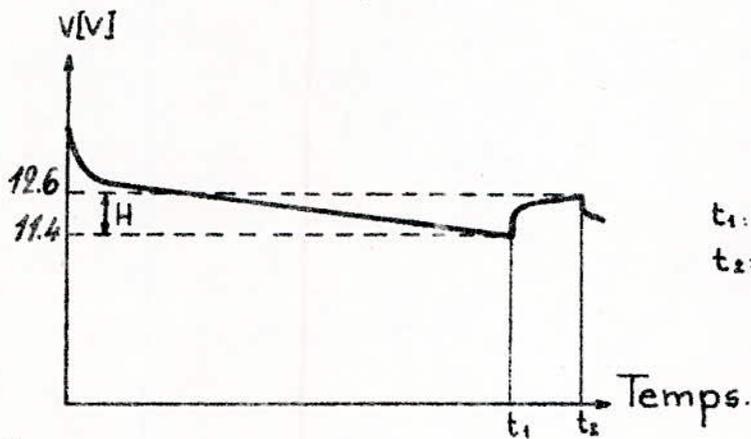


fig. 2.11. TENSION SEUIL MAX.



t_1 : Coupure Sécurité
 t_2 : Réarmement Sécurité

fig. 2.12. TENSION SEUIL Min.

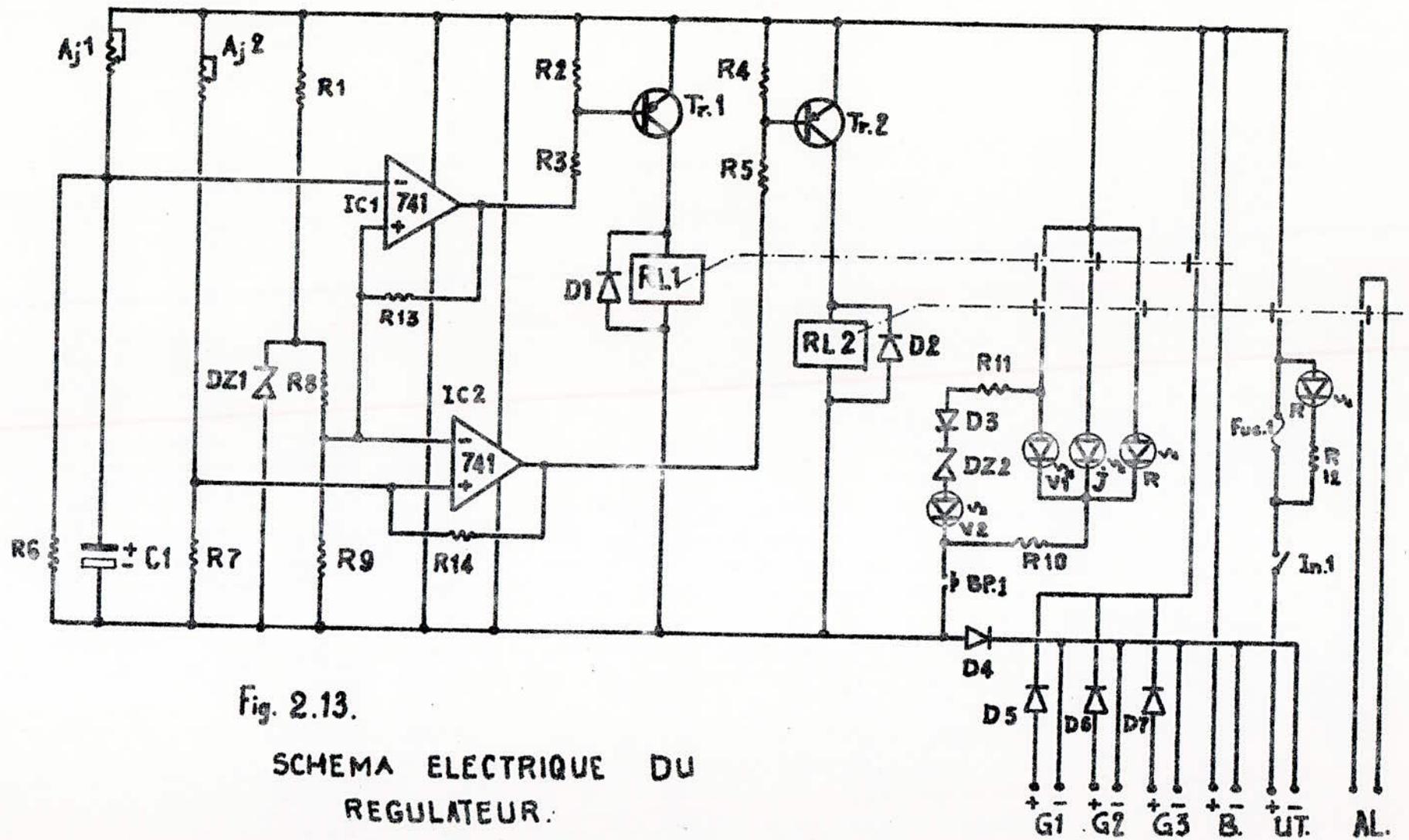
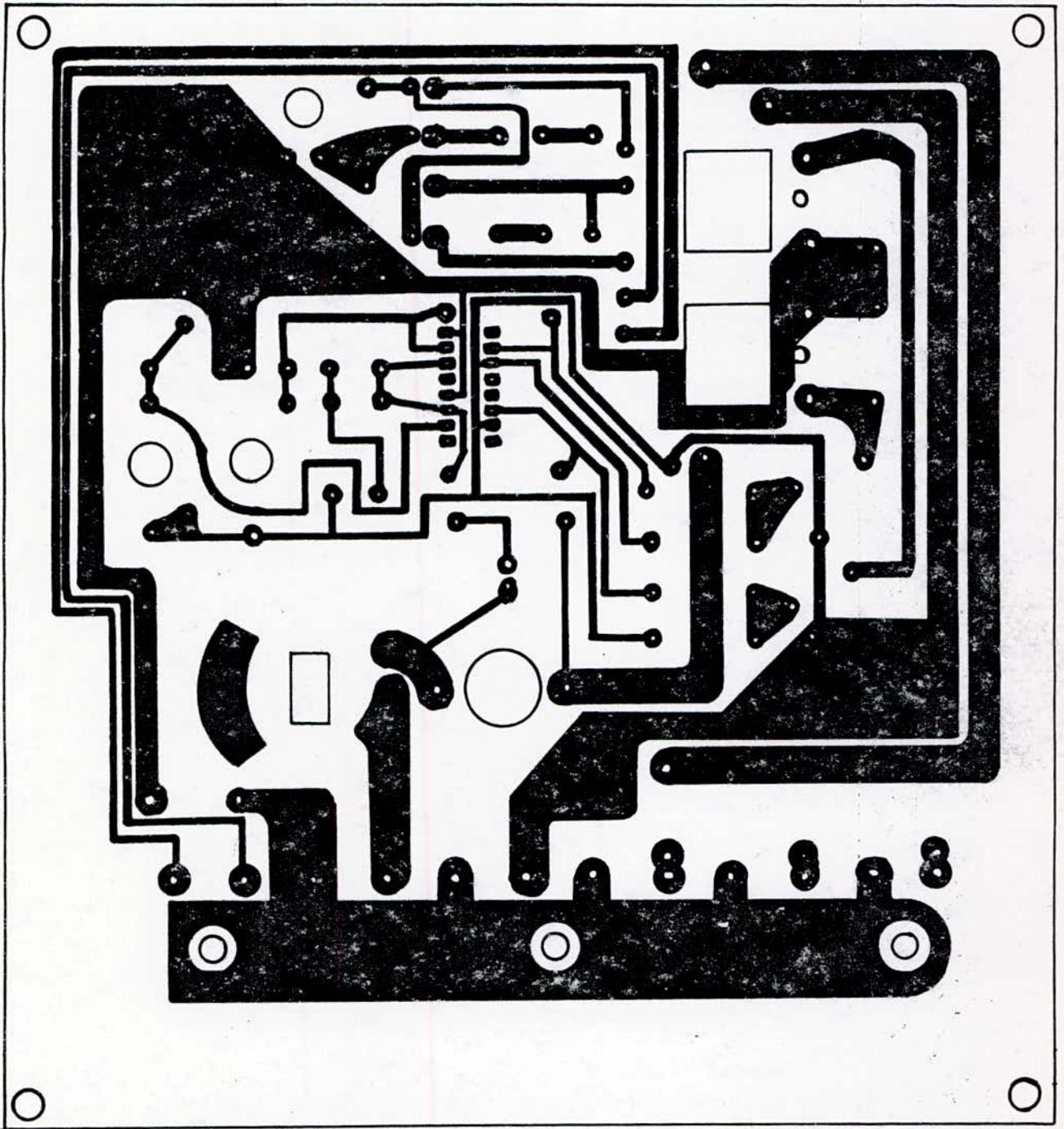


Fig. 2.13.

SCHEMA ELECTRIQUE DU
REGULATEUR.



*fig. 2.14. Schéma du Circuit imprimé
à l'échelle 1, Coté Cuivre.*

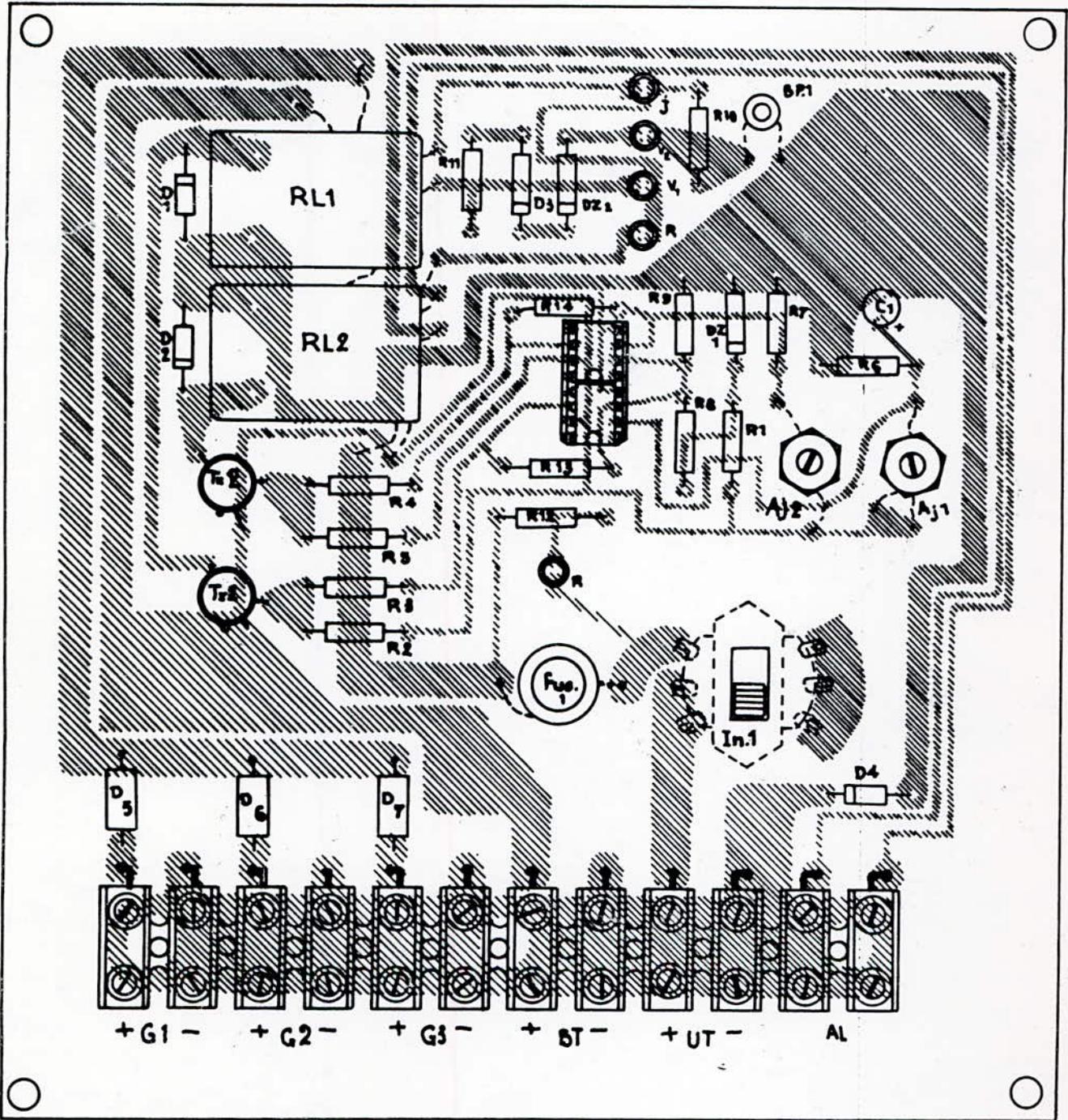


fig. 2. 15. Schéma d'implantation.

2.4- BATTERIE D'ACCUMULATEUR:

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

Energie Electrique \rightleftharpoons Energie Chimique

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

Toutes les théories des transformations, en thermodynamique chimique prennent appui sur la loi de NERNST (savant allemand, prix nobel en 1920) qui s'énonce de la façon suivante :/5/

$$E_m = E_0 + \frac{0,06}{n} \text{Log } K_a$$

E_m : f.e.m du générateur

E_0 : tension d'électrode

$E = \frac{0,06}{n} \text{Log } K_a$: tension du REDOX

K_a : constante d'équilibre redox OX/Red

$$K_a = \frac{\Delta G}{2,3 KT}$$

ΔG : Enthalpie en calorie à 25°C

T : température

.../..

Les Accumulateurs présentent les avantages suivants :

- d'être disponibles.
- d'être parfaitement modulaire.
- d'entrer "immédiatement" en action .
- d'être silencieux et non polluants généralement .

2.4.1-CARACTERISTIQUE DES ACCUMULATEURS :

a- CAPACITE D'UN ACCUMULATEUR :

C'est la ^{quantité} quantité de courant fournie, mesurée en Ah, est donc égale au produit de l'intensité en (A) et du temps en (h)

La capacité d'une batterie est généralement exprimée en Ah, mais étant donné que cette capacité n'est pas la même pour tous les régimes de décharge, on la donne en précisant pour quelle régime de décharge cette indication est valable .

EXEMPLE:

Dire qu'une batterie a une capacité de 200Ah, pour une décharge de 10heures, signifie qu'elle peut débiter 20 A pendant 10h, par contre, si elle ^{est} déchargée à un régime supérieur, la capacité est réduite et cette batterie ne pourra débiter que 100A pendant 1 heure, donc à ce régime sa capacité sera égale à la moitié de celle correspondante à une décharge de 10h.

b- RENDEMENT EN QUANTITE D'UN ACCUMULATEUR:

Le rendement en quantité ou en Ampère-heure est le rapport :

.../..

$$\eta = \frac{\text{Nombre d'Ah fournis à la décharge}}{\text{Nombre d'Ah restitués à la charge}} \times 100$$

Ce rendement, pour n'importe quel régime de décharge est d'environ :/6/

- 90% pour les éléments au Plomb.

- 71% pour les éléments au fer-Nickel.

La détermination précise de ce rendement fait intervenir plusieurs cycles de charge-décharge avec batterie travaillant dans les conditions convenables .

c-RENDEMENT EN ENERGIE DES ACCUMULATEURS :

La connaissance de la capacité en énergie (Wh) de la batterie présente un grand intérêt pratique .

La (fig 2.18) montre des courbes de décharge de différents types de batterie en fonction du temps à une intensité de courant donnée .

--La tension moyenne de décharge :

$$V_{\text{moy}} = \frac{\text{Aire limitée par la courbe}}{\text{durée de la charge}}$$

-- L'énergie fournie:

$$E = V_{\text{moy}} \cdot I \cdot t$$

--Le rendement en énergie :

$$\eta = \frac{\text{Wh obtenus pendant la décharge}}{\text{Wh fournis pendant la charge}} \times 100$$

Ce rendement est obtenu par plusieurs cycles de charge-décharge.

En pratique le rendement est :/6/

.../..

- pour les elements Plomb-Acide 68 à 75%
- pour les éléments Cadmium-Nickel 50 à 58%
- pour les éléments Fer-Nickel 48 à 52%

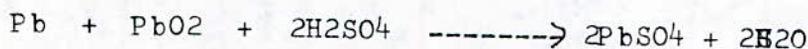
2.4.2-TYPES D'ACCUMULATEURS :

a-ACCUMULATEURS AU PLOMB :

Dans les batteries au Plomb la matiere active positive est constituée de Peroxyde de Plomb (PbO2) et la matiere négative de Plomb spongieux (Pb).

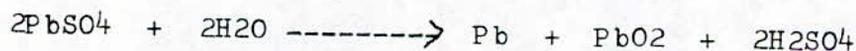
l'électrolyte est constitué d'Acide Sulfurique (H2SO4).

- Pendant la charge on a l'equation : /6/



Une ^{partie} de Pb et de PbO₂ s'est transformée en sulfate de Plomb PbSO₄ donc la densité de l'électrolyte a diminuée.

- Lorsque la batterie se recharge la réaction inverse se produit.



Après cette opération les plaques retrouvent leurs compositions initiale et enrichissement de l'electrolyte.

Mais au cours de la decharge , il se produit des pertes d'électrolyte dû au phénomène d'électrolyse et par simple évaporation de l'eau . Ces pertes doivent etre compensées par l'addition périodique d'eau.

Aucours de décharge ily'a formation de $PbSO_4$, cette sulfatation est indispensable au fonctionnement normale de l'élément au Plomb, ce phénomène a pour effet de durcir la matiere active des plaques s'il est exéssif(cas de décharge profonde de l'élément) ce qui emêche le fonctionnement convenable .

Pour y remedier il faut proceder à plusieurs charge et décharges successives apres avoir remplacer provisoirement l'electrolyte par de l'eau pure.

* On apprécie l'état ^{de} decharge de l'accumulateur au Pb par la densité de son électrolyte.

Théoriquement ,il suffit de 3,9g de Plomb spongieux , 4,5g de Plomb et 3,7gd'Acide sulfurique pur, c'est à dire 12,1gde matiere pour obtenir 1A/heure lors de la décharge d'unaccumulateur au Plomb préalablement chargée./7/

En réalité ,ce résultat n'est jamais atteint pour de multiples raisons ,en effet, a coté des accessoires (grilles soutenant la matiere ,tige polaire,connections,bornes,bac,poignées.)qui augmentent fortement le poids de l'élément ,d'autre part l'acide nest pas employé pur mais dilué .

Pour réaliser des éléments durables, la quantité de matiere totale doit représenter 3 à 4 fois le poids des matieres reellement utilisées.

Aussi, pratiquement, les accumulateurs ont une énergie massique où de stockage de l'ordre de 15 à 50Wh/g.

Les accumulateurs au Plomb-Acide sont actuellement les seuls acceptables du point de vue investissement et coût d'exploitation . leur durée de vie est toujours insuffisante.

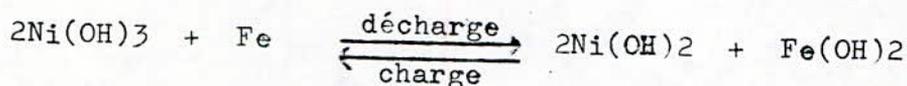
b- ACCUMULATEURS ALCALINS:

Les réactions chimiques qui se produisent dans l'élément alcalin sont très complètes .

Ils sont désignés sous ce vocable d'après la composition de leur électrolyte , une solution de potasse Caustique à 25% de concentration .

La matière active positive est de l'Oxyde de Nickel additionné de maillettes de Nickel ou de graphite.

La matière négative est du Fer réduit au mieux à un mélange de Fer et du Cadmium. /7/



L'électrolyte dans ce cas ne prend pas part dans la réaction et son rôle est simplement de permettre le passage du courant électrique et le transfert des ions Oxygène, donc la densité de l'électrolyte ne varie pas au cours de la charge et de la décharge sauf le phénomène de perte d'eau , est le même que dans le cas des accumulateurs au Pb.

Leurs avantages :

- Robustesse mécanique et chimique .
- Ils ont une plus longue durée de vie .
- A priori, plus légers que les accumulateurs au Pb .

L'énergie massique des éléments alcalins est supérieure à celle des éléments au Pb, du fait du poids atomique plus faible de ces composants, par contre l'énergie stockée à l'unité de
.../..

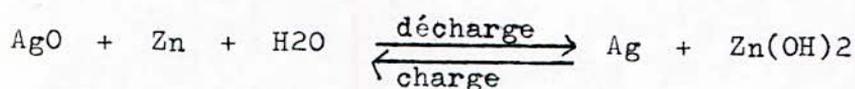
de volume est plus faible car la tension nominale est inferieure.

Les accumulateurs alcalins se comportent très mal a basse température et finalement leur rendement est tres nettement inférieurea celui des accus au Pb (0,55 à 0,65) et le coût plus élevé . C'est pour cela que ce genre de batteriesne peuvent être utilisées pour les stockages dénergie importants.

c-ACCUMULATEURS SPECIAUX :

--ACCUMULATEURS ARGENT-ZINC:

C'est un element alcalin (Imaginé par VOLTA en 1900). /5/



L'electrolyte est une solution de KOH où deNaOH, les électrodes positives sont formées de grilles garnies de Ag₂OH et les électrodes negatives de ZINC pulvérulent où plus simplement constituées par de minces lames de Zinc.

La f.e.m est comprise entre 1,6 et 1,85V.

Ces accumulateurs sont beaucoup plus petits et plus legers que tous les autres ce qui leur confere une énergie massique supérieure a celle des éléments au Pb,mais leur prix est tres élevé.

Ils sont utilisés dans l'aviation et les applications militaires.

--ACCUMULATEURS A ELECTROLYTES ORGANIQUES:/7/

Le domaine de stabilité de certain solvants organiques est plus vaste que celui de l'eau,et permet de l'utilisation des metaux alcalins comme electrodes négatives.

.../..

--ACCUMULATEURS SOLIDES :

Le transfert des charges est effectué par des ions positives ou négatives, ces électrolytes sont appelés parfois " les supra-conducteurs ionique "

On utilise aussi l'alumine β qui ressemble a un échangeur d'ions, il est étudié pour la traction électrique.

--ACCUMULATEURS A SELS FONDUS :

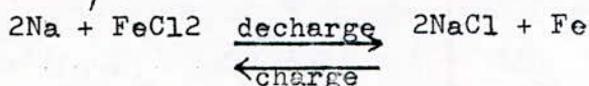
L'électrolyte est un mélange contenant des sels alcalins utilisables entre 150 et 320°C, une grande densité de puissance pourra être atteinte avec le Na ou Li, et des sulfures ou des Halogènes, (400 Thermies/t)

SODIUM-SOUFRE ; Les électrodes sont fondues au soufre et au Cadmium vers 300°C, l'électrolyte est un solide (l'alumine β)
(al'essai par FORD, GENERAL ELECTRIC)

-SODIUM-CHLORURE METALLIQUE : C'est un nouveau type d'accumulateur (développé par BATTELLE-France-) analogue au type Sodium-Soufre mais présentant certains avantages :

- .température de travail de l'ordre de 200°C
- .coût peut être élevé avec Fe et NaCl
- .possibilité d'utiliser des dégagement de chaleur

L'alumine β est utilisé comme séparateur :



Les éléments constitutifs de cette batterie sont :

collecteur / Na / Sel fonduA / Alumine / Sel fonduB / FeCl_2 / Collecteur
de courant / / / / / de courant

Les sels fondus sont des composés tel que NaB(R)_4 ou NaAl(R)_4 , qui peuvent rester liquides même a température ambiante.

(ces accumulateurs en sont au stade des premiers essais) . .

TYPE L'ACCUMULATEUR	Pb	Ni/cd	Ni/Fe	Az/Zn	Zn/air	Li/AgOH	Li/S	Na/S
Modeles disponibles (1980) et convenant a des applications a grande echelle	trés	trés	trés		en developpement	En developpement	disponible dans 5 ans ?	disponible dans 10 ans ?
Densité d'énergie :								
-theorique Wh/Kg	250	235	300	460	960	500	2800	
-réalisée Wh/kg	33	23-33	40	55-110	220	55-200	100-120	300
KWh/M3	60	43-60	43-60	100-210		90-140		
Durée de fonctionnement	Voiture 3 ans	4-8ans	20-ans	1-2ans				
	télécomu nication 15 Ans							
Nombre usuel de cycles de charge-décharge pendant la durée de fonctionnement	1500	2000-8000	2000	10-200	réalisé 100	réalisé 200	réalisé 60	réalisé 100
Température de fonctionnement en C°	-40/+60	-40/+60	-25/+45	-20/+60	-20/+65	+75	Minium +440	+Minimum +300
Coût usuel en \$/KWh (prix 1976)	50\$/KWh	500	80		objectif 20	Objec 20	objec 20	objec 20

TABLEAU 2.2 : Stade de développement de quelques accumulateurs de stockage /3/

-2.4.3-CHARGE ET DECHARGE DES ACCUMULATEURS:

a-VARIATION DE TENTION D'UN ELEMENT AU COURS DE LA CHARGE;

Lors de la charge, la tension s'élève progressivement jusqu'à 2,35V/élément, puis croît rapidement jusqu'à 2,7V (fig2.16).

Vers 2,4V, il se produit une importante électrolyse de l'eau ce qui détermine un dégagement abondant d'Oxigène et d'Hydrogène le courant de charge doit être alors réduit(entre 3 et 7% de C) sous peine de voir la batterie endommagée.

La densité de l'électrolyte est en fin de charge de l'ordre de 2,24 (28 degrés baumé).

b-DECHARGE D'UN ACCUMULATEUR :

La caractéristique principale d'une batterie est sa capacité qui est d'autant plus grande que l'intensité de courant de décharge est plus faible (fig2.17).

Les caractéristiques sont indiquées par le constructeur, connaissant la capacité C1 en Ah pour un régime de décharge d'intensité I1, on peut déterminer approximativement la capacité C2 à un nouveau régime d'intensité I2 pendant un temps t2 par la formule de PEUKERT /8/

$$C2 = C1 \cdot \left(\frac{t2}{t1} \right)^{\frac{n-1}{n}}$$

n : étant une constante que l'on prend généralement égale à 1,25

ou bien par la formule de LIEBENOV /8/

$$C = \frac{m}{(1+AI)}$$

avec m et A sont des constantes données par le fournisseur.

2.4.4 - FACTEURS QUI INFLUENT SUR LA CAPACITE DES
ACCUMULATEURS :

- Dimensions, écartement et nombre de plaques dans un élément.
- Mode de construction des plaques et quantité de matière active qu'elles contiennent.
- Densité de l'électrolyte en pleine charge et son volume dans les cases éléments au plomb.
- Température de l'électrolyte, car la capacité d'un accumulateur augmente lorsque la température s'abaisse.
- Régime de décharge, c'est à dire le temps mis pendant la décharge.
- Tension finale à laquelle, la batterie est considérée comme déchargée.

REMARQUE : les trois premiers facteurs concernent le constructeur

En effet la température d'une batterie augmente pendant la charge ce qui provoque un problème par temps très chaud, et les échauffements répétés et prolongés des éléments entraîne une réduction de leur vie.

Pour la plus part des éléments au plomb la température maximum d'emploi est de : 45°C, celles des éléments alcalins : 48°C

(Voir Tableau 2.2)

NB : L'isolement des batterie doit-~~être~~ surveillé, il suffit généralement d'~~essayer~~^{les} les bacset isolateurs pour remonter la résistance d'isolement; (pour diminuer les courants de fuite) la résistance intérieur Ri d'un élément de masse M(kg) de plaques a formation artificielle est approximativement :

$$R_i = \frac{0,08}{M} \text{ (Ohm)}$$

Une installation neuve doit avoir une valeur de résistance d'isolement R d'au moins 20000 ohms pour s'assurer de l'efficacité de l'entretien, on peut mesurer cette resistance R en (Ohm) de la batterie en appliquant la formule:

$$R = g \frac{V - (V_n + V_p)}{V_n + V_p}$$

- g : Resistance du voltmètre utilisé pour la mesure.
 V : l'indication du voltmètre branché aux bornes de la batterie
 V_n, V_p : les indications du meme voltmètre branché successivement entre les poles négative et positive de la batterie (au repos) et le sol.

2.4.5 - CHOIX DES ACCUMULATEURS;

Le choix de la capacité dépend essentiellement de :

- l'intensité de courant de decharge .
- l'autonomie désirée.
- La plage de tension (U_{min}, U_{max})

Exemple *1* : Comment assurer au mieux un débit de 4A pendant une¹ heure sans que la tension "par élément" descende au dessous de 1,72V.

Le point de rencontre de la droite "30mn" avec la courbe "1,72 V " (fig 2.19) correspond à environ 0,75 C du régime de

.../...

décharge d'un type d'élément donné soit : $I = 0,75 C_{10}$.

La capacité correspondante : $C = \frac{4}{0,75} = 5,33$ Ah. et si l'on admet un rendement de 80%, on choisira alors dans la gamme, des batteries celle dont la capacité se rapproche le plus de la valeur

$$\frac{5,33}{0,80} = 6,66 \text{ Ah, pratiquement } 7 \text{ Ah .}$$

En général, on écrit pour une intensité de courant nominale I_0 fixé au $1/10$ de C .

- $10 \cdot I_0 = C_{10}$ (A)
- $5 \cdot I_0 = 0,5 C_{10}$
- $1 \cdot I_0 = 0,1 C_{10}$ ext.....

Exemple*2* : on a un régime de décharge :

$$\begin{aligned} I &= 75 \text{ A} \\ U_{\min} &= 198 \text{ V} \\ U_{\max} &= 243 \text{ V} \\ \text{Autonomie} &= 30 \text{ mn} \end{aligned}$$

La tension de charge admissible : $U_c = 2,25$ V/élément

* Nombre d'éléments maximum :

$$\frac{U_{\max}}{U_c/\text{éléments}} = \frac{243}{2,25} = 108 \text{ éléments}$$

* Tension minimale par éléments :

$$\frac{U_{\min}}{\text{Nombre d'élts}} = \frac{198}{108} = 1,83 \text{ V/élts}$$

* régime de décharge : de la (fig 2.19), le point "A" déterminé par l'intersection des courbes "30Mn" et "1,83V" donne l'abscisse "0,57 C_{10} "

Donc $I = 0,57 C_{10} = 75$ A soit $C_{10} = 131$ Ah

.../...

Compte tenu des capacités existantes et d'une marge de sécurité, la solution est ^{une} batterie composée de 108 éléments (type EF2150 par exemple).

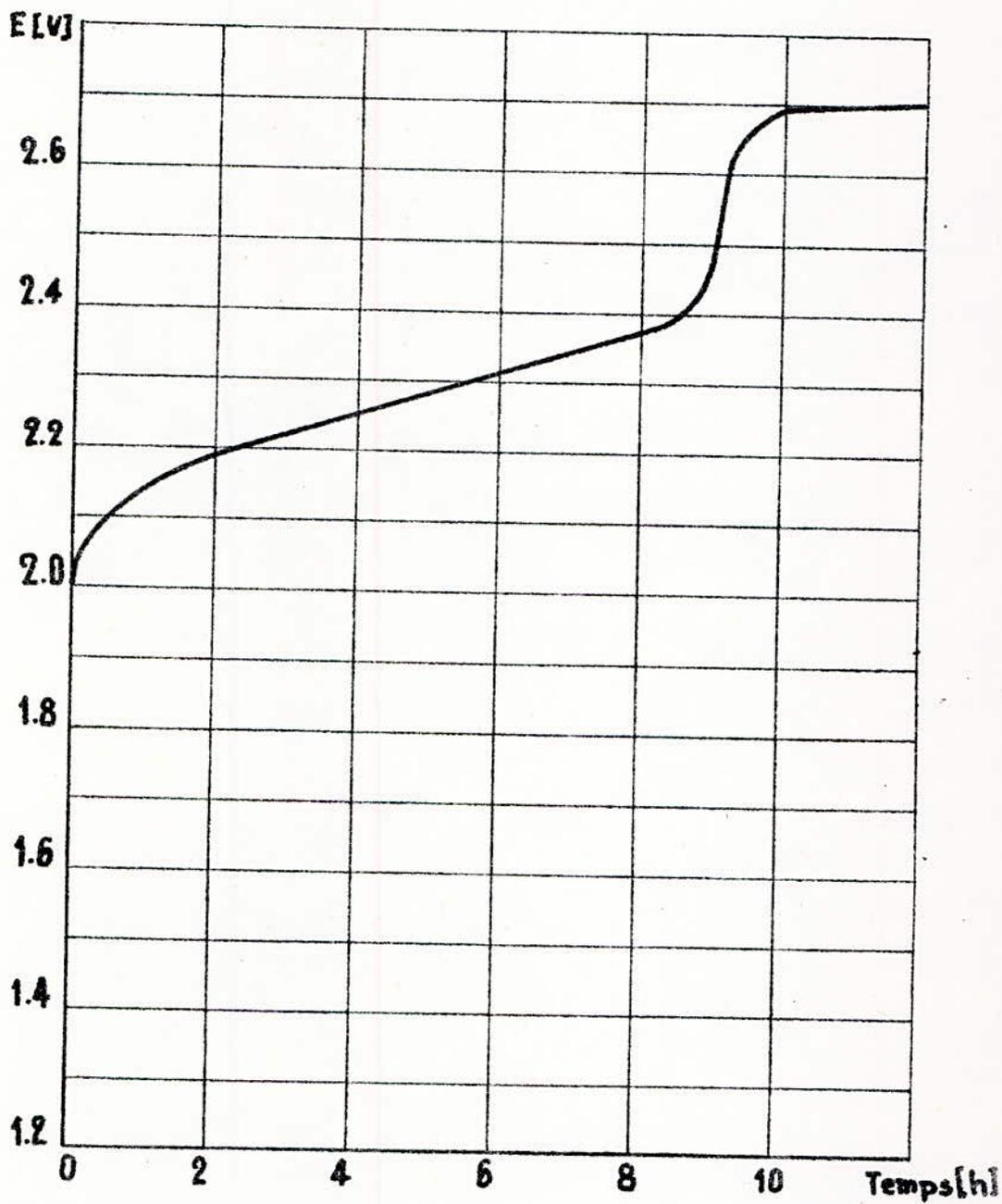


fig. 2. 16. variation de la tension de charge d'un élément d'accumulateur.

Ah de décharge en % de C10.

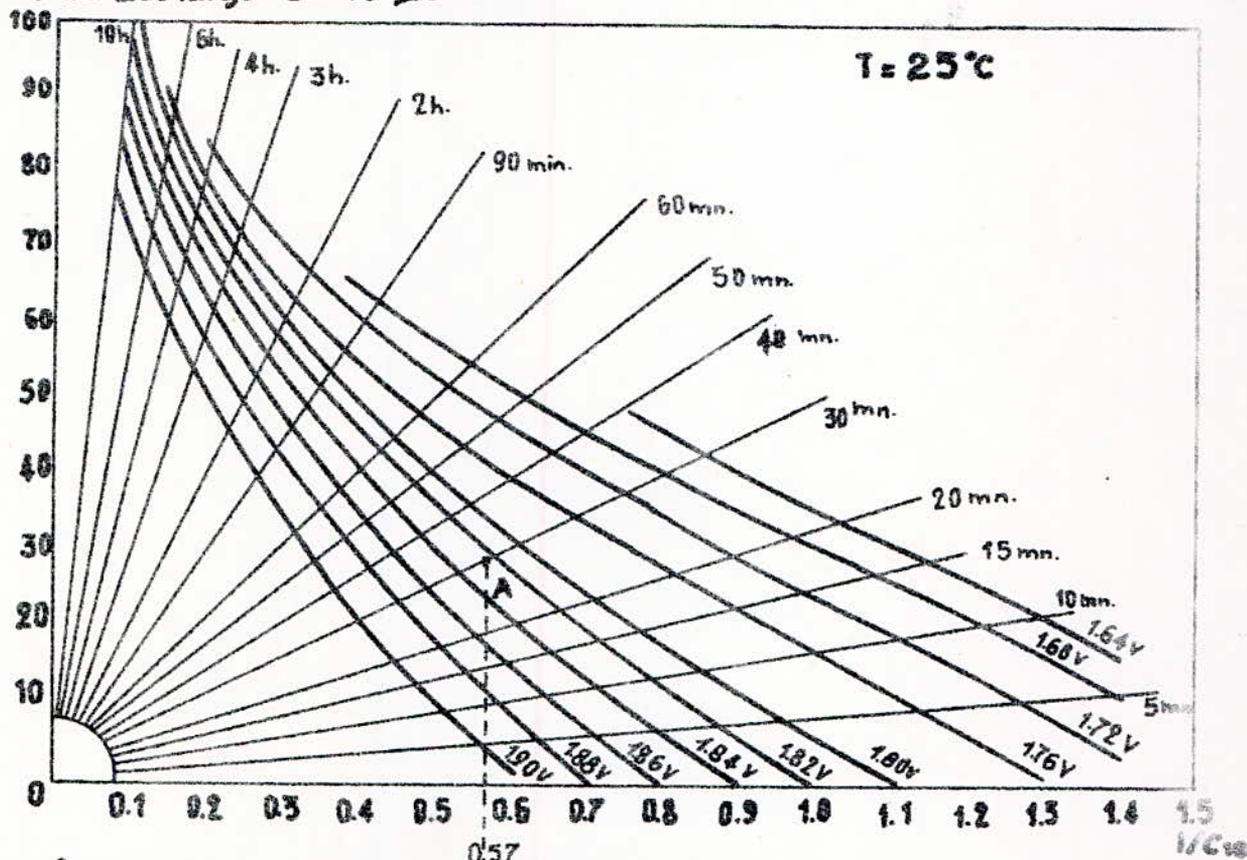


fig. 2. 19. CAPACITE OBTENUE EN FONCTION DE :
 - courant de décharge.
 - la durée de décharge.
 - la tension d'arrêt.

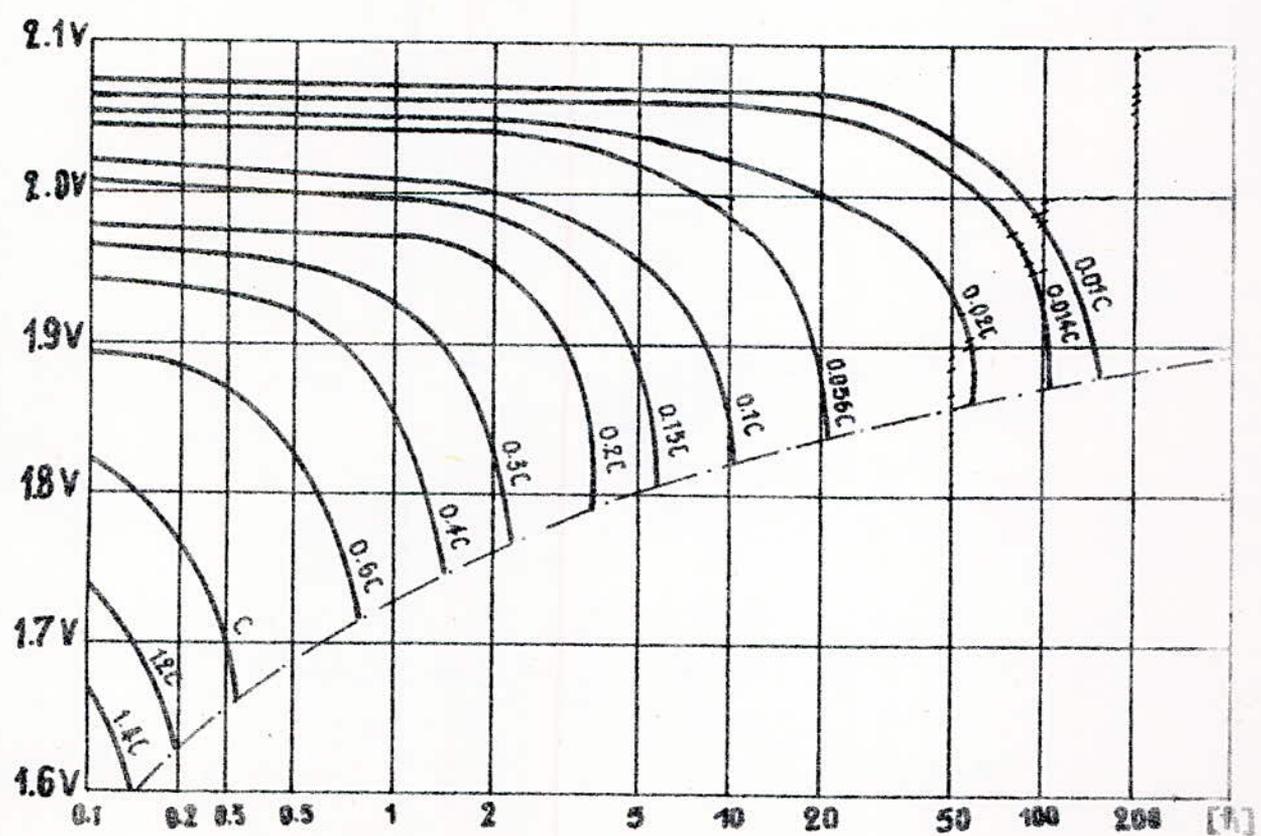


fig. 2. 17 Décharge pour différents régimes (T=25°C).

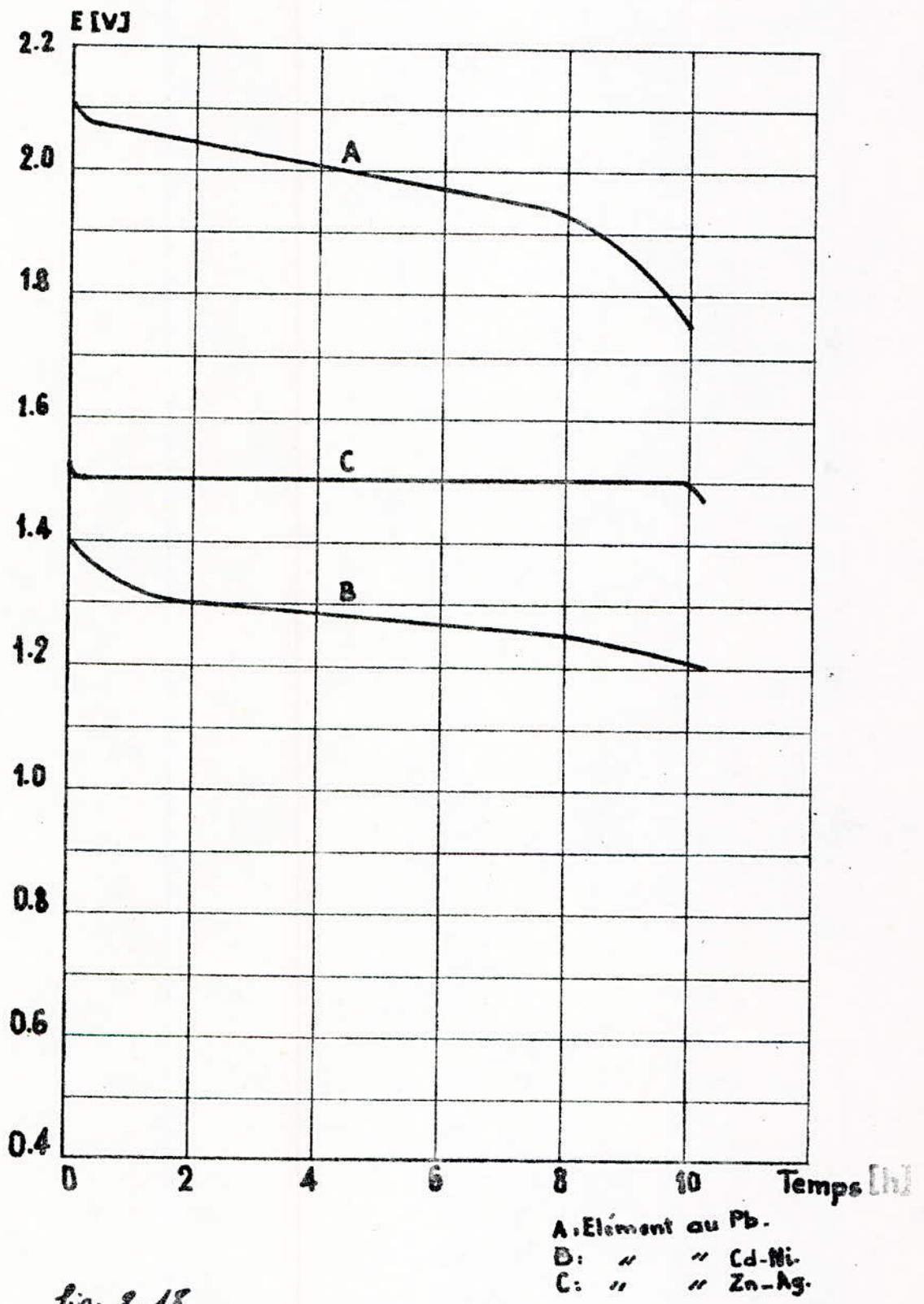


fig. 2.18.
 Caractéristiques Comparées
 décharge à C/10.

CHAPITRE -3-

ETUDE EXPERIMENTALE

Les mesures sont faites à BOUZEREAH :

- Altitude : 345 m
- Latitude : $36^{\circ} 48' 04'' 8$ nord
- longitude: 0h 12' 0,8" 53 Est.

3.1 - PANNEAUX SOLAIRES :

Une Etude expérimentale est faite sur 4 types de panneaux solaires (Tableau 3.1)

La figure 3.1 montre la variation du rayonnement globale sur un plan horizontal, correspondant à cette journée.

Nous avons relevé les caractéristiques I-V des 4 panneaux pour des périodes différentes de la journée, afin d'avoir des rayonnements et des températures correspondantes variés.

La figure 3.2 montre la variation du photocourant et de la phototension en fonction de l'éclairement à température constante il est clair d'après ces courbes que le photocourant varie largement avec le flux de rayonnement, alors que la phototension reste presque invariable ce qui correspond aux données du Tableau A1(annexe 2).

De meme pour illustrer l'effet de la température sur les caractéristiques courant /tension des panneaux, nous avons choisi parmi les relevés deux courbes qui ont presque la meme valeur du flux de rayonnement, mais avec des températures différentes (l'une mesurée le matin l'autre le soir) .

.../...

On remarque que la phototension diminue lorsque la température ^{**} augmente, (fig 3.3), en revanche le Photocourant n'est pas trop affecté (tableau A1 Annexe 2).

d'où l'on déduit la nécessité de l'aération des panneaux pour augmenter la phototension et avoir un bon rendement de conversion du panneau.

Les figures 3.4, 3.5, 3.6 et 3.7 montrent les familles de caractéristiques de chaque panneau soumis aux conditions réelles d'éclairement et de température.

Du point de vue technique, plus le facteur de forme s'approche de l'unité, plus le panneau est performant, de même celui dont le rendement est le plus élevé.

D'après le tableau 3.1 les quatre panneaux ont le même facteur de forme (0,7), alors que le meilleur rendement est de 10,1% (sachant que les panneaux soumis aux essais sont pris au Hasard.)

** REMARQUE: le capteur de température est collé contre la surface inférieure du panneau.

3.2-ETUDE DES BATTERIES D'ACCUMULATEURS:

La batterie soumise aux essais est caractérisée par:
12V , 45Ah , 120A (SONELEC)

La batterie est alimentée à partir d'un panneau solaire (lors de la charge, avec un courant variable), l'utilisation est déconnectée.

La tension de charge a crut de 10,6V à 12,9V

La capacité mesurée (correspondante) par planimètre est:

$$C = 41,3 \text{ Ah}$$

La décharge de cette batterie est faite sur un téléviseur (12V, 25W - SONELEC-) avec le panneau déconnecté.

La tension de la décharge a baissée de 12,9V à 10,6V pour un régime constant de 1,72 A.

Le nombre d'ampere-heure fournis par la batterie est de 40,6 Ah ce qui donne à rendement en quantité de 98% .

La décharge de la batterie sur T.V (fig 3.8) dure 16 heures de fonctionnement normale dans les limites imposées par le régulateur (14,1 V à 11,4 V), Ce qui correspond à une autonomie de 3 jours en admettant 5h de fonctionnement par jour en moyenne.

3.3- DIMENSIONNEMENT DE L'INSTALLATION :

Nous avons fait un calcul de dimensionnement d'une installation solaire pour l'alimentation du téléviseur, en supposant que l'alimentation se fait directement en courant continu.

Dans le cas contraire il faut intervenir le rendement de l'onduleur, sachant que son rendement est mauvais, surtout lors de son fonctionnement à faible puissance par rapport à la valeur

.../...

nominale.

Une installation plus économique est celle bien dimensionnée selon tous les conditions :

- durée d'ensoleillement du lieu en question
- l'inclinaison optimale du panneau selon la période de l'année (généralement prise égale à la latitude du lieu)
- orientation (vers le sud)

Par un calcul ^{**}approximatif, on donne une estimation des nombres de modules solaires et de batteries nécessaire pour l'installation tenant compte des conditions citées. (Tableau 3.2)

Si l'on admet toujours que le TV fonctionne 5 heures par jour en moyenne, l'énergie demandée sera $25 \times 5 = 125 \text{ Wh}$.

La batterie utilisée peut stocker dans les limites de tensions prédéterminées par le régulateur, une énergie d'environ :

$$1,72 \text{ (A)} \times 12 \text{ (V)} \times 16 \text{ (h)} = 330 \text{ Wh}$$

* le TV absorbe un courant de 1,72 A en moyenne

On prend par exemple le module (33Wc) "BELGOSOLAR"

**NB : le calcul est fait pour les conditions les plus défavorables de point de vue durée d'ensoleillement (Hiver), alors qu'en été il y aurait un surplus d'énergie (voir tableau 3.2)

Type du panneau	PHOTOWATT	BELGOSOLAR	ARCOSOLAR	SHARP
V _{oc} (V)	18,35	19,6	19,4	20,3
I _{sc} (A)	2,15	1,9	2,12	1,99
V _m (v)	14	15	15,5	15,5
I _m (A)	1,94	1,7	1,87	1,84
P _m (W)	27,6	25,5	29	28,5
Facteur de Forme- P _m /V _{oc} I _{sc}	0,699	0,685	0,705	0,706
RENDEMENT*(%)	9,5	10,1	9,2	9,3

Tableau 3.1 caractéristiques mesurées et calculées des panneaux pour l'éclairement 1092 W/m² et T = 34,5°C

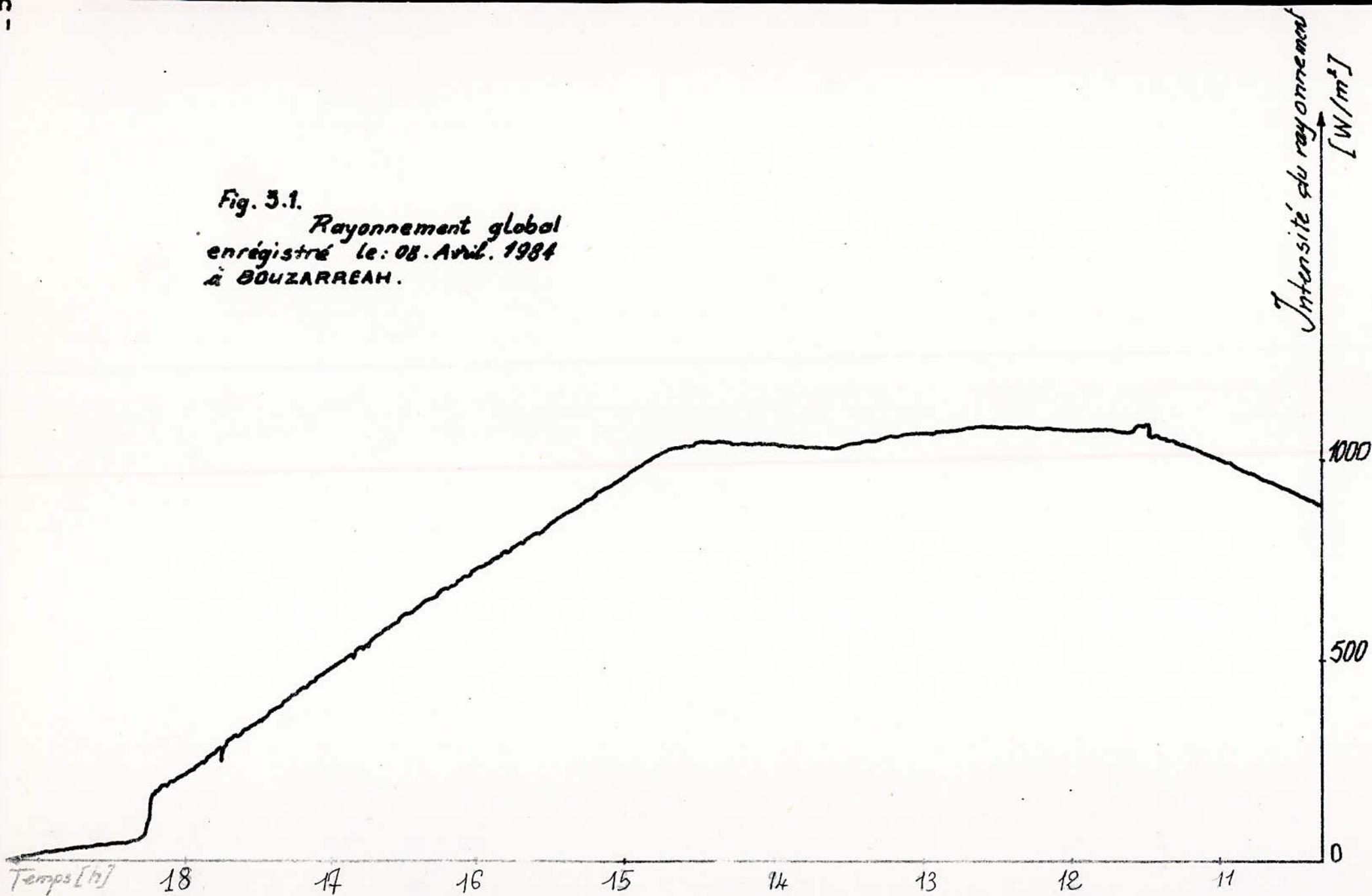
STATION	Annaba	Skikda	Biskra	Djanet	
<i>Durée d'ensoleillement mensuel en heures</i>	Min	83(Dec)	124(Dec)	211(Nov)	255(Dec)
	Max	322(Juil)	356(Juil)	366(Juil)	374(Juil)
Energie max en (Wh/jour) reposable en hiver = 107	3585/31	160	281	329	
Nombre de modules de 33 Wc	2	1	1	1	
Autonomie **	7 jour	4 jours	2 jours	2 jours	
Nombre d'éléments d'accumulateurs	3	2	1	1	
<i>Fonctionnement</i> Nombre d'heures d' été en été avec la meme installation	27 h	15 h	15 h	16 h	

Tableau 3.2 dimensionnement

* Les rendements sont calculés pour les surfaces actives de panneaux $\eta = P_{op}(W) / P_{ray}(W/m^2) \cdot S_{active}(m^2)$.

**C'est une proposition selon le site.

Fig. 3.1.
Rayonnement global
enregistré le: 08. Avril. 1984
à BOUZARREAH.



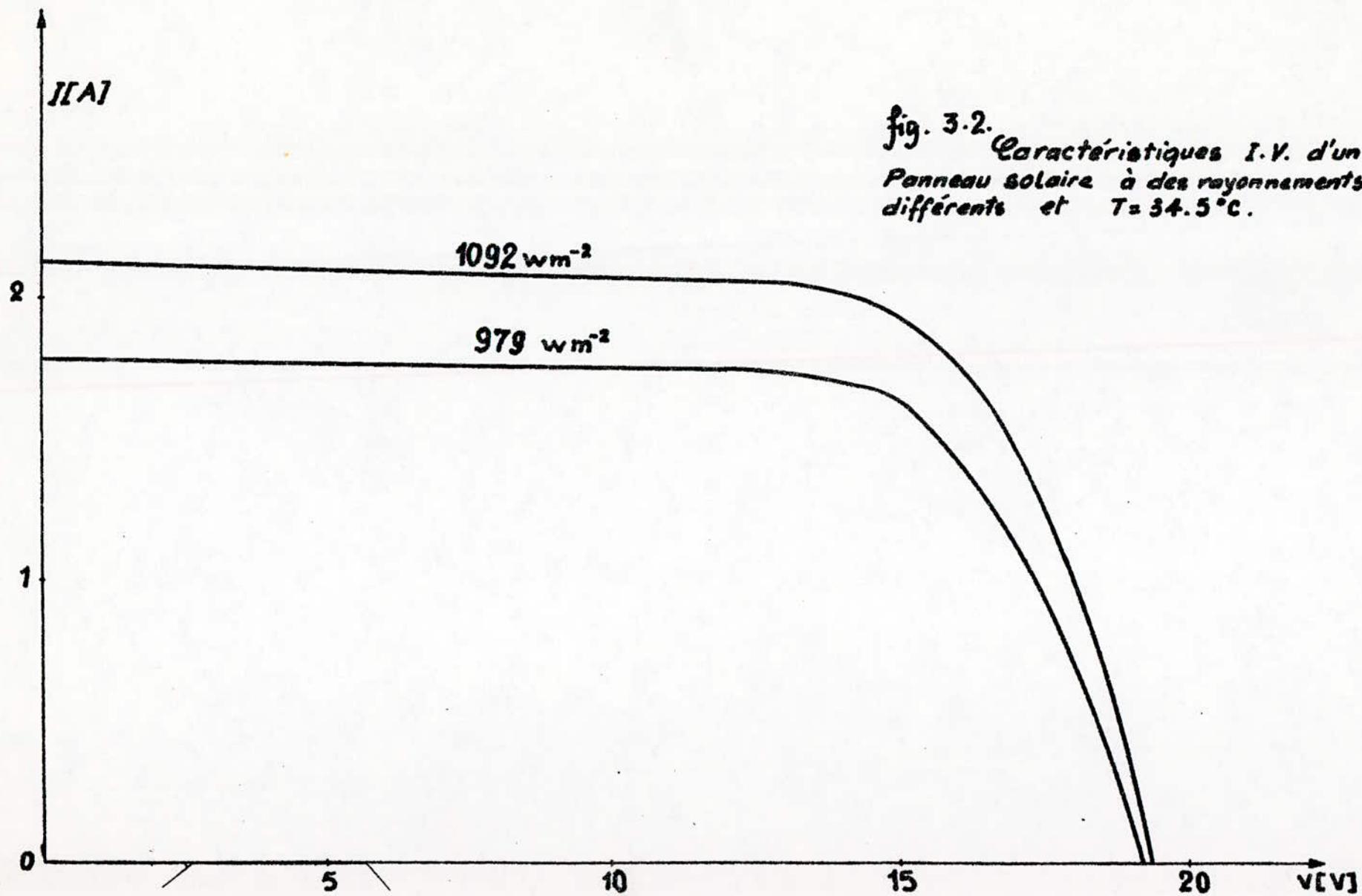


fig. 3.2. Caractéristiques I.V. d'un
Panneau solaire à des rayonnements
différents et $T = 34.5^\circ\text{C}$.

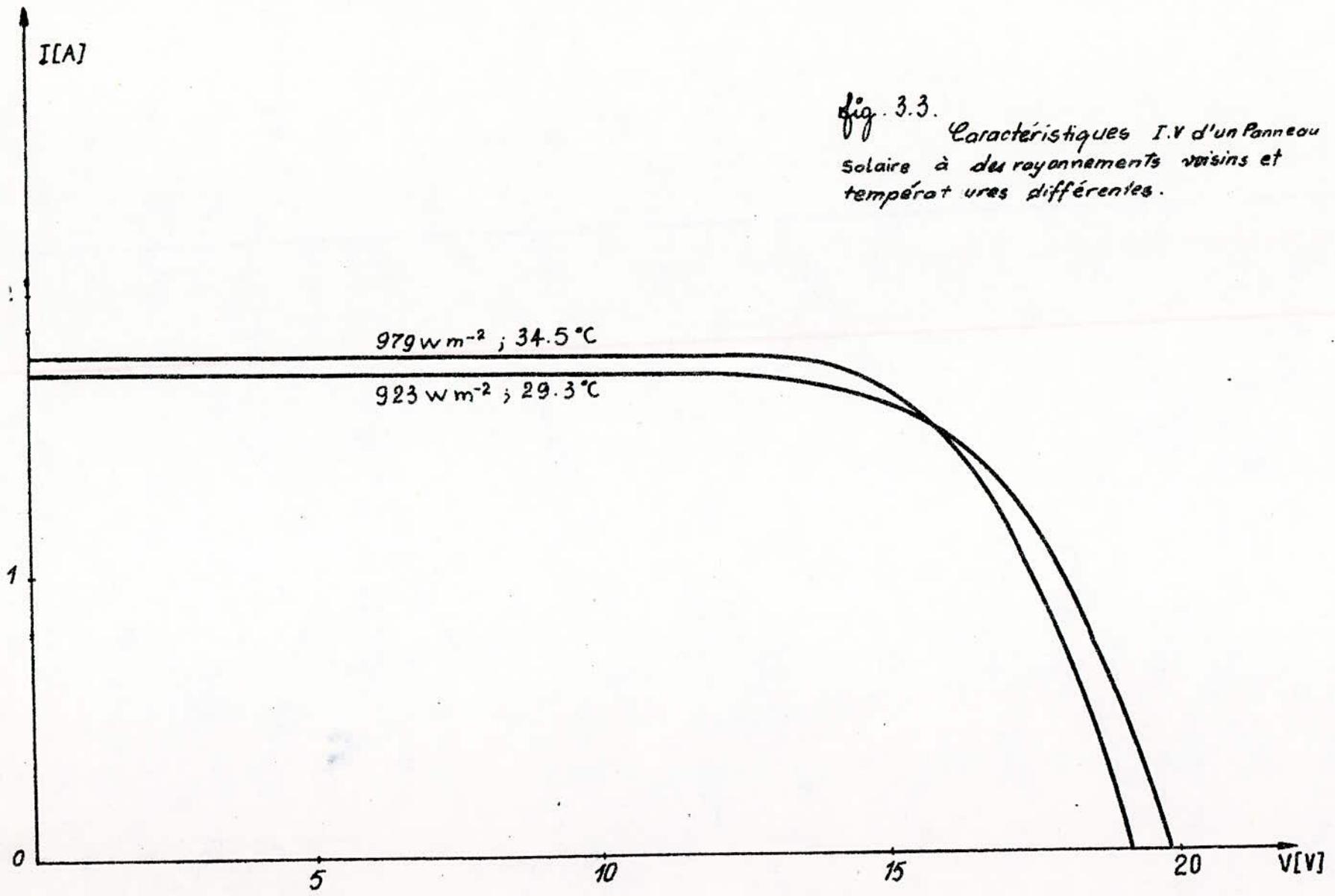


fig. 3.3. Caractéristiques I.V d'un Panneau solaire à des rayonnements voisins et températures différentes.

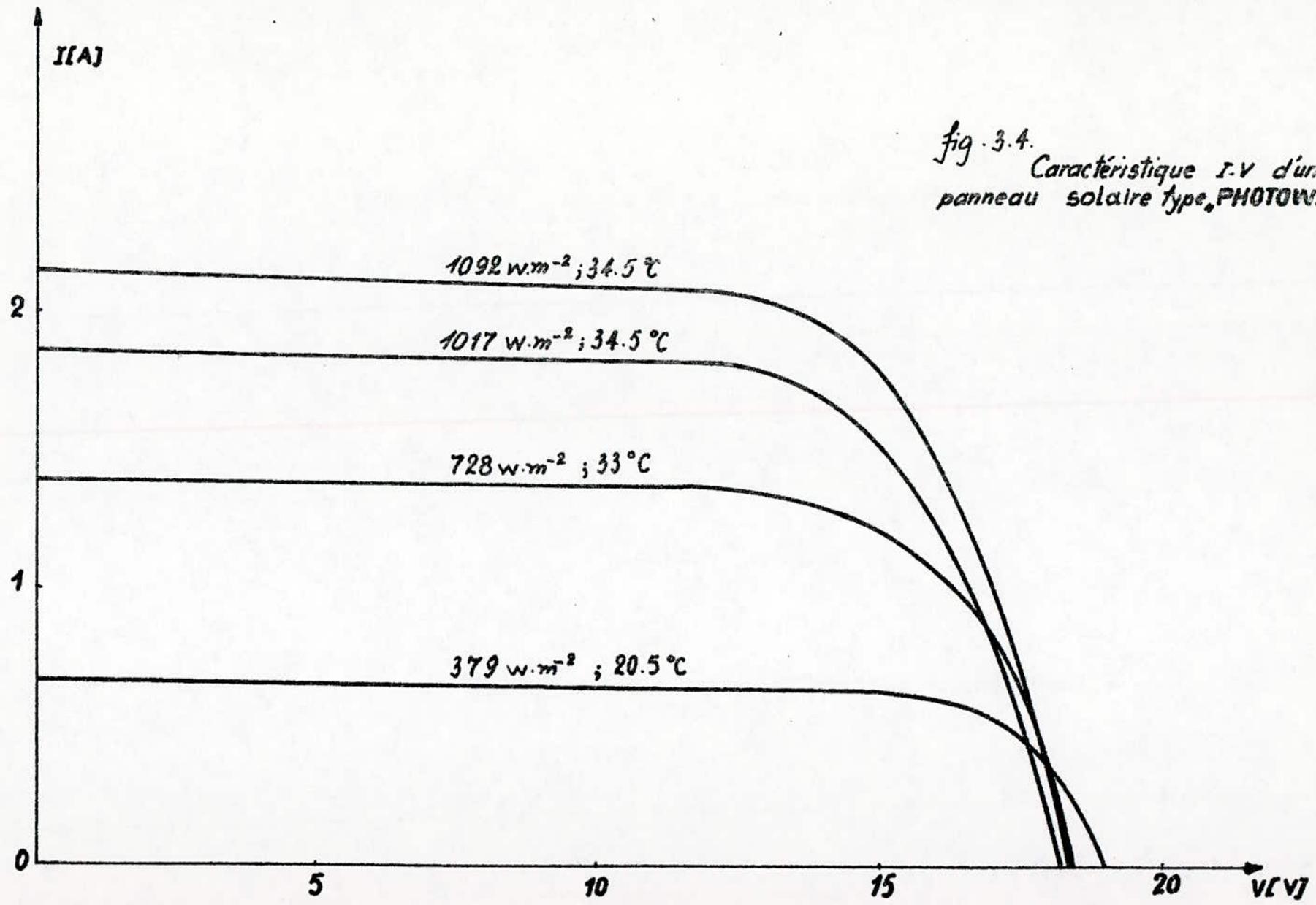


fig. 3.4. Caractéristique I-V d'un panneau solaire type "PHOTOWATT"

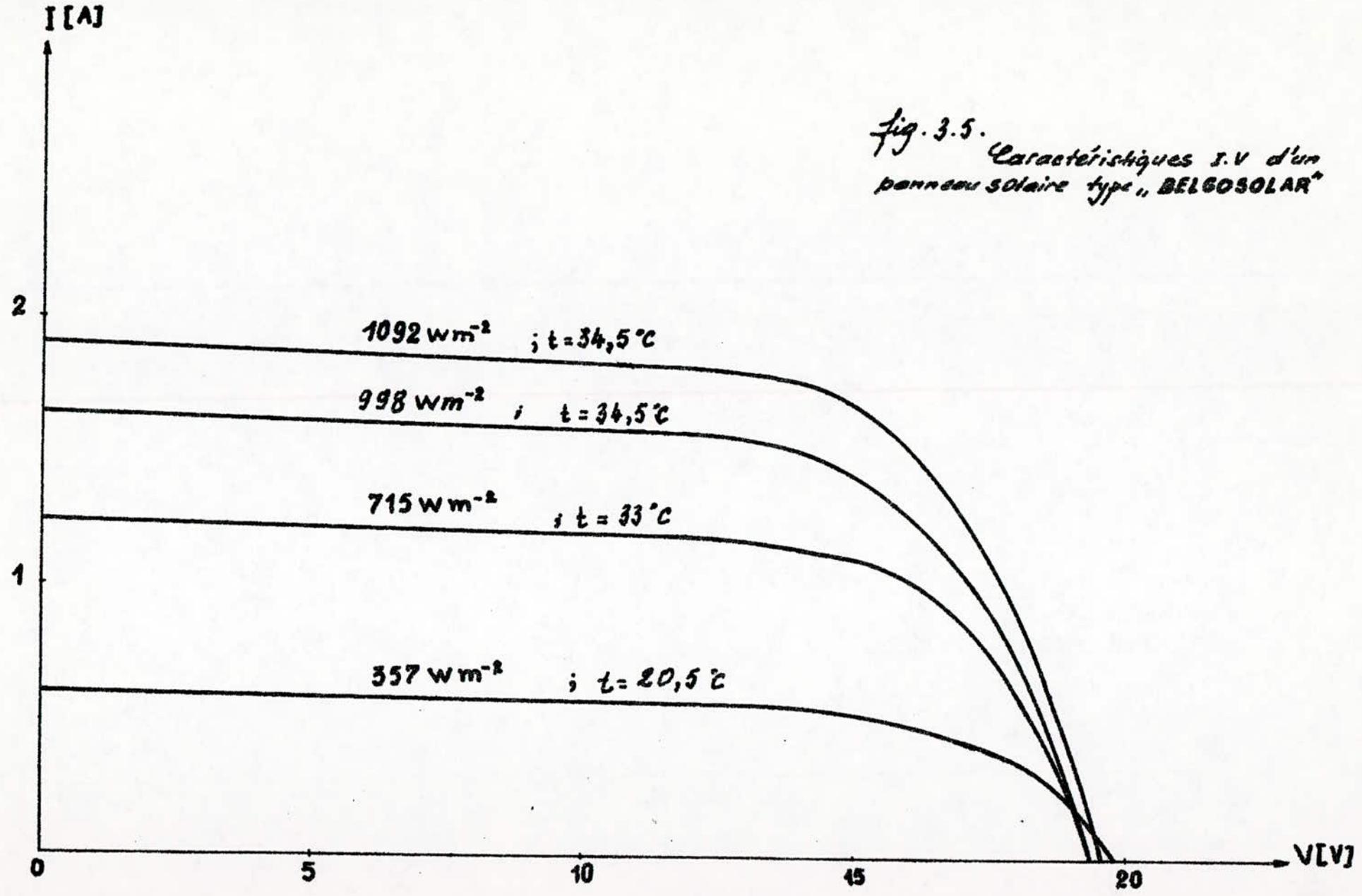


fig. 3.5. Caractéristiques I.V d'un panneau solaire type „BELGOSOLAR“

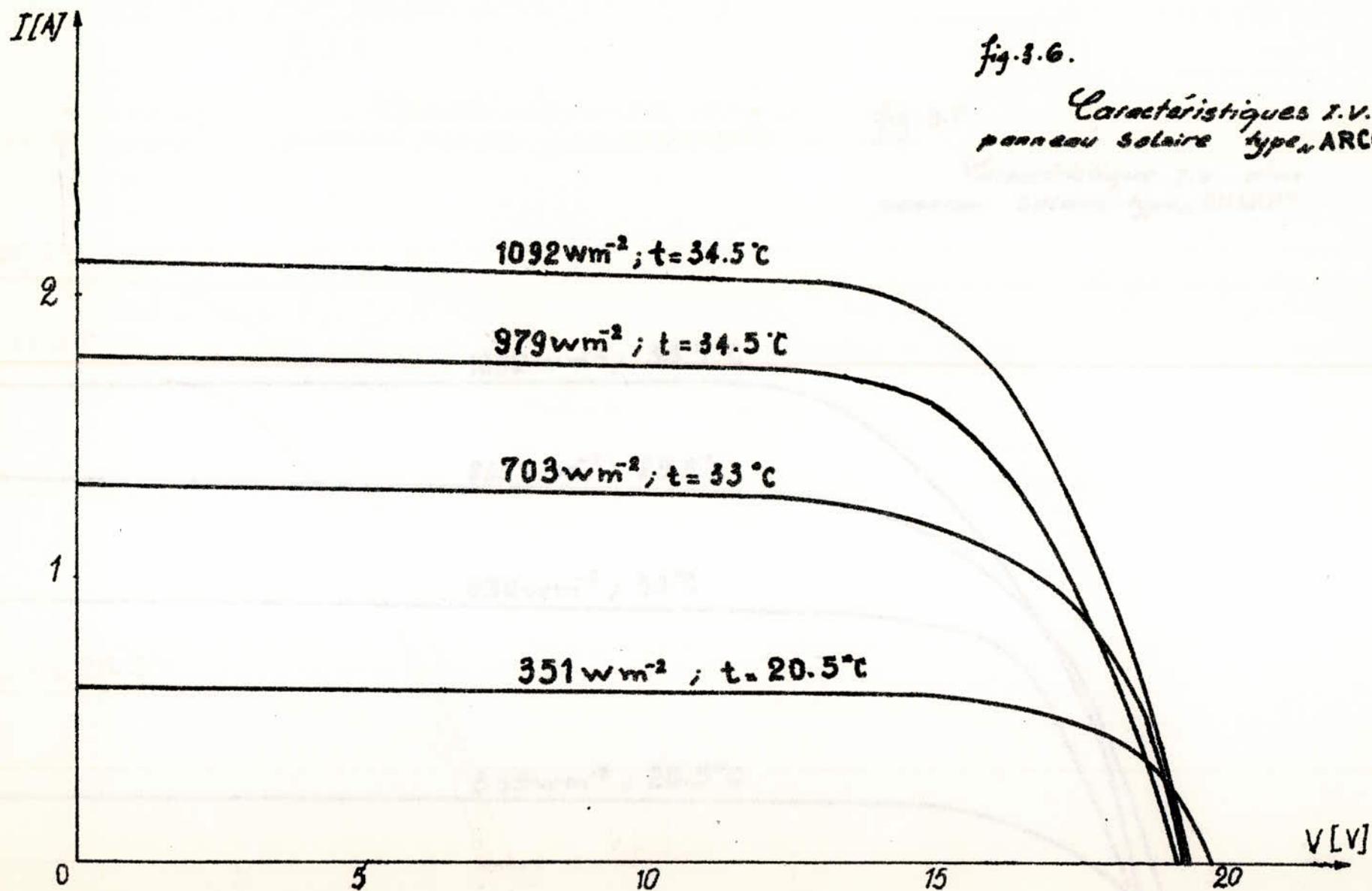
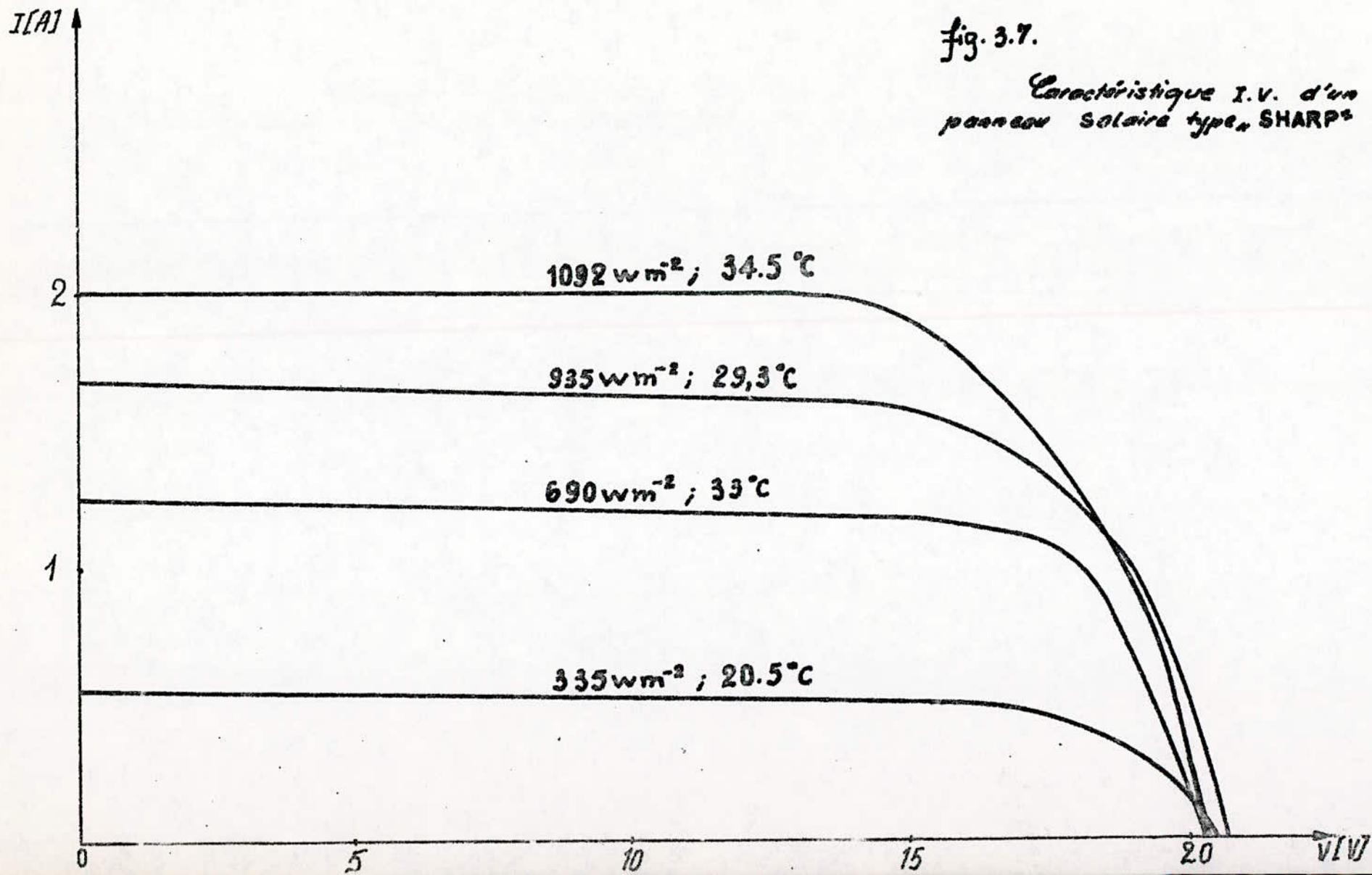


fig. 3.6.

Caractéristiques I.V. d'un
panneau solaire type "ARCOSOLAR"



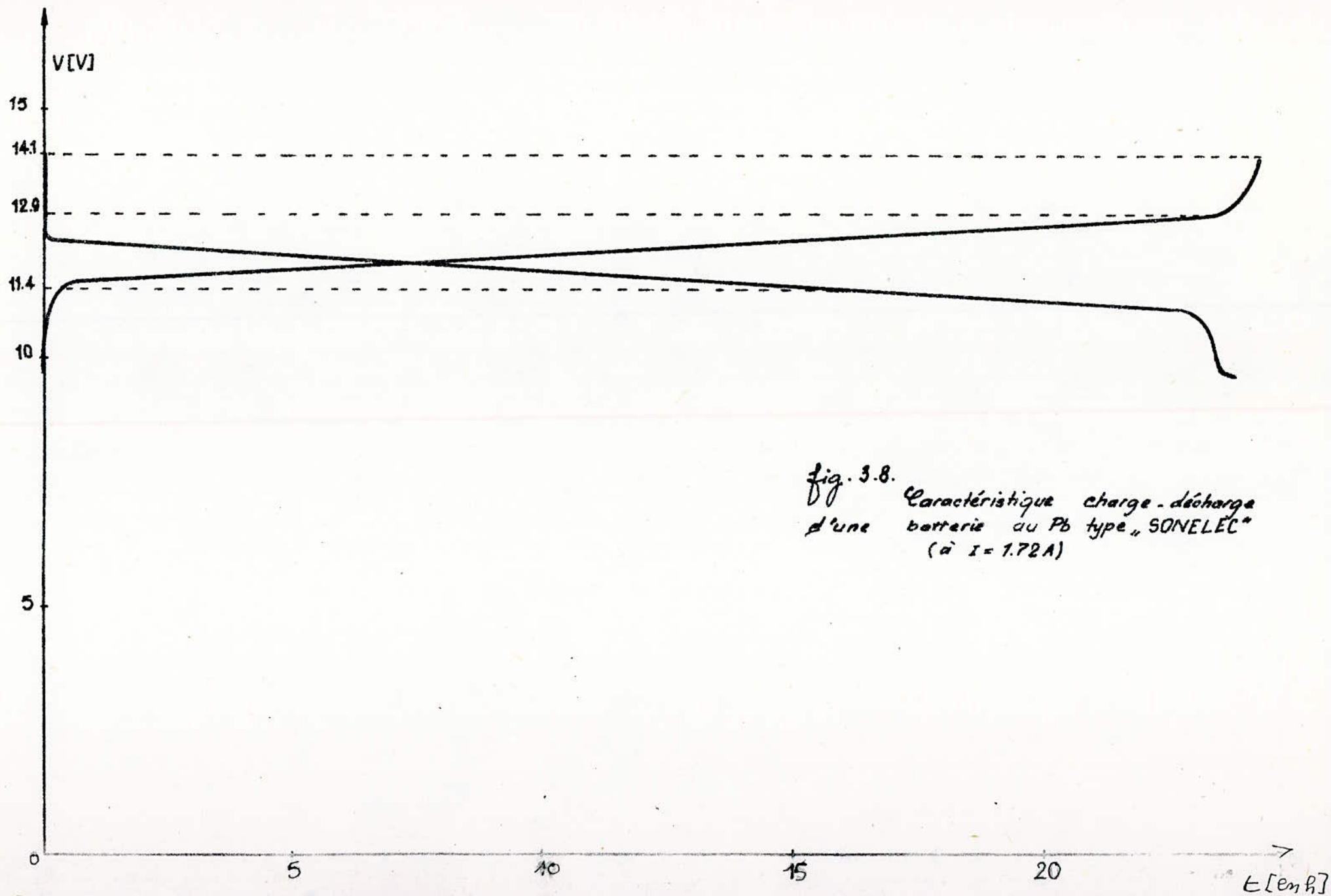


fig. 3.8. Caractéristique charge-décharge
d'une batterie au Pb type "SONELEC"
(à $I = 1.72 A$)

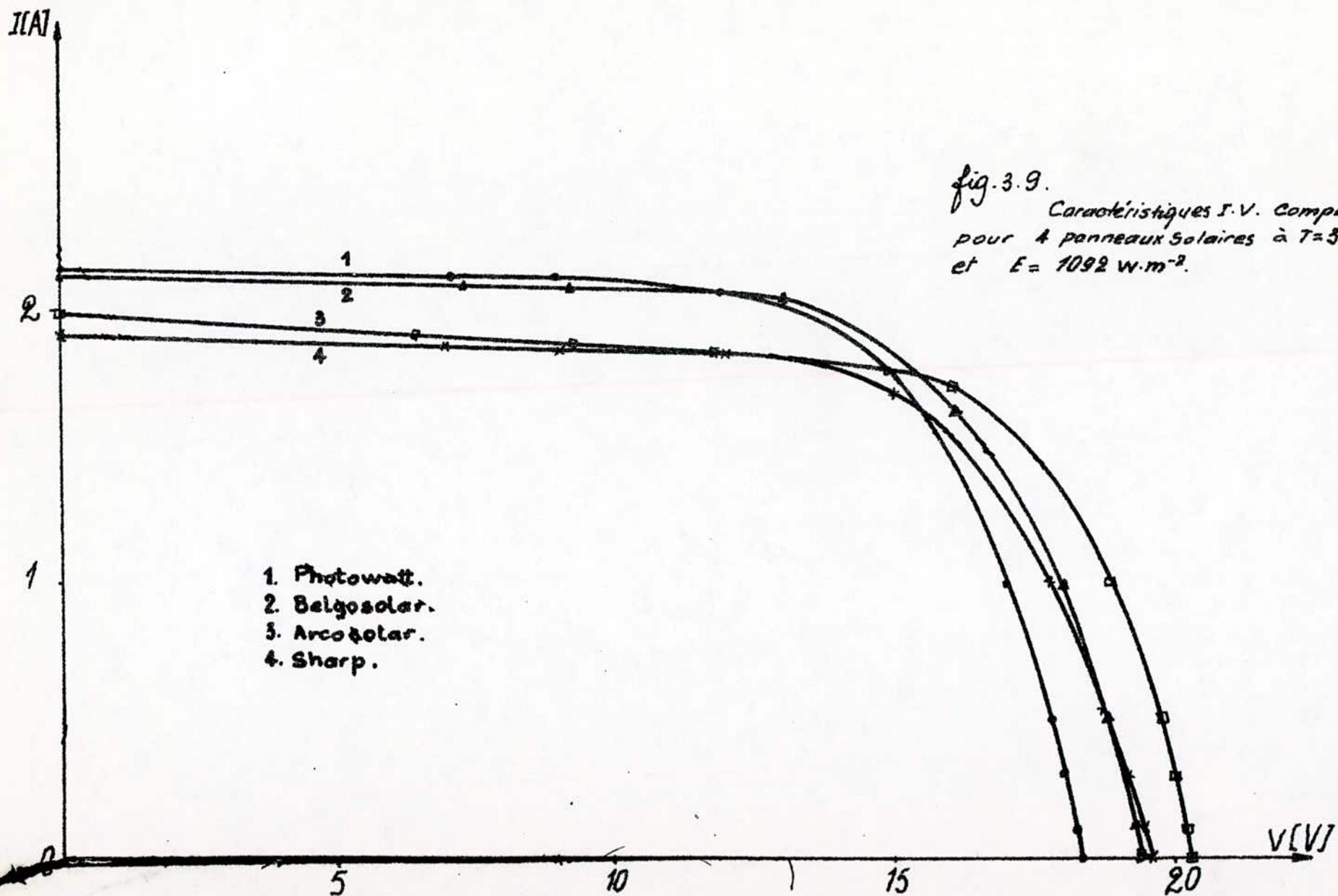


fig. 3.9.
 Caractéristiques I.V. Comparées
 pour 4 panneaux solaires à $T=34.5^{\circ}C$
 et $E=1092 W.m^{-2}$.

- 1. Photowatt.
- 2. Belgosolar.
- 3. ArcoSolar.
- 4. Sharp.

-= C O N C L U S I O N =-

Le présent travail nous a permis d'apprécier le comportement d'un système solaire photovoltaïque de faible puissance.

Parmi les paramètres déterminants qui influent sur le fonctionnement d'un tel système et que les résultats expérimentaux mettent en évidence citons :

- 1°) Les données météorologiques précises sont indispensables pour le dimensionnement optimal des différents organes du système .
- 2°) L'inclinaison des capteurs, en fonction du site et de la période de l'année doit être optimisée.
- 3°) Une bonne aération des panneaux est nécessaire. En effet les caractéristiques des panneaux se dégradent lors de l'augmentation de la température ~~et~~
~~de~~ .

D'autre part les essais effectués sur le régulateur que nous avons réalisé ont été concluants . Ceci nous amène à penser qu'un tel régulateur peut avoir un développement futur important , du fait qu'il peut être associé à de nombreux systèmes photovoltaïque, avec différents récepteurs augmentant ainsi le taux d'intégration nationale .

A N N E X E 1

RAPPELS SUR LE REPERAGE DU SOLEIL:

1- DECLINAISON DU SOLEIL δ :

C'est l'angle fait par le plan de l'Ecliptique et le plan équatoriale (figA.1), cet angle peut ^{être} calculer par les deux formules approximatives suivantes ./11/

$$- \delta = 23,45 \sin \frac{360(284 + n)}{365}$$

$$- \sin \delta = 0,4 \sin \frac{360N}{365}$$

avec : n : numéro du jour depuis le 1^{er} janvier

N : numéro du jour depuis l'équinoxe du Printemps

Les valeurs particulières :

$$\delta = +23^{\circ}27' \text{ au solstice d'été (22 Juin)}$$

$$\delta = -23^{\circ}27' \text{ au solstice d'hiver (22 Décembre)}$$

$$\delta = 0^{\circ} \text{ aux équinoxes du printemps (21 Mars)}$$

et de l'automne (23 Septembre)

2- L'ANGLE HORAIRE H :

C'est l'angle qui indique la rotation apparente du soleil autour de l'axe polaire, c'est l'angle fait entre le méridien passant par le centre du soleil et le méridien du lieu proprement dit.

Par convention $H = 0$ à midi "temps solaire vrai"

$$H = \frac{360t}{24} = Wt \quad t \text{ en heure et } H \text{ en degré}$$

La durée du jour solaire vrai varie avec les époques de l'année, le temps solaire vrai est donné par la relation suivante ./11/

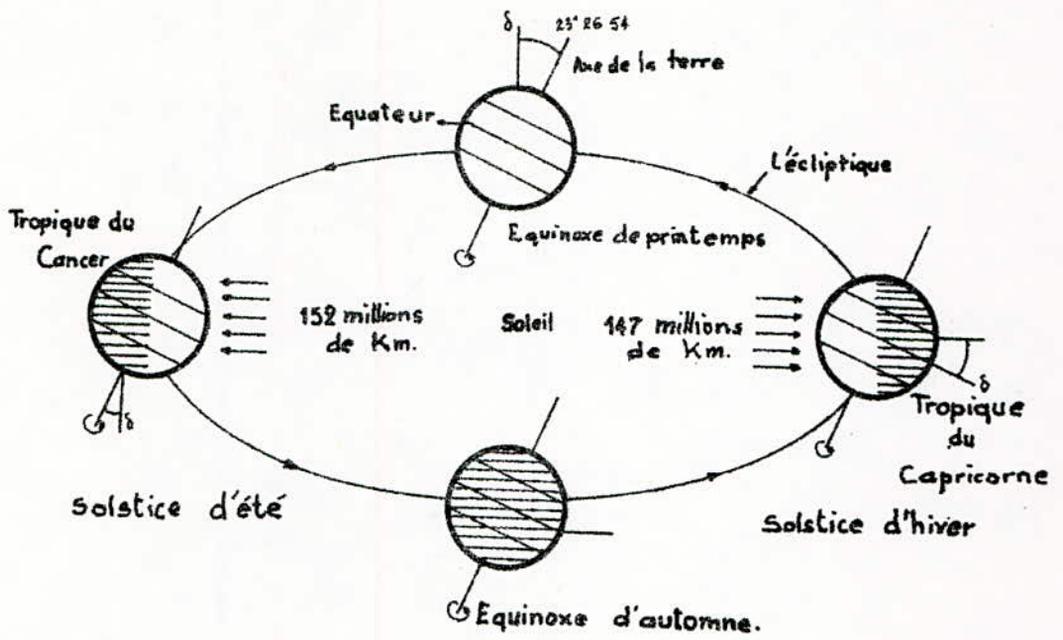


Fig. A.1.1. MOUVEMENT DE LA TERRE AUTOUR DU SOLEIL

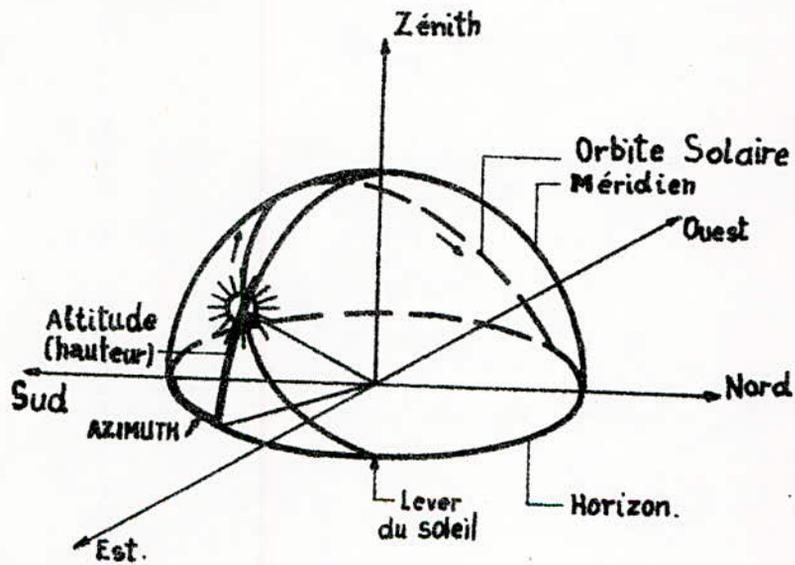


Fig. A.1.3. COORDONNÉES SOLAIRES

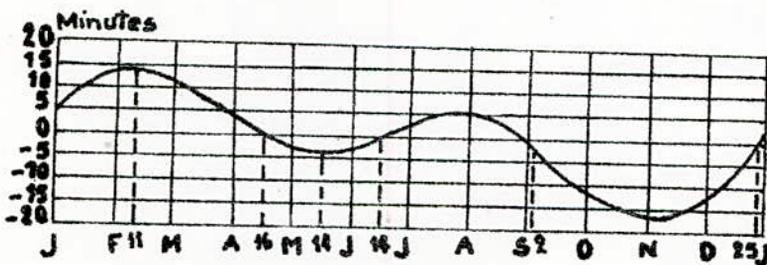


Fig. A.1.2. EQUATION DU TEMPS.

A N N E X E

CELLULES SOLAIRES :

1 - THEORIE D'UNE DIODE CLASSIQUE :

1.1 - SEMI-CONDUCTEUR INTRINSIQUE :

La structure énergétique d'un semi-conducteur intrinsèque (pur) est sensiblement la même que celle d'un isolant.

- A 0°K, la bande de valence E_v , est saturée d'électrons tandis que la bande de conduction est vide, donc le monocristal n'est plus conducteur.

- A une température T , la probabilité de trouver un électron au niveau d'énergie E , est donnée par la fonction de Fermi-DIRAC/9/

$$P(E) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{E-E_f}{KT}\right)}$$

K = constante de Boltzman

E_f = niveau de FERMÍ (au milieu de la bande)

· Pour le niveau de FERMÍ : $P(E_f) = \frac{1}{2}$ (fig A.2.1)

- Donc a $T > 0K^\circ$, la probabilité de trouver un électron dans la bande de conduction n'est pas nulle, et n'est pas tout a fait 1 dans la bande de valence .

1.2 - SEMI-CONDUCTEUR EXTRINSEQUE :

a- TYPE P : Si l'on introduit dans un réseau de silicium une impureté trivalente (Bore, Aluminium, Galium, Indium) les Atomes d'impureté ne peuvent établir que trois liaisons covalentes avec les atomes de silicium voisins, donc ils fournissent un trou, d'ailleurs avec une très faible énergie (de l'ordre de 0,01 eV), il sera facile pour un électron d'une liaison voisine de combler ce trou avec apparition d'un nouveau trou.

.../...

La simple agitation thermique est suffisante pour libérer un trou par atome d'impureté, d'où l'accroissement important de la concentration en porteurs de charges positives par rapport au semi-conducteur intrinsèque.

Ici les trous sont des porteurs majoritaires et les électrons des porteurs minoritaires. Les atomes trivalents représentent des "Centres accepteurs" pour avoir capté un électron et deviennent des ions négatives, qui restent fixes dans le réseau cristallin.

Les trous provenant des impuretés ont un niveau d'énergie qui se situe dans le bas de la bande interdite, très près de la bande de valance, donc un déplacement du niveau de FERMI E_f vers le bas de la B.I (fig A.2.2

b-TYPE N : Lorsque l'on introduit, dans le réseau cristallin 'Si' une impureté pentavalente (Phosphore, Arsenic, Antimoine,) les Atomes d'impuretés établiront des liaisons covalentes avec celles du silicium voisins, mais il reste le cinquième électron non engagé dans les liaisons covalentes, qui sera facilement libéré (énergie de l'ordre de 0,01 eV) de même la simple agitation thermique permet la libération d'un électron par Atome d'impureté, donc une concentration importante en porteurs négative par rapport au semi-conducteur intrinsèque.

Dans ce type de dopage, les électrons sont majoritaires, alors que les trous sont des porteurs minoritaires, et les atomes pentavalents sont appelés "centres donneurs" qui deviennent des ions positifs et restent fixe dans le réseau cristallin.

L'électron excédentaire a son niveau d'énergie dans le haut de la bande interdite, près de la bande de conduction il s'ensuit un déplacement du niveau de FERMI E_f vers le haut de la B.I (fig A.2.3

Par conséquent la probabilité de trouver à une température T, des électrons dans la bande de conduction est plus grande.

.../...

1.3 - JONCTION : P-N

Lors de la mise en contact des deux matériaux N et P , à l'équilibre thermodynamique le niveau de FERMI sera le même pour l'ensemble des porteurs en équilibre (électron - trou) , donc on assiste a une dénivellation entre les bandes de part et d'autre de la jonction et formation d'une barrière d'espace (barrière de potentiel) fig A.2.4 .

En effet, a l'interface, les électrons diffuse de la couche N vers la couche P Du fait du gradient de concentration, élevé, le courant de diffusion des électrons (porteurs majoritaire) s'écrit./3/

$$I_n = e D_n \frac{dn}{dx} \quad \text{avec} \quad D_n = \mu_n \frac{KT}{e}$$

- e : charge unitaire
- μ_n, μ_p : mobilités des électrons et des trous respectivement
- N et P : concentration des électrons et des trous //
- D_n, D_p : constantes de diffusions des
- K : constante de BOLTZMAN
- T : Température

De même, la diffusion des trous dans la direction opposée,

$$I_p = e D_p \frac{dp}{dx} \quad \text{avec} \quad D_p = \mu_p \frac{KT}{e}$$

Mais alors, du fait du déplacement des électrons de N vers P ils laissent derrière eux un déficit de charge négative, de même les trous laissent un déficit en charge positive dans la face opposée, d'où l'apparition de charges d'espace (fixes) et un champ électrique s'établit dans la jonction P-N, ce champ local donne naissance aux courants de champ d'électrons et de trous :

$$i_n = e \cdot \mu_n \cdot n \cdot E \quad \text{et} \quad i_p = e \cdot \mu_p \cdot p \cdot E$$

.../...

À l'équilibre, les courants de champ compensent exactement les courants de diffusion, aucune particule ne passe à travers l'interface.

L'énergie séparant les charges entre les faces de la jonction est ($e \cdot V_d$)

V_d : tension de diffusion (environ 1V)

1.4-RECOMBINAISON :

La théorie de la diode doit être élargie, car l'hypothèse que la recombinaison est faible partout dans le cristal, peut ne pas être vérifiée, et particulièrement à l'intérieur de la jonction.

SHOCKLEY a démontré que le courant de recombinaison étant égal à : /3/

$$I_r = I_{r_0} \left(\exp\left(\frac{eV}{kT} - 1\right) \right)$$

$A = 2$ quand les centres de recombinaison se situent au milieu de la bande interdite et sont uniformément distribués.

$A > 2$; il y a des courants élevés à tension faible, cela est dû à l'existence d'un courant ohmique de shunt ($I_{sh} = V/R_{sh}$) dans la jonction peu profonde et de grande surface de cellules solaires.

Et enfin, le courant total dans une diode polarisée est :

$$I = I_p + I_n = I_s \left(\exp\left(\frac{eV}{kT} - 1\right) \right)$$

avec :

$$I_s = e \left(\frac{D_n \cdot n_p}{L_n} + \frac{D_p \cdot p_n}{L_p} \right) \text{ Courant de saturation}$$

L_n, L_p = Longueurs de diffusion des électrons et trous respectivement.

-- En règle générale, les coefficients $A > 1$ ont un effet négatif sur le rendement des cellules solaires. /3/

.../..

2-JONCTION ECLAIREE :

La caractéristique I-V d'une diode éclairée est identique à sa caractéristique dans l'obscurité, mis à part l'addition d'un photocourant. En effet, lorsque on soumet la jonction P-N à un éclairement constitué de photons dont l'énergie est supérieure à l'énergie de conduction E_i , des paires électrons-trous sont libérées (figA.2.5), il en résulte un accroissement important de la concentration en porteurs minoritaires.

Il ne pourra y avoir photocourant que si: /9/

$$h\nu \gg E_i \quad \text{d'où} \quad \lambda \leq \frac{h \cdot C}{E_i} = \lambda_s$$

- λ_s : Seuil de photoconduction (front d'absorption du matériau)
- C : Célérité de la lumière.
- ν : Fréquence des radiations.
- h : Constante de PLANCK ($6,62 \cdot 10^{-34}$ j.s)

La fraction d'énergie des photons supérieure à ($E_c - E_v$) est transformée en énergie thermique . (figA.2.6)

Les paires électron-trou créées à l'intérieur de la jonction sont directement exposées au champ V_d/W où W est la largeur de la jonction . Ce champ est très important, car V_d est de l'ordre de 900mV à la température ambiante . Pour $W = 0,5 \mu m$ (pour un matériau de 1 ohm.cm) $E = 10 \text{ KV/cm}$, dans un champ si important , les porteurs ne suivent plus la simple équation :

$$v = \mu \cdot E \quad \mu : \text{mobilité des porteurs de charges}$$

puisque, la vitesse de déplacement au dessus d'une certaine intensité du champ est limité par l'interaction avec le réseau,

Elle atteint environ 10^7 Cm/s pour le Silicium.

Pour $E = 10 \text{ KV/cm}$ quise produit aux jonctions des cellules solaires, ce maximum est effectivement atteint, donc le courant de champ dans la jonction : /3/

$$I = e \cdot n \cdot v = \text{constante}$$

.../..

c'est pourquoi le photocourant reste constant quelque soit la tension appliquée à la cellule tant qu'elle reste inférieure à V_d , et ne dépend que de l'intensité de la lumière.

3-INFLUENCE DE TEMPERATURE SUR LA CELLULE SOLAIRE :

Le rendement décroît fortement avec la température et surtout pour les matériaux qui ont des bandes interdites étroites.

Ceci est du fait que le niveau de FERMI se déplace au milieu de la bande interdite quand la température augmente, car au dessus d'une certaine température les électrons ionisés thermiquement depuis la bande de valence E_v jusqu'à la bande de conduction E_c deviennent plus nombreux que les donneurs ou les accepteurs du cristal, celui-ci "oublie" alors qu'il est dopé, donc le niveau de FERMI se déplace vers le milieu de la bande interdite dans les deux couches P et N, donc, la jonction disparaît, car la concentration des électrons dans la bande de conduction étant la même partout, alors la phototension disparaît aussi.

Pour le Silicium cela se produit qu'au dessus de $400^\circ K$ environ (fig A.2.8)

La puissance utile délivrée par la photovolté diminue lorsque la température augmente à cause de la diminution de V_{oc} , alors que le photocourant n'est pas affecté (fig A.2.9)

	! Tension de circuit ouvert	! Courant de court-circuit
ECLAIREMENT	! PETITE VARIATION (fonction logarithmique)	! GRANDE VARIATION (fonction linéaire)
TEMPERATURE	! GRANDE VARIATION (fonction linéaire)	! PETITE VARIATION (effet d'ordre 2)

TABLEAU A.2.1: Variation de la phototension et du photocourant en fonction de l'éclairement et de la température.

4-CARACTERISTIQUES DE LA CELLULE SOLAIRE :

On remarque sur la (figA.2.7) que même si aucune tension n'est appliquée à la jonction, le photocourant continue à passer et est mesurée comme courant de court-circuit I_{cc} .

La condition de circuit ouvert est réalisée quand le photocourant est compensé par le courant d'obscurité (de diode) associé à la phototension qui produit un courant direct exactement comme une tension extérieure.

- PUISSANCE D'UNE PHOTOPILE :

Fermée sur un circuit, la cellule solaire se comporte comme un générateur, et la puissance maximale débitée est obtenue en optimisant le produit $I \times V$ (fig A.2.7)

$$P_m = V_m \cdot I_m \quad P_m, V_m, I_m \text{ sont la puissance, tension et courant optimaux}$$

Cette optimisation est réalisée en maintenant la cellule à (V_m, I_m) soit ;

-- En lui appliquant une tension extérieure V_m .

-- Où bien, en le couplant à une résistance de charge égale à son impédance interne :

$$R_{op} = V_m / I_m$$

La puissance maximale est reliée à I_{cc} et V_c par la relation :

$$P_m = F \cdot V_c \cdot I_{cc} \quad \text{Avec } F = \frac{V_m I_m}{V_c I_{cc}} \quad (\text{facteur de forme où de remplissage})$$

-RENDEMENT DES CELLULES SOLAIRES:

Le tableau A.2.2 donne certaines valeurs de rendements pour les cellules actuelles.

$$\eta = \frac{P_m}{P_{in}} = \frac{\text{Puissance électrique convertie}}{\text{Puissance de lumière incidente}}$$

.../..

-SCHEMA EQUIVALENT :

A cause des imperfections de la cellule , en pratique , il est incomplet d'assimiler une photodiode à un générateur de courant en parallèle avec une diode, car la couche diffusée et les contacts ont une résistance R_s . Par ailleurs on a des courants de fuites qui court-circuite la jonction , ont pour effet, équivalent à un shunt R_{sh} .

Les valeurs de R_s et R_{sh} sont donnée par l'inverse de la dérivée $\frac{dI}{dV}$ au points V_c et I_{cc} respectivement .

Ainsi la caractéristique d'une photodiode réelle peut être décrite par la relation: /12/

$$I - \left(\frac{V - IR_s}{R_{sh}} \right) = I_s \left[\exp \left(\frac{e(V - IR_s)}{nKT} - 1 \right) \right] - I_{ph}$$

I_{ph} : photocourant

n ; coefficient d'idéalité ($n = 1$ pour une photodiode idéale où le courant est un courant de diffusion sans recombinaison, en pratique il est compris entre 1 et 2.

TABLEAU.2.2 : Différents types de cellules solaires /12/

MATERIAU SENSIBLE	STRUCTURE	TYPE DE CELLULE	V _c (mV)	η %
Silicium Si	monocristal	jonction P-N	540	14
Silicium Si	monocristal	diode à SCHOTTKY	500	12,5
Silicium Si	polycristal	jonction P-N	495	6,2
Silicium Si	monocristal	M-I-S	520	9,5
Silicium Si	amorphe, couche mince	SCHOTTKY	800	5,5
CdS-Cu _x S	polycristal couche mince	Heterojonction P-N	480 à 540	5,8
CdS-Cu _x S	polycristal couche mince (SPRAY)	Heterojonction P-N	410	5
CdS-CdTe	CdS polycristal CdTe monocristal	Heterojonction P-N	630 à 600	8
InP-CdS	monocristal	Heterojonction P-N	620	12,5
GaAs	monocristal	jonction P-N	900 à 950	12
GaAs	couche mince	SCHOTTKY	650	5
GaAs	monocristal	M-I-S	630	15

fig. A.2.2.

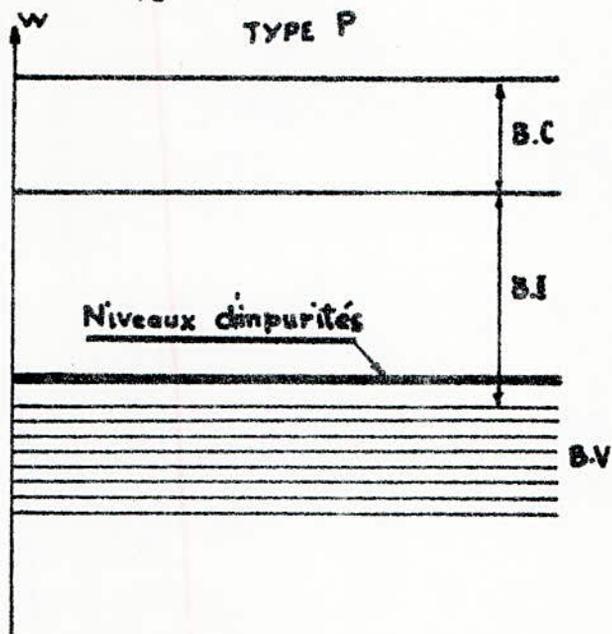


fig. A.2.3.

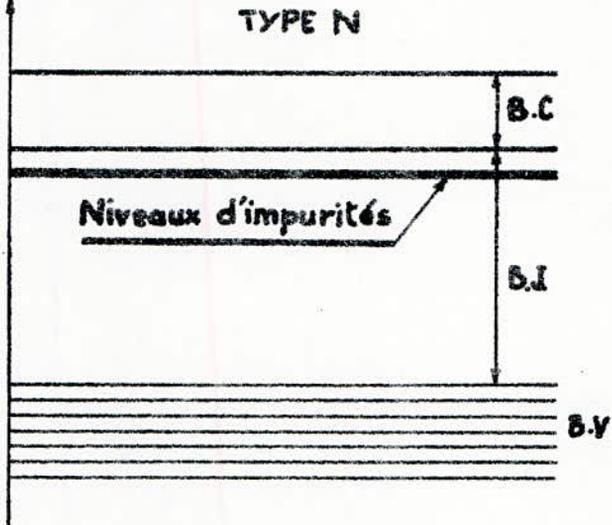
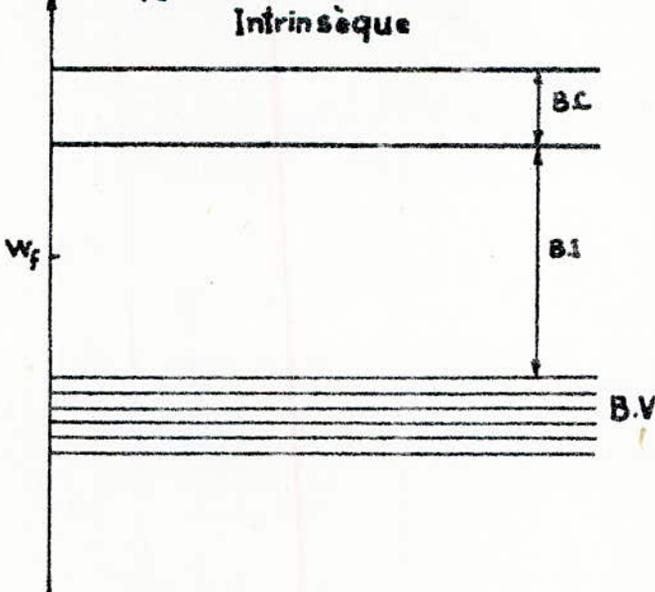


fig. A.2.1



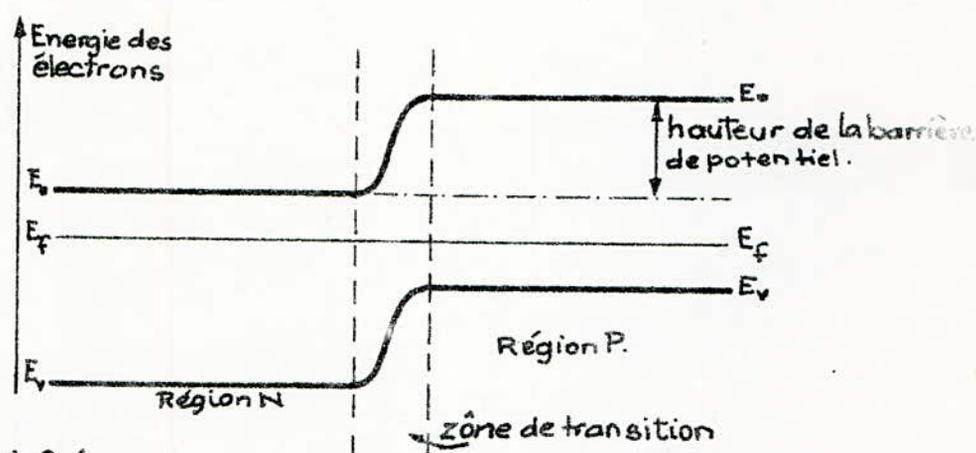


fig. A.2.4. SCHEMA DE BANDE D'UNE JONCTION P-N (à l'équilibre).

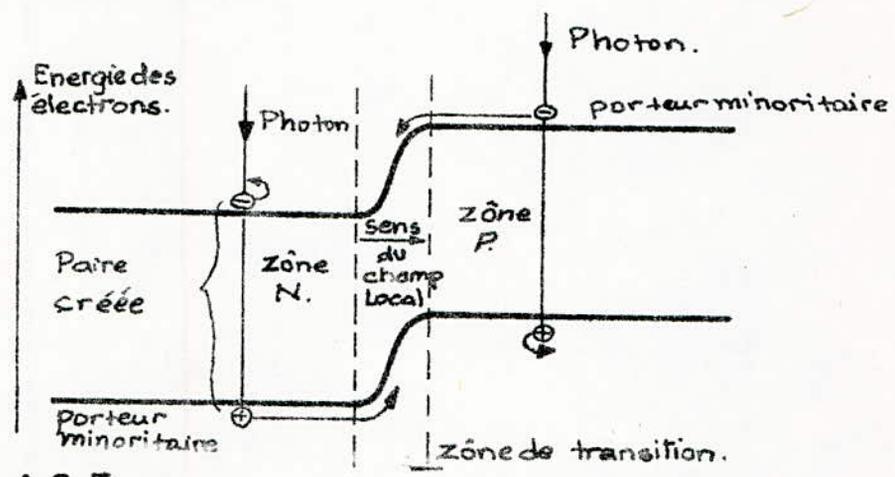


fig. A.2.5. Schéma de bande d'une jonction PN (sous éclaircissement).

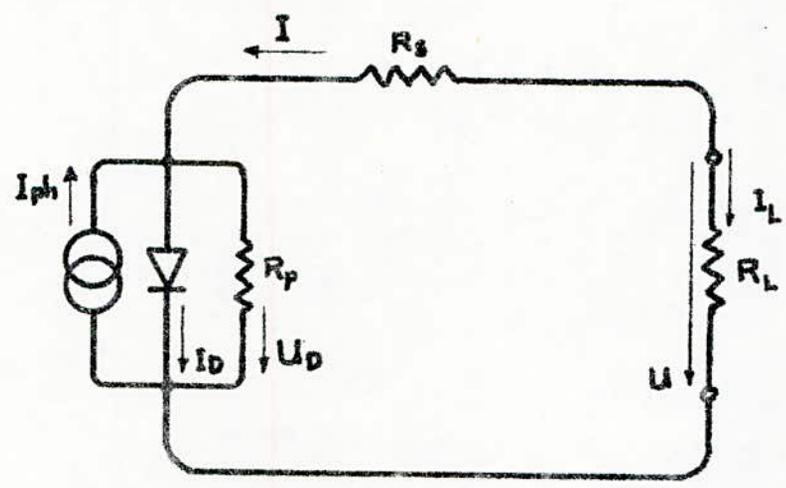


fig. A.2.7. SCHEMA EQUIVALENT D'UNE CELLULE SOLAIRE.

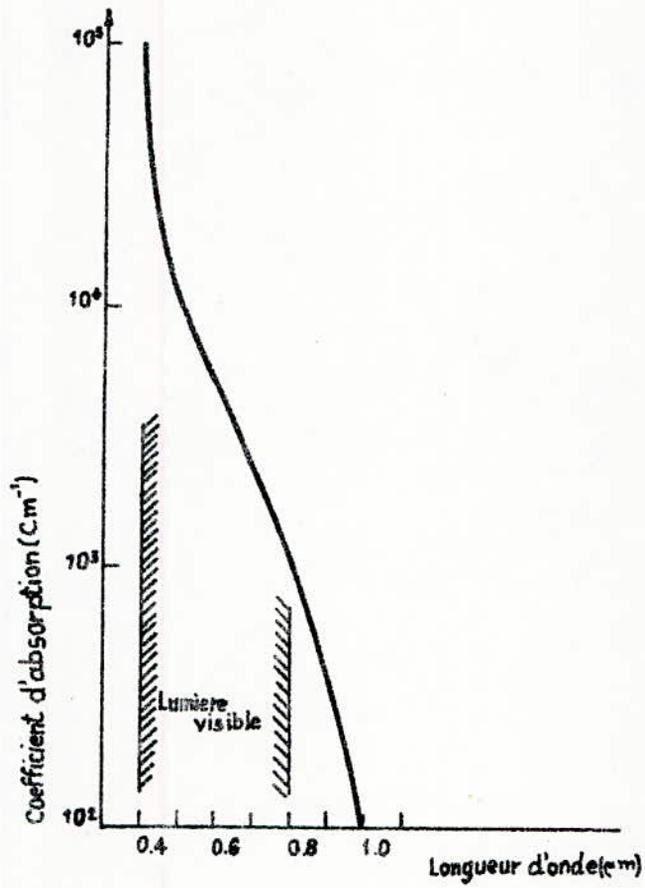


fig. A.2.6. Rendement maximal en fonction de la température.

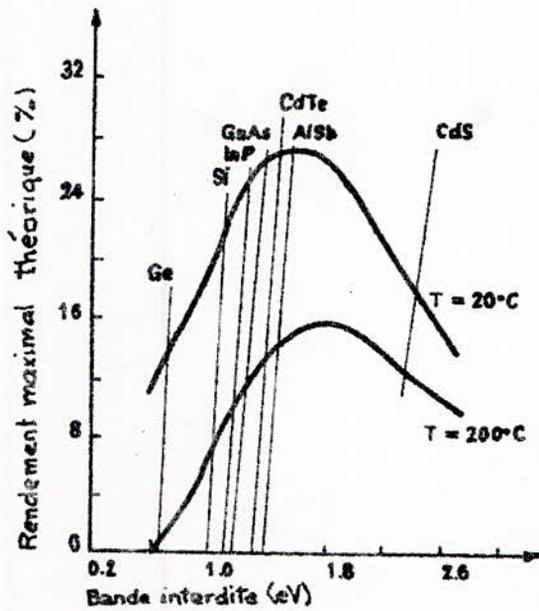


fig. A.2.8. Coefficient d'absorption des monocristaux au silicium.

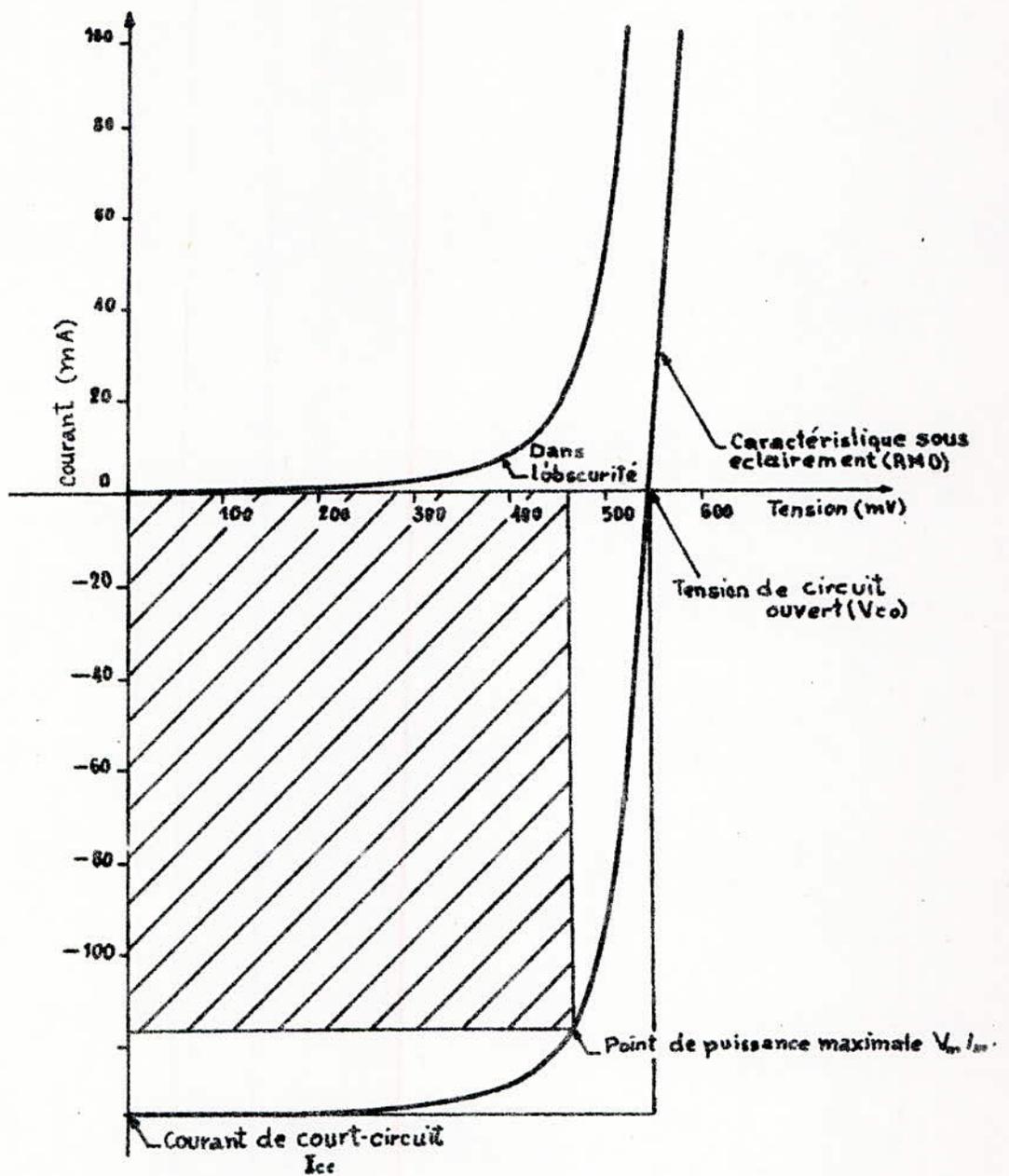


fig. A.2.9. CARACTERISTIQUE I-V D'UN CELLULE SOLAIRE.

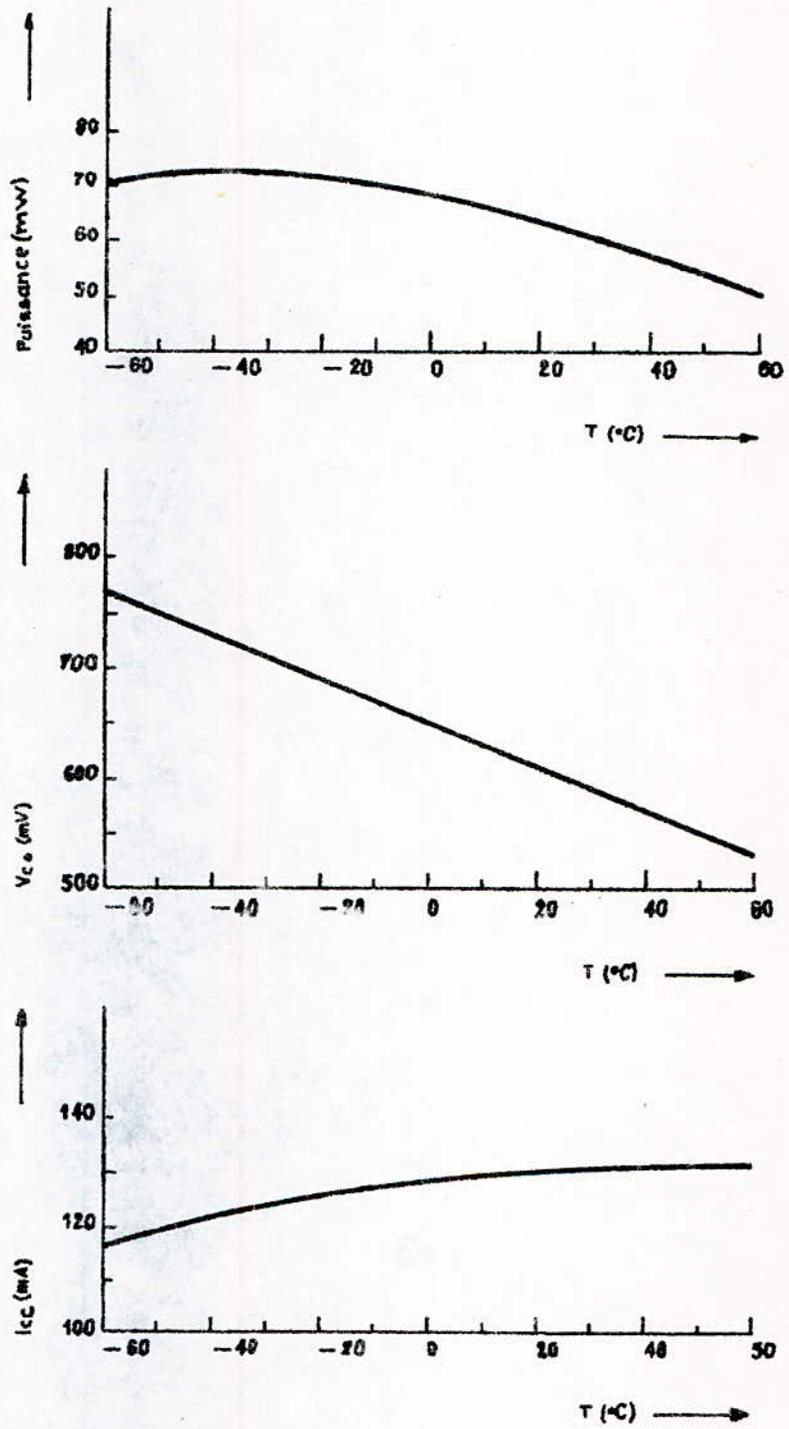


fig. A.2.10.
Effet de la température sur les paramètres
d'une cellule solaire (4 cm^2)

B I B L I O G R A P H I E

- /1/ : KONDRATYEV "Radiation in the atmosphere", Leningrad University. printed in the U.S.A 1969.
- /2/ : F . BRENIERE "Energie solaire et climatisation des locaux" Edition Europeenne "THERMIQUE & INDUSTRIE"
- /3/ : W.PALZ " Solar Electricity" Dunod-UNESCO . 1981.
- /4/ : Projet de fin d'etude " Etude d'un micro-centrale solaire"
Proposé par MR ADDANE
- /5/ : P.LEMEYER "Electronique Application" N°22 fev/mars 1982
- /6/ : R.A.HARVEY "Emploi et charge des accumulateurs électriques"
Dunod - paris 1956.
- /7/ : ROGER DUMON "Energie Solaire et Stockage D'énergie"
Masson .1978.
- /8/ : AIDE MEMOIRE "Electrotechnique appliquée" Dunod.1979.
- /9/ : S.COEURDAGIER"Electronique" DUNOD .1979.
- /10/ : B.CHASSAGNE-C.DUPPUY-M.LEVY. "Energie solaire Conversion et Application " Edition de C.N.R.S 1977.
- /11/ : Projet de fin d'etude "Etude et realisation d'un cuisseau solaire " Etudié par LARBI CHENOuat-AHFAID BENSALAH.
- /12/ ; EL HENDISS N° 6 .

