

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT **ELECTRONIQUE**

**PROJET DE FIN D'ETUDES**

**S U J E T**

ETUDE ET REALISATION  
D'UN

**REGULATEUR**

DE CHARGE BATTERIES

Proposé par :

Etudié par :

Dirigé par :

A. MEFTAH

M. MAMERI

A. MEFTAH

K. CHENAOUA

المدرسة الوطنية للعلوم الهندسية

المكتبة

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

BIBLIOTHEQUE

PROMOTION  
Janvier 85

## Remerciements

Nous tenons à remercier tous ceux qui ont participé à notre formation et plus particulièrement aux enseignants de L'E.N.P.A.

Nos remerciements vont également à nos amis DJEBLOUN Saïd ainsi qu'à toute sa famille et LARBES cherif, pour nous avoir aidé et tenu compagnie.

Que tout le personnel de la station Solaire de Bouzareah trouve ici l'expression de notre profonde sympathie.

# DEDICACES

A nos parents

A nos frères et soeurs.

A tous nos amis

Vous dédions cette étude

# SOMMAIRE

Pages

Avant propos	
Introduction -----	1
1 <sup>ere</sup> Partie : Etude theorique	
I. <u>Etude du Rayonnement solaire</u>	
1. Introduction -----	2
1.1. origine du rayonnement solaire	
2. Rayonnement solaire -----	3
2.1. Generalités	
2.2. Influence de l'atmosphere	
2.3. Energie reçue par une surface plane	
II. <u>Description d'une Centrale Solaire</u>	
1. Generalités -----	12
2. Panneaux Solaires -----	13
2.1. Les photopiles	
2.2. Module	
2.3. Panneau	
2.4. Generateur photovoltaïque	
2.5. Protection des modules	
2.6. Les photopiles sous concentration	
3. Regulation -----	25
4. Stockage -----	26
4.1. Presentation des differents types d'accumulateurs	
4.2. Caracteristiques des accumulateurs.	



4.3 - charge des accumulateurs	
4.4 - Auto-decharge	
4.5 - Durée de vie des accumulateurs	
5 - Conversion	44
<b>III - <u>Le regulateur</u></b>	
1 - Generalités	45
1.1 - necessite du regulateur	
1.2 - Conception	
1.3 - Principe de fonctionnement	
2 - Différents types de regulateurs	51
2.1 - Eclairage public, balises, clignotantes	
2.2 - Utilisation domestique	
2.3 - balisage radio	
3 - Exemples de regulateurs	52
3.1 - Regulation PW10C de Photowatt	
3.2 - Regulateur simplifié	
4 - Conclusion	55

## 2<sup>eme</sup> Partie : Etude Experimentale et Realisation

<b>I - <u>Description et principe de fonctionnement du regulateur realise</u></b>	
1 - Description du montage	57
1.1 - Partie Commende	
1.2 - Partie Puissance	
2 - Calcul des composants	63
2.1 - Resistances de polarisation de diodes zener	

2.2 - Restrictions des ponts diviseurs	
3 - Compensation en température	64
4 - Consommation	65
5 - Justification du choix des C.I. MOS. CD4011	66
6 - Remarques et conclusions	67

## II Dimensionnement de la centrale solaire dans le cas d'une utilisation domestique

1 - Introduction	69
2 - Calcul du nombre de panneaux solaires	69
2.1 - Orientation optimale du Capteur	
2.2 - Puissance moyenne journalière convertie	
2.3 - Puissance moyenne journalière consommée	
2.4 - Détermination du nombre de panneaux	
3 - Calcul de la Capacité de l'accumulateur	76
4 - choix de l'association des panneaux	78
5 - Conclusion	78

Conclusion ..... 80

### Annexe

- Perspective de l'énergie solaire en Algérie.
- schéma d'implantation du régulateur réalisé et nomenclature des composants

## — Avant propos —

Ce projet se compose de deux grandes parties

1. Partie Théorique
2. Partie pratique

Dans la partie Théorique nous expliquons ce qu'est la Conversion photovoltaïque et nous étudions les différents composants d'une Centrale Solaire. Tandis que dans la deuxième partie on présente les travaux relatifs à la réalisation et à la caractérisation d'un régulateur de charge photovoltaïque

Nous avons introduit ce travail par une étude du rayonnement solaire, étude nécessaire pour l'optimisation de toute installation photovoltaïque.



# Introduction

L'énergie solaire est, sans doute celle qui parmi les énergies renouvelables suscite le plus d'intérêt dans les pays industrialisés. Le manque de combustible fossile de ces pays et l'état limité des ressources mondiales, ont permis en effet la remise en cause des produits pétroliers. L'énergie solaire par sa régularité annuelle et par sa distribution répartie, apparaît alors comme une source alternative primordiale d'énergie.

## Historique sur l'utilisation de l'énergie solaire

Depuis la plus haute antiquité, les hommes ont cherché à exploiter l'énergie "magique" que nous dispense le soleil, Les hiérophantes grecs pour rallumer le feu sacré, Archimède en 212 avant J.C. pour mettre le feu à la flotte de Marcellus. C'est LAVOISIER qui le premier, réalisa un four solaire en utilisant deux lentilles convergentes, qui lui permettaient de fondre du fer et même d'atteindre le point de fusion du platine.



1<sup>ere</sup> Partie

\_ ETUDE

THEORIQUE \_

# I. Etude du Rayonnement Solaire

## 1 Introduction

L'énergie solaire disponible au sol a des caractéristiques très différentes de celles des sources d'énergie habituellement utilisées. Les énergies classiques sont en effet disponibles à tout instant, leurs caractéristiques sont indépendantes du temps, de l'heure, de la saison. Il est donc utile de rappeler les caractéristiques de l'énergie solaire, et ce, afin d'attirer l'attention sur les conséquences à en tirer, à l'occasion de la conception et de la réalisation des installations solaires.

### 1.1 Origine du rayonnement solaire

Le soleil est un gigantesque four cosmique constitué par des gaz soumis à des pressions énormes, dont la masse totale représente environ 350.000 fois celle de la terre. La terre reçoit en permanence  $2 \cdot 10^{17}$  kw d'énergie électromagnétique provenant du soleil, le flux à la limite de l'atmosphère est en moyenne de  $1353 \text{ w/m}^2$  (constante solaire). Le rayonnement électromagnétique du soleil s'étend dans un grand domaine de longueur d'onde de  $1 \text{ \AA}$  à plus de  $10 \text{ m}$ , mais les radiations qui arrivent jusqu'à la terre ont des longueurs d'ondes essentiellement comprises entre  $0,25 \text{ \mu m}$  et  $0,5 \text{ \mu m}$ . Celles qui transportent le plus d'énergie sont proches de  $0,5 \text{ \mu m}$ .



## 2 Rayonnement Solaire

### 2.1 Generalités

Le soleil est situé à 150 millions de kilomètres de la terre et c'est lui qui nous fournit, directement ou indirectement, la totalité de l'énergie consommée sur la terre. Cette énergie est produite, au centre du soleil, par des réactions thermonucléaires (fusion de l'hydrogène en hélium) suivant la réaction suivante :



De ces réactions qui font perdre au soleil 5 millions de tonnes de sa matière par seconde, résultent des températures très élevées (température superficielle du soleil 5500°C). La terre reçoit l'énergie provenant du soleil sous forme d'un rayonnement électromagnétique composé d'une partie visible (longueur d'onde moyenne ; 44% de l'énergie) et d'une partie invisible avec les ultra-violets (courtes longueurs d'ondes ; 3% de l'énergie) voir fig. 1 si la quantité d'énergie émise par le soleil est constante, celle qui atteint le sol terrestre est variable, en fonction de divers paramètres entre autres : l'état du ciel (clair ou nuageux), de l'atmosphère (troublée par des poussières, des brouillards, des brumes, des fumées) et la hauteur du soleil.

### 2.2 Influence de l'atmosphère

Au cours de la traversée de l'atmosphère, le rayonnement solaire est divisé en deux parties : le rayonnement direct et le rayonnement diffus, selon le principe suivant.



Lorsque le rayonnement solaire entre dans l'atmosphère, ce rayon rencontre des molécules de gaz, des gouttes d'eau, des poussières... . A chaque rencontre, une petite partie du rayonnement est absorbée par l'élément rencontré, une autre est déviée et prend une nouvelle direction et par conséquent une partie seulement arrive jusqu'au sol. Les rayons qui arrivent au sol, après avoir été déviés, un grand nombre de fois n'apparaissent plus comme venant du soleil mais de toute les directions : C'est la lumière diffuse. Il y a aussi les rayons lumineux qui n'ont pas été dispersés au cours de la traversée de l'atmosphère, ils constituent le rayonnement direct. Donc à travers ce qui précède nous remarquons l'influence de l'atmosphère sur la puissance énergétique du rayonnement solaire. Cette influence, est d'autant plus grande que la couche d'atmosphère traversée est plus épaisse. La quantité de rayonnement absorbée augmente avec la masse atmosphérique. Le parcours du rayonnement dans l'atmosphère varie en fonction du lieu et dépend de sa latitude, plus le lieu considéré est proche des pôles, plus la masse atmosphérique traversée est grande, et donc moins puissant est le flux énergétique (voir fig 2).

Le parcours du rayonnement dépend aussi du moment de la journée (position du soleil). Au couchant l'épaisseur atmosphérique devient très grande, et la puissance du rayonnement tend vers des valeurs voisines de zéro (voir fig 3).



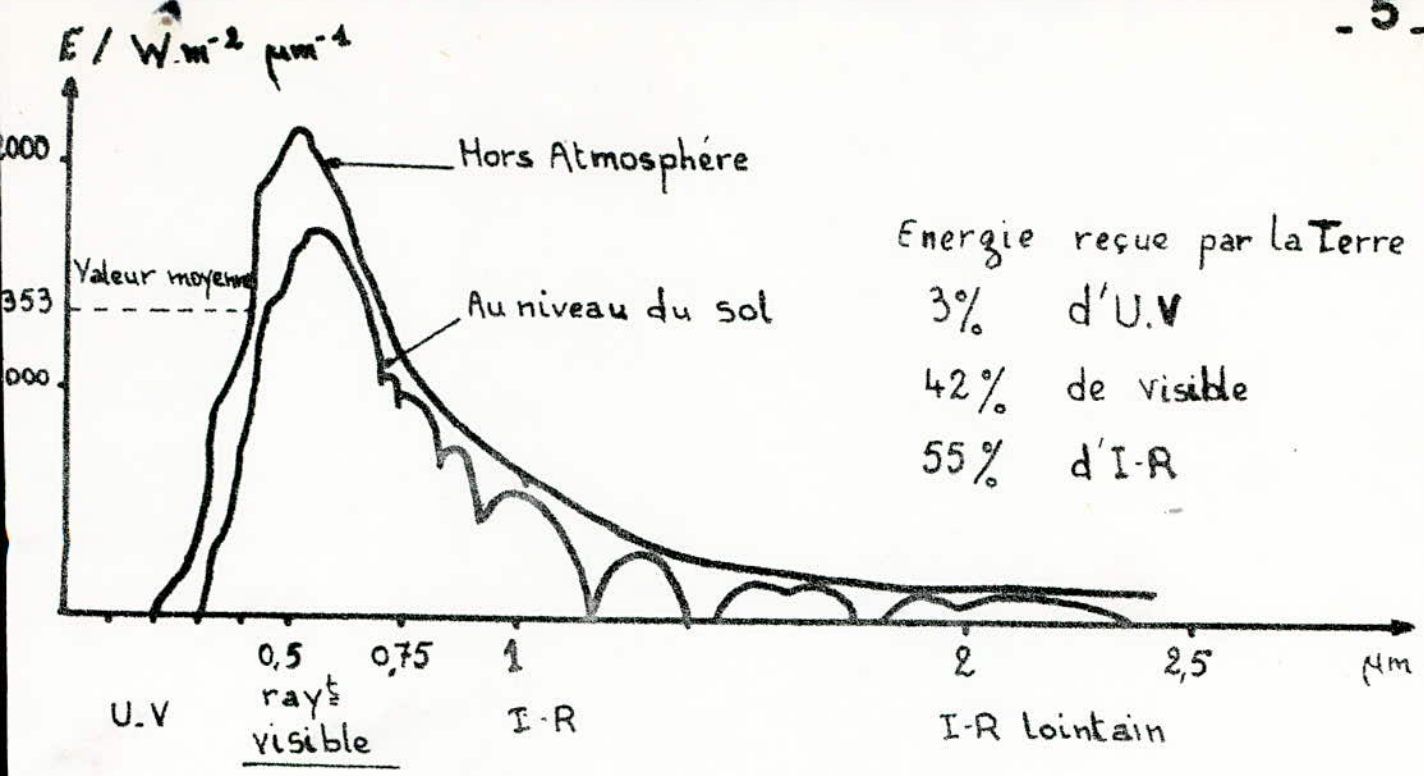


fig 1. - Spectre solaire -

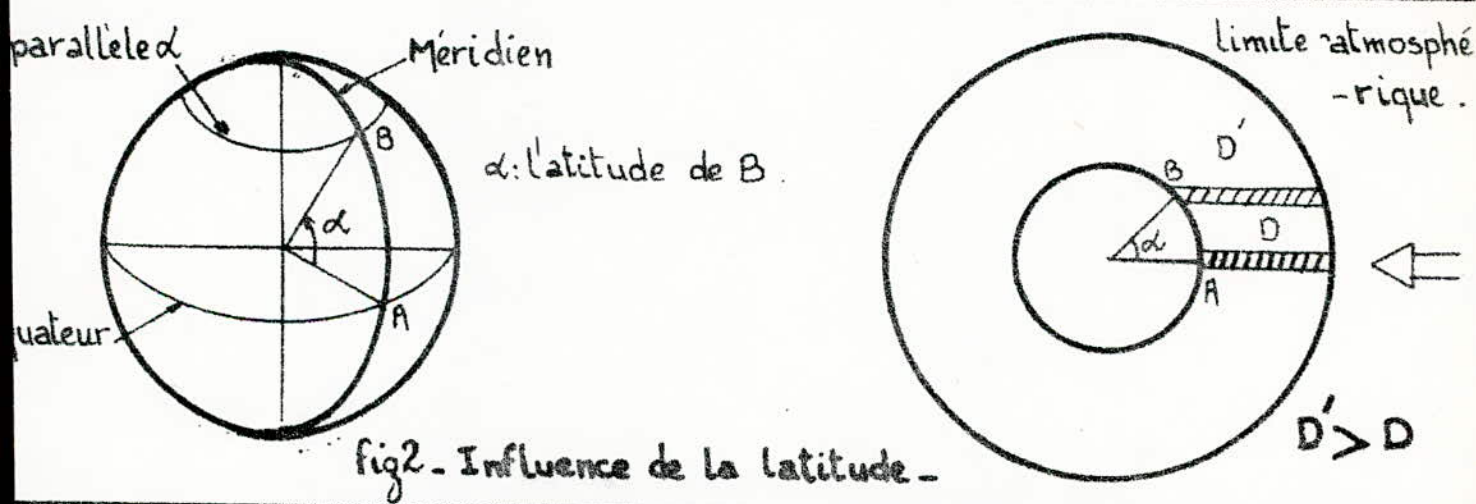


fig2. - Influence de la latitude -

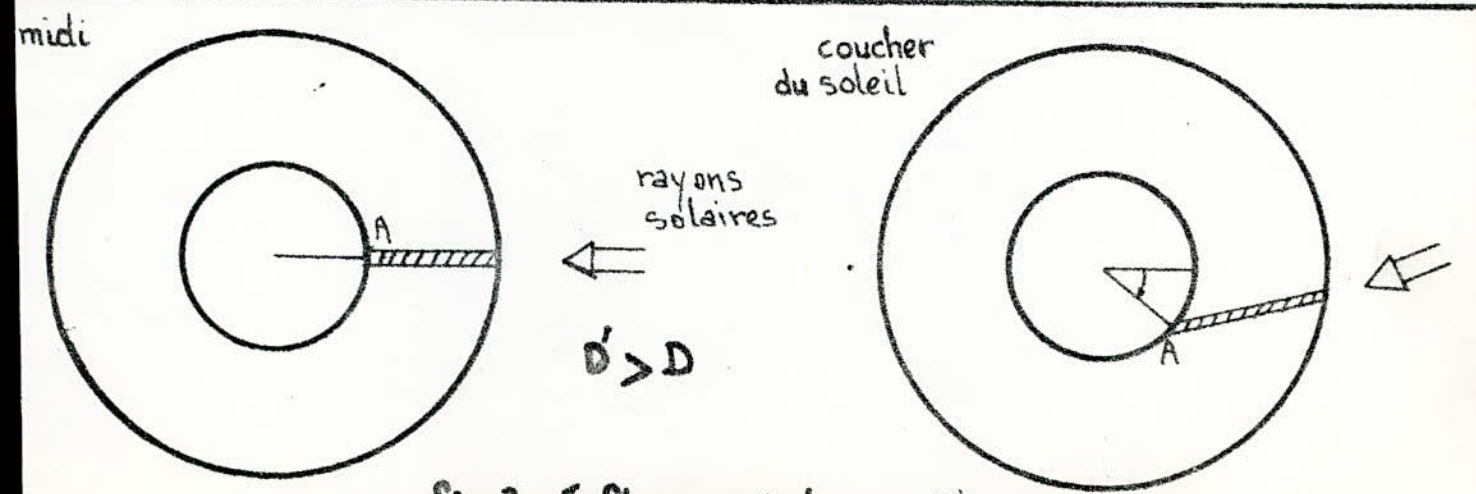


fig 3. - Influence de la position du soleil -

## 2.3 Energie reçue par une surface plane

Avant de donner l'expression de l'énergie reçue par une surface plane, quelques rappels sur les notions d'astronomie s'avèrent nécessaires.

### 2.3.1 Latitude, déclinaison

un point sur la terre est repéré par deux coordonnées angulaires : la latitude et la longitude .

L'origine des longitudes est Greenwich, en Angleterre :  $0^\circ$ .

les lieux situés à l'est sont comptés avec le signe plus (+), ceux situés à l'ouest le sont avec le signe moins (-).

L'arc de cercle qui joint le pôle nord, Greenwich et le pôle sud, est le méridien origine. Il existe 23 méridiens séparés chacun de  $15^\circ$  ( $24 \times 15 = 360^\circ$ ), donnant naissance aux 24 fuseaux horaires.

La latitude  $\varphi$  permet de repérer la distance angulaire d'un point quelconque à l'équateur, elle varie de  $0^\circ$  (équateur) à  $\pm 90^\circ$  (respectivement pour les hémisphères nord et sud).

### 2.3.2 Déclinaison Solaire $\delta$

La terre tourne autour du soleil sur une trajectoire elliptique contenue dans un plan ; la normale à ce plan, et l'axe de rotation de la terre font un angle  $\delta$  qu'on nomme déclinaison solaire et qui prend les valeurs suivantes :

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

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

$$\delta = 0^\circ \quad \text{aux équinoxes : de printemps (23 Mars)}$$

et d'automne (23 septembre)



entre ces quatre points remarquables,  $\delta$  prend toutes les valeurs intermédiaires qui peuvent se calculer par la relation :

$$\sin \delta = 0,4 \sin t$$

où  $t$  correspond au nombre  $N$  de jours écoulés depuis l'équinoxe de printemps multiplié par le facteur correctif  $\frac{360}{365}$

$$t = N \cdot \frac{360}{365}$$

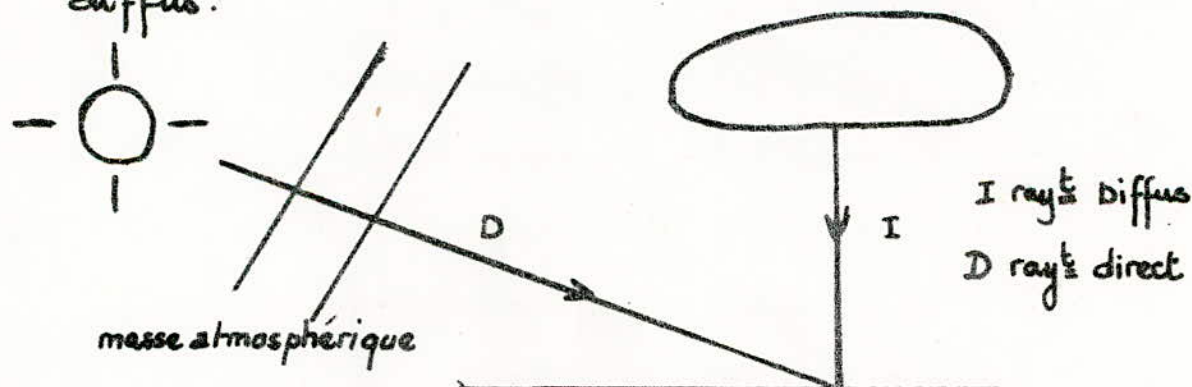
Après ces quelques données d'astronomie indispensables, voyons maintenant l'énergie reçue par une surface plane.

### 2.3.3 Expression de l'énergie reçue par une surface plane :

Le flux global de rayonnement est en général de la forme :

$$E = E_D + E_I$$

où,  $E_D$  et  $E_I$  sont respectivement les rayonnements, direct et diffus.



Le flux d'énergie reçu au sol a alors pour expression :

$$E(t) = E_1(t) = E_0 \vec{n} \cdot \vec{u} = E_0 \cos \nu$$

où  $\nu$  est l'angle d'incidence entre la normale à la surface du capteur, et la direction des rayons solaires.

$E_0$  est l'éclairement reçu par une surface perpendiculaire aux rayons solaires.

La fig 4.1 représente les paramètres définissant la position

géographique d'un Capteur Solaire.

Le plan  $zO\Delta$  définit le plan méridien et  $n \in zO\Delta$

Le plan équatorial est défini par le plan  $xOy$  et  $\vec{O\Delta} \in xOy$ .

Les rayons solaires arrivent parallèlement au plan  $xOy$ , leurs directions faisant un angle  $\hat{\delta}$  avec  $\vec{Oy}$ .

Dans le plan  $zO\Delta$  on a donc :

$$\vec{n} \begin{cases} \cos(L-\theta) \\ \sin(L-\theta) \end{cases}$$

dans le système de référence  $Oxyz$  les Composantes de  $\vec{n}$  et de  $\vec{u}$  seront respectivement

$$\vec{n} \begin{cases} \cos\left(\frac{\pi}{2} - H\right) \cos(L-\theta) \\ \cos H \cos(L-\theta) \\ \sin(L-\theta) \end{cases} \quad \vec{u} \begin{cases} 0 \\ \cos \delta \\ \sin \delta \end{cases}$$

$$\text{d'où } E(t) = E_0 \left[ \cos(L-\theta) \cos H \cos \delta + \sin(L-\theta) \sin \delta \right]$$

avec  $L, H, \delta, \theta$  respectivement : La Latitude, La Longitude, La déclinaison, et l'orientation du panneau.

Lorsque le Capteur est horizontal, c'est à dire  $\theta = 0^\circ$

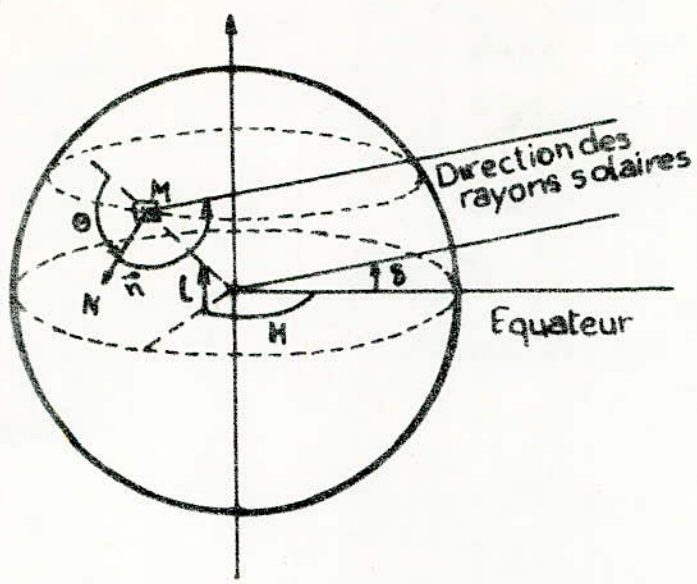
$$E(t) = E_0 \left[ \cos L \cos H \cos \delta + \sin L \sin \delta \right].$$

La Station solaire de BOUZAREAH a enregistré, durant les années 79, 80, 81, 82, Les Valeurs de rayonnement global qui sont données en moyennes mensuelles dans le tableau I.

Ces données, nous ont permis de tracer la Courbe moyenne du rayonnement global annuel d'un Capteur horizontal ( $\theta = 0^\circ$ ) pour la région d'ALger donnée par la fig 4.2

Cette Courbe sera utilisée par la suite dans le Calcul du





- MN: normale au plan du récepteur
- $u$ : angle d'incidence des rayons solaires
- $\theta$ : angle d'orientation du capteur
- $\delta$ : déclinaison
- $L$ : latitude du lieu
- $H$ : angle horaire

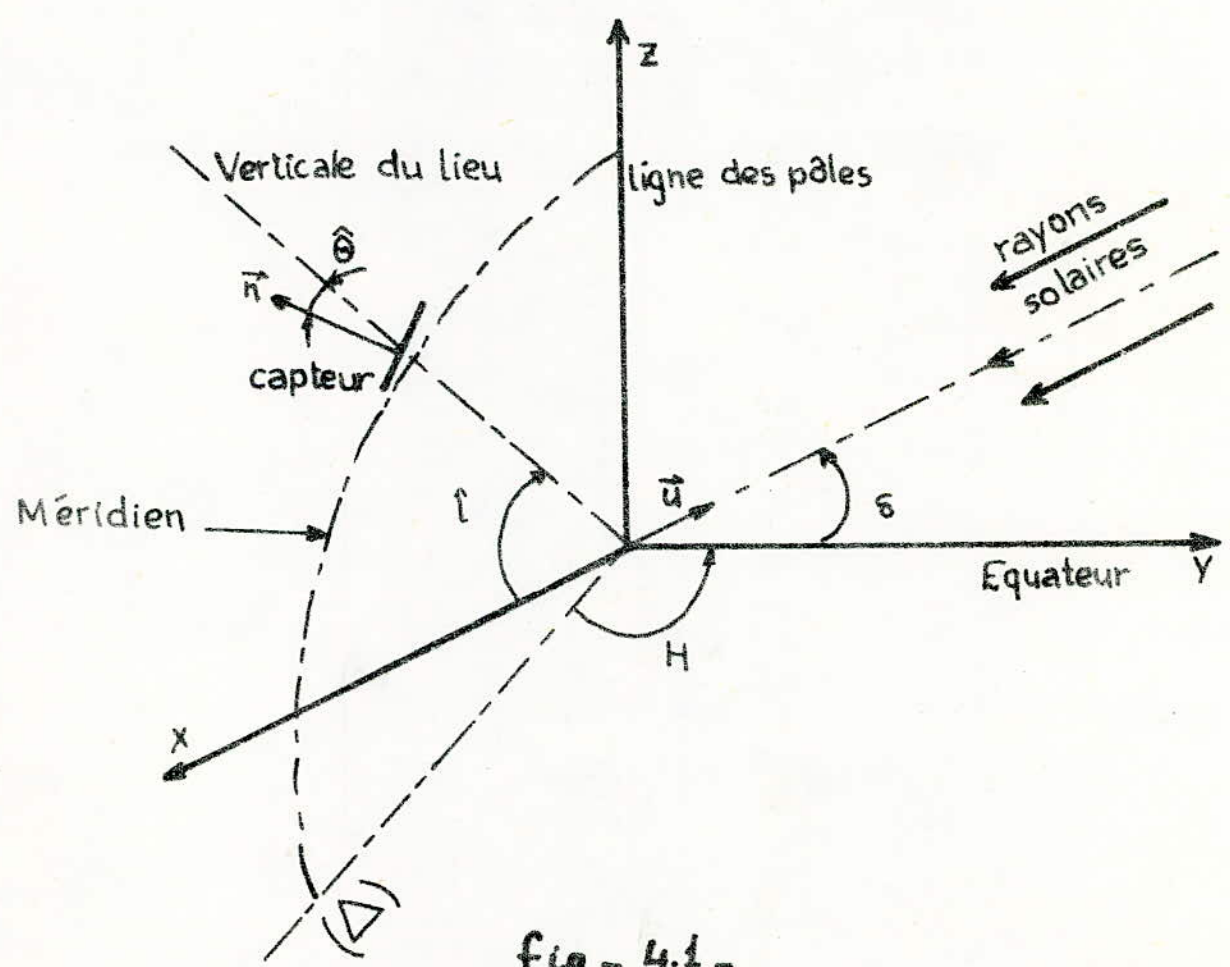


fig - 4.1 -

- Paramètres définissant les conditions géographiques d'une cellule solaire

dimensionnement de la Centrale Solaire, et ce, dans la deuxième partie de ce travail .

c'est sur cela, que l'on termine ce bref rappel sur le rayonnement solaire, dont les résultats seront utilisés dans la partie pratique.

MOIS	MOYENNE JOURNALIERE EN $K.J.M^{-2}$				
	1979	1980	1981	1982	moyenne
janvier	8390	7100	9591	8270	8438
fevrier	10570	10910	12860	9070	10853
mars	15930	16730	17660	16320	16660
avril	20840	19640	16870	19750	19260
mai	23500	22680	22110	16730	21255
juin	23150	26440	26060	25100	25180
juillet	22650	23100	25200	24240	23798
Aout	20200	23360	20190	21100	21213
septembre	14630	17180	19110	14530	16363
Octobre	11260	14880	15120	11100	13090
Novembre	9000	8780	11150	8210	9285
Decembre	7170	7720	6990	6480	7090

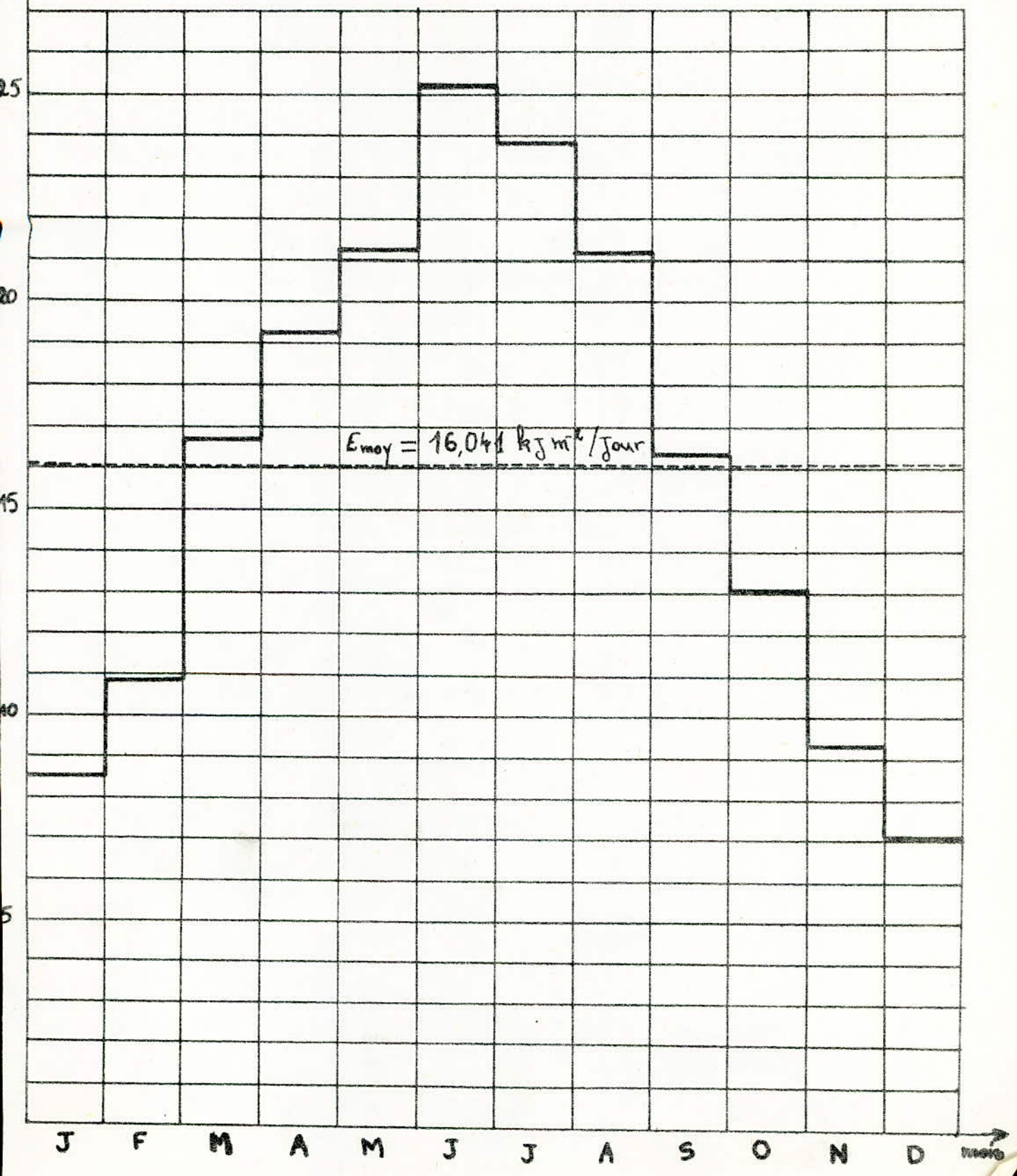
TABEAU I



Courbe moyenne du rayonnement global.

fig 4-2

$E$   $10^8 \text{ kJ m}^{-2} / \text{jour}$



## II. Description d'une centrale Solaire

### 1. Généralités

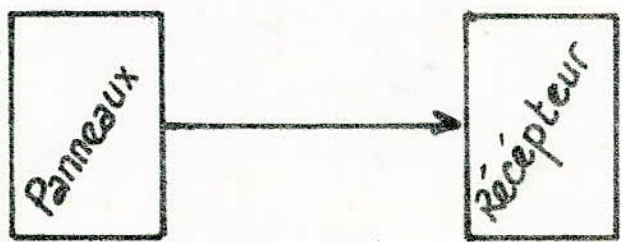
Les Centrales solaires offrent l'avantage d'être très souples, l'énergie solaire peut-être produite dans les unités adaptées à l'utilisation et l'emplacement qui convient.

Suivant l'utilisation et la puissance que l'on désire, on disposera d'un nombre plus ou moins élevé de panneaux solaires et de batteries d'accumulateurs puisque, aussi bien les panneaux que les accumulateurs obéissent aux lois d'association série ou parallèle, comme nous le verrons dans la suite de notre étude.

Suivant leurs utilisations, les centrales solaires comporteront les éléments suivants :

a. Utilisation diurne : Comme par exemple le pompage.

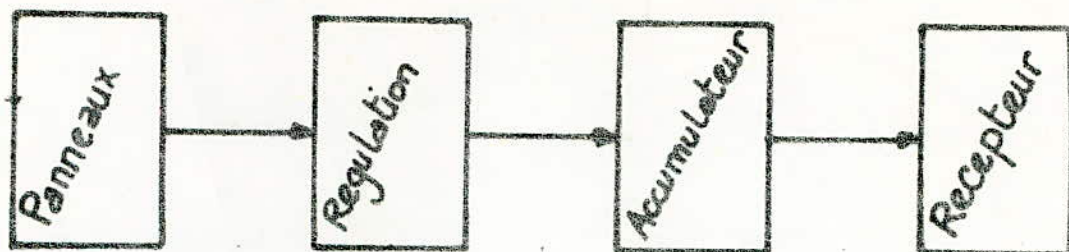
C'est le cas où le fonctionnement pendant la nuit n'est pas demandé, on aura le schéma de principe suivant pour notre centrale.



b. Utilisation permanente : exemple d'éclairage solaire.

C'est le cas où l'on utilise directement l'énergie délivré par l'accumulateur (continue) on aura le schéma de principe suivant :





c. utilisation permanente : exemple: appareils électroménagers domestiques. C'est le cas où l'on adjoint un Convertisseur (CC/CA) après l'accumulateur et ce afin d'avoir de l'énergie alternative, on aura le schéma de principe suivant



Après avoir passé en revue très brièvement les différentes Centrales solaires, nous nous intéresserons et détaillerons seulement le troisième type, car c'est le cas qui nous intéresse et qui est appelé à se développer et ce pour une utilisation domestique de l'énergie solaire.

## 2. Panneaux Solaires

La conversion directe de l'énergie solaire en électricité, forme la plus raffinée et la plus souple de l'énergie, est certainement la voie la plus prometteuse d'utilisation de l'énergie solaire.

La conversion photovoltaïque est le seul moyen utilisé pour transformer directement l'énergie lumineuse reçue du soleil en

énergie électrique. L'effet photovoltaïque se traduit par l'apparition d'une tension dans certains matériaux lorsqu'on les éclaire.

Cet effet a été mis en évidence pour la première fois en 1839 par A.C. Bécquerel sur des électrodes immergées dans un électrolyte métallique (conducteur), le tout exposé à la lumière; cette découverte demeura une simple curiosité de laboratoire jusqu'en 1876, où Adams et Day étudièrent l'effet photovoltaïque du contact platine-sélénium.

En 1927 Groudhof découvrit le même phénomène sur l'oxyde cuivreux que Lauge utilisera en 1930 pour fabriquer la première cellule solaire utilisable industriellement.

L'avènement des semi-conducteurs modernes dans les années 50, apporta une meilleure compréhension des phénomènes électriques de l'état solide, ce qui engendra la naissance officielle des cellules solaires modernes en 1954. L'industrie s'y intéressa malgré leur coût élevé, et ce fut les premières applications terrestres.

(à l'époque; ce fut des sources électriques autonomes pour récepteurs de navigation). Puis vint l'ère spatiale où l'on utilisa en 1958 les premières cellules solaires à bord du satellite américain Vanguard I.

Plus récemment l'effet photovoltaïque a été mis en évidence dans les composés semi-conducteurs comme l'arséniure de Gallium GaAs et le tellure de Cadmium CdS. Il a même été décelé dans des substances organiques.



Cependant, pour la Conversion de l'énergie solaire en électricité d'autres phénomènes peuvent convenir :

effet thermoélectrique :

C'est la création d'un courant et par conséquent d'une tension entre deux métaux différents réunis ensemble et se trouvant à des températures différentes.

effet thermo-électronique ou thermo-ionique :

'émission d'électrons de la part de métaux portés à une température d'incandescence. Mais pour une utilisation à grande échelle, l'effet photovoltaïque s'avère le plus intéressant, tout au moins à l'heure actuelle.

2.1. Les Photopiles

2.1.1. Constitution : une photopile au silicium n'est qu'une jonction PN de grande surface. elle est constituée, soit par la jonction d'un métal et d'un semi conducteur, soit par deux semi-conducteurs dopés différemment (cas des photopiles au silicium).

2.1.2. Fabrication des photopiles

une photopile est obtenue en diffusant sur une pastille dopée P, de diamètre compris entre 3 et 12 cm et de quelques dixièmes de millimètres d'épaisseur, une très mince couche N d'épaisseur 0,5 µm environ, permettant au rayonnement solaire d'atteindre la jonction PN.

La face avant est recouverte d'une fine grille métallique



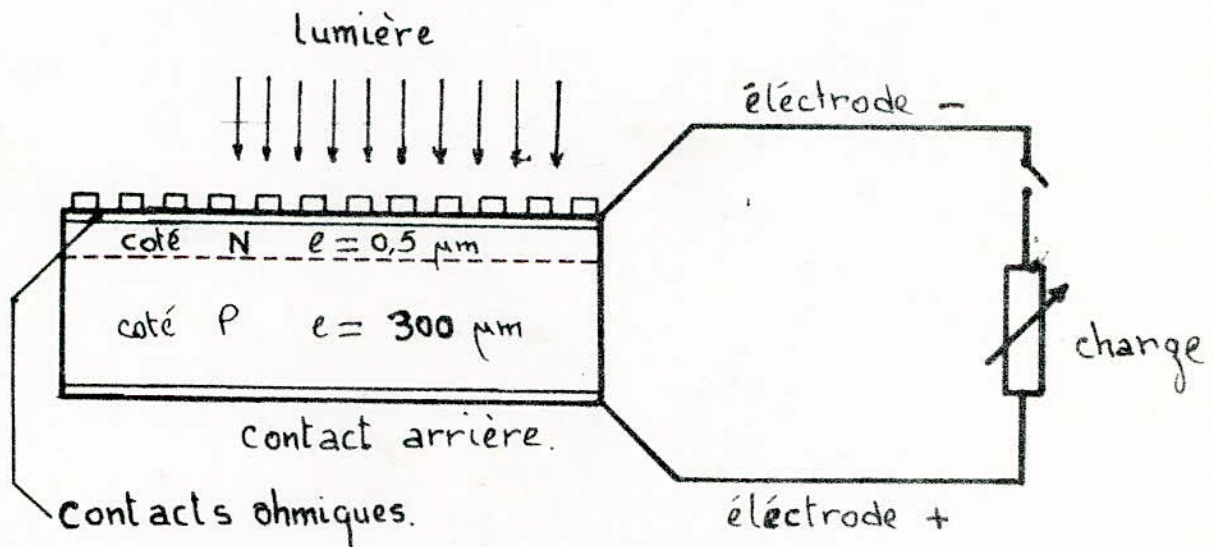
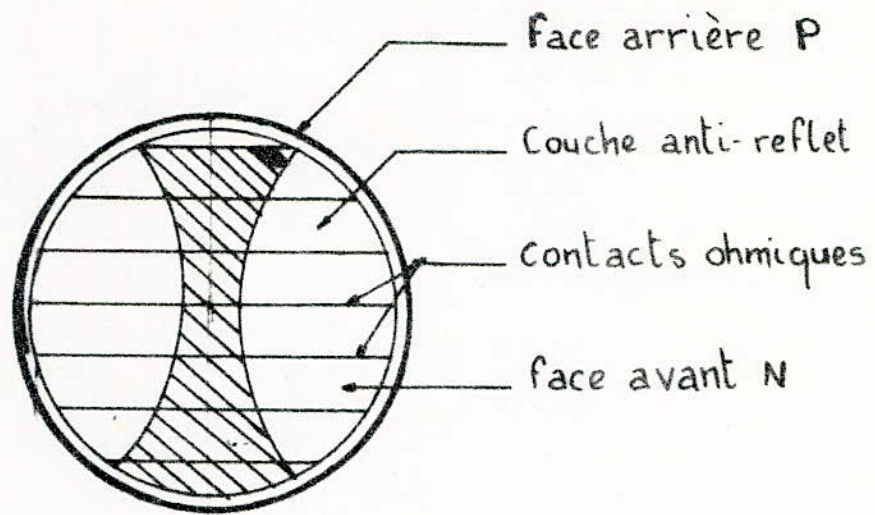


fig - 5. - Constitution d'une photopile -

collectrice du Courant photovoltaïque, la face arrière est entièrement métallisée. un traitement optique destiné à diminuer la réflexion lumineuse, donne à la photopile sa teinte bleue caractéristique. Les Cellules solaires se présentent sous différentes formes, mais les plus utilisés sont celles du type carré ou ronde.

### Les Cellules Carrées

elles sont surtout utilisées pour les engins spatiaux, car l'assemblage de telles Cellules en panneaux minimise la surface occupée par le système photovoltaïque, on obtient ainsi un rendement optimal par unité de surface.

### Les Cellules rondes

utilisées pour les besoins terrestres, due leur moindre coût par rapport aux cellules carrées, puisqu'elles sont directement obtenues par découpage du cylindre de silicium.

## 2.13. Fonctionnement de la photopile

à l'échelle atomique, l'effet photoélectrique résulte de l'interaction entre les photons constituant la lumière, et les atomes de la structure cristalline de la cellule.

un photon d'énergie ( $h\nu$ ) suffisante, heurtant un atome lui arrache un électron et engendre à sa place un trou. Dans la conversion photovoltaïque, c'est exactement au niveau de la limite de la zone de charge d'espace, qu'a lieu la réaction du courant électrique.

Les porteurs de charges sont toujours près de cette zone, qu'ils



y soient créés localement, ou l'on atteint par diffusion, s'ils sont créés plus loin. Le champ électrique interne de la jonction accélère les électrons et les fait parvenir dans la zone de type N et les trous dans la zone P, une tension électrique apparaît donc entre les deux faces de la cellule, sur la face avant la collecte du courant est assurée par une fine grille conductrice, et en face arrière sur la totalité de la surface de la cellule.

En reliant les deux faces à un circuit extérieur un courant circulera. Ainsi l'énergie lumineuse est convertie en énergie électrique.

Notons que le courant produit est proportionnel à la surface éclairée de la jonction, et à l'intensité lumineuse incidente, et qu'il s'écoule à travers la charge de la zone P vers la zone N.

remarque : ce n'est qu'à l'intérieur de l'étroite fenêtre visible du spectre lumineux qu'a lieu l'effet photovoltaïque des cellules, et c'est ce qui fait que leur rendement est seulement d'environ 10 à 13%.

#### 2.1.4 Caractéristiques d'une photopile :

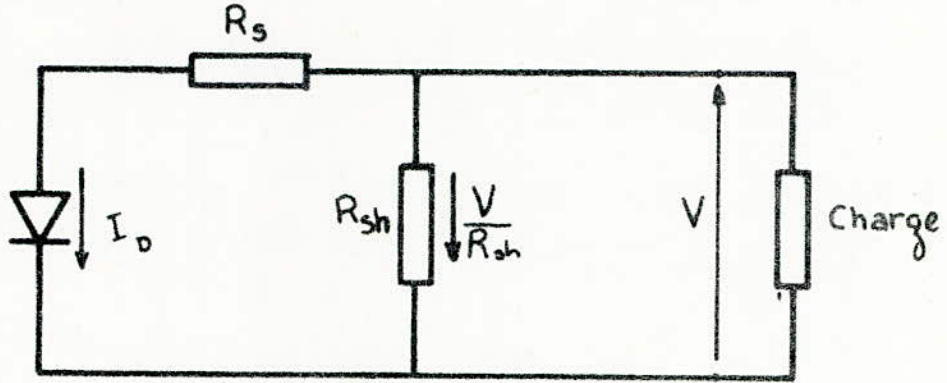
- exposé à un éclairement constant, une cellule photovoltaïque peut-être considérée comme une source de tension fixe, et de courant variable.

- selon qu'elle soit éclairée ou à l'obscurité, une cellule peut-être représentée par le schéma équivalent (fig 6).

dans lequel :  $R_s$  : résistance série de la cellule.

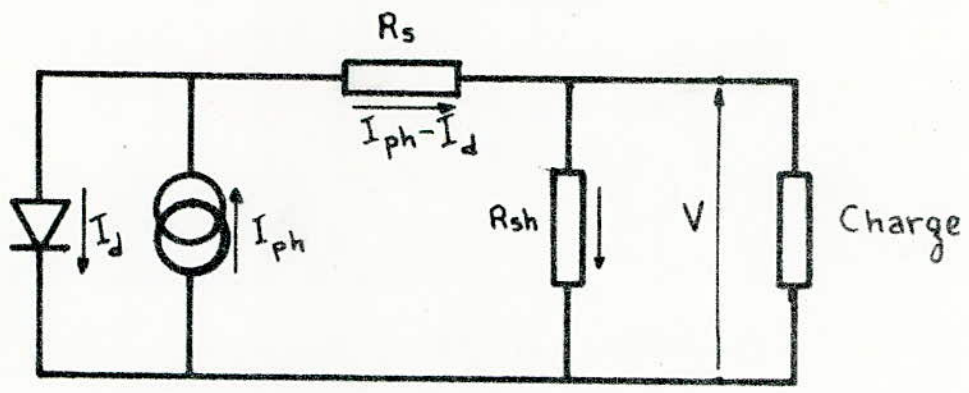
$R_{sh}$  : résistance shunt.

- a - Schéma équivalent à l'obscurité .



$$I = I_d + \frac{V}{R_{sh}}$$

- b - Schéma équivalent à l'éclairement .



$$I = I_{ph} - I_d - \frac{V}{R_{sh}}$$

$R_s$  caractérise les chutes de tension dues aux contacts ohmiques  
 $R_{sh}$  caractérise le courant de fuite entre la grille supérieure  
 et le contact arrière . ( généralement :  $R_{sh} > R_s$  )

Fig - 6 - Schéma équivalent d'une photopile -



Les performances de la cellule, en particulier la Courbe tension-courant  $I = f(V)$  dans des conditions d'éclairement et de température précises, sont déterminées par les valeurs des éléments du schéma équivalent, à savoir :  $R_s$ ,  $R_{sh}$ , et le générateur de courant,...

La Courbe  $I = f(V)$  définit certaines caractéristiques de la cellule :

Le point de fonctionnement optimal : pour lequel la cellule débite sa puissance maximale ( $P_{max}$ ), et auquel correspondent les valeurs de tension ( $V_L$ ), et de courant ( $I_L$ ) nominales.

Courant de court-circuit  $I_{cc}$ , ou courant maximal que peut délivrer une cellule, pour une tension à ses bornes nulle.

Tension en circuit-ouvert ( $V_{co}$ ) : correspondant à une valeur nulle du courant.

### 2.15. Influence de l'éclairement

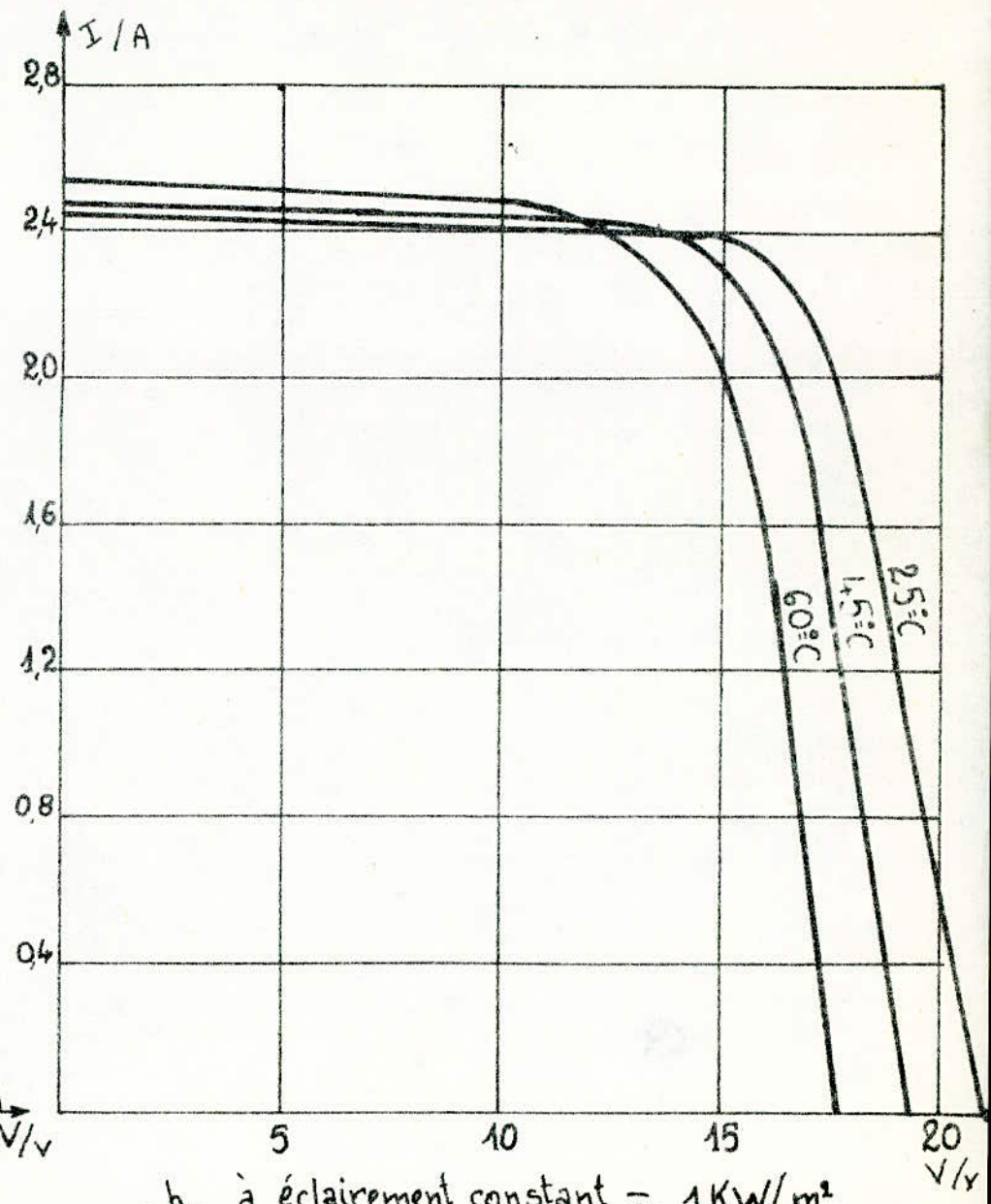
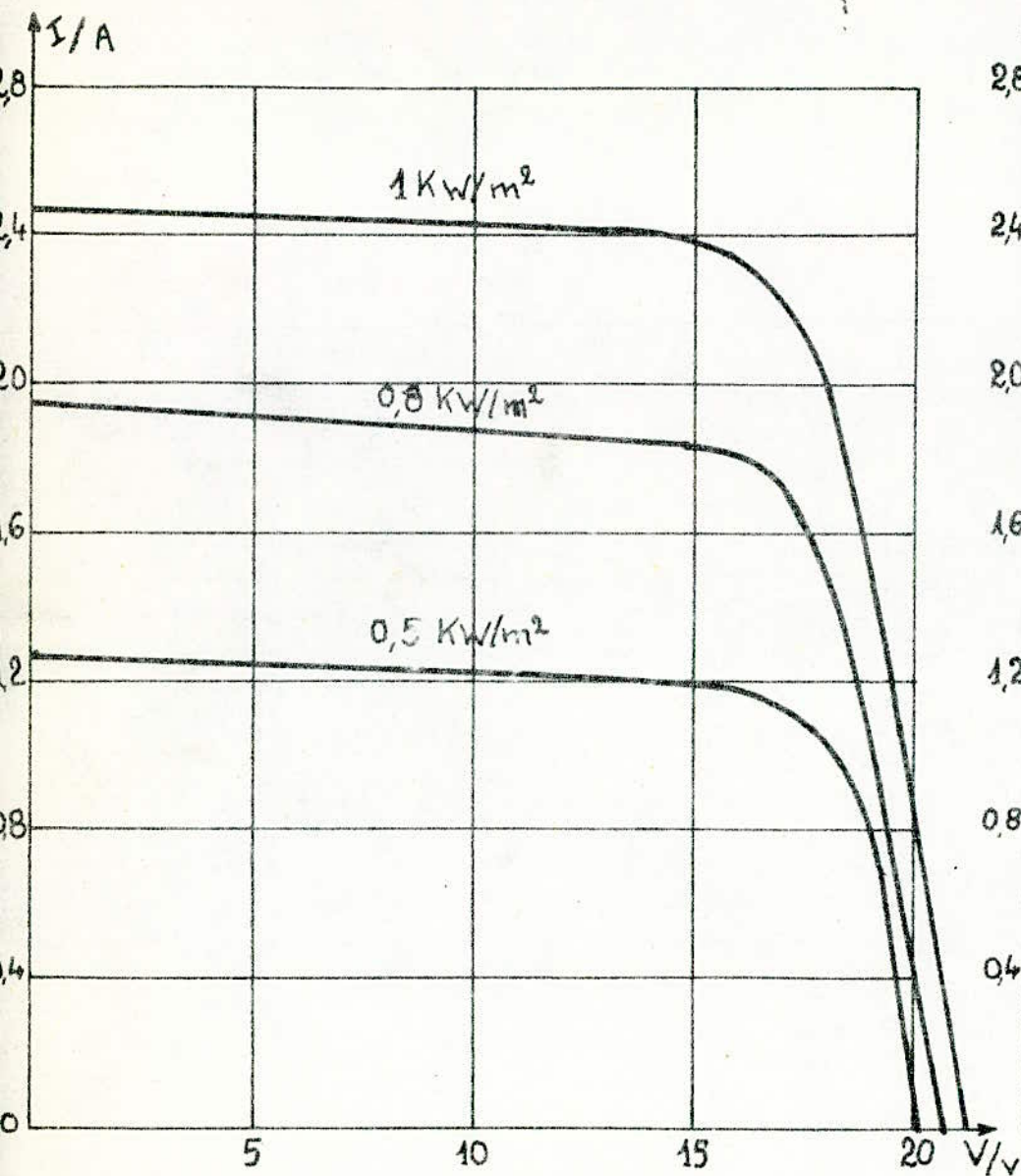
Le courant débité est pratiquement proportionnel à la quantité de photons incidents sur la cellule, alors que la tension est relativement constante.

Ainsi la puissance délivrée est proportionnelle à l'éclairement.

A partir de cette caractéristique on peut remarquer que même pour de faibles éclaircissements (matin, soir, nuages)...., la cellule peut débiter une puissance.

### 2.16. Influence de la température

une augmentation de température, entraîne l'augmentation du courant de court-circuit, et la diminution de la tension de circuit ouvert, et il en résulte une légère



a. à température constante = 25°C

b. à éclairement constant = 1 kW/m²

Fig. 7. - Caractéristique  $I = f(V)$  du module BPX47-400 de Photowatt.



diminution de la puissance maximale dont il faut tenir compte lors d'un calcul de dimensionnement.

La puissance délivrée par une cellule seule est très faible, cependant pour des puissances élevées, on use d'assemblages de cellules sous forme d'unités prêtes à l'utilisation.

### 2.2. Module

C'est un ensemble de cellules, montés sur un châssis, comprenant les connexions électriques et les protections nécessaires de façon à pouvoir être placé à l'extérieur. Les cellules dans un module sont connectées de façon à ce que l'ensemble délivre une puissance et une tension données.

Notons que les cellules, ainsi que les modules obéissent aux lois d'assemblage série et parallèle.

#### 2.2.1. Exemple de module

Le module Solar type M51 est constitué de 35 cellules, ~~accouplées~~ en série, totalement encapsulées, et protégées par une surface de verre spécial, qui peut résister à la grêle, à la pluie, à la neige et aux tempêtes de sable - testées avec des vents d'une vitesse de 200 km/h

### 2.3. Panneau

C'est la combinaison d'un ou plusieurs modules fixés ensemble, le panneau est une unité prête à l'utilisation qui, peut-être pré-assemblée et pré-cablée à l'usine.

## 2.4. Générateur photovoltaïque

C'est un ensemble de panneaux, comprenant le Cadre du support et le socle, ainsi que d'autres composants nécessaires pour la construction d'une unité qui peut produire de l'énergie électrique.

remarque : Les modules, les panneaux, ainsi que les générateurs photovoltaïques sont constitués de cellules, leurs caractéristiques reflètent donc exactement celles d'une cellule.

## 2.5. Protection des modules

Le raccordement électrique des modules entre eux et aux autres constituants du générateur photovoltaïque, en particulier aux batteries, nécessite quelques règles de protection, contre certaines détériorations éventuelles.

### 2.5.1 Diode Anti-retour

elle protège les modules, plus précisément les cellules, contre la décharge des batteries au travers des modules en période de non éclairnement (la nuit), et contre la circulation de courant inverse dans la branche de plus faible puissance en cas de déséquilibre de tension.

### 2.5.2 Diode By-pass

elle protège les cellules contre les phénomènes d'échauffement destructifs pouvant résulter d'un masquage accidentel d'une partie de module (ombre, feuille d'arbre, salissure, .....).



2.6. Les photopiles sous Concentration

en soumettant la cellule à un rayonnement solaire concentré par une lentille ou un miroir concave, on obtiendrait une puissance électrique des dizaines et même des centaines de fois supérieure à celle que l'on obtiendrait en illumination normale.

Mais un tel rendement se paie d'un autre côté par le coût de revient de l'installation, à savoir, la lentille ou le miroir, le radiateur de la cellule, puisque la température augmente par suite de la concentration du rayonnement solaire, ainsi que le système de pointage ou de poursuite du soleil, car, les cellules sous concentration n'usent que de la composante directe du rayonnement solaire.

### 3- La Régulation

Les batteries d'accumulateur constituent le moyen de stockage de l'énergie le plus utilisé dans les centrales électro-solaires.

Leur bon fonctionnement, et la tenue de leurs performances dans le temps, pour en tirer le meilleur profit, dépendent directement des conditions d'utilisation.

Afin de contrôler au mieux les conditions de charge et de décharge, on intercale entre les panneaux solaires et les batteries un dispositif électronique de régulation, adapté aux besoins de l'installation.

Ce dispositif de régulation appelé : régulateur, constitue en réalité l'organe de gestion de la Centrale, et c'est de lui que dépend le rendement et la fiabilité de l'installation photovoltaïque.

Cet organe sera vu de façon détaillée dans le chapitre intitulé "Régulateur".



# 4- Stockage

## Introduction

Le domaine d'utilisation de l'énergie solaire dans notre pays, prend de l'ampleur jour après jour, dans beaucoup de domaines autres que le pompage d'eau, balisage, télévision solaire....

On envisage l'utilisation domestique et quotidienne; de telles installations fonctionnent surtout la nuit, nécessitent donc un stockage d'énergie. L'usage d'accumulateurs est tout qu'organe de stockage offre l'avantage de simplicité d'emploi et d'existence dans le Commerce.

Donc une meilleure connaissance des batteries s'avère nécessaire pour une exploitation optimale.

### 4.1- Présentation des différents types d'accumulateurs

Les accumulateurs ne sont autres que des piles réversibles, ils peuvent se diviser en deux classes.

- 1- Les accumulateurs à liquide acide qui utilisent généralement des électrodes au plomb.
- 2- Les accumulateurs à liquide alcalin employant des électrodes de fer et de Nickel ou de Cadmium et de Nickel.

#### 4.1.1- Les accumulateurs au Plomb

##### a- Principe

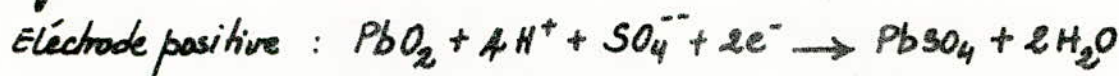
Deux plaques de plomb plongées dans de l'eau acidulée par l'acide sulfurique ont permis à Planté de réaliser le premier accumulateur.

Depuis, la forme a pu être changée, mais le principe est resté le même.

### b. Théorie : rappels des formules.

Les accumulateurs Plomb - Acide constituent un type d'élément galvanique avec un processus réversible aux électrodes.

Pendant la décharge, se produit de l'eau et du sulfate de plomb avec consommation d'acide sulfurique en deux électrodes positive et négative.



La double flèche de la réaction globale indique la réversibilité des réactions :

- (1) dans le sens de la décharge
- (2) dans le sens de la recharge

D'après l'équation de décharge (1), nous constatons qu'il y a entre autre une libération d'eau dans l'électrolyte ; donc la densité de celui-ci diminue pendant la décharge, et il se produit aussi une électrolyse (passage de courant dans l'eau entraînant sa décomposition en hydrogène et oxygène), il y a aussi perte d'eau par simple évaporation.

Ces pertes doivent être compensées par addition périodique d'eau.

### c. Utilisation

Il existe trois grandes utilisations particulières de l'accumulateur en Pb.

- La batterie de démarrage
- La batterie de traction



## - La batterie Stationnaire

### 1- La batterie de démarrage

Elle est utilisée pour le démarrage, l'allumage et l'éclairage des automobiles. Elle doit être apte à fournir une très forte intensité en quelques secondes (pendant le démarrage).

### 2- La batterie de traction

Elle est utilisée pour la traction électrique

- Chariot de manutention
- Locomotives de mines
- Transpalette
- Laveuses
- Véhicules électriques.

Elle est donc employée, en général, pour des véhicules lourds, transportant des charges relativement importantes.

### 3- La batterie Stationnaire

Elle est utilisée en cas de coupure secteur dans différents domaines :

- Centraux téléphoniques
- Eclairage de secours

elle est adaptée selon le cas :

- à la décharge lente (autonomie de 3 à 10h)
- à la décharge rapide (autonomie de 5 mn)

Après avoir présenté en bref les différentes utilisations des batteries au plomb, voyons maintenant ce que constitue la batterie solaire.

On demande à une batterie solaire d'avoir des performances de

batterie de traction et de batterie stationnaire :

- batterie de traction, parcequ'on lui demande un cycle journalier de décharge (pas toujours suivi d'une recharge).
- batterie stationnaire, parcequ'on lui demande de stocker une énergie et de la restituer au cas de coupure secteur, qui sera dans notre cas le non ensoleillement.

#### 4.1.2. Les accumulateurs Alcalins.

a. Principe.

Les accumulateurs alcalins dérivent de la pile de LaLonde et Chaperon qui est réversible, ils utilisent comme elle, un liquide alcalin (solution de potasse ou de soude caustique à 20 p. cent) qui n'intervient pas dans les réactions et sert seulement de Conducteur.

Dans l'accumulateur fer-Nickel d'Edison, l'électrode négative est un mélange de fer finement divisé et de mercure, l'électrode positive est du sesquioxyde de Nickel, les oxydes de Nickel n'étant pas conducteurs du courant, on constitue les plaques positives par des couches superposées de l'hydroxyde de Nickel et de flocons de Nickel qui eux sont conducteurs. Certains constructeurs remplacent les flocons de Nickel par du graphite finement broyé.

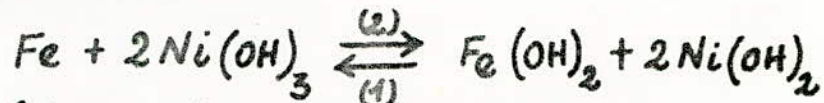
L'accumulateur Cadmium-Nickel ne diffère du précédent qu'en ce que le fer a été remplacé par du Cadmium, l'avantage consiste à avoir une courbe de décharge plus régulière ressemblant



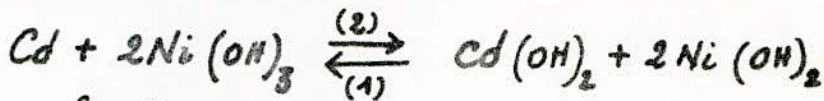
avec à celle de l'accumulateur au Plomb.

### b. Théorie

Le courant de charge, a pour effet de faire apparaître de l'hydrogène sur la plaque négative (fer ou Cadmium) et de l'oxygène sur la positive, on obtient dans le cas de l'accumulateur fer-Nickel la réaction globale ci dessous :



dans l'accumulateur cadmium - Nickel on obtient



(1) Sens de la décharge

(2) Sens de la recharge

Il existe un troisième type d'accumulateur (accumulateur à l'argent), dont les matières actives sont constituées de zinc à l'électrode négative, et d'oxyde d'argent à l'électrode positive. Les caractéristiques sont intéressantes mais son prix est très élevé et son utilisation nécessite beaucoup de précautions.

## 4.2 Caractéristiques des Accumulateurs

L'une des principales caractéristiques d'une batterie est sa capacité.

### 4.2.1 - Notion de Capacité

#### a - Définition

C'est le nombre d'ampères-heures que peut débiter une batterie pour un courant et une tension de fin de charge bien définie, autrement dit c'est le produit du courant débité, par le temps de débit (en heures), pour un régime de décharge en t heures.

Exemple : une batterie  $C_{10} = 200 \text{ Ah}$  a une capacité de 200 Ah pour une décharge en 10 heures (elle peut débiter 20A pendant 10 heures).

Une batterie  $C_1 = 100 \text{ Ah} \neq C_{10}$  a une capacité de 100 Ah pour une décharge en 1 heure (elle peut débiter 100A pendant 1 heure)

### b - Facteurs influant sur la capacité.

La capacité est proportionnelle à la quantité de matière active mise en jeu. Elle varie entre autre avec le régime de décharge, la température et la tension finale .... etc. Dans ce qui suit nous limiterons à détailler seulement les facteurs qui dépendent des conditions d'utilisation, c'est à dire la température, le régime de décharge et la tension finale

#### 1. La température

La capacité d'un accumulateur diminue pour une température inférieure à  $25^\circ\text{C}$ , elle augmente pour une température supérieure à  $25^\circ\text{C}$

Exemple : une batterie  $C_{10} = 100 \text{ Ah}$  à une température de  $15^\circ\text{C}$ , voit sa capacité portée à 120Ah si la décharge s'effectue à  $38^\circ\text{C}$ .  
Donc la capacité diminue lorsque la température diminue et vice-versa. En plus pendant la charge la température de l'accumulateur augmente.

Pour la plupart des éléments au plomb, la température maximale d'emploi est de  $45^\circ\text{C}$ ; pour les éléments alcalins elle est de  $48^\circ\text{C}$ .



## 2- Régime de décharge

La capacité est définie pour un régime de décharge donné.

Pour les accumulateurs au plomb, le sulfate de plomb formé durant la décharge (voir réaction globale) est mauvais conducteur de l'électricité et augmente la résistance de la batterie.

Cette résistance monte à une très haute valeur qu'il ne faut pas dépasser lorsqu'on atteint une sulfatation de 50%.

Sur la figure 8, qui donne la capacité relative d'éléments au Pb et Alcalins pour différents régimes de décharge.

Nous remarquons que la capacité augmente avec la prolongation de la décharge, mais le régime de référence est celui qui s'effectue en 10 heures.

## 3- Tension finale (d'arrêt)

La tension aux bornes d'un élément diminue au cours de la décharge ; On introduit une tension d'arrêt car une décharge très poussée est à éviter, une batterie complètement déchargée n'est plus utilisable (on atteint une sulfatation supérieure à 50%).

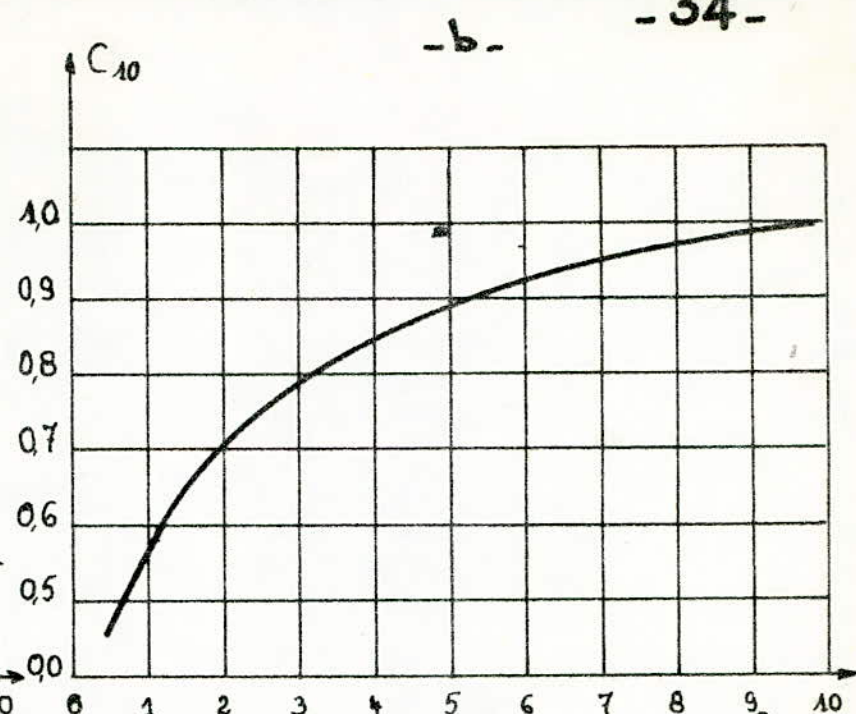
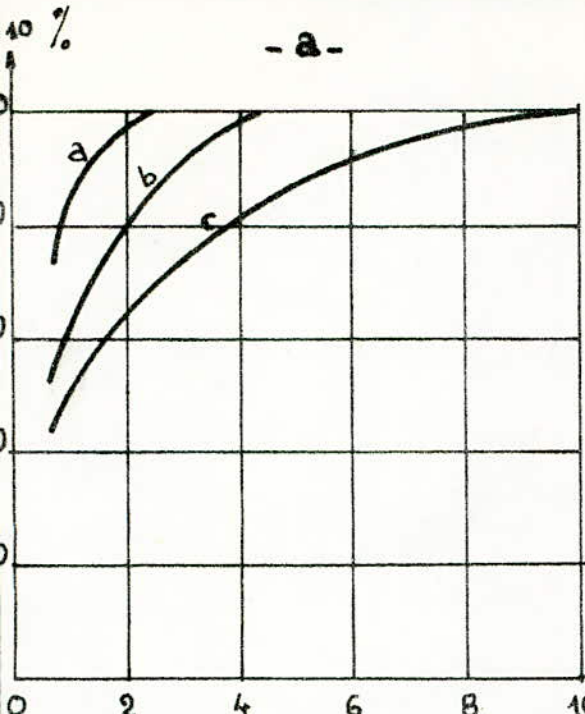
La tension finale dépend aussi du régime de décharge (voir fig 8d).

Le tableau qui suit donne la tension finale en fonction du régime de décharge.

durée de la décharge heures	élément au plomb volts	élément alcalin volts
1	1,75	1,04
3	1,80	1,07
5	1,82	1,08
10	1,85	1,10
25	1,90	1,14
50	1,93	1,15
100	1,97	1,17

Nous concluons, en parcourant le tableau ci-dessus et la figure 8d, qu'il faudrait une tension d'arrêt d'autant plus élevée que les régimes de décharge sont faibles.

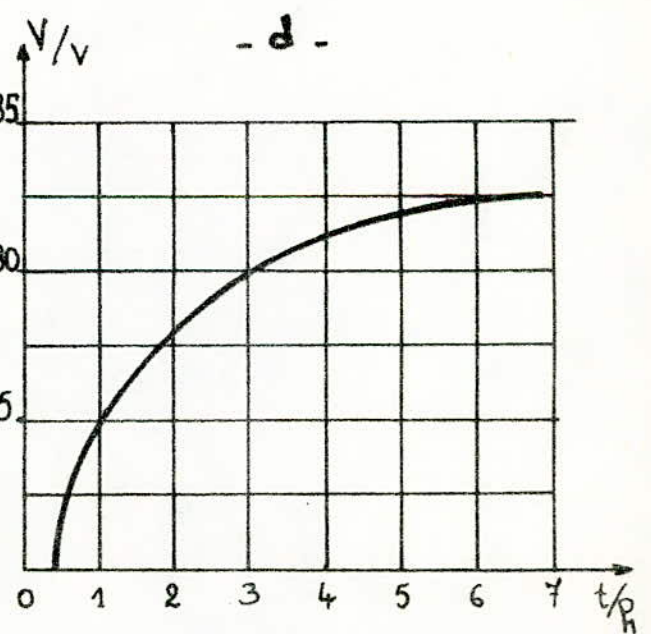
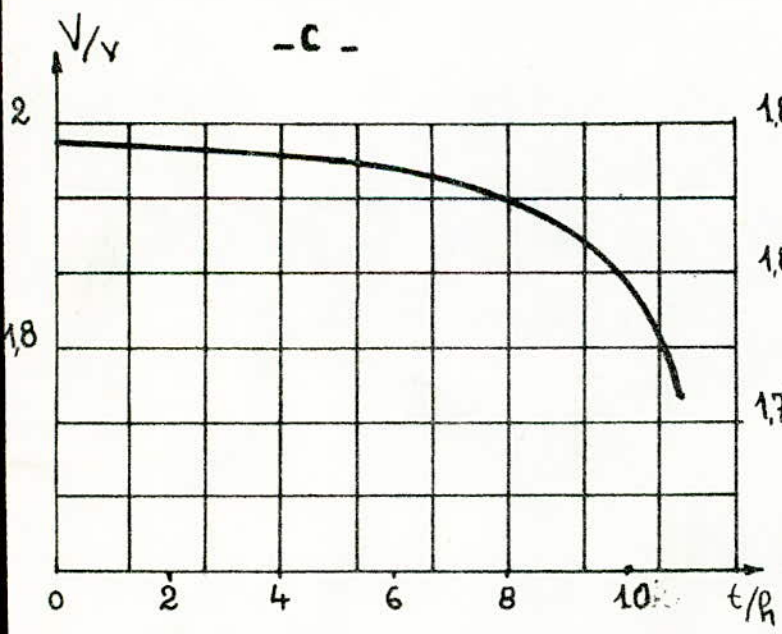




Capacité relative en % de  $C_{10}$

Capacité en fonction du temps  $t/Heures$  de décharge

- a/ Cd - Ni (faible résistance)
- b/ Cd - Ni (résistance normale)
- c/ Element planté



Augmentation de la capacité par prolongation de la décharge

Tension finale en fonction du temps de décharge

Fig - 8 - - Capacité des batteries -

### 4.3 - Charge des accumulateurs

Pour recharger une batterie, il faut lui fournir plus d'ampères-heures qu'elle n'en a débité.

#### 4.3.1 - Rendements

Le rendement en quantité, d'un accumulateur est le rapport :

$$\frac{Q_{\text{débitée}}}{Q_{\text{fournie}}}$$

Le rapport  $\frac{W.h \text{ obtenue pendant la décharge}}{W.h \text{ fournie pendant la charge}}$  définit le

rendement énergétique.

Ce dernier dépend de la résistance intérieure des éléments, fonction elle-même de la valeur de la concentration en acide de l'électrolyte.

Les rendements en quantité aussi bien qu'en énergie des accumulateurs alcalins sont plus faibles que ceux correspondants des accumulateurs au plomb, cela est dû, en fait, que dès l'application du courant de charge, il se produit dans les accumulateurs alcalins une électrolyse de l'eau, qu'il faut ensuite remplacer plus fréquemment que dans les accumulateurs au plomb. On admet que, pratiquement le rendement en quantité peut atteindre 90% pour les accumulateurs au Plomb, il n'est que de 70 pour cent pour les accumulateurs alcalins et celui en énergie peut atteindre 75%, pour ceux au plomb. Tandis qu'il n'est que de 50% pour les accumulateurs alcalins.

#### 4.3.2 - Charge et entretien des accumulateurs

L'entretien des accumulateurs consiste essentiellement à rétablir périodiquement le niveau de l'électrolyte avec de l'eau distillée.



La charge des batteries doit-êtré réalisée en tenant compte des conditions particulières d'utilisation et en observant les deux principes importants ci-après :

- Une batterie déchargée a tendance à se sulfater, et une batterie que l'on recharge, se détériore rapidement .

Cette charge peut se faire de différentes façons valables pour tous les types d'accumulateurs .

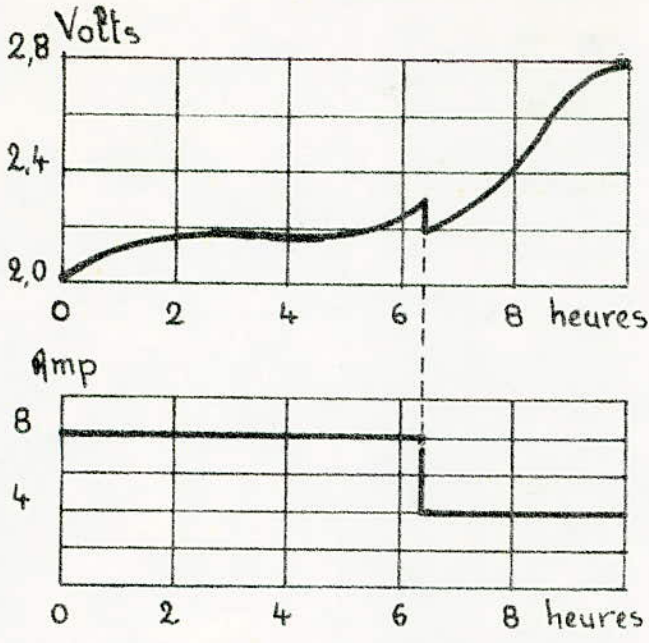
### a- charge à courant constant

Dans cette méthode, on fixe le courant au début de la charge et on le maintient constant, quelle que soit l'élévation de la tension de la batterie . Cette méthode est surtout utilisée pour la première charge, on fixe le courant :  $I = 0,1 C_{10}$  .

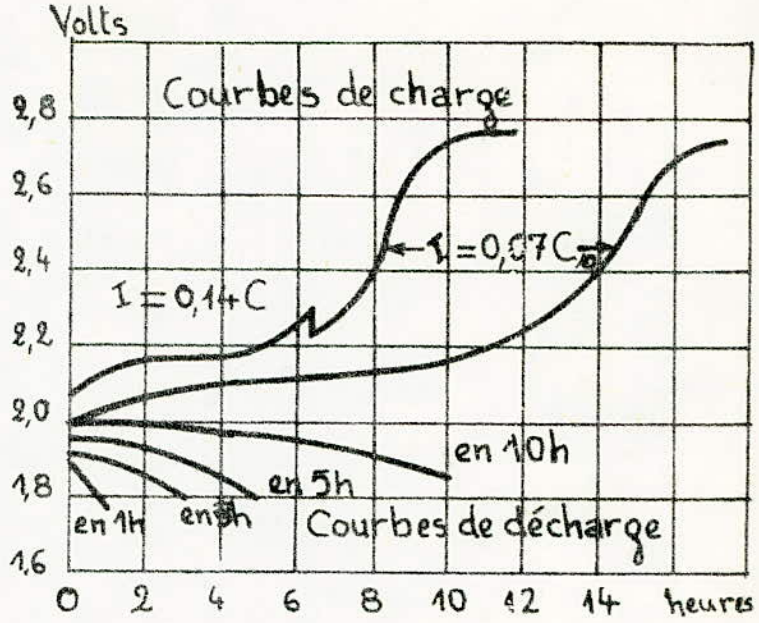
On adopte, pour des batteries soumises à des cycles répétés de charge et de décharge, un procède qui consiste à commencer la charge à un régime relativement élevé ( $0,17 C_{10}$ ) jusqu'à atteindre 2,35 V par élément ( dégagement gazeux dans l'électrolyte ), on réduit le courant ( $0,09 C_{10}$ ) .

Cette méthode est illustrée par les figures de la page 37 .

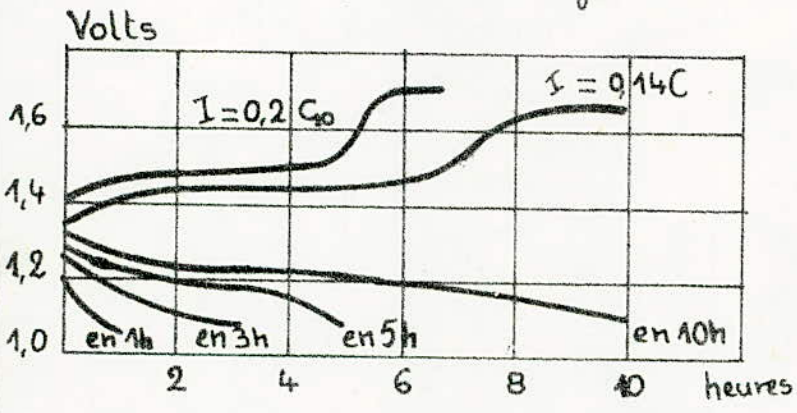
# Fig-9. - Charge à courant constant .



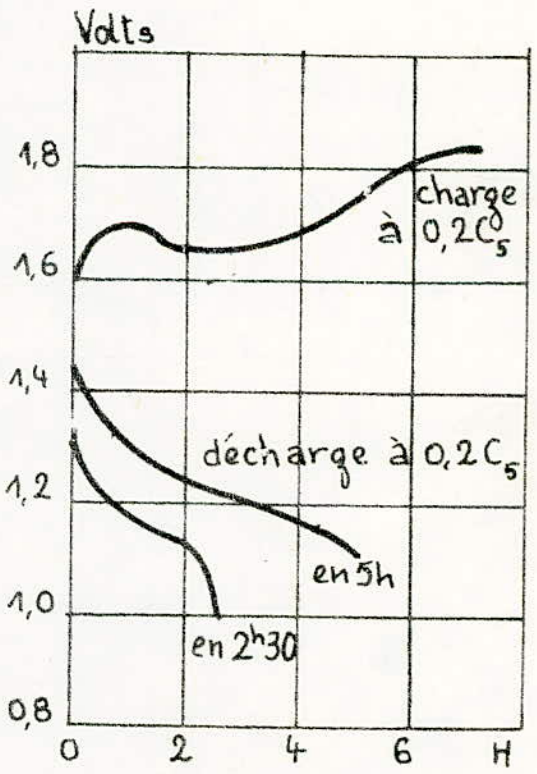
-a- Courbe type de charge -



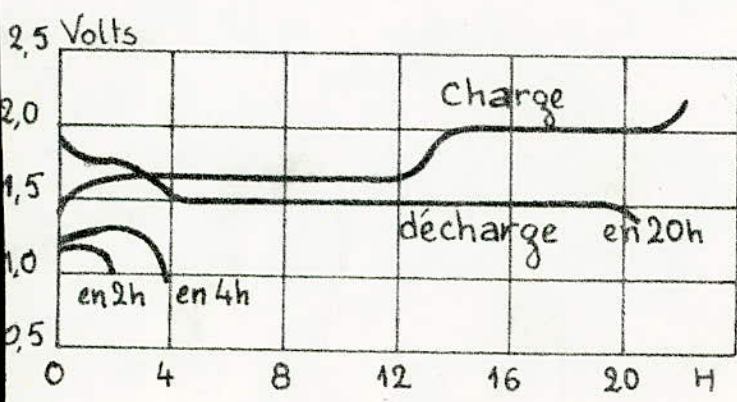
-b- Eléments au Pb -



-c- Eléments au Ni-Cd -



-d- Eléments au Fe-Ni -



-e- Elements au Ag-Zn



### b- charge à tension constante

Dans cette méthode on relie directement la batterie à une source de tension continue constante, et égale à 2,40 volt / élément, pour une température moyenne de 20°C, on fixe la tension à 2,40 V par élément pour la raison suivante :

- Le seuil du dégagement gazeux se situe entre 2,30 et 2,35 V ; par construction nous obtenons un plus grand brassage de l'électrolyte sans augmentation notable de la consommation d'eau.

Cette méthode est très pratique, dans le cas de batteries qui ne sont pas complètement déchargées, car elle évite la surveillance demandée par la charge à intensité constante.

(cette méthode est illustrée par la fig 10.a)

Dans ce procédé on tient compte de la variation de la tension de fin de charge avec la température (voir tableau ci-dessous et figure 10.b).

Température	Tension de charge
de -10°C à 10°C	2,45 volts
de 10°C à 30°C	2,40 volts
de 30°C à 40°C	2,35 volts

Nous remarquons, que lorsque la température diminue, la tension de charge augmente. En général on fixe cette augmentation à 5 mV / °C / élément. Il existe une variante à cette méthode, qui est la charge à tension constante modifiée. Ce procédé se situe entre celui à courant constant et, celui à tension constante du point de vue, variation de la tension et du courant.

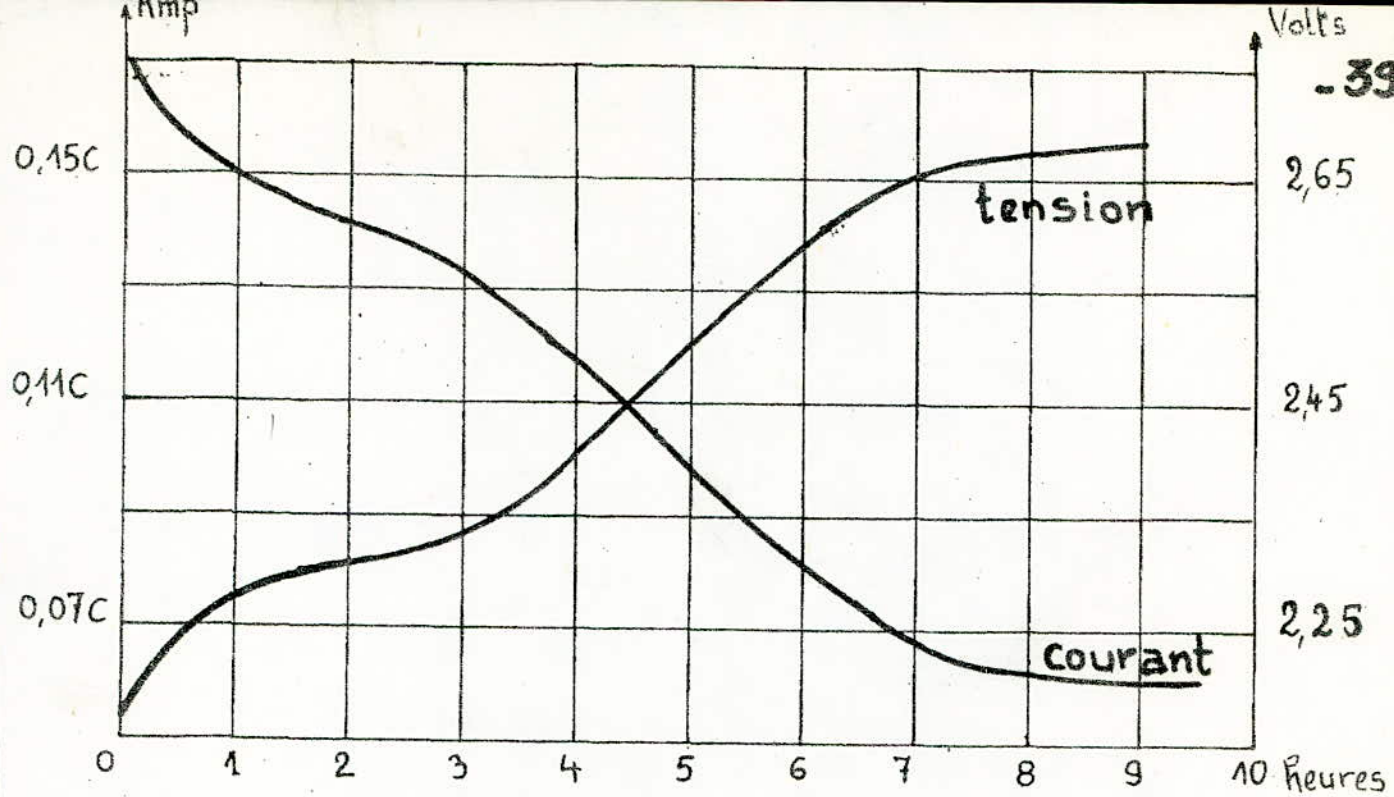


fig-10-a- Courbes de charge d'une batterie au Pb -

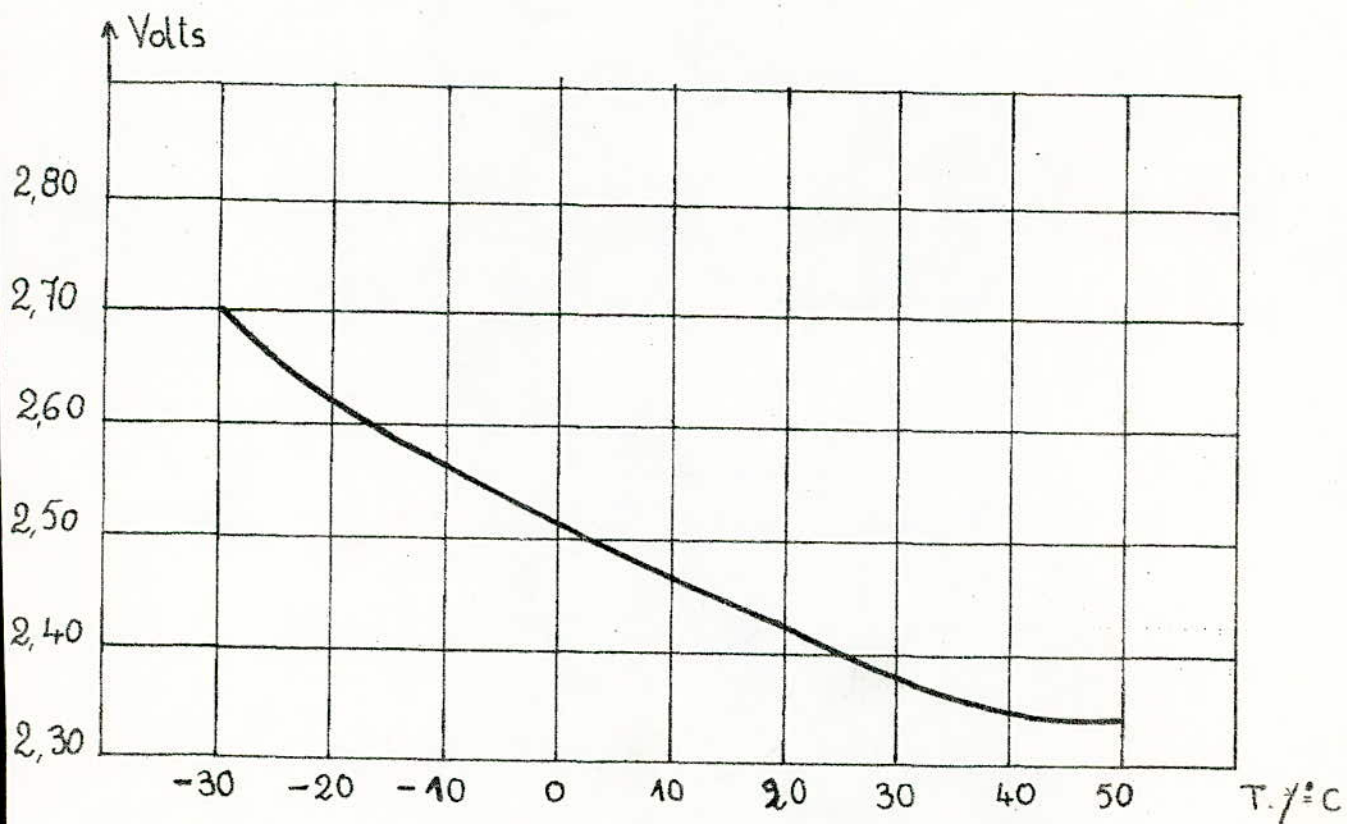


fig-10-b- Variation de la tension de fin de charge en fonction de la température -



## 4.4 - Auto-décharge (charge d'entretien).

### 4.4.1 - Définition de l'autodécharge.

C'est la perte de capacité obtenue en laissant l'accumulateur au repos (c'est à dire sans charge) pendant un temps donné.

Pour compenser ces pertes on fait passer un faible courant dans la batterie.

Le courant d'entretien est défini, comme étant le courant minimal à fournir pour maintenir constante la densité d'électrolyte, on admet qu'il y est de l'ordre de  $1 \text{ mA / Ah}$  pour les accumulateurs au plomb.

Pour les accumulateurs au Nickel-Cadmium les pertes sont négligeables en circuit ouvert, et ne nécessitent pas de courant d'entretien.

Pour une forte capacité, ce courant est réduit comme nous allons le voir dans ce qui suit :

pour  $C_{10} = 50 \text{ Ah}$        $I_{\text{entretien}} = 50 \text{ mA}$

mais pour  $C_{10} = 1100 \text{ Ah}$        $I_{\text{entretien}} = 400 \text{ mA}$

Voilà maintenant les causes de l'auto-décharge.

L'auto-décharge est un phénomène électrochimique que l'on peut résumer par le tableau suivant :

sur la plaque positive	<p>Action de l'acide sulfurique sur le bioxyde de Plomb</p> <p>Action de l'hydrogene dégagé par la négative</p>	$\text{PbO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{PbSO}_4 + \text{H}_2\text{O} + \frac{1}{2}\text{O}_2 \uparrow$ $\text{PbO}_2 + \text{H}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$
sur la plaque négative	<p>La dissolution spontanée du Plomb spongieux en milieu sulfurique, augmentant avec la température. L'action de l'oxygene dissous dans l'acide sulfurique.</p>	$\text{Pb} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{PbSO}_4 + \text{H}_2 \uparrow$ $\text{Pb} + \frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{PbSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$

L'auto décharge augmentera :

- avec le vieillissement naturel de l'accumulateur.
- à la suite d'erreurs de manipulation telles que : -
  - décharge trop poussée avec inversion des polarités.
  - La recharge à l'œuvres.
- à la suite de mauvais entretien et concentration de l'acide
- Lors de l'élévation de la température
- avec l'adjonction d'eau non distillée, ou déminéralisée contenant des impuretés.



### 4.5 Durée de vie des accumulateurs

Les accumulateurs au plomb, ont une durée qui est limitée par le nombre de charges ou de décharges qu'ils peuvent subir. Suivant les régimes d'utilisation qu'elles sont appelées à subir, les batteries au plomb, ont des caractéristiques de construction différentes, et par suite des durées de vie particulières pour chaque type. Les batteries stationnaires peuvent fonctionner pendant 6 à 10 ans, à condition que l'on remplace les plaques positives tous les trois ans environ. Les batteries de traction peuvent assurer 500 à 600 décharges. Les batteries de démarrage ont une existence plus courte, que les batteries stationnaires ou de traction, leur durée de service est en général d'un an. Les batteries solaires ont une durée de vie qui dépend essentiellement du nombre de cycles journalier.

Dans de bonnes conditions d'utilisation, elle sera de :

température moyenne	profondeur de décharge	nombre de cycles
30°C	75 %	1.000
30°C	50 %	1.500
30°C	20 %	2.500
30°C	10 %	3.000

A travers ce tableau, nous remarquons que les batteries solaires peuvent assurer 2000 décharges en moyenne ; c'est à dire 3 ans à raison de 600 décharges par an.

Les accumulateurs alcalins, ont une durée de vie bien plus grande que les accumulateurs au plomb ; et aut donné que les supports

positive ne se forment pas pendant le fonctionnement comme  
cela arrive avec les accumulateurs à acide sulfurique .  
Leur durée de vie peut dépasser 5 à 6 ans .



## 5. La Conversion DC/AC

Dans le cas d'une utilisation domestique, la totalité des appareils électro-ménagers nécessitent du courant alternatif, la centrale comprendra donc, outre ses principaux constituants, un organe permettant la conversion du courant continu en courant alternatif appelé convertisseur DC/AC.

Cet organe doit présenter le minimum de pertes, vu le coût élevé des panneaux solaires, le rendement requis doit être de 98 à 99%.

Du l'existence de différents types de convertisseurs, le choix se fait selon les contraintes de l'utilisation. Le principe, sur lequel est basé le fonctionnement de ces convertisseurs, est toujours identique. Il repose soit sur la commutation naturelle ou forcée des thyristors, ou sur le régime de commutation du transistor.

Cependant, on peut les classer en deux catégories :

- les onduleurs non autonomes ou "assistés", dont la fréquence et la forme d'onde de la tension de sortie, leurs sont imposées par le réseau alternatif auquel ils doivent être reliés.

Les onduleurs autonomes ; qui eux même, déterminent la fréquence et la forme d'onde de la tension alternative fournie au récepteur.

Ce dernier type est celui qui doit être utilisé dans le domaine photovoltaïque.

### III Le Régulateur

#### 1 Généralités :

Comme il a été déjà cité, le régulateur constitue la centrale de gestion de l'unité électro-solaire.

##### 1.1. Nécessité du Régulateur

Une charge excessive des batteries, entraîne un dégagement gazeux, dû aux réactions internes favorisées par l'excès de charge. De même, une décharge profonde entraîne la sulfatation des électrodes. Dans les deux cas : charge excessive ou décharge profonde, la détérioration des batteries est à craindre.

Une limitation des niveaux de charge et de décharge s'avère donc utile, d'où la nécessité d'une régulation.

##### 1.2. Conception

La tension aux bornes d'un accumulateur, nous renseigne directement sur son niveau de charge. Ainsi en limitant la tension maximale de charge à un seuil légèrement inférieur à celui du début de dégagement gazeux, et le seuil minimal de décharge à un seuil légèrement supérieur à celui du début de sulfatation, on arrivera à protéger nos batteries, et par conséquent augmenter leur durée de vie. (voir fig 11-2).

##### 1.3 Principe de fonctionnement

Cette limitation est assurée par l'intermédiaire de relais électro-mécaniques, ou de transistors fonctionnant en régime de Commutation.



Le déclenchement de ces relais (ou le blocage et la saturation, dans le cas de transistors) est assuré à son tour par la tension prise aux bornes de la batterie dès qu'elle atteint certains seuils pré-réglés.

Généralement on use de comparateurs pour la détection des seuils de déclenchement.

Le Comparateur, a une de ces deux entrées portée à un potentiel fixe, Constituant la tension de référence, et correspondant au seuil de déclenchement du relai. L'autre entrée est portée à un potentiel, proportionnel à la tension aux bornes de la batterie.

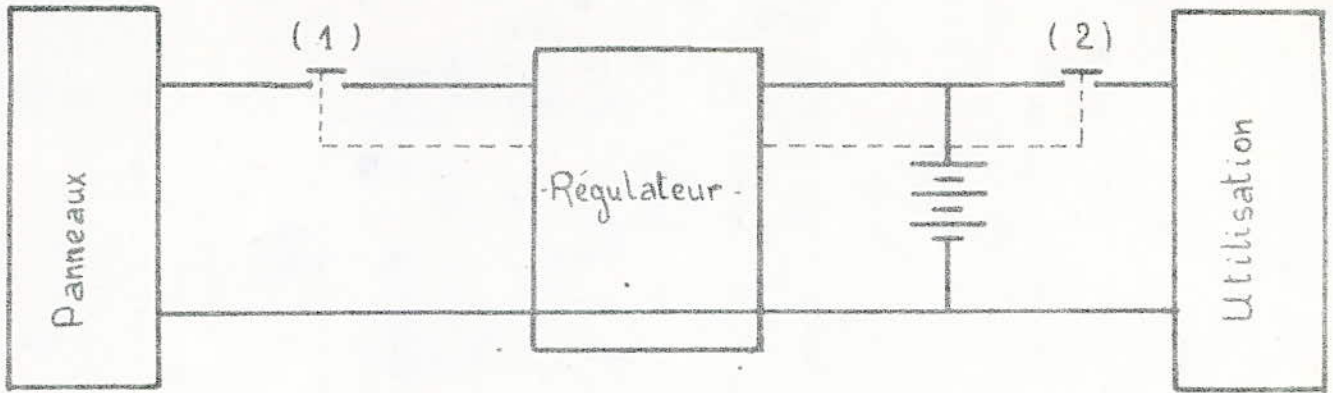
La sortie du Comparateur attaque directement, ou à travers un transistor, le relai (ou le transistor en Commutation).

Comme il existe deux liaisons dont on doit assurer la commande (liaison panneaux - batterie et batterie - utilisation), on doit disposer d'au moins deux relais.

L'un arrêtera l'arrivée de courant à partir des panneaux dès que la batterie aura atteint son niveau de charge maximale, l'autre, délétera l'utilisation lorsque la batterie atteindra son niveau de décharge minimale. (voir fig-11. b.)

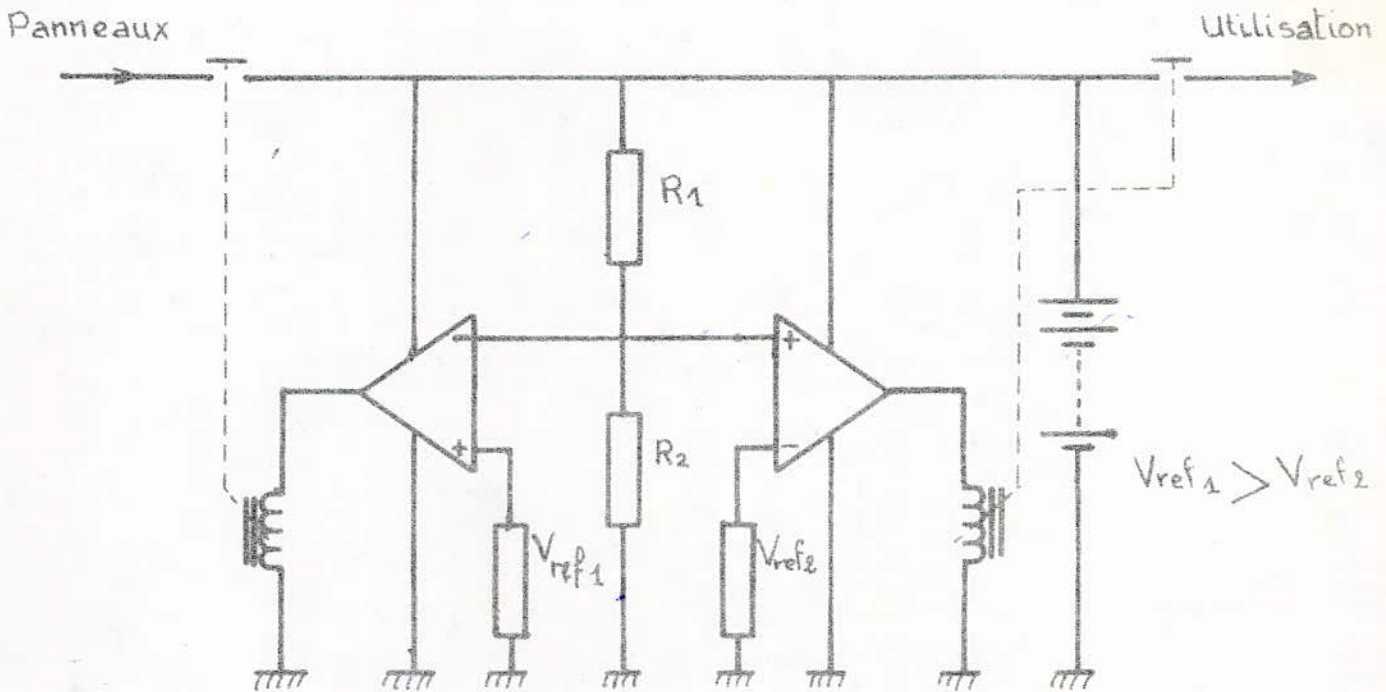
L'utilisation d'une telle structure simplifiée de régulateur présente un certain inconvénient durant la période d'ensoleillement.

Pendant la charge, l'utilisation est connecté, dès que le seuil maximal est atteint le relai se déclenche; l'utilisation toujours connectée consomme une faible quantité de l'énergie stockée par



Etat batterie	Interrupteur (1)	Interrupteur (2)
Chargée	Ouvert	Fermé
Normale	Fermé	Fermé
déchargée	Fermé	Ouvert

- a - Schéma de principe



- b - Régulateur à 2 seuils

fig-11 - Principe de fonctionnement -



La batterie, ce qui fait diminuer la tension aux bornes de cette dernière de quelques millivolts, cette chute de tension fait basculer le comparateur, et le relai s'enclenche de nouveau, ainsi la liaison panneaux - batteries se rétablit, la batterie reprend sa charge perdue, la tension à ses bornes augmente jusqu'au déclenchement du relai, et ainsi de suite le phénomène reprend de façon "indéfinie".

Ce phénomène existe aussi pour le niveau de décharge minimale, puisque dans ce cas les panneaux sont connectés aux batteries. Les relais travaillent alors, de façon continue, ce qui nuit à leur état, et diminue leur durée de vie.

Cependant on a prévu au lieu de comparateurs simples (à seuil unique), des comparateurs à deux seuils, appelés comparateurs à fenêtre, ou des triggers.

L'emploi de tels composants évite les enclenchements et déclenchements incessants des relais (ou commutation dans le cas de transistors).

Dès que le seuil max. est atteint, le relai se déclenche, et ne s'enclenche qu'à un autre seuil plus bas. De même pour le seuil minimal le second seuil d'enclenchement du relai est fixé à un niveau un peu plus haut.

(voir schéma de la fig - 92 -).

### Résumé

Le régulateur de charge doit assurer les fonctions suivantes :

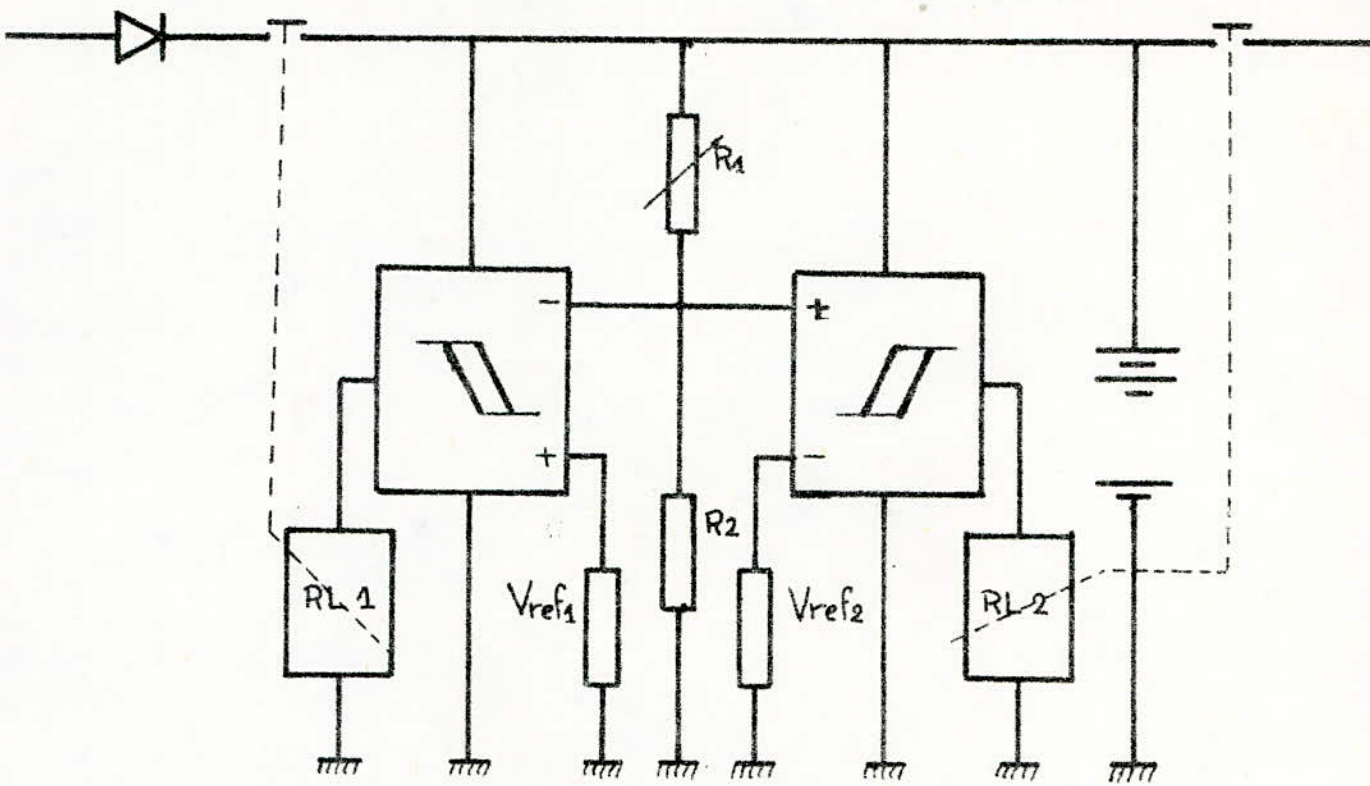
- Limitation de la charge batterie pour éviter la surcharge des accumulateurs et réduire les pertes en eau par dégagements gazeux.
- Protection des accumulateurs contre une décharge très profonde par déléstage de l'utilisation
  - Une hystérésis, au niveau du seuil de charge maximale, dite régulation.
  - et une hystérésis au niveau du seuil de décharge minimale dite sécurité.
- Dans le tableau ci-dessous on donne les différents seuils de régulation et de sécurité pour un élément d'accumulateur, au plomb, et pour des batteries du même type :

	Régulation		Sécurité	
	apparition	disparition	apparition	disparition
1 élément	2,40V	2,15V	1,90V	2,10V
batterie 12V	14,4V	12,9V	11,4V	12,6V
batterie 24V	28,8V	25,8V	22,8V	25,2V
batterie 48V	57,6V	51,6V	45,6V	50,4V

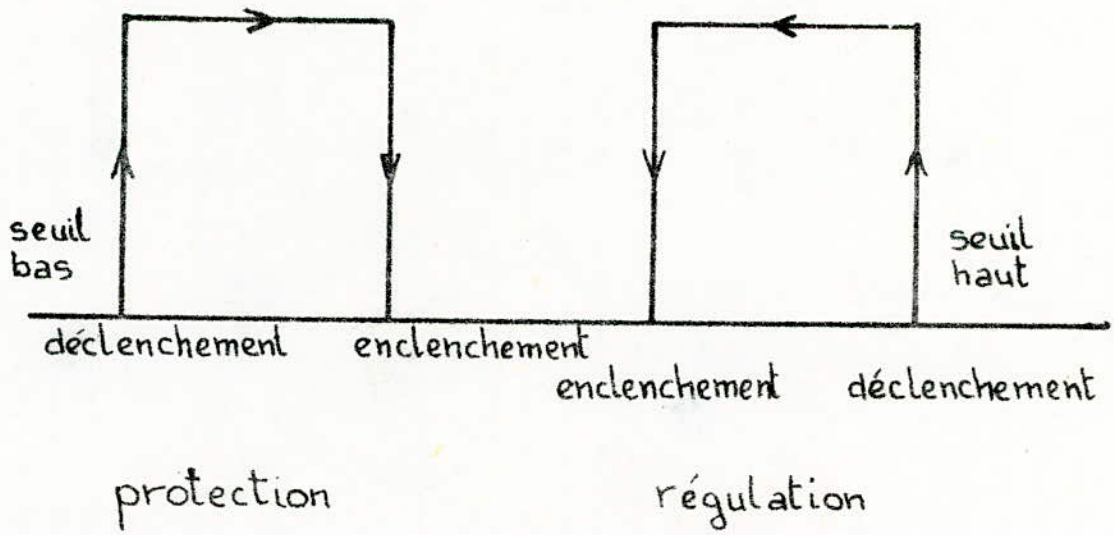
Éventuellement :

- Une alarme indiquant le déléstage de l'utilisation.
- Contrôle de l'état de charge des batteries par diodes L.E.D.
- Et aussi assurer un suivi assez fidèle de la tension maximale de fin de charge en fonction de la température, (voir CH. II), réalisé à l'aide d'une thermistance ou de diodes.





- a -



- b -

fig - 12 -

## Remarque

L'utilisation de relais, ou de transistors en Commutation pour la coupure des liaisons panneaux-batteries et batteries-utilisation, se montre plus ou moins rentable selon la puissance qu'on régule.

Dans le cas de faibles puissances (inférieures à 100W), le relai ne s'avère pas efficace du fait qu'il consomme une certaine puissance non négligeable.

Un transistor en Commutation consomme nettement moins, mais n'offre pas l'avantage d'une coupure parfaite comme le relai :  
en commutation :

$$\begin{array}{l} \text{saturé} \\ \text{bloqué} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} P_{ds} = V_{CES} \cdot I_{CS} \\ V_{CES} \approx 0 \\ P_{db} = V_{CB} \cdot I_{CB} \\ I_{CB} \approx 0 \end{array} \right. \Rightarrow P_{ds} = 0 \\ \Rightarrow P_{db} = 0$$

Pour des puissances élevées, l'utilisation de relais constitue la meilleure solution, car ils offrent l'avantage de coupure idéale, et de consommation négligeable, (Par rapport aux puissances mises en jeu).

## 2. Différents types de Régulateurs

Le régulateur doit être adapté aux besoins de la centrale électro-solaire, ainsi, chaque application nécessite un type de régulateur bien déterminé, bien sûr le principe de fonctionnement reste le même, seuls diffèrent les accessoires qui entourent le régulateur.



## 2.1 Eclairage public, balises clignotantes

Dans ce cas le poteau ou la balise n'est allumé que la nuit, on doit donc munir ~~de~~ régulateur d'une cellule photo-électrique, pour détecter la diminution de l'éclairement (tombee de la nuit). Une solution économique reside dans l'utilisation de la tension delivree par le panneau pour detecter le crepuscule, puisque celle-ci diminue, quand l'éclairement diminue.

## 2.2. Utilisation domestique

Le régulateur doit seulement être apte à réguler une puissance moyenne, de l'ordre du KW.

## 2.3. Balisage radio

si l'émission se fait de façon intermittente, on doit munir le régulateur d'une minuterie.

## 3. Exemples de Regulateurs

### 3.1. Le régulateur PW 10C de photowatt :

Ce régulateur conçu par photowatt, est réalisé autour du circuit intégré du circuit intégré TCA 965.

Ce dernier, est spécialement développé par Siemens, pour la surveillance des accumulateurs.

Il comporte deux comparateurs à fenêtre, dont l'hysteresis, et les seuils de déclenchement peuvent-être ajustés par des résistances externes. (Voir fig -13-).

### 3.2. Régulateur Simplifié

Comme le montre le schéma de la fig 14, ce régulateur ne comporte que les deux relais et deux diodes zeners constituant

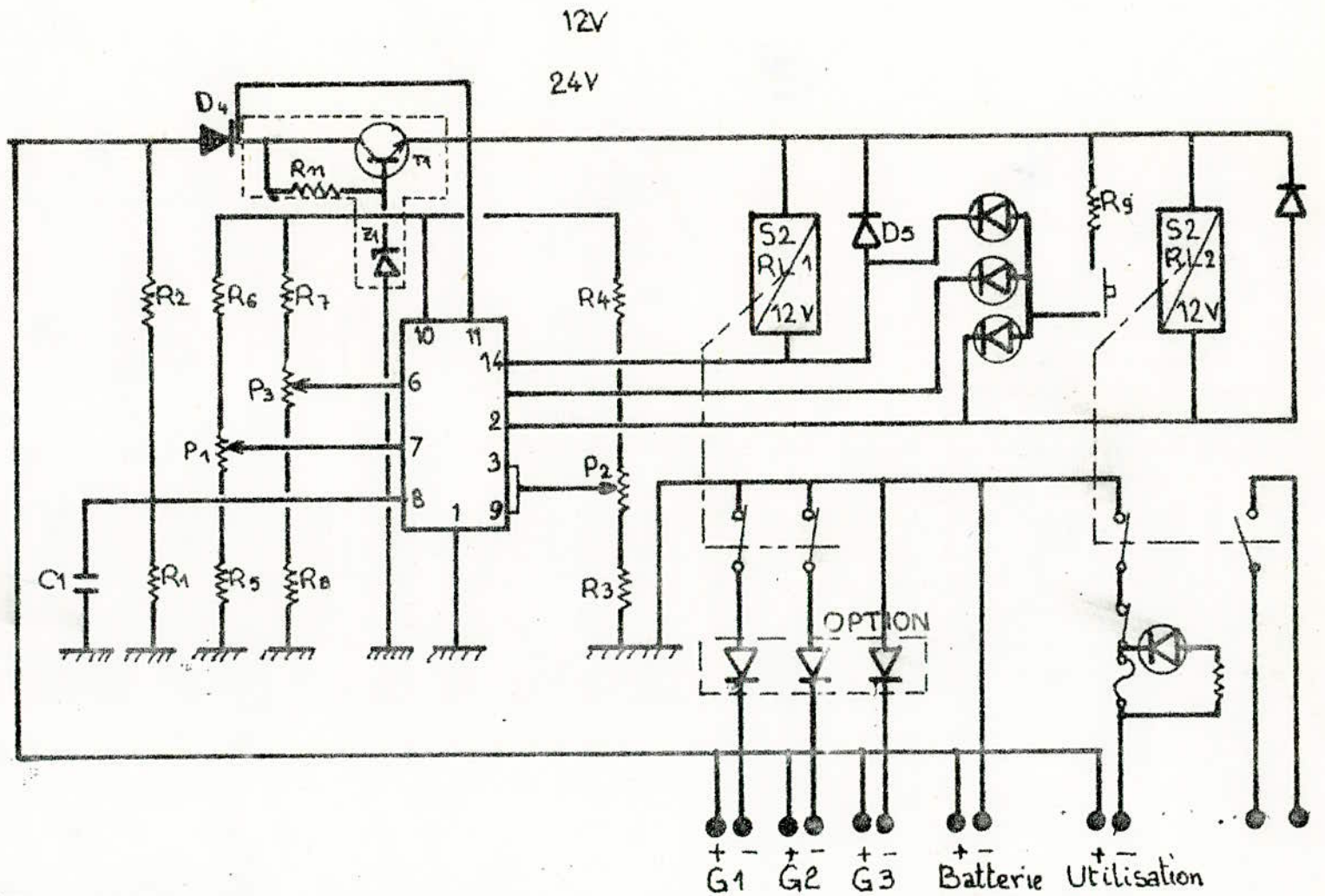
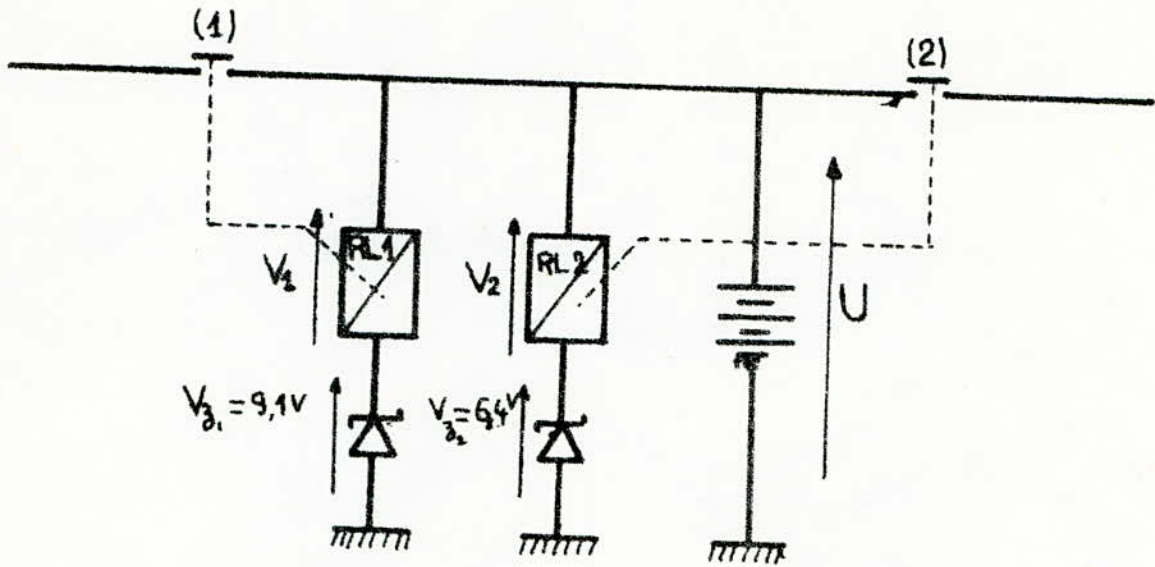


Fig-13- - Régulateur de charge.  
10 C Photowatt \_





Seuil de déclenchement des relais =  $V_s = 5V$

relai 1 : état de repos : fermé

relai 2 : état excité : fermé

$$V_1 = U - 9,1$$

$$V_2 = U - 6,4$$

$U \nearrow$   $U = 14,1V \Rightarrow V_1 = 5V \Rightarrow (1) \text{ ouvert (arrêt de la charge)}$

$U \searrow$   $U = 11,4V \Rightarrow V_2 = 5V \Rightarrow (2) \text{ ouvert (délestage de l'utilisation)}$

Fig - 14 - Régulateur simplifié sans comparateurs Cas d'une batterie 12V

les seuils de référence.

On peut améliorer ce dispositif, et user de l'hysteresis du matériau ferro-magnétique constituant le relai pour avoir un relai à deux seuils.

#### A. Conclusion :

Un régulateur qu'il soit de conception simple ou compliquée, constitue toujours le bloc de gestion de la Centrale électro-solaire.

Le point de vue économique veut que le montage satisfasse aux critères de simplicité, de fiabilité, et de performance; critères qui ne peuvent être réalisés simultanément.

Pour des utilisations courantes (balisage lumineux, éclairage, ...), les régulateurs déjà cités conviennent de façon assez parfaite.

Mais pour des cas plus compliqués, la solution de régulateur doté de micro-processeur semble peut-être plus intéressante.

Un tel régulateur peut, en plus de la fonction de régulation qu'il assure de façon assez parfaite, asservir le fonctionnement de certains appareils, leur mise en marche et leur arrêt pour des intervalles de temps prédéterminés, et ainsi utiliser l'énergie stockée de façon rentable (et tout juste nécessaire).

Aussi, doit-on intercaler entre panneaux et batteries, un dispositif qui permet l'adaptation entre ces deux constituants de la Centrale, de façon à ce que le panneau travaille toujours dans la zone de fonctionnement optimal, ainsi on augmentera le rendement de la



centrale, et on diminuera les pertes dues à la désadaptation  
panneaux - batteries.

2<sup>eme</sup> Partie

\_ ETUDE

EXPERIMENTALE

ET

REALISATION \_



## I Description et principe de fonctionnement du régulateur réalisé

Arrivés au terme de notre étude, nous proposons un type de régulateur, basé sur le même principe de fonctionnement que les régulateurs existants dans le Commerce, mais auquel on a apporté une certaine modification au niveau de la réalisation de l'hystérésis.

La technique adoptée consiste en l'utilisation de l'effet de mémoire des bistables R-S.

### 1 Description du montage

notre montage se compose de deux parties :

- La partie Commande
- La partie puissance

#### 1.1 La partie Commande Comprend :

- Les ponts diviseurs de tensions ( $R_1, R_2, R_3$ ) pour pouvoir utiliser notre régulateur en 12, 24 et 48 Volts.

- Les tensions de référence réalisées à l'aide de diodes zener.

- Quatre Amplificateurs opérationnels ( $\mu A 741$ ) utilisés en Comparateurs pour détecter les différents seuils de déclenchement. (2 pour la régulation et 2 pour la protection)

- deux Circuits Intégrés CD 4041 (Quadruples NAND), réalisant les bistables R-S, précédés chacun par une porte inverseuse au niveau d'une seule entrée, afin d'empêcher

L'existence d'un état indéterminé. Cette porte précède l'entrée S pour la régulation, et l'entrée R pour la sécurité.

- un diviseur de tension ajustable pour avoir une tension proportionnelle à la tension batteries (dans notre cas  $V_{bat}/2$ ).

- trois voyants lumineux pour visualiser l'état de charge batterie.

- un régulateur de tension qui assure l'alimentation des circuits intégrés, et des références de tension.

- une série de diodes qui assurent la compensation en température pour le seuil max.

#### 4.2. La partie puissance comprend :

- Les transistors qui assurent la commande en puissance des relais (transistor : 2N1711).

- trois diodes anti-retour pour la protection des panneaux, et munis de dissipateurs de chaleur, puisque pour un courant nominal de 15A environ; une diode dissipe :

$$P = V.I = 0,6 \times 15 = 9 \text{ W} .$$

- trois relais : deux pour l'arrivée d'énergie à partir des panneaux, et l'autre pour l'utilisation.

- Deux entrées pour panneaux (avec relais), et une entrée pour le panneau fournissant le courant de maintien.

- une entrée batteries, et une sortie utilisation.

voir schéma électrique fig - 15.



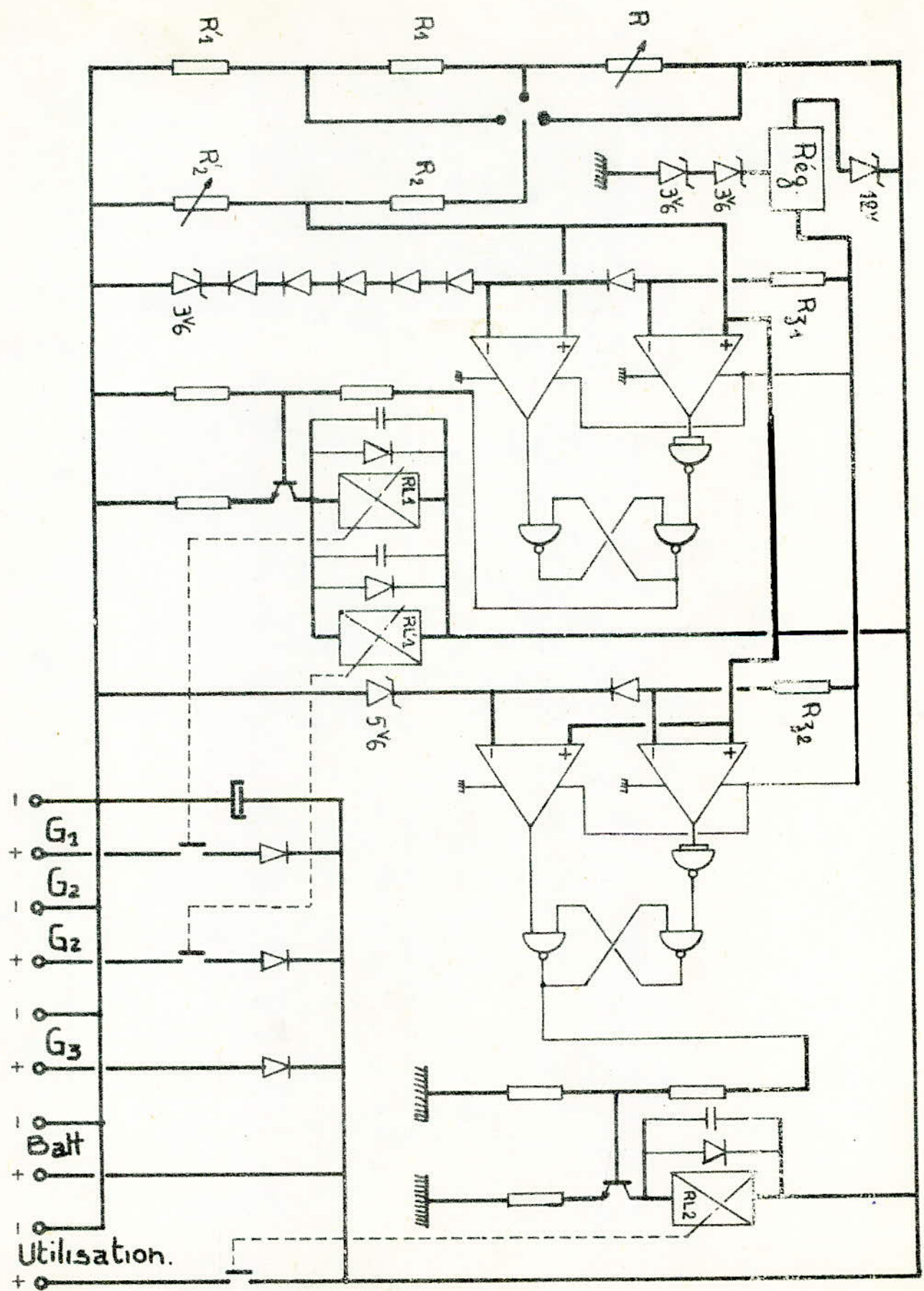


Fig. 15. - Schema Electrique -

Utiliser des Comparateurs à fenêtres, ou des triggers de Schmitt, ne Constitue pas une solution originale. L'introduction de Composants logiques présente déjà quelques avantages :

- faible Consommation.
- déclenchement net au niveau des seuils.
- faible coût, relativement aux Composants analogiques, en particulier les circuits Intégrés.

Mais ces quelques avantages se paient d'un autre côté, par la Complexité du Câblage et le nombre de Composants.

Les Quatres Comparateurs basculent aux seuils suivants :  $7,0^V$  ;  $6,5^V$  ;  $6,3^V$  ; et  $5,7^V$  Correspondants aux tensions suivantes de la batterie :  $28^V$  ;  $26^V$  ;  $25^V$  ; et  $22,8^V$  dans le cas d'une batterie 24 volts.

Le basculement se fait entre deux états, un état haut, auquel on a fait Correspondre le "1" logique et dont la tension est de l'ordre de 8 volt, et un état bas auquel on a fait Correspondre le "0" logique et dont la tension est celle a vide du comparateur, (de l'ordre de 2 volt).

Soient  $Q_1$  et  $Q_2$  respectivement, les états des relais des liaisons : panneaux - batterie, et batterie - utilisation :

- $Q_1 = 0$  si la liaison est établie.
- $Q_2 = 1$  si la liaison est ouverte.

Le tableau suivant nous donne les différents états qu'on doit avoir selon la tension batterie



V	①	②	③	④	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	R	V	J
$V < 22,8$	0	0	0	0	0	1	1	0	0
$V \geq 22,8$	0	0	0	1	0	1	1	0	0
$22,8 < V < 25$	0	0	0	1	0	1	1	0	0
$V \geq 25$	0	0	1	1	0	0	0	1	0
$25 < V < 26$	0	0	1	1	0	0	0	1	0
$V \geq 26$	0	1	1	1	0	0	0	1	0
$26 < V < 28,8$	0	1	1	1	0	0	0	1	0
$V = 28,8$	1	1	1	1	1	0	0	0	1
$26 < V < 28,8$	0	1	1	1	1	0	0	0	1
$V \leq 26$	0	0	1	1	0	0	0	1	0
$25 < V < 26$	0	0	1	1	0	0	0	1	0
$V \leq 25$	0	0	0	1	0	0	0	1	0
$22,8 < V < 25$	0	0	0	1	0	0	0	1	0
$V \leq 22,8$	0	0	0	0	0	1	1	0	0

Les chiffres ①, ②, ③ et ④ correspondent aux états des Comparateurs dont les seuils sont respectivement :

28,8 ; 26 ; 25 et 22,8

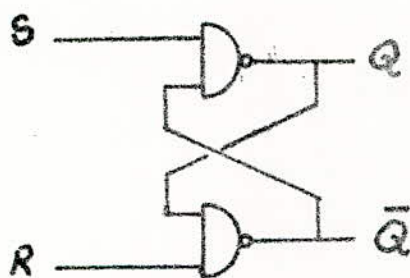
les lettres R, V, J correspondent aux voyants indiquant l'état de charge de la batterie

R → batterie déchargée

V → batterie normale

J → batterie surchargée

On s'aperçoit d'après le tableau précédent que la bascule R-S peut convenir, puisqu'elle a une de ses entrées insensibles si l'autre est à un état donné, seulement pour empêcher l'état indéterminé et avoir le résultat voulu on doit inverser une des entrées de la bascule.



S	R	Q <sup>+</sup>
0	0	∅
0	1	1
1	0	0
1	1	Q

Q: état passé

Q<sup>+</sup>: état présent

Dans notre cas on pose :

① =  $\bar{S}$     ② = R de la 1<sup>ère</sup> bascule correspondant au seuil haut ou régulation.

③ =  $\bar{R}$     ④ = S de la 2<sup>ème</sup> bascule correspondant au seuil bas ou sécurité

$\bar{S}$	S	R	Q <sub>1</sub> <sup>+</sup>
0	1	0	0
0	1	1	Q <sub>1</sub>
1	0	0	∅
1	0	1	1

S	$\bar{R}$	R	Q <sub>2</sub> <sup>+</sup>
0	0	1	1
0	1	0	∅
1	0	1	Q <sub>2</sub>
1	1	0	0

Remarquons que l'état S = R = 0 qui donne un état indéterminé en sortie n'existe pas.

pour les voyants :  $J = Q_1$  ;  $R = Q_2$   
 $V = \overline{Q_1} \cdot \overline{Q_2}$



## 2 Calcul des Composants

### 2.1 Résistances de polarisation des diodes zener :

#### 2.1.1. Calcul de $R_{Z1}$ :

on fixe  $I_{Z1} = 2 \text{ mA}$

$$R_{Z1} = \frac{V_{\text{reg}} - V_{Z1}}{I_{Z1}}$$

$$V_{\text{reg}} = 9,4 \text{ V} ; V_{Z1} = 7,2 \text{ V}$$

$$\text{d'où : } R_{Z1} = 1,1 \text{ k}\Omega.$$

on prend :

$$R_{Z1} = 1 \text{ k}\Omega$$

#### 2.1.2. Calcul de $R_{Z2}$ :

on fixe le courant  $I_{Z2} = 1 \text{ mA}$  donc  $R_{Z2} = \frac{V_{\text{reg}} - V_{Z2}}{I_{Z2}}$

$$V_{Z2} = 6,3 \text{ V} \quad \text{d'où } R_{Z2} = 3,1 \text{ k}\Omega$$

on prend :

$$R_{Z2} = 2,7 \text{ k}\Omega$$

### 2.2. Résistances des ponts diviseurs :

#### 2.2.1. Calcul de $R_2$ :

au point c :  $V_c = 12 \text{ V}$ , et on considère que l'amplificateur opérationnel est idéal (impédance d'entrée infinie).

$$V_c = 2 R_2 I_{R2} \Rightarrow R_2 = \frac{V_c}{2 I_{R2}}$$

$$\text{soit } I_{R2} = 6 \text{ mA} \Rightarrow$$

$$R_2 = 1 \text{ k}\Omega$$

#### 2.2.2. Calcul de $R$ , $R_1$ , et $R'_1$ :

pour une batterie de  $24 \text{ V}$  ( $V_{\text{batt}} = 24 \text{ V}$ )

$$V_{\text{batt}} = V_A + R I_R \Rightarrow R = \frac{V_{\text{batt}} - V_A}{I_R}$$

Comme on veut avoir  $V_A = \frac{V_{\text{batt}}}{2}$

$$\Rightarrow R = \frac{V_{\text{batt}}}{2 I_R}$$

$$V_A = (R_1 + R_1')(I_R - I_{R_2}) = \frac{V_{\text{Batt}}}{2}$$

$$\Rightarrow R_1 + R_1' = \frac{V_{\text{Batt}}}{2(I_R - I_{R_2})} ; V_{\text{Batt}} = 24\text{V et } I_{R_2} = 6\text{mA}$$

on fixe le courant traversant  $R_1$  et  $R_1'$  à  $4\text{mA}$ .

$$\text{donc } I_R - I_{R_2} = 4\text{mA} \Rightarrow I_R = I_{R_2} + 4\text{mA}$$

$$\Rightarrow I_R = 6 + 4 = 10\text{mA}$$

$$\text{d'où } R = \frac{V_{\text{Batt}}}{2I_R} = \frac{24}{2 \cdot 10} = 1,2\text{K}\Omega \Rightarrow \boxed{R = 1,2\text{K}\Omega}$$

$$R_1 + R_1' = \frac{V_{\text{Batt}}}{2(I_R - I_{R_2})} = \frac{24}{2 \cdot 4} = 3\text{K}\Omega \Rightarrow \boxed{R_1 + R_1' = 3\text{K}\Omega}$$

Pour une utilisation en  $48\text{V}$  :  $V_{\text{Batt}} = 48\text{V}$

$$V_{\text{Batt}} = V_C + (R + R_1) I_R \Rightarrow R + R_1 = \frac{V_{\text{Batt}} - V_C}{I_R}$$

$$R_1 = \frac{V_{\text{Batt}} - V_C}{I_R} - R \quad \text{si } I_R = 10\text{mA} ; V_C = 12\text{V et } V_{\text{Batt}} = 48\text{V}$$

$$R = 1,2\text{K}\Omega$$

$$\Rightarrow R_1 = \frac{48 - 12}{10} - 1,2 = 2,4\text{K}\Omega$$

$$\text{on prend } \boxed{R_1 = 2,4\text{K}\Omega} ; \boxed{R_1' = 720\Omega}$$

Les bancules  $R-S$  sont réalisées à l'aide de circuits intégrés M.O.S dont l'impédance de sortie est faible, ce qui nous a introduit des perturbations si on attaque directement le transistor 2N1711 ; pour éviter cela on a usé de ponts diviseurs.

### 3- Compensation en température

- Cette compensation a été réalisée à l'aide de diodes



dont il faut déterminer le nombre.

Une batterie 12V a un coefficient de température  $\alpha = 30 \text{ mV}/^\circ\text{C}$

Comme la tension de mesure batterie est  $V_{\text{batt}}/2$  donc on considère

$$\alpha_B = \frac{30}{2} = 15 \text{ mV}/^\circ\text{C}$$

il faut faire en sorte que :

$$\alpha_B + \sum_{\text{diodes}} \alpha_i = 0 \Rightarrow \alpha_i \text{ négatifs}$$

une zener 3,6V a :  $\alpha_z = -2,34 \text{ mV}/^\circ\text{C}$

une diode simple a :  $\alpha_d = -2,4 \text{ mV}/^\circ\text{C}$

$$\text{d'où : } n = \frac{|\alpha_B| - |\alpha_z|}{|\alpha_d|} = \frac{15 - 2,34}{2,4} \Rightarrow n \approx 6 \text{ diodes}$$

La tension aux bornes des 6 diodes doit être de :

$$V_d = \frac{V_{\text{batt max}}}{2} - V_{\text{zener}}$$

$$V_d = \frac{14,4}{2} - 3,6 = 3,6 \text{ V} \Rightarrow V_d = 3,6 \text{ V}$$

#### 4- Consommation :

On a estimé pratiquement que le courant dans les parties commande et puissance, (excepté les diodes anti-retour), lorsque les deux relais, fonctionnant simultanément sont excités, est de l'ordre de 115 mA ; d'où une puissance consommée par le montage :

$$P_c = U \cdot I$$

$$U = 28 \text{ V max} \Rightarrow P_c = 28 \cdot 115 = 3220 \text{ mW}$$

$$P_c = 3,22 \text{ W} \text{ Ce qui est négligeable devant } 100 \text{ W et plus.}$$

### 5. Justification du choix des circuits intégrés M.O.S CD4011

On aurait pu aussi bien utiliser des circuits intégrés T.T.L (SN7400) que C.M.O.S (CD4011).

Faisons tout d'abord une comparaison entre ces deux technologies :

	Tension d'alimentation (V)			Niveaux Logiques (V)			
				Entrée		sortie	
	max	nom	min	"0"	"1"	"0"	"1"
TTL	5,25	5	4,75	0-0,8	2-	0,4	2,4
CMOS	15	10	6	0-4,5	5,5-	0,1	9,9

Le niveau "0" en sortie du Comparateur est d'environ 2,2V ce qui correspond au "1" logique TTL, alors qu'en C.M.O.S il correspond à un "0".

Le niveau "1" du Comparateur est de l'ordre de 8V ce qui correspond au "1" logique en C.M.O.S.

Les niveaux de sortie en C.M.O.S sont très bien définis, qu'en TTL.

Les C.M.O.S fonctionnent dans une large plage de tensions d'alimentation (de 6 à 15V). Comme la tension minimale des batteries est de 11,8V (dans le cas de batterie 12V), on peut facilement alimenter nos bascules C.M.O.S, le choix TTL nous aurait obligé à utiliser des diviseurs de tensions aux niveaux de la tension d'alimentation et des entrées.



Enfin les circuits C.M.O.S ont une très faible consommation que les TTL, et aussi une grande immunité au bruit.

Le seul inconvénient des circuits C.M.O.S est leur temps de réponse plus lent comparé aux circuits TTL, mais ceci ne constitue point un inconvénient dans le cas de notre application.

## 6- Remarques et Conclusions

On aurait pu diminuer le nombre de composants, si on avait trouvé le circuit LM 324 qui lui seul remplacera les quatre ampli-operationnels, le prix de revient du montage sera abaissé.

On a aussi remarqué que le coût du TCA 965 utilisé par photowatt est plus élevé que le coût du LM 324 et des deux CD 4041 réunis, ce qui constitue une certaine économie sur le coût total du régulateur.

Aussi a-t-on proposé un autre type de régulateur, dont nous ne ferons pas la synthèse (fig. 16).

Ce régulateur utilise un convertisseur digital-analogique, et un circuit logique.

Un régulateur réalisé autour d'un micro-processeur peut faire l'objet d'une étude.

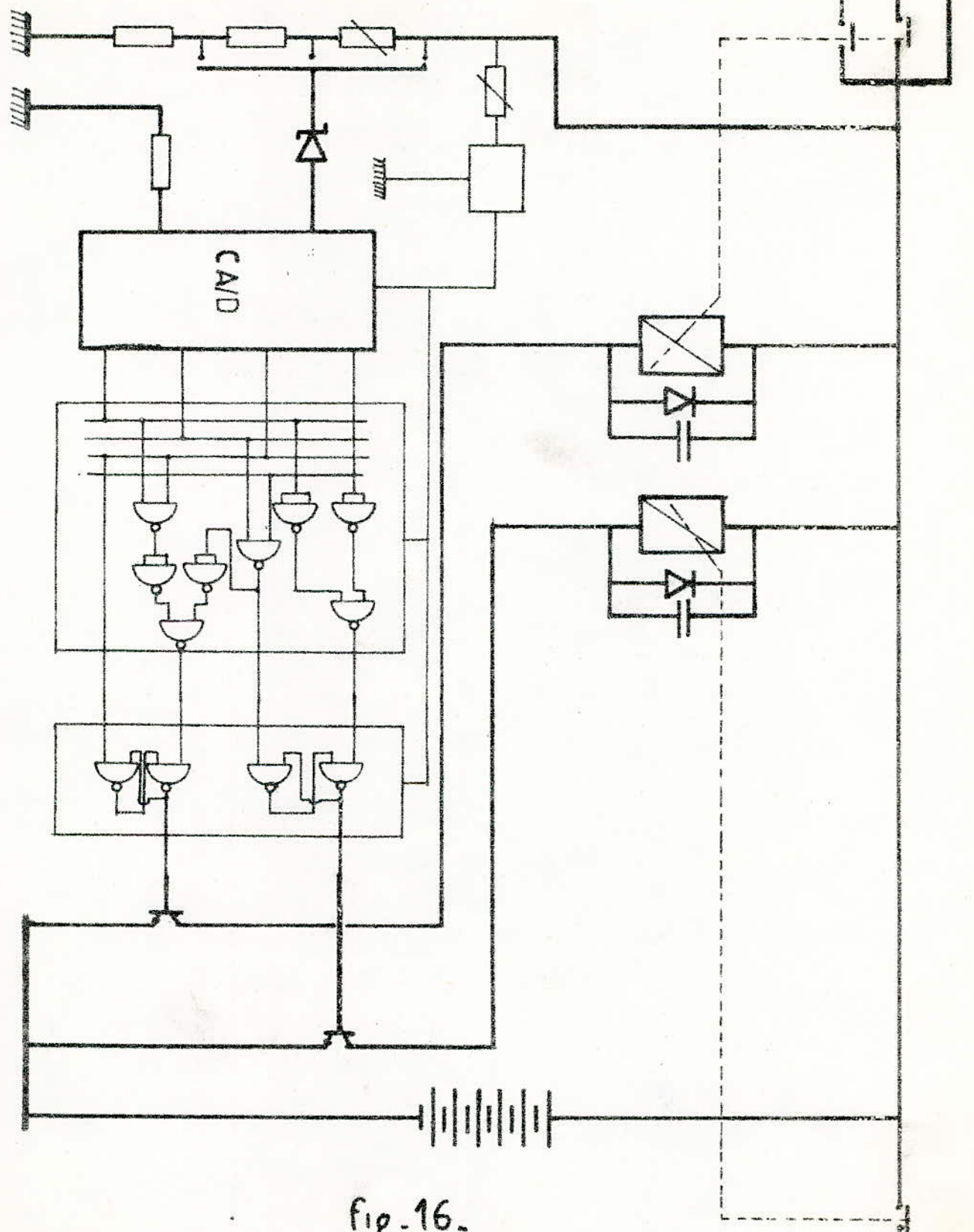


fig. 16.



## II Dimensionnement de la centrale solaire dans le cas d'une utilisation domestique.

### 1. Introduction

Le dimensionnement d'une centrale solaire s'effectue suivant certains critères entre autres :

- Situation géographique et le climat, car l'intensité du rayonnement solaire mesuré au sol dépend des coordonnées géographiques du lieu (latitude, longitude, déclinaison....).
- La profondeur maximale de décharge.
- La consommation journalière.
- L'autonomie désirée de la station en cas de non ensoleillement.

Le coût d'une telle installation dépend surtout du nombre de panneaux utilisés ou le prix élevé de ces derniers.

### 2. Calcul du nombre de panneaux solaires.

Une surface plane reçoit un flux d'énergie  $E$  ayant pour expression :

$$E = E_0 [ \cos(L-\theta) \cos \delta \cos H + \sin(L-\theta) \sin \delta ]$$

(voir chapitre I)

On remarque donc que le flux direct d'énergie solaire dépend de  $\delta$ ,  $L$ ,  $H$ , et  $\theta$ .

$\delta$ ,  $L$  et  $H$  sont fixes pour un lieu et une période donnés, il ne reste que  $\theta$ , qui est l'angle entre la normale du capteur plan et la verticale du lieu qui peut-être variable.

A partir de la relation précédente on pourra tracer un réseau de caractéristiques pour différents angles d'inclinaison du capteur  $\theta$ . (voir tableau et fig 17)

Mois	declinaison $\delta$ en degre	$E_{\theta=0}$ kWh m <sup>-2</sup> /j	$E_{\theta=L}$ kWh m <sup>-2</sup> /j	$E_{\theta=60}$ kWh m <sup>-2</sup> /j	$E_{\theta=90}$ kWh m <sup>-2</sup> /j
Janvier	-20,8	2,82	4,95	5,29	4,48
Fevrier	-12,7	3,42	5,16	5,21	4,04
Mars	-1,9	4,12	5,29	4,94	3,32
Avril	9,9	4,71	5,21	4,44	2,41
Mai	18,9	5,03	5,01	3,94	1,64
Juin	23,1	5,14	4,87	3,67	1,67
Juillet	21,3	5,10	4,93	3,79	1,43
Aout	13,7	4,86	5,14	4,24	2,09
Septembre	3,0	4,39	5,29	4,76	2,96
Octobre	-8,8	3,69	5,23	5,13	3,80
Novembre	-18,4	3,00	5,02	5,28	4,36
decembre	-23	2,65	4,87	5,29	4,59

### 2.1. Orientation optimale du Capteur

La Collecte de l'énergie à l'aide de panneaux peut se faire de plusieurs manières.

- Le système de poursuite automatique du soleil (héliostat) qui permet de fixer le panneau normalement aux rayons solaires.

Cependant une partie du surplus d'énergie collecté par un tel système est absorbé par le dispositif d'asservissement.

- L'orientation manuelle du capteur à chaque saison vers une direction où l'intensité solaire serait maximale. Cependant ce procédé nécessite l'intervention d'une main d'œuvre spécialisée à des moments précis de l'année (ce qui n'est pas commode pour des sites éloignés)



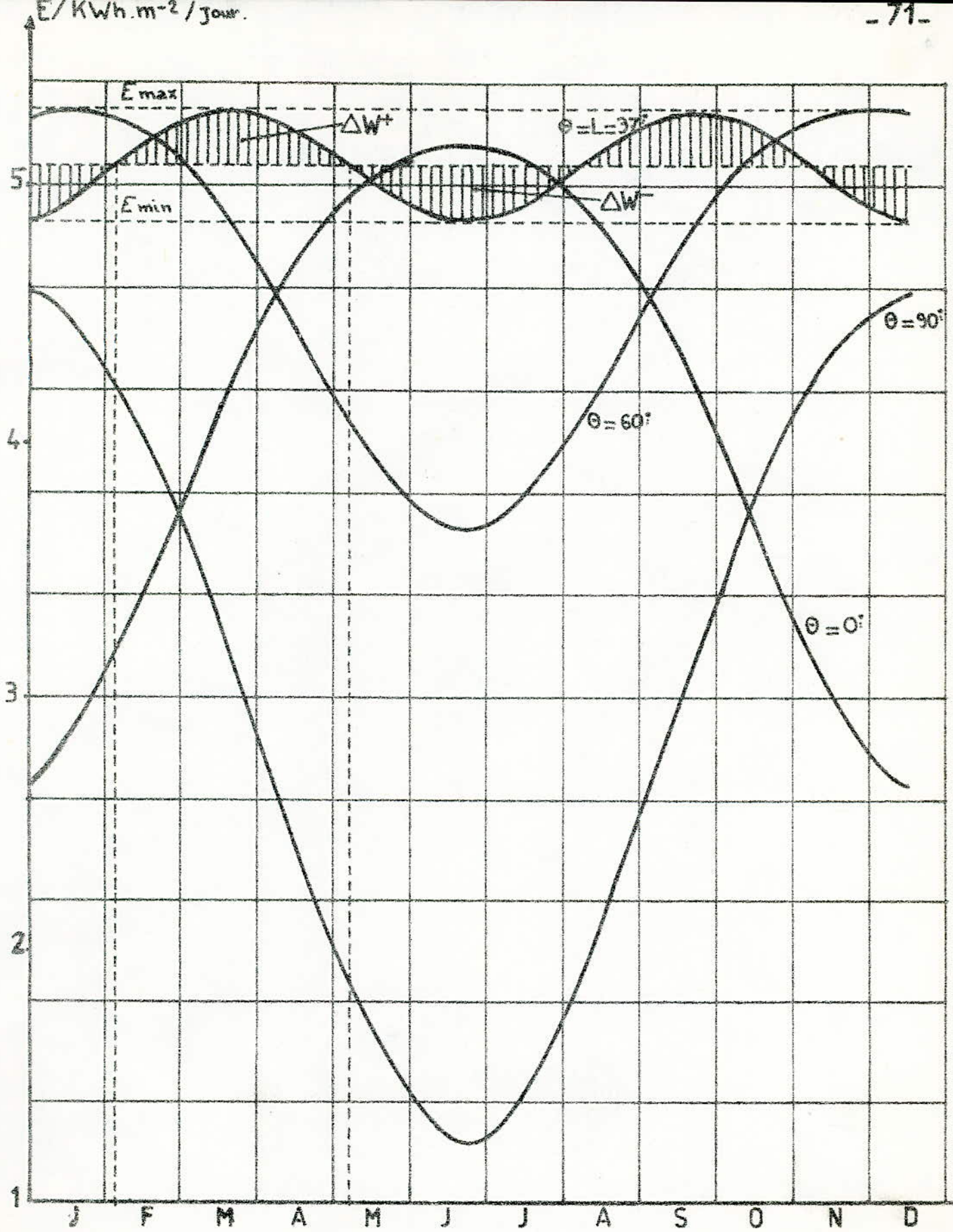


fig-17. -Variations saisonnières de l'énergie reçue à Alger pour diverses valeurs de  $\theta$ .

L'utilisation la plus simple et la plus répandue consiste à orienter définitivement les panneaux vers la direction pour laquelle l'énergie collectée est maximale.

Cette orientation se fait vers le sud avec une inclinaison du capteur d'un angle  $\theta$  voisin de la latitude du lieu  $L$  car à travers le réseau de caractéristiques de la fig-17. On remarque que le minimum de fluctuation est obtenu pour  $\hat{\theta} = \hat{L}$ .

Une orientation telle que  $\theta = 0$  nous conduirait, dans le cas d'un stockage par accumulateur, à de très grandes valeurs de capacité car l'écart ~~type~~ entre le maximum et le minimum est grand.

## 2.2. Puissance moyenne journalière convertie

L'énergie totale annuelle reçue par une unité de surface est :

$$W_{\text{tot}} = \int_0^{365} E dt$$

L'expression analytique de la courbe  $\theta = L$  est :

$$E = E_{\text{min}} + \frac{E_{\text{max}} - E_{\text{min}}}{2} = \frac{E_{\text{max}} + E_{\text{min}}}{2}$$

$$\text{d'où : } W_{\text{tot}} = \int_0^{365} \frac{E_{\text{max}} + E_{\text{min}}}{2} dt = 365 \cdot \frac{E_{\text{max}} + E_{\text{min}}}{2}$$

$$W_{\text{tot}} = 365 \cdot \frac{E_{\text{max}} + E_{\text{min}}}{2} \quad \text{énergie totale annuelle reçue.}$$

$$\text{L'énergie journalière reçue } W_m = \frac{W_{\text{tot}}}{365} = \frac{E_{\text{max}} + E_{\text{min}}}{2}$$

déterminons la puissance moyenne journalière  $P_m$  reçue par unité de surface :



$$P_m / m^2 = \frac{W_m}{\Delta T} = \frac{E_{max} + E_{min}}{2 \Delta T}$$

ou  $\Delta T$  : durée d'ensoleillement

moyen auquel est soumis un panneau faisant un angle  $\theta = 37^\circ$  pendant un jour. Pour Alger et ses environs  $\Delta T = 10$  heures.

Le panneau de surface  $S$  recevra donc une puissance moyenne journalière égale à  $P_m / j = P_m / m^2 \cdot S = \frac{E_{max} + E_{min}}{2 \Delta T} \cdot S$ .  
 etant donné que le rendement du panneau est  $\eta_p$  donc la puissance moyenne journalière convertie sera égale à :

$$P_{m_{conv}} = \eta_p P_m / j = \eta_p \cdot \frac{E_{max} + E_{min}}{2 \Delta T} \cdot S$$

### 2.3. Puissance moyenne journalière consommée.

Les besoins en électricité peuvent-etre classé en deux catégories :

- L'utilisation de l'électricité à des usages domestiques voir fig 18.a.
- La consommation d'énergie d'équipement professionnels exemple : balise etc. voir fig-18.b.

Dans ce qui suit on s'intéressera seulement au 1<sup>er</sup> cas.

L'énergie totale journalière consommée s'écrit :

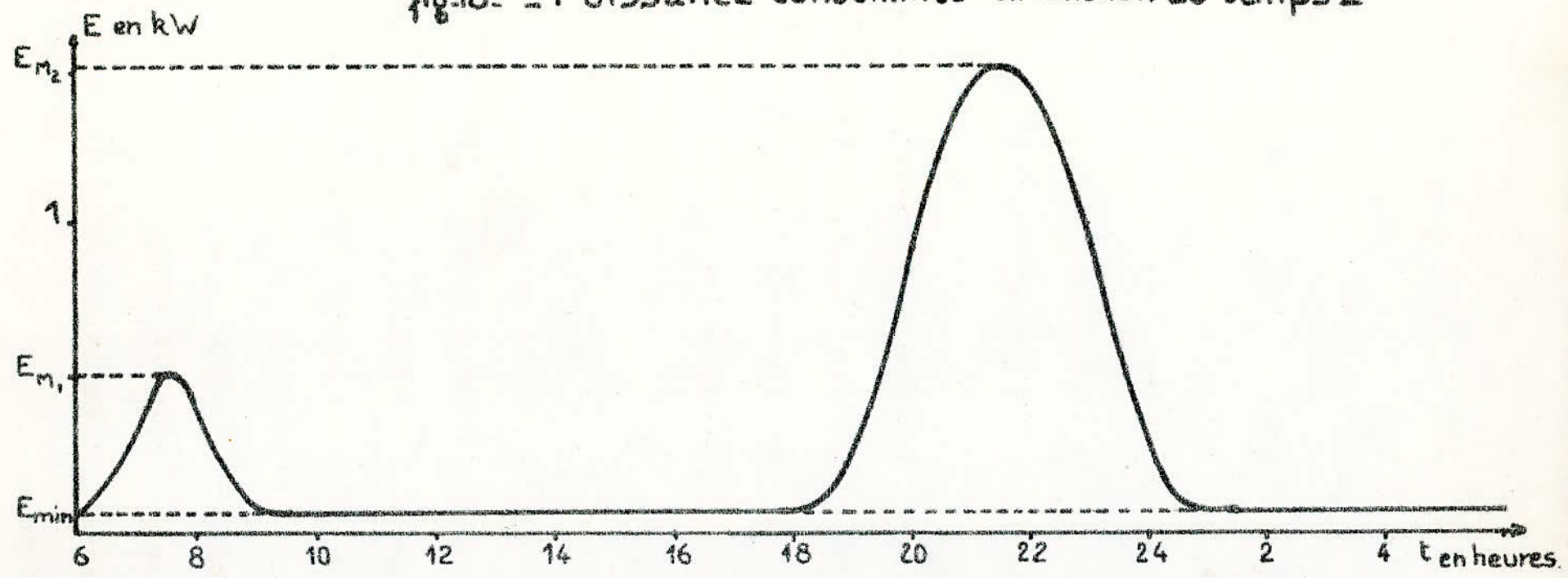
$$W_u = \int_0^{24} E dt = \int_0^{24} E_{min} dt + \int_6^9 (E_{M_1} - E_{min}) \sin \frac{\pi}{3} t dt + \\ + \int_{18}^{24} (E_{M_2} - E_{min}) \sin \frac{\pi}{6} t dt .$$

on trouve :  $W_u = 18,2 E_{min} + 1,9 E_{M_1} + 3,8 E_{M_2}$

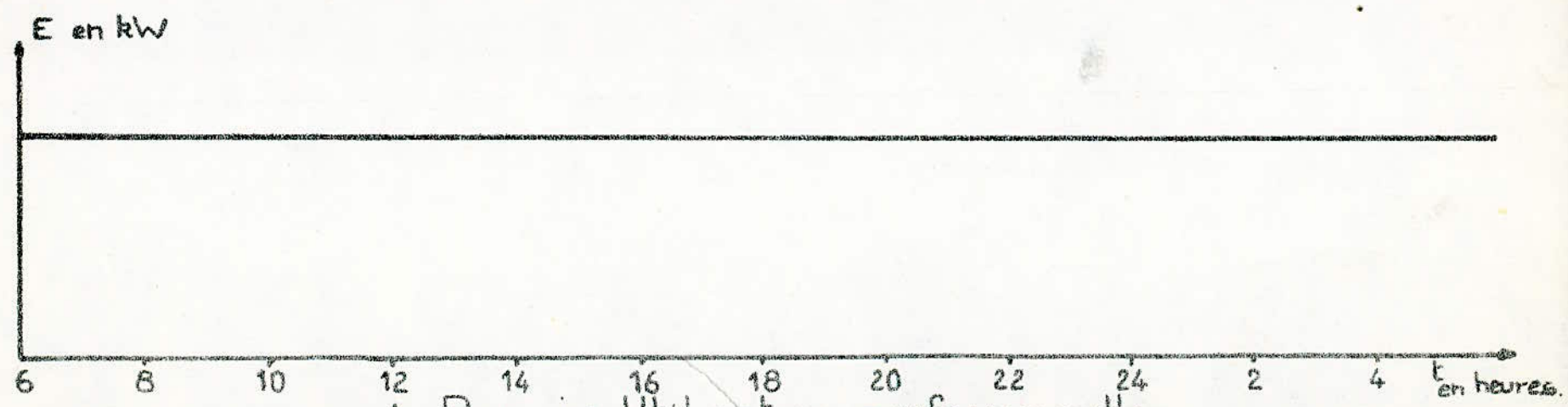
A partir de la courbe de la fig 18.a., on relève :

$E_{min} = 0,05 \text{ kwh} ; E_{M_1} = 0,5 \text{ kwh} ; E_{M_2} = 1,5 \text{ kwh}$

fig.18. - Puissance Consommée en fonction du temps -



- a. Pour une Utilisation domestique.



- b. Pour une Utilisation professionnelle.



alors :  $W_u = 18,2 \cdot 0,05 + 1,9 \cdot 0,5 + 3,8 \cdot 1,5 = 7,5 \text{ kWh/j}$

d'où la puissance moyenne journalière consommée / heure :

$$P_u = \frac{W_u}{24} = \frac{7,5}{24} = 0,3 \text{ kw}$$

#### 2.4. Détermination du nombre de panneaux

Après avoir déterminé la puissance moyenne journalière convertie  $P_{m\text{conv}}$  et la puissance moyenne consommée déterminons maintenant la surface nécessaire de panneaux (donc le nombre de panneaux).

Etant donné que le rendement des accumulateurs est  $\eta_a$  alors la puissance convertie par le panneau solaire devient à la sortie de l'accumulateur égale à :

$$P_a = \eta_a P_{m\text{conv}} = \eta_a \eta_p \frac{E_{\text{max}} + E_{\text{min}}}{2 \Delta T} \cdot S$$

Cette puissance doit-être au moins égale à la puissance demandée par l'utilisateur soit :

$$P_u \leq P_a \text{ dans le cas extrême}$$

$$P_u = P_a = \eta_p \eta_a \frac{E_{\text{max}} + E_{\text{min}}}{2 \Delta T} \cdot S$$

$$\Rightarrow S = \frac{P_u}{\frac{E_{\text{max}} + E_{\text{min}}}{2 \Delta T}} \cdot \frac{1}{\eta_a \eta_p}$$

Dans notre cas :  $P_u = 0,3 \text{ kw}$

$$E_{\text{max}} = 5,29 \text{ kWh m}^{-2} / \text{J}$$

$$\eta_a = 85\%$$

$$E_{\text{min}} = 4,87 \text{ kWh m}^{-2} / \text{J}$$

$$\eta_p = 8,5\%$$

$$\Delta T = 10 \text{ h}$$

Les valeurs de  $E_{max}$  et  $E_{min}$  ont été relevées sur la fig. 17.

$$d'où P_{m/m^2} = \frac{E_{max} + E_{min}}{2 \Delta T} = \frac{5,29 + 4,87}{2 \cdot 10} = 0,51 \text{ kw m}^{-2}$$

$$donc S = \frac{0,3}{0,51} \cdot \frac{1}{0,85 \cdot 0,085} = 8,14 \text{ m}^2$$

$$d'où N = \frac{S}{S_0}$$

$N$ : nombre de panneaux  
 $S_0$ : surface d'un panneau

$S_0 = 0,3675 \text{ m}^2$  pour les modules ARCO 162000

$$N = \frac{8,14}{0,3675} = 22,15 \text{ panneaux, donc } N = 23 \text{ panneaux}$$

$S_0 = 0,378 \text{ m}^2$  pour les modules Photowatt BPX 47400

$$N = \frac{8,14}{0,378} = 21,53 \text{ panneaux, donc } N = 22 \text{ panneaux}$$

### 3. Calcul de la capacité de l'accumulateur

Le stockage a pour but de mettre en réserve une certaine quantité d'énergie pour une utilisation ultérieure car l'énergie arrivant au sol n'est pas continue mais subit des fluctuations mensuelles comme il est illustré par la fig. 17.

Le rôle de l'accumulateur est de cumuler l'énergie en excès  $\Delta W^+$  et de fournir l'énergie manquante  $\Delta W^-$

S'il admet qu'il y a compensation des variations saisonnières comme sur la figure 17. on a :

$$\Delta W^+ = \Delta W^- = \Delta W$$

Si les batteries ne comportent pas de pertes par auto-décharge, l'excès d'énergie au printemps (ou automne) aura pour expression:



$$\Delta W = \eta_a \eta_p S \int_0^{\frac{365}{4}} \frac{E_{\max} - E_{\min}}{2} \sin \frac{4\pi t}{365} dt$$

Après intégration on trouve :

$$\Delta W = \eta_a \eta_p S \cdot 29 \cdot (E_{\max} - E_{\min})$$

Cette installation doit avoir une autonomie d'au moins  $E_0$ .

$$E_0 = \eta_p \eta_a E'_{0 \text{ moy}}$$

$E'_{0 \text{ moy}}$  sera choisie telle que l'accumulateur puisse fournir de l'énergie à l'utilisation pendant deux jours de non ensoleillement, on aura donc :  $E'_{0 \text{ moy}} = 2 \cdot 24 \cdot P_u = 48 P_u$

$$\text{d'où } \Delta W_{\text{tot}} = \Delta W + E_0 = 29 \eta_a \eta_p S (E_{\max} - E_{\min}) + 48 \eta_p \eta_a P_u$$

$$\Delta W_{\text{tot}} = \eta_p \eta_a [29 S (E_{\max} - E_{\min}) + 48 P_u]$$

Dans notre cas nous avons :

$$S = 22 \times 0,378 = 8,316 \text{ m}^2 \quad ; \quad E_{\max} = 5,29 \text{ kWh m}^{-2}/\text{J}$$

$$P_u = 0,3 \text{ kW} \quad ; \quad E_{\min} = 4,81 \text{ kWh m}^{-2}/\text{J}$$

$$\eta_a = 85\% \quad \eta_p = 8,5\%$$

$$\text{d'où } \Delta W_{\text{tot}} = 0,85 \cdot 0,085 [29 \cdot 8,316 \cdot (5,29 - 4,81) + 48 \cdot 0,3] \text{ kWh}$$

$$\Delta W_{\text{tot}} = 8,36 \text{ kWh}$$

$$\text{donc : } C_{\text{tot}} = \frac{\Delta W_{\text{tot}}}{U} = \frac{8,36}{24} = 348,2 \text{ Ah}$$

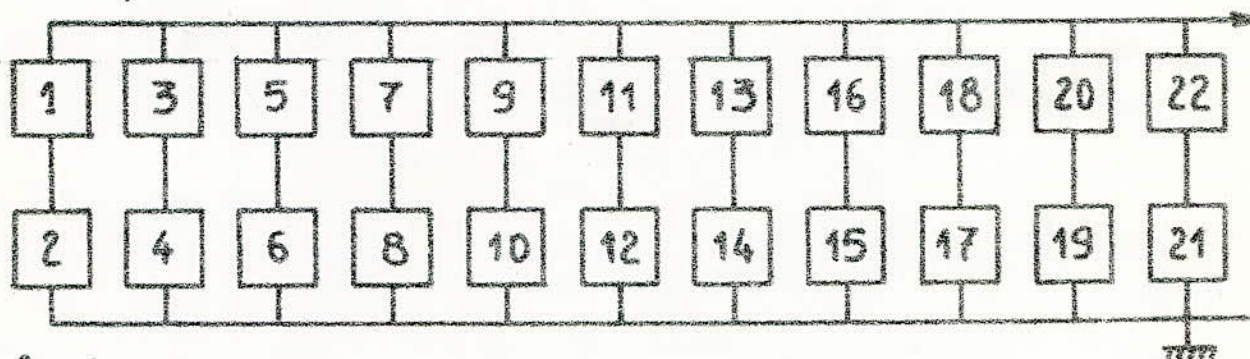
$$U \text{ tension nominale de la batterie} = 24 \text{ V}$$

On prend une sécurité de 20% donc on aura la capacité  $C$  égale

$$\text{à : } C = \frac{C_{\text{tot}}}{0,8} = \frac{348,2}{0,8} = 435,3 \text{ Ah} \Rightarrow \boxed{C = 435 \text{ Ah}}$$

#### 4. Choix de l'association des panneaux

Le calcul de dimensionnement pour la région d'Alger, nous a donné un nombre de panneaux solaires égal à 22. Comme notre montage fonctionne sous 24-volts et nécessite une puissance moyenne de 300 w donc il nous faudrait un courant de  $\frac{300}{24} = 12,5$  Amperes et que chaque module (BPX 47400) délivre sous les conditions optimale une tension de 20 volts, un courant de 2 A. Donc la configuration la plus simple que l'on puisse adopter est représenté sur la figure suivante :



#### 5. Conclusion

Le calcul de dimensionnement que nous avons fait montre qu'il faudrait :

- utiliser un nombre de panneaux égal à 22 et une Capacité des batteries égale à 435 Ah.
- que la surface modulaire des panneaux soit dirigé vers le sud et inclinée d'un angle  $\theta = L = 37^\circ$ .

Du point de vue économique, notre installation comportent 22 panneaux BPX 47400 valant chacun 2500 D.A. et 6 batteries d'accumulateurs valant chacune 300 D.A. Le coût du montage régulateur réalisé est de l'ordre de 1000 D.A. le coût total s'élève donc à 58000 D.A.



Comme la puissance fournie à l'utilisateur est de 300 w, le prix de revient du watt sera de l'ordre de 200 DA

A travers ces chiffres on voit qu'une centrale electro-solaire exige d'importants investissements, qui ne peuvent être amortis qu'à long terme. (plus de 20 ans).

## Conclusion

Utilisés dès les années 50 pour alimenter en énergie les satellites, les photopiles fabriquées à partir du silicium ont vu se développer en 1970 leurs applications "terrestres".

Actuellement les télécommunications, le pompage hydraulique et l'alimentation des maisons isolées constituent leurs trois principales applications. Mais cette technologie d'usage simple bute encore sur la fiabilité imparfaite des systèmes et surtout sur le coût élevé. En effet l'énergie solaire a des caractéristiques défavorables, qui limitent ses applications :

1- Elle est diluée, c'est à dire de très faible densité, d'où le recours à des équipements importants, ce qui correspond à des investissements initiaux lourds, pour des puissances installées modestes.

2- Elle est variable et discontinue (cycle jour-nuit et cycle saisonnier), ce qui pose des problèmes de dimensionnement des systèmes, et des problèmes de stockage.

3- Elle est aléatoire, ce qui affecte la garantie de fonctionnement des installations, ou exige le recours à un surdimensionnement du système de stockage.

Malgré tous ces inconvénients, l'énergie solaire sera sans nul doute l'énergie de demain.



ANNEXE.PERSPECTIVE DE L'ENERGIE SOLAIRE EN ALGERIE.Introduction.

- Soucieuse de diversifier sa politique énergétique, l'Algérie s'intéresse au développement de l'énergie solaire. Il nous semble intéressant d'évoquer le gisement solaire Algérien.

- L'Algérie qui se situe entre le 19<sup>ème</sup> et le 39<sup>ème</sup> parallèle nord, constitue un territoire dont la superficie totale est de 2.380.000 km<sup>2</sup>. Vu sa situation géographique, elle constitue sur le globe terrestre une zone qui est particulièrement bien ensoleillée. En effet la qualité d'un gisement solaire est caractérisée par la durée annuelle d'ensoleillement (qu'on exprimera en heures/an), et par la quantité d'énergie reçue par un mètre carré de surface horizontale en un an (kwh/m<sup>2</sup>/an). Des estimations faites sur la base de données recueillies par les stations météorologiques existantes, donnent les résultats du tableau I.

Nous pouvons constater, en parcourant le tableau I, que les durées de l'ensoleillement moyen varient de 2650 heures/an dans le nord, pour dépasser les



3500 heures/an dans le sud, et que les quantités moyennes d'énergie reçue sur une surface horizontale de  $1\text{m}^2$ , vont de près de  $1700\text{ kWh/m}^2/\text{an}$  au nord à  $2260\text{ kWh/m}^2/\text{an}$  dans le sud. Pour voir l'importance de ces chiffres, il suffit de signaler que les moyennes mondiales d'heures d'ensoleillement et de quantité d'énergie reçue sont respectivement de l'ordre de 2000 heures/an et de  $1400\text{ kWh/m}^2/\text{an}$ .

Le tableau II nous donne les quantités annuelles d'énergie solaire reçue. Pour voir l'importance de ces 5,2 milliards de GWh, représentant l'énergie solaire annuelle reçue, rappelons que la production totale d'électricité (SONELGAZ) pour l'année 82 a été de l'ordre de 8.000 GWh. Ainsi la consommation énergétique annuelle totale du pays (18 millions de tonne d'équivalent pétrole environ) correspond à la quantité d'énergie solaire rayonnée pendant 1 heure seulement.

### Perspective de l'énergie solaire en ALGERIE

Nous avons vu que le gisement solaire de l'Algérie était excellent tant par les intensités des radiations, que par les durées d'ensoleillement. Mais notre richesse en hydrocarbure a constitué un frein pour un développement national de l'énergie solaire, et cela



risque à long terme de voir la dépendance technologique vis à vis de l'extérieur s'étendre au domaine nouveau de l'énergie solaire. C'est la peur de cette dépendance qui a amené l'Algérie à se doter d'une institution (C.E.N) qui prend en charge, entre autres, l'avenir de l'énergie solaire. Ainsi des projets ont pu être inscrits; citons quelques uns:

- balisage de route (région d'Adrar).
- Centrale solaire à Melouka (Adrar).
- Alimentation en énergie solaire de villages à Batna

En conclusion, nous pouvons dire, bien que disposant des ressources en hydrocarbures, l'Algérie prépare déjà son avenir énergétique en diversifiant ses sources.

## IV

<u>Stations</u>	<u>nombre d'années de mesure</u>	<u>Durée d'ensoleillement (en heures/an)</u>	<u>Energie rayonnée (en kWh/m<sup>2</sup>/an)</u>
1. ANNABA-----	16 ans	2408	1592
2. SKIKDA-----	16 ans	2663	1685
3. BEJAÏA-----	4 ans	2446	1588
4. CONSTANTINE---	16 ans	2622	1740
5. MILIANA-----	4 ans	2664	1750
6. ALGER-----	38 ans	2761	1709
7. EL-ASNAM-----	9 ans	2742	1717
8. DRAN-----	16 ans	2915	1793
9. TLEMCEM-----	3 ans	2754	1809
MOYENNE-----		2653	1697
10. TEBESSA-----	3 ans	2660	1776
11. BATNA-----	4 ans	2881	1854
12. DJELFA-----	8 ans	2926	1927
13. LAGHOAT-----	5 ans	3133	1980
14. BISKRA-----	20 ans	3215	1908
MOYENNE-----		2950	1980
15. EL DUED-----	15 ans	3259	1952
16. OUARGLA-----	9 ans	3329	2021
17. TOUGGOURT---	5 ans	3461	2038
18. GHARDAÏA---	10 ans	3353	2062
19. AIN-SEFRA---	5 ans	3251	2084
MOYENNE-----		3331	2031
20. BECHAR-----		3445	2134
21. BENI-ABBES---		3582	2232
22. TAMANRASSET---		3515	2423
MOYENNE-----		3514	2263

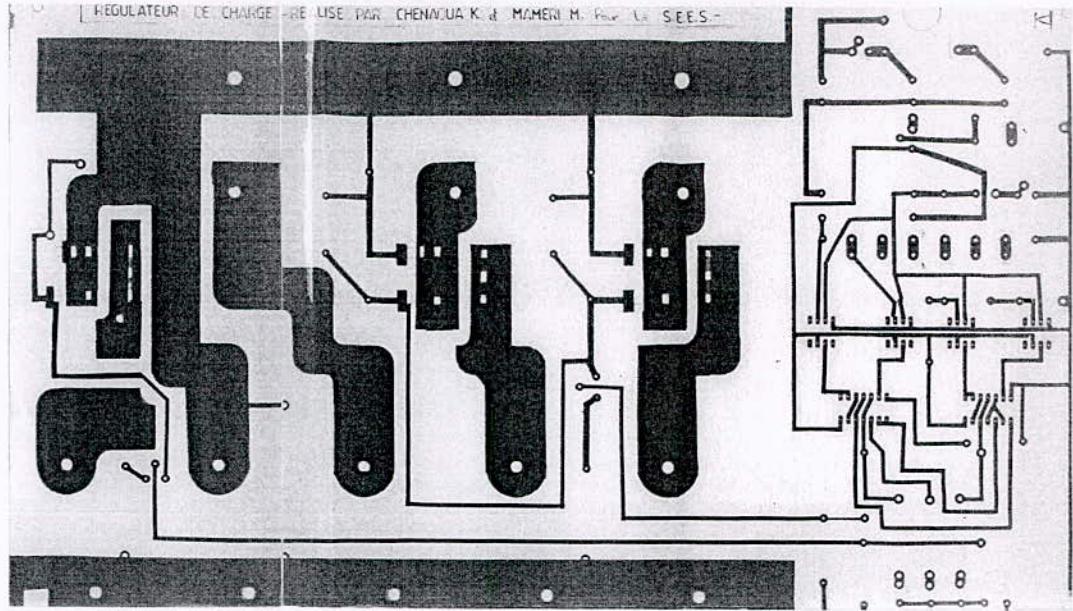
\_ TABLEAU I \_

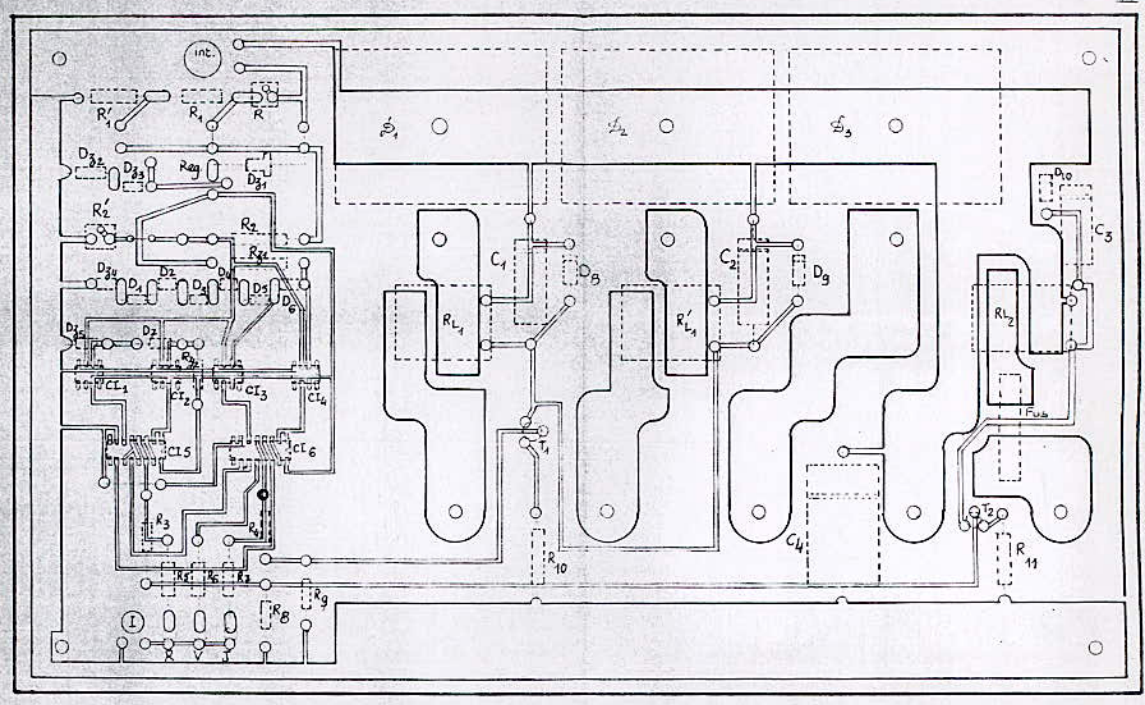
Regions	zone côtière	Hauts-plateaux	Pré-Sahara	Sahara	Total
Superficie (km <sup>2</sup> )	90.000	230.000	270.000	1.790.000	2.380.000
Energie solaire annuelle (Gwh/an)	152.700.000	434.700.000	548.000.000	4.050.800.000	5.186.200.000

\_ TABLEAU II \_



REGULATEUR DE CHARGE RE-LISE PAR CHENWUA K. & MAMENI M. Pour La S.E.E.S.







## NOMENCLATURE

### Partie Commande.

- Int : Interrupteur  
R : Resistance Ajustable  $1,2 \text{ k}\Omega$   
 $R_1$  : Resistance  $2,4 \text{ k}\Omega$   
 $R'_1$  : Resistance  $720 \Omega$   
 $D_{Z_1}$  : Diode Zener  $12 \text{ V}$   
Reg : Regulateur  $2,5$   
 $D_{Z_2}, D_{Z_3}$  : Diodes Zener  $3,6$   
 $R_2$  : Resistance  $1 \text{ k}\Omega$   
 $R'_2$  : Resistance Ajustable.  $1 \text{ k}\Omega$   
 $R_3$  : Resistance  $1 \text{ k}\Omega$   
 $D_1, D_2, \dots, D_6$  : Diodes 1N 4001  
 $D_{Z_4}$  : Diode Zener  $3,6$   
 $D_7$  : Diode 1N 4001  
 $D_{Z_5}$  : Diode Zener  $5,6$   
 $R_{Z_2}$  : Resistance.  $2,7 \text{ k}\Omega$   
 $CI_1, CI_2, CI_3, CI_4$  :  $\mu\text{A} 741$   
 $CI_5, CI_6$  : CD 4011  
 $R_3, R_4, R_8, R_9$  : Resistances  $1 \text{ k}\Omega$   
 $R_5, R_6, R_7$  : Resistances  $10 \text{ k}\Omega$ .  
R, V, J : LED rouge, verte, jaune  
I : Bouton poussoir.

Partie Puissance

$D_1, D_2, D_3$  : Diodes anti-retour BYX42 (15A)

$C_1, C_2, C_3$  : Capacites  $100 \mu\text{F}$

$D_8, D_9, D_{10}$  : Diodes MR501

$RL_1, RL'_1, RL_2$  : Relais  $24^{\text{V}}$   $475^{\text{V}}$

$T_1, T_2$  : Transistors 2N1711

$R_{10}$  : Resistance  $39 \Omega$

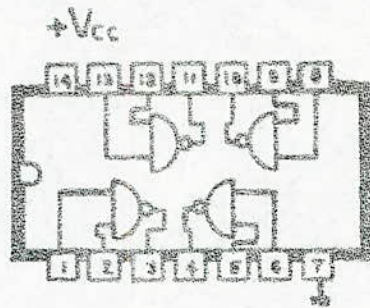
$R_{11}$  : Resistance  $82 \Omega$

$C_4$  : Capacite  $1000 \mu\text{F}$

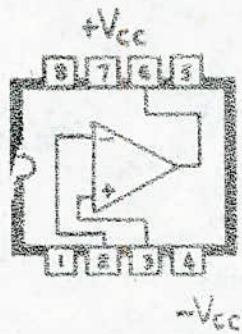
Fus : Fusible



Brochage des C-I :



CD 4011



MA 741

Brochage du transistor: 2N 1711



## BIBLIOGRAPHIE

- ADANE .

\* Dimensionnement d'une Centrale Solaire  
à Conversion photovoltaïque

- W. PALZ

\* ELECTRICITE Solaire .

- \* Formulaire pratique d'électricité .

- DOCUMENTS OLDHAM

\* Batteries Solaires

- Sonelgaz

\* Revue mensuelle N° 137

- CHRISTIAN Vauge

\* Le choix Solaire .