

ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

PROJET DE FIN

D'ETUDES Gm. 0279

SUJET : REGULATEUR ELECTRONIQUE

POUR REFRIGERATEUR

SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

AUTEUR MBAGNICK SARR

ANNEE 1985

DIRECTEUR INTERNE : M. A. WOLSKI

E. P. T.

DIRECTEUR EXTERNE M. BOCAR SY

SINAES

## DEDICACE S

Je dédie mon Projet de Fin d'Etudes

- A tous mes parents et plus particulièrement à mon Père et à ma Mère Chérie qui n'ont jamais ménagé aucun effort pour la réussite de mes Etudes,

- A mon Grand Frère et Cousin Songdé Sarr qui m'a toujours soutenu tant du côté matériel que moral durant tout le cycle de mes études

- A Monsieur Abdoul AZIZ Sow de la SODEFITEX et Madame qui ont accepté de me prendre en charge durant mon cycle d'Etudes secondaires à Kaolack. A ce couple, je renouvelle une fois de plus mes vives remerciements.

- A mon petit Garçon Abdou Sarr,

- A la famille Ndiaye au Quartier Son à Thiès,

- A ma petite amie Fama Ndiaye au Quartier Grand-Thiès à Thiès.

Un petit monde qu'il me plaît de fixer sur le fruit de ma conception et de mon travail de recherche.

# REMERCIEMENTS

J'adresse mes remerciements

- A mon Chef de Département et Directeur Interne de Projet Monsieur Andre Wolski, Professeur d'Electronique et d'Automatisme à l'E.P.T, pour son Encadrement et sa disponibilité tout au long de mes travaux,
- Au Technicien du Laboratoire d'Electrotechnique de l'E.P.T. Monsieur Raymond Prince pour sa disponibilité, ses conseils mais aussi et surtout les faveurs qu'il m'accordait durant toute la durée du projet,
- A mon Directeur Externe de Projet Monsieur Bocar Sy, ingénieur en Génie Mécanique de l'E.P.T et Chef du Service Technique de la SINAES pour les critiques, les conseils et recommandations qu'il n'a jamais cessé d'apporter à mon travail,
- Aux Electroniciens de Profession Messieurs M. Cordier et Bouré Sarr pour les heures qu'ils sacrifiaient de leur temps à analyser les étapes de mon travail à chaque fois que je me présentais à leurs services.

Mes remerciements vont à tous ceux qui, de près ou de loin ont contribué d'une façon ou d'une autre à la réussite de mon projet.

## SOMMAIRE

L'optimisation du fonctionnement et l'assurance des diverses sécurités d'un système de réfrigération solaire nécessite l'existence d'un système électronique interface entre les trois composants que sont : le Générateur solaire photovoltaïque, le réfrigérateur et la batterie de stockage. Toutefois, la conception d'un tel système électronique ne peut se faire sans une étude de la théorie des semi-conducteurs qui constitue la base même de la génération d'un courant de photopile à partir du générateur solaire photovoltaïque. Cette approche m'a conduit par la suite à :

- déterminer les grandeurs de référence et les seuils à respecter,
- faire une analyse des séquences de fonctionnement et des sécurités.

Ces deux phases du projet sont en quelque sorte des consignes qui constituent les contraintes qui ont guidé mon option pour la régulation série.

La conception et la réalisation d'un tel régulateur m'ont donné des résultats satisfaisants en ce sens que les tests m'ont permis de vérifier les seuils de fonctionnement et les sécurités à assurer mais aussi de constater que la taille du générateur était à remettre en question. Ceci m'a amené à redimensionner un autre générateur de courant de taille plus grande. La SINAES (Société Industrielle et Nationale des Applications de l'Énergie Solaire) qui m'a confié ce projet devra donc augmenter la taille du générateur solaire photovoltaïque à la valeur que je propose en Annexe III. pour assurer sa production continue de frigories.

# TABLE DES MATIERES

		PAGE
CHAP I	<u>Introduction</u>	- 1
CHAP. II	<u>ETude Théorique de Générateur de courant</u>	- 3
II-1	Introduction	-
II-2	Propriétés des semi-conducteurs	-
II-2-a	Définition d'un Semi-conducteur	-
II-2-b	Electrons - Trous	- 4
II-2-c	La conductivité électrique Intrinsèque	5
II-2-d	La conductivité électrique Extrinsèque: Dopage d'un semi-conducteur	- 6
II-3	La Jonction P-N	-
II-4	La Photopile	- 8
II-4-a	Causes de Limitation du Rendement d'une photopile	-
II-4-b	La photopile à l'obscurité	- 9
II-4-c	La Photopile Éclairée	- 10
II-4-d	Définitions de quelques propriétés particulières des cellules solaires	-
	- Puissance Crête	-
	- Rendement de conversion	-
	- Facteur de forme	- 11

	Page
II - 5 Les modules Photovoltaïques	- 11
II-5-a. Association des cellules	-
II-5-b Protection des modules	- 12
II-5-c Problèmes Thermiques et Types d'encapsulation	-
II-5-d La Puissance Crête des modules	- 13
II-5-e La Protection des cellules	-
II - 6. LES systèmes Photovoltaïques	- 15
II - 7 Les systèmes Photovoltaïques avec batterie	- 16
II-7-1 Schéma de Principe	-
II-7-2 Le Panneau Solaire Photovoltaïque	-
II-7-3 Les accumulateurs	- 17
II-7-3-1 Généralités	-
II-7-3-2 Les accumulateurs au Plomb	- 19

CHAP. III	<u>DE TERMINATION DES GRANDEURS DE</u>	
	<u>REFERENCE ET DES SEUILS</u>	- 21
III-1	Le Panneau Solaire photovoltaïque	-
III-2	- Le Réfrigérateur	- 22
III-3	La batterie d'accumulateurs	- 23

CHAP <u>IV</u>	<u>ANALYSE DES SEQUENCES DE FONCTIONNEMENT ET DES SECURITES</u>	Page
		- 24
<u>IV-1</u>	Conditions de Fonctionnement du système	- 25
<u>IV-1-a</u>	La photopile Eclairée	-
<u>IV-1-b</u>	La Photopile à l'obscurité	- 26
<u>IV-2</u>	Organigramme Logique des séquences de Fonctionnements du système	- 27
<u>IV-2-a</u>	Description des variables	-
<u>IV-2-b</u>	Organigramme Logique	- 28

CHAP <u>V</u>	<u>SCHEMA THEORIQUE ET DIMENSIONNEMENT DES COMPOSANTS DU REGULATEUR</u>	
		- 29
<u>V-1</u>	Choix d'une régulation série	-
<u>V-2</u>	<u>Le régulateur de tension</u>	- 31
<u>V-2-1</u>	Description générale d'un régulateur de tension	-
<u>V-2-2</u>	Etude des cinq Composants du Regulateur	- 35
<u>V-2-2-1</u>	L'Elément de Comparaison	-
<u>V-2-2-1-a</u>	Etude de l'étage simple en Emetteur Commun	-
<u>V-2-2-1-b</u>	Etude de l'amplificateur différen- tiel à Emetteur couple'	- 38

	Page.
V-2-2.2 Etude de l'Élément Amplificateur Continu..	39
V-2-2.3 Etude de l'Élément de Commande .	40
V-2-2.4 La Prérégulation	- 43
V-2-2.5 . Assemblage des Éléments étudiés.	47.
V-2-2.6 Liste des composants du Régulateur	- 48
V-3 <u>Le Disjoncteur</u>	- 49
V-3-1 Principe	-
V-3-2 Schéma Théorique	-
V-3-3 Etude du Fonctionnement	- 50
V-3.4 Liste des Composants du Disjoncteur	-
V-4 <u>Régulateur de charge-décharge</u> <u>pour batterie d'accumulateurs :</u>	
<u>Circuit - Electronique</u>	- 52.-a
<u>Bilan Economique du Regulateur</u>	- 52.-b

## CHAP VI

### CARACTERISTIQUES DES COMPOSANTS

#### DU SYSTEME.

VI-1. Analyses des caractéristiques du Générateur solaire Photovoltaïque	-
VI-2. Analyse des caractéristiques de charge et décharge de la batterie	- 54
VI-3 Analyse des Caractéristiques du Régulateur	- 55.



# Chap. I - INTRODUCTION

Le sujet de notre projet de fin d'Etudes porte sur la conception d'un régulateur électronique pour réfrigérateur solaire photovoltaïque.

L'utilisation de l'énergie solaire à la production du froid est particulièrement séduisante.

En effet, les pays les plus chauds sont ceux où l'homme a le plus besoin de froid. Ces pays dont fait partie le Senegal sont en principe les plus ensoleillés et c'est pourquoi l'utilisation de l'énergie solaire dans le domaine du froid trouve son importance, surtout en milieu rural, éloigné des centres de production d'électricité.

En fait le froid est indispensable aussi bien à la conservation des vaccins, médicaments et autres produits pharmaceutiques que des denrées alimentaires.

Il faut toutefois préciser que l'énergie solaire est intermittente et c'est pourquoi il est nécessaire de stocker l'énergie à utiliser afin d'assurer une production continue de frigorifères.

Le système le plus couramment utilisé est le stockage de l'énergie solaire sous forme d'électricité dans des batteries d'accumulateurs. On est donc pour le cas qui nous concerne en face d'un système photovoltaïque de Réfrigération dont les composantes sont :

- Le Générateur photovoltaïque,
- La batterie de stockage

	Page
<u>VI</u> - 4 Analyse des Caractéristiques du Réfrigérateur	- 56
- Courbes Caractéristiques des Composantes du Système.	- 57.
CHAP. <u>VII</u> <u>REALISATION, ESSAIS ET RESULTATS</u>	
	- 63
<u>VII</u> - 1 Realisation	-
<u>VII</u> - 2 Essais ET Resultats	-
- Tableaux de mesures -	- 65
CHAP <u>VIII</u> . <u>CONCLUSION - RECOMMANDATIONS.</u>	
<u>VIII</u> - 1 Conclusion	- 73
<u>VIII</u> - 2 Recommandations	- 75.
<u>ANNEXES</u>	
<u>annexe</u> A <sub>0</sub> : Caracteristiques des modules	77
Données par le constructeur	-
<u>Annexe</u> A <sub>1</sub> Dimensionnement du Régulateur de charge	- 78
<u>Annexe</u> A <sub>II</sub> : Dimensionnement du Disjoncteur.	- 85

	Page
<u>Annexe A<sub>III</sub></u> : Moniteur de Batterie	- 94
<u>Annexe A<sub>IV</sub></u> . Vérification de la taille de la batterie d'accumulateurs et du Générateur solaire - Photovoltaïque.	- 96
<u>Bibliographie</u>	- 107

CHAPITRE - I -

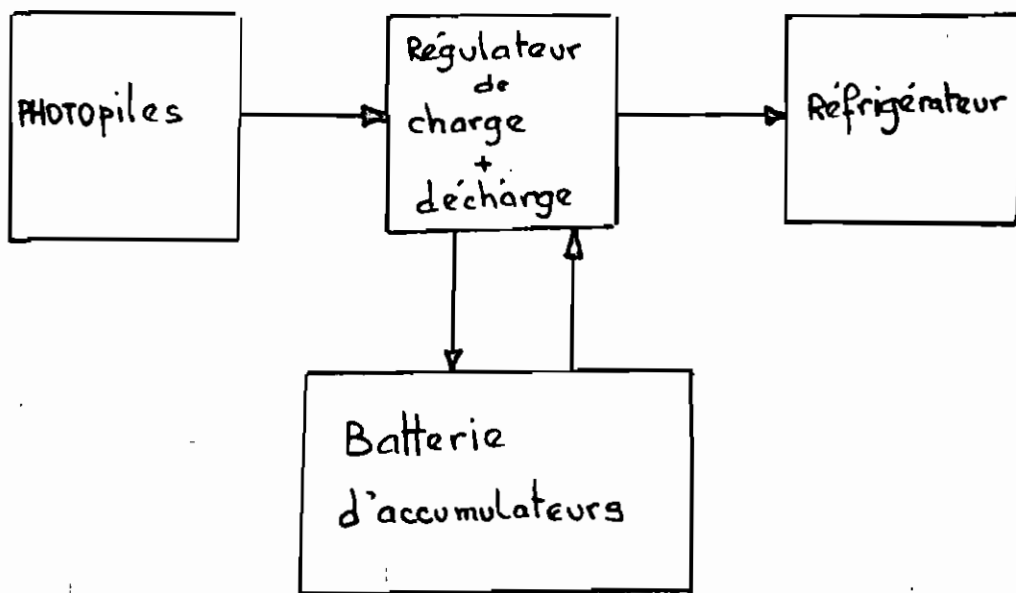
INTRODUCTION

- et le réfrigérateur.

Notre système a donc les trois composantes ci-dessus dont il faut assurer le fonctionnement optimisé et les diverses sécurités.

Pour ce faire, nous aurons à concevoir, réaliser et tester un montage électronique interface assurant:

- L'adaptation de la source d'énergie à la charge (Réfrigérateur)
- La charge de la batterie
- La protection de la batterie
- La protection du réfrigérateur
- La commande des séquences de fonctionnement



Schema en bloc du Systeme photovoltaïque de Réfrigérateur avec son Régulateur de charge + Décharge.

CHAPITRE - II -

ETUDE THEORIQUE

DE

GENERATEUR

DE COURANT

## chap II - ETUDE THEORIQUE DE GENERATEUR DE COURANT

### II - 1 - Introduction

La conversion photovoltaïque est l'une des voies les plus prometteuses de l'utilisation de l'énergie solaire, permettant sa transformation directe en énergie électrique. Mais cette conversion avait un rendement très bas et c'est dans les années 50 que la découverte des propriétés électriques de certains matériaux (les semi-conducteurs) a permis le développement de composants ayant des rendements beaucoup plus élevés.

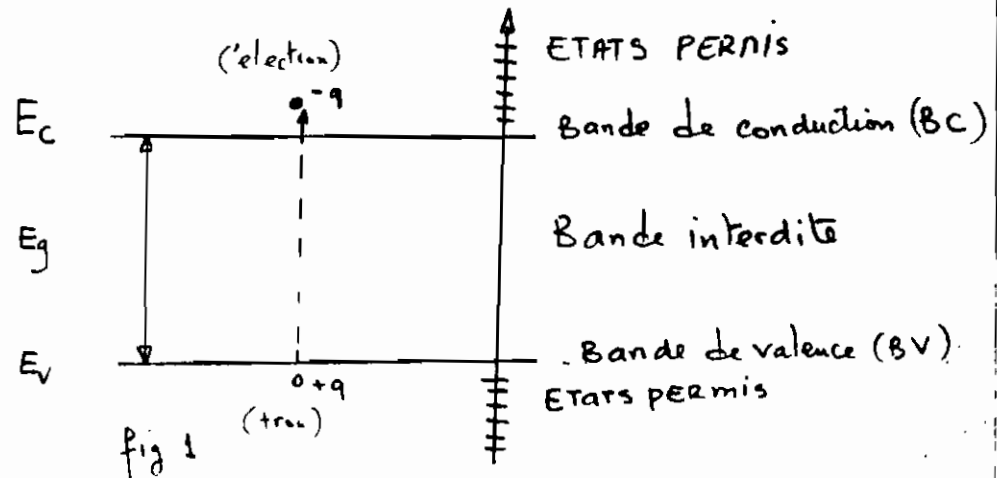
Le principe de l'effet photovoltaïque dans un semi-conducteur réside dans la création de paires électrons-trous par l'absorption de photons dans la séparation de ces photoponteurs par le champ électrique interne d'une jonction.

### II - 2 - Propriétés des Semi-conducteurs

#### II-2.1 - Définition d'un semi-conducteur

Un semi-conducteur est comme un isolant un solide à liaisons ioniques ou covalentes (ou un mélange des deux). A 0°K, tous les électrons sont liés aux atomes du réseau cristallin. Il devient donc impossible de dissocier les semi-conducteurs des isolants par leur conductivité. A une température plus élevée, on a une ionisation due à l'agitation thermique. Le cristal devient conducteur. Cette notion de conduction peut être démontrée par la théorie des bandes :

Les énergies possibles que peuvent prendre les électrons faiblement liés sont réparties dans deux bandes d'énergie : bande de valence et bande de conduction, séparées par une bande interdite de valeur  $E_g$ .



C'est cette valeur énergétique  $E_g$  qu'il faut fournir à l'électron pour qu'il passe de la bande de valence à la bande de conduction, laissant par la suite libre un ion positif.

Pour un semi conducteur, l'agitation thermique à la température ambiante est suffisante pour faire effectuer à l'électron cette transition. Il devient donc conducteur pour des températures relativement élevées - Alors que pour un isolant, il faut chauffer jusqu'à dépasser le point de fusion avant d'obtenir une conductivité appréciable.

## II - 2.6 Electrons - Trous.

Quand un électron de la bande de valence reçoit l'énergie  $E_g$ , il passe dans la bande de conduction, laissant libre un ion positif. Cette place vide sera occupée par un électron lié voisin, créant par la suite un



autre vide à la place qu'il occupait au départ. On se retrouve donc dans un réseau où une charge positive se déplace. On assimilera cette charge positive à une particule de charge  $(+q)$  appelée : "Trou". Les particules de charge  $(-q)$  sont dites : électrons. (Voir fig 1 page 4)

Dans un semi-conducteur parfait dit intrinsèque, à la température  $T$ , le nombre d'électrons par  $\text{cm}^3$  ( $n$ ) ou concentration des électrons est égale à la concentration des trous :  $p$ .

$$n = p = n_i = \text{nombre d'électrons / cm}^3.$$

### II. 2. c La conductivité électrique intrinsèque

Un électron dans un cristal soumis à un champ électrique  $E$  acquiert à cause des "frottements" internes une vitesse limite  $V_n$ :

$$\vec{V}_n = \mu_n \vec{E}$$

Il en est de même pour les trous :  $\vec{V}_p = \mu_p \vec{E}$ ,

$\mu_n$  et  $\mu_p$  sont appelés mobilité

Aux deux extrémités A et B de ce cristal, on a une d.d.p

$V_A - V_B$  qui crée une densité de courant  $J$ ,

$$\vec{J} = -qn\vec{V}_n + qp\vec{V}_p = (qn\mu_n + qp\mu_p)\vec{E}$$

avec  $n = p$  pour un semi-conducteur intrinsèque.

La conductivité intrinsèque se définit alors par l'équation :

$$\sigma_i = qn_i (\mu_n + \mu_p) \quad (1)$$

## II-2-d. La Conductivité Extrinsèque :

### Dopage d'un Semi-conducteur

Le dopage d'un semi-conducteur est l'introduction d'impuretés ou d'atomes donateurs ou d'accepteurs d'électrons. On parle alors de semi-conducteur de type N (conduction par électrons) ou de type P (conduction par trous). Ces deux types d'impuretés cohabitent dans un semi-conducteur imparfait. Si  $n$  et  $p$  sont les concentrations totales d'électrons et de trous, la conductivité extrinsèque du semi-conducteur aura pour valeur:

$$\sigma_e = qn\mu_n + qp\mu_p \quad \text{avec } n \neq p. \quad (2)$$

## II-3 La Jonction PN

On entend par jonction PN le dispositif réalisé en joignant deux morceaux de semi-conducteur de même type mais de dopage P et N. Aussitôt que leurs surfaces se touchent, on a une activité accrue entre les électrons d'un côté et les trous de l'autre.

Par le fait de la recombinaison massive entre les électrons majoritaires dans le semi-conducteur N et les trous majoritaires dans le semi-conducteur P, la région de

fonction devient dépourvue de porteurs de charges. Il ne reste dans cette zone que les ions privés de leurs satellites qui normalement les neutralisent. Il se forme donc à la jonction une barrière de potentiel



$\overleftarrow{E_s}$

fig 2

$E_s$  : champ électrique créé par les charges non compensées. Il s'oppose à la diffusion jusqu'à ce qu'en ait équilibre.  $L_n$  et  $L_p$  sont les longueurs de diffusion

$$L_n = \sqrt{D_n \tau_n} \quad \text{avec } \tau_n = \frac{1}{r \cdot p} \quad \text{et } D_n = \frac{\mu_n k T}{q}$$

$D_n$  = coefficient de diffusion de l'électron sous l'influence du gradient de concentration dû à l'injection d'impuretés,

$\mu_n$  = mobilité de l'électron,

$k$  = constante de Boltzmann :  $k = 1,3806 \cdot 10^{-19}$  J/K

$T$  = température -K

$q$  = charge de l'électron :  $q = -1,6022 \cdot 10^{-19}$  C.

$\tau_n$  = temps mis par l'électron pour parcourir  $L_n$

$r$  = coefficient de recombinaison (variable avec l'échantillon)

$p$  = concentration de trous.

$$L_n = \left[ \frac{\mu_n k T}{q} \times \frac{1}{r \cdot p} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

On peut faire la même chose pour trouver la longueur de diffusion  $L_p$  pour les trous.

Ce qu'il faut surtout noter c'est que toutes les photopiles solaires fonctionnent sur ce principe. Il suffit donc:

- d'éclairer vivement la jonction PN en circuit ouvert
- de brancher un voltmètre aux bornes de la jonction pour mesurer la d.d.p
- de brancher une charge aux bornes de la jonction pour qu'un courant circule.

On dit qu'on a l'effet photovoltaïque qu'on peut aussi avoir dans les hétérojonction ( $CdS-Cu_2S$ ) et dans les diodes Schottky ( $Pt/CdTe$ ) ...

## II-4 LA PHOTOPILE

### II-4-a Causes de limitation du Rendement d'une Photopile

La création d'une paire électron-trou dans le silicium (par exemple) demande 1,12 eV. Dans le silicium, le seuil correspond à une longueur d'onde de  $1,1 \mu m$ . La partie du rayonnement solaire dont la longueur d'onde dépasse  $1,1 \mu m$  est donc perdue. D'autre part, les photons d'énergie  $h\nu \gg 1,12 eV$  ne créent qu'une paire "électron-trou", la différence  $(h\nu - 1,12)$  est également perdue.

A cause de ces seules pertes, 30% de l'énergie solaire est au maximum susceptible d'être transformée par une photopile au silicium. Les pertes par réflexion viennent encore réduire ce

chiffre à 24% environ.

Au niveau de la jonction, certains porteurs de charges se recombinaient au fur et à mesure de leur création. Cela est dû à l'imperfection même de la jonction. Ce qui réduit le courant de court-circuit  $I_{cc}$ .

Bien que la bande interdite du silicium ait une largeur de 1,12 eV, la différence de potentiel à travers la jonction est inférieure à 1,12 Volt. Elle ne peut atteindre au maximum 0,5 volt.

Dans ces conditions, si un rendement d'environ 15% est théoriquement possible, on voit que le rendement dans une bonne photopile au silicium ne peut guère dépasser industriellement 8 à 10%.

## II- 4-b. LA PHOTOPILE à L'OBSCURITE.

À l'obscurité, la photopile se comporte comme une jonction PN, i.e. comme une diode. Elle ne produit ni courant, ni tension. C'est comme un récepteur.

Si on applique une tension extérieure à ses bornes, la tension et le courant vérifient l'équation :

$$I_0 = I_s \exp \left[ \frac{qV}{kT} - 1 \right] \quad (\text{mA}) \quad (4)$$

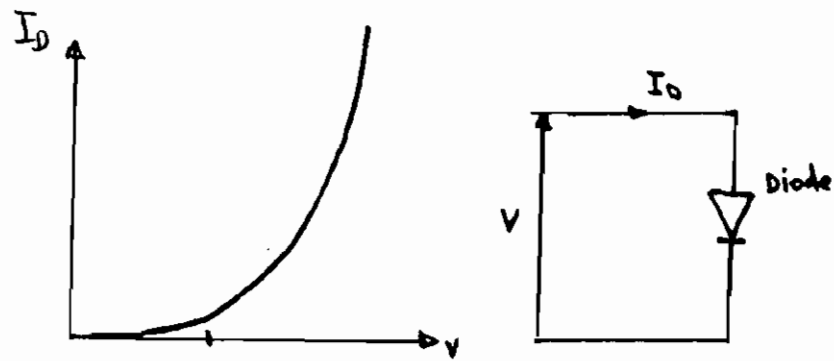
$I_0$  = courant traversant la jonction

$I_s$  = courant inverse

$V$  = tension aux bornes de la jonction

$\frac{kT}{q}$  = 26 mV à 300°K

$\eta$  = coefficient d'idéalité de la diode.



Caractéristique d'une diode.

### II - 4 - c La Photopile Eclairée

Le rayonnement solaire qui arrive par la photopile crée un photocourant  $I_{ph}$  proportionnel au flux lumineux  $\Phi$

$$I_{ph} = k\Phi$$

Ainsi le courant  $I$  généré par la cellule et disponible à ses bornes est égal à :

$$I = I_{ph} - I_D$$

$$I = k\Phi - I_S \exp\left[\frac{qV}{nKT} - 1\right] \quad (5)$$

### II - 4 - d : Définitions de quelques propriétés particulières des cellules solaires

- Puissance crête : c'est la puissance optimale délivrée par la cellule pour un ensoleillement de  $1 \text{ kW/m}^2$  et pour une température de jonction de  $25^\circ\text{C}$

- Rendement de Conversion : c'est le rapport entre la puissance électrique optimale délivrée et la puissance solaire reçue à une température donnée.

$$\eta = \frac{P_{opt}}{S \cdot E} \quad \left\{ \begin{array}{l} P_{opt} \text{ en W} \\ E \text{ en W/m}^2 \text{ et } S \text{ en m}^2 \end{array} \right.$$

$\eta \approx 12$  à  $14\%$  pour les cellules au silicium monocristallin

$\eta \approx 9\%$  pour les cellules au silicium polycristallin

- Facteur de Forme : C'est le rapport entre la puissance crête et le produit  $I_{cc} \cdot V_{co}$ . Il traduit la forme rectangulaire de la courbe  $I = f(v)$  que nous verrons dans l'étude des caractéristiques.

$$f.f = \frac{I_{opt} \cdot V_{opt}}{I_{cc} \cdot V_{co}} \quad (6)$$

$I_{cc}$  : courant de court-circuit (A)

$V_{co}$  : tension de circuit ouvert (volt)

$f.f > 0,7$  pour les bonnes cellules solaires

## II-5. LES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES

Le module solaire assure deux fonctions :

- Association des cellules pour obtenir des caractéristiques courant-tension intéressantes pour applications
- Protection des cellules vis-à-vis des agressions extérieures pour que leur durée de vie soit significative

### II-5-a Association des cellules

Il est préférable dans la limite du possible d'associer soit en série soit en parallèle ou même en réseau série-parallèle des cellules identiques. Dans un réseau de cellules de performances différents, dépendamment de la charge appliquée, la cellule la moins performante se comporte en récepteur par rapport à la plus puissante.

• La mise en série des cellules permet d'obtenir la tension

désirée et,

- l'association parallèle fournit le courant requis.

## II-5-b PROTECTION DES MODULES

La durée de vie d'un module sera essentiellement liée à la bonne encapsulation qui doit résister dans le temps aux agents atmosphériques les plus durs: température, Humidité, brouillard salin, vent, sable, choc etc - - -

## II-5-c Problèmes thermiques et Types d'encapsulation

L'énergie solaire reçue sur un module n'est pas entièrement convertie en électricité. La plus grande partie de l'énergie reçue est transformée sous forme d'énergie calorifique. C'est donc l'aptitude du matériau d'encapsulation à évacuer les calories qui déterminera la température d'équilibre. Le rendement des cellules étant d'autant meilleur que la température de jonction est plus basse, l'encapsulation devra donc permettre le meilleur contact thermique possible avec l'extérieur.

Les deux principaux types d'encapsulation sont :

- Encapsulation bi-verre : Les cellules sont placées entre deux feuilles thermoplastiques transparentes. On place ensuite ces feuilles entre deux plaques de verre trempé. L'étanchéité est assurée avec un joint maintenu par un cadre en aluminium anodisé.

- Encapsulation Verre - Autre matériau : Les cellules sont  
 • Soit coulées dans une résine silicone transparente et dont la face arrière est réalisée en aluminium ou polyester



• Soit placés entre deux feuilles thermoplastiques transparentes (type 'feuille té') et dont la face arrière est réalisée par un complexe multicouche étanche.

Dans les deux cas, la face avant est constituée d'un verre trempé et l'étanchéité est assurée.

Le choix donc du type d'encapsulation est souvent le résultat d'un compromis entre le coût de fabrication et la fiabilité recherchée.

#### II-5-d. La Puissance Crête des modules

La puissance crête des modules s'exprime en Watts - crête (voir définition de puissance crête) - La puissance crête d'un module correspond sensiblement à la somme des puissances crête de chacune des cellules - Toutefois la dispersion des caractéristiques des cellules autour des valeurs moyennes explique le fait que la puissance crête d'un module soit donnée par le fabricant à  $\pm 10\%$  près.

#### II-5-e LA PROTECTION DES CELLULES

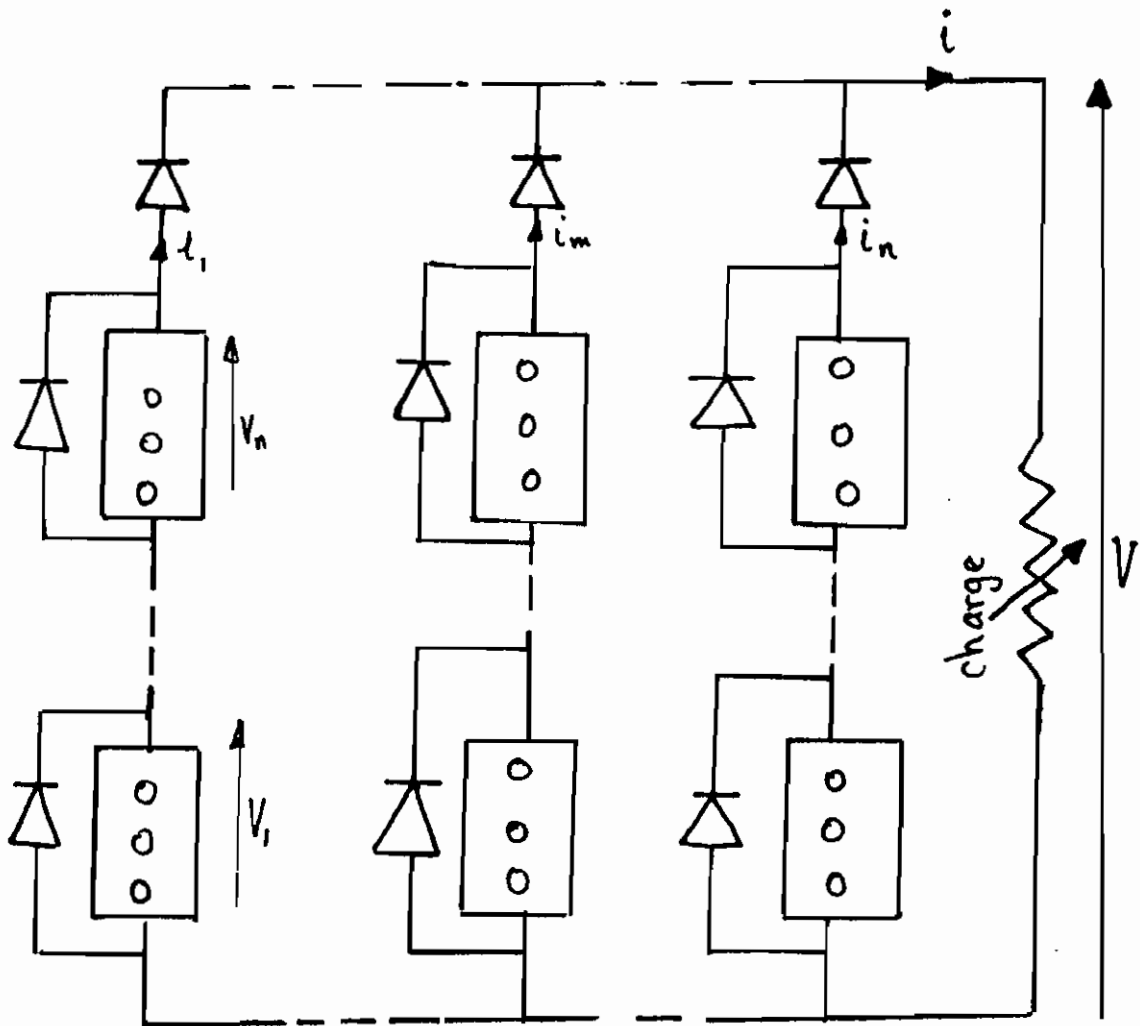
Dans bien des situations, on peut être amené à associer des modules en série ou en parallèle. Ces modules peuvent avoir des cellules qui ne sont pas supposées toutes identiques. Le déséquilibre peut créer un échauffement ponctuel de la cellule la plus faible (voir section association des cellules). Cette échauffement peut conduire à la destruction de la cellule.

Afin de limiter cet échauffement, une solution consiste :

- Dans le cas de modules en série, à limiter la tension

inverse aux bornes de la cellule en plaçant une diode de protection en parallèle (Diode by-pass)

- Dans le cas de modules en parallèle, à mettre une diode en série dans chaque branche (si la chute de tension provoquée par la diode est faible devant la tension générée par les autres cellules du module.)



Modules en réseau      Série - Parallèle.

$$i = \sum_{i=1}^n i_i$$

$$V = \sum_{i=1}^n V_i$$

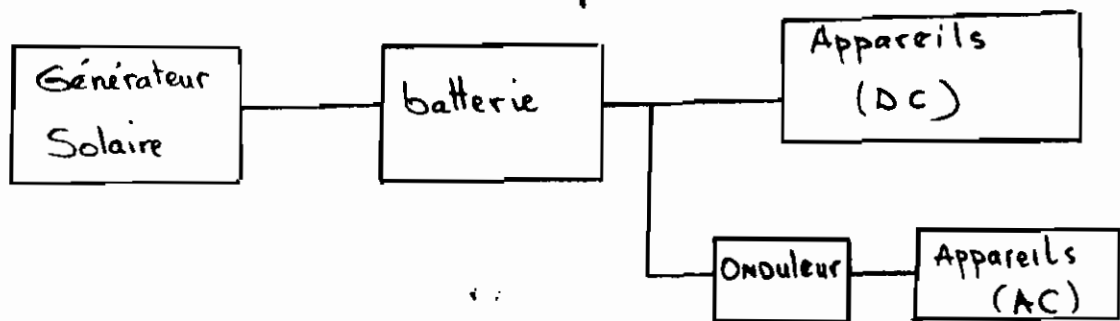
## II-6. LES SYSTEMES PHOTOVOLTAÏQUES

Les modules photovoltaïques sont associés à un système complet pour une application bien spécifique correspondant à un besoin défini.

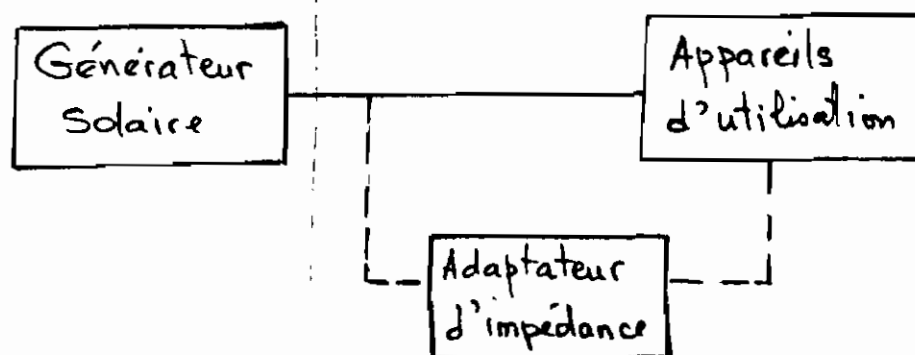
Les deux systèmes photovoltaïques les plus utilisés sont

1. cas: Les systèmes photovoltaïques avec stockage électrique (batterie d'accumulateurs électrochimiques), alimentant des appareils d'utilisation.

- soit directement en courant continu,
- soit en courant alternatif par l'intermédiaire d'un onduleur



2. cas: Les systèmes à couplage direct sans batterie (fonctionnement dit: "au fil du soleil"). On peut avoir éventuellement un convertisseur continu-continu (adaptateur d'impédance) entre le générateur solaire et l'utilisation.

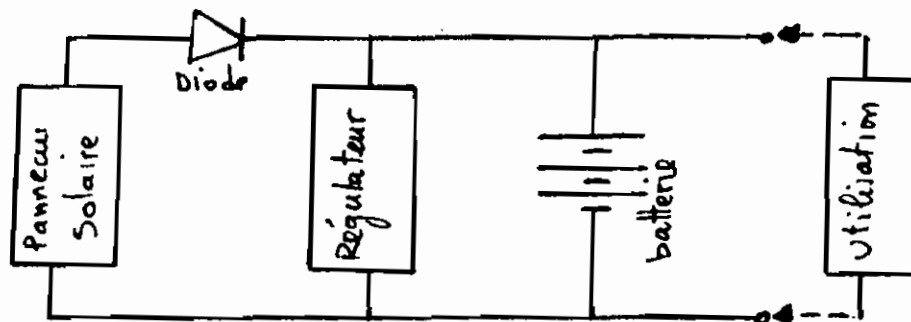


Notre étude portera seulement sur les systèmes photovoltaïques avec stockage électrique (batterie d'accumulateurs électrochimiques)

## II-7- LES SYSTEMES PHOTOVOLTAÏQUES AVEC BATTERIE

### II-7-1- Schéma de Principe.

Un générateur photovoltaïque avec batterie comprend différents composants de base comme l'indique la figure suivante:



- le panneau solaire charge la batterie en période d'ensoleillement
- La batterie d'accumulateurs assure le stockage journalier et saisonnier de l'énergie électrique
- La diode anti-retour évite la décharge des accumulateurs à travers le panneau solaire en période d'obscurité
- Le régulateur de charge protège la batterie contre la surcharge et éventuellement contre les décharges excessives.

### II-7-2. Le Panneau Solaire Photovoltaïque

Pour obtenir des puissances importantes, les modules sont associés en série - parallèle pour constituer un panneau solaire. Ceux-ci sont reliés électriquement et assemblés sur un chassis. La taille du

panneau solaire est donnée par sa puissance crête.  
 Toutefois il est toujours nécessaire de connaître le mode de groupement des modules (série, parallèle ou association série-parallèle.)

## II-7-3. Les accumulateurs.

### II-7-3-1 Généralités.

Les accumulateurs électrochimiques sont des générateurs "réversibles" i.e pouvant stocker l'énergie électrique sous forme chimique puis la restituer à tout moment sur demande grâce à la réversibilité de la transformation. Ce sont donc des piles réversibles.

Les deux types d'accumulateurs utilisés dans la pratique sont:

- les accumulateurs au plomb (électrolyte : acide sulfurique)
- les accumulateurs Fer ou Cadmium-nickel (électrolyte alcalin)

Ces deux types d'accumulateurs ont leurs éléments composés des parties constitutives suivantes:

- Les plaques (Positives et négatives) sont placées de façon alternée et reliées aux bornes de l'élément.
- Les séparateurs : Ce sont des organes isolant dont le rôle est d'assurer l'écartement et d'éviter les courts-circuits entre plaques.
- le bac ou la cuve qui contient l'électrolyte et le bloc de plaques.

Une batterie d'accumulateurs est formée de plusieurs éléments montés en série et disposés par des chantiers ou groupés dans des bacs monoblocs.

La force électromotrice moyenne  $E$  d'une batterie d'accumulateurs est :

$$E = ne \text{ (V)}$$

$n$  = nombre d'éléments montés en série ;

$e$  = f. e. m d'un élément

$E$  varie avec l'état de charge de la batterie, la concentration de l'électrolyte et la température.

La Capacité d'une batterie s'exprime par la quantité d'électricité qu'elle peut débiter après charge complète dans des conditions données de température, de régime et de tension finale. Elle s'exprime en Ah ( $1 \text{ Ah} = 3600 \text{ coulomb}$ )

La Capacité dépend de la quantité de matière active, du volume d'électrolyte et du régime de décharge. La capacité minimale correspond au régime de décharge normal dont la durée est en général 10h pour une batterie au plomb et 5 heures pour une batterie alcaline.

La Capacité utilisable est fonction du régime de décharge. Elle diminue avec l'augmentation du courant et de la température.

La Capacité massique (Capacité par unité de poids) varie suivant le type d'éléments, elle est dans le cas d'une batterie au plomb de 16 Ah/kg pour un élément de batterie de démarrage, de 10 à 15 Ah/kg pour un élément de traction et de 5 Ah pour les éléments stationnaires en bac bois doublé de plomb.

Le rendement d'une batterie d'accumulateurs :

Le rendement en quantité  $\eta_q$  est le rapport entre les quantités

d'électricité fournies pendant la décharge et celles qui sont nécessaires pour recharger la batterie.

$$\eta_q = Q_d / Q_c \quad (7)$$

Le rendement en énergie est le rapport entre l'énergie débitée et l'énergie nécessaire à la recharge. C'est le produit du rendement en quantité par le rapport des tensions moyennes pendant la décharge et pendant la charge.

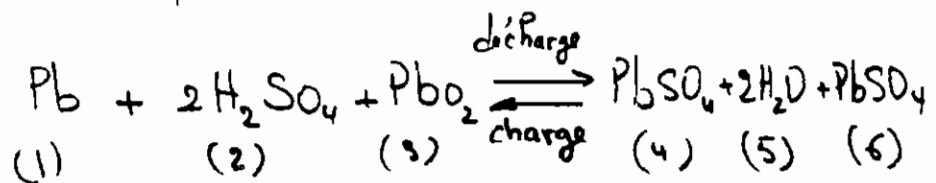
$$\text{Rendement en Énergie} = \frac{\text{Ah restitués}}{\text{Ah fournis}} \times \frac{\text{Volts en décharge}}{\text{Volts en charge}} \quad (8)$$

- La Résistance interne d'une batterie d'accumulateurs.  
La résistance interne d'une batterie est toujours très faible. Elle dépend du nombre d'éléments, de la surface et du nombre de plaques par élément. Elle varie avec l'état de charge de la batterie et la concentration de l'électrolyte. Elle diminue lorsque la température augmente. A 25°C, elle est de l'ordre 3 mΩ pour une décharge de 40% pour une batterie au plomb.

## II.73-2 Les accumulateurs au Plomb

Les accumulateurs au plomb sont la transposition dans le domaine industriel, du voltamètre Pb/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/Pb.

L'accumulateur au plomb est le siège de transformations chimiques réversibles.



- (1) = plaque négative (Pb)
- (2) = électrolyte ( $2H_2SO_4$ )
- (3) = plaque positive ( $PbO_2$ )
- (4) = Plaque négative ( $PbSO_4$ )
- (5) = électrolyte ( $2H_2O$ )
- (6) = plaque positive ( $PbSO_4$ )

- Pendant la décharge, la concentration de l'acide sulfurique décroît et inversement l'acide sulfurique se reforme pendant la recharge. Ce qui donc permet de vérifier l'état de charge en mesurant la densité de l'électrolyte. Ceci permet de connaître par conséquent la concentration en acide.

- En fin de charge, si on prolonge le passage du courant, l'hydrogène et l'oxygène résultant de la décomposition de l'eau finissent par se dégager à l'état gazeux sur les électrodes. C'est le phénomène d'électrolyse.

- Si la décharge se produit pendant trop longtemps, ou si on ne surveille pas la concentration d'acide sulfurique, celui-ci peut attaquer les plaques en donnant du sulfate de plomb ( $PbSO_4$ ), qui n'est plus détruit par la suite : c'est la sulfatation.

Les phénomènes d'électrolyse et de sulfatation ont des effets néfastes sur le bon fonctionnement d'une batterie au plomb. Il importe donc de les contrôler si on veut préserver la durée de vie d'une batterie d'accumulateurs au plomb.



# CHAPITRE-III-

DETERMINATION  
DES GRANDEURS  
DE REFERENCE ET  
DES SEUILS

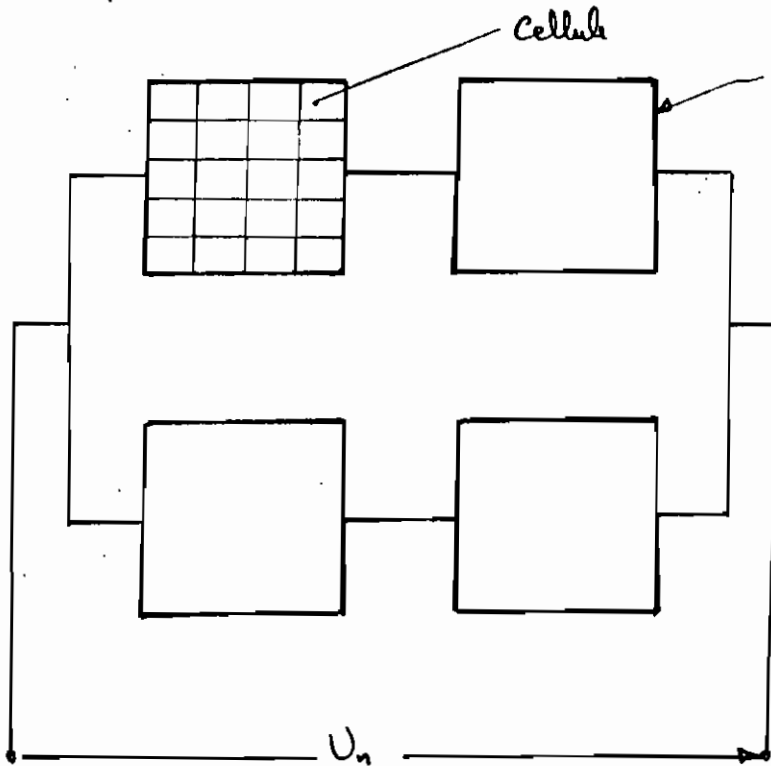
chap III

# DETERMINATION DES

## GRANDEURS DE REFERENCE ET DES SEUILS

### III - 1 Le Panneau Solaire photovoltaïque.

C'est un panneau de deux modules en série et deux modules en parallèle.  
 Les modules sont de type "AEG-TELEFUNKEN". (voir caractéristiques données par le constructeur en annexe.  
 Chaque module comprend vingt (20) cellules carrées



Données du

Constructeur : Par module

0°C (100W/cm<sup>2</sup>)

$$V_{co} = 12,3 \text{ Volts,}$$

$$I_{cc} = 2,37 \text{ A}$$

$$P_{max} = 21,3 \text{ W}$$

$$I_{max} = 2,18 \text{ A}$$

60°C (100W/cm<sup>2</sup>)

$$V_{co} = 9,6 \text{ Volt}$$

$$I_{cc} = 2,4 \text{ A}$$

$$P_{max} = 16,2 \text{ W}$$

$$I_{max} = 2,2 \text{ A}$$

Ces valeurs sont tirées des caractéristiques données par le constructeur.  
 (voir annexe) - A0 -

Les modules du panneau solaire sont inclinés d'un angle  $\alpha = 14,7^\circ$  Sud. En effet l'angle d'inclinaison optimum est fonction de la latitude du site considéré. Dans la pratique on retient les valeurs du tableau ci-dessus tiré de: "INSTN-CARARACHE: session d'études sur les énergies renouvelables: Electricité solaire photovoltaïque. Principes - Applications. Conférences de M. le Professeur Roger. Université Lyon I. Département de physique des matériaux). page 74

Latitude $\varphi$	Inclinaison $\alpha$
$\varphi < 10^\circ$	$\alpha = 10^\circ$
$10^\circ < \varphi < 30^\circ$	$\alpha = \varphi$
$30^\circ < \varphi < 40^\circ$	$\alpha = \varphi + 10^\circ$
$\varphi > 40^\circ$	$\alpha = \varphi + 15^\circ$

Note: La latitude entre Thiès et Dakar varie entre  $14$  et  $15^\circ$  environ. L'inclinaison optimum permet de réduire le déficit énergétique du rayonnement solaire sur le plan des photopiles quand l'ensoleillement baisse.

### III - 2. Le Réfrigérateur

- Cuisine en Polyester (résistance aux chocs et à l'humidité)
- Volume de la chambre 52 litres
- Compresseur alimenté en courant continu: 12 V. DC.
- Facteur de marche  $\approx 40\%$  (durée de fonctionnement par

24 heures) : soit 9,6 heures par 24 heures.

- Courant de fonctionnement :  $I_n = 4,5 \text{ A}$ .

- Réfrigérant  $R_{12}$

Note : Au démarrage des moteurs à courant continu, le courant absorbé est environ 2,5 fois le courant nominal :

$$I_d \approx 2,5 I_n \approx 11,25 \text{ A}$$

### III-3 - La batterie d'accumulateurs.

- batterie au plomb de type Delco 2000 de 12 volts.

- Capacité : 105 Ah (100 heures à 25°C)

- Courant maximum admissible pour la recharge :

$$I_{c_{\max}} = C/10 = 105/10 = 10,5 \text{ A}.$$

$$I_{c_{\max}} = 10,5 \text{ A}.$$

- L'équivalent de la batterie 105 Ah à C/100 est la batterie de  $105 \text{ Ah} / 1,4 = 75 \text{ Ah}$  à C/10

$$105 \text{ Ah} (100 \text{ h à } 25^\circ \text{C}) \equiv 75 \text{ Ah} (10 \text{ h à } 25^\circ \text{C})$$

- Seuils de fonctionnement de la batterie :

•  $V_{b \min} = 10,8 \text{ volts}$  : soit 1,8 volt par élément  
(décharge limite)

•  $V_{b \max} = 13,8 \text{ volts}$  : soit 2,3 volts par élément  
(charge limite)

La connaissance de toutes ces grandeurs de référence et seuils permet de faire l'analyse des séquences de fonctionnement et des sécurités

CHAPITRE-IV-

ANALYSE DES  
SEQUENCES DE  
FONCTIONNEMENT ET  
DES SECURITES

## Chap. IV ANALYSE DES SEQUENCES DE FONCTIONNEMENT ET DES SECURITES

Il est important de souligner deux faits :

1- La demande énergétique est fonction de la charge à alimenter (utilisation) : demande continue ou discontinue.

2- L'apport énergétique solaire est périodique (alternance jour/nuit, été/hiver) et aléatoire (nuages ou non). Le décalage entre la demande et l'apport énergétique nécessite un stockage d'électricité. Le système tampon utilisé couramment pour les systèmes photovoltaïques est la batterie d'accumulateurs électrochimiques.

Les accumulateurs électrochimiques sont des générateurs réversibles dont la durée de vie est étroitement liée aux conditions dans lesquelles elles sont utilisées.

Il se pose donc la nécessité de les protéger contre toute charge ou décharge excessive.

L'analyse des séquences de fonctionnement nous permettra d'organiser la mise en fonctionnement du système dépendamment de la situation énergétique du soleil et de l'état de la charge de la batterie. Ces deux paramètres conditionneront la mise en marche du réfrigérateur.

#### IV-1°) Conditions de fonctionnement du système -

##### IV-1-a). La photopile éclairée (Ensoleillement)

Dans ce cas, le courant de photopile est non nul

$$I_p \neq 0$$

Deux situations peuvent se présenter:

i) - La batterie est chargée :  $10,8 \text{ Volts} < V_b \leq 15,8 \text{ Volts}$

ii) - La batterie est déchargée.  $V_b = 10,8 \text{ Volts}$

Dans le premier cas, on peut se trouver encore dans situations :

- soit le réfrigérateur est marche i, e que la température à l'intérieur du frigo est au-dessus du seuil maximum fixé par le réglage du thermostat. Dans ce cas on a :

$$I_u = I_p + I_b \quad (I_u = \text{courant d'utilisation})$$

Le courant d'utilisation est la somme du courant de photopile ( $I_p$ ) et du courant ( $I_b$ ) de la batterie

( $I_b$  comble le déficit  $I_u - I_p$ )

On rappelle que  $I_u = 4,5 \text{ A} > I_{cc} = 4,4 \text{ A}$

$I_{cc}$  = courant de court-circuit du panneau photovoltaïque dont nous disposons -

- Soit le réfrigérateur est arrêté par le thermostat i, e que la température à l'intérieur du frigo est en dessous de la température minimale de fonctionnement.

Dans ce cas on a :  $I_p = I_b$

Durant cette période d'arrêt, le panneau va débiter sur la batterie qui va commencer à se charger jusqu'à ce que la température à l'intérieur du frigo atteigne le seuil de fonctionnement fixé par le thermostat.

Dans le deuxième cas (batterie déchargée:  $V_b = 10,8$  volts), on donne toute la priorité à la recharge de la batterie. Le réfrigérateur est donc déconnecté jusqu'à ce la tension aux bornes de la batterie atteigne environ  $13,8$  volts.

#### IV-b) La photopile à l'obscurité

Dans ce cas il n'y pas de courant de photopile  $I_p = 0$

i) batterie chargée:  $10,8 \text{ volts} < V_b \leq 13,8 \text{ volts}$

• si le frigo est en marche (effet du thermostat)

On a :

$$I_u = I_b$$

• Si le frigo est à l'arrêt (effet du thermostat)

on a :

$$I_u = 0, \text{ la batterie ne débite pas.}$$

ii) batterie déchargée:  $V_b = 10,8 \text{ volts}$

Dans ce cas la seule condition est de déconnecter le réfrigérateur du circuit d'alimentation jusqu'à ce la tension aux bornes de la batterie remonte jusqu'à environ  $13,8$  volts (Priorité à la recharge si  $I_p \neq 0$ )



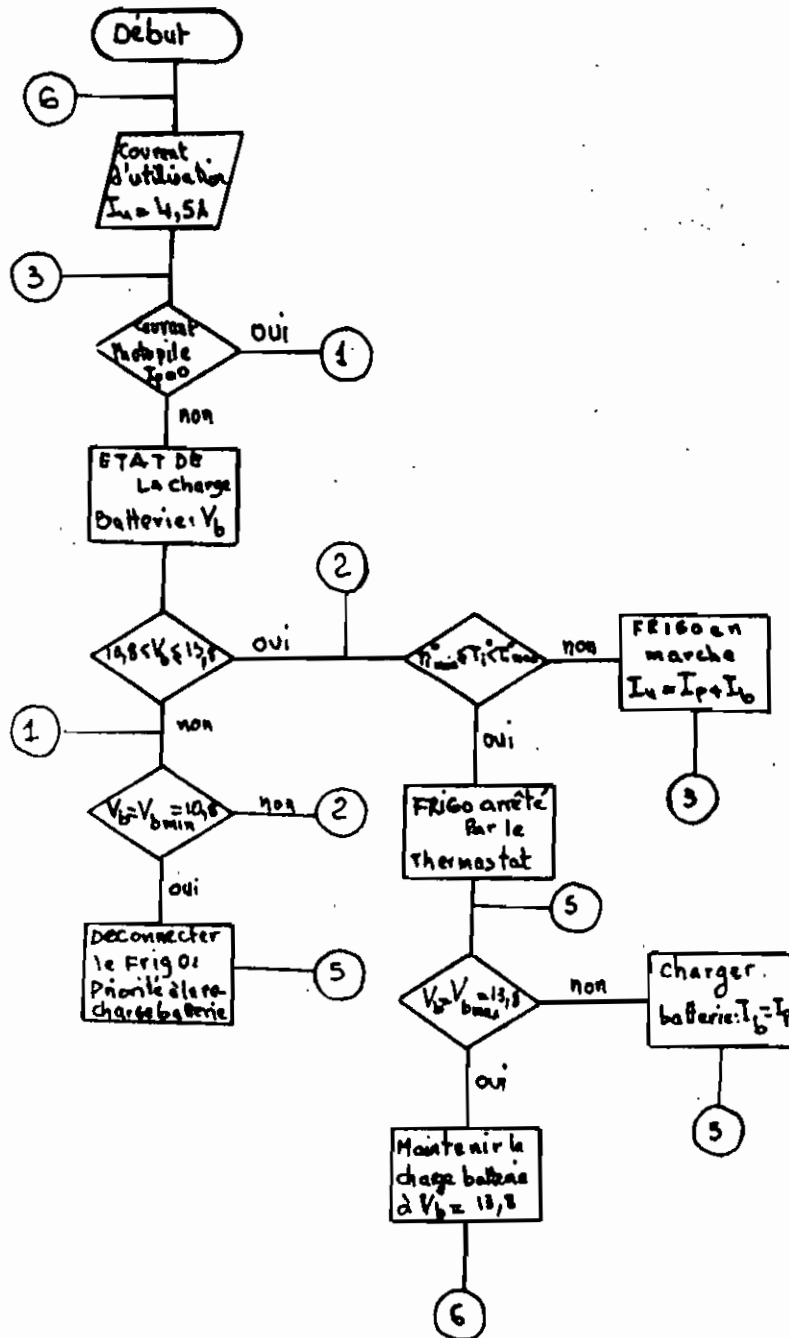
## IV-2- ORGANIGRAMME LOGIQUE DES SEQUENCES de Fonctionnement du Système:

### IV-2a- Description des variables.

- $I_p$ : courant photopile
- $I_u$ : courant d'utilisation: courant nominal du frigo.  
 $I_u = 4,5A$ .
- $V_b$ : tension aux bornes de la batterie d'accumulateurs.
- $V_{bmin} = 10,8$  volts: tension de seuil minimum de la batterie
- $V_{bmax} = 13,8$  volts: tension de seuil maximum de la batterie
- $T_i^\circ$ : température à l'intérieur du réfrigérateur
- $T_{imin}$  et  $T_{imax}$ : températures de seuils minimum et maximum de fonctionnement du réfrigérateur.  $T_{imin}$  et  $T_{imax}$  sont fixés par le réglage du thermostat.

Note: On peut remarquer que le cycle de charge-décharge d'une batterie d'accumulateur est continu. Le phénomène est nettement visible dans l'organigramme logique de la séquence de fonctionnement du système qui constitue une boucle sans fin.

IV-26. ORGANIGRAMME LOGIQUE DES  
SEQUENCES DE FONCTIONNEMENT  
DU SYSTEME



0

CHAPITRE - V -

SCHEMA THEORIQUE  
ET DIMENSIONNEMENT  
DES COMPOSANTS DU  
REGULATEUR

## V SCHEMA THEORIQUE ET

### DIMENSIONNEMENT DE S

### COMPOSANTS DU REGULATEUR

#### V-1 Choix d'une Régulation Serie

De la détermination des grandeurs de référence et des seuils à l'analyse des séquences de fonctionnement et des sécurités, il ressort clairement que :

- La tension aux bornes du panneau solaire photovoltaïque  $V_p$  (tension à circuit ouvert) varie de 24,6 à 19,2 volts pour des températures de 0° à 60°C. Il est clair donc que la portée du Générateur photovoltaïque est supérieure à la tension d'utilisation  $V_u = 12$  volts. (utilisation = réfrigérateur)

- Le courant de court-circuit ( $I_{ccp}$ ) qui est le courant le plus élevé possible que le Générateur photovoltaïque peut délivrer (à charge nulle) varie de 4,74 A à 4,84 entre 0°C et 60°C, et que le courant maximum à puissance maximale varie de 4,36 A à 4,4 A pour les températures de 0° à 60°C. Ces valeurs se trouvent dans le tableau des caractéristiques des modules donnés par le constructeur. (annexe A0)

Devant ces faits, il se pose donc l'idée de choisir et concevoir parmi les deux types de régulation de tension (serie et parallèle) la régulation qui sera la plus adaptée.

En effet, la régulation parallèle ou shunt est une régulation d'intensité. Elle s'avère dans le cas qui nous intéresse inutile dans la mesure où le courant maximum que peut fournir le panneau est toujours plus faible que le courant nominal du réfrigérateur. Au contraire il faut un apport supplémentaire en courant (fourni nécessairement par la batterie) pour que le réfrigérateur puisse démarrer une fois arrêté. (Petit moteur à courant continu :  $I_d \approx 2,5 I_n$ )

La régulation série quant à elle est une régulation par chute de tension variable entre l'alimentation et l'utilisation. C'est cette variation de la chute de tension qui permet d'obtenir une tension d'utilisation relativement constante.

De côté de la batterie d'accumulateurs, il faut dire qu'il n'y a aucun intérêt à faire une régulation en intensité d'autant plus que le générateur solaire photovoltaïque dont nous disposons ne peut en aucun cas atteindre le courant de charge maximum admissible de la batterie. (10,5 A) -

Le courant de charge admissible max pour la batterie de 105 Ah (à 100h ou C/100) est  $105/10 = 10,5 A$ . - On peut donc charger la batterie avec un courant allant jusqu'à 10,5 A sans aucun danger. De même pour la batterie à (C/10 ou 10h) correspondant à la batterie de 105 Ah (C/100) on a :  $I_{adm} = 105 \times \frac{1}{1.4} \times \frac{1}{10} = 7,5 A$ . - Là aussi il n'y a aucun danger au point de vue intensité de charge. Toute cette argumentation justifie le choix de la régulation série.

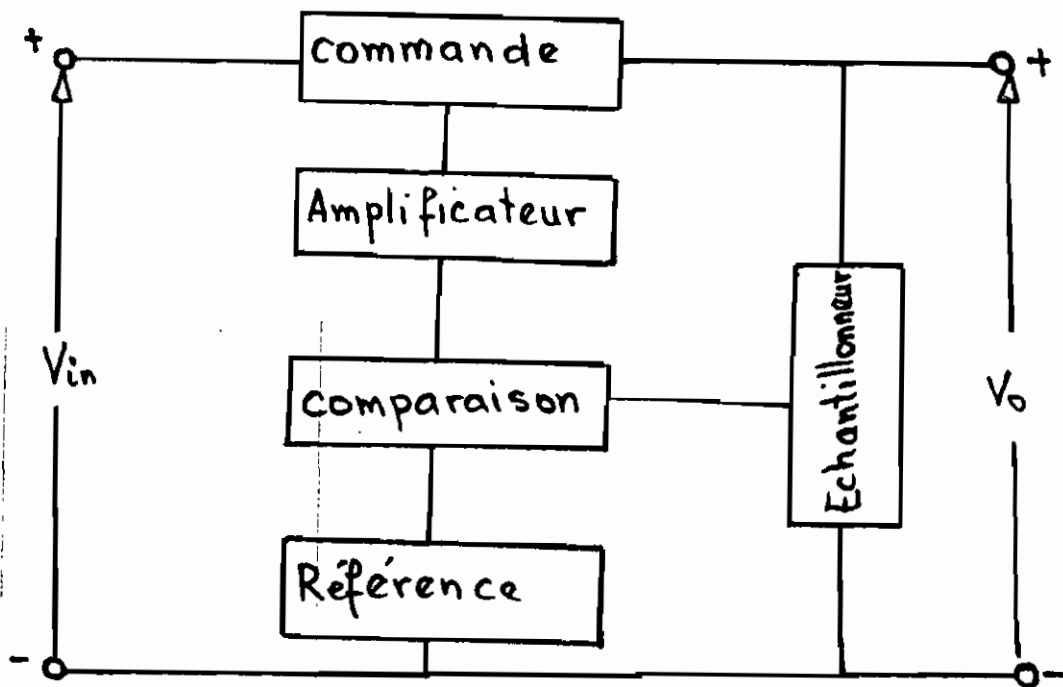
## V-2 - LE REGULATEUR de tension

### V-2-1 - Description Générale d'un régulateur de tension

Un régulateur de tension fournit une tension constante à des charges déterminées, à partir de tensions d'entrée variant entre des limites précises. Notre étude portera seulement sur le régulateur de tension du type - série - les raisons ont été spécifiées précédemment.

Le processus général d'étude peut se subdiviser en cinq parties :

- La Référence ,
- La Comparaison ,
- l' Echantillonneur ,
- l' Amplificateur ,
- La Commande .



La régulation est réalisée par comparaison de la tension de sortie avec une tension de référence. L'erreur est amplifiée puis utilisée par l'élément de commande. L'échantillonneur est en général un simple diviseur de tension branché entre les bornes de sortie.

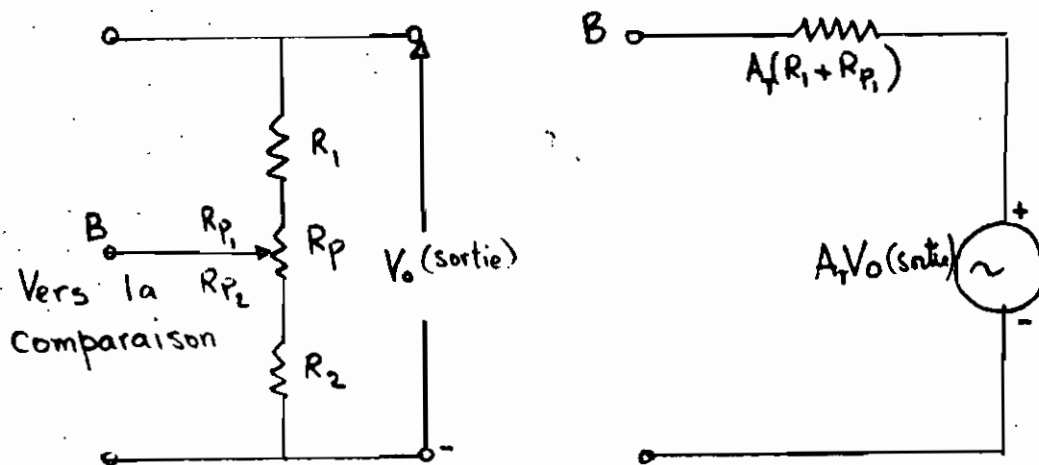


Schéma d'un échantillonneur et son circuit équivalent par application du Théorème de THEVENIN

La tension prélevée par l'échantillonneur et attaquant l'élément de comparaison est donnée par la formule

$$A_T V_o = \frac{V_o (R_2 + R_{P_2})}{R_1 + R_2 + R_P} \quad (9)$$

avec

$$A_T = \frac{R_2 + R_{P_2}}{R_1 + R_2 + R_P} = \text{Coefficient de réduction de tension du diviseur à résistances.}$$

$V_o$  = tension de sortie régulée.

La tension de référence est en général donnée par une diode de

Zéner dont la tension d'avalanche est presque constante pour une gamme étendue de courant inverse. Il faut toutefois préciser que les effets de la température, du courant inverse et de la résistance de la diode sur la tension d'avalanche, sont des caractéristiques qui doivent être prises en considération lors du choix de la diode de référence.

La résistance en continu d'une diode d'avalanche est:

$$R_{\text{cont}} = R_{\text{alt}} + \frac{\Delta V_z}{\Delta T} V_z \theta \quad (10)$$

- $R_{\text{alt}}$  = Résistance dynamique de la diode.
- $\theta$  = Résistance thermique de la diode ( $^{\circ}\text{C}$ )
- $\frac{\Delta V_z}{\Delta T}$  = Coefficient de température de la diode ( $\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ )

En faisant varier un peu la tension de référence, on arrive à modifier le coefficient de température en ajoutant des diodes polarisées en sens direct (diodes ordinaires ou Zéner) en série avec la diode d'avalanche.

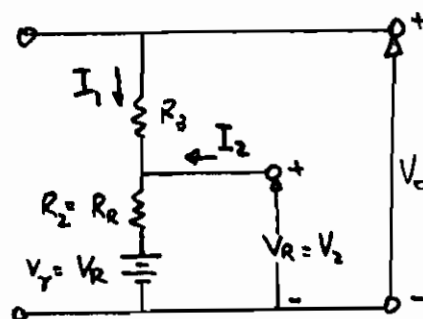
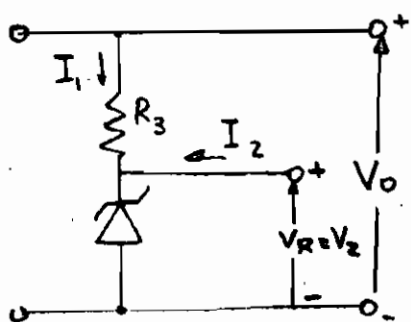
Le coefficient de température d'une série de diodes est:

$$\frac{\Delta V_T}{\Delta T} = \frac{\Delta V_{z_1}}{\Delta T} + \frac{\Delta V_{z_n}}{\Delta T} + \frac{\Delta V_{F_1}}{\Delta T} + \frac{\Delta V_{F_2}}{\Delta T}, \quad (11)$$

- avec
- $\Delta V_T / \Delta T$  : variation résultante de tension, par  $^{\circ}\text{C}$
  - $\Delta V_z / \Delta T$  : variation de tension par  $^{\circ}\text{C}$  pour chacune des diodes d'avalanches
  - $\Delta V_F / \Delta T$  : variation de tension par  $^{\circ}\text{C}$  chacune des diodes directes.



Pour mettre en évidence l'influence de la résistance de la diode d'avalanche sur la tension de référence, nous nous proposons d'étudier l'élément de référence et son circuit équivalent.



Élément de Référence avec son circuit équivalent.

- Supposons que  $\Delta I_1$  est assez faible pour que  $\Delta I_1 R_2 \approx 0$
- Supposons  $I_1 \gg I_2$

$$\text{Alors } I_1 R_3 + V_2 = V_0, \quad (12)$$

$$\Delta I_1 R_3 + \Delta V_2 = \Delta V_0, \quad (13)$$

$$\Delta V_2 \approx \Delta I_1 R_2, \quad (14)$$

De (3) on tire  $\Delta I_1 = \frac{\Delta V_2}{R_2}$  qu'on remplace par sa valeur dans (2)

$$\frac{\Delta V_2}{R_2} R_3 + \Delta V_2 \approx \Delta V_0$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{\Delta V_2}{\Delta V_0} \approx \frac{R_2}{R_3 + R_2}} \quad (15)$$

Donc pour une variation normale de la tension de sortie, la

tension de référence d'un régulateur ne doit pas varier si la diode d'avalanche a une faible résistance et si on maintient le courant inverse à une valeur à peu près constante.

## V-2-2 - Étude des cinq composants du Régulateur

### V-2-2-1 - L'Élément de Comparaison

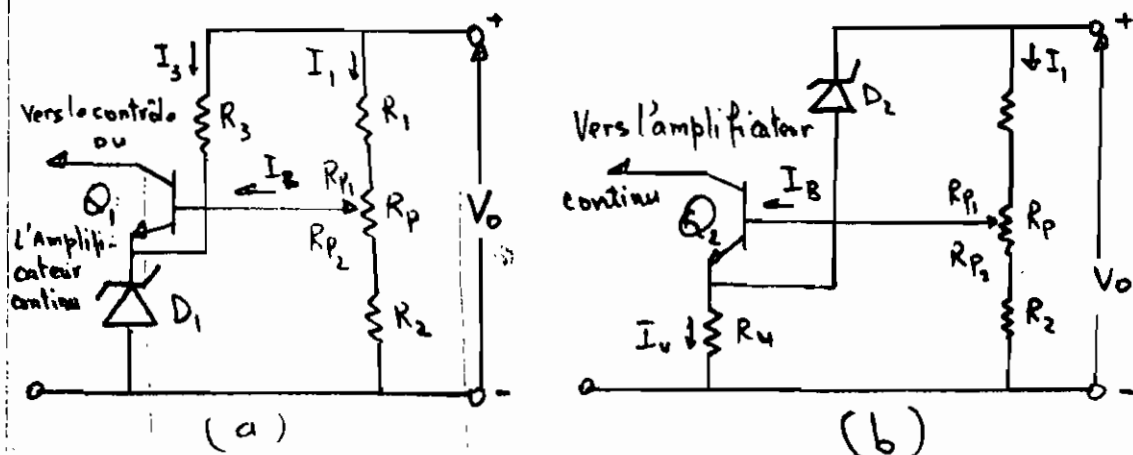
L'Élément de Comparaison prélève une partie de la tension de sortie et la compare à la tension de référence. Il produit ensuite un signal proportionnel à la différence de ces tensions.

Comme élément de comparaison, on peut utiliser

- soit un étage simple en émetteur commun,
- soit un amplificateur différentiel en émetteur couplé.

Le choix entre ces deux types d'élément de comparaison est fonction de la Régulation désirée et de la stabilité thermique recherchée.

#### V-2-2-1.a Étude de l'étage simple en émetteur commun



Les circuits ci-dessus montrent l'élément de comparaison en Emetteur commun, comprenant l'élément Echantillonneur.

a - Pour régulateur à faible tension de sortie,

b - Pour régulateur à tension de sortie élevée.

Avec le potentiomètre  $R_p$ , on règle l'échantillon de sortie sur la tension de référence, selon les tensions de sortie désirées. Le courant  $I_B$  issu du diviseur de tension et qui entre dans l'élément de comparaison doit être beaucoup plus faible que celui qui traverse le diviseur afin de permettre à la tension témoin de rester, égale à un pourcentage bien défini de la tension de sortie.

Dans les circuits (a) et (b) de l'élément de comparaison en Emetteur commun, on note les courants  $I_3$  et  $I_4$ . Ces deux courants doivent être bien supérieurs aux courants de  $Q_1$  et de  $Q_2$  afin que le courant inverse de la diode reste à peu près constant. La différence entre les circuits (a) et (b) réside seulement de la façon dont l'élément de référence est monté. Sa position dans le circuit (b) permet de faire fonctionner le transistor de l'élément de comparaison pour des tensions faibles pour toute valeur de la sortie du régulateur.

L'emploi du circuit (b) nécessite toutefois l'utilisation d'un amplificateur continu entre l'élément de comparaison et l'élément de commande en série, afin d'obtenir une concordance de phase convenable du courant collecteur.

Pour ce qui concerne le problème posé par la variation de la température, il est aisé de le résoudre en choisissant une diode d'avalanche à coefficient de température de signe opposé à  $\Delta V_{BE} / \Delta T$

Pour preuve il suffit de voir que :

$$V_o = (V_z + V_{BE}) \frac{R_1 + R_2 + R_p}{R_2 + R_{p_2}} ; \quad (\text{circuit a}) \quad (16)$$

avec  $V_o$  = tension de sortie régulée

$V_z$  = tension de référence

$V_{BE}$  = tension base - émetteur de l'élément de comparaison

Si  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_p$  sont faites du même matériau,

$$\Delta V_o = \frac{R_1 + R_2 + R_p}{R_2 + R_{p_2}} (\Delta V_z + \Delta V_{BE}) \quad (17)$$

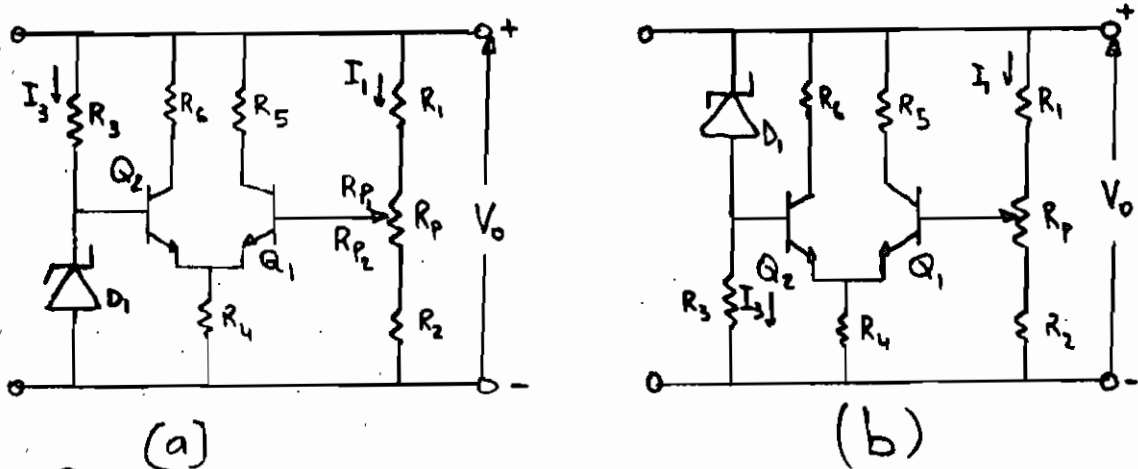
Ceci montre que toute variation de la tension de sortie provient de  $\Delta V_z$  et  $\Delta V_{BE}$ . Et comme  $\Delta V_{BE} / \Delta T$  est en général négatif, on prendra une diode d'avalanche à coefficient de température  $\Delta V_z / \Delta T$  positif et qui équilibre exactement  $\Delta V_{BE} / \Delta T$  de  $Q_1$

Pour le circuit (b), une étude identique montre que :

$$\Delta V_o = \frac{R_1 + R_2 + R_p}{R_1 + R_{p_1}} (\Delta V_z - \Delta V_{BE}) \quad (18)$$

Dans ce cas, prendre une diode avalanche à coefficient de température négatif et égal à  $\Delta V_{BE} / \Delta T$  de  $Q_2$

## 2-2-1-b Etude de l'amplificateur différentiel à Emetteur couplé.



Les deux circuits sont la représentation d'un élément de comparaison à Amplificateur différentiel, comprenant les éléments d'échantillonnage et de référence.

(a) : Circuit de régulation à faible tension de sortie

(b) Circuit de régulation de tension de sortie élevée.

L'amplificateur différentiel à émetteur couplé est un élément de comparaison parfait si le régulateur doit fonctionner dans une large gamme de températures ou à très hautes températures. Il y a auto-compensation vis-à-vis des variations de température à cause de la disposition symétrique de l'amplificateur différentiel. On arrive à améliorer l'auto-compensation par le choix de transistors bien appariés, montés sur un radiateur commun. Il faut préciser que la position de la diode de référence, le déphasage et un gain légèrement différent sont les seules différences

existant entre étages à haute tension et basse tension de sortie.

Du fait de l'auto-compensation vis-à-vis de la température, on peut écrire :

$$\Delta V_0 = \frac{R_1 + R_2 + R_p}{R_2 + R_{p_2}} \Delta V_2 \quad \text{circuit (a)} \quad (19)$$

et

$$\Delta V_0 = \frac{R_1 + R_2 + R_p}{R_1 + R_{p_1}} \Delta V_2 \quad \text{circuit (b)} \quad (20)$$

La variation de la tension de sortie lors d'une variation de la température, provient d'une variation de la tension de référence si les résistances  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_p$  sont du même matériau.

Cela signifie donc que le choix de la diode d'avalanche doit porter sur celles qui permettent d'avoir un coefficient de température presque nul.

Note: de ces études, il ressort que les caractéristiques du régulateur de tension, lors des variations de température sont déterminées principalement par la conception des éléments diviseur, de référence et de comparaison. L'action des autres composants ne dépend presque pas de la température.

### II-2-2 Étude de l'Élément Amplificateur Continu

L'amplificateur continu a pour rôle d'amener le signal

différentiel qui sert de l'élément de comparaison, à une valeur suffisante pour agir sur l'élément de contrôle.

Comme l'amplificateur se trouve dans une boucle fortement contre-réactionnée, il n'est pas nécessaire de concevoir un amplificateur très élaboré. Il suffit en général d'avoir un gain assez important, afin que le courant fourni à l'élément de contrôle soit suffisant, et assez faible pour que la stabilité du circuit soit convenable.

Souvent on utilise un simple transistor, ou un étage, pour assurer à la fois les fonctions d'élément de comparaison et d'amplificateur continu.

Mais il est toutefois nécessaire pour avoir un gain de boucle plus important, afin d'améliorer la régulation et diminuer la résistance de sortie du régulateur, d'avoir d'autres étages amplificateurs.

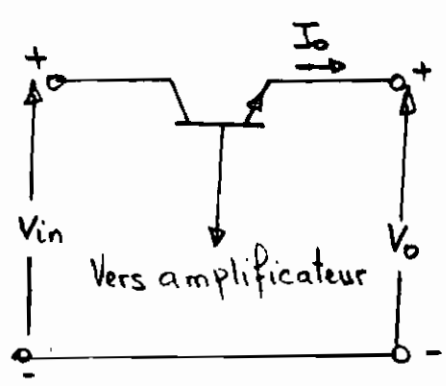
### V-2-2-3 Etude de l'Élément de Commande

L'Élément de commande interprète le signal provenant de l'amplificateur continu et réalise les corrections nécessaires pour maintenir la tension de sortie constante.

On peut distinguer trois types d'éléments de commande :

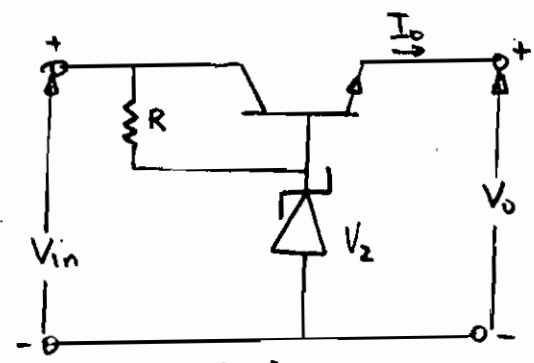
- a - Élément de commande pour régulateur série
- b - Élément de commande pour régulateur monté en collecteur commun.

### c - Elément de Commande pour régulateur parallèle.



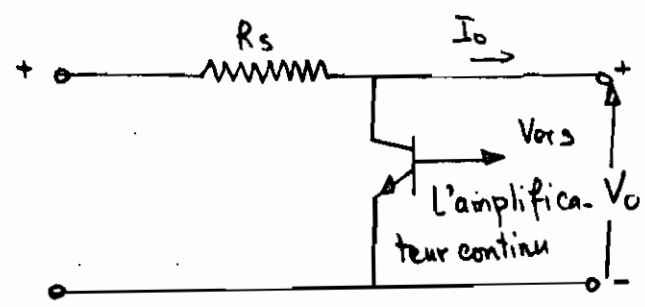
(a)

Régulateur Série



(b)

Régulateur monté en collecteur commun



(c)

Régulateur parallèle.

Dans notre cas, nous nous intéresserons surtout aux éléments de commande pour régulateurs série et régulateurs en collecteur commun qui sont fondamentalement semblables.

En effet, le choix d'un élément de commande ou de contrôle nécessite la connaissance des valeurs maximales de puissance, de tension et de courant que peut supporter le transistor. Pour un élément de contrôle série ou à émetteur follower à un transistor, on doit avoir :

$$V_{CE}(\max) \geq V_{in}(\max) - V_0(\min), \quad (21)$$



$$I_c (\max) \gg I_o (\max) , \quad (22)$$

$$P_c (\max) \gg (V_{in} (\max) - V_o (\min)) I_o (\max); (23)$$

avec

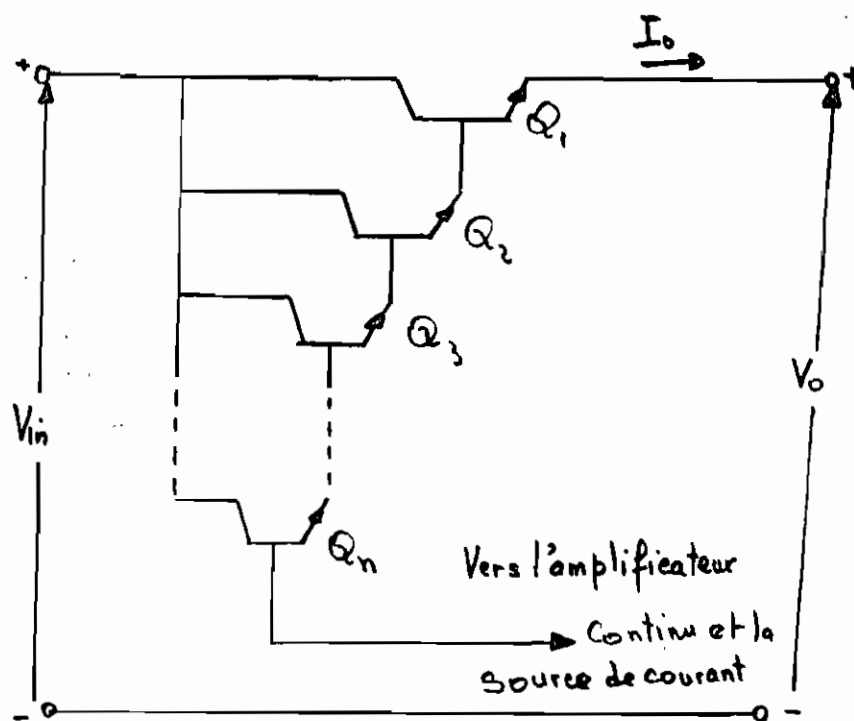
- $V_{in} (\max)$  = tension d'entrée non régulée maximale,
- $I_o (\max)$  = courant de charge maximale,
- $V_o (\min)$  = tension de sortie minimale,
- $V_{CE} (\max)$  = tension collecteur - Emetteur maximale admissible,
- $I_c (\max)$  = courant collecteur maximal admissible
- $P_c (\max)$  = puissance dissipée maximale admissible au collecteur

Note: Le courant collecteur de l'amplificateur continu doit être égal ou supérieur au courant maximal nécessaire à la conduite de l'élément de commande - Cela est nécessaire parce que l'élément de commande doit avoir un courant de base suffisant pour que le courant de sortie soit convenable. Mais du fait que l'élément de contrôle reçoit à sa base un courant en général petit, on emploie un montage DARLINGTON qui fournit le gain de courant suffisant pour avoir le courant de charge convenable.

Ainsi, si nous avons des transistors à gain  $h_{FE} \gg 1$ , on parvient à réaliser:

$$I_o \approx (h_{FE_1} \cdot h_{FE_2} \cdot h_{FE_3} \cdot \dots \cdot h_{FE_n}) I_{B_n} \quad (24)$$

## Schéma du MONTAGE DARLINGTON ou MULTIPLICATEUR BETA



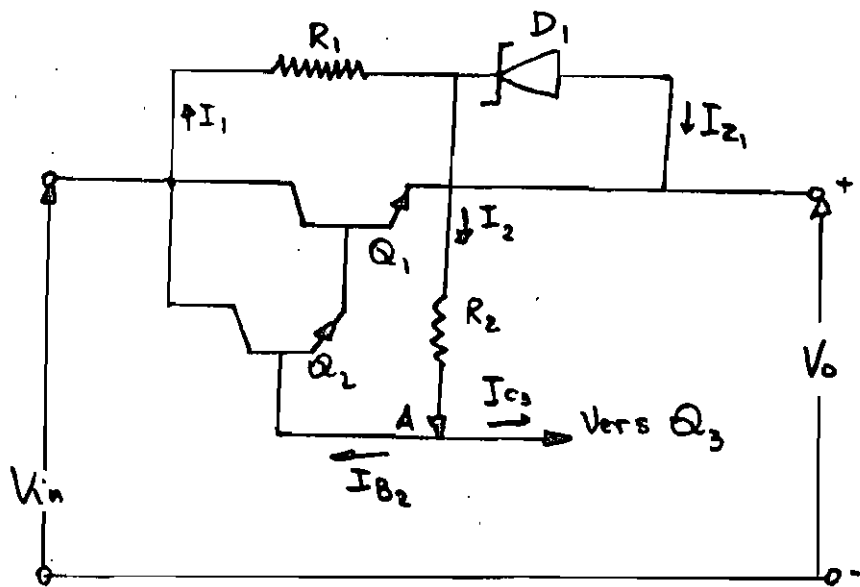
Dans ce type de circuit, chaque transistor de la liaison doit supporter une tension égale à la tension maximale d'entrée non régulée diminuée de la somme de la tension de sortie et de la tension base-émetteur de chacun des transistors précédents. Les caractéristiques du courant collecteur des transistors peut diminuer par le  $h_{FE(n-1)}$  correspondant correspondant aux transistors  $Q_1, \dots, Q_n$ . Il s'agit donc de choisir les transistors les plus adaptés à la liaison.

### V-2-2-4 - La Pré-régulation

Pour un régulateur travaillant au maximum de sa capacité,

on peut y associer un pré-régulateur en tant qu'élément fonctionnel. Le pré-régulateur fournit un courant constant au collecteur de l'amplificateur continu et à la base de l'élément de commande.

- Schema du circuit de Pré-régulateur monté sur l'élément de commande associé à l'amplificateur continu



Si nous relierons la borne positive de l'alimentation variable par une résistance ( $R_2$  par exemple) à la base de  $Q_2$ , les variations de courant provenant des variations de tension sont injectées dans la base de  $Q_2$ . Le transistor de contrôle  $Q_1$  les amplifie et les ramène à la sortie. Une alimentation continue pré-régulée provenant de  $R_1$ ,  $R_2$  et  $D_1$  réduit le ronflement. La diode Zener  $D_1$  peut être choisie telle que

$$V_{Z_1} \leq V_{in} - V_0, \quad (25)$$

fournissant donc un courant suffisant à  $Q_2$  et  $Q_3$ .

Il est toutefois préférable d'avoir pour la diode  $D_1$  une tension d'avalanche

$$V_{Z_1} = V_i(\min) - V_o(\max) - I_1 R_1, \quad (26)$$

$$\text{avec } I_1 = I_{Z_1} + I_2, \quad (27)$$

$$I_2 = I_{B_2} + I_{C_3} \quad (28)$$

$I_{B_2}$  et  $I_{C_3}$  sont déterminés lors du choix de l'élément de commande.

On détermine donc  $R_2$

$$R_2 = \frac{V_{Z_1} - V_{BE_1} - V_{BE_2}}{I_{B_2} + I_{C_3}} \quad (29)$$

Connaissant la tension nominale de la diode Zener ( $V_{Z_1}$ ), le courant qui traverse  $R_2$ , les tensions d'entrée et de sortie et le courant maximal admissible dans la diode  $D_1$ , on détermine  $R_1$

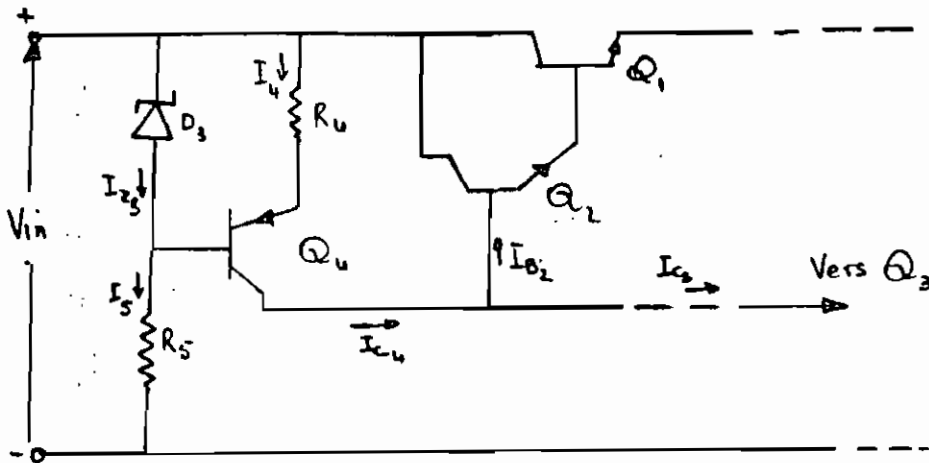
$$V_{Z_1}(\max) = V_{in}(\max) - V_o(\min) - V_{Z_1}, \quad (30)$$

$$I_{1(\max)} = I_{Z_1}(\max) + I_2 \quad (31)$$

$$R_1 \cong \frac{V_{in}(\max) - V_o(\min) - V_{Z_1}}{I_{Z_1}(\max) + I_2} \quad (32)$$

On peut aussi noter que selon la résistance de la source, la résistance de sortie d'un régulateur peut être diminuée jusqu'à 50%

par l'utilisation d'un pré-régulateur -  
 On peut toujours améliorer les performances d'un pré-régulateur en remplaçant les éléments  $R_1$ ,  $R_2$  et  $D_1$  par un circuit à transistor



Pré-régulateur à Transistor.

Pour ce circuit, nous avons  $I_{C4}$  le courant collecteur de  $Q_4$  qui est indépendant de la variation de tension  $V_{BE}$  de  $Q_2$  liée aux variations de température ou de charge.

$$I_{C4} = I_{E4} - I_{B4} = I_{B2} + I_{C3} \quad (33)$$

$$R_u I_4 = V_{Z3} - V_{BE4}, \quad (34)$$

$$R_u = \frac{V_{Z3} - V_{BE4}}{I_{E4}} \quad (35)$$

La diode Zener  $D_3$  est choisie telle que son coefficient de température  $\Delta V_Z / \Delta T$  équilibre le  $\Delta V_{BE} / \Delta T$  de  $Q_4$ .

Le transistor  $Q_4$  doit supporter  $I_{B2} + I_{C3}$ .

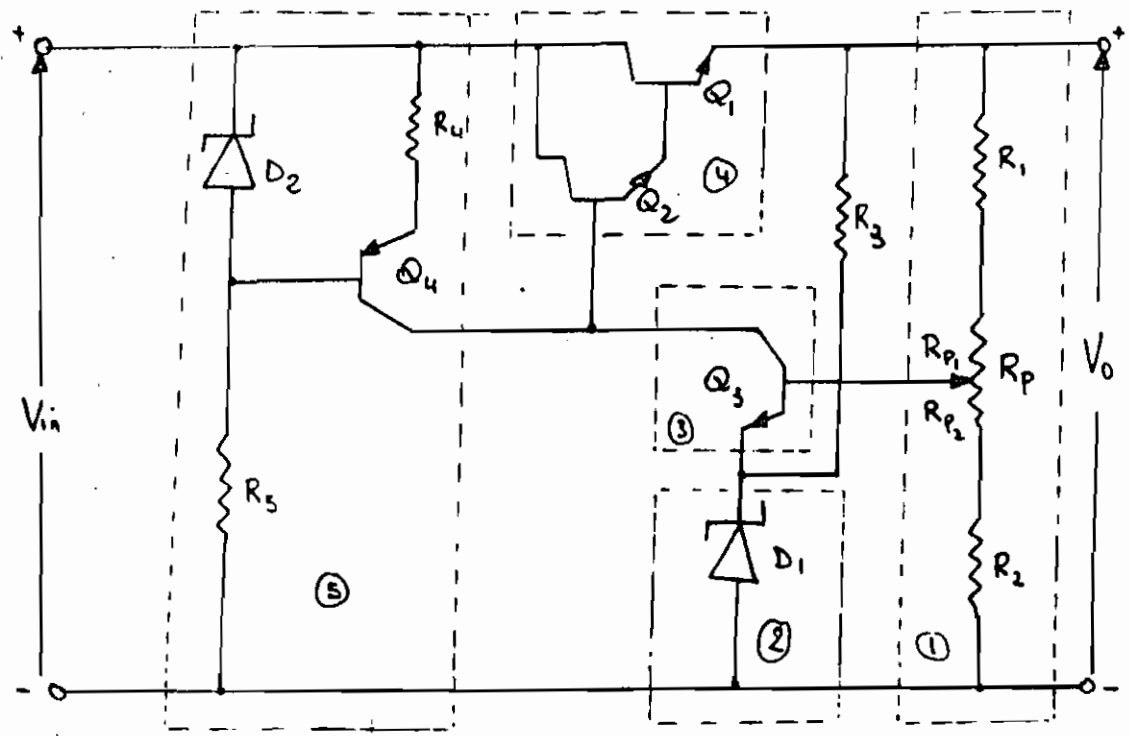
$I_{Z3}$  = courant maximum admissible de la diode Zener  $D_3$ .

Donc

$$R_5 = \frac{V_{in(min)} - V_{Z3} - I_{Z3} R_2}{I_{Z3} + I_{B4}} \quad (36)$$

### V-2-2-5 Assemblage des éléments étudiés

Tous les éléments décrits précédemment peuvent être assemblés pour obtenir le Régulateur Complet.



- Régulateur de tension série avec un pré-régulateur à Transistor.

- ① = Élément Échantillonneur
- ② = Élément de Référence

③ = Elément de comparaison et amplificateur

④ = Elément de Commande

⑤ = Prérégulateur à Transistor.

### V-2-2 - 6 Liste des composants du Régulateur.

- Diode Anti-retour.

- Transistors

$Q_1 = 2N3773$  : monté sur un radiateur de refroidissement

$Q_2 = 2N4921$

$Q_3 = 2N3053$

$Q_4 = 2N2905$

- Diodes Zener

$D_1 = BZX46C7V5$

$D_2 = BZX46C3V9$

- Résistances

$R_1 = 153 \Omega$

$R_2 = 57 \Omega$

$R_p =$  potentiomètre de  $250 \Omega$

$R_3 = 680 \Omega$

$R_4 = 115 \Omega$

$R_5 = 1200 \Omega$

$R_6 = 100 k\Omega$  : ( $R_6$  n'apparaît que dans le circuit dimensionné)

Le choix de tous ces composants est basé sur le Design ou (Dimensionnement) du Régulateur. Voir annexe. AI

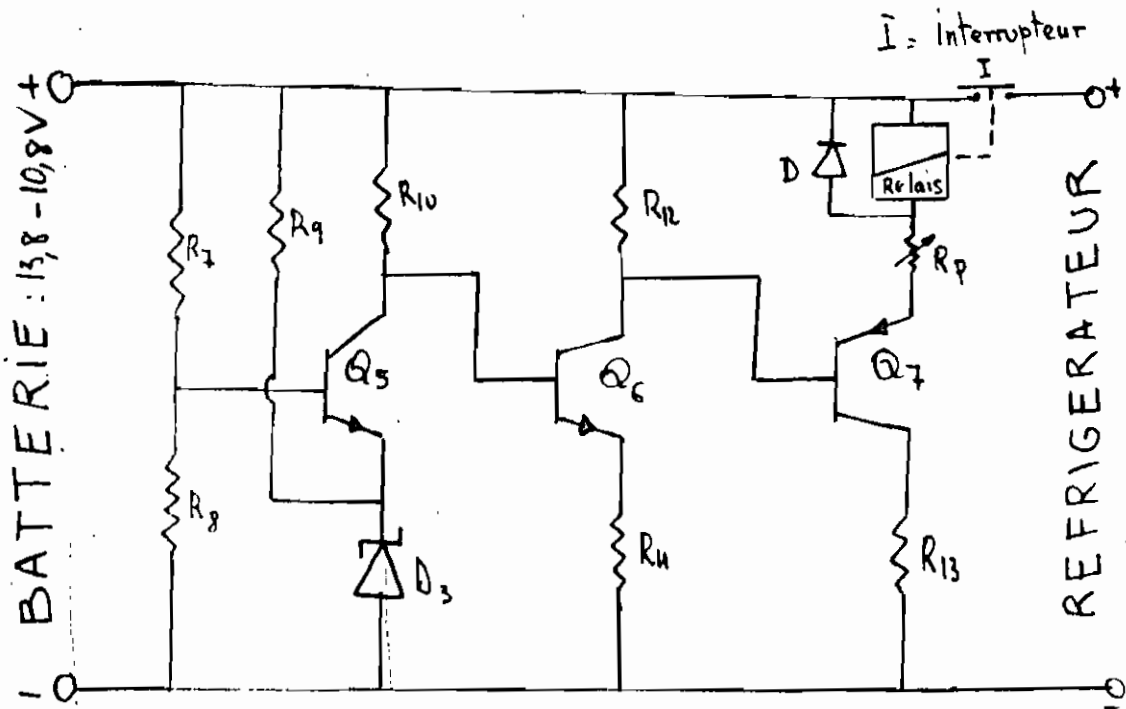
## V-3. LE DISJONCTEUR

En cas de situations exceptionnelles (mauvais ensoleillement, panne du générateur, abus de consommation, ...) il est nécessaire de limiter la décharge de la batterie pour éviter la sulfatation des plaques.

### V-3-1 Principe.

L'utilisation (Réfrigérateur) est déconnectée de la batterie à partir d'un certain seuil de tension (de l'ordre de 1,8 volt par élément) et est reconnectée automatiquement lorsque la batterie atteint un niveau de charge suffisant.

### V-3-2 Schéma théorique



DISJONCTEUR: CIRCUIT THEORIQUE.



### V-3-3. Etude fonctionnement

Le circuit de commande du relais est un circuit électronique à transistors. Une partie de la tension aux bornes de la batterie est appliquée à la base du transistor  $Q_5$ , qui, par ailleurs reçoit par son émetteur une tension de référence  $V_{ref}$  fournie par la diode Zener  $D_3$ . La différence entre ces deux tensions reçues par  $Q_5$  est amplifiée par  $Q_6$  ensuite par  $Q_7$ . Cette tension amplifiée sera appliquée aux bornes de la bobine du relais pour créer un champ électromagnétique suffisamment élevé pour attirer les lames du relais (fermeture du circuit d'alimentation du réfrigérateur).

Le relais a deux positions (Repos et Travail) - Une fois qu'il se trouve dans la position "Repos ou Travail", il y reste maintenu tant que le champ magnétique créé par l'excitation de l'électro-aimant ne change pas d'état. On a donc ici un phénomène d'hystérésis dont la durée devra dépendre de l'état de la charge de la batterie (condition nécessaire pour la mise en marche du réfrigérateur) -

L'hystérésis (H) sera déterminé dans la section d'étude des caractéristiques du relais (Annexe: AII-1)

### V-3-4. Liste des Composants du Disjoncteur

- Relais de type "Potter and Brumfield": 12Vdc,  $\approx 300\Omega$

## Transistors au Silicium

$Q_5$  : 2N3053 - NPN

$Q_6$  : 2N4921 - NPN

$Q_7$  : 2N4918 - PNP

## DIODES au SILICIUM

$D_3$  : BZX46C4V7 . Zener

$D$  : 1N4004

## RESISTANCES

$R_7$  = 1000  $\Omega$ .

$R_8$  = 220  $\Omega$

$R_9$  = 680  $\Omega$

$R_{10}$  = 470  $\Omega$

$R_{11}$  = 100  $\Omega$

$R_{12}$  = 1000  $\Omega$

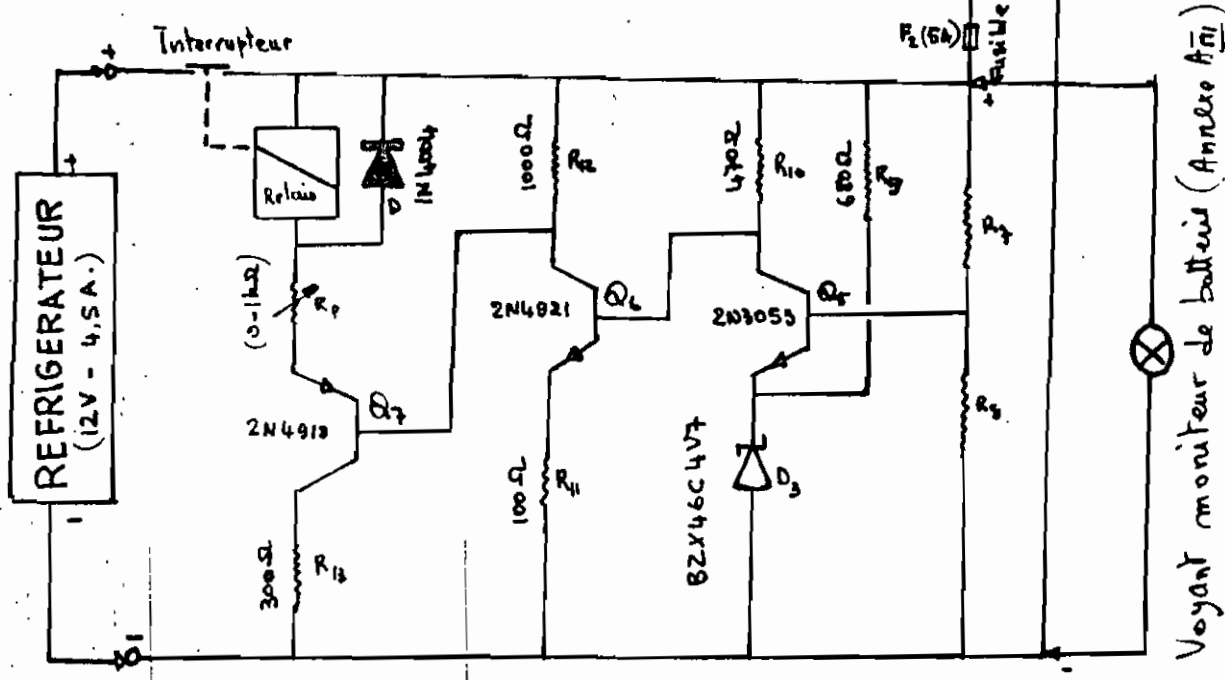
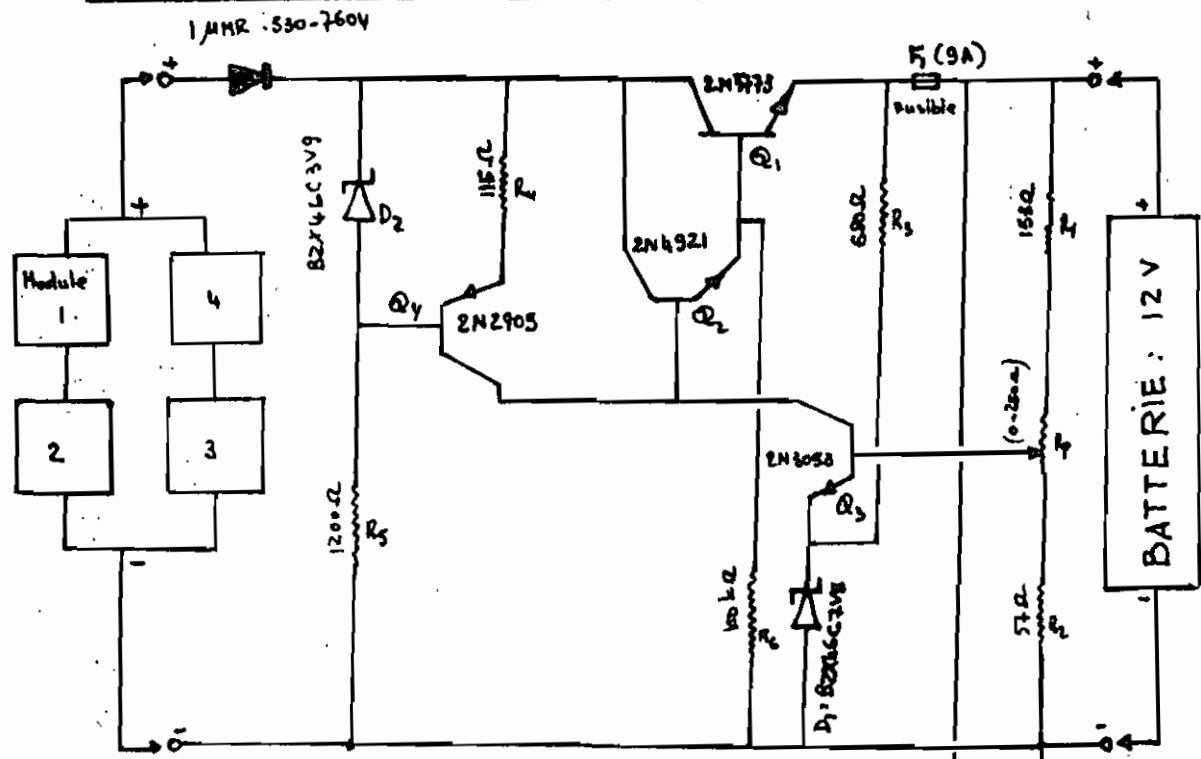
$R_{13}$  = 300  $\Omega$

$R_p$  : 0 - 1000  $\Omega$ .

Le choix de tous ces composants du disjoncteur se trouve explicité dans la section "Design du disjoncteur: Annexe AII-2"

# V-4 - REGULATEUR DE CHARGE - DÉCHARGE POUR BATTERIE D'ACCUMULATEURS : CIRCUIT ELECTRONIQUE

GENERATEUR SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE



REGULATEUR DE CHARGE : 13,8 volts.  
 REGULATEUR DE DECHARGE : 10,8 volts.

NB. SARR. E.F.T

## BILAN ECONOMIQUE DU REGULATEUR

Designation du Matériel	Nombre	Prix unitaire (FCFA)	Prix Total (FCFA)
Transistor au Silicium NPN 2N3773	1	4155	4155
NPN 2N3053	2	215	430
NPN 2N4921	2	515	1030
PNP 2N2905	1	250	250
PNP 2N4918	1	600	600
Diode au Silicium 1N4004	1	200	200
Diode Zener	3	500	1500
MUR 330.760V	1	500	500
Radiateur Motorola NS.10	1	3000	3000
Relais 12VDC. AMF. Potter + Brumfield	1	10500	10500
Potentio metre (0 - 250 $\Omega$ )	1	2400	2400
Potentio metre (0 - 1k $\Omega$ )	1	1400	1400
Résistances	17	20	340
Fusible calibre 5A	1	525	525
Fusible Calibre 9A	1	735	735
Circuit imprimé (15cm x 6cm)	1	12600	12600
Boîtier	1	3500	3500
Coût Global			43665

CHAPITRE - VI -

CARACTERISTIQUES  
DES COMPOSANTES  
DU SYSTEME

## VI CARACTERISTIQUES DES COMPOSANTS DU SYSTEME

### VI-1 - Analyse des Caractéristiques du Générateur Solaire Photovoltaïque.

Si nous examinons les courbes caractéristiques du Générateur Solaire photovoltaïque ( Courbes : courant - Tension ), nous constatons que :

- a - Pour un même ensoleillement donné,
- La tension de circuit ouvert ( $V_{co}$ ) diminue lorsque la température augmente. ( voir graphiques  $G_2$ ,  $G_3$  ),
  - Le courant de photopile diminue quand la température augmente. ( voir graphique.  $G_2, G_3$  )
- Cette diminution du courant pour une augmentation de la température est contraire aux indications du constructeur ( voir courbes caractéristiques du constructeur en annexe A.0 ). La raison de cette baisse du courant se justifie pour notre cas par le simple fait que le courant  $I_p$  que nous avons mesuré représenté entre autre le courant de charge de la batterie qui décroît lorsque la tension aux bornes de la batterie tend vers

la tension de sortie du régulateur (tension de recharge de la batterie). A l'équilibre, ce courant de recharge devient nul.

- b. Pour une même température donnée,
- La tension de circuit ouvert ( $V_{co}$ ) du Générateur solaire photovoltaïque varie (augmente) avec l'ensoleillement. (voir graphiques  $G_4$  et  $G_5$ )
  - Le courant de photopile varie aussi dans le même sens que l'ensoleillement (voir graphiques  $G_4$  et  $G_5$ )

## VI - 2 Analyse des Caractéristiques de Charge et de Décharge de la Batterie.

En examinant les tableaux des "essais du Régulateur pour la recharge de la batterie" (chapitre des essais et Résultats), on se rend compte que lors de la recharge, la tension aux bornes de la batterie augmente très rapidement en début de charge pour ensuite tendre vers un équilibre marqué par un courant de recharge tendant vers zéro.

Voir les Tableaux 1, 2, 3, 4, 5 et 8

des essais et Résultats -

Pour la décharge, nous remarquons un phénomène beaucoup

plus accentuée. L'examen de la courbe de décharge ( $C_3$ ) de la batterie (graphique G) montre clairement qu'au début du fonctionnement du réfrigérateur (démarrage), la batterie perd environ les 5% de la tension à ses bornes. Exemple : Dans le tableau n° 6 des "Essais et Résultats" et même dans le graphique G6 : courbe  $C_3$ , nous voyons que la batterie quitte la tension de 12,81 volts pour chuter à 12,17V en début de fonctionnement du Réfrigérateur :  $(12,81 - 12,17) / 12,81 = 5\%$ . Ceci s'explique par le simple fait qu'au démarrage le moteur du compresseur (petit moteur à courant continu) tire environ 2,5 fois son courant nominal  $I_n$ , ( $I_n = 4,5A$ )

VI-3 - Analyse des caractéristiques du Régulateur  
 Pour le régulateur de charge de la batterie, seul les tests à vide permettent de voir clairement les variations du facteur de régulation  $\Delta V_o / \Delta I_o$ . lorsque la tension à l'entrée du régulateur (tension de la source d'alimentation) augmente. (voir graphique G<sub>1</sub>). Les essais de charge de la batterie ne permettent pas de constater les variations de sortie du régulateur dans la mesure où on n'arrive pas à dépasser la tension de recharge 13,8 volts qui représente une tension d'équilibre : Batterie - Sortie Régulateur.



Quant au régulateur de décharge (disjoncteur), l'étude des caractéristiques revient à l'étude des caractéristiques du relais (effets d'hystérésis) que nous avons traité en annexe )

#### VI-4 - Analyse des Caractéristiques du Réfrigérateur

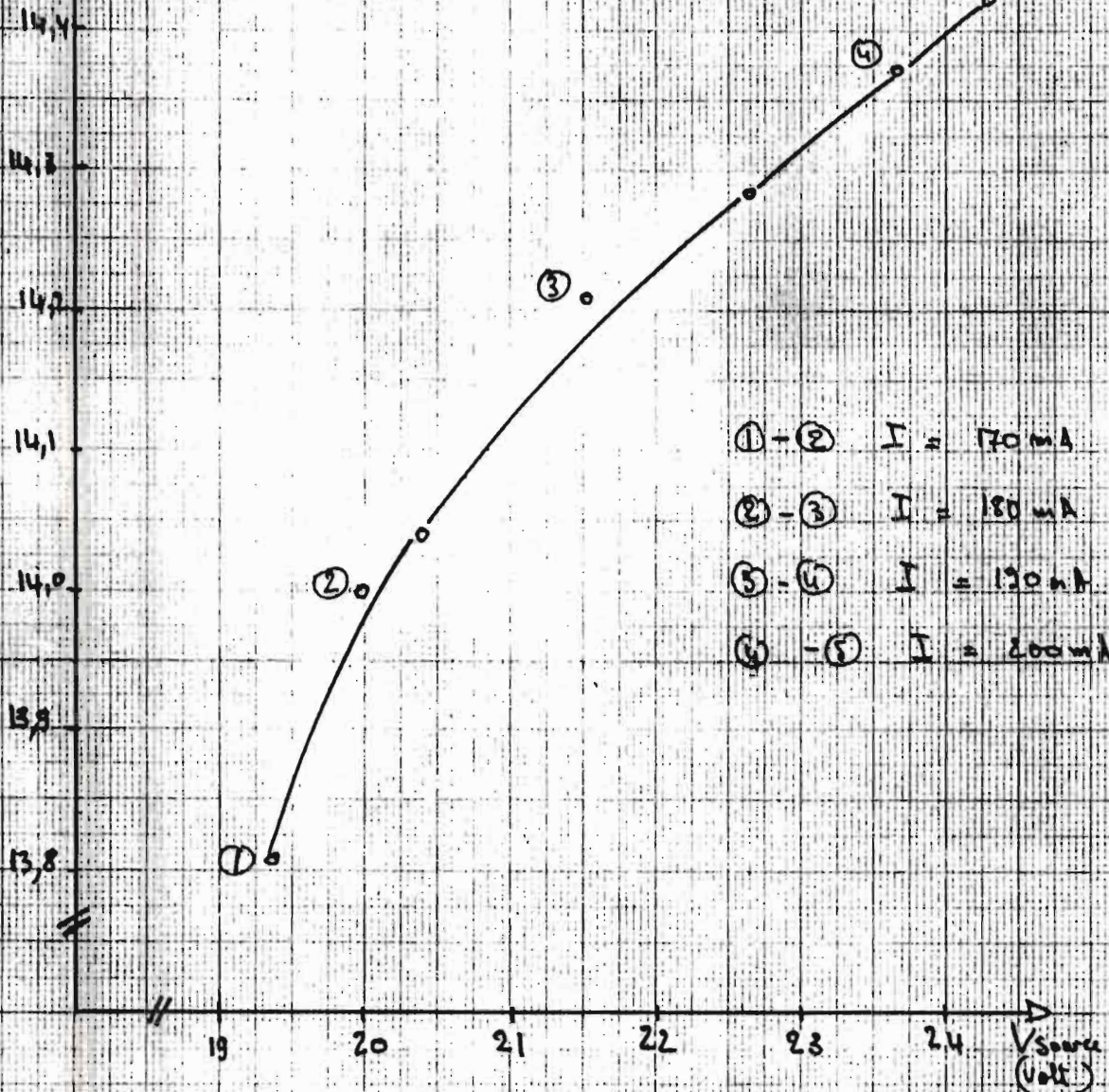
Pour le réfrigérateur, nous nous limiterons simplement aux variations de la température à l'intérieur du réfrigérateur une fois le frigo en marche.

En examinant le graphique  $G_6$ , nous voyons qu'au début de fonctionnement, la température à l'intérieur du réfrigérateur  $T_{if}$  et celle de la chambre froide  $T_{cf}$  diminuent très rapidement pour atteindre un équilibre fixe par le réglage du Thermostat. Il faut noter que le temps mis par le réfrigérateur en marche pour atteindre cet équilibre dépend de beaucoup de facteurs comme la quantité de matière mise dans le frigo, la température du local où se trouve le frigo, les fréquences d'ouverture, l'état de la charge de la batterie etc...

4.  $V_{\text{sortie}}$   
Régulateur  
(Volts)

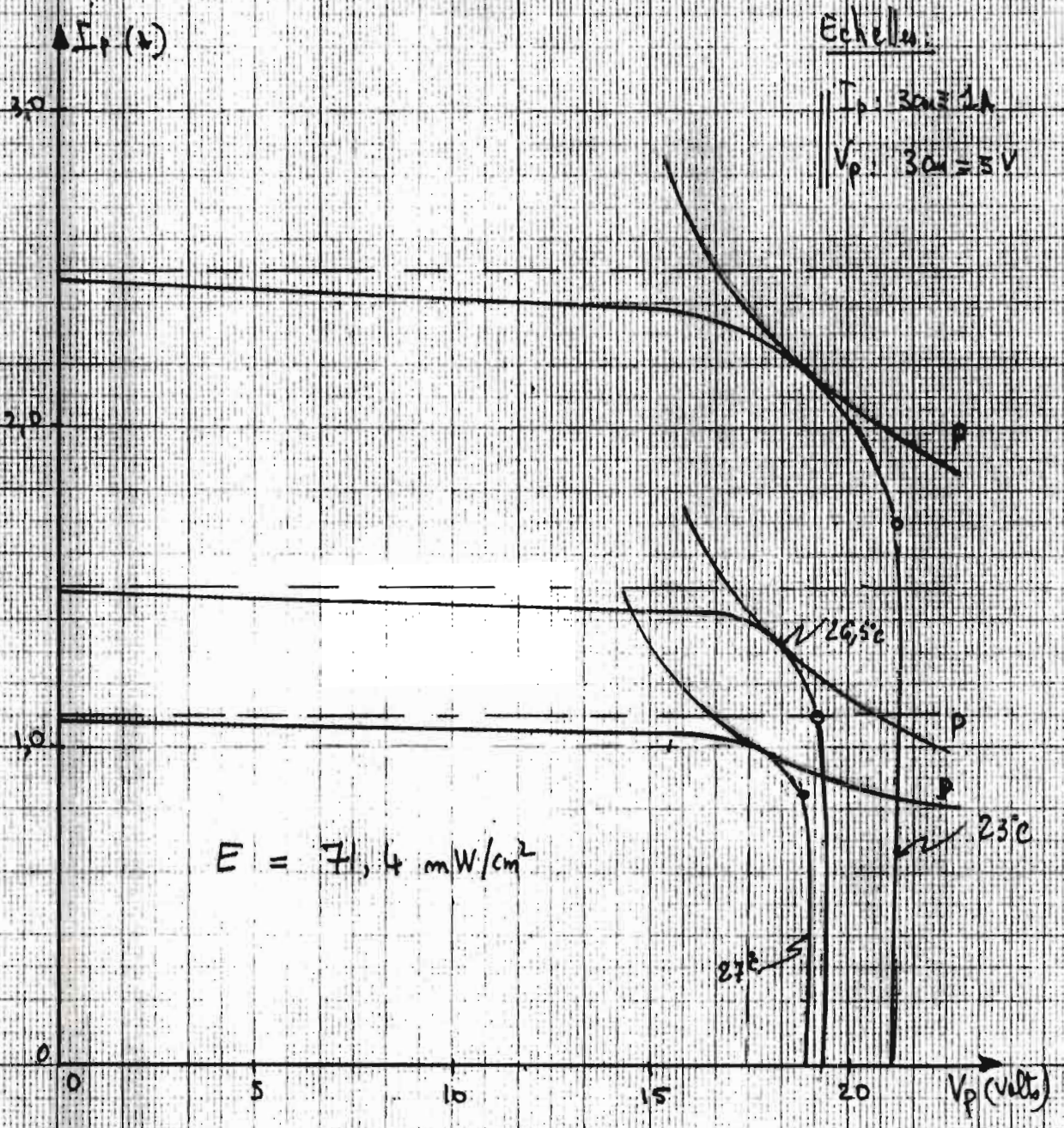
$$V_{\text{sortie}} : 2 \text{ cm} = 0,1 \text{ V}$$

$$V_{\text{source}} : 2 \text{ cm} = 1 \text{ V}$$



G<sub>1</sub>

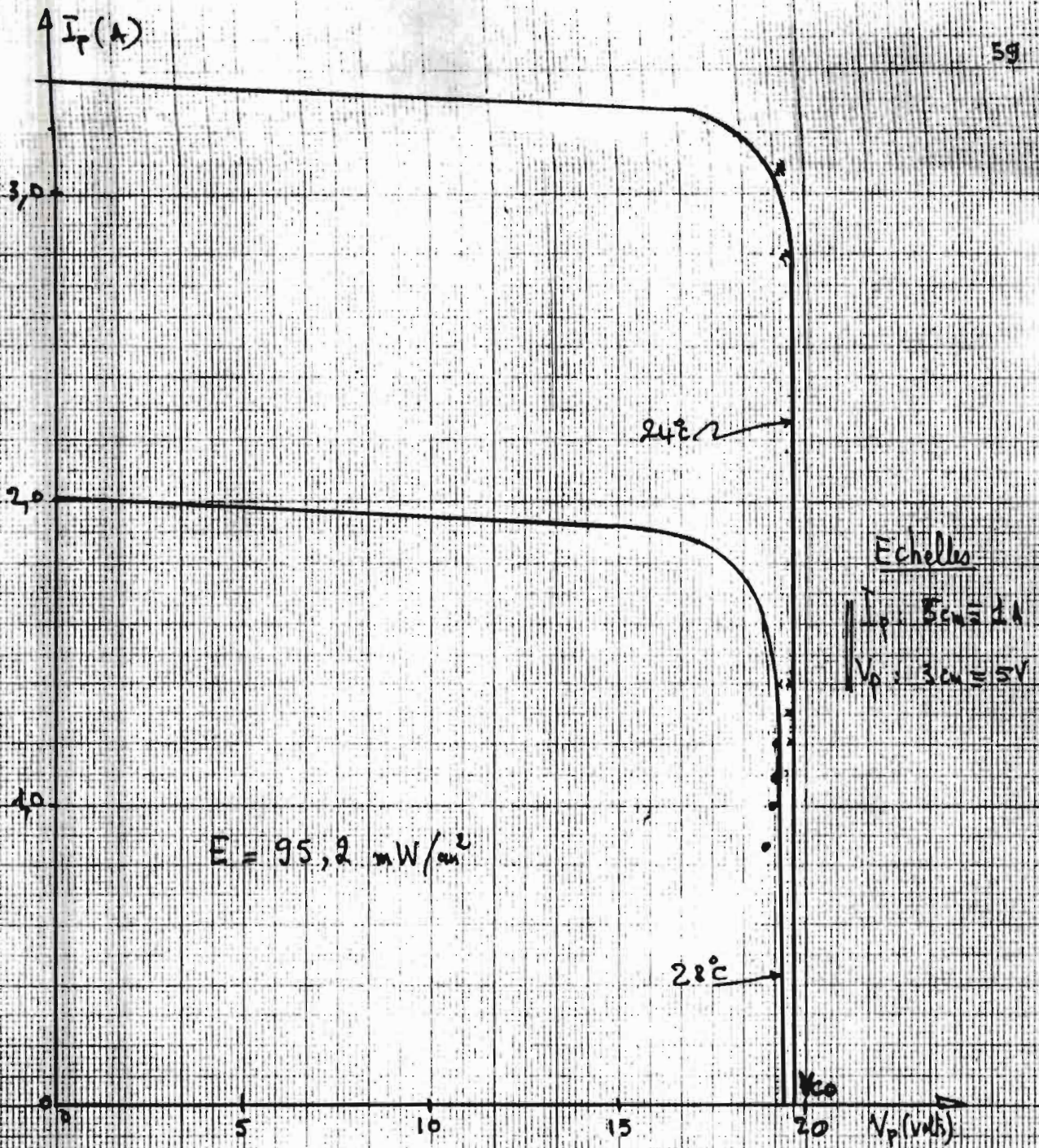
Courbe de Variation de la tension de sortie du Régulateur de charge en fonction de tension d'alimentation. Test à vide du Régulateur de charge



G<sub>2</sub>

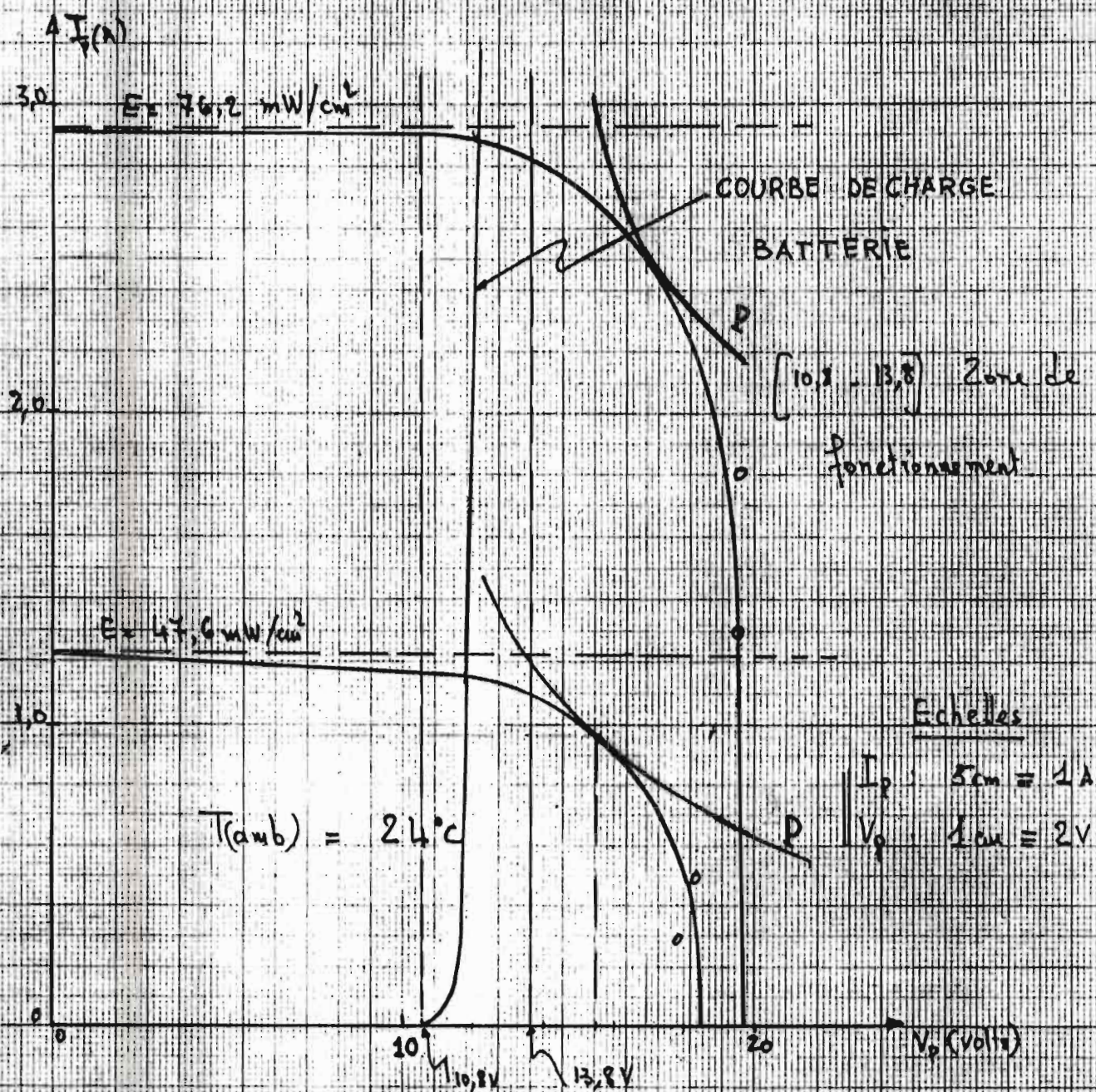
- Courbes Caractéristiques du Générateur Solaire photovoltaïque. Courbes : Courant - Tension pour un Ensoleillement  $E = 71,4 \text{ mW/cm}^2$  à des températures ambiantes de  $23^\circ C$  -  $26,5^\circ C$  et  $27^\circ C$

- Les hyperboles tangentes aux courbes de  $I_p = f(V_p)$  sont les courbes de puissance du Générateur.



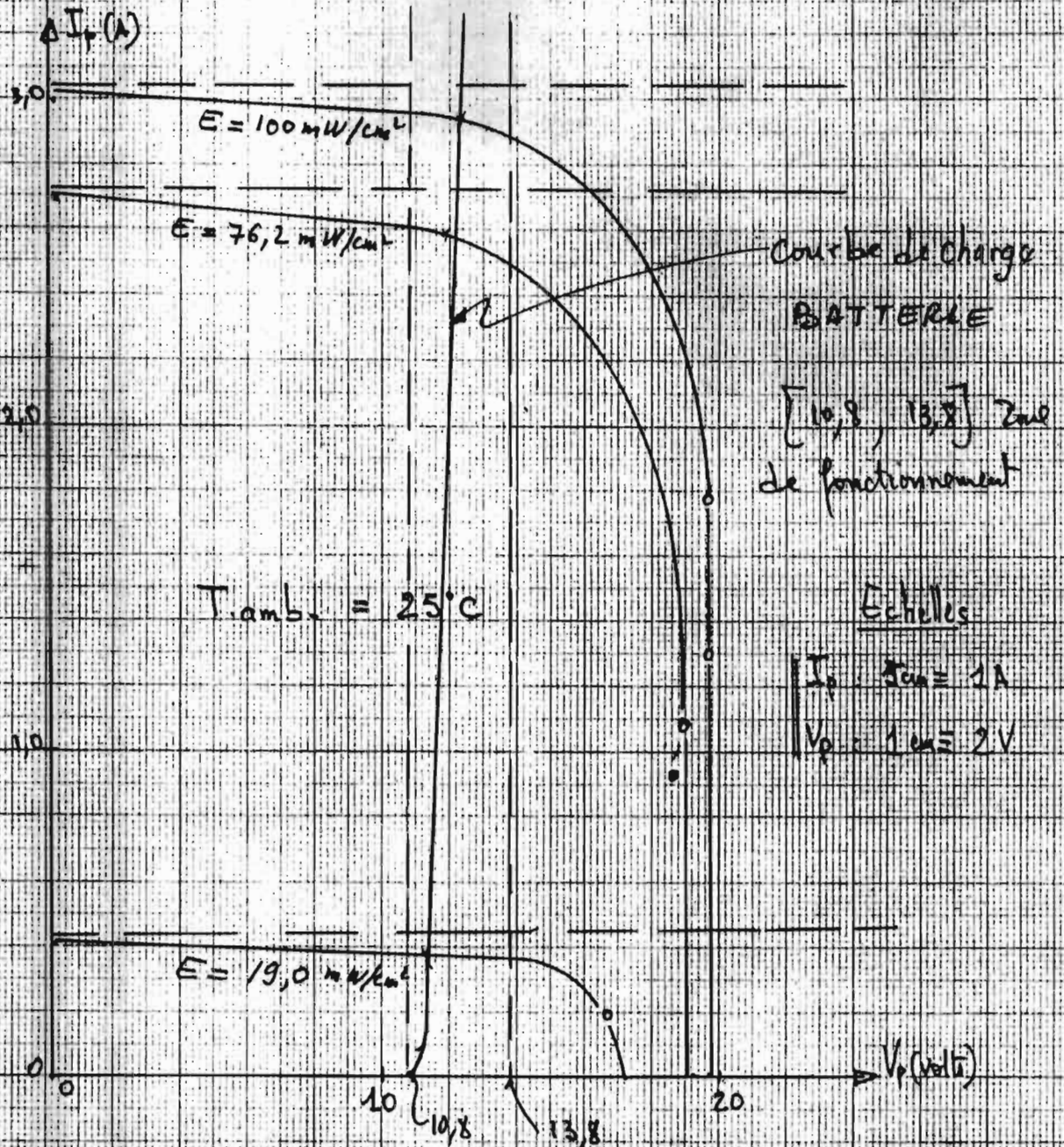
G3

Courbes caractéristiques du Générateur Solaire photovoltaïque : Courbes : courant - Tension pour un ensoleillement  $E = 95,2 \text{ mW/cm}^2$  et des températures ambiantes de  $24^{\circ}\text{C}$  et  $28^{\circ}\text{C}$ .



G.4

Courbes caractéristiques du Générateur solaire  
 Photo voltaïque : courbes : courant - Tension pour une  
 température ambiante de 24°C - Nous avons aussi  
 à l'intérieur la Courbe de charge de la batterie en  
 fonction du courant de photopiles et de l'ensoleillement.  
 P : Courbe de puissance

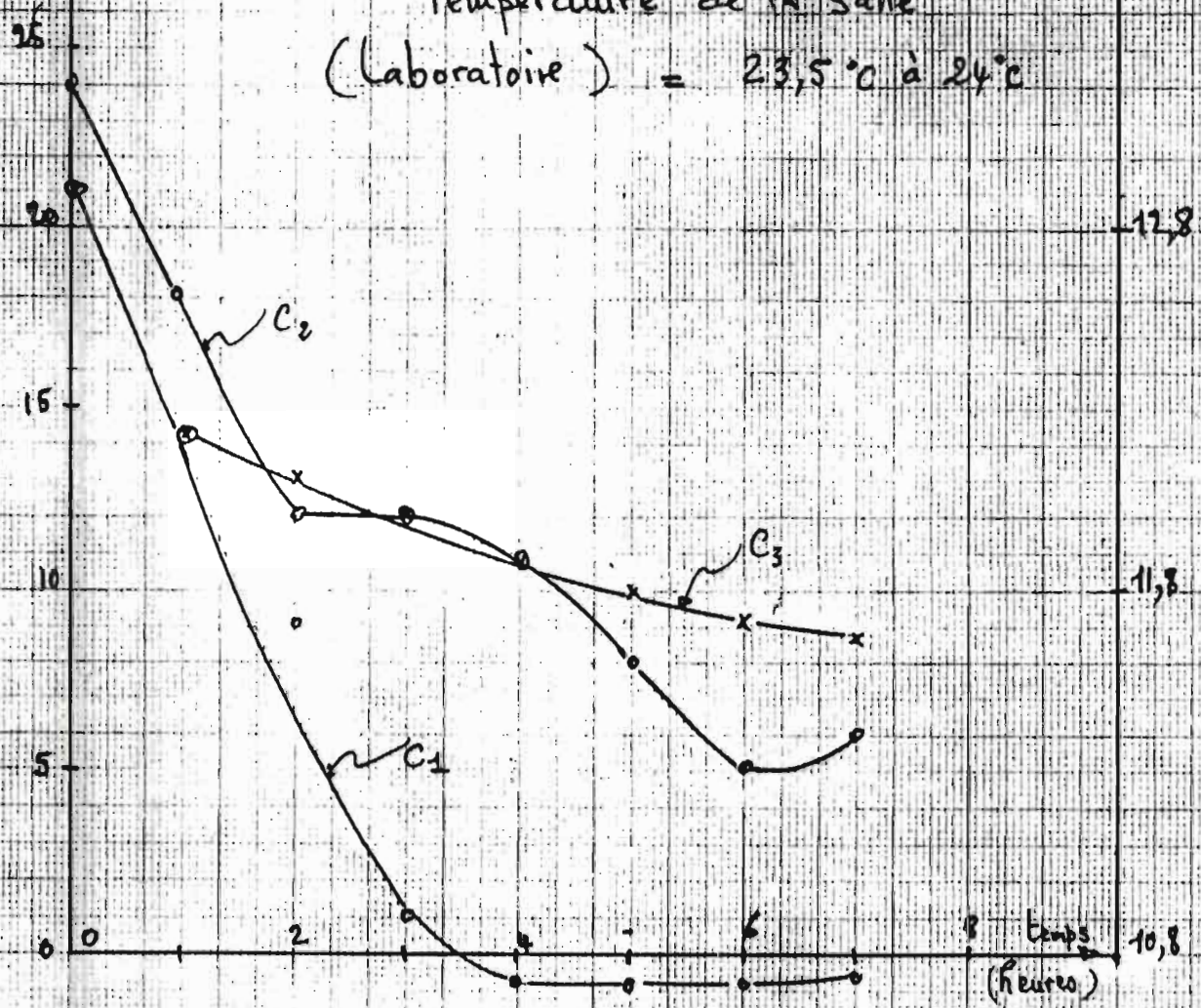


⑤

Courbes Caractéristiques du Générateur Solaire  
Photovoltaïque : Courbes : Courant - Tension pour  
une température ambiante de  $25^\circ\text{C}$ .

Température  
Tir, Tcr. (°C)

Température de la salle  
(laboratoire) = 23,5°C à 24°C



G6

de la Température

- C<sub>1</sub> = Courbe de variation de la chambre froide (Congélateur) du Réfrigérateur en fonction du temps de fonctionnement du Réfrigérateur. ; T<sub>cr</sub> = température de la chambre froide
- C<sub>2</sub> = Courbe de variation de la température à l'intérieur du frigo en fonction du temps de fonctionnement.
- C<sub>3</sub> = Courbe de décharge de la batterie en fonction du temps de fonctionnement du Réfrigérateur.

CHAPITRE - VII -

REALISATION

ESSAIS ET

RESULTATS



## VII REALISATION - ESSAIS ET RESULTATS

### VII - 1 - Réalisation

Le montage du circuit est effectué sur des plaquettes d'expérimentation permettant de réaliser les diverses connexions sans utiliser une soudure. Ceci permet de manipuler à volonté les diverses composantes du circuit à effectuer.

### VII - 2 - Essais et Résultats.

L'essai de test à vide du régulateur est effectué avec un générateur à courant continu nous permettant de faire varier la tension de la source d'alimentation (tension d'entrée du régulateur). Quant au disjoncteur, l'essai à vide revient tout simplement à tester le Relais afin de déterminer ses caractéristiques permettant de fixer la zone d'hystérésis - H - (voir graphique  $G_7$ ) (page 87). Une fois le test à vide terminé, il reste à effectuer la série des essais de charge - décharge de la batterie suivant la séquence de fonctionnement du système. Les essais effectués ont permis l'élaboration des tableaux ci-dessous dont les variables sont :

- $V_p$  : tension de circuit ouvert du Générateur solaire
- V.R.C : Tension de sortie du Régulateur de charge en

- période de recharge de la batterie,
- $V_p$  (volts) : tension aux bornes de la batterie,
  - $V_{relais}$  (volts) : tension aux bornes du relais,
  - $I_p$  (A) : courant de photopiles
  - $I_{ccp}$  (A) : courant de court-circuit des photopiles,
  - $E$  : ensoleillement ( $mW/cm^2$ )

Note: Il faut noter que dans ces tableaux, certaines cases non remplies correspondent à des heures de relevés coïncidant avec des contraintes d'ordre académiques (examens, Rencontre d'un professeur, visites industrielles etc.). Il y a lieu aussi de préciser que nous avons fait notre design du Régulateur de charge pour des tensions variant de 19,2 à 24,6 volts. Ces deux valeurs limites sont tirées des caractéristiques du Générateur données par le constructeur. Dans nos expériences, n'avons jamais dépassé 20 volts comme tension d'entrée du régulateur. Ceci signifie que notre transistor de commande ne travaille jamais en pleine charge. Ce qui favorise donc sa plus grande durée de vie et par conséquent celle du générateur.

JOURNEE DU 24-04-85. Tableau 1. ESSAIS DU REGULATEUR POUR la  
RECHARGE DE LA BATTERIE :  $V_{Bat. initiale} = 11,51V$

Heures de relevées	8 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	10 <sup>h</sup>	11 <sup>h</sup>	12 <sup>h</sup>	13 <sup>h</sup>	14 <sup>h</sup>	15 <sup>h</sup>	16 <sup>h</sup>	17 <sup>h</sup>	18 <sup>h</sup>
V <sub>p</sub> (Volts)	19,08	19,86	19,18	19,51	19,21	19,41	19,71	19,36	19,12	18,53	17,10
V.R.C (Volts)	11,74	12,30	12,32	12,48	12,54	12,55	12,57	12,52	12,43	12,27	12,10
V <sub>batterie</sub> (Volts)	11,51	11,95	11,98	12,05	12,09	12,14	12,17	12,18	12,17	12,12	12,05
V <sub>relais</sub> (Volts)	2,56	2,70	2,70	2,75	2,76	2,77	2,78	2,76	2,73	2,69	2,64
Temp. Salle (°C)	24	24	24	24	24	24	24	24,5	24,5	25	25
Temp. int frigo (°C)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Temp. ch. Froids (°C)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
I <sub>p</sub> (A)	0,64	1,2	1,1	1,4	1,3	1,3	1,3	1,1	0,80	0,50	0,21
I <sub>cc</sub> (A)	1,16	2,18	2,00	2,54	2,36	2,37	2,40	2,00	1,45	0,91	0,38
E mW/cm <sup>2</sup>	28,57	47,62	76,19	85,71	95,24	119,05	76,19	95,24	74,28	47,62	19,05
T <sub>ambiante</sub> (°C)	20	22	25	25,5	26,5	28	26	26,5	27	24	22

JOURNEE DU 26-04-85

TABLEAU 2 : ESSAIS DU REGULATEUR. Pour la

RECHARGE DE LA BATTERIE :  $V_{bat\ initial} = 11,64V$

Heures de Relevés	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
$V_p$ (volts)	19,41	20,20	19,76	19,55	19,66*	19,49	19,32	19,22	18,49	16,57	15,92
$V_{R.C}$ (volts)	11,40	12,39	12,57	12,60	12,50*	12,56	12,61	12,50	12,30	12,07	12,0
$V_{batterie}$ (volts)	11,64	11,97	12,07	12,10	12,03*	12,14	12,16	12,17	12,12	12,03	12,0
$V_{relais}$ (volts)	2,49	2,70	2,77	2,79	2,50*	2,69	2,70	2,72	2,66	2,50	2,49
$I_p$ (A)	0,67	1,30	1,40	1,40	1,40*	1,30	1,10	0,93	0,56	0,16	0,10
$I_{ccp}$ (A)	1,22	2,80	2,70	2,71	2,54*	2,70	2,00	1,69	1,02	0,29	0,18
Temp. Salle (°C)	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	24	24	24,5	24,5	25
Temp. int. Frigo (°C)											
Temp. ch. Froid (°C)											
$T_{amb}$ (°C)	19	20,1	23	24,5	25,5	27	28	28	28	26	25
$E$ (mW/m²)	28,57	47,62	80,95	95,24	104,76	116,28	109,52	103,81	84,76	57,14	38,40



JOURNEE DU 27-04-85

TABLEAU 3. ESSAIS DU REGULATEUR POUR 1a

RECHARGE DE LA BATTERIE :  $V_{bat\text{ initiale}} = 11,84V$

Heures de relevées	8 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	10 <sup>h</sup>	11 <sup>h</sup>	12 <sup>h</sup>	13 <sup>h</sup>	14 <sup>h</sup>	15 <sup>h</sup>	16 <sup>h</sup>	17 <sup>h</sup>	18 <sup>h</sup>
V <sub>p</sub> (volts)	19,55	20,2	20,1	19,84	19,34	19,18					
V.R.C (Volts)	12,12	12,60	12,73	12,77	12,69	12,74					
V <sub>batterie</sub> (Volts)	11,84	12,24	12,30	12,35	12,30	12,36					
V <sub>relais</sub> (volts)	2,56	2,60	2,63	2,64	2,66	2,68					
Temp. Salle (°C)	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5					
Temp. int Frigo (°C)											
Temp. ch. Froids (°C)											
I <sub>p</sub> (A)	0,64	1,20	1,40	1,40	1,30	1,20					
I <sub>ccp</sub> (A)											
E $\mu W/cm^2$	33,33	57,14	76,19	95,24	106,67	114,28					
T <sub>ambiante</sub> (°C)	19	21	23,5	25	25,5	29					

JOURNÉE

DU 28-04-85

TABLEAU 4 : Essais du Régulateur pour la Recharge

de la Batterie : Tension initiale de la batterie = 12,24 V

Heures de relevées	8 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	10 <sup>h</sup>	11 <sup>h</sup>	12 <sup>h</sup>	13 <sup>h</sup>	14 <sup>h</sup>	15 <sup>h</sup>	16 <sup>h</sup>	17 <sup>h</sup>	18 <sup>h</sup>
V <sub>p</sub> (volts)	19,46				19,31	19,34	19,05	19,02	18,77	17,14	
V.R.C (Volts)	12,42				12,89	12,78	12,87	12,80	12,64	12,41	
V <sub>batterie</sub> (Volts)	12,24				12,54	12,51	12,56	12,55	12,50	12,38	
V <sub>relais</sub> (volts)	2,60				2,70	2,70	2,71	2,70	2,66	2,60	
Temp. Salle (°c)	23				23,5	23,5	24	24	24	24	
Temp. int Frigo (°c)											
Temp. Ch. Froids (°c)											
I <sub>p</sub> (A)	0,64				1,20	0,86	0,91	0,78	0,48	0,17	
I <sub>cc</sub> (A)											
E mW/cm <sup>2</sup>	30,48				100,00	110,48	104,76	95,24	80,95	47,62	
T <sub>ambiante</sub> (°c)	19				27	28	28	28	28,5	28	

JOURNÉE DU 29-04-85. TABLEAU 5. ESSAIS DU REGULATEUR POUR LA RECHARGE  
DE LA BATTERIE - Tension initiale de recharge: 12,23 V.

Heures de Relevées	8 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	10 <sup>h</sup>	11 <sup>h</sup>	12 <sup>h</sup>	13 <sup>h</sup>	14 <sup>h</sup>	15 <sup>h</sup>	16 <sup>h</sup>	17 <sup>h</sup>	18 <sup>h</sup>
V <sub>p</sub> (volts)	18,44	19,87	19,76	19,71	19,52		19,28				15,82
V <sub>r.c</sub> (volts)	12,42	12,89	13,03	13,08	13,09		12,96				12,44
V <sub>batterie</sub> (volts)	12,23	12,60	12,69	12,71	12,74		12,73				12,44
V <sub>relais</sub> (volts)	2,54	2,71	2,77	2,78	2,78		2,74				2,61
I <sub>p</sub> (A)	0,39	0,90	1,10	1,10	1,10		0,72				0,50
I <sub>ccp</sub> (A)	0,71	1,64	2,00	2,00	2,10		1,91				0,91
Temp. Sells. (°C)	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5		24				24
Temp. air frigo (°C)											
Temp. air ambi. (°C)											
Temp. amb. (°C)	19	21	23,5	24,5	26,5		26,5				22
E (kW/an)	19,05	37,14	55,24	59,05	104,76		104,76				0

JOURNÉE DU 01-05-85.

TABLEAU 6. ESSAIS DE CHARGE ET DECHARGE DE LA  
BATTERIE - Début de charge: 12,43 V. - Début décharge: 12,81 V

Heures de relevées	8 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	10 <sup>h</sup>	11 <sup>h</sup>	12 <sup>h</sup>	13 <sup>h</sup>	14 <sup>h</sup>	15 <sup>h</sup>	16 <sup>h</sup>	17 <sup>h</sup>	18 <sup>h</sup>
V <sub>p</sub> (volts)	19,18	19,85	20,1	19,03	19,66	19,54	19,40	19,31	18,76		
V.R.C (Volts)	12,66	13,29									
V <sub>batterie</sub> (Volts)	12,43	12,81	12,17	12,11	12,02	11,91	11,84	11,71	11,68		
V <sub>relais</sub> (Volts)	2,70	2,74	2,35	2,35	2,32	2,30	2,27	2,24	2,18		
Temp. Salle (°C)	23	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	24	24		
Temp. int frigo (°C)	-	21,0	14,0	9,0	1,0	-0,90	-0,90	-0,90	-0,80		
Temp. ch. Froids (°C)	-	26,0	18,0	12,0	12,0	11	8,0	5,0	6,0		
I <sub>f</sub> (A)	0,53	0,85	1,70	1,80	1,80	1,70	1,50	1,20	0,87		
I <sub>ccp</sub> (A)	1,20	1,70	2,9	3,10	3,10	2,90	2,50	1,80	1,10		
E mW/cm <sup>2</sup>	28,57	47,62	71,43	76,20	100,00	109,52	104,76	90,48	76,20		
T <sub>ambiante-P</sub> (°C)	20,0	21,0	23,0	24,0	25,0	26,0	26,0	26,0	25,5		



7

JOURNÉE DU 02-05-85.

TABLEAU - 7 -

RECHARGE DE LA BATTERIE.

Tension initiale de recharge: 11,98 V.

Heures de relevées	8 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	10 <sup>h</sup>	11 <sup>h</sup>	12 <sup>h</sup>	13 <sup>h</sup>	14 <sup>h</sup>	15 <sup>h</sup>	16 <sup>h</sup>	17 <sup>h</sup>	18 <sup>h</sup>
V <sub>p</sub> (volts)	19,61	19,99	19,95	19,42	19,57			19,44	18,81	17,16	15,64
V.R.C (volts)	12,36	12,66	12,77	12,85	12,90			12,85	12,69	12,44	12,31
V batterie (volts)	11,98	12,28	12,35	12,40	12,46			12,54	12,50	12,41	12,32
V relais (volts)	2,45	2,64	2,71	2,70	2,70			2,68	2,67	2,62	2,55
I <sub>p</sub> (A)	0,83	1,10	1,30	1,30	1,20			0,93	0,59	0,22	0,05
I <sub>cep</sub> (A)	1,40	2,00	2,70	2,80	3,10			1,90	1,10	0,52	0,26
Temp. cell (°C)	23	23	23	23,5	23,5			24	24	24	24
Temp. int. Finis (°C)											
Temp. ch. Froid (°C)											
T. amb. °C	21	21	24	24	25			26	26	24	22
E (mW/cm <sup>2</sup> )	38,10	47,62	66,67	76,19	100,00			87,62	66,67	45,71	0

JOURNÉE DU  
21-05-85

Tableau 9 Essais DU REGULATEUR Pour la Recharge de la  
BATTERIE: Tension initiale  $V_{B_i} = 11,71$  volts.

Heures de relevés	8 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	10 <sup>h</sup>	11 <sup>h</sup>	12 <sup>h</sup>	13 <sup>h</sup>	14 <sup>h</sup>	15 <sup>h</sup>	16 <sup>h</sup>	17 <sup>h</sup>	18 <sup>h</sup>
$V_p$ (volts)	18,45	19,39	19,16	18,76	18,41	18,38	18,57	18,07	17,74	16,69	
$V_{ac}$ (volts)	11,83	12,30	12,37	12,38	12,36	12,36	12,32	12,27	12,08	11,97	
$V_b$ (volts)	11,71	11,95	11,99	12,01	12,03	12,04	12,05	12,05	11,99	11,93	
$V_{relais}$ (volts)	2,44	2,54	2,56	2,52	2,56	2,56	2,56	2,54	2,51	2,48	
$I_p$ (A)	0,52	0,82	0,90	0,80	0,80	0,71	0,63	0,53	0,38	0,17	
$I_{recp}$ (A)	0,82	1,8	2,6	3,0	3,1	2,4	1,7	1,4	0,96	0,55	
$T^{\circ} \text{Salle } ^{\circ}C$	25,5	25,5	26	26	26	26,5	27	27,5	27,5	28	
$T_{id} ^{\circ}C$	26										
$T_{ref} ^{\circ}C$	26										
$T_{amb} ^{\circ}C$	26	28	30,5	35,5	32,5	32	34	34	33	31	
$E$ (kW/m <sup>2</sup> )	19,05	52,38	66,67	85,71	100,00	83,81	71,43	57,14	42,86	28,57	

Ciel pourrieux à partir de 10h30

①

CHAPITRE -VIII-

CONCLUSION

-

RECOMMANDATIONS

VIII-1CONCLUSION

Les applications de l'énergie solaire sont certes très nombreuses. Nous pouvons en citer quelques exemples comme :

- le séchoir solaire
- le chauffe eau solaire
- la stérilisation solaire
- la distillation solaire
- La Réfrigération solaire
- etc - -

Toutefois, certaines de ces applications comme la réfrigération solaire nécessitent pour être rentable un stockage de l'énergie solaire sous forme de froid ou sous forme d'énergie afin d'assurer une production continue de frigories. Le stockage de l'énergie solaire dans le cas qui intéresse notre système de réfrigération se fait par batterie d'accumulateurs. Mais l'adaptation d'un tel système exige l'utilisation d'un système d'interface comme les onduleurs et (ou) les régulateurs de charge - décharge de la batterie. Cette interface constitue le cerveau de l'ensemble du système dans la mesure où elle assure la commande des séquences de fonctionnement et des sécurités de tous les composants.

C'est pourquoi nous avons conçu et réalisé un montage électronique simple pour satisfaire les conditions de base

en marche et de sécurité pour notre réfrigérateur solaire photovoltaïque. C'est donc un régulateur de charge-décharge que nous avons conçu, réalisé et testé. Ses résultats sont assez satisfaisants. Les essais de charge de la batterie nous permettent aussi de voir facilement que la taille du générateur solaire photovoltaïque est petite par rapport à la capacité de la batterie avec la durée minimale de 6,18 jours de recharge pour atteindre la tension de seuil de batterie (environ 13 à 13,8 volts) pour la mise en marche du réfrigérateur. Par ailleurs nous pouvons aussi remarquer que le réfrigérateur ne peut pas démarrer sans l'appui de la batterie quelque soit l'ensoleillement ou la tension de sortie du générateur solaire photovoltaïque. Le courant généré par le panneau solaire est donc insuffisant par rapport à la demande du moteur du compresseur.

Etant donné que notre interface assure la commande des séquences de fonctionnement et des sécurités, nous pouvons dire que le seul problème qui reste à résoudre et qui s'oppose au bon fonctionnement du système de réfrigération est la taille du générateur. L'analyse de ce problème nous a conduit à une solution que nous jugeons la plus viable. C'est ainsi que nous proposons à la SINAES dans nos recommandations cette solution afin d'optimiser le fonctionnement du système et la production continue de frigories.

## VIII-2 RECOMMANDATIONS

La première chose à faire est de trouver une taille optimale du générateur solaire photovoltaïque. Nous proposons donc d'ajouter trois (3) autres branches (de deux (2) modules en série (de même type que les "Solar Modules PR 10/20/0") en parallèle avec les deux branches qui constituent le générateur actuel. Ceci permettra de réduire considérablement le temps de la batterie sous le même ensoleillement qu'avant (5,14 kWh/m<sup>2</sup> par jour d'ombre) de 6,18 jours à 9,5 heures.

Concernant le montage électronique interface que nous avons réalisé, nous demandons à ce que le relais soit bien fixé et le tout bien encapsulé dans une boîte car la sensibilité du relais est fonction de l'état de la charge de la batterie. C'est ce qui fait si la tension aux bornes de la batterie avoisine 12,5 volts, il suffit d'un choc pour déclencher le contact du relais qui connecte le réfrigérateur jusqu'à la valeur minimale de la charge de la batterie (10,8V). Il faut donc éviter de telles situations si on veut une plage de fonctionnement entre 13,1 volts et 10,8 volts.

En cas de défaut ou d'anomalie constatés,

1 - Vérifier avant tout la continuité des fusibles  $F_1$  de (7A) et  $F_2$  (5A)

2 - Vérifier le transistor de commande (élément de commande de la régulation de tension : ( $Q_1 = 2N3773$ ))

- 2-a. Vérifier la sortie du régulateur pour voir si elle est nulle (élément de commande ouvert)
- 2-b. Vérifier si la sortie du régulateur est au même potentiel que l'entrée (élément de commande en court-circuit)
3. Si les variations de la sortie du régulateur ne sont pas faibles devant les variations de la tension d'entrée, vérifier tous les transistors pour voir s'il n'y a pas un qui est bloqué.
4. Si le transistor de commande (élément de commande du régulateur de charge n'est pas monté sur un radiateur, on aura toujours échauffement de cet élément et sa durée de vie et de celle du régulateur se trouve très limitée et la stabilité thermique de tout le circuit se trouvera alors perturbée.
5. Au niveau du disjoncteur, si nous constatons que le relais vibre, c'est parce que le potentiomètre de réglage de la tension aux bornes de la bobine n'est pas correctement ajusté. (le potentiomètre  $R_p$  de  $1k\Omega$ )
6. Si nous voulons changer les seuils de mise en marche du réfrigérant, il suffit d'ajuster le potentiomètre  $R_p$  de  $1k\Omega$  en série avec la bobine du relais jusqu'à obtenir une tension d'excitation voulue aux bornes de la bobine.
7. La durée de vie du disjoncteur est principalement liée à celle du relais qui ne dépend que de la fréquence de l'effet sonnette (vibrations rapide des lames). La solution de 7 est en 5.

ANNEXES





Annexe A<sub>0</sub>

Data Sheet

Solar Modules PQ 10/20/0



Electrical Data

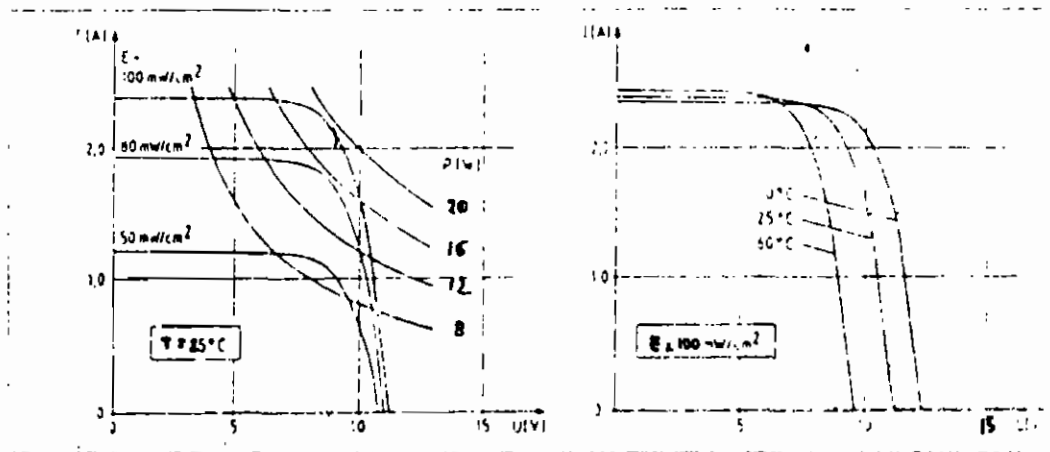
Electrical data as a function of the solar cells temperature

Characteristic values (4M15 - 100 mW/cm<sup>2</sup>)

Solar cells temperature

	0 °C	25 °C	60 °C
Open-circuit voltage (V)	12.3	11.2	9.6
Short circuit current (A)	2.37	2.41	2.4
Current at maximum power (A)	2.18	2.20	2.2
Max. Power (W)	21.3	19.2	16.2

Current/Voltage Characteristic



Voltage, current and power data as a function of temperature

Voltage	increases decreases	by 0.4 %/°C	below above	25
Current	increases decreases	by 0.06 %/°C	above below	25
Power	increases decreases	by 0.44 %/°C	below above	25



## Annexe. I : (A<sub>I</sub>)

### AI-DIMENSIONNEMENT DU RÉGULATEUR.

Après l'obtention de la configuration du circuit d'un régulateur, le travail de conception repose sur la détermination des données qui correspondent à la configuration du circuit obtenu et à calculer les paramètres -

Dans le cas qui nous intéresse, notre générateur est constitué de deux modules "Solar Modules PQ 10/20/0" en série et de deux autres modules du même type en parallèle. L'examen des caractéristiques données par le constructeur permet de choisir:

$V_{in}$  (tension d'entrée du Régulateur)

$$V_{in} (\text{min}) = 2 \times 9,6 \text{ volts} = 19,2 \text{ volts à } 60^\circ\text{C},$$

$$V_{in} (\text{max}) = 2 \times 12,3 \text{ volts} = 24,6 \text{ volts à } 0^\circ\text{C},$$

sous un ensoleillement de  $100 \text{ mW/cm}^2$ .

La tension de sortie du Régulateur correspond à la charge limite maximale de la batterie de 12 volts et une surcharge admissible de 15%. Donc on a.

$$V_o = 12 \times 1,15 = 13,8 \text{ volts.}$$

La capacité de la batterie est de 105 Ah à C/100. Cela signifie que l'intensité maximale admissible pour la recharge est de  $105 \div 10 = 10,5$  soit  $1/10$  de la capacité.

Dans nos calculs, nous ne prendrons pas ( $I_o$ ) le courant de charge égale à 10,5 A mais 7,5 A. Ceci dans le but de pouvoir l'adapter à la batterie de 75 Ah à C/10

qui est l'équivalent de votre batterie de 105 Ah à C/100

Donc  $I_o = 7,5 A$ .

Avec votre Laumau  $I_o = 4,4 A$  (max) à  $60^\circ C$

AI - 1°) Choix de l'Element de Commande  $Q_1$

$$V_{CE_1}(\min) = V_{in}(\min) - V_o$$

$$V_{CE_1}(\min) = 19,2 - 13,8 = 5,4 \text{ volts..}$$

$$V_{CE_1}(\max) = V_{in}(\max) - V_o$$

$$V_{CE_1}(\max) = 24,6 - 13,8 = 10,8 \text{ volts.}$$

$$I_{E_1}(\max) = I_o = 7,5 A.$$

$$P_{C_1}(\max) = [V_{CE_1}(\max)] I_{E_1}$$

$$P_{C_1}(\max) = 10,8 \times 7,5 = 81 \text{ Watts.}$$

$$\underline{P_{C_1, \max} = 81 \text{ Watts.} \quad V_{CE_1}(\max) = 10,8, I_{E_1} = 7,5 A}$$

Le choix de  $Q_1$  revient donc à trouver un transistor qui puisse dissiper les 81 watts et supporter 7,5 A. - Les spécifications du 2N3773 montre qu'il peut dissiper 150 watts ; 16 A. quand il est monté sur un radiateur. Son gain minimum

$h_{FE(\min)} = 5$ . Par conséquent

$$I_{B_1} \geq \frac{I_{E_1}}{h_{FE_1}(\min) + 1}$$

$$I_{B_1} = \frac{7,5}{5 + 1} = 1,25 A$$

AI-2°) Choix du Transistor  $Q_2$

$Q_2$  est monté en Darlington avec  $Q_1$ .

$$V_{CE_2}(\max) = V_{CE_1} - V_{BE_1} \approx V_{CE_1} = 10,8 \text{ volts.}$$

$$I_{E_2} \approx I_{B_1} = 1,25 \text{ A}$$

$$P_{C_2} (\text{max}) = [V_{CE_2} (\text{max})] I_{E_2}$$

$$P_{C_2} (\text{max}) = 10,8 \times 1,25 = 13,5 \text{ Watts.}$$

Le choix de  $Q_2$  repose sur la puissance à dissiper mais aussi sur le gain élevé qu'il doit avoir.  $Q_2$  amplifie le courant de base de  $Q_1$  (commande). Les spécifications du 2N4921 NPN:  $P_D = 30 \text{ watts}$ ,  $h_{FE}(\text{min}) = 30$  un point qu'il est satisfaisant.

On a donc

$$I_{B_2} \leq \frac{I_{E_1}}{[h_{FE_1}(\text{min})+1][h_{FE_2}(\text{min})+1]} = \frac{7,5}{(5+1)(30+1)} \approx 0,0403$$

$$I_{B_2} \approx 0,0403 \text{ A} = 40,3 \text{ mA.}$$

### AI - 3 - Dimensionnement du Pré-régulateur

- Choix du Transistor  $Q_4$

$$I_{C_4} = I_{E_4} - I_{B_4} = I_{B_2} + I_{C_3}$$

$$I_{C_3} \gg I_{B_2}$$

$$\Rightarrow I_{C_4} \approx 2 I_{B_2} = 80,6 \text{ mA.}$$

$$I_{C_4} = h_{FE_4} \times I_{B_4}$$

$$I_{E_4} = I_{C_4} + I_{B_4} = I_{C_4} (1 + 1/h_{FE_4})$$

A cause des variations de tension à l'entrée du régulateur, le pré-régulateur doit fonctionner sur une large gamme de température. Alors le choix de  $Q_4$  repose donc sur cette condition de fonctionnement.  $Q_4$  doit alors être un transistor au silicium de type PNP.

On choisit donc le 2N2905 PNP avec son gain minimum

$$h_{FE_{min}} = 50, V_{BE} = 1,3 \text{ volts}$$

$$\Rightarrow I_{E_4} = I_{C_4} (1 + 1/h_{FE_4})$$

$$I_{E_4} = 80,6 (1 + 1/50) = 82,26$$

$$I_{E_4} = 82,26 \text{ mA}$$

Preions pour  $D_2$  la diode Zener (BZX46C3V9).  
dont les spécifications données par le catalogue des  
Semi-conducteurs sont :

$$V_Z = 3,9 \text{ volts}, R_Z = 23 \Omega, \text{ coefficient de} \\ \text{température} = +0,07\%, I_{ZT} = 20 \text{ mA}$$

On calcule  $R_4$  et  $R_5$

$$R_4 = \frac{V_{Z_2} - V_{BE_4}}{I_{E_4}} = \frac{3,9 - 1,3}{82,26 \cdot 10^{-3}} = 31,6 \Omega$$

On prendra  $R_4 = 115 \Omega$  (valeur beaucoup plus  
élevée que  $31,6 \Omega$ ) afin de diminuer le courant  $I_{Z_2}$  et  
avoir une bonne stabilité thermique dans le circuit.

$$R_5 = \frac{V_{in(\min)} - V_{Z_2}}{I_{Z_2} + I_{B_4}} = \frac{19,2 - 3,9}{10^{-3} (15 + \frac{80,6}{50})} = 921 \Omega$$

$I_{Z_2} = 15 \text{ mA}$  au lieu de prendre  $I_{ZT} = 20 \text{ mA}$ . On  
réduit l'échauffement de la diode  $D_2$ .

On prendra toujours  $R_5 = 1200 \Omega$  au lieu de  $921$

AI. 4 L'Élément de référence, l'Élément Échantillon  
et l'Élément de comparaison sont déterminés après l'état

de commande et le pré-régulateur. La tension d'avalanche de la diode Zener  $D_1$  n'est pas critique tant qu'elle reste constante pour une utilisation normale du régulateur. L'élément de référence doit donc avoir une résistance faible et un coefficient de température légèrement positif. On prendra une diode de Zener de 7,5 volts avec un  $\Delta V_Z / \Delta T = +0,09\%$ . Le courant qui traverse la diode  $D_1$  doit permettre d'entretenir le phénomène d'avalanche.

Soit  $I_{Z_1} = 10 \text{ mA}$ .

Afin d'avoir un équilibre thermique entre la diode  $D_1$  et le transistor  $Q_3$ , on choisit  $Q_3$ : 2N3053 NPN avec son  $V_{BE} = 1,7$  volts.

Il vient alors pour  $R_3$

$$R_3 = \frac{V_0 - V_{Z_1}}{I_{Z_1}} = \frac{13,8 - 7,5}{10^2} = 630 \Omega$$

On prendra  $R_3 = 680 \Omega$

Pour les éléments du Diviseur (Echantillonneur), si on prend  $R_p$  = potentiomètre de  $250 \Omega$  et pour le courant qui circule sur  $R_1$ :  $I_{R_1} = 30 \text{ mA}$ , on obtient

$$\begin{aligned} \text{Pour } R_1 &\geq \frac{V_0 - V_{BE_3} - V_{Z_1}}{I_{R_1}} \\ &\Rightarrow \frac{13,8 - 1,7 - 7,5}{30 \cdot 10^3} = 153 \Omega \end{aligned}$$

$$R_1 = 153 \Omega$$

$$R_2 + R_p = \frac{V_{BE_3} + V_{Z_1}}{I_{R_1}}$$

$$R_2 + R_p = \frac{1,7 + 7,5}{30 \cdot 10^{-3}} = 307$$

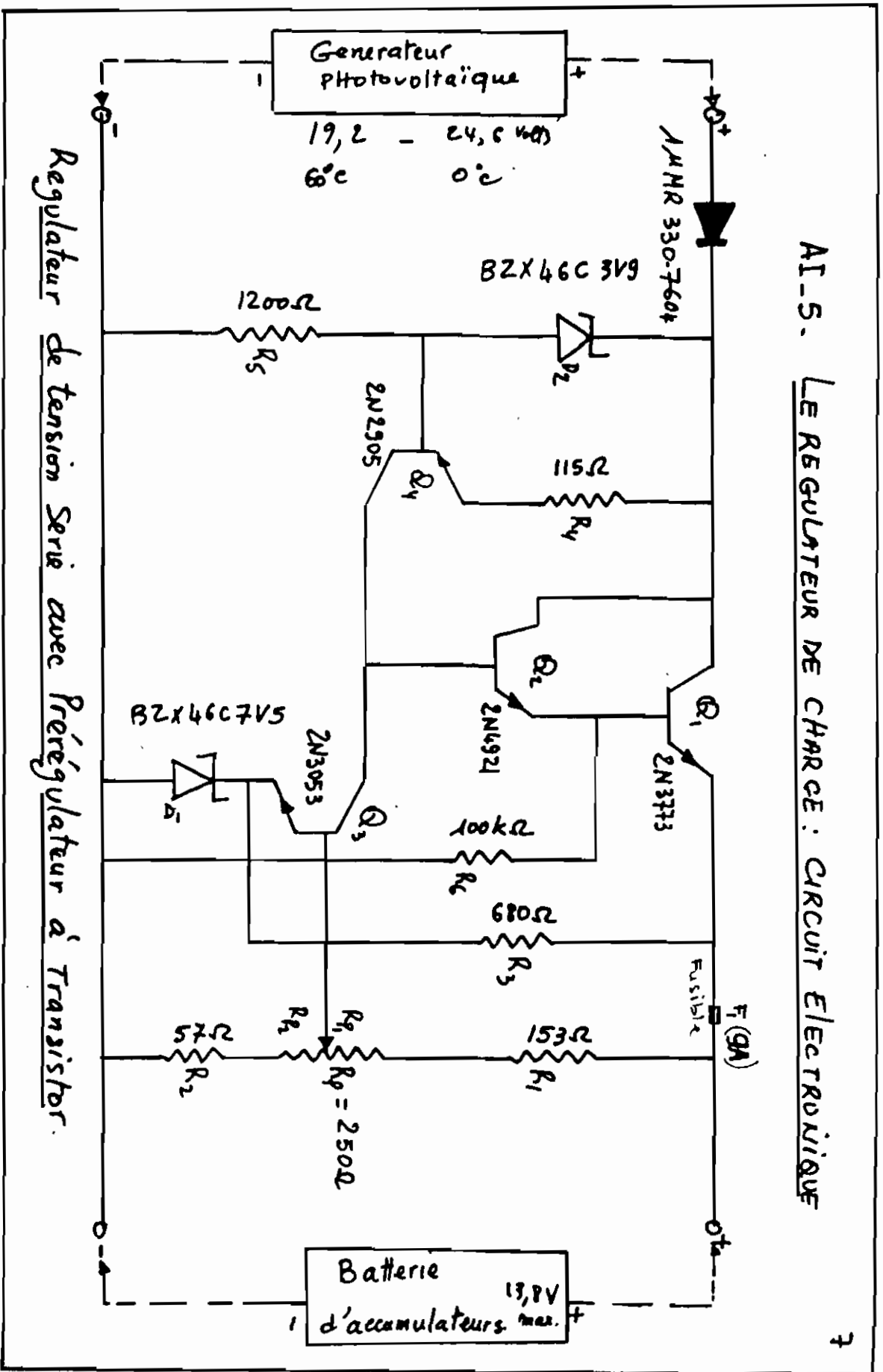
$$R_p = 250 \Omega \implies R_2 = 57 \Omega$$

Au niveau du montage DARLINGTON, on a une résistance  $R_6 = 100 \text{ k}\Omega$ .  $R_6$  est prise élevée pour éliminer les courants de fuite. Elle relie l'émetteur de  $Q_2$  à la masse.

Note: A l'entrée du régulateur, nous avons une diode anti-retour montée en série avec le régulateur. Elle protège la batterie contre une décharge éventuelle sur le panneau photovoltaïque en période d'obscurité ( $I_p = 0$ ). Elle conduit donc dans un seul sens.

Il faut noter qu'elle crée une chute de tension de l'ordre de 0,7 volt que nous avons négligé devant la tension de sortie du panneau en période d'ensoleillement.

AI-5. LE REGULATEUR DE CHARGE : CIRCUIT ELECTRONIQUE



Regulateur de tension Serie avec Préregulateur à Transistor.



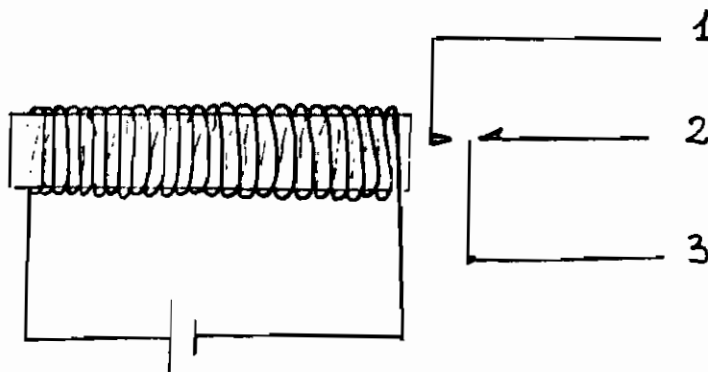
## Annexe II (A II)

### DIMENSIONNEMENT DU DISJONCTEUR

#### A II - 1. Etude des Caractéristiques du Relais

Un relais est un interrupteur automatique commandé à distance. Il est constitué d'un petit électro-aimant à un seul noyau en fer doux, dont l'armature, dans ses déplacements, peut ouvrir ou fermer un plusieurs circuits électriques. Il a l'avantage de fonctionner avec un courant très faible et de pouvoir alimenter en circuit local, à l'aide d'une source secondaire, des appareils nécessitant une grande intensité.

#### Représentation schématique d'un relais



2 - 3 : Circuit établi au repos

1 - 3 : Circuit ouvert au repos.

2 - 3 ouvert et 1 - 3 établi : Travail.

Le relais que nous avons utilisé dans notre montage est de type : Potter & Brumfield : 12 V DC , 300W -  
 Son étude expérimentale a donné les résultats du tableau ci-dessous

### TESTS du Relais. ( $I_{excitation} = 40mA$ )

charge.			Décharge.		
$V_s$ (V)	$V_R$ (V)	Etat	$V_s$ (V)	$V_R$ (V)	Etat
0	0	0	2,67	2,66	1
1,05	1,05	0	2,58	2,57	1
1,61	1,61	0	2,36	2,35	1
2,35	2,35	0	2,15	2,15	1
2,62	2,61	0	2,08	2,08	1
2,84	2,83	1	1,93	1,93	0

Ces mesures constituent les mesures de test du relais à vide

$V_s$  = tension de la source d'alimentation (volt)

$V_R$  = tension aux bornes de la bobine du relais (volt)

Etat: 0  $\equiv$  Interrupteur ouvert : pas d'attraction

: 1  $\equiv$  Interrupteur fermé : attraction

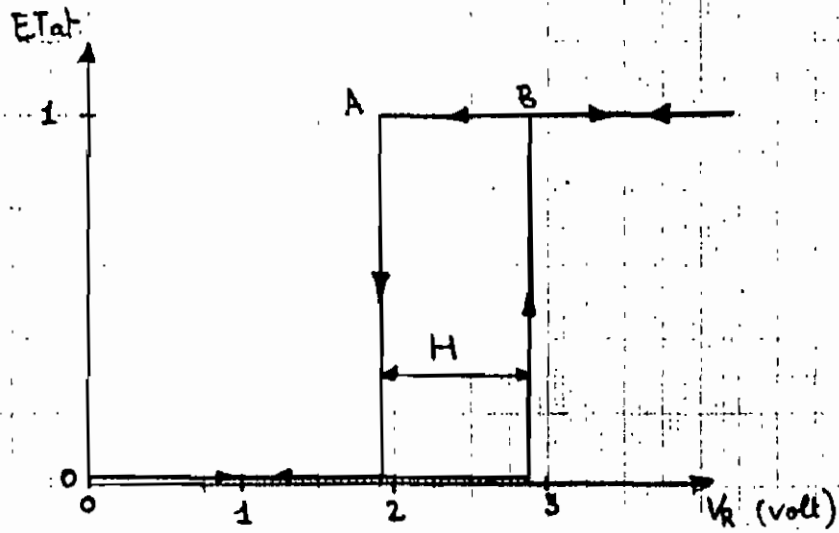
Ces valeurs du tableau nous permettront de tracer les courbes caractéristiques du relais :

Etat =  $f(V_R)$  - Voir graphique  $G_4$

L'examen des valeurs du tableau ci-dessus montre que :

- le réfrigérateur est connecté si  $V_R = 2,83$  volts

- le réfrigérateur est déconnecté si  $V_R = 1,93$  volt



G<sub>1</sub> : Courbes caractéristiques du relais faisant ressortir l'hystérésis ( $H = V_{B_R} - V_{A_R}$ ) entre les deux seuils de basculement.

B : circuit fermé. = Réfrigérateur en marche

A - circuit ouvert. = Réfrigérateur arrêté.

## A II - 2 DISIGN DU DISJONCTEUR

Le transistor  $Q_7$  est le transistor de commande du relais. Il est aussi la sortie des étages d'amplification.

Il reçoit les sorties amplifiées des transistors  $Q_5$  et  $Q_6$ .

Il aura donc à fonctionner sous une gamme relativement large de température. Le choix d'un transistor au silicium de type PNP peut satisfaire ces exigences de fonctionnement.

Soit  $Q_7 = 2N4918$  dont le gain minimum  $h_{FE_{min}}$  est de 30 et pouvant dissiper une puissance de 30 watts à  $25^\circ\text{C}$ .

Étant donné que  $Q_7$  commande le relais, son courant émetteur peut être réduit au courant d'excitation ( $I_{ex}$ ) du relais -  $I_{ex} = 40\text{mA} = I_{E_7}$

Par ailleurs on a :

$$V_{CC} = V_{L_{max}} = V_{RE} + R_p I_{ex} + V_{CE_7} + R_{13} I_{Q_7}$$

$$R_p = R_{E_7} = \text{résistance à l'émetteur de } Q_7 \text{ (réglable)}$$

Faisons l'approximation  $I_{E_7} = I_{C_7}$  et  $V_{RE} = \frac{V_{CC}}{10}$   
alors,

$$V_{RE} = \frac{13,8}{10} = 1,38 \Rightarrow R_E = \frac{V_{RE}}{I_E} = \frac{1,38}{0,040}$$

$$R_E = R_{p_u} = \frac{1,38}{0,040} = 34,5 \Omega$$

$$V_{RE} = 1,38 \text{ volt} \quad R_{p_u} = 34,5 \Omega \text{ sur les } 1\text{k}\Omega$$

Les tests du relais donnent  $V_{RF}$  (tension de fermeture du relais) égale à 2,83 volts.

d'où

$$R_{13} = \frac{V_{cc} - V_{RF} - R_{p4} I_{B5} - V_{CE7}}{I_{C7}}$$

d'après les approximations citées ci-dessous,  $V_{CE7} \approx V_{CE}$ .

Approximations (Notes de cours.: A. Wolski. EPT)

1 -  $V_{CE} \approx V_{RE}$

2 -  $V_{cc} = 3 \text{ à } 5 \times V_{CE}$

3 -  $I_{R7} = 10 \text{ à } 100 I_{B5}$  (voir schéma théorique du disjoncteur pour  $R7$  et  $Q5$ ).

Approche Wolski

1 -  $V_{RE} \approx V_{cc}/10$        $I_C \approx I_E$

2 -  $R_E \approx V_E/I_C$

3 -  $V_B = V_{BE} + V_E$

4 -  $R_C = \frac{V_{cc} - V_{CE} - V_E}{I_C}$

5 -  $I_{R1} \approx I_{R2} = 10 \text{ à } 100 I_B$

Nous utiliserons ces approximations tout au long du choix de nos composants du disjoncteur. Il vient par conséquent

pour  $R_{13}$ :

$$R_{13} = \frac{13,8 - 2,83 - 1,38 - 1,38}{0,04} = 205,25 \Omega$$

Nous prendrons pour :  $R_{13} = 300 \Omega$

$$\text{On a : } I_{B_2} = I_{E_2} / (1 + h_{FE_2})$$

$$I_{B_2} = \frac{40}{1 + 30} = 1,29 \text{ mA}$$

Nous avons aussi :

$$V_{CC} = R_{12} \cdot I_{C_2} + V_{BC_2} + R_{13} I_{C_2},$$

$$V_{CC} = R_{12} I_{C_6} + V_{CE} + R_{11} I_{E_6},$$

$$\text{avec toujours } V_{R_{E_6}} \approx V_{R_{11}} \approx \frac{V_{CC}}{10} = \frac{13,8 \text{ V}}{10} = 1,38 \text{ V}$$

Fixons nous la valeur de  $R_{E_6} = R_{11} = 100 \Omega$  par exemple et calculons  $R_{12}$ .

$$R_{11} = 100 \Omega \quad V_{R_{11}} = 1,38 \text{ V} \Rightarrow I_{E_6} = \frac{1,38}{100}$$

$$I_{E_6} = 13,8 \text{ mA} \approx I_{C_6}$$

$$R_{12} = \frac{V_{CC} - V_{CE_6} - R_{11} I_{E_6}}{I_{C_6}} = \frac{13,8 - 1,38 - 1,38}{13,8 \cdot 10^{-3}} = 800$$

Nous prendrons pour  $R_{12}$  :  $1000 \Omega$ .

La puissance à dissiper au niveau du transistor  $Q_6$ .

$$P_D = V_{CE} \cdot I_C = 1,38 \times 13,8 \cdot 10^{-3} = 19 \text{ mW}$$

Nous disposons d'un transistor de type 2N4921 NPN qui dissipe jusqu'à 30 Watts. Son gain min est de 30

$$\Rightarrow I_{B_6} = I_{E_6} / (1 + h_{FE_6}) = \frac{13,8 \text{ mA}}{1 + 30} = 0,445 \text{ mA}$$

$$I_{B_6} = 0,445 \text{ mA}$$

Le choix de l'élément de comparaison  $Q_5$  et de l'élément de référence  $D_3$  est fonction du critère de stabilité. En effet, la tension d'avalanche de  $D_3$  n'est pas critique tant qu'elle reste constante pour un fonctionnement normal.  $D_3$  doit avoir un coefficient de température légèrement positif et une faible résistance. Soit donc :

$D_3$  : BZX46 4V7 dont la tension de Zener est de 4,7 volts et son courant  $I_{Z_f} = 20 \text{ mA}$ .

Il faut dire aussi que plus le courant inverse de  $D_3$  est faible, plus la tension de référence se stabilise. On prendra  $I_{Z_3} = 15 \text{ mA}$ .

alors

$$R_9 = \frac{V_{cc} - V_{Z_3}}{I_{Z_3}} = \frac{13,8 - 4,7}{15 \text{ mA}} = 607 \Omega$$

Prendre  $R_9 = 680 \Omega$ .

$D_3$  détermine  $Q_5$  dans la mesure où son coefficient de température (+0,03% par °C) doit équilibrer  $\frac{\Delta V_{BE_5}}{\Delta T}$ .

Soit donc  $Q_5$  : le 2N3053 avec  $h_{FE_{min}} = 50$

$$I_{E_5} = I_{Z_3} = 15 \text{ mA}$$

$$I_{B_5} = I_{E_5} / (1 + h_{FE_{min}}) = \frac{15}{1 + 50} = 0,294 \text{ mA}$$

$$I_{C_5} = I_{E_5} - I_{B_5} = 15 - 0,294 = 14,7 \text{ mA} \approx 15 \text{ mA}$$

Si  $V_{cc} = 3 \text{ à } 5 V_{CE_5}$  alors  $V_{CE_5} \approx \frac{V_{cc}}{4} = \frac{13,8}{4} V$

$$V_{CE5} = \frac{13,8}{4} = 3,45 \text{ Volts}$$

$$R_{10} = \frac{V_{CC} - V_{CE5} - V_{Z3}}{I_{C5}} = \frac{13,8 - 3,45 - 4,7}{17,7 \mu\text{A}} = 384 \Omega$$

Prendre  $R_{10} = 470 \Omega$

Faisons l'approximation  $I_{R7} \approx 100 I_{B5}$

$$I_{R7} \approx 100 I_{B5} = 100 \times 0,294 \mu\text{A} = 29,4 \mu\text{A}$$

Pour la valeur de  $R7$ , nous devons avoir :

$$R7 \geq \frac{V_{CC} - V_{BE5} - V_{Z3}}{I_{R7}} = \frac{13,8 - 0,7 - 4,7}{29,4 \mu\text{A}} = 286 \Omega$$

$$R7 \geq 286 \Omega$$

Il faut noter que plus les courants à l'intérieur du circuit sont faibles, plus grande est la stabilité thermique de notre circuit. C'est ce qui justifie le fait qu'à chaque fois que nous trouvons une résistance donnée, nous choisissons une valeur supérieure à celle trouvée par calcul. Le calcul des résistances nous permet seulement de connaître l'ordre grandeur de la résistance à choisir.

Soit alors  $R7 = 1000 \Omega$

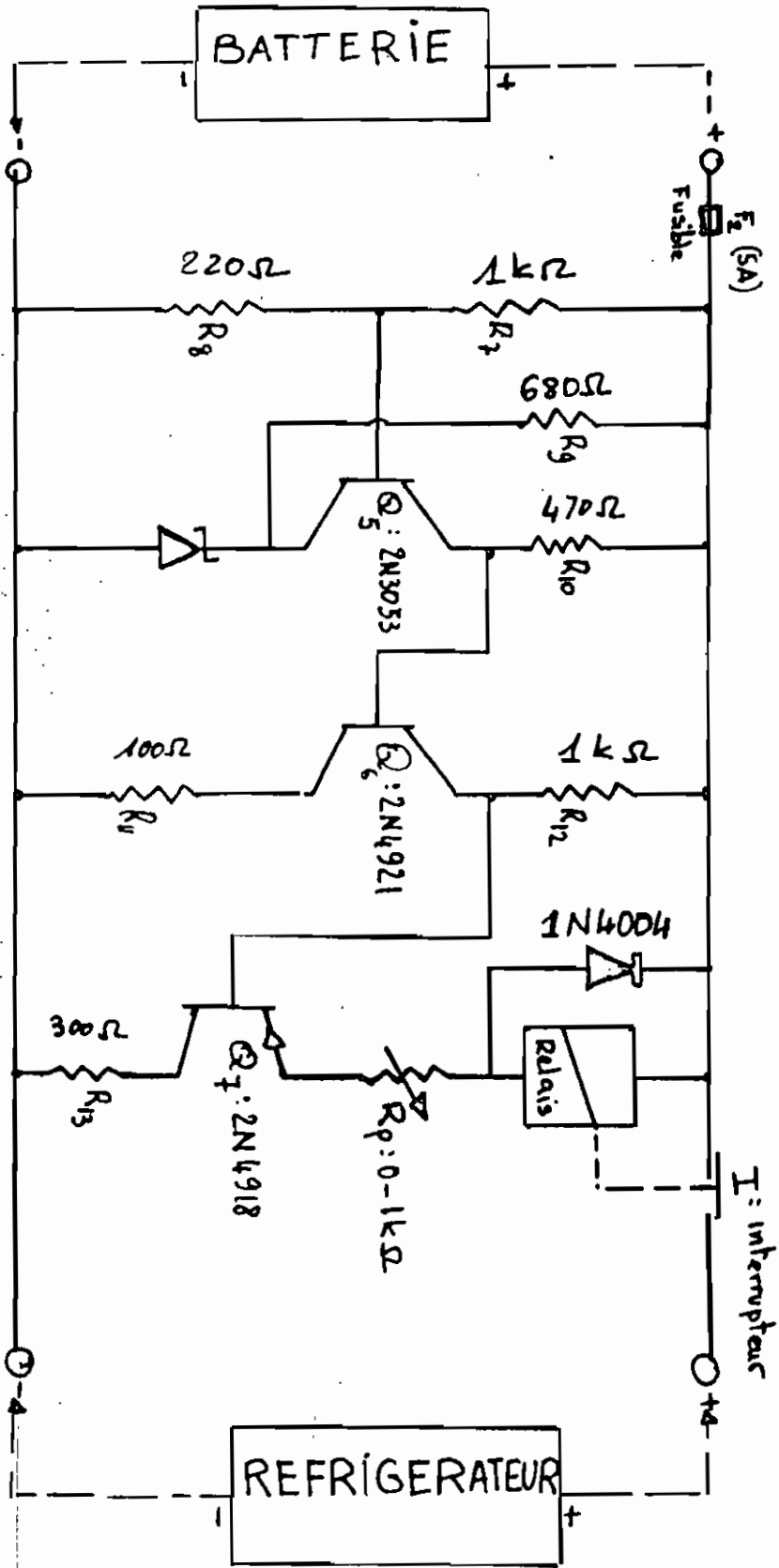
$$R8 = \frac{V_{BE5} + V_{Z3}}{I_{R7} - I_{B5}} = \frac{0,7 + 4,7}{(29,4 - 0,294) \mu\text{A}} = 186 \Omega$$

Prendre  $R8 = 220 \Omega$

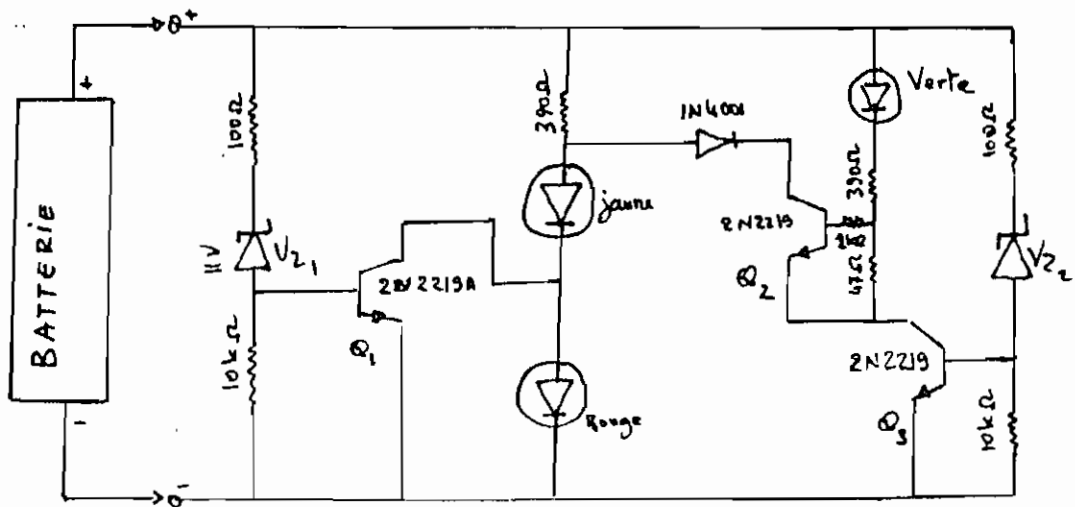


# DISJONCTEUR : CIRCUIT ELECTRONIQUE

REGULATEUR DE DECHARGE - 13,8 - 10,8 VOLTS.



MB. SARR.  
1977

Annexe A<sub>III</sub>MONITEUR DE BATTERIEA<sub>III</sub>-1- schéma ThéoriqueA<sub>III</sub>-2- Principe de Fonctionnement du moniteur de Batterie

- 1- Si la tension de la batterie  $V_b$  est supérieure à 12,7V ( $V_b > 12,7$  volts), le transistor  $Q_3$  conduit ( $Q_3$  est "on"). Nous avons aussi le transistor  $Q_2$  qui conduit mais fait un shunt sur la led jaune. Donc la led verte est "on". Elle est donc allumée.
- 2- Si la tension de la batterie se trouve entre les valeurs 10,0 volts et 12,29 volts ( $10,0 \leq V_b \leq 12,29$ );

Les transistors  $Q_2$  et  $Q_3$  sont "off" et ne conduisent donc pas. La diode Zener ( $V_{z1}$ ) de 11 volts conduit et fait conduire le transistor  $Q_1$ .  $Q_1$  conduit mais fait un shunt sur la led Rouge. Donc nous avons la led jaune est "on". Elle est alors allumée. Dans cette zone de tensions (10,0 volts à 12,29 volts), la led verte ne s'allume pas.

3. Si maintenant la décharge de la batterie se poursuit jusqu'à ce qu'on ait  $V_{bat} < 9$  volts, tous les transistors sont en position "off". Ils ne conduisent pas. La diode 1N4001 arrête le courant qui venait de  $Q_2$ . Le courant ne passe maintenant qu'à travers la résistance de 330 $\Omega$ , la led jaune et la led rouge. On a donc la led jaune et la led rouge qui sont allumées.

## Annexe IV (A-IV)

### Vérification de la taille de la Batterie et du Générateur Solaire Photovoltaïque

La détermination de la taille de la batterie d'accumulateurs ou du Générateur solaire photovoltaïque nécessite la connaissance de la demande énergétique et de l'énergie fournie en moyenne pendant une journée.

Pour ce faire, nous utiliserons les données d'ensoleillement de 1967 à 1982 fournies dans le document : "Potentiel Solaire au Sénégal". Ces études ont été réalisées en 1983 par deux ingénieurs du CERER : Bocar Sy et André GAUTHIER.

Leurs études portaient sur l'énergie solaire reçue sur un plan horizontal. Il est donc nécessaire de rapporter les résultats sur le plan d'inclinaison de nos modules :  $14,7^\circ$ .

On sait que :

$$\text{Global } I = \text{Direct } I + \text{Diffus } I, \quad (A-1)$$

$I$  = inclinaison des modules.

$$\text{Direct } I = \text{Direct } H (\cos h \sin I \cos a_s + \sin h \cos I), \quad (A-2)$$

$$\text{Direct } H = \frac{\text{Global } H - \text{Diffus } H}{\sin h}, \quad (A-3)$$

avec  $h =$  hauteur du soleil ( $^{\circ}$ ),

$$\sin h = \sin \phi \sin \delta_s + \cos \phi \cos \delta_s \cos \omega,$$

$\phi =$  latitude du lieu,

$\delta_s =$  déclinaison,

$\omega =$  angle horaire ( $^{\circ}$ )

$a_s =$  azimut solaire

$$\sin a_s = \frac{\cos \delta_s \sin \omega}{\cos h}, \quad (A-4)$$

$$\text{Diffus}_I = \left( \frac{1 + \cos I}{2} \right) \text{Diffus}_H + \left( \frac{1 - \cos I}{2} \right) a' \cdot \text{Global}_H, \quad (A-5)$$

$$a' = \text{albédo du sol} = 0,2$$

Etant donné que l'angle d'inclinaison ( $I$ ) de nos modules est de  $14,7^{\circ}$ , nous avons calculé les valeurs des irradiances sur le plan incliné de  $14,7^{\circ}$  et à 12 heures et 30 mn, heure à laquelle l'ensoleillement au Sénégal atteint son maximum.

Ces deux figures sont tirées du livre "Principles of Solar Engineering" page 47.

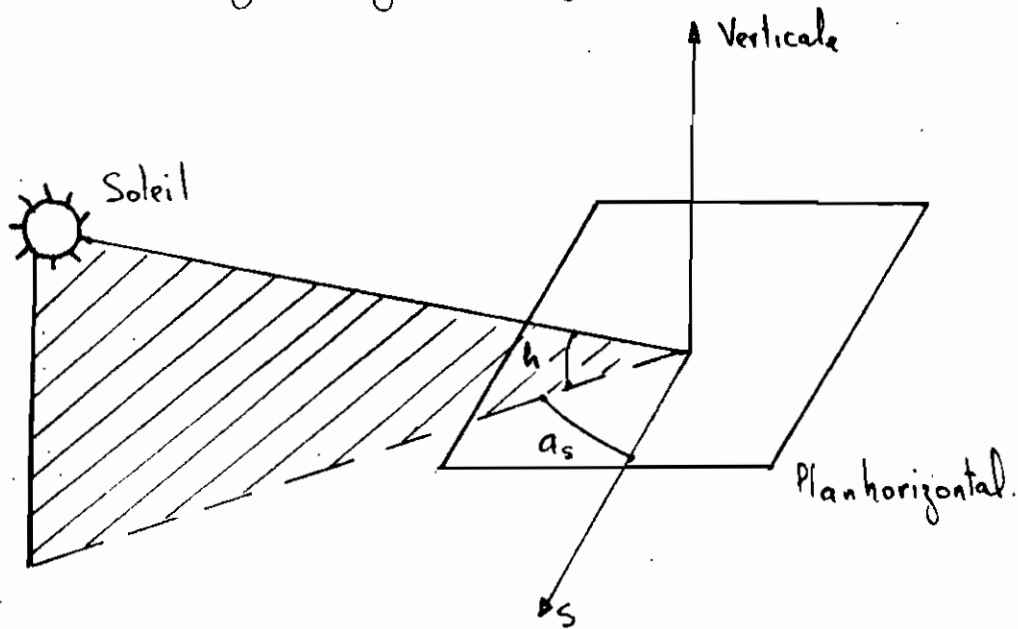


fig. 1 : Diagramme montrant l'altitude  $h$  du soleil et azimuth solaire  $a_s$ .

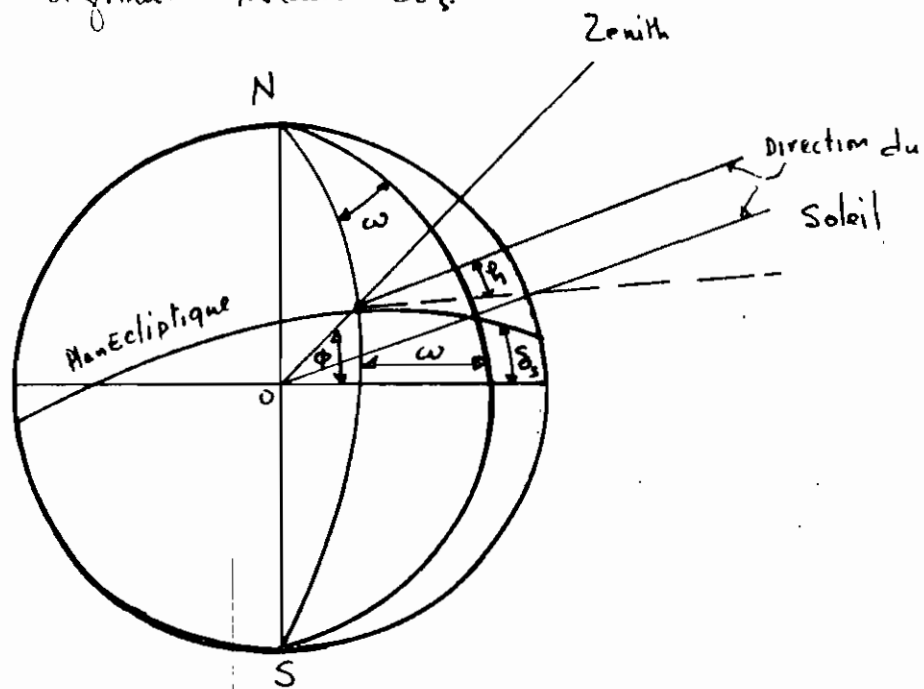


fig. 2. Définition de l'angle horaire  $\omega$ , la déclinaison du Soleil  $\delta_s$  et la latitude du site  $\phi$ .

nous nous sommes proposés de faire nos calculs pour le jour milieu du mois. Ceci dans le but de pouvoir utiliser le tableau des déclinaisons solaires données en fonction du mois et du jour considérés.

Pour l'angle horaire, nous avons  $12^h 30'$  qui correspond à un angle de  $(-7,5^\circ)$ . On peut donc établir le tableau des ensoleillements moyens journaliers de 1967 à 1982. Nous considérons que ces valeurs restent applicables pour 1986-85.

DAKAR	Valeurs tirées de l'étude Faites par le ing. du CERER en 1983			Valeurs calculées			
SENEGAL	Global H (kwh/m <sup>2</sup> )	Diffus H (kwh/m <sup>2</sup> )	Durée d'insolation (h. dec)	Direct H (kwh/m <sup>2</sup> )	Diffus I 14,7° (kwh/m <sup>2</sup> )	Direct I 14,7° (kwh/m <sup>2</sup> )	Global I 14,7° (kwh/m <sup>2</sup> )
Janvier	5,08	1,40	8,49	4,60	1,59	4,25	5,64
Fevrier	6,04	1,66	9,14	5,09	1,65	4,83	6,48
Mars	6,77	1,82	9,32	5,24	1,81	5,18	6,99
Avril	6,95	2,09	9,90	4,92	2,08	4,82	6,88
Mai	6,86	2,44	9,58	4,46	2,42	4,54	6,76
Juin	6,37	2,57	8,75	3,88	2,54	3,83	6,37
Juillet	5,60	2,64	7,63	3,01	2,62	2,96	5,58
Août	5,38	2,65	7,52	2,73	2,62	2,64	5,26
Septembre	5,46	2,30	7,62	3,24	2,28	3,20	5,48
Octobre	5,67	1,96	8,72	4,04	1,95	2,97	5,92
Novembre	5,15	1,63	8,44	4,20	1,62	3,97	5,59
Décembre	4,66	1,63	7,57	3,86	1,62	3,92	5,14

H = plan horizontal, I = plan incliné des modules (I = 14,7°)

De ce tableau, nous pouvons remarquer le mois de décembre est le moins ensoleillé avec une moyenne journalière de  $5,14 \text{ kWh/m}^2$  sous  $14,7^\circ \text{ Sud}$ . Nous faisons l'estimation de l'énergie fournie sur la base de ce minimum énergétique.

Donc l'énergie fournie par le panneau photovoltaïque est :

$$K \bar{W}_s = k I_c \cdot E, \quad (2-6)$$

avec -  $I_c$  = courant de charge d'une batterie sous un ensoleillement de  $1 \text{ kW/m}^2$ . Pour "Solar Module PQ 10/20/0",  $I_c = 2,20 \text{ A}$  par module : ce qui correspond à  $4,40 \text{ A}$  pour le panneau (2 modules en série et 2 modules en parallèle).

-  $E = 5,14 \text{ kWh/m}^2 \equiv 5,14$  heures d'ensoleillement équivalent à  $1 \text{ kW/m}^2$ ,

-  $k = 0,75$  = coefficient de correction global variant entre 0,7 et 0,8 -  $k$  tient compte de :

- Précision météorologique  $\pm 10\%$ ,

- la perte de rendement des modules dans le temps

lié au vieillissement et à la poussière,

- la dispersion des caractéristiques des

modules.

Pour  $k$  voir page 69. l'électricité solaire photovoltaïque - Principes - Applications -



$$K \bar{W}_s = K I_c \cdot E$$

$$K \bar{W}_s \text{ (Ah/jour)} = 0,75 \times 4,4 \text{ A} \times 5,14 \text{ h} = 17 \text{ Ah/jour}$$

Le panneau solaire dont nous disposons donc fournit sous un ensoleillement (sur  $14,7^\circ$ ) de  $5,14 \text{ kWh/m}^2$ , une quantité d'énergie égale à  $17 \text{ Ah/jour}$ .

Nous pouvons maintenant estimer la demande ou consommation énergétique journalière de notre utilisation.

L'utilisation est un réfrigérateur de 12 volts et 4,5 A. avec un facteur de marche de 40% (les 40% du temps sont déterminés par une série de prises de temps de fonctionnement sur 24 heures d'un réfrigérateur domestique).

La consommation s'élève donc à :

$$\bar{W}_u = A \cdot V \cdot T \quad (8-7)$$

$$\bar{W}_u = 4,5 \text{ A} \times 12 \text{ V} \times 0,40 \times 24 \text{ heures} = 518,4 \text{ Wh/jour}$$

$$\bar{W}_u = 518,4 \text{ Wh/jour} \equiv 43,2 \text{ A.h/jour}$$

Comme nous pouvons le constater, la demande énergétique ( $\bar{W}_u = 43,2 \text{ Ah/jour}$ ) est de loin plus élevée que les possibilités du Générateur photovoltaïque ( $K \bar{W}_s = 17 \text{ Ah/j}$ ).

- Le déficit de ( $43,2 - 17 = 26,2 \text{ Ah/jour}$ ) doit nécessairement être fourni par la batterie d'accumulateurs. La capacité minimale de la batterie est donc de  $26,2 \text{ Ah}$  avec une profondeur de décharge de 60% - Ce qui est en réalité une batterie de taille :

$$\text{Capacité réelle} = \frac{26,2 \text{ Ah/jour}}{0,60} = 43,7 \text{ Ah/jour}$$

$$C_r = 43,7 \text{ Ah/jour} \Rightarrow C_{r \text{ min}} = 43,7 \text{ Ah}$$

Si nous voulons par exemple une autonomie de deux jours de fonctionnement, on doit avoir une batterie de taille

$$C_{r2} = 2 \times 43,7 = 87,4 \text{ Ah}$$

A comparer cette valeur de 87,4 Ah à la taille de la batterie dont nous disposons (105 Ah), nous pouvons dire que la capacité de la batterie permet d'assurer un fonctionnement de :  $105 \text{ Ah} / 43,7 \text{ Ah/jour} = 2,40 \text{ jours}$ .

2,40 jours  $\equiv$  2 jours et 9,6 heures de fonctionnement.

Toutefois le problème reste posé une fois qu'on atteint la décharge limite dans la mesure où il faut recharger la batterie. Le temps de recharge peut être estimé à :

$$J = \frac{C}{k \bar{w}_s} = \frac{105 \text{ Ah}}{17 \text{ Ah/jour}} = 6,18 \text{ jours}$$

Donc pour une énergie fournie  $E = 5,14 \text{ kWh/m}^2$  (voir tableau page 20 : mois de Décembre), il faut 6,18 jours pour pouvoir redemander après seulement deux jours de fonctionnement. En Décembre la durée moyenne de l'ensoleillement est de 7,57 heures/jour soit donc  $6,18 \times 7,57 = 46,8 \text{ h}$ .  
Donc avec la taille du générateur actuel, il faut 46,8 heures d'ensoleillement en moyenne pour atteindre la pleine charge. Ce qui n'est pas du tout intéressant.

Face à cette situation, nous pouvons poser deux alternatives =

1 - Réduire taille de la batterie (en changeant de batterie) jusqu'à la capacité minimale  $\approx 45Ah$  permettant d'assurer le déficit journalier. Seulement il va falloir recharger chaque jour la batterie puisqu'elle atteint en fin de journée son seuil de décharge admissible 60%. Ce cycle de charge - décharge très court réduit la durée de vie de la batterie.

2 - Augmenter la taille du panneau solaire photovoltaïque de façon à satisfaire en cas d'ensoleillement la demande en énergie pour le réfrigérateur mais aussi et en même temps la recharge de la batterie. Cette solution semble être la plus adéquate et c'est pourquoi nous proposons de faire le design de la taille du Générateur.

### Solution

Le Générateur solaire photovoltaïque est composé de 2 modules en série et de deux modules en parallèle. Les caractéristiques données par le constructeur et les mesures que nous avons eu à faire montrent que la tension de sortie est largement suffisante mais que c'est le courant qui fait défaut en ce sens qu'il n'est pas en mesure de démarrer le petit moteur du compresseur. Ce courant de photopiles est augmenté en augmentant le nombre de branches mises en parallèle.

Soit  $N$ ,  

$$N \geq \frac{\bar{W}_u \text{ (Ah)}}{k \cdot h \cdot I_c}$$
, formule tirée de l'électricité  
 solaire-photovoltaïque.

Principes - Applications - en page 70

$N$  donne le nombre de branches à mettre en parallèle pour  
 satisfaire la demande énergétique -

$$\bar{W}_u = 43,2 \text{ Ah}$$

$$k = 0,75$$

$$h = 5,14 \text{ heures} \equiv 1 \text{ kw/m}^2$$

$$I_c = 2,2 \text{ A}$$

$$N \geq \frac{43,2}{0,75 \times 5,14 \times 2,2} = 5,09$$

Il est donc préférable d'avoir 6 branches en parallèle  
 ou au moins 5 branches en parallèle. Le courant  
 généré par le panneau serait donc:  $5 \times 2,2 = 11 \text{ A}$ .

$$I_{P5} = 11 \text{ A} \approx 2,5 I_n = 2,5 \times 4,5 = 11,25 \text{ A}$$

$$I_D = 11,25.$$

On voit que dans ce cas on arrive à faire fonctionner le  
 réfrigérateur avec le panneau solaire sans l'apport de  
 la batterie et une fois le démarreur, on peut charger en même temps  
 la batterie. Et en situation prioritaire à la recharge de  
 la batterie, le temps nécessaire pour la recharge est:

$$\text{Temps de recharge} = \frac{C}{I_r} = \frac{105}{11} = 9,5 \text{ heures.}$$

Il faut noter qu'avec 11 A, on dépasse un peu le courant de charge admissible limite de la batterie de 105 Ah (10,5 A) - Le surplus de 0,5 A n'est pas très dangereux quand on sait que le courant de  $i$  n'atteint presque jamais sa valeur maximale donnée par le constructeur (conditions de test idéales).

Mais étant donné que dans le design de notre régulateur nous avons prévu la possibilité d'utiliser une batterie de 75 Ah à C/10 qui est l'équivalent de la batterie de 105 Ah à C/100, nous jugeons nécessaire de limiter le courant de recharge à 9 A en utilisant le fusible  $F_1$  (voir circuit électronique du régulateur de charge).

Par ailleurs, nous utilisons un autre fusible  $F_2$  de 5 A sur le circuit du disjoncteur pour protéger le refroidisseur - Ces deux fusibles verront leur utilité seulement lorsque la taille du panneau passe de (2 modules en série et 2 modules en parallèle à 2 modules en série et cinq (5) modules en parallèle).

TABLE 2.4 Summary Solar Ephemeris<sup>a</sup>

Date	Declination		Equation of time		Date	Declination		Equation of time	
	Deg	Min	Min	Sec		Deg	Min	Min	Sec
Jan. 1	-23	4	- 3	14	Feb. 1	-17	19	-13	34
5	22	42	5	6	5	16	10	14	2
9	22	13	6	50	9	14	55	14	17
13	21	37	8	27	13	13	37	14	20
17	20	54	9	54	17	12	15	14	10
21	20	5	11	10	21	10	50	13	50
25	19	9	12	14	25	9	23	13	19
29	18	8	13	5					
Mar. 1	- 7	53	-12	38	Apr. 1	+ 4	14	- 4	12
5	6	21	11	48	5	5	46	3	1
9	4	48	10	51	9	7	17	1	52
13	3	14	9	49	13	8	46	- 0	47
17	1	39	8	42	17	10	12	+ 0	13
21	- 0	5	7	32	21	11	35	1	6
25	+ 1	30	6	20	25	12	56	1	53
29	3	4	5	7	29	14	13	2	33
May 1	+14	50	+ 2	50	June 1	+21	57	+ 2	27
5	16	2	3	17	5	22	28	1	49
9	17	9	3	35	9	22	52	1	6
13	18	11	3	44	13	23	10	+ 0	18
17	19	9	3	44	17	23	22	- 0	33
21	20	2	3	34	21	23	27	1	25
25	20	49	3	16	25	23	25	2	17
29	21	30	2	51	29	23	17	3	7
July 1	+23	10	- 3	31	Aug. 1	+18	14	- 6	17
5	22	52	4	16	5	17	12	5	59
9	22	28	4	56	9	16	6	5	33
13	21	57	5	30	13	14	55	4	57
17	21	21	5	57	17	13	41	4	12
21	20	38	6	15	21	12	23	3	19
25	19	50	6	24	25	11	2	2	18
29	18	37	6	23	29	9	39	1	10
Sep. 1	+ 8	35	- 0	15	Oct. 1	- 2	53	+10	1
5	7	7	+ 1	2	5	4	26	11	17
9	5	37	2	22	9	5	58	12	27
13	4	6	3	45	13	7	29	13	30
17	2	34	5	10	17	8	58	14	25
21	+ 1	1	6	35	21	10	25	15	10
25	- 0	32	8	0	25	11	50	15	46
29	2	6	9	22	29	13	12	16	10
Nov. 1	-14	11	+16	21	Dec. 1	-21	41	+11	16
5	15	27	16	23	5	22	16	9	43
9	16	38	16	12	9	22	45	8	1
13	17	45	15	47	13	23	6	6	12
17	18	48	15	10	17	23	20	4	17
21	19	45	14	18	21	23	26	2	19
25	20	36	13	15	25	23	25	+ 0	20
29	21	21	11	59	29	23	17	- 1	39

<sup>a</sup>Since each year is 365.25 days long, the precise value of declination varies from year to year. *The American Ephemeris and Nautical Almanac* published each year by the U.S. Government Printing Office contains precise values for each day of each year.

Inter  
ran  
gic  
eng  
top  
des  
cor.  
Cor.  
star  
ecc  
able  
the r  
the p  
Begi  
trans  
ceed  
anal  
interc  
them  
colle  
nonc  
econ  
throu  
life-cy  
and a  
provid  
princi  
preser  
Extens  
recent  
of sold  
maps,  
tical fu  
proper  
with so  
units fo  
For the  
ing eng  
guide to  
energy  
referenc  
solar en  
evaluati

## BIBLIOGRAPHIE

- Les effets photovoltaïques : Leurs applications en milieu spatial et au sol. (Cahiers AFEDES : Association Française pour l'étude et le développement des applications de l'énergie solaire : N°2 Edition 1977 complétée.)
- Les Systèmes photovoltaïques : Point de vue industriel ("JEROME DONON" - Photowatt.)
- Applications Thermiques de l'énergie solaire dans le domaine de la recherche et de l'industrie (colloques internationaux du centre national de la recherche scientifique : N° LXXXV - Montlouis : 23-28 juin 1958.)
- L'Electricité solaire photovoltaïque :  
Principes - applications. (Conférence présentée par M. le Professeur ROGER : Université LYON I département de physique des matériaux.)
- Principles of solar Engineering - (Frank Kreith - JANE KREIDER : 1978) - M.c Graw Hill.
- Potentiel solaire au Sénégal. (Bocar Sy et André GAUTHIER) - CERER. 1993.

- Alimentations en énergie électrique : Appareils et Installation par G LAEDERICH ancien Ingénieur des Télécommunication et R. Escudier . ingénieur des Télécommunications ; (Eyrolles - 1968).
- Encyclopédie des Sciences Industrielles : Quillet page 123-138 - (Électronique et Électricité : Applications).
- Notes de cours du Professeur André Wolkei : ELEC:5.11 Electronique - E. P.T.
- Electronique à Transistors. : Etudes pratiques et manipulations par R. Besson - 1970
- Texas Instruments INC. : Calcul des circuits à transistor : Rédigé par les ingénieurs de la Texas Instruments Incorporated - Traduit par Alain Pasquion Ing. E.C.P. et Pierre Escaron Ing. E.C.A.M - 1969-
- DATA BOOK EIS. N°50: Transistor. 1981- N°51: Diode: 1983
- Montages pratiques d'électronique : 3<sup>e</sup>. édition par L. Pericone - 1972 -
- Modélisation et Analyse des performances d'une installation photovoltaïque destinée à l'alimentation électrique d'un village isolé. G. de GEVIGNÉY. Juin 1984.