

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

*République Algérienne Démocratique et Populaire*

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

*Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique*

*Centre Universitaire Salhi Ahmed – NAAMA*

*Institut des Sciences et de Technologie*

*Département de Technologie*



## MEMOIRE

En vue de l'obtention du **diplôme de MASTER**

En : **Electro-technique**

**Spécialité : Energies Renouvelables en Electrotechnique**

**Intitulé**

**Étude et simulation de pompage avec un système photovoltaïque**

**Présenté Par :**

- Kaddour Mohamed
- Keddar Mohamed

<b>Président</b>	Habchi Yassine	MCB	Centre Universitaire de Naâma
<b>Encadreur</b>	Lahcen Reda	MAB	Centre Universitaire de Naâma
<b>Examineur</b>	Ben Othman Nourddine	MAB	Centre Universitaire de Naâma

## *Remerciements*

*Tout d'abord nous tenons à remercier le bon dieu pour nous avoir guidés à bien mener ce travail.*

*Nos remerciements les plus vifs et chaleureux vont à notre encadreur Mr R.Lahcen, pour son aide, sa disponibilité et son soutien.*

*Nous adressons notre reconnaissance à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation.*

*Nous remercions également les membres de jury qui ont bien voulu nous faire l'honneur d'évaluer notre travail*

## *Dédicaces 1*

*Je dédie ce travail à l'âme de mes généreux parents et à l'âme de mon fils Youssef Islam à ma femme et mon fils Mouad à mes frères et sœurs et toute la famille keddar à tous les amis de travail de la Direction du Commerce à Naama sans exception.*

*Keddar.*

## *Dédicaces 2*

*Je dédie ce travail à mes chers parents et mon fils abdelnour à mes frères et sœurs à ma femme et toute la famille kaddour à tous les amis de travail de la Direction du Commerce à Naâma sans exception*

*Kaddour.*



# SOMMAIRE

# *Sommaire*

<b>Introduction Générale</b> .....	01
<b>Chapitre I : Générateur photovoltaïque.</b>	
I.1 Introduction .....	04
I.2 Principe de l'effet photovoltaïque .....	05
I.3 Cellule photovoltaïque .....	05
I.4 Schéma équivalent d'une photovoltaïque .....	08
I.5 Caractéristique I-V de la cellule .....	09
I.6 La puissance générée par une cellule photovoltaïque .....	10
I.7 Influence des données radio métriques et les paramètres intrinsèques .....	12
I.7.1 Influence de l'éclairement .....	13
I.7.2 Influence de la température.....	14
I.7.3 Influence de la résistance série .....	15
I.7.4 Influence de la résistance shunt .....	16
I.7.5 Influence de l'irradiance .....	17
I.8 Le module photovoltaïque .....	18
I.8.1 Notion de puissance crête (WC) et de la température d'utilisation...	19
I.8.2 Groupement de cellule photovoltaïque en série .....	19
I.8.3 Groupement de cellule photovoltaïque en parallèle .....	21
I.9 Description d'un système photovoltaïque .....	22
I.9.1 Définitions .....	22
I.10 Conclusion .....	31
<b>Chapitre II : Pompage.</b>	
II.1 Introduction .....	33
II.2 le groupe électropompe .....	33
II.2.1 Equipement pour l'adaptation électrique des électropompes au photovoltaïque .....	33
II.3 les différents systèmes de pompage et leur application .....	34
II.3.1 le pompage sur forage .....	35
II.3.2 le pompage de surface pour irrigation .....	35

II.3.3 le pompage domestique .....	35
II.4 Besoins en énergie et dimensionnement d'un système de pompage .....	36
II.4.1 Identification des besoins .....	36
II.4.2 Le travail à fournir par le pompage est exprimé en hauteur .....	39
II.5 Le point sur les couts des systèmes de pompage .....	40
II.6 Conclusion .....	41
<b>Chapitre III : Modélisation.</b>	
III.1 Introduction .....	42
III.2 Modélisation de l'irradiation sur le plan incline .....	43
III.3 Modélisation du champ photovoltaïque .....	45
III.3.1 le modèle de la température de la cellule .....	45
III.3.2 le modèle du rendement du champ photovoltaïque .....	46
III.4 Modélisation du convertisseur DC/AC .....	46
III.5 Modélisation de la caractéristique électrique du générateur PV .....	47
III.6 Modèle de pompe .....	48
III.6.1 Calcule de la puissance hydraulique et de l'énergie hydraulique ...	48
III.6.2 Calcule de la puissance du générateur d'une pompe solaire .....	50
III.7 Conclusion .....	51
<b>Chapitre IV : Simulation et interprétation des résultats.</b>	
IV.1 Introduction .....	52
IV.2 Organigramme .....	53
IV.3 Résultats et interprétation .....	54
IV.3.1 Résultats .....	54
IV.3.2 Interprétation .....	56
IV.4 Conclusion .....	63
<b>Conclusion Générale</b> .....	64
Abréviations.	
Notations.	
Bibliographiques.	

## *Abréviations*

**PV** : Photovoltaïque.

**CES** : Chauffe d'eau solaire (CES).

**GPV** : Le générateur photovoltaïque.

**SPV** : Le système photovoltaïque.

**(I-V)** : La caractéristique courant tension du module PV.

**Wc** : Le watt crête.

**MPPT** : Le point de puissance maximale (Maximum Power Point Training).

**DC/AC** : Le convertisseur de tension continu alternatif.

**HMT** : La hauteur manométrique totale.

**HGT** : Hauteur géométrique totale.

**HW** : Coefficient d'élévation de la température.

**NOCT** : Nominal Operating Cellule Temperature.

# *Notations*

- K: constante de Boltzmann  $1,38 \cdot 10^{-23}$  J/ °K.  
T: température de la jonction en degré Kelvin [RK].  
q: charge de l'électron  $1.6 \cdot 10^{-19}$  Coulombs.  
I<sub>cc</sub> : courant de court-circuit  
I : courant de charge  
I<sub>0</sub> : courant de saturation.  
I<sub>s</sub> : courant de saturation.  
R<sub>sh</sub>: Résistance shunt  
R<sub>ch</sub> : Résistance de la charge  
V<sub>co</sub> : Tension de circuit ouvert  
I<sub>ph</sub>: photo courant générer.  
q: charge de l'électron  
K<sub>b</sub>: Constante de Boltzmann  
N : Facteur d'idéalité de la jonction  
Jour : jour de l'année  
δ: déclinaison solaire (RD)  
h: élévation du soleil (RD)  
L : latitude (RD)  
W: angle horaire (RD)  
D jour : durée du jour (heures)  
RHA : irradiation extraterrestre (Wh/m<sup>2</sup>)  
RHD : irradiation horizontale diffuse (Wh/m<sup>2</sup>)  
RHDR : irradiation horizontale directe (Wh/m<sup>2</sup>)  
RID : irradiation inclinée diffuse (Wh/m<sup>2</sup>)  
RIDR : irradiation inclinée directe (Wh/m<sup>2</sup>)  
RIG : irradiation inclinée globale (Wh/m<sup>2</sup>)  
RIGm : irradiation inclinée globale moyenne (Wh/m<sup>2</sup>)  
T<sub>cm</sub> : température cellule joury moyenne (c°)

T<sub>am</sub> : température ambiante journ moyenne (c°)

NOCT : température nominale d'opération cellule (c°)

R<sub>STC</sub> : rendement module sous STC

R<sub>mod</sub> : rendement module

Q<sub>i</sub> : débit instantané (m<sup>3</sup>/h)

P<sub>hyd</sub> : puissance hydraulique (w)

P<sub>e</sub> : puissance électrique (w)

R<sup>g</sup> : le rendement global de l'électropompe

E<sub>hya</sub> : l'énergie hydraulique consommée par jour (Wh)

E<sub>c</sub> : l'énergie électrique consommée par jour (Wh)

E<sub>p</sub> : L'énergie a produite par jour

K : coefficient tient compte de toutes les baisses de rendement dans les modules, les câbles et l'onduleur

P<sub>c</sub> : puissance crête (WC)

N : nombre de cellules

E<sub>ond</sub> : l'énergie de l'onduleur (Wh)

I<sub>0</sub> : courant de saturation inverse (A)

N : facteur d'idéalité de la jonction

K<sub>b</sub> : constante de Boltzmann

T : température

q : charge de l'électron

β : Coefficient de température (°c<sup>-1</sup>).

A : Facteur d'idéalité de la diode

α : Angle d'inclinaison (RD)



**INTRODUCTION  
GENERALE**

### Introduction générale

Au début de ce siècle, la maîtrise de l'énergie en générale et de l'énergie électrique en particulier apparaît non pas comme une réaction à la crise pétrolière de 1973, mais comme énergie de substitution et méthode incontournable pour le développement durable plus particulièrement des régions sahariennes, pour l'efficacité économique et social qui assure la présence des notions dans la nouvelle carte du monde et qui garantie la pérennité de tout un chacun dans le mouvement irréversible de la globalisation.

Par conséquent l'Algérie est à s'inscrire dans cette nouvelle perspective et interpelle à fournir les efforts nécessaires pour se hisser à la hauteur des enjeux géostratégiques économique et sociaux de par sa position géographique.

L'Algérie dispose également d'un important potentiel en énergie solaire qui n'attend qu'une bonne exploitation. D'autant plus le grand sud algérien caractérisé par un très fort apport solaire avec un gradient de température diurne -nocturne très important, un été très long presque de 06 mois (allant de mai à octobre) et très chaud dépassant dans certains cas les 50° C à l'ombre. La raison indispensable ou il faudrait doubler les efforts pour une exploitation optimale utilisant de plus en plus des équipements solaire adapter en milieu saharien, un dimensionnement optimale des systèmes photovoltaïque en milieu saharien satisfaisant les besoins des populations sédentaire. En effet les efforts développés par les autorités pour le développement de l'énergie solaire ne datent pas d'hier et la création du Centre de Développement des Energies Renouvelable le CDER Alger et l'Unité de Recherche en Energie Renouvelable en Milieu Saharien URER/MS Adrar consolide les différentes études faites sur les systèmes solaires développés en Algérie ou a l'étranger. Mais le comportement des systèmes énergétiques mu par l'énergie solaire reste très peu connu, surtout lorsqu'ils sont installés en milieu saharien et donc mal exploité, par conséquent une utilisation des systèmes photovoltaïques non optimisés.

La technologie photovoltaïque (PV) est une solution attrayante comme remplacement ou complément des sources conventionnelles d'approvisionnement en électricité en raison de ses nombreux avantages qu'on peut résumer comme suit :

## INTRODUCTION GENERALE

---

- Un moyen fiable qui requiert peu d'entretien ;
- Elle fournit de l'électricité avec l'énergie gratuite et renouvelable du soleil ;
- Elle ne nécessite aucun combustible ;
- Elle est silencieuse et non polluante respectueuse de l'environnement ;
- Elle est polyvalente et peut être ajustée selon les besoins ;
- Elle est une énergie décentralisée et peut être utilisée au moment même où elle produite.

L'énergie photovoltaïque peut permettre de couvrir les besoins d'une habitation en électricité tels que l'éclairage, le pompage de l'eau et la production du froid.

Le pompage et les centrales PV sont des applications les plus prometteuses de l'utilisation de l'énergie photovoltaïque. Ces systèmes PV sont généralement composés d'un générateur PV, d'un système de conditionnement de puissance entre autre un convertisseur d'énergie, une station de batterie et d'une charge, soit du type continu par exemple une machine à courant continu, une lampe, etc. Soit une charge à courant alternatif comme un groupe motopompe, des lampes, des ventilateurs, des téléviseurs, enfin toutes charge DC/ AC.

Due au coût élevé du générateur photovoltaïque et à la désadaptation existante entre les caractéristiques Courant-Tension du générateur PV et de la charge, une grande importance est donnée à leur conception et à leur utilisation optimale qui permettent un fonctionnement fiable et économique. A cet effet le concepteur est intéressé par l'obtention d'un système qui présente une meilleure adaptation entre ses différents composants.

Notre travail qui s'inscrit comme projet de fin d'étude s'oriente vers des applications qui ont un impact direct sur le développement socioéconomique des agglomérations sahariennes isolées tels que le pompage photovoltaïque pour l'irrigation des terres agricoles, l'électrification rural, le balisage électrique, la téléphonie rurale, tout système photovoltaïque alimenté par un générateur photovoltaïque installé en milieu saharien .

## **INTRODUCTION GENERALE**

---

Les systèmes de pompage à base d'énergie solaire photovoltaïque, ont reçu une attention considérable grâce au développement de la technologie dans les convertisseurs photovoltaïques (la photopile), les machines à courant continu sont très utilisées, mais souffrent de problèmes de maintenance par la présence des collecteurs surtout s'ils sont installés en milieu saharien. Cependant, les systèmes de pompage basés sur les moteurs à induction (moteurs asynchrones) peuvent avoir un grand intérêt lorsque les opérations de maintenance et de rendement présentent des problèmes.

Notre mémoire est reparti en quatre chapitre ; le premier chapitre est consacré à la présentation de système photovoltaïque en suite une étude du pompage dans le deuxièmes chapitre. Dans le troisième chapitre nous donnerons les modèles mathématiques pour cette application et en fin un dernier chapitre; sera entièrement dédié à une série de simulation qui seront réalisée à l'aide du MATLAB

# CHAPITRE I

## **GENERATEUR PHOTOVOLTAIQUE**



## I.1. Introduction

Depuis la généralisation de l'utilisation de l'électricité, la consommation énergétique n'a cessé d'augmenter, elle a triplé des années 60 à nos jours. Actuellement, les principales sources d'énergie proviennent des combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel) et depuis les années 50 de l'énergie nucléaire. Cependant, depuis les crises successives du pétrole des années 70, le problème de la conversion et du stockage de l'énergie a conduit à la recherche et au développement de nouvelles sources d'approvisionnement. Cet intérêt s'est accru face à l'épuisement inéluctable des énergies fossiles, à leur impact sur l'environnement et aux déchets qu'elles engendrent.

La chaleur Cependant afin de décoloniser et de diversifier l'origine de la production d'électricité, de nouvelles énergies dites «énergies renouvelables» ont émergé (photovoltaïque, thermique et thermodynamique, biomasse, éolienne, géothermie, marémotrice, etc.). Elles ont toutes l'immense avantage d'être d'origine naturelle, inépuisable et non polluante. Parmi celles-ci, l'énergie solaire est la mieux partagée par tous les habitants du globe terrestre. Son exploitation permettrait de fournir en électricité des sites isolés des réseaux électriques et éviterait la création de nouvelles lignes électriques qui demandent généralement un lourd investissement. [1]

Dans le grand sud algérien, particulièrement le milieu saharien, nous disposons d'un potentiel énergétique important, en plus des régions déshérités, désenclavés ou une demande en énergie et fortement exprime, et il suffit de réaliser quelque installation PV, pour une amélioration socioéconomique notable de ces régions.

## 1.2. Principe de l'effet photovoltaïque [2]

L'effet photovoltaïque PV est la transformation directe de la lumière en électricité. A l'encontre de l'énergie solaire passive qui utilise les éléments structuraux d'un bâtiment pour mieux les chauffer (ou les refroidir) et de l'énergie active, qui utilise un calorporteur (liquide ou gazeux) pour transporter et stocker du soleil qu'on nomme chauffe d'eau solaire (CES).

L'effet PV utilise les propriétés quantique de la lumière, le model de diffusion de shockley (1949).

L'énergie photovoltaïque n'est pas une forme d'énergie thermique, elle utilise une photopile pour transformer directement l'énergie solaire en électricité.

## 1.3. Cellule photovoltaïque

### • Principe et fonctionnement [3]

Une cellule photovoltaïque est assimilable à une diode photosensible, son fonctionnement est basé sur les propriétés des matériaux semi-conducteurs.

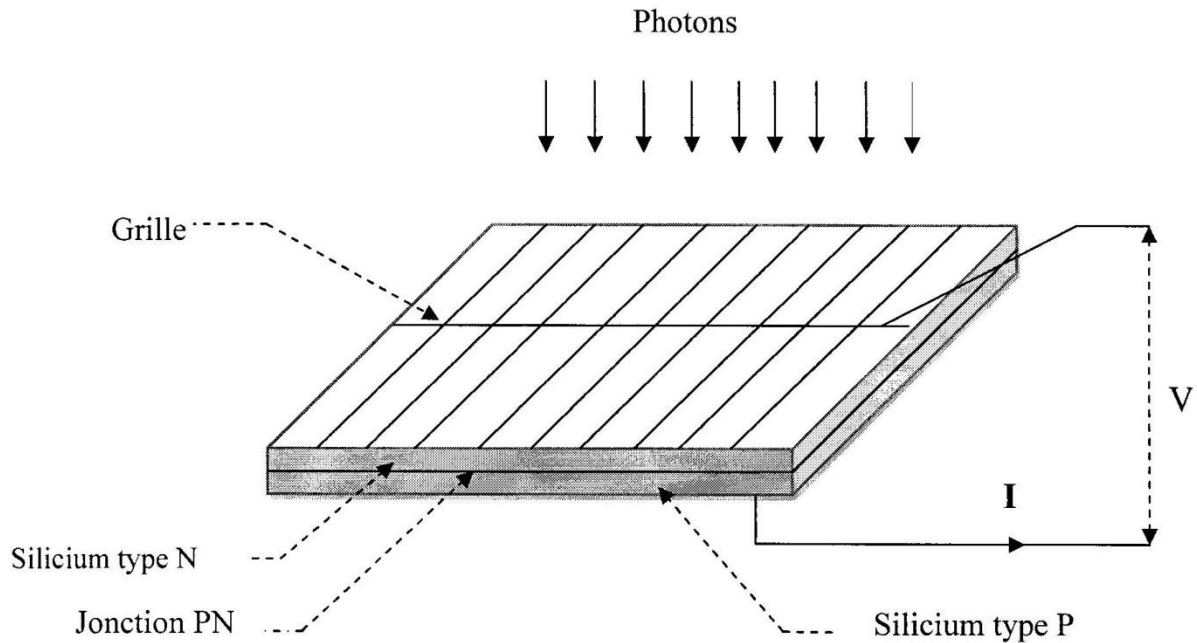
La cellule photovoltaïque permet la conversion directe de l'énergie lumineuse en énergie électrique. Son principe de fonctionnement repose sur l'effet de la conversion photovoltaïque.

En effet, une cellule est constituée de deux couches minces d'un semiconducteur. Ces deux couches sont dopées différemment :

- Pour la couche N, apport d'électrons périphériques.
- Pour la couche P, déficit d'électrons.

Ces deux couches présentent ainsi une différence de potentiel. L'énergie des photons lumineux captés par les électrons périphériques (couche N) leur permet de franchir la barrière de potentiel et d'engendrer un courant électrique continu. Pour effectuer la collecte de ce courant, des électrodes sont déposées par sérigraphie sur les deux couches de semi-conducteur figure (1.1). L'électrode supérieure est une grille

permettant le passage des rayons lumineux. Une couche antireflet est ensuite déposée sur cette électrode afin d'accroître la quantité de lumière absorbée.

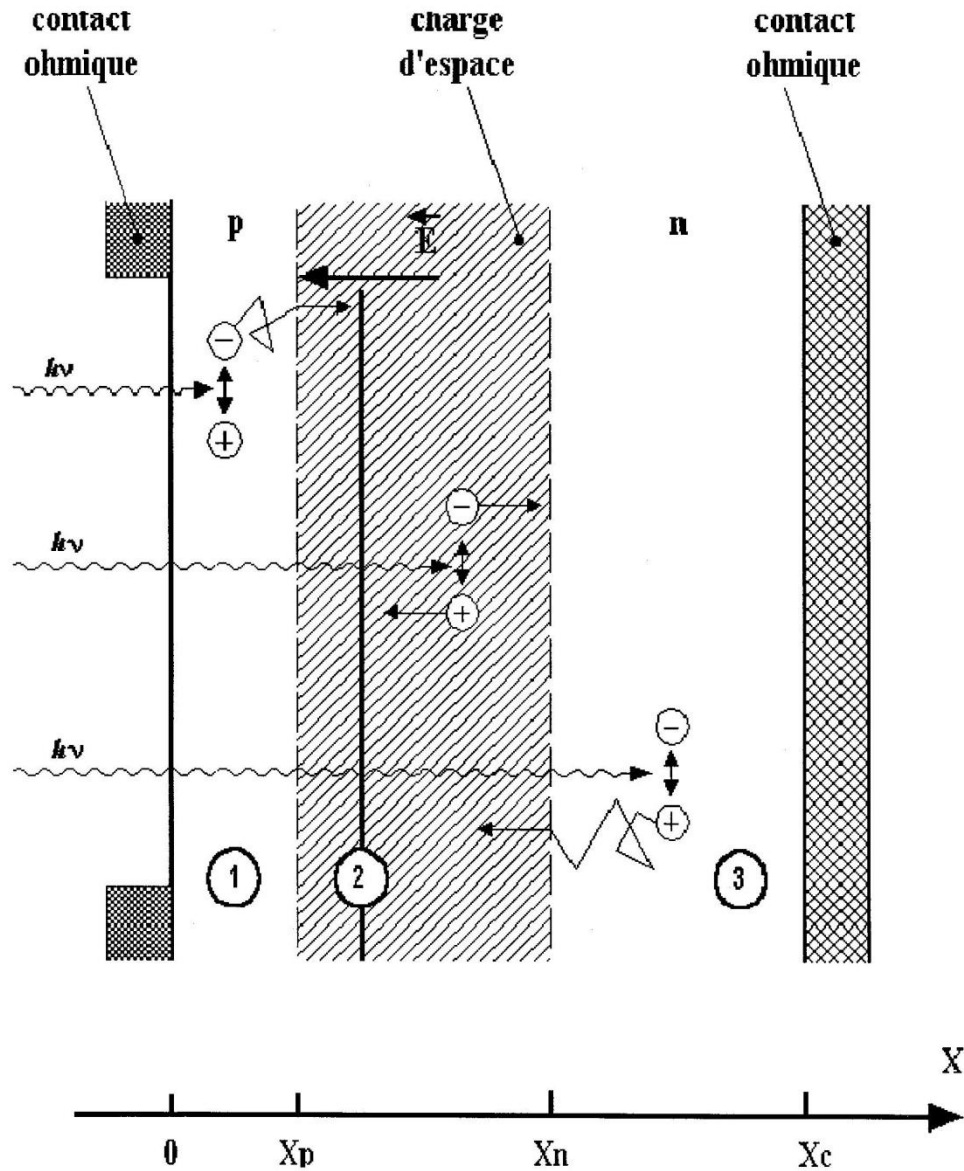


**Figure I.1.** Schéma d'une cellule photovoltaïque élémentaire

Dans une photodiode, le rayonnement augmente le courant inverse par la création de porteurs minoritaires dans les régions neutres et la génération de paires électron-trous dans la zone de charge d'espace.

Le principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque est illustré sur la figure 1.2 Les photons incidents créent des porteurs dans chacune des régions 1, 2 et 3. Le comportement de ces porteurs libres diffère suivant le lieu de leur création

Dans les zones électriquement neutres p ou n, les photos porteuses minoritaires diffusent, ceux qui atteignent la région de charge d'espace sont propulsés par le champ électrique où ils deviennent majoritaires.



**Figure 1.2.** Principe de la photodiode

Ces porteurs contribuent donc au courant par leur diffusion, ils créent un photo courant de diffusion. Dans la zone de charge d'espace, les paires électron-trous créées par photons, sont dissociées par le champ électrique, l'électron est propulsé vers la région de type n et le trou vers la région de type p. Ces porteurs donnent naissance à un photo courant de génération. Ces deux contributions s'ajoutent pour créer un photo courant résultant  $I$  qui contribue au courant inverse de la diode.

D'où l'expression suivante du courant :

$$I = I_{ph} - I_s (e^{qV/KT} - 1) \quad (1.1)$$

La caractéristique de la photodiode est représentée sur la figure I.1. La photo courant est pratiquement indépendante de la tension de polarisation. Dans la pratique, on mesure soit la photo courant dériver par la diode électrique, soit le photo voltage qui apparaît aux bornes de la diode.

Les premiers modules PV furent construits avec des cellules au silicium monocristallin. Le silicium est le matériau le plus courant et abondant sur terre. Mais avec un degré de pureté très requis pour élaborer une pile PV et donc le procédé est très coûteux d'où le coût très élevé de la cellule PV.

#### 1.4. Schéma équivalent d'une photovoltaïque [3]

La figure (1-3) présente le schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque sous éclairage. Il correspond à un générateur de courant  $I_{ph}$  en parallèle sur une diode.

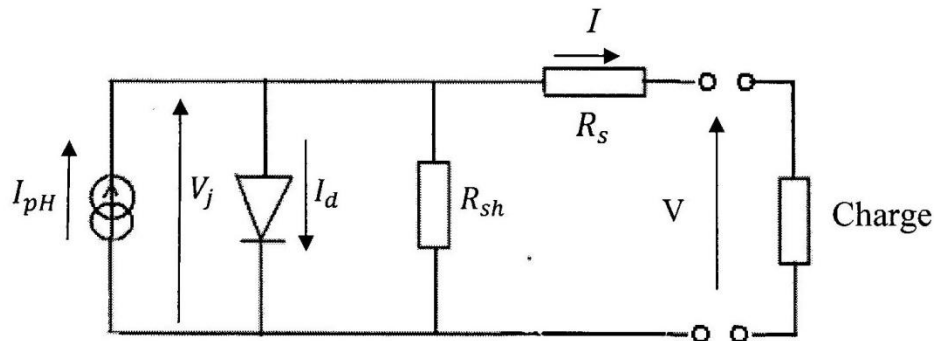


Figure I-3 Schéma équivalent d'une PV

Deux résistances parasites sont introduites dans ce schéma ; elles vont influencer sur la caractéristique I-V de la cellule :

$R_s$  (résistance série) : est liée à l'impédance des électrodes et des matériaux ; il en résulte que la tension  $V$  ; aux bornes de la jonction p-n.

$R_{sh}$  (résistance shunt) & correspond a une résistance de fuite entre les deux zones n et p de la jonction ; il en résulte qu'une partie du courant  $I_{ph}$  sera dérivée par cette résistance et ne pourra être délivrée a la charge.

?L'équation complète de la cellule photovoltaïque, compte tenu des résistances parasites  $R_s$  et  $R_{sh}$ , s'écrit donc

$$I(V) = \alpha(T) \cdot \emptyset \cdot S \left[ \exp\left(\frac{q(v+R_s I)}{NKbT} - 1\right) \right] - \left(\frac{v+R_s I}{R_{sh}}\right) \quad (1.2)$$

### 1.5. Caractéristique I-V de la cellule [4]

. Si une impédance de charge, nom nulle est infinie, est placée aux bornes de la cellule, On ce trouve dans un cas intermédiaire entre le court-circuit et le circuit ouvert.

La photo courant va ce distribué entre cette charge extérieure (courant I) et la diode (courant  $I_d$ ).

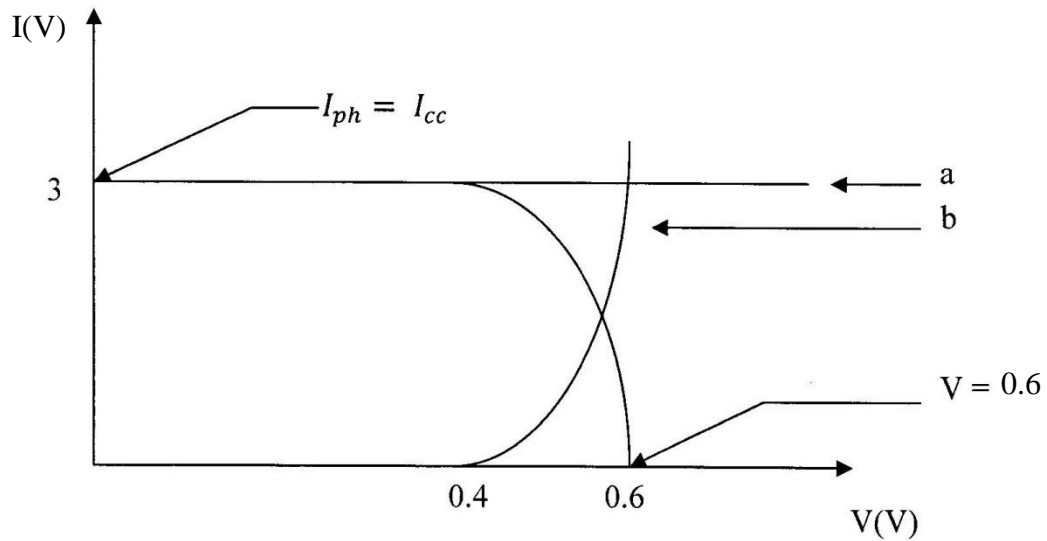
La caractéristique courant-tension de la cellule photovoltaïque se met alors sous la forme.

$$I(V) = I_{ph} - I_d(V) \quad (1.3)$$

$$I_{ph} = \alpha(T) \cdot \emptyset \cdot S \quad (1.4)$$

$$I(V) = \alpha(T) \cdot \emptyset \cdot S - \beta(T) \cdot S \left[ \exp[\gamma(T) \cdot v] - 1 \right] \quad (1.5)$$

Le second terme “ces expressions est l'équation classique du courant du courant d'une diode de surface S polarisée a la tension V soit  $I_d(V)$ ,  $\beta(T)$  et  $\gamma(T)$  étant coefficient caractéristique de la jonction et fonction de cellule photovoltaïque est température T données, la caractéristique courant tension de la cellule photovoltaïque est parfaitement définie. La figure 1.4 donne cette caractéristique théorique pour une cellule en Simonocristallin de 100 mn de diamètre a 25°C et sous l'irradiance de référence de 1 KW m<sup>-2</sup>.

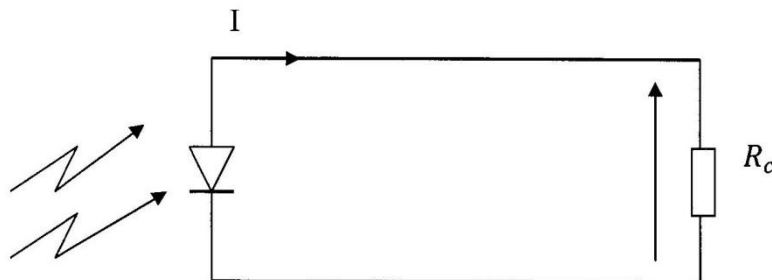


**Figure I.4.** Caractéristique d'une cellule  $I = f(V)$

On remarque que la caractéristique I-V correspond à la soustraction de deux courbes, courbe (a)  $I_{ph}$  courbe (b)  $I_d$ , ce qui traduit bien les équations (1-3) et (1-4). Le courant  $I$  extrait de la cellule photovoltaïque que est donc fonction de tension de  $V$  de la cellule, cette tension étant elle même fixée par l'impédance sur laquelle est fermée cette cellule.

### 1.6. La puissance générée par une cellule photovoltaïque [1]

Considérons le montage représenté sur la figure 1.6, dans lequel le courant inverse de la diode est compté positivement. Compte tenu de cette convention de signe, le courant débité par la photopile s'écrit :



**Figure I.5.** Photodiode chargée d'une résistance.

Le premier est la photo courant, le second est le courant de la diode polarisée par la tension  $V$ . Cette tension de polarisation résulte de la chute ohmique du courant à travers la résistance de charge  $R_c$ . Le courant électromoteur de la pile est le courant de court-circuit, soit, en faisant :

$$R_c = 0, V = 0 \text{ avec } I_{cc} = I_{ph}$$

La force électromotrice de la pile est la tension de circuit ouvert, soit, en faisant  $I = 0$  dans l'expression (1.5), ce qui donne :

$$V_{c0} = \frac{KT}{q} \log \left( \frac{I_{ph}}{I_s} + 1 \right) \quad (1.7)$$

La puissance fournie par la pile est toujours inférieure au produit  $V_{c0}$ .

$$P < V_{c0} \cdot I_{c0} = \frac{KT}{q} \cdot I_{ph} \cdot \log \left( \frac{I_{ph}}{I_s} + 1 \right) \quad (1.8)$$

On augmente donc la puissance disponible en augmentant  $I_{ph}$  ; et en diminuant le courant de saturation  $I_s$  de la jonction . Les valeurs typiques sont généralement dans la

tranche  $V_{c0} \approx 0,5 - 0,8$  V et  $I \sim 10 - 40$  mA/cm<sup>2</sup>. Compte tenu de la convention de signe utilisée sur la figure 1.5, la caractéristique du générateur, que constitue la photopile, est représentée sur la figure. I.6. La puissance fournie par la pile est donnée par le produit  $VI$ .

La puissance débitée est donnée par le produit  $V_{opt}I_{opt}$ . Cette puissance est représentée par l'aire du rectangle hachuré sur la figure 1.5.

En observant l'allure de la caractéristique, cette puissance est de l'ordre de 80 % du produit  $V_{c0} \cdot I_{cc}$  . Une cellule solaire de 30cm<sup>2</sup> de surface sensible et 10% de rendement délivre une puissance de 300mW lorsqu'elle est éclairée par un soleil au zénith

$$P = IV = V [I_{ph} - I_s (e^{qv/KT} - 1)] \quad (1.9)$$

Cette puissance fournie est maximum au point défini par

$$dP/dV = 0, \text{ soit } I_s (e^{qv/KT}) V \cdot I_s \frac{q}{KT} e^{qv/KT} ] = 0 \quad (1.10)$$

La tension de sortie  $V_{opt}$  correspondant au maximum de puissance est alors donnée par

$$\left(1 + \frac{qV_{opt}}{KT}\right) e^{qV_{opt}/KT} = 1 + \frac{I_{ph}}{I_s} \quad (1.11)$$

A partir des expressions (1.10) et (1.11) le courant correspondant s'écrit :

$$I_{opt} = I_s \frac{qV_{opt}}{KT} e^{qV_{opt}/KT} \quad (1.12)$$

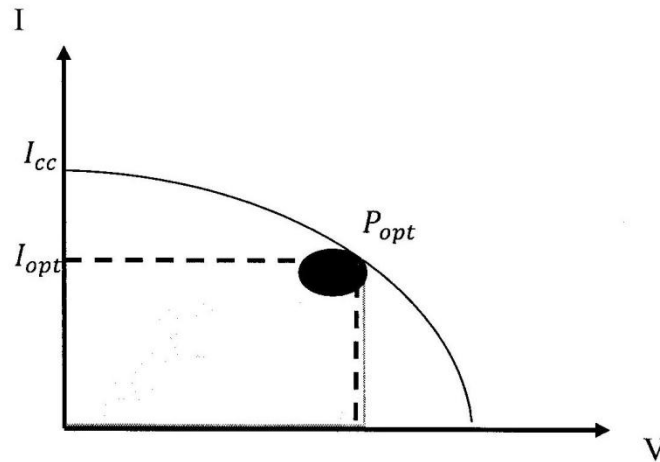


Figure I.6. Puissance débitée par une photodiode

### 1.7. Influence des données et les paramètres intrinsèques [4]

En plus de l'éclairement et de la température qui ont une influence très importante sur la caractéristique (I-V) du module PV, donc sur ces performances électriques, nous avons encore une influence des paramètres intrinsèques de la cellule PV sur la caractéristique (I-V) et à savoir la résistance série  $R_s$  et la résistance shunt  $R_{sh}$ , la mise en évidence sur cette est très importante du moment où elle va nous donner une idée sur l'évolution des points de puissance maximale en fonction de ces influences au cours du temps.

1.7.1. Influence de l'éclairement

Nous avons vu plus haut que le courant de court-circuit est pratiquement égal au photo courant, lui même directement proportionnel à la surface éclairée et à l'irradiante pour un spectre donné. Mais qu'en est-il de la tension du circuit ouvert ? L'équation caractéristique s'écrit pour un courant d'utilisation nul :

$$I_{ph} = I_0 \left( \exp \frac{q(VR_s I)}{nKT} - 1 \right) - \frac{(v + R_s I)}{R_{sh}} \tag{1.13}$$

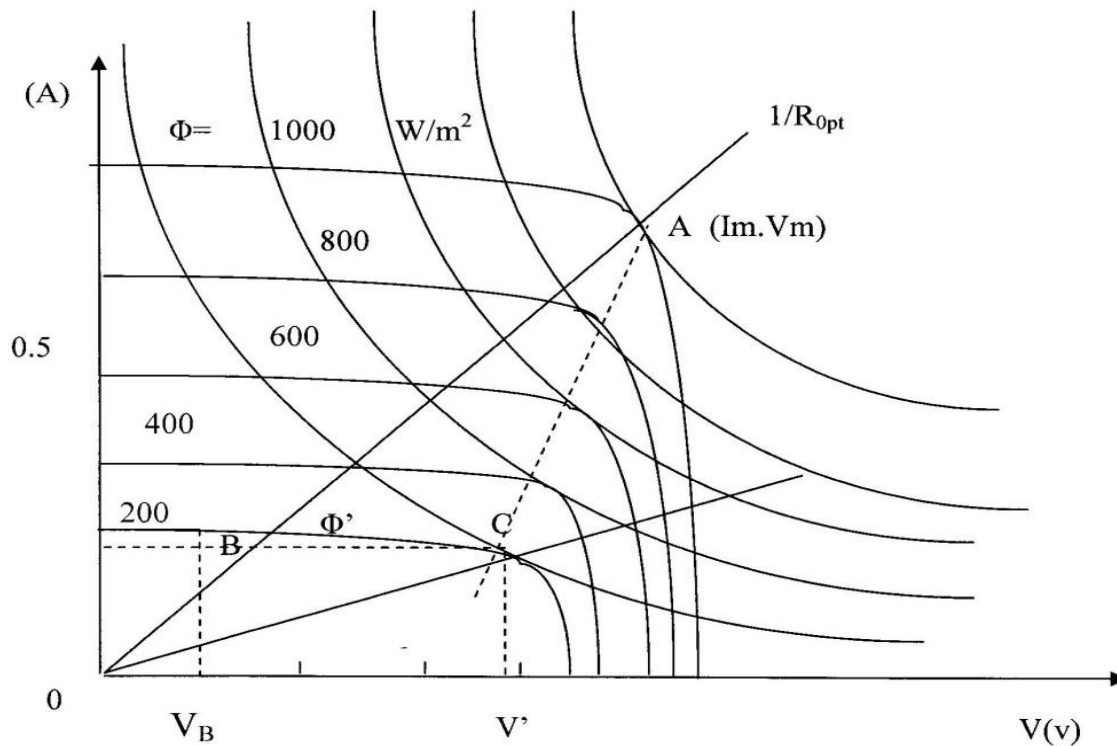


Figure I-7 influence du flux lumineux sur la courbe de puissance d'une photopile (T=28°C)

Si l'on a  $R_{sh}$  infinie et  $R_s$  nulle, l'équation donnant la tension de circuit ouvert

$$V_{0c} = \left( \frac{KT}{q} \right) \ln \left( \frac{I_{ph}}{I_0} \right) \tag{1.14}$$

On voit donc que la tension du circuit ouvert est proportionnelle au logarithme de l'irradiance. Le réseau de courbes de la figure 1.7 met en évidence le problème de l'adaptation d'impédance en fonction de l'éclairement.

En particulier, pour une charge résistive, il est clair qu'une parfaite adaptation d'impédance ne peut s'obtenir que pour une seule valeur de l'éclairement.

On constate aussi que les points de puissance optimale se situent sur une courbe dont l'allure est assez proche d'une droite verticale (courbe en pointillé).

En résumé la variation des paramètres de la photopile ( $V_{oc}$  et  $I_{cc}$ ) avec le niveau d'éclairement a montré que deux principales remarques à savoir:

- La tension en circuit ouvert reste pratiquement constante sauf au début de la journée quand la cellule est initialement éclairée.

- Le courant de court-circuit varie proportionnellement avec l'éclairement.

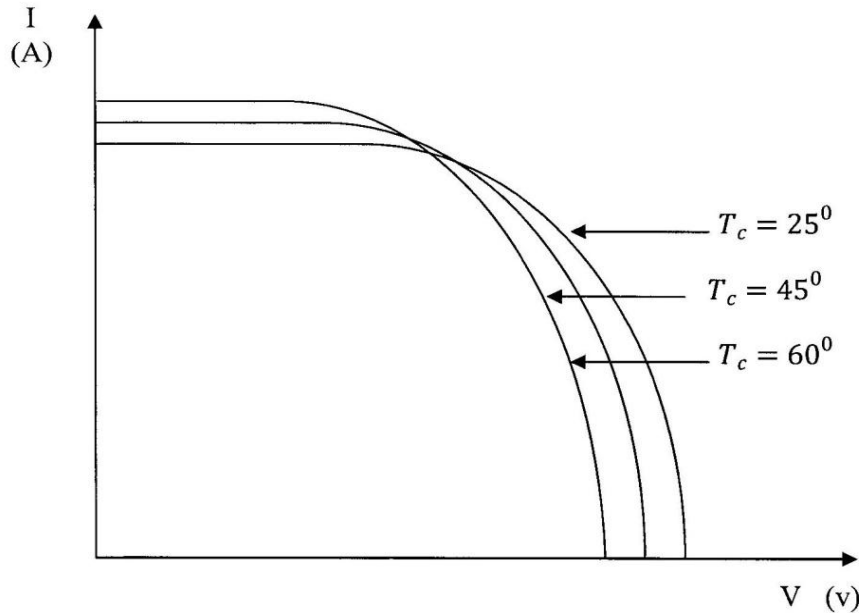
### 1.7.2. Influence de la température

La température est un paramètre important dans le comportement des photopiles, ne serait-ce que parce qu'une cellule exposée à une irradiance de  $1 \text{ kW/m}^2$  n'en transforme en électricité que 12% au plus, le reste étant réfléchi ( 6 à 8 % ) ou dissipé en chaleur(80 à 82%).

Ainsi, si la photopile n'est pas correctement ventilée, elle peut monter très haut en température et ses performances électriques peuvent se dégrader. La figure 1.8 montre l'influence de la température sur la courbe de puissance d'une photopile.

On observe une augmentation du photo courant, notamment à cause de la diminution de la largeur de la bande interdite. Cette augmentation est de l'ordre de 25

$\mu\text{A/cm}^2 \cdot ^\circ\text{K}$ , soit une variation de  $+ 0.1\% /^\circ\text{K}$



**Figure I.8.** Influence de la température sur la courbe de Puissance d'une photopile ( $\Phi = 1 \text{ kW}^{-2}$ ).

En même temps, on assiste à une augmentation notable du courant direct de diode, entraînant une diminution nette de la tension de circuit ouvert (environ  $-2.2 \text{ mV}/^\circ\text{K}$ , soit une variation relative de  $-0.4 \text{ }^\circ\text{K}$ ).

L'augmentation de la température se traduit donc au total par une baisse relative de la puissance disponible de  $-0.35 \text{ }^\circ\text{K}$  et par une légère modification de la valeur de la charge permettant d'extraire cette puissance maximale.

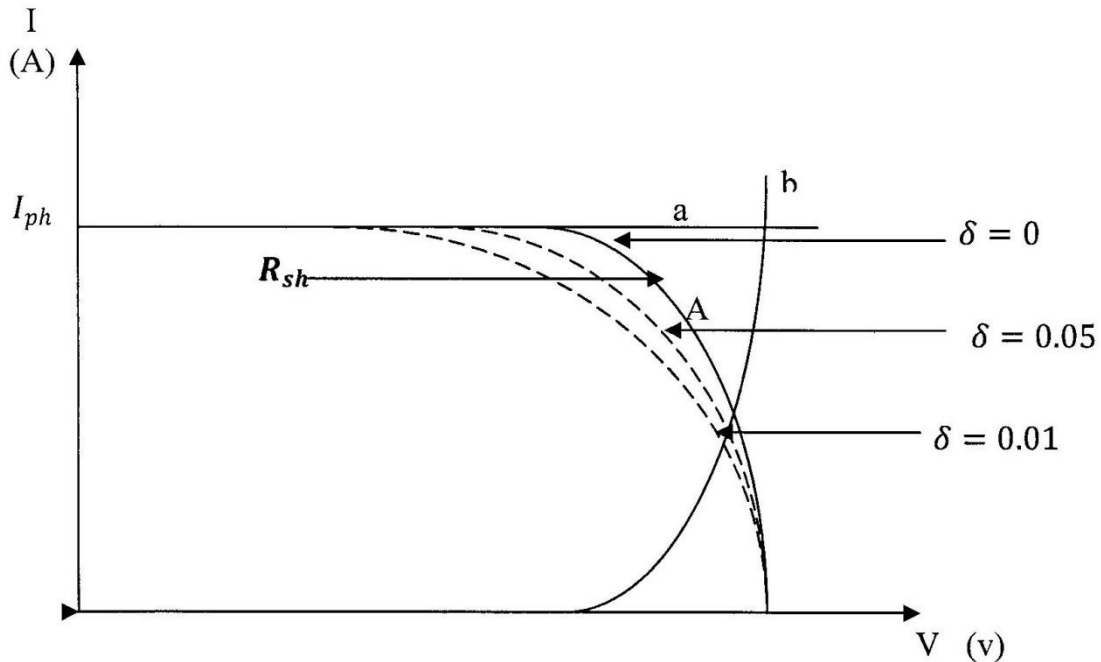
### 1.7.3. Influence de la résistance série

La résistance série agit sur la pente de la caractéristique dans la zone où la photodiode se comporte comme un générateur de tension Figure 1.9.

Elle ne modifie pas la tension de circuit ouvert, mais lorsqu'elle est anormalement élevée, elle peut diminuer notablement la valeur du courant de court circuit.

La valeur de la résistance est gouvernée par la résistivité du matériau, par les résistances de contact des électrodes et par la résistance de la grille collectrice, trois facteurs que nous apprendrons à distinguer,  $\rho = 8 \text{ m}\Omega/\text{cm}^2 = 8.05 \text{ m}\Omega/\text{cm}^2$

$\delta$ : La résistivité du matériau



**Figure I.9.** Influence de la résistance série sur la caractéristique d'une photodiode

#### 1.7.4. Influence de la résistance shunt

Il s'agit le plus souvent d'une conductance de fuite. C'est comme si l'on devait soustraire au photo courant, outre le courant de la diode, un courant supplémentaire proportionnel à la tension développée. La résistance shunt est en général très élevée.

On peut facilement percevoir une anomalie à la lecture de la caractéristique par la présence d'une légère pente au voisinage du point du courant de court-circuit. Une résistance shunt trop faible aura un impact sur la tension de circuit ouvert de la photopile en outre, la résistance shunt d'une photopile est trop faible et ne donnera plus de tension sous faible éclairement figure 1.10.

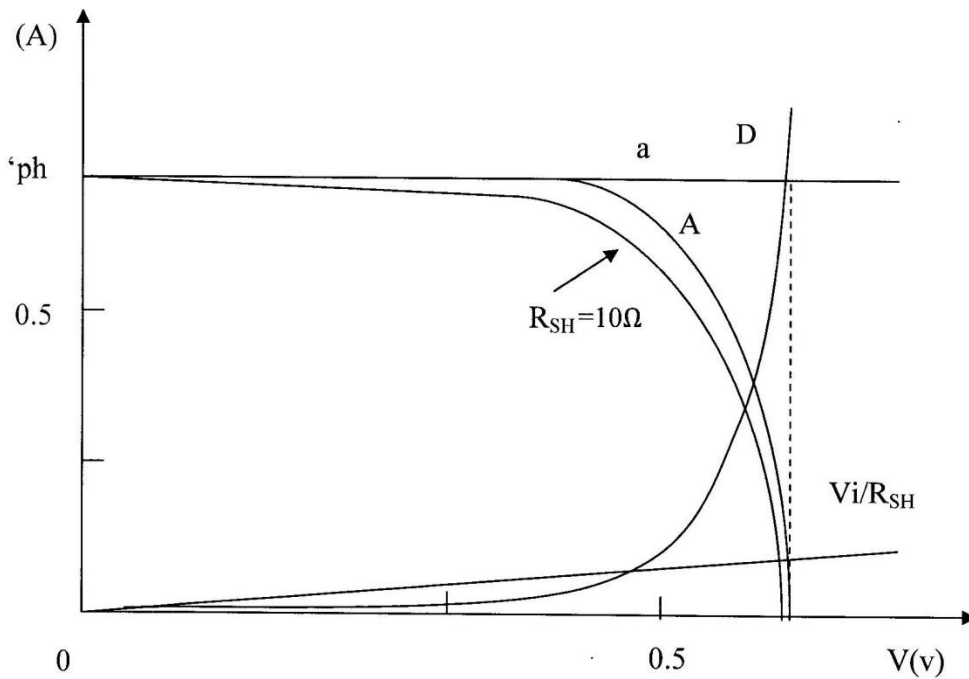


Figure I.10. Influence de la résistance shunt sur la caractéristique d’une photodiode

1.7.5. Influence de l’irradiance [4]

Irradiance de cellule va modifier la caractéristique I- V, non dans la forme générale mais pour les valeurs I<sub>CC</sub>, V<sub>CO</sub> et le produit I<sub>m</sub>. V<sub>mi</sub> la figure 1.11 présente des courbe de caractéristique I-V obtenue pour la cellule de la figure 1.4 pour diverses irradiance Ø ; la température étant 25°; L’équation (1.1) précise que I<sub>CC</sub> décroît proportionnellement aØ.

Les courbes de la figure I.10. Est obtenu a partir de l’équation (1.2), la courbe (a) ce décalent vers les faibles valeurs du courant lorsque l’irradiation Ø diminue. La courbe (b). Il en résulte une légère diminution de la tension de circuit ouvert V<sub>CO</sub> Lorsque Ø diminue. Cette variation est logarithmique comme on peut le déduire de l’équation (1.1) s’écrit :

$$\alpha(T) \cdot \text{Ø} \cdot S = I_{ph} = \beta(T) \cdot S \cdot [\exp \gamma (T) \cdot V_{co} - 1 ] \tag{1.15}$$

$$V_{co} = \frac{1}{\gamma(T)} \ln \left( \frac{\alpha(T)}{\beta(T)} \cdot \text{Ø} + 1 \right) \tag{1.16}$$

L'équation (1.15) rappelle également que la tension du circuit ouvert est indépendante de surface  $S$  de la cellule et n'est fonction que du matériau et du type de jonction considéré au travers des trois paramètres  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$

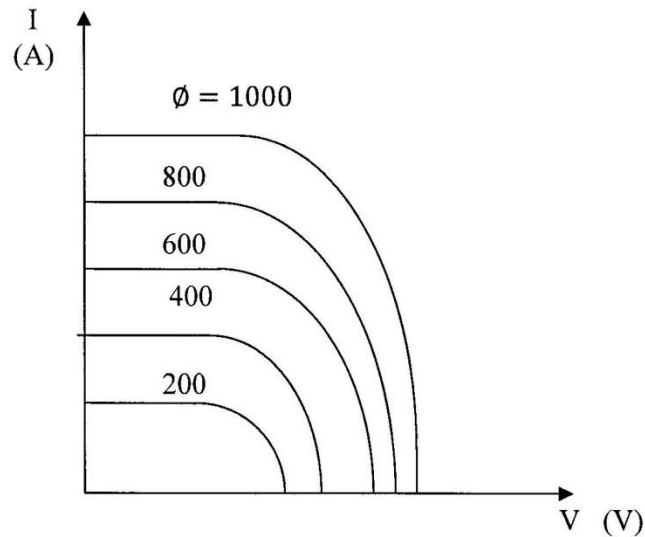


Figure I.11. Influence de l'irradiance :

### 1.8. Le Module photovoltaïque [1]

La puissance d'une cellule photovoltaïque est faible; pour cela, il faut associer un plus grand nombre de cellules pour obtenir une puissance plus élevée. Les cellules associées et encapsulées forment ce qu'on appelle un module photovoltaïque. Afin d'augmenter donc la tension d'utilisation, les cellules photovoltaïques sont connectées en séries, la tension nominale habituelle est entre 14 et 16 volts et les modules connectés généralement en série auront 36 cellules. De plus la fragilité au bris et à la corrosion exige une protection envers leur environnement et celle-ci sont généralement encapsulés sous verres et sous composé plastique le tout est appelé module série photovoltaïque.

Pour former une unité standard de génération d'énergie électrique de tout système photovoltaïque. Le module photovoltaïque est donc considéré comme la partie élémentaire du champ. Le champ photovoltaïque est constitué par une connexion série-parallèle de plusieurs modules. Dans les problèmes de simulation des systèmes

photovoltaïques, seuls les caractéristiques d'un module sont nécessaires pour déterminer la puissance totale du champ. En général, un module photovoltaïque est défini par sa caractéristique courant-tension pour des conditions radio métriques bien définies.

### **1.8.1. Notion de puissance crête (WC) et de la température d'utilisation**

La puissance crête exprimée en watt crête (WC) d'un module photovoltaïque est la puissance électrique maximale qu'il peut fournir, dans les conditions de mesure normalisées suivantes:

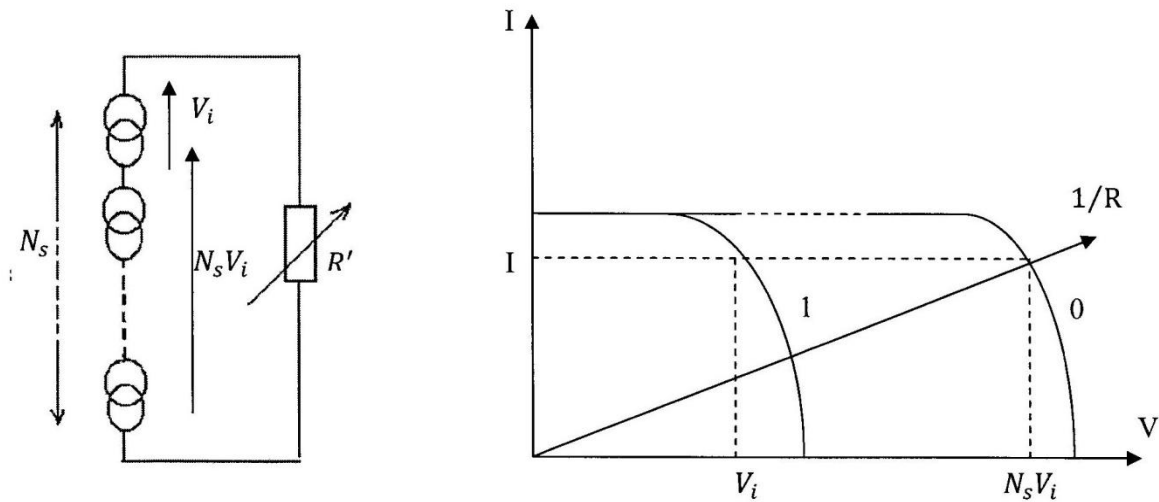
- Lorsqu'il est connecté à sa charge optimale;
- Lorsqu'il reçoit du soleil de 1000 Watt /m<sup>2</sup> , c'est une puissance qui correspond - approximativement à une exposition perpendiculaire aux rayons du soleil à midi par temps clair. - Lorsque la température à la jonction des cellules constituant le module PV est de 25° C.

On constate bien qu'il s'agit des conditions idéales conventionnelles, qui sont très rarement remplies dans la pratique, d'où l'importance d'effectuer des tests de caractérisation des modules outdoor et dans les conditions réelles d'exploitation pour déterminer les performances de ces modules PV en fonctionnement.

### **1.8.2. Groupement de cellule photovoltaïque en série**

La tension générée par une photodiode est limitée à la valeur du gap du matériau duquel elle est issue. Typiquement, la tension d'extraction de la puissance maximale d'une cellule au silicium cristallin vaut environ 475 mV dans les conditions standards. Cependant, pour obtenir par exemple une tension compatible avec la charge d'une batterie d'accumulateurs au plomb de 12 V, on doit assembler au moins 34 cellules en série.

En effet, la tension de fin de charge d'un élément de batterie au plomb est de 2.42 V, ce qui impose une tension maximale au niveau de la batterie de 14.5 V. La caractéristique courant tension d'un groupement quelconque de photopiles sera homothétique de la courbe (I-V) d'une cellule PV de base.



**Figure I.12.** Groupement de cellules en série.

En conséquence, tout ce qui a été dit pour une cellule reste valable pour un groupement de cellules. Le courant généré par  $N$  générateurs en série étant le même dans toute la branche, on prendra soin de ne connecter en série que des cellules identiques ayant une même densité de courant, d'où la nécessité en production de tester toutes les cellules et de les classer en fonction de leur rendement. La figure 1.12 présente la courbe I-V du groupement ainsi réalisé. La caractéristique résultante est obtenue en multipliant point par point et pour un même courant la tension individuelle par  $N$ . En particulier, l'impédance optimale du groupement sera  $N$  fois plus grande que celle de la cellule de base. Les résistances séries s'ajoutent et les résistances parallèles s'ajoutent également. Comme l'augmentation de la résistance série est synonyme de perte de puissance, on se souciera donc en priorité de la résistance d'interconnexion des cellules dans un assemblage série.

Le facteur de forme d'un module ne peut en général pas être meilleur que celui de ses éléments constitutifs. En fait, il se rapprochera de celui de la plus mauvaise des cellules PV.

### 1.8.3. Groupement de cellule photovoltaïque en parallèle

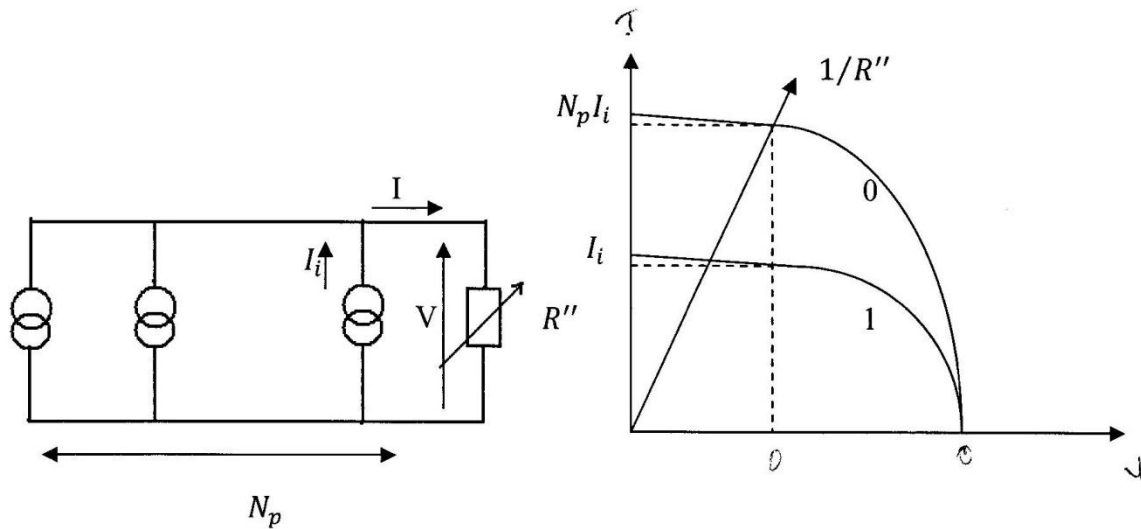


Figure I.13. Groupement de cellules en parallèles.

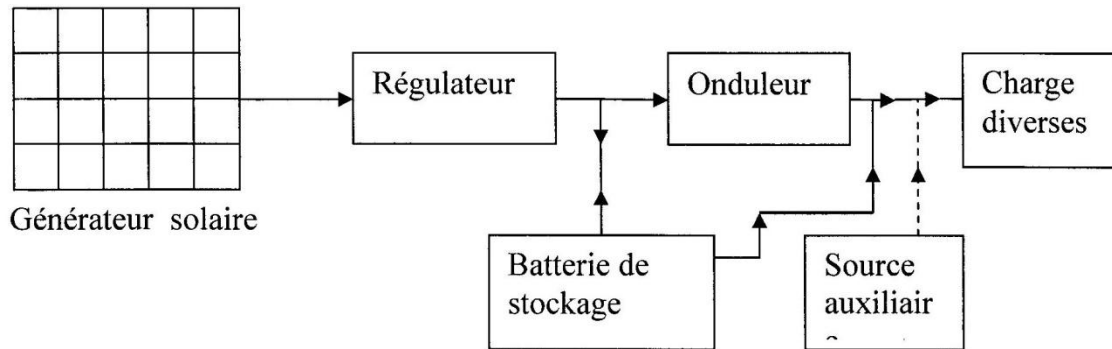
La figure 1.13 présente la courbe (I-V) d'un groupement de  $N_p$  cellules ou de  $N_p$  modules en parallèles. Cette fois-ci, c'est la tension de chacun des éléments qui doivent être identique, les courants s'ajoutant, la nouvelle courbe est obtenue en multipliant point par point et pour chaque valeur de tension, le courant de la cellule élémentaire par  $N_p$ . L'impédance optimale du groupement sera  $N_p$  fois plus faible que celle de l'élément de base. Ce sont les inverses des résistances séries qui s'ajoutent, ainsi que les conductances shunts. Pour rendre les photopiles plus pratiques d'utilisation, ces dernières sont connectées puis encapsulées hermétiquement dans une structure rigide appelée module.

L'encapsulation a pour rôle une meilleure combinaison de la puissance des photopiles, l'obtention d'une rigidité mécanique, la protection contre les agressions de l'environnement, l'isolation électrique et enfin l'amélioration de la durée de vie. Cette dernière devra atteindre 20 ans

## 1.9. Description d'un système photovoltaïque (PV)

### 1.9.1. Définitions [7]

Les systèmes photovoltaïques autonomes ont été les premiers à être mis au point et sont les plus utilisés [6, 19]. La configuration générale de tels systèmes est représentée par le schéma synoptique de la figure II.14.



**Figure I.14.** Structure d'un système photovoltaïque autonome et ses modes de couplage

Les systèmes PV sont généralement composés d'un champ photovoltaïque, d'un régulateur de charge, d'une batterie d'accumulateur, d'un convertisseur DC/AC et de charges diverses. On peut représenter le système PV par la structure illustrée par la figure 1.14.

Les éléments essentiels constituant un système photovoltaïque sont :

- **Le générateur**

Le générateur photovoltaïque est un assemblage série parallèle de modules photovoltaïque (panneau photovoltaïque), de telle façon à atteindre la puissance d'alimentation désirée les caractéristique et la protection des panneaux solaire plus en détail a été ulistre dans le chapitre II (module solaire)

- **La charge**

La charge est l'équipement électrique alimentée par le système elle est caractéristique par sa courbe de charge qui représente la puissance demandée en fonction du temps figure 1.15.

Cette charge peut être du type continu ou du type alternative dans ce cas il y en nécessite un onduleur et même un hacheur pour satisfaire la demande.

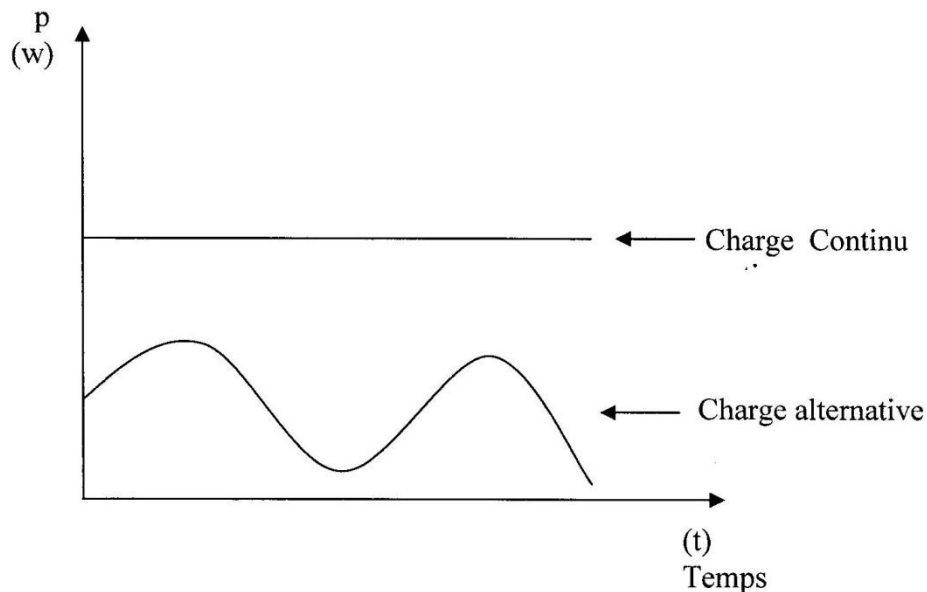


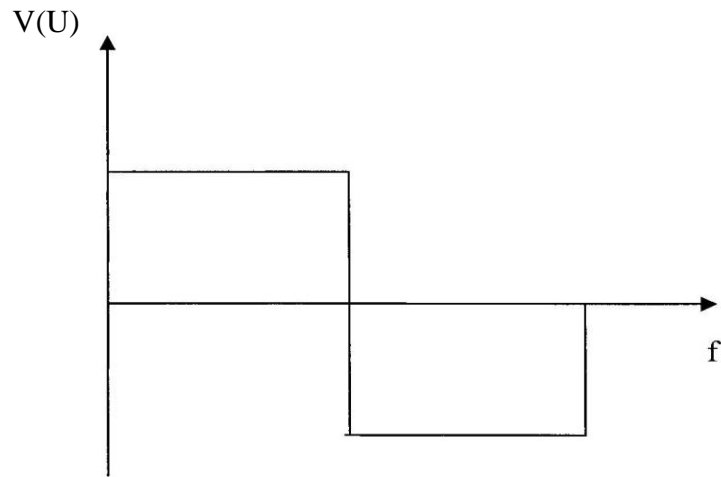
Figure I.15. Caractéristique  $P = f(t)$

- **L'onduleur ou hacheur**

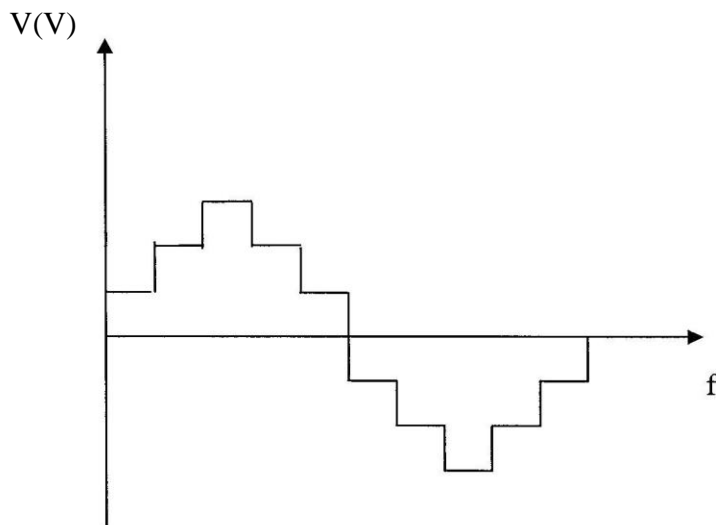
- **L'onduleur**

L'onduleur est un convertisseur statique capable de transformer l'énergie électrique d'une source à tension continue, en énergie à tension alternative.

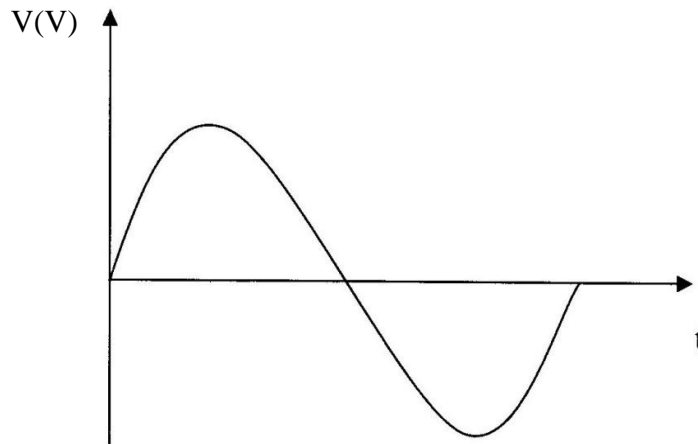
Un onduleur est dit autonome lorsqu'il fonctionne indépendamment d'un réseau alternatif. Les onduleurs sont de trois types, déterminés par l'ordre de sortie qu'ils produisent : onde carrée, onde sinusoïdale modifiée telle qu'illustré à la figure suivante :



**Figure I.16.** Onduleur a onde carrée



**Figure I.17.** Onduleur a onde sinusoïdale modifiée



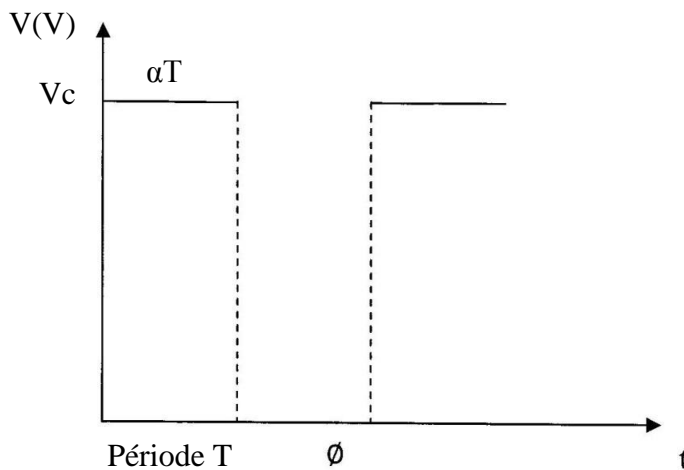
**Figure I.18** Onduleur a onde sinusoïdale

➤ **Le hacheur**

Le hacheur est un convertisseur statique capable de transformer d'énergie électrique d'une source à tension continue fixée en énergie à tension continue réglable.

Les hacheurs sont de deux types déterminés par leur position devant la charge :

❖ **Hacheur série**

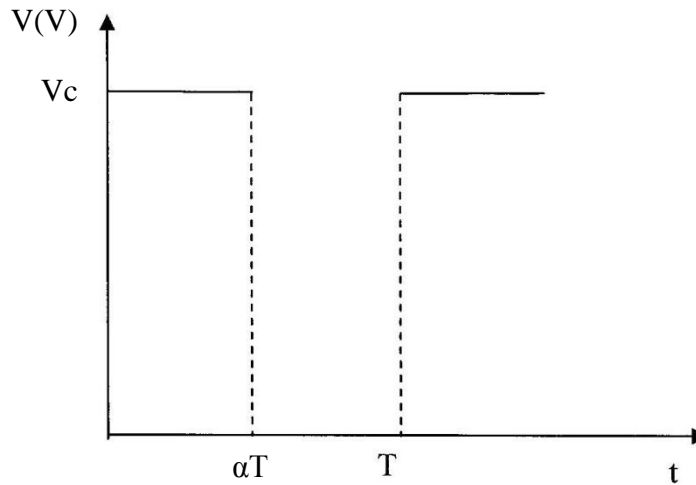


**Figure I.19.** Hacheur série

L'interrupteur qui découpe la tension continue fonctionne avec l'un des trois procédés suivants :

- a) Fréquence fixe durée de conduction variable
  - b) Fréquence variable durée de conduction fixe
  - c) Fréquence et durée de conduction variable
  - d) La valeur moyenne de la tension vaut :  $U_C = \alpha V$
- Il est abaisseur de tension éleveur de courant
  - Le lissage du courant est assuré par une inductance et par une diode de récupération

#### ❖ Hacheur parallèle



**Figure I.20.** Hacheur parallèle.

- Dans le montage parallèle la valeur moyenne de la tension de sortie vaut

$$U_c = 1/[1 - \alpha] \cdot V$$

Avec :

V: La tension de source

On voit que la valeur de  $U_C$  dépend du rapport cyclique ( $\alpha$ ) Avec :

$\alpha$  : Réel compris entre 0 et 1

→ Il est élévateur de tension, abaisseur de courant le générateur c'entré est un générateur de courant le lissage du courant est obtenu par une capacité et par une diode de blocage.

- **Les batteries [3]**

Un système photovoltaïque assure sa propre énergie par la conversion de l'énergie du flux solaire a une énergie électrique qui variable dans le temps et avec les conditions climatique, dans la pratique, les consommateurs ont une demande d'énergie bien définie dans le temps par des courbe de charge pour satisfaire ce besoin un système de stockage d'énergie est nécessaire assurer les fonctions suivantes :

- ✓ Conserve une partie d'énergie pour l'utilisé.
- ✓ er dans la nuit .
- ✓ Alimenté le consommateur en cas de forte demande d'énergie .
- ✓ Imposer une tension de travail constante.

- **Différents types de batteries**

Plusieurs types de batteries sont disponibles sur le marché (tableau 1-1). Les deux principaux sont les accumulateurs au plomb et les accumulateurs alcalins au nickel-cadmium.

Les batteries au plomb sont plus répandues et moins coûteuses tandis que celles au nickel-cadmium, sont fiables mais leur coût élevé limite leur utilisation à grande échelle.

➤ **Paramètres caractéristiques de la batterie**

Le fonctionnement de la batterie dépend essentiellement de son état de charge, de la température, de la concentration de l'électrolyte et de la résistance interne de l'élément de batterie.

Il est donc indispensable, pour étudier le comportement d'une batterie dans un système photovoltaïque, de connaître son état de charge à chaque instant.

La concentration de l'électrolyte est le meilleur indicateur de l'état de charge d'une batterie, mais reste toutefois difficile à mesurer.

<b>ARACTERISTIQUES</b>	<b>Plomb</b>	<b>Nickel-cadmium</b>
<b>Capacité nominale Ah/élément à 25°C</b>	500-1500	10-400
<b>Tension de décharge minimale V/élément</b>	1.75	1.0
<b>Tension nominale par Elément</b>	2.45 varie avec le SOC	1.25 constante avec le SOC
<b>Rendement énergétique nominal en %</b>	70-80	60-70
<b>Nombre de cycles pour 80% de décharge</b>	1000-1500	1 500-2000
<b>Densité d'énergie Wh/kg</b>	20-50	30-35
<b>Maintenance requise</b>	remplacement d'eau, protection contre les températures extrêmes	remplacement de l'eau occasionnel
<b>Contrôle de la charge</b>	sensible à la surcharge	peut accepter 5-10% de surcharge
<b>Coût \$/kWh (en 1983)</b>	165-250	300-1000

**Tableau I.1.** Différents types de batteries

Néanmoins, il a été montré expérimentalement que la tension de charge fluctue presque linéairement avec l'état de charge et sera donc un bon indicateur. Pour son

utilisation, la batterie est définie par trois paramètres caractéristiques: la capacité, la tension aux bornes et le rendement. On définit donc les différents paramètres caractérisant un élément de batterie.

#### **- Capacité de stockage**

La capacité d'un élément de batterie est la quantité d'électricité exprimée en ampères-heures qu'il est capable de restituer après avoir reçu une charge complète.

#### **- Tension aux bornes**

Dans la littérature, on trouve les courbes qui donnent la variation de la tension aux bornes d'un élément de batterie pendant la charge et la décharge. La résistance interne de l'élément influe beaucoup sur cette tension car elle varie avec son état de charge. En effet, cette résistance se compose de la résistance des constituants et de la résistance de polarisation.

#### **- Rendement de la batterie**

Ce paramètre exprime le pourcentage de la quantité d'énergie électrique qui peut être récupérée. Les accumulateurs au plomb ont un rendement qui varie entre 70 et 80%.

La température et le temps de stockage ont des effets similaires sur la capacité et le rendement d'une batterie. En effet, aux faibles températures les éléments de batterie perdent une part importante de leur capacité par suite de l'augmentation de la viscosité de l'électrolyte, qui limite les phénomènes de diffusion, et l'augmentation de la résistivité de l'électrolyte, la tension de décharge est diminuée et la puissance est réduite. La capacité et le rendement diminuent avec le temps à cause du courant d'autodécharge. Pour limiter cette perte de puissance, les plaques positives contiennent une faible quantité d'antimoine.

- **Régulateur**

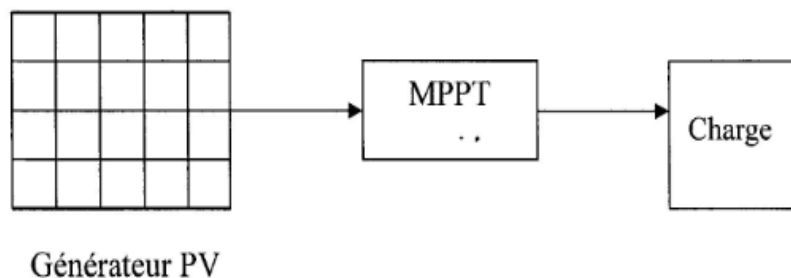
La batterie d'accumulateur est l'un des éléments les plus fragiles d'un système photovoltaïque, une charge excessive entraîne un dégagement gazeux, ce qui provoque l'oxydation des électrodes de même une décharge profonde provoque la sulfatation des électrodes qui empêche toute recharge.

Afin contrôler au mieux les conditions de charge et décharge, on intercale entre le générateur et la batterie d'accumulateur un dispositif de régulation appelé régulateur de charge.

Les principales fonctions assurées sont :

- **Fonction principale d'un régulateur**

- La limitation de la charge de la batterie en mettant hors circuit le générateur photovoltaïque.
- Le contrôle de fin de décharge par délestage de l'utilisateur afin d'éviter la décharge complète les régulateurs les plus utilisés se basent généralement sur la tension des batteries comme indicateur de l'état de charge afin de protéger les systèmes, il faut vérifier que les points de charge et décharge soient bien ajustés.



**Figure I.2.1** Schéma de principe pour l'optimisation du générateur PV

Le rôle du circuit MPPT, et, une fois le point de puissance de puissance maximal (MPPT) est identifié l'adapter au point de fonctionnement de la droite de la charge, toute la recherche actuelle sur l'optimisation des systèmes PV et par conséquent des générateurs PV revient essentiellement à concevoir des circuits électronique MPPT et le l'insère au niveau de l'onduleur.

De plus, et du fait que le rendement industriel des modules PV reste stagné pendant ces dernières années, la recherche sur l'optimisation des systèmes PV s'oriente vers l'amélioration des rendements des récepteurs (lampe à haut rendement, motopompe à haut rendement, etc....).

### **I.10. Conclusion**

Qu'on a présenté dans ce chapitre les caractéristiques d'un générateur photovoltaïque ainsi les différents éléments d'un (SPV). Dans le but de dimensionner le système et étudier l'influence des paramètres du (GPV) sur les gammes de son fonctionnement optimal et satisfaire les besoins énergétique de la charge utilisée et comment assurer cette énergie dans de temps.

Dans le 2ème chapitre on représente un exemple d'application du PV qu'est le pompage.



**CHAPITRE II**  
**POMPAGE**

## II.1. Introduction

Les systèmes de pompage les plus répandus fonctionnent selon le principe du « file du soleil » c'est-à-dire sans réserve d'énergie, le débit de l'eau étant directement proportionnel à l'énergie lumineuse reçue cette disposition offre une grande facilité d'installation, un meilleur rendement global, en définitive, un coût plus bas que les systèmes utilisant batterie et régulateur.

Un système au « fil du soleil » comprend essentiellement un générateur photovoltaïque et une électropompe .il est complétée d'un onduleur lorsque la pompe est à courant alternatif.

## II.2. Le groupe électropompe [4]

Un groupe électropompe est composé d'un moteur électrique, cette dernière étant appelée généralement « hydraulique ».les deux composants fixés l'un sur l'autre constituent un ensemble homogène compact.

Le moteur est à courant continu ou alternatif, l'hydraulique est de type volumétrique ou centrifuge . Selon les configurations, le groupe électropompe est situé, soit en surface, soit immergé au fond du puits ou du forage.

### II.2.1. Equipement pour l'adaptation électrique des électropompes au photovoltaïque

#### • Onduleur

Les électropompes à courant alternatif nécessitent l'usage d'un onduleur (convertisseur de courant continu en courant alternatif), le modèle le plus répandu est l'onduleur triphasé à puissance et fréquence variable, il permet d'adapter le générateur photovoltaïque et l'électropompe au point de fonctionnement optimal et ainsi d'optimiser la taille du générateur.

Le rendement de ce type d'onduleur est de l'ordre de 95 et leur puissance standard est de 1500VA toute fois des modèles plus puissants existent (4KVA).sa durée de vie moyenne est évaluée a7 ans.

#### • Adaptateur d'impédance

C'est un petit système électronique qui permet d'accorder l'impédance entre les modules et l'électropompe de telle façon que la valeur de sortie du générateur PV soit à son niveau maximal.

### II.3. Les différents systèmes de pompage et leur application [5]

Il est possible de classer les système de pompage aussi bien avec des critères de ressources en eau , qu'avec des critères d'utilisation (alimentation en eau potable, irrigation) ou encore avec des critères sociaux (usage individuel ,collectif).

Pour simplifier ce classement nous allons distinguer trois principales application auxquelles vont correspondre trois type de système

- Le pompage collectif sur forage.
- Le pompage des eaux de surface pour l'irrigation
- Le pompage domestique.

Eléments caractéristique d'un système de pompage photovoltaïque :

- La puissance crête du générateur PV(WC);
- Le débit  $Q$  que le système fournit quotidiennement (en mo) en fonction de l'irradiation quotidienne  $I_r$  (en KWh/m<sup>2</sup>j) ;
- La hauteur manométrique totale (HMT);
- La tension de fonctionnement.
- Le débite est une valeur qui varie en fonction de la puissance du générateur et de la HMT à couvrir.

### II.3.1. Le pompage sur forage

Ces systèmes permettent alors de fournir de l'eau potable à des villages. Ils fonctionnent généralement au fil du soleil et impliquent l'installation d'un réservoir.

La configuration classique comprend :

- Un champ de module photovoltaïque de 7 à 80 modules silicium cristallin de 50Wc ;
- Une électropompe centrifuge immergée à courant alternatif ;
- Un onduleur triphasé ;
- Un réservoir.

### II.3.2. Le pompage de surface pour irrigation

La configuration classique comprend : -Un champ photovoltaïque de 300 à 3000 WC -Une électropompe centrifuge flottante à courant continu

### II.3.3. Le pompage domestique

La configuration classique comprend :

- Quelques modules cristallins (1 à 4 modules de (50Wc))
- Une électropompe de surface à courant continu
- Une réservoir

Ces systèmes fonctionnent soit au fil du soleil avec adaptateur d'impédance, soit sur batterie.

La gamme couvrant de HMT de quelque mètre (15m maximum), les débits de ces petits système sont de quelque mètres cubes par jour .Le générateur qui convient à ce type d'utilisation excède rarement 100 à 200 WC. L'utilisation de système mixte (pompage + électricité) permet une meilleure rentabilité de ces pompes solaires.

**II.4. Besoins en énergie et dimensionnement d'un système pompage [6]****II.4.1. Identification des besoins**

L'identification des besoins consiste à déterminer ou évaluer :

- La quantité d'eau nécessaire (pour une utilisation donnée);
- La profondeur à laquelle l'eau doit être pompée ;
- La hauteur à laquelle l'eau doit être remontée (hauteur du château d'eau, par exemple).

La distance à laquelle l'eau doit être transportée.

- Déterminer la quantité d'eau nécessaire chaque jour

Hydraulique villageoise	Seuil de service Niveau de Subsistance Seuil de développement	5 litres/personne 20 litres/personne (objectif Unicef) 20 litres/personne
Hydraulique pastorale	Chèvres /mouton Porcs bovins chevreaux ânes/chameaux	1 à 5 litres (suivant la saison) 5 à 10 litres 10 à 50 litres (suivant la saison) 30 à 50 litres 20 litres (chameaux+ de 100 litres par prise)
irrigation	Maraichage Riz Mais Tomate Pommes de terre Café	6 à 9 litres/m <sup>2</sup> 9 l/m <sup>2</sup> (moyen) ; 13 à 15 l/m <sup>2</sup> (point) 5 l/m <sup>2</sup> (moyen) ; 6 à 10 l/m <sup>2</sup> (pointe) 5 l/m <sup>2</sup> (moyen) ; 10 l/m <sup>2</sup> (pointe) 3 l/m <sup>2</sup> (période froide) 5,5 l/m <sup>2</sup>
Efficience de l'irrigation (1l/m <sup>2</sup> ⇔ 10m <sup>3</sup> /ha)	Planche Billons Aspersion Arrosoir Gruotte à goutte	60%(moyen) ; 80 à 30 %(extrêmes) 55%(moyen) ; 70 à 40 %(extrêmes) 65%(moyen) ; 80 à 50%(extrêmes) 80%(moyen) ; 90 à 50%(extrêmes) 90%(moyen) ; 95 à 70%(extrêmes)

**Tableau II.1.** Besoins quotidien d'eau

L'efficience représente le taux de volume d'eau qui est utilities par les plantes en tenant complet des pertes par évaporation, infiltration dans les canaux, etc.

Type d'utilisation	caractéristique	besoins quotidiens
Petit village	300 habitons	6 m <sup>3</sup> /j
Gros village	1500 habitants	35 m <sup>3</sup> /j
Petit troupeau	30 zébus, 50 ovins	1 m <sup>3</sup> /j
Gros troupeau	400 zébus ,500 ovins	12 m <sup>3</sup> /j
Petit jardin	0.1 ha	8 m <sup>3</sup> /j(en pointe)
Gros jardin (collectif)	1 ha	80 m <sup>3</sup> /j(en pointe)
Rizière	10 ha	1 100 m <sup>3</sup> /j(en pointe)

**Tableau II.2.** Besoin quotidien d'eau

- **Profondeur de pompage**

Le niveau de l'eau dans un puits ou dans un forage varie lorsque l'on pompe. Plus le pompage est fort et plus le niveau est bas. Il convient donc de connaître le niveau dynamique de l'eau. La valeur donnée du niveau dynamique est à rapporter à un certain débit de pompage. Le niveau dynamique peut également être donné par la somme de deux valeurs : celle du niveau statique de l'eau et celle du rabattement qui mesure la baisse du niveau de l'eau pour un débit donné.

Les forages à gros débit présentent un faible rabattement de leur niveau durant le pompage. Par contre les puits et le forage à faible débit peuvent présenter des baisses de niveau très importantes qui vont jusqu'à les assécher.

Il est absolument impératif de bien connaître les caractéristiques du point d'eau sur lequel sera installée la pompe solaire, il faut faire des essais de pompage avant d'installer la pompe.

- **Hauteur d'eau à relever**

Lorsque l'eau est pompée, elle est généralement relevée au-dessus du niveau du sol, dans un château d'eau. Cette hauteur d'eau est à relever au dessus du sol par la différence d'altitude entre la surface de l'eau et le champ

- **Distance d'approvisionnement**

La longueur des tuyauteries fait également partie du dimensionnement. En effet le choix de cette longueur joue sur la valeur des pertes de charge, pertes qui sont dues au frottement de l'eau dans les tuyaux. Les pertes charge consomment de l'énergie et doivent par conséquent être prises en compte lors du calcul de l'énergie totale consommée ainsi que lors du calcul de la section des tuyaux.

- **Hauteur manométrique totale(HMT)**

Une électropompe en fonctionnement doit fournir une somme de travaux pour :

- Aspirer l'eau à une certaine profondeur 'si elle n'est pas immergée);
- Refouler cette eau à une certaine hauteur ;
- Vaincre les pertes par frottements dans tuyaux.

#### **II.4.2. Le travail à fournir par la pompe est exprimé en hauteur géométriques**

✓ Hauteur géométrique d'aspiration : différence d'altitude entre le pompe et le niveau de l'eau (elle est nulle quand la pompe est immergée).

✓ Niveau statique : hauteur entre le niveau du sol et le niveau de l'eau stabilisé après une longue période de pompage.

✓ Rabattement : hauteur entre le niveau statique et le niveau dynamique atteint par l'eau du puits durant le pompage (le niveau de l'eau descend dans le puits lors du pompage).

✓ Hauteur géométrique de refoulement : différence d'altitude entre la fin de la tuyauterie (la sortie de l'eau) et le niveau du sol ; la somme de ces hauteurs est appelée hauteur géométrique totale (HGT). C'est la différence d'altitude entre la sortie de l'eau à l'air libre et le niveau dynamique de l'eau dans le puits, quel que soit le parcours de la tuyauterie.

✓ Hauteur équivalente aux pertes de charge : les frottements dans les tuyaux sont évalués en équivalents de hauteur à refoules (cf. ci-dessous). La hauteur monométrique totale (HMT) est la somme de toutes ces hauteurs. C'est la pression totale que doit vaincre la pompe.

- **Les pertes de charge**

Elles représentent en général 10 à 20% de la hauteur géométrique totale sur une installation de pompage solaire classique (s'il n'y a pas de réseau de distribution de l'eau). Les pertes de charge varient principalement en fonction du débit, de la longueur des tuyaux, de leur section et des accidents de parcours (vannes, coudes, tés)

## **II.5. Le point sur les coûts des systèmes de pompage [2]**

- **Niveau d'investissement**

Il est nécessaire de souligner, que le coût d'investissement d'une pompe photovoltaïque est très important : de 1000.000 à 3000.000 DA. Cependant, en comparant les coûts annuels, on constate que le solaire n'est pas plus cher que les autres systèmes de pompage. Cette structure des coûts limite fortement la diffusion du photovoltaïque pour le pompage. Elle nécessite des dispositifs renforcés de crédits.

✓ Tout d'abord on considère que ces coûts d'investissement au WC du système de pompage collectifs sont grosso-modo les suivants :

- 700 à 1000 DA HT/WC (matériel emballé sortie d'usine)
- 1200 à 1500 DA HT/WC (pompe solaire installée sur site)
- 500.000 à 2000.000 DA HT (coût des aménagements et du réservoir)

✓ Si l'on sépare maintenant les différents types de pompes solaires, on obtient le tableau suivant :

	Débit m <sup>2</sup> /j (5k Wh/m <sup>2</sup> .j)	pour une HMT	puissance generateur Wc	cout du système DA
Pompe immergée	40	20 m	1450	1100.000 à 1500.000
Pompe flottante	158	5 m	1000	600.000 à 1000.000
Pompe de surface à Poste fixe	3	10 m	100	70.000 à 100.000
Petite pompe Domestique	3	20 m	100	60.000 à 100.000

**Tableau II.3.** Coûts des systèmes de pompage

Le prix d'un système inclut les prix des modules, de l'électropompe, du système de contrôle (onduleur entre autres), des supports de modules, des tuyaux, des câbles et de l'emballage.

### 11.6. Conclusion

Le pompage photovoltaïque est l'une des applications prometteuses de l'utilisation de l'énergie photovoltaïque .Le système de pompage PV connue. Nous avons montre dans ce chapitre, est généralement composé d'un générateur PV un convertisseur d'énergie, un moteur et une pompe .Nous allons modélise cette application dans le 3eme chapitre.

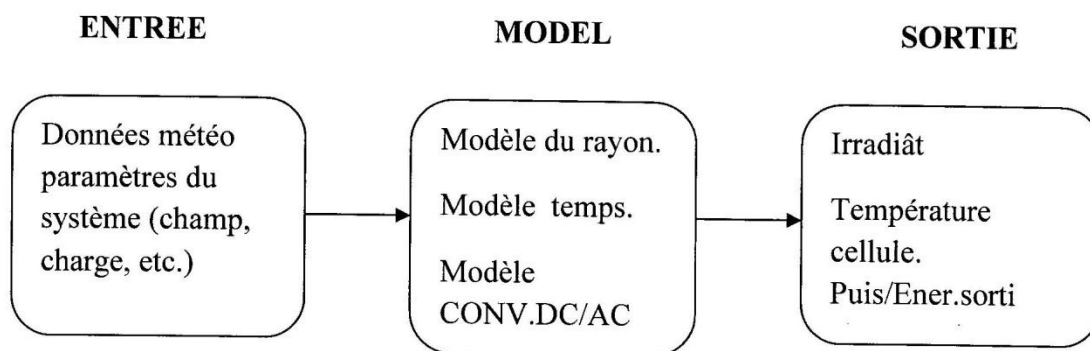


**CHAPITRE III**  
**MODELISATION**

### III.1. Introduction

Dans le présent chapitre nous présentons les modèles mathématiques utilisés pour caractériser chaque composant de l'installation PV.

Si nous supposons que l'installation PV peut être modélisée par un ensemble d'équations et de relations interdépendants, alors on pourra segmenter notre système en entrée (données de base), corps (modèle pour les différents composants) et sortie (résultat) sous forme d'un schéma simplifié représenté sur la figure ci après :



**Figure III.1.** Schéma simplifié du système PV.

Les informations au niveau de l'entrée concernent :

- Les données radiométriques (le rayonnement global sur plan horizontal sous forme de données mesurées ou générées, la température ambiante mesurées ou générées).
- -Les paramètres du système PV (puissance du champ, rendement du champ, effet de la température, NOCT, caractéristique de l'onduleur, profil de la charge, etc.).

• **Les modèles du corps concernent :**

- Le modèle du la rayonnement sur plan incliné.
- Le modèle de la température cellule.
- Le modèle de rendement du champ PV.

- Le modèle de conversion DC/AC (onduleur)
- **Les résultats obtenus sont**
- Irradiation globale tombant sur un plan incliné.
- La température cellule.
- La puissance à la sortie du champ PV.
- La puissance et l'énergie fournies à la charge

### III.2. Modélisation de l'irradiation sur le plan incliné [5]

La conversion de l'énergie solaire en une autre forme pose le problème de la modélisation du rayonnement solaire. Plusieurs modèles de calcul d'irradiation inclinée globale prennent en considération des paramètres climatiques couramment mesurés :

La déclinaison solaire  $\delta$  est l'angle formé par la direction du soleil et le plan équatorial terrestre. Cet angle varie au cours des saisons :

$$\delta = 23.45^\circ \sin \left( \frac{2\pi \cdot (\text{jour} - 81)}{365} \right)$$

Jour : numéro du jour dans l'année (1 à 365)

#### • Calcul de l'angle horaire

La hauteur 'h' du soleil au dessus de l'horizon donnée par la formule suivante :

$$\sin h = \sin L \cdot \sin \delta + \cos L \cdot \cos \delta \cdot \cos W \quad (3- 1)$$

L: latitude du lieu (deg).

W: angle horaire (deg).

➤ l'angle horaire est nul a midi, lorsque le méridien du lieu passe par le soleil.

$$W=0 \quad \cos W = 1$$

L'équation (3- 1) devient :

$$\sin h = \sin L \cdot \sin \delta + \cos L \cdot \cos \delta \quad (3.2)$$

$$(3.2) \Rightarrow \sin h = \cos(L - \delta) \quad (3.3)$$

$$\sin h \cos(\pi/2 - h) \quad (3.4)$$

De (3.3) et (3.4) on déduit:

$$\sin h = \cos\left(\frac{\pi}{2} - h\right) = \cos(L - \delta) \quad (3.5)$$

De (3.5) on déduit :

$$\pi/2 - h = L - \delta$$

D'où :

$$h = \frac{\pi}{2} + \delta - L$$

Au lever et au coucher du soleil,  $\sin h = 0$  et l'on obtient facilement les heures correspondants par l'égalité :

$$0 = \sin L \cdot \sin \delta + \cos \delta \cdot \cos L \cdot \cos W$$

$$\cos W = - \frac{\sin L \cdot \sin \delta}{\cos L \cdot \cos \delta}$$

$$\cos W = -tgL \cdot tg\delta$$

$$W = \text{Arc cos} (-tgL \cdot tg\delta) \quad (3.6)$$

D jour: la durée du jour (heures) :

$$D_{\text{jour}} = \frac{2 \text{Arc cos}(-tg\delta \cdot tgL)}{15}$$

S'obtient par relation (3-6)

$$D_{\text{jour}} = \frac{2W}{15}$$

Rayonnement incliné :

$$RHA = 1.35 \cdot \frac{24}{\pi} \left[ 1 + 0.033 \cdot \cos \left( \frac{2\pi \text{ jour}}{365} \right) \right] \left( (\cos L \cdot \cos \delta \cdot \sin W) + W \sin L \cdot \sin \delta \right) \quad (3.7)$$

$$RHD = RGH \cdot \left( 1 - \frac{1.13/RHG}{RHA} \right) \quad (3.8)$$

$$RHDR = RHG - RHD \quad (3.9)$$

$$RID = \frac{RHD}{2} \left[ (1 + \cos \beta) + R (1 - \cos \beta) \right] \quad (3.10)$$

$$RIDR = RHDR \cdot \frac{\sin(h+\beta)}{\sin h} \quad (3.11)$$

$$RIG = RID + RIDR \quad (3.12)$$

### III.3. Modélisation du champ photovoltaïque [6]

#### III.3.1. Le modèle de la température de la cellule

La température de la cellule est un paramètre important d'autant plus que chacun des paramètres électriques du module en dépend ( $I_{sc}$ ,  $V_{oc}$ ,  $P_m$ , etc...).

Ce modèle suppose que la température d'équilibre de la cellule solaire intégrée dans un module suite une loi de variation linéaire en fonction de l'irradiation.

$$T_{cm} = T_{am} + H_w \cdot RIG_m \quad (3-13)$$

Ou:

**$T_{em}$**  : température moyenne de la PV(Co).

**$T_{am}$**  : température ambiante (Co).

**$RIG$**  : irradiation inclinée globale.

**$H_w$** : coefficient d'élévation de la température ( $^{\circ}\text{C} \cdot \text{w}^{-1} \cdot \text{m}^2$ )

$$HW = \frac{NOCT-20}{800} \quad (3.14)$$

Ou :

NOCT : température nominale de fonctionnement de la cellule.

Elle se mesure sous un éclairage de 800 w/m<sup>2</sup>, une température ambiante de 20°C et une vitesse du vent est de 1 m/s.les valeurs typiques se situent entre 40°C et 70°C.

### III.3.2. Le modèle du rendement du champ photovoltaïque

Tenant compte de l'effet de la température et du rayonnement, le rendement du module est donné par la relation :

$$Renm = Reno (1 - \gamma (Tcm - Ta)) \quad (3.15)$$

Renm : rendement moyenne d'un module.

Reno : rendement de référence.

$\gamma$  : Coefficient de température (°C<sup>-1</sup>).les valeur typiques se situent entre 0.003 et 0.005 c<sup>-1</sup>.

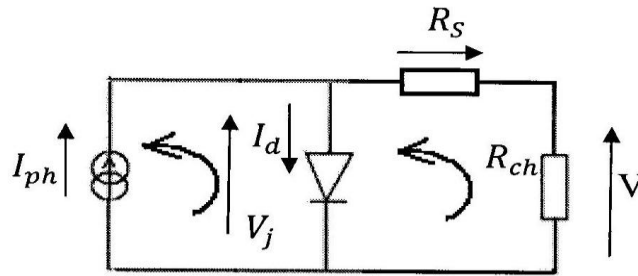
### III.4. Modélisation du convertisseur DC/AC

Dans la simulation des systèmes photovoltaïque, la caractéristique du rendement d'un convertisseur en fonction de la puissance d'entrée doit être connue. En réalité, cette caractéristique n'est pas toujours disponible et il faut faire appel aux modèles de calcul de la puissance de sortie du convertisseur. La puissance du convertisseur est calculé par la formule suivant :

$$Eond = \frac{Ec}{Rond} \quad (3.16)$$

Rond: rendement d'un convertisseur

## III.5. Modélisations de la caractéristique électrique du générateur PV [1]



**Figure III.1.** Circuit de cellule connectée avec une charge

En se referant aux circuit on peut écrire :

$$I_{ph} = I_d + I$$

$$\Rightarrow I = I_{ph} - I_d \quad (3.17)$$

Le courant  $I_d$  est donné par la formule théorique suivant :

$$I_d = I_o \left( \exp \frac{q V_j}{\pi K T} - 1 \right)$$

D'après le circuit

$$V = I R_{ch}$$

$V$ : tension de la charge

On peut écrire l'équation suivant :

$$V_j = R_s I + R_{ch} I$$

On pose

$$\tau = \frac{q}{AKT}$$

$$I = I_{ph} - I_d = I_{ph} - I_o (\exp (\tau (V + R_s I)) - 1)$$

$$V = -R_s I + \frac{1}{\tau} \log \left( \frac{I_{ph} - I}{I_o} + 1 \right) \quad (3.18)$$

Le courant photovoltaïque  $I_{ph}$  est proportionnel flux d'énergie lumineux, en effet :

$$I_{ph} = \alpha (1 + \beta T) \phi_s$$

Avec

$\alpha$  et  $\beta$  sont des valeurs constantes de la cellule, elles ont les dimensions suivantes respectivement ampère par watt et degré kelvin à la puissance -1 (A/W, K<sup>-1</sup>).

### III.6. Modèle de pompe [2]

#### III.6.1. Calcul de la puissance hydraulique et de l'énergie hydraulique

Le dimensionnement d'un système de pompage est légèrement différent de celui des autres systèmes.

En effet le calcul de l'énergie consommée nécessite d'utiliser la notion d'énergie hydraulique (ou de puissance hydraulique) pour trouver l'énergie électrique consommée.

- **Puissance hydraulique  $P_{hyd}$**

La puissance hydraulique est la puissance nécessaire pour déplacer une certaine quantité d'eau d'une altitude à une autre. En réalité c'est la puissance réellement communiquée à l'eau par l'électropompe. Elle est donnée par la formule suivante :

$$P_{hyd} = 2.725 \cdot Q_i \cdot H \quad (3.19)$$

$P_{hyd}$  : Puissance hydraulique (W)

$Q_i$  : Débit instantané (m<sup>3</sup>/h)

H: HMT (m).

Jusqu'alors dans les dimensionnements (avec batterie) la puissance utilisée était la puissance électrique demandée par la pompe. Celle ci peut être déduite de la puissance hydraulique par la formule :

$$P_e = P_{hyd} / (\eta_m \cdot \eta_p) \quad (3.20)$$

$P_e$ : puissance électrique (W)

$\eta_m$ : Rendement du moteur

$\eta_p$  : Rendement de partie hydraulique de la pompe.

Les rendements des électropompes dépendent des matériels utilisés lorsque l'optimisation est bonne, le rendement globale pompe +moteur est de l'ordre 30 à 40%.

#### • Energie hydraulique $E_{hyd}$

L'énergie hydraulique est l'énergie nécessaire pour déplacer certaine quantité d'eau d'un niveau à un autre pendant une certaine durée.

Elle est donnée par la formule suivante :

$$E_{hyd} = 2,725 \cdot Qq \cdot H \quad (3.21)$$

$Qq$ : débit quotidien (mo).

L'énergie électrique peut être déduire de l'énergie hydraulique par la formule

$$E_c = E_{hyd} (\eta_m \cdot \eta_p) \quad (3.22)$$

Le rendement globale de l'électropompe ( $P_c/P_{hyd}$ ) sur la journée est de l'ordre de 30%.

### II.6.2. Calcul de la puissance du générateur d'une pompe solaire [4]

La plupart du temps les systèmes de pompage n'utilisent pas de batterie. Néanmoins la règle de base entre énergie produite et énergie consommée ( $E_p = E_c/K$ ) reste valable. Seule la valeur de K changera suivant les rendements des différents éléments.

#### • Méthode

Le dimensionnement du générateur se fait à partir de l'énergie consommée durant la journée.

❖ **ETAP1** : on évalue l'énergie hydraulique correspondant au besoin.

❖ **ETAP2** : on calcule l'énergie électrique qui sera consommée.

❖ **ETAP3** : on calcule l'énergie à produire  $E_p$  par jour. ( $E_p = E_c/K$ )

Le coefficient  $k'$  tient compte de toutes les baisses de rendement dans les modules, les câbles et l'onduleur, considérer  $k_0 = 0.7$ .

❖ **ETAP4** : on calcule la puissance crête  $P_c$  du générateur compte de l'irradiation ( $P_c = E_p/RIG$ ).

Le rendement globale de la puissance hydraulique par rapport à la puissance crête du générateur photovoltaïque ( $P_c/P_{hyd}$ ) est en moyenne de 25 à 30% sur l'ensemble de la journée.

Il est possible de résumer la formule de calcul de la puissance crête de la façon suivante :

$$P_c = (2.725.Q.H)/(\eta \cdot RIG) \quad (3.23)$$

$P_c$  : Puissance crête (WC)

Q: Débit quotidien (m<sup>3</sup>/j)

H: HMT(m)

$\eta$  : rendement globale (de 25 à 30%).

RIG : irradiation incliné globale (KWh/m<sup>2</sup>).

### III.7. Conclusion

Nous avons présente dans ce chapitre les modèles mathématiques de chaque composant de l'installation PV pour pompage. Petare

Ces modèles mathématique serons simule avec MATLAB , dans le dernier chapitre est interprète



# CHAPITRE IV

## **SIMULATION ET INTERPRETATION DES RESULTATS**

### IV.1. Introduction

Dans ce chapitre , nous avons présenté la simulation photovoltaïque .

Nous avons développé des programmes avec logiciel MATLAB qui nous permet d'obtenir facilement des résultats du comportement du système pour différentes configurations. Ils sont basés sur des modèles mathématiques d'irradiations solaires, pompe, générateur photovoltaïque. Ces programmes permettent des systèmes, principalement : Le nombre du jour de l'année, l'angle horaire, l'irradiation, la température, la configuration de générateur photovoltaïque...

## IV.2. Organigramme :

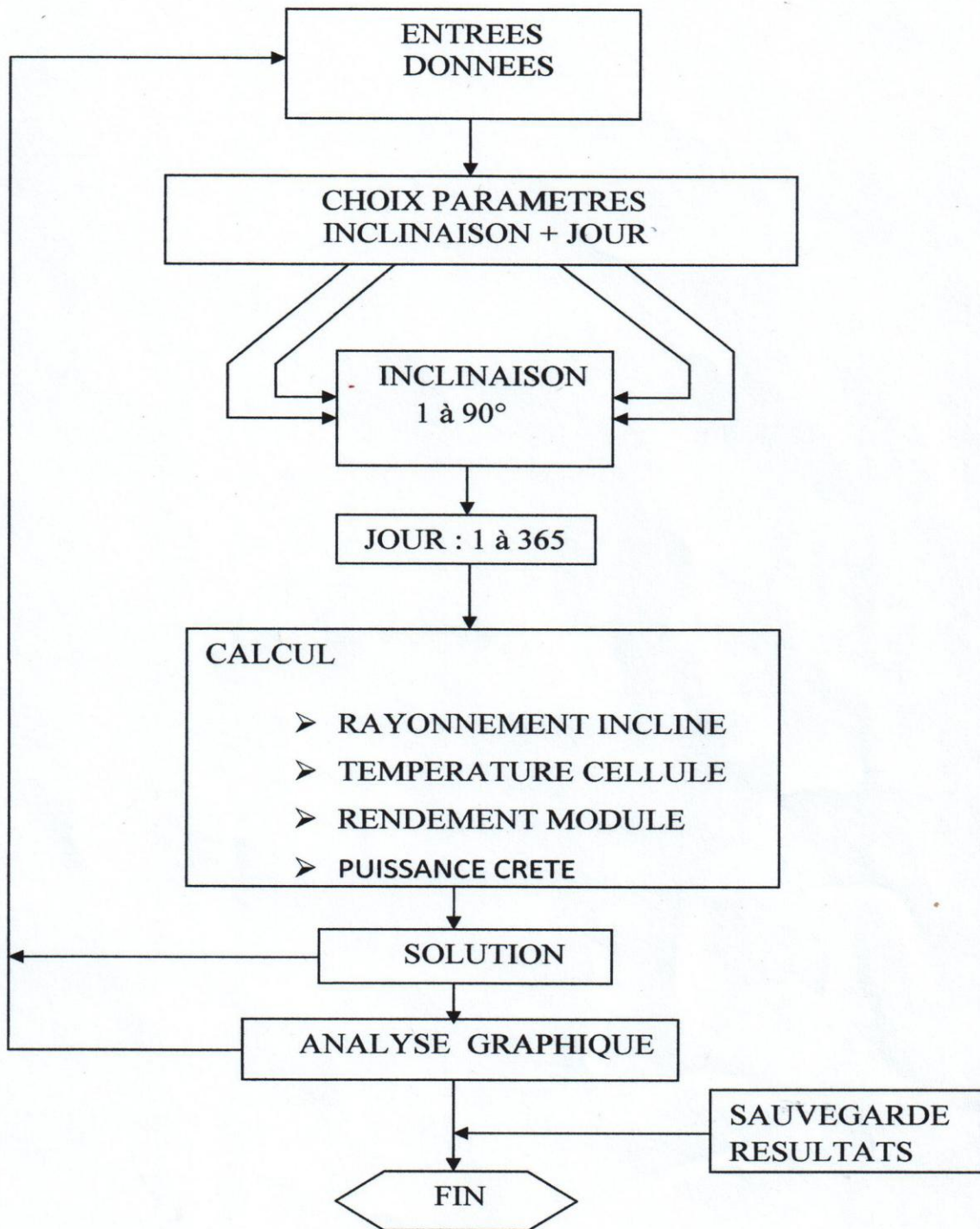


Figure IV.1. Organigramme d'un système photovoltaïque

### IV.3. Résultats et interprétation :

Afin de déterminer les résultats à l'aide de notre modèle, nous avons sélectionné les sites suivants :

- Béchar.
- Adrar.

#### IV.3.1 Résultats :

$L = 31.38\%$  ;  $b = 31.38^\circ$  ;  $r = 0.20$

Jour	RHG (Wh/m <sup>2</sup> )	$\delta$ (Deg)	RIG (Wh/m <sup>2</sup> )	RIGm (Wh/m <sup>2</sup> )	Renm (%)	Pc (WC)	Nc
1	4020	-23.0085	3785.1	378.276	9.72	1659.3	34
33	4760	-17.2389	4481.8	424.719	9.68	1401.3	28
81	6110	0	5752.9	479.162	9.64	1091.7	22
92	6830	4.4117	6430.8	520.069	9.61	976.6	20
122	7230	15.2040	6807.4	512.706	9.62	849.7	19
154	7850	22.2977	7391.2	530.360	9.60	896.6	17
172	7440	23.4497	7005.2	498.587	9.63	896.6	18
210	6810	18.6864	6412	471.735	9.65	979.5	20
246	6130	6.9902	5771.7	458.890	9.66	1088.1	22
264	5130	-0.1644	4830.2	402.751	9.70	1300.3	26
352	4050	-23.4210	3813.3	382.672	9.71	1647	33
365	3860	-23.0960	3634.4	363.530	9.73	1728.1	35

**Tableau IV.1.** Résultats l'angle horaire, rendement et l'irradiation pour Béchar

- Adrar.

$$L = 27.88\% \quad ; \quad b = 27.88^\circ \quad ; \quad r = 0.35$$

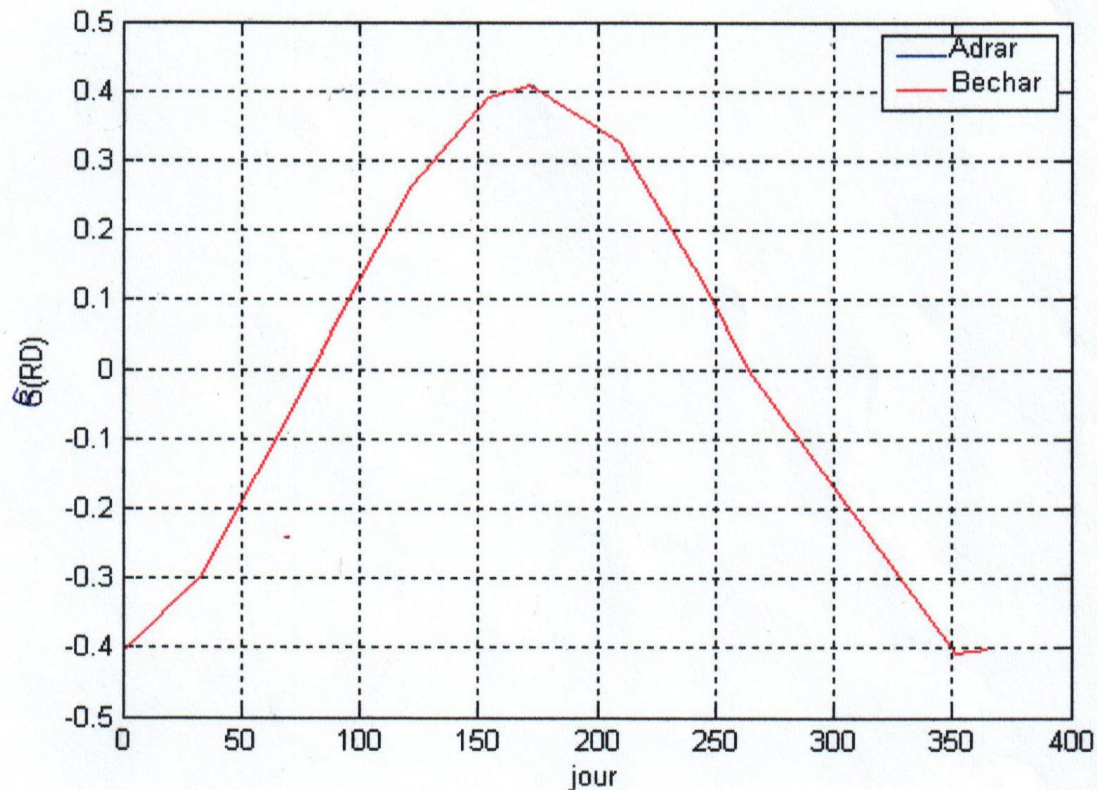
Jour	RHG (Wh/m <sup>2</sup> )	$\delta$ (Deg)	RIG (Wh/m <sup>2</sup> )	RIGm (Wh/m <sup>2</sup> )	Renm (%)	Pc (WC)	Nc
1	4340	-23.0085	4176.5	406.4186	9.70	1503.8	30
33	5346	-17.2389	5144.6	478.6905	9.64	1220.8	25
81	6760	0	6505.3	541.8303	9.59	965.4	20
92	7676	4.4117	7386.7	599.6807	9.55	850.2	17
122	7934	15.2040	7635	582.4898	9.56	822.6	17
154	8202	22.2977	7892.9	577.1540	9.57	795.7	16
172	8108	23.4497	7802.5	566.4749	9.58	804.9	16
210	7516	18.6864	7232.8	540.5862	9.59	868.3	18
246	6586	6.9902	6337.8	506.9581	9.62	991	20
264	5450	-0.1644	5244.6	437.2530	9.67	1197.5	24
352	4430	-23.4210	4263.1	416.2785	9.69	1473.2	30
365	3932	-23.0960	3783.8	368.4800	9.72	1659.8	34

Tableau IV.2. Résultats l'angle horaire, l'irradiation et rendement pour Adrar

### IV.3.2. Interprétation :

Après l'introduction de l'ensemble des données nécessaires aux modèles du système le logiciel nous a permis de tracer les caractéristiques de variations des grandeurs des éléments du système.

#### IV.3.1. Variation de l'angle de déclinaison $\delta$ en fonction de nombre de jour :

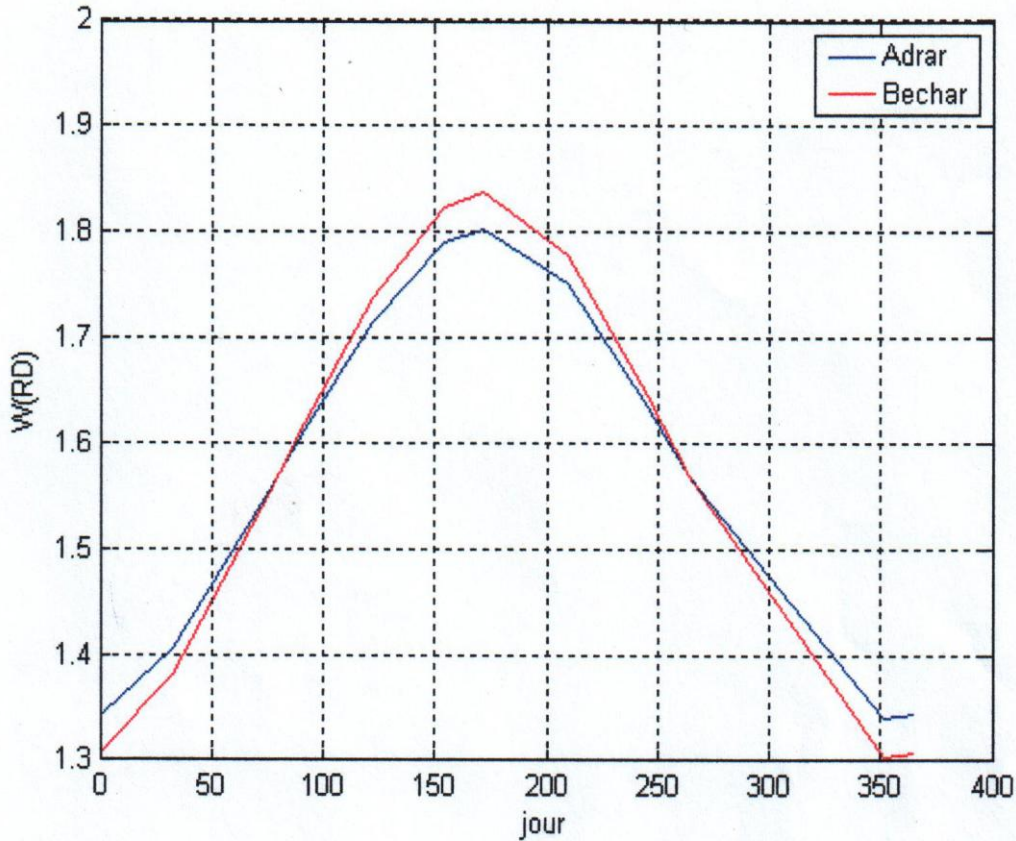


**Figure IV.1.** variation de l'angle de déclinaison en fonction de nombre de jour

On constate que cet angle varie au cours de l'année en atteignant ses deux valeurs extrêmes :  $-23^{\circ}27'$  au solstice d'hiver,  $+23^{\circ}27'$  au solstice d'été.

Elle s'annule aux équinoxes de printemps (après le jour de 21 mars) et d'automne (après 264 jours (23 septembre))

### IV.3.2. Variation de l'angle horaire $W$ en fonction de nombre de jour :



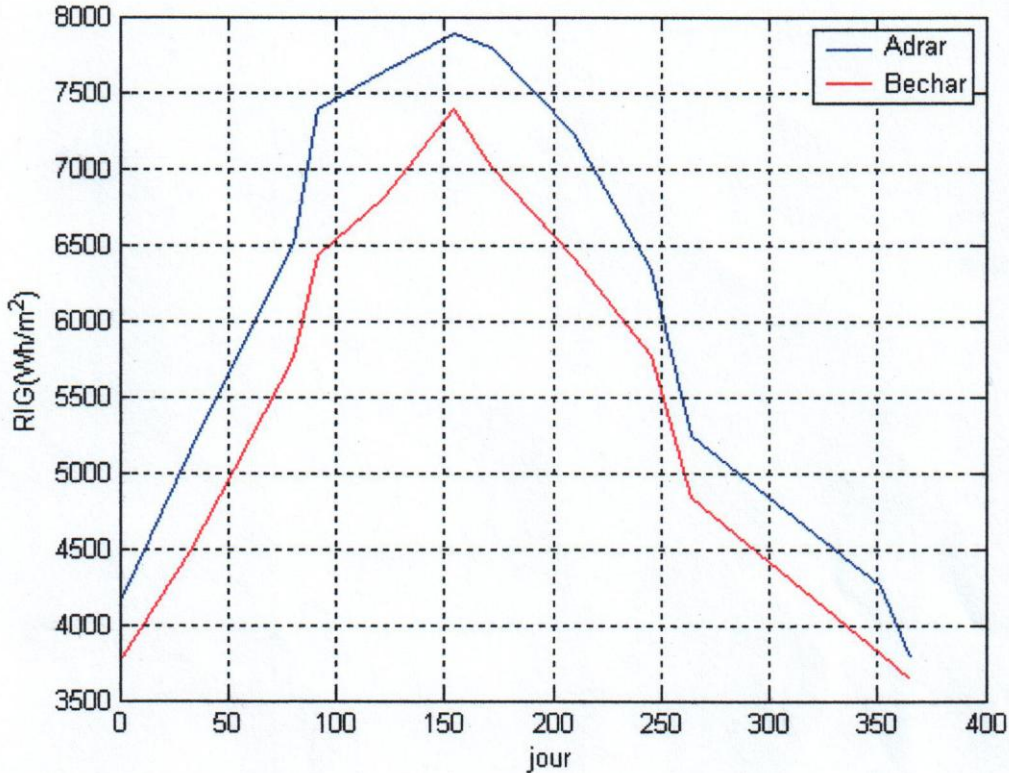
**Figure IV.2.** variation de l'angle de horaire  $W$  en fonction de nombre de jour

A des valeurs positives au cours de toute l'année.

Pour le site de Béchar , elle prend une valeur minimale à l'hiver (mois de janvier et de décembre) puis elle augmente jusqu'à une valeur maximale à l'été (mois de juin).

Pour le site d'Adrar , il a approximative les mêmes résultats que Béchar puisque la variation de latitude est très petite entre les deux sites.

### IV.3.2.3 Variation irradiation inclinée globale RIG en fonction de nombre de jour :



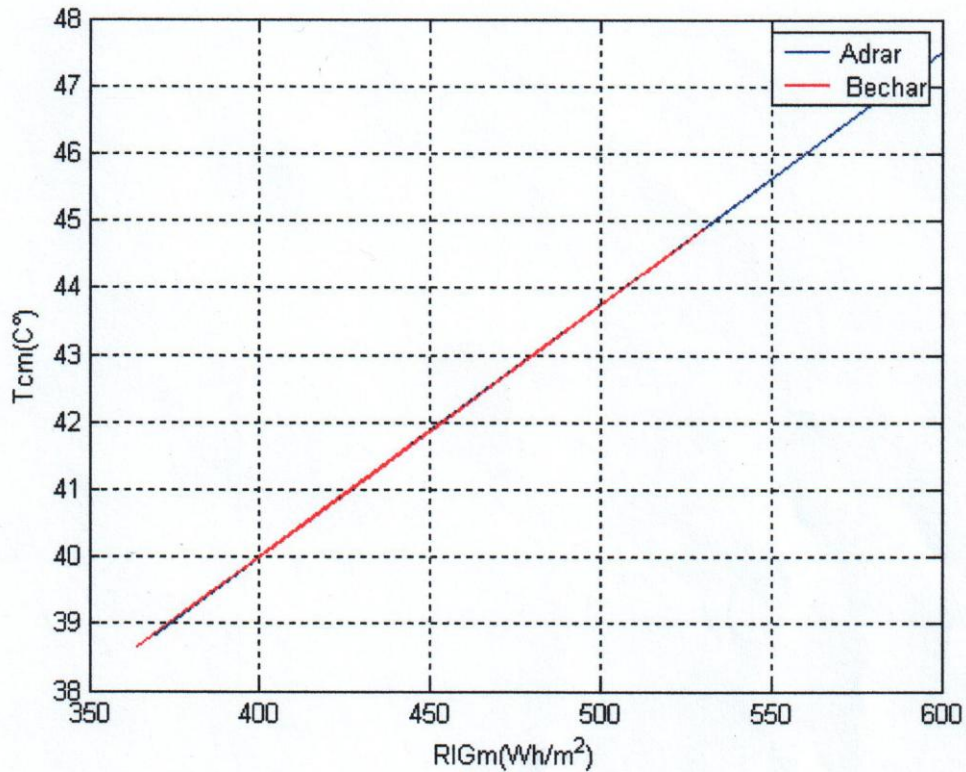
**Figure IV.3.** Variation irradiation inclinée globale RIG en fonction de nombre de jour

La variation d'irradiation inclinée globale en fonction de nombre de jour est totalement différente entre les deux sites et cela est dû à l'intensité de l'ensoleillement.

L'irradiation inclinée globale pour Bechar prend une valeur minimale à l'hiver (mois de décembre) environ  $3634.4 \text{ Wh/m}^2$ , puis augmente jusqu'à une valeur maximale environ  $7391.2 \text{ Wh/m}^2$  près 152 jour (mois de mai).

Même pour Adrar la valeur d'irradiation inclinée globale minimale obtenue à l'hiver dans le mois de décembre, environ  $3783.8 \text{ Wh/m}^2$ , la valeur maximale est obtenue dans le mois de mai, elle est environ  $7892.9 \text{ Wh/m}^2$ .

#### IV.3.2.4. Variation de la température moyenne $T_c$ en fonction de irradiation inclinée globale RIG



**Figure IV.4.** Variation de la température moyenne  $T_c$  en fonction de irradiation inclinée globale RIG

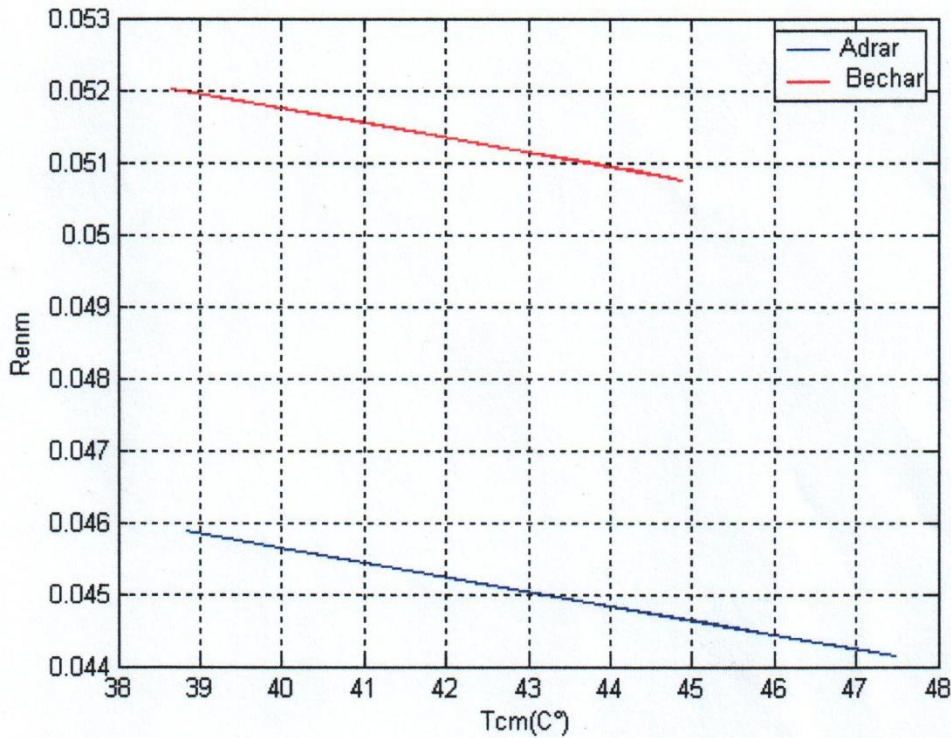
La température moyenne augmente lorsque l'irradiation inclinée globale moyenne augmente et l'inverse vari.

Par exemple, on prend le site de Bechar

Lorsque RIGm égale à 378.27 Wh/ m<sup>2</sup> la température égale à 39.18 C°, cette valeur augment jusqu'à une valeur de 44.50 C° lorsque RIGm égale à 520.06 Wh/m<sup>2</sup> Puis la valeur de la température diminue jusqu'à 38.63 C° (voir le tableau N° 01).

De même pour le site d'Adrar, mais les valeurs différentes.

### IV.3.2.5. Variation de la Rendement module Renm en fonction de température moyenne Tc



**Figure VI.5.** Variation de la Rendement module Renm en fonction de température moyenne

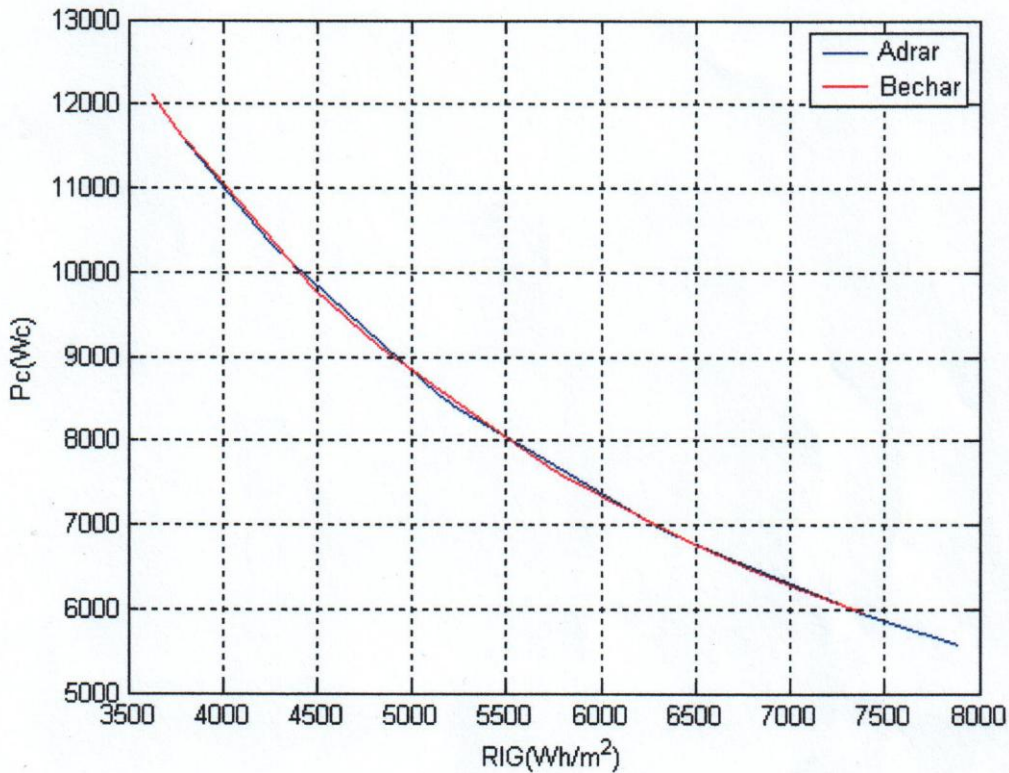
On remarque que le rendement diminue lorsque la température augmente.

Le rendement passe de 9.72% jusqu'à 9.61% lorsque la température passe de 39.18 C° à 44.50 C° puis ce rendement augment de 9.61% à 9.73% lorsque la température passe 44.50 C° à 38.63 C° pour le site Bechar.

De même pour le site d'Adrar, mais les valeurs différentes.

De ces résultats obtenue on conclu que la température influe sur le rendement du générateur photovoltaïque. Pour cela on doit prendre les mesures nécessaires pour maintenir la puissance crête à sa valeur voulue.

#### IV.3.2.6. Variation de la puissance crête en fonction de RIG

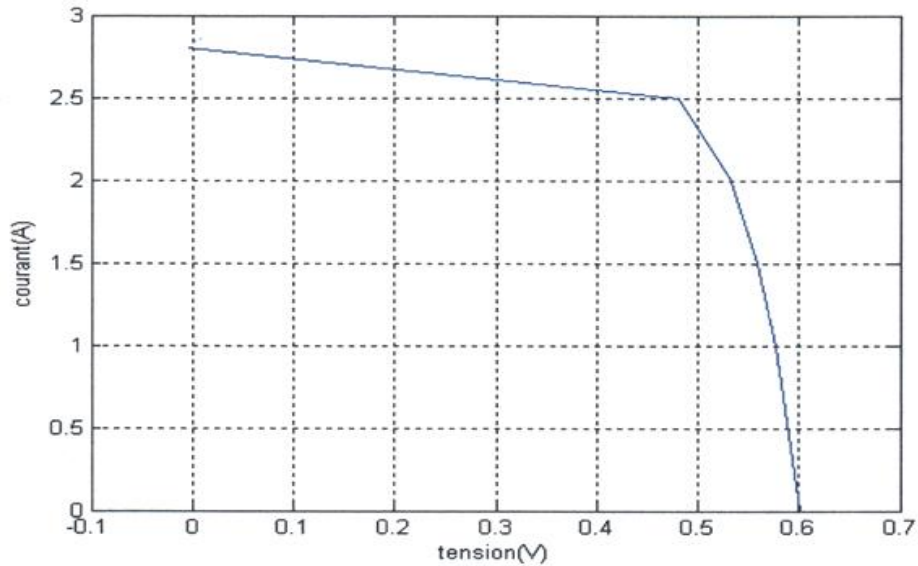
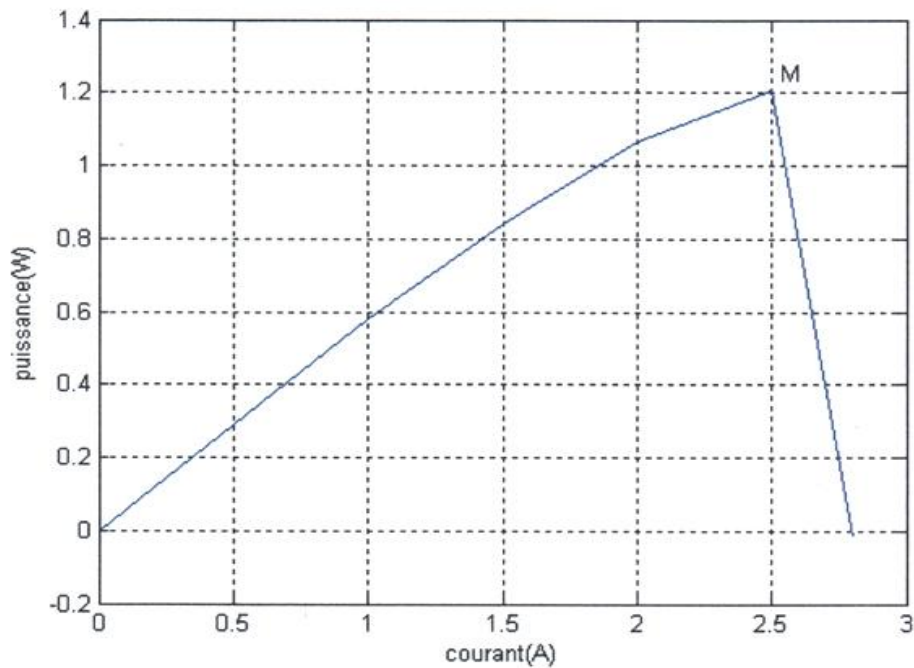


**Figure IV.6.** Variation de la puissance crête en fonction de RIG

Il y a diminution de cette puissance lorsque RIG augmente est l'inverse est vrai car lorsque l'irradiation (pour le site de Bechar) est environ 3785.1 Wh/m², Pc est maximale environ 1659.3 WC puis il diminue jusqu'à une valeur environ 849.7 WC lorsque l'irradiation RIG atteint la valeur 739.3wh/m².

L'augmentation de RIG conduit à une augmentation de la température ce que se répercute sur la puissance du générateur photovoltaïque par la diminution de sa puissance maximale disponible Pc.

## IV.3.2.7. Pour le générateur photovoltaïque

Figure IV.7. Caractéristique  $I = f(v)$ Figure IV.8. Caractéristique  $p = f(I)$

D'après la figure IV.8 de la variation  $P=F(I)$

On remarque qu'une puissance maximale correspond à une valeur de courant dit courant optimal  $I_{opt}$ .

Pour récupérer la puissance maximale, il faut coïncider le point de fonctionnement à un point M qui correspond à  $P_{max}$  et  $I_{opt}$ . A delà de point la puissance diminuera.

D'après cette figure on observe aussi que la variation selon l'ensoleillement est linéaire pour une température donnée dans conditions normales du fonctionnement du système photovoltaïque.

D'après le graphe  $P=F(I)$ , les points critiques arrivent aux valeurs

$P_{max} = 1,20 \text{ WC}$ .

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

#### **IV.4. Conclusion**

Ce chapitre nous avons présenté l'ensemble des résultats de simulation. Obtenus par MATLAB.

Pour notre model de système photovoltaïque nous avons simule la variation de certain élément sur la réponse de ce modale.



**CONCLUSION  
GENERALE**

### Conclusion générale

Au vu des futurs développements concernant le secteur de l'énergie avec l'épuisement des énergies fossiles le siècle prochain, et l'utilisation progressive des énergies renouvelables, l'installation de systèmes photovoltaïques connaîtra certainement une cadence beaucoup plus accélérée. Le recours aux méthodes de dimensionnement deviendra alors un réflexe systématique que se soit de la part des systémiers installateurs ou bien de la part des concepteurs « designers ». La méthode présentée dans ces modèles se veut aussi simple que les méthodes analytiques.

Le couplage direct d'un générateur (photovoltaïque) à une charge implique un point de fonctionnement dépendant particulièrement de la charge et qui n'est pas nécessairement celui optimal étant donné dans certaines conditions de travail le problème de perte en puissance devient significatif à mesure que la puissance de fonctionnement s'écarte de celle maximale. Cette mise en cause pour certaines charges devient une contrainte qui se répercute incontestablement, sur le rendement globale du système dévoilant aussi un mauvais usage de cellules solaire.

Le système photovoltaïque très coûteux pouvant être donc parfois mal utilisé, plusieurs idées d'amélioration de ce fonctionnement sont apparues ; la méthode la plus utilisée consiste à adapter l'impédance GPV à celle de la charge.

La méthode permettant de trouver le point de puissance maximale est basée sur la comparaison de la tension de fonctionnement et celle optimal.

On appellera par grandeurs optimales la tension et le courant par les quels puissance maximale.

La tension optimale ( $V_{opt}$ ) et la tension en circuit ouvert ( $V_{co}$ ) sont étroitement liées aux conditions climatiques (ensoleillement et température) et sont donc sujettes à des variations tout au long de la journée.

Ce modeste travail présent la modélisation du système PV ouvra une grande porte de recherche devant nos futurs étudiants afin de contribuer dans l'amélioration du pompage à fil solaire et l'électrification rurale.

## Bibliographiques

- [1] A. Mehdaoui, Thèse de magister << Identification par Rauschenbach et par Neuro-Flou du Point de Puissance Maximal du Générateur Photovoltaïque d'un Système Solaire En Milieu Saharien >> .
- [2] Thèse << Dimensionnement d'un système de pompage solaire >> Béchar IGE.
- [3] M. Dahbi, Thèse magister << Etude et optimisation d'une installation hybride photovoltaïque éolienne autonome >> .
- [4] Thèse << Etude de pompage par un système photovoltaïque >> Béchar IGR.
- [7] Thèse << Fonctionnement optimal d'un générateur photovoltaïque >> Saida IGR.
- [8] Thèse << Développement d'un régulateur de charge avec optimisation d'énergie>> Béchar ING.
- [5] Thèse << Optimisation et contrôle d'un système de pompage photovoltaïque >> Béchar IGR.
- [6] Thèse << Contrubation a l'étude techno-économique des système de pompage photovoltaïque >> Béchar IGR.

